مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

المنظمة العربية للترجمة

طوني براين

تقانة البناء

التحليل والاختيار

ترجمة

د. حاتم النجدي

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدّمة

تقانة البناء

التحليل والاختيار

اللجنة العلمية لسلسلة التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة :

د. محمد مراياتي

د. منصور الغامدي

د. حسن الشريف

د. حاتم النجدي

المنظمة العربية للترجمة

طوني براين

تقانة البناء
التحليل والاختيار

ترجمة

د. حاتم النجدي

مراجعة

د. حسن الشريف د. هيثم الناهي

توزيع: مركز دراسات الوحدة العربية

الفهرسة أثناء النشر ـ إعداد المنظمة العربية للترجمة

براين، طوني

تقانة البناء: التحليل والاختيار/ طوني براين؛ ترجمة حاتم النجدي؛ مراجعة حسن الشريف وهيثم الناهي.

781 ص. ـ (تقنيات استراتيجية ومتقدمة ـ البناء والتشييد؛ 1)

يشتمل على فهرس.

ISBN 978-614-434-003-5

1. البناء. 2. مواد البناء. أ. العنوان. ب. النجدي، حاتم (مترجم). ج. الشريف، حسن (مراجع). د. الناهي، هيثم (مراجع). هـ. السلسلة.

690

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبّر بالضرورة
عن اتجاهات تتبناها المنظمة العربية للترجمة»

Bryan, Tony

Construction Technology: Analysis and Choice

© All Rights Reserved. Authorised Translation from The English Language Edition Published by Blackwell Publishing Limited. Responsibility for The Accuracy of The Translation Rests Solely With Arab Organization for Translation And is not The Responsibility of Blackwell Publishing Limited. No Part of This Book May be Reproduced in Any Form Without The Written Permission of The Original Copyright Holder, Blackwell Publishing Limited, 2010.

© **جميع حقوق الترجمة العربية والنشر محفوظة حصراً لـ:**

المنظمة العربية للترجمة

بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 5996 ـ 113

الحمراء ـ بيروت 2090 1103 ـ لبنان

هاتف: 753031 ـ 753024 (9611) / فاكس: 753032 (9611)

e-mail: info@aot.org.lb - Website: http://www.aot.org.lb

توزيع: **مركز دراسات الوحدة العربية**

بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 6001 ـ 113

الحمراء ـ بيروت 2407 2034 ـ لبنان

تلفون: 750084 ـ 750085 ـ 750086 (9611)

برقياً: «مرعربي» ـ بيروت / فاكس: 750088 (9611)

e-mail: info@caus.org.lb - Website: http://www.caus.org.lb

الطبعة الأولى: بيروت، شباط (فبراير) 2013

المحتويات

تقديم: سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة ضمن مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي 7
مقدمة 9

القسم الأول
التحليل

الفصل الأول: إطار لفهم عمل الكتاب 15
الفصل الثاني: الغرض من المبنى وأداؤه 27
الفصل الثالث: صيغ عامة وحلول محدَّدة 43
الفصل الرابع: متغيِّرات عملية البناء 53
الفصل الخامس: تحديد الظروف 73
الفصل السادس: قاعدة الموارد 85
الفصل السابع: مفهوم التصميم 93
الفصل الثامن: المظهر 99
الفصل التاسع: تحليل الأداء المادي 107
الفصل العاشر: البيئات المولِّدة للسلوك المادي 113
الفصل الحادي عشر: سلوك المبنى المادي تحت الحمل 173
الفصل الثاني عشر: السلوك المادي مع مرور الوقت 207
الفصل الثالث عشر: التصنيع والتجميع 227
الفصل الرابع عشر: التكلفة 261
الفصل الخامس عشر: الاستدامة ـ الاعتبارات الاجتماعية 269

القسم الثاني
الاختيار ـ بناء المنزل

الفصل السادس عشر: تطبيق إطار عمل الاختيار على المنازل 307
الفصل السابع عشر: الأرضيات 313
الفصل الثامن عشر: الأسقف 343
الفصل التاسع عشر: الجدران 375
الفصل العشرون: الأساسات 415
الفصل الحادي والعشرون: الخدمات 435

القسم الثالث
الاختيار: المباني التجارية

الفصل الثاني والعشرون: تطبيق إطار عمل الاختيار على المباني التجارية 477
الفصل الثالث والعشرون: الصيغ العامة والتقانات البازغة 489
الفصل الرابع والعشرون: تصميم الملتقى 505
الفصل الخامس والعشرون: الهياكل الإنشائية 519
الفصل السادس والعشرون: بنى الأسقف 571
الفصل السابع والعشرون: الجدران الإنشائية الحاملة 589
الفصل الثامن والعشرون: البنى تحت الأرض 607
الفصل التاسع والعشرون: الغلاف الخارجي للهياكل الإنشائية 639
الفصل الثلاثون: الغلاف الداخلي 687
الفصل الحادي والثلاثون: أنواع الخدمات وأمكنتها 705
الفصل الثاني والثلاثون: دليل للمزيد من القراءة 739
الثبت التعريفي 749
ثبت المصطلحات 757
الفهرس 771

تقديم

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة
ضمن مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي

يطيب لي أن أقدم لهذه السلسلة التي انتُقيت في مجالات تقنية ذات أولوية للقارئ العربي في عصر أصبحت فيه المعرفة محركاً أساسياً للنمو الاقتصادي والاجتماعي والتقني. ويأتي نشر هذه السلسلة بالتعاون بين مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية والمنظمة العربية للترجمة تلبية للسياسات والتوصيات التي تعنى باللغة العربية والعلوم ومنها:

أولاً: البيان الختامي لمؤتمر القمة العربي المنعقد في الرياض 1428هـ (2007م) الذي يؤكد ضرورة الاهتمام باللغة العربية، وأن تكون هي لغة البحث العلمي والمعاملات حيث نصّ على ما يلي: "تعزيز حضور اللغة العربية في جميع الميادين بما في ذلك وسائل الاتصال والإعلام والإنترنت، وفي مجالي العلوم والتقنية".

ثانياً: "السياسة الوطنية للعلوم والتقنية" في المملكة العربية السعودية التي انبثق عنها اعتماد خمس عشرة تقنية استراتيجية هي: المياه، والبترول والغاز، والبتروكيميائيات، والتقنيات المتناهية الصغر (النانو)، والتقنية الحيوية، وتقنية المعلومات، والإلكترونيات والاتصالات والضوئيات، والفضاء والطيران، والطاقة، والمواد المتقدمة، والبيئة، والرياضيات والفيزياء، والطبية والصحية، والزراعية، والبناء والتشييد.

ثالثاً: مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي التي تفعّل أيضاً ما جاء في البند أولاً عن حضور اللغة العربية على الإنترنت، حيث تهدف إلى إثراء المحتوى

العربي عبر عدد من المشاريع التي تنفذها مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بالتعاون مع جهات عديدة داخل المملكة وخارجها. ومن هذه المشاريع ما يتعلق برقمنة المحتوى العربي القائم على شكل ورقي وإتاحته على شبكة الإنترنت، ومنها ما يتعلق بترجمة الكتب المهمة، وبخاصة العلمية منها، مما يساعد على إثراء المحتوى العلمي بالترجمة من اللغات الأخرى إلى اللغة العربية بهدف تزويد القارئ العربي بعلم نافع يُعمل به.

تشتمل السلسلة التي بين أيدينا على ثلاثة كتب في كل من التقنيات المعتمدة ضمن "السياسة الوطنية للعلوم والتقنية" وقد اختيرت بحيث يكون الأول مرجعاً عالمياً معروفاً في تلك التقنية، ويكون الثاني كتاباً جامعياً، والثالث كتاباً عاماً موجهاً إلى عامة المهتمين، وقد يغطي ذلك كتاب واحد أو أكثر. وقد تم بفضل الله الانتهاء من المجموعة الأولى من السلسلة وعددها ثلاثة وثلاثون كتاباً شملت التقنيات الإحدى عشرة الأولى إضافة إلى كتاب إضافي منفرد للمصطلحات العلمية والتقنية المعتمدة في هذه السلسلة. وها نحن ندشن المجموعة الثانية التي تغطي بقية التقنيات الخمس عشرة .

ولقد جرى انتقاء الكتب وفق معايير، منها أن يكون الكتاب من أمهات الكتب في تلك التقنية، ولمؤلفين يشهد لهم عالمياً، وأنه قد صدر بعد عام 2000م، وألا يكون ضيِّق الاختصاص بحيث يخاطب فئة محدودة، وأن تكون النسخة التي سيترجم عنها مكتوبة باللغة التي ألّف بها الكتاب وليست مترجمة عن لغة أخرى، وأخيراً أن يكون موضوع الكتاب ونهجه عملياً تطبيقياً يصبّ في جهود نقل التقنية والابتكار، ويساهم في عملية التنمية الاقتصادية من خلال زيادة المحتوى المعرفي العربي.

إن مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية سعيدة بصدور المجموعة الثانية من هذه السلسلة، وأود أن أشكر المنظمة العربية للترجمة على الجهود التي بذلتها لتحقيق الجودة العالية في الترجمة والمراجعة والتحرير والإخراج، وعلى حسن انتقائها للمترجمين المتخصصين، وعلى سرعة الإنجاز. كما أشكر اللجنة العلمية للسلسلة التي أنيط بها الإشراف على إنجازها في المنظمة وكذلك زملائي في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية الذين يتابعون تنفيذ مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي.

الرياض 10/ 3/ 1334 هـ
رئيس مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية
د. محمد بن إبراهيم السويل

مقدمة

أُعِدَّ هذا الكتاب لأولئك الذين يدرسون في بداية حياتهم العملية واحدة من المهن ذات الصلة بتشييد المباني. وقد كُتِب للمبتدئين الذين سوف يُصبحون من خلال الدراسة والممارسة خبراء في المجال الذي يختارونه. وقد تكون ثمة حاجة إلى العودة إلى الأفكار الجوهرية المطوَّرة في الكتاب من حين إلى آخر مع نمو الخبرة، بمعنى أنني آمل أن يكون هذا الكتاب مرجعاً في السنوات الأولى من مزاولة المهنة، وفي ما بعد أيضاً.

يقوم هذا الكتاب على منهجية عملية الاختيار: ما يجب على الخبير معرفته، وكيف عليه أن يفكر أمام العدد الهائل من القرارات التي يجب اتخاذها بخصوص تصميم الأبنية وتشييدها وصيانتها والتخلُّص منها بعد انتهاء حياتها. وفي حين أن هذا يتضمن عملية تحليلٍ أُسُسها قابلة للتطبيق في جميع الحالات، فإن الاختيار النهائي محكوم ببيئة التطبيق.

وتتحدَّد بيئة التطبيق بزمن ومكان وطبيعة الأنشطة التي سوف تُجرى لإنجاز المبنى، وبتطلُّعات مموِّله أو متعهده. وتسعى عملية الاختيار إلى الحلول المناسبة ضمن البيئة المادية والحضارية التي يُشاد المبنى ضمنها.

قد يبدو أن كتاباً من هذا النوع سوف يكون مكتظاً بالكلمات، لا بالمخططات. فالمسألة الخلافية هنا هي أن ثمة حاجة إلى شرح الحلول الممكنة للمبتدئ أو لمزاول المهنة الذي تواجهه أفكار أو حالات جديدة. وقد يكون تقديم مخططات العمل النهائية هي نتيجة الاختيار، إلا أن عملية التحليل، مع ما تتطلبه من شروح، هي التي تعطي الثقة بأن تلك المخططات سوف تُنفَّذ ضمن بيئة المبنى

المفترضة. إن الصورة الواحدة ترسم ألف كلمة إذا كانت لديك فعلاً الكلمات التي تشرحها.

آمل أن يجد القارئ أن هذا الكتاب يروي حكاية جيدة، وأن طريقة بناء الأفكار منطقية وسهلة المتابعة، ولعل الأهم من هذا هو أن يراه كبير القيمة في عالم الواقع. وآمل أن يكون النص واضحاً، وأن تكون الرسوم مفيدة في توضيح كل من التحليلات والحلول المقترحة.

يركِّز الجزء الأول من الكتاب الاهتمام في طريقتي تحليل أساسيتين يجب استعمالهما لضمان أن البنية المقترحة سوف تعمل بنجاح (أي لن تخفق) وأنه يمكن تنفيذها. وبغية القيام بالتحليل بهاتين الطريقتين الأساسيتين في التحليل، يقترح الكتاب وضع تصوُّر أولي أو مرئي للشكل المادي للبنية النهائية، وبالقدر نفسه من الأهمية، لاستجابتها للظروف المتغيِّرة التي سوف تعمل ضمنها. والسؤال المركزي الذي يجب طرحه حينئذ هو: ماذا أفعل إذا لم يُعجبني تصميم تلك البنية؟ أما الجواب فيكمن في فهم طريقة عملها وتشييدها، ويتأتَّى هذا الفهم من شرح لأسباب حدوث الأشياء اعتماداً على معرفة متوافرة في عدد من التخصُّصات الأخرى من قبيل العلم والاقتصاد.

إن طرائق التحليل المعروضة في هذا الكتاب مستقلة عن بعضها، ولذا تُجرى منفصلة كل على حدة، لكنها جميعاً يجب أن تعطي نتائج مرضية قبل الاختيار واتخاذ القرار الأخير. والاختيار هو عملية عودية: يمكن أن يؤدي تفحُّص مقترح ناتج من طريقة تحليل معينة إلى تغيُّرات تؤثِّر في مقترحات أخرى. ومن ناحية أخرى، يمكن الحلول الجيدة إنشائياً أن تكون صعبة التنفيذ، ويمكن أيضاً الحلول التي لا تتضمن صيانة أن تكون عالية التكلفة من ناحية استثمار رأس المال. والخيار النهائي يجب أن يكون مقبولاً في جميع طرائق التحليل.

ويضع الجزءان الثاني والثالث من الكتاب التحليل موضع التطبيق العملي، مع تركيز الاهتمام في اتخاذ القرار النهائي. وفي ضوء النهج المعرَّف في الجزء الأول من الكتاب، وتأكيداً لأهمية بيئة المشروع، كُتبت فصول هذين الجزأين من وجهة النظر الخاصة بتشييد مبانٍ في بريطانيا في بداية القرن الحادي والعشرين. ويتركَّز اهتمام الجزء الثاني في المنازل، في حين أن الجزء الثالث يهتم بالمباني التجارية. ومع أن كلا النوعين يوجد في نفس البيئات المادية والحضارية، فإن طرائق

تصميمها وتنفيذها مختلفة. ففي حالة تشييد مبانٍ منزلية على نطاق واسع، يقوم متعهد البناء باختيار الحلول التقنية، وهذا يؤدي إلى تماثل تفاصيل ومواصفات المباني المنزلية. ويتضمن الجزء الثاني من الكتاب هذا النمط الشائع حالياً في بناء المنازل. أما في حالة المباني التجارية، فإن ثمة تنوعاً أكبر كثيراً في مقاسات المباني واستعمالاتها، وهذا ما يؤدي إلى اختلافات كثيرة في مواصفاتها وتفاصيلها والتقانات المستعملة فيها. ويعكس النهج المطوَّر في الجزء الثالث هذه الحاجة إلى النظر في خيارات واسعة في وقت مبكر من التصميم، وإلى وضوح الحلول التقنية.

ويوفر الفصل الأخير من الكتاب دليلاً إلى المجال الواسع من المنشورات المتوافرة لتكوين خبرة تقع خارج نطاق هذا الكتاب، بخاصة تلك الداعمة لعملية الاختيار. لا يحتوي الكتاب نفسه على مراجع مباشرة، بل إن منهجية العمل المطورة فيه تشجِّع فكرة السعي إلى المعلومات اللازمة لكل مشروع في بيئته. وآمل أن يوفر هذا الفصل الأخير مصادر معلومات يمكن أن تكمِّل النهج المطوَّر في هذا الكتاب بغية وضع تلك الأفكار موضع التطبيق العملي.

لقد كُتب هذا الكتاب بناء على قناعة بأن تركيز الاهتمام في عملية الاختيار يكشف الغطاء عن النظرية والمعرفة المفيدتين عملياً، وذلك بإقامة صلة مباشرة في ما بين المعرفة والتطبيق، وبين الفهم الصحيح والممارسة.

ومع تقدم الدراسة والممارسة، فإن مقدرة كل شخص على التفكير والتأمل هي التي تولد الفهم. وما آمله هو أن إطار العمل المقترح في هذا الكتاب سوف يحسِّن عملية الاختيار، إضافة إلى عملية التفكير. وعلى القراء أن يأخذوا من هذا النص ما يستطيعون استعماله لتسهيل إصدارهم لأحكامهم الجيدة، في أي دور يضطلعون به في أي مشروع للبناء، وفي تطوير البيئة التي يجري البناء فيها.

طوني براين

القسم الأول:
التحليل

الفصل الأول

إطار لفهم عمل الكتاب

يرسم هذا الفصل الافتتاحي الخطوط العريضة لإطار عمل لتطوير فهم لما تجب معرفته بغية اتخاذ قرارات بشأن طريقة البناء التي يجب اتباعها. ونقترح في إطار العمل هذا طريقة للشروع في اختيار بنية المبنى، ونحدِّد المعرفة اللازمة لاتخاذ القرار بشأنها. ذاك هو إطار العمل الذي سوف يجري تطويره واستعماله في كل هذا الكتاب.

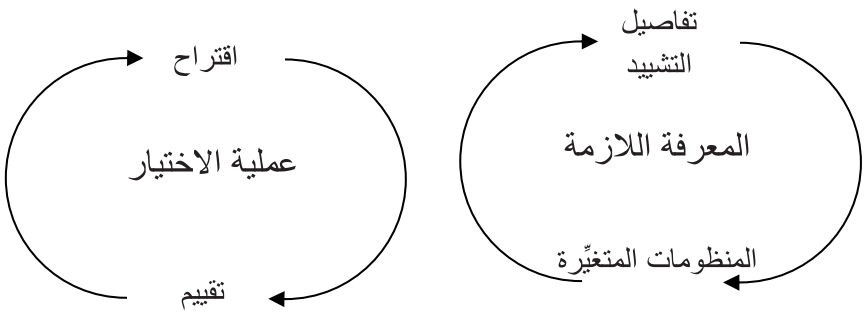
العملية والمعرفة

يعطي هذا الكتاب أمثلة عن عملية التشييد مبيِّناً الكيفية التي نبني بها المنشآت الآن، ويوفر مقدمة للمعرفة اللازمة لفهم كيفية عمل المبنى. وهذان النوعان من المعرفة جوهريان لاتخاذ القرارات بخصوص طريقة تشييد المباني وصيانتها في المستقبل. ويضع هذا الكتاب تلك المعرفة في سياق عملية اتخاذ القرار بشأن خيارات التشييد المختلفة. وعملياً، ثمة مقدار كبير من المعرفة المتوافرة من طرائق تشييد المباني التي يمكن استعمالها، ومن المواد والتفاصيل التي يمكن تحديدها. إلا أن ثمة حاجة في أي عملية بناء مقترحة للإجابة عن السؤالين التاليين: هل سيُخفق المبنى؟ وهل يمكن تنفيذه؟ ومن الواضح أن جوابَيْ هذين السؤالين يجب أن يكونا: كلا، لن يُخفق، ونعم، يمكن تنفيذه. لكن من الصعب في الممارسة تقديم هذين الجوابين الحاسمين مباشرة: كلا أو نعم. لذا غالباً ما تكون ثمة حاجة إلى تطوير ثقة بالذات لاتخاذ القرار. ويحدِّد مقدارُ التحليل اللازم مستوى الفهم والخبرة الضروريين لتقييم الحل المقترح قبل اتخاذ القرار بخصوص وضع الخيار النهائي موضع التنفيذ العملي.

إن هذه المقدرة الأساسية على وضع المقترحات بشأن طريقة تشييد مبنى، ومن ثَمَّ إجراء تقييم لها بطرح الأسئلة عن إمكان إخفاقها وإمكان تنفيذها، هي

موضوع هذا الكتاب. فالتقييم يدل على التغييرات التي يجب إدخالها في المقترح والتي سوف تؤدي بعد إعادة التقييم، من خلال سلسلة من التنقيحات، إلى المواصفات والتفاصيل التي سوف يجري اعتمادها.

وهذا يتطلَّب معرفة بكيف ستظهر الحلول المحتملة، انطلاقاً من الخبرات الحالية والسابقة، بوصفها مصدراً أساسياً للمقترحات الأولية. ويتطلَّب أيضاً إدراكاً لما تجب معرفته بغية وصف البنية المقترحة بتفصيل كافٍ لإجراء التقييم. ومن ناحية أخرى، تعتمد المقدرة على إجراء التقييم على المقدرة على رؤية المقترح وهو يعمل بنجاح ضمن المنظومة المتغيِّرة للظروف المادية والاجتماعية التي سوف يُشاد المبنى فيها. يبين الشكل 1.1 عملية الاختيار تلك والطريقة التي تؤدي إلى تحديد المعرفة اللازمة لها.



الشكل 1.1 العلاقة بين عملية الاختيار والمعرفة اللازمة لها.

سوف نبيِّن في ما بعد أن عملية الاختيار ليست مجرد تحليل للأداء المادي. فتقييم استجابة مقترح البناء لمنظومات الطبيعة المتغيِّرة، الفيزيائية والكيميائية والحيوية، أمر جوهري، إضافة إلى أن تشييد المبنى يحصل أيضاً ضمن بيئة اجتماعية وحضارية معينة. وسوف يكون من الواجب ضمان توافر الموارد والخبرة لتصنيع عناصر المبنى وتجميعها. وهذا يتطلَّب معرفة بالمنظومات الصناعية المتاحة. يُضاف إلى ذلك أن من الضروري التدقيق في تكلفة الحل وفي مفاعيله الاجتماعية والبيئية. وهذا يتطلب فهماً لكل من المنظومات الاقتصادية والاجتماعية التي سوف يُشاد المبنى ضمنها.

المقترح الأولي

إذا كانت العملية عملية اقتراح وتقييم، وكانت نقطة البداية هي المقترح، فمن الضروري معرفة كيفية وضع المقترح الأولي. فكيف نقوم بذاك التخمين الأول على أفضل وجه؟

في معظم الحالات، يقوم المقترح على أعمال سابقة، ولذا من الضروري امتلاك معرفة بالحلول الراهنة المنفَّذة، وبطريقة أدائها عملياً. إن ثمة أشياء نُفِّذت سابقاً في مكان ما يمكن أن تعطي فكرة عن كيفية صياغة الحل الجديد. وفي الحالات التي تكون فيها الاختلافات في ما بين الحلول محدودة، تكون الظروف الخاصة بها قد ظهرت مراراً في الماضي ووُضِعت لها حلول ناجحة. أما في ما يخص الحلول المستعملة والمختبرة جيداً، فيكفي أن تُقترح بعد إجراء بعض التقييم لضمان أن الظروف لم تتغير على نحو ملحوظ، وبعدئذ يمكن اعتمادها مباشرة. أما إذا كانت الظروف متغيرة، فإن الحلول الموجودة يمكن أن تكون أفضل نقطة انطلاق لوضع حلول جديدة. فهي لا تمثل أساساً جيداً للأداء فحسب، بل أساساً للموارد والخبرات المتوافرة لصنع وإنتاج المواد والمكوِّنات اللازمة لتنفيذ عملية التشييد. حينئذ يمكن التقييم أن يُدخِل تعديلاً في الحل من دون أن يُغيِّره جذرياً. وهذا يعطي مع مرور الوقت عدداً من الصيغ العامة التي يمكن اشتقاق الحلول منها.

وفي بعض الحالات، خاصة عندما تكون ثمة متطلبات مستجدة للمستفيدين من المبنى، أو عندما تكون بنية القاعدة الصناعية متبدِّلة، فقد يكون من الضروري استقصاء قاعدة صناعية أخرى مشابهة لها أو ذات صلة بها. وفي الحالات النادرة التي يجب فيها اشتقاق المقترحات من عمل صغير سابق، أو من اللاشيء، فقد يكون من الضروري إجراء دراسة وافية لسلوك المبنى.

وبرغم أن الخبراء غالباً ما يضعون مقترحاتهم بناء على معارفهم وخبراتهم، فإنه ليس من الضروري لهم، في حالات كثيرة، أن يعرفوا الكثير عن وضع المقترحات، لأن التقييم هو الذي يحتاج إلى الخبرة. أما في ما يخص المبتدئين والمراقبين العَرَضيين، فيمكن لهم أن يضعوا مقترحات تبدو رائعة، لكنهم لا يمتلكون عملياً طريقة لمعرفة إن كان المقترح قابلاً للتنفيذ أم لا. لذا يجب أن يكون ثمة خبير يكشف عن الإمكانات التي تنطوي عليها، ويُثبت صلاحيتها من

خلال التقييم. إن مقدرة الخبير على كشف إمكانات المقترح تنبع من مقدرته على القيام بتقييم تقريبي سريع قبل إخضاع ذلك المقترح إلى تحليل أكثر عمقاً وتخصُّصاً.

إجراء التقييم

يكمن نجاح عملية الاختيار التقاني في المقدرة على إجراء التقييم. ويتطلَّب إجراء سلسلة من التقييمات التحليلية معرفةً بها وبطرائق استعمالها، ويمكن التعبير عن ذلك بالإجابة عن السؤال التالي: لماذا لا نشيد المبنى وفقاً للمقترح المقدَّم؟

وفي حين أن المقترح والحل النهائيين يصفان المبنى بواسطة ما يبدو تفاصيل جامدة، فإن تقييم المقترح يجب أن يصف السلوك المتغيَّر للمبنى (هل سوف يُخفق؟) وعملية إنتاجه (هل يمكن تنفيذه؟).

تبدأ العملية بمذكرة يقدِّمها الزبون وتتضمن متطلباته، ثم يوضع التصميم وفقاً لتلك المتطلبات واستجابة للبيئة الاجتماعية والمادية التي سوف يُشاد المبنى فيها. ووفقاً لهذه المعايير يجري الحكم على إمكان حدوث الإخفاق. ثمة طرائق محتملة كثيرة لتشييد مبنى يُحقِّق مواصفات الأداء المنصوص عليها في مذكرة الزبون. أما معايير اختيار الحل التقني فتأتي من تعريف وظائف أجزاء المبنى ومدى إسهامها في وظيفته الشاملة.

ويجب فهم السلوك المتغيِّر للمبنى من خلال استجابته لتغيُّر الظروف، وذلك بغرض التنبؤ بأنماط إخفاقه المحتملة. ويجب تعريف أداء المبنى المقترح ثم اختباره ذهنياً بغية تحديد احتمال إخفاقه ضمن شروط التصميم المتفق عليها.

إن لمن السهل تصوُّر المبنى النهائي بوصفه مكوِّنات ومواد مجمَّعة، وبوصفه شيئاً جامداً. إلا أن اتخاذ القرار بخصوص بنيته التي سوف يجري اعتمادها يجب أن يكون متجذراً في فهمه بوصفه منظومة متغيرة تستجيب لتغيرات الظروف، ومفتوحة على الإخفاق في تحقيق الأداء المطلوب.

ومن الضروري أن نكون قادرين على دراسة المبنى بصفته المادية، إضافة إلى سلوكه ضمن الظروف التي عليه تحمُّلها في أثناء كونه في الخدمة الفعلية. فكلا الجانبين على القدر نفسه من الأهمية. إذا لم تكن صورة المقترح صحيحة، فإن سلوكه في أثناء التحليل يمكن أن يُفسَّر تفسيراً خاطئاً. وإذا لم تكن صورة سلوك

المبنى المتغيرة صحيحة، فإن ذلك قد يؤدي إلى اعتماد مقترح خاطئ. إن تصوُّر المبنى على أنه منظومة متغيِّرة يتضمن تحديد الجريانات والانتقالات التي يمكن أن تحصل ضمنه وعبره. وسوف نشرح هذه الأفكار في الفصل 7.

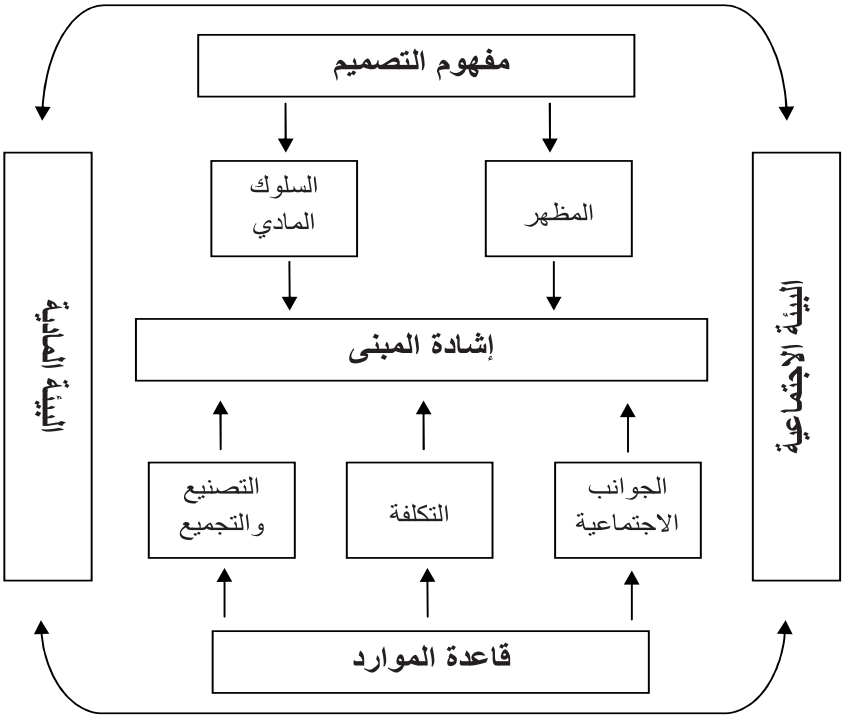
ويتطلَّب الاختيار من الناحية التقانية مهارات في تصوُّر المبنى ومنظوماته، فضلاً عن توصيف مفاهيمي لتأثير تلك المنظومات في المبنى، وذلك بغرض التنبؤ بسلوكه وتقدير مخاطر إخفاقه.

وإذا كان السؤالان الأساسيان يدوران حول إمكان إخفاق الحل المقترح وإمكان تنفيذه، فإن معيار الاختيار يأتي من فهم الجريانات والانتقالات المتغيرة المحتملة عندما يكون المبنى في الخدمة الفعلية، ومن الموارد المتاحة أيضاً. لا يتحقق الأداء الصحيح للمبنى إلا إذا كانت الموارد اللازمة لتشييده متوافرة. وهذا يعتمد على توافر إمكانات تصنيع مكوناته وتجميعها، وعلى وجود خبرة تصميمية أيضاً، وعلى الخيارات المتوافرة لصيانته والتخلُّص منه بعد انتهاء حياته العملية. يُضاف إلى ذلك أن توافر تقنيات الإنتاج والخبرة بها ضروريان ليكون المقترح النهائي ناجحاً في الواقع كنجاحه على الورق.

ومع انبثاق مفهوم التصميم، من الضروري التساؤل عن حلول البناء التي يمكن استعمالها لتحقيق متطلبات التصميم. وحينئذ من الضروري التساؤل عن إمكان تنفيذ هذا الحل بالتقانات والموارد الراهنة وضمن حدود الإمكانات المالية والبيئية والزمنية. إن توافر الموارد يجعل التصميم حقيقة، والتقانة هي التي تتوسَّط بين تلك الموارد وبين تحويل التصميم إلى تلك الحقيقة.

ويمكن القيام باختيارات قد تتطلب توسيعاً لمعارف الإنتاج والتصميم الراهنة، وهذا ما يجب إدراكه والقبول بجميع التكاليف التي يمكن أن تترتَّب على صنع النماذج والتدريب قبل القيام بالاختيار النهائي.

ويؤثِّر مفهوم التصميم والموارد المتاحة في نوع الخيار المعتمَد. ويظهر الشكل 2.1 هذين الجانبين اللذين يجب أن يُستوعَبا تماماً قبل البدء بأي تحليل يؤدي إلى الاختيار النهائي لمقترح البناء.



الشكل 2.1 إطار عمل التحليل.

البيئة المادية والاجتماعية

يشير الشكل 2.1 أيضاً إلى أنه قبل القيام بأي اختيار لمبنى معين، من الضروري فهم شيء عن البيئة التي سوف يُبنى ضمنه. فيجب أن يكون ثمة بعض المعرفة بالظروف القائمة في مكان ووقت تشييد البناء، مع بعض التقديرات بشأن الكيفية التي يمكن بها لتلك الظروف أن تتغير في المستقبل.

ثمة للمبنى تأثير في المحيط الذي يُشاد فيه. لذا فإن هناك حاجة إلى بعض الوصف لهذا المحيط، وذلك لأغراض التحليل التقني والاجتماعي والاقتصادي. ويمكن تمثيل المحيط بسلسلة من البيئات المادية والاجتماعية. وتتضمن البيئة المادية الطبيعة والمناخ اللذين يطبِّقان قوى ضغط على المبنى. وهاتان البيئتان توفران المواد الخام، ويمكن أن تتأذيا من عملية البناء ومن استعمال المبنى. وتشتمل البيئة المادية أيضاً على الأنشطة المحيطة بالمبنى، ولذا يجب أن يأخذ

تصميمه في الحسبان المباني والفضاءات والأشياء الأخرى الموجودة في محيطه.

ويولِّد الناس، مع منظوماتهم الاجتماعية والاقتصادية والسياسية، البيئة الحضارية. وعلى هذه البيئة أن تحقِّق المتطلبات المحلية والوطنية، وحتى العالمية، الخاصة بالمعتقدات بالرؤية العالمية الأساسية للعلاقة بين الأفراد والمجتمع والمكونات الأخرى للعالم الطبيعي.

لقد جرى تسليط الضوء على التأثيرات المتبادلة في ما بين هاتين المجموعتين من البيئات في بداية القرن الحادي والعشرين من قبل حركة التطوير المستدام (movement for sustainable development). فإدراك أن التطوُّر لا يمكن أن يستمر من دون النظر إلى تأثيره في البيئة الطبيعية، إضافة إلى الاعتبارات الاقتصادية والاجتماعية الراسخة، يستدعي معرفة جديدة بقضايا اختيار المواد واستعمال الطاقة والتخلُّص من الفضلات في المبنى الذي نختاره.

لذا فإن النظر إلى هاتين المجموعتين البيئيتين على نحو منفصل ينطوي على مجازفة. ومع ذلك يبقى من المفيد النظر إليهما على أنهما تتصفان بمفاعيل مختلفة، لأن من الضروري عموماً أن يكون ثمة فهم للبيئة المادية عند الإجابة عن الأسئلة التقنية، في حين أن تقييم فرص تطبيق الحل بنجاح يتطلب فهماً للمجتمع ولمنظوماته الاقتصادية والسياسية.

أسس التحليل

بعد تعريف مفهوم التصميم وقاعدة الموارد على أنهما يوفِّران معايير الاختيار، وبعد إدراك الحاجة إلى فهم البيئة المادية والاجتماعية التي نبني ضمنها، من الممكن تحديد خمسة مجالات من التحليل، وفقاً للمبين في الشكل 2.1.

يُعتبر مفهوم التصميم ترجمة للمتطلبات المادية والاجتماعية المتمثِّلة في تشغيل المبنى بأسره وفقاً لخطة تعرِّف وظيفة وأداء كل جزء من أجزائه. وبغية تحقيق ذلك، يجب أن يفصِّل مفهوم التصميم كلاً من ترتيبات الأماكن المختلفة في المبنى ومظاهرها، والإسهام التقني لكل جزء منه في تكوين الظروف الداخلية والحفاظ عليها.

ثمة اختباران في الشكل 2.1 يجب تطبيقهما على المقترح لرؤية إن كان منسجماً مع مفهوم التصميم:

- هل يعطي **السلوك المادي** الموصَّف في التصميم مبنى يحقِّق الوظائف بمستوى الأداء المطلوب؟
- هل يوفِّر **صفات** المظهر الصحيحة؟

ويتضمن اختبار السلوك المادي ثلاثة مجالات مختلفة من التحليل:

- البيئات المولِّدة له
- تغيُّره تحت الحمل
- تغيُّره مع مرور الوقت

ويجب تطبيق الاختبارات الثلاثة المبينة في الشكل 2.1 على المقترح لرؤية إنْ كان قابلاً للتنفيذ بواسطة الموارد المتاحة:

- هل يمكن إنتاج المبنى، بما في ذلك تصنيعه وتجميعه وصيانته والتخلُّص من بقاياه بعد انتهاء حياته بالمهارات والخبرات المتوافرة في مدة معقولة وبالجودة المطلوبة؟
- هل الموارد متوافرة **بتكلفة** معقولة؟
- هل سوف يكون المبنى متوافقاً مع **الاعتبارات الاجتماعية** الراهنة؟

تتصف تلك الموارد بأنها طبيعية (من البيئة) واجتماعية، ولذا يجب أن يخضع كلا النوعين لعملية التقييم. طبعاً، الشيء الوحيد الممكن هو استعمال الموارد التي توفرها الطبيعة. لكن مستوى التطوُّر الاقتصادي في المجتمع يوفِّر المقدرة على معالجة المواد وعلى تطوير المهارات والأدوات الضرورية لتشغيلها، والمقدرة الفكرية على القيام بالتصميم وتوفير رأس المال لاستثماره في مشروع تشييد المبنى نفسه. لذا فإن كلاً من الخواص التقنية للمواد، وتوافر المعرفة اللازمة لاستغلالها، إضافة إلى أي مفعول بيئي ينجم عن استعمالها، يجب أن يُحلَّل في عملية تقييم الصيغة المقترحة للمبنى.

وتتصف مجالات التحليل السبعة تلك (ومن ضمنها مجالات السلوك المادي الثلاثة) بأنها مستقلة عن بعضها إلى حد كبير، وكل منها يحتاج إلى أدوات وقاعدة معرفة خاصة به كي يُطبَّق بنجاح. ويمكن تحليلاً معيناً أن يشير إلى الحاجة إلى تغيير في المقترح، وقد يُبطل هذا التغيير جانباً من تحليل آخر للمقترح. لذا لا

يمكن اعتماد مقترح الحل النهائي حتى إثبات أن جميع أوجه تحليله مُرضية.

ويجب تطبيق أوجه التحليل السبعة تلك على جميع جوانب مقترح المبنى، من المنظومة الإنشائية الشاملة حتى أدق التفاصيل، مثل البرغي الذي يثبت آخر قطعة من إنهاءات الجدار. ومن الواضح أن عملاً من هذا القبيل سوف يكون هائلاً إذا كان من الواجب تنفيذه من أجل كل مبنى يُطلب تشييده. إلا أن النهج المتبع اليوم يمكن أن يوفِّر معلومات عن كثير من عملية الاختيار. وأحد أهم القرارات التي يتخذها الخبراء، من بين ألوف الخيارات الممكنة لتوصيف المبنى توصيفاً تاماً، هو ما يخص أكثر مجالات التحليل أهمية لتطبيقه على كل جزء من أجزاء المبنى المختلفة. أين تقع أعلى مخاطر الإخفاق احتمالاً إذا لم يحصل التمعن في التحليل بعمق؟

ليست طريقة إصدار الخبراء لأحكامهم على ذلك واضحة. وأحد تعليلات ذلك هو أنهم حينما ينظرون في مقترح ما يقومون بالعديد من الفحوصات السريعة وفقاً لتلك المعايير السبعة المذكورة آنفاً. وبناء على معارفهم وخبراتهم، يستنتجون ما هو موجود ضمن حدود الإخفاق [المقبولة]، والجانب الذي ينطوي على مخاطر إخفاق كبيرة.

المعرفة اللازمة للقيام بالاختيار

أصبح من الممكن الآن البدء بتحديد المعرفة ومجالات الفهم التي يجب تطويرها بغية القيام بالتقييم الشامل. وبرغم أن ثمة جوانب معرفية متعددة تُستعمل بتراكيب متنوعة في مجالات التحليل المختلفة، فإنه يمكن وضع لائحة أولية بتلك الجوانب التي توجد حاجة إليها:

- تحديد مستويات الأداء الصحيح لتكون معياراً للتقييم.
- تحديد الظروف التي يجب تحقيق الأداء السليم ضمنها.
- تحديد السلوك الأساسي للمبنى الذي يمكن أن يؤدي إلى الإخفاق في تحقيق متطلبات الأداء.
- تحديد خواص المواد التي سوف تحكم السلوك الذي يمكن أن يؤدي إلى الإخفاق.

- التمعُّن في سلوك تراكيب معينة للمواد وفي تفاصيلها ضمن الظروف المفترضة.
- تحديد عملية التصنيع والتجميع، إضافة إلى الموارد اللازمة لتشييد المبنى ضمن حدود الجودة والمدة والتكلفة والأمان المقررة.
- تحديد التكلفة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية المترتبة على استعمال شكل معين من البناء.

وتقتضي عملية التقييم دراسة المبنى بعدة طرائق. ففي حين أن المبنى النهائي سوف يُرى على أنه بنية مادية مكوَّنة من لبنات وطينة، فإن من الضروري دراسته بطرائق أخرى حين إجراء التقييم. فأولاً يجب النظر إلى المبنى من ناحية تحقيقه لمجموعة من الوظائف ضمن مستويات محددة من الأداء. وعند التقييم، يجب النظر إلى المبنى على أنه مجموعة من المنظومات المادية التي تستجيب إلى الظروف المتغيرة. بعدئذ يجب النظر إلى المبنى بوصفه سلسلة من الموارد وعمليات الإنتاج اللازمة لتنفيذ التصميم. وتترتب على ذلك كله عواقب اقتصادية وبيئية واجتماعية يجب فهمها. وحين السيطرة على كل تلك الأشياء، يمكن القيام بالاختيار مع تقدير المخاطر، لكن بشيء من الثقة بنجاح تشييد المبنى.

الخلاصة

1. عملية الاختيار هي عملية اقتراح وتقييم تتطلب معرفة بإشادة المبنى المادي وبالمنظومات البيئية المتغيِّرة التي سوف يُبنى فيها ويُستعمل ضمنها.

2. تعتمد طريقة وضع المقترح، والمدى الذي يجب أن يقيَّم وفقاً له، على حجم وطبيعة الاختلافات التي ينطوي عليها، مقارنة بالممارسات العملية القائمة اللازمة للتصميم أو الخاصة بالموارد المتوافرة.

3. عندما تكون الحاجة إلى المباني متغيرة في بيئة تقنية سريعة التطوُّر، يتغير دور الخبرة من تكرار استعمال الحلول المعروفة إلى مكاملة الخبرة مع عملية التحليل، وذلك بغية تحري إمكانات الإخفاق في الحلول المعدلة أو الجديدة قبل تشييدها.

4. يحدِّد التصميم وتوافر الموارد معايير التقييم. لذا يجب وضع تلك المعايير تبعاً لكل من البيئتين المادية والحضارية اللتين سوف يُشيد المبنى فيهما.

5. قد يقوم المقترح على نماذج سابقة، وهذا يؤدي إلى صيغ عامة يمكن اشتقاق حلول معينة منها.

6. يجب إجراء التقييم وفقاً لسبعة مجالات من التحليل: المظهر، والبيئات المولِّدة للسلوك، والسلوك تحت الحمل، والسلوك مع مرور الوقت، والتصنيع والتجميع، والتكلفة، والاعتبارات الاجتماعية.

7. وهذا يتضمن رجوعاً مستمراً إلى اعتبارات التصميم والإنتاج. والمهم هو الحل الذي لا يُخفق والذي يمكن تنفيذه.

الفصل الثاني
الغرض من المبنى وأداؤه

تُستعمل التقانة للتوسُّط في ما بين المحيط الطبيعي كما هو والمحيط الذي نرغب فيه. وهذا الفصل يوسِّع تلك الفكرة، مع تركيز الاهتمام في رغبات المستعملين وأنشطتهم، وتعريف الوظائف المتوقعة من المبنى، وكيفية ترجمة ذلك إلى عملية اختيار مقترح لإشادته.

الأنشطة وأمكنتها والتشييد

غالباً ما توصَّف المباني بالغرض النهائي منها أو بوظيفتها العامة: منزل، مصنع، مستشفى، سجن... إلخ، وهي غالباً ما تكون واضحة المعالم برغم إمكان اختلاف بنياناتها المعمارية (architecture). ولمعرفة نوع المبنى الذي سوف يُشاد، من الضروري معرفة الأنشطة اليومية التي سيُقام المبنى من أجلها. ويجب أن يؤدي المبنى دوره في ضمان سلامة تلك الأنشطة. وتقترن فكرة السلامة عادة بالأشخاص الذين يستعملون المبنى، إلا أن المبنى يجب أن يحمي التجهيزات المستعملة فيه أيضاً، وأمكنة الخزن المقترنة بالأنشطة التي تحصل فيه. ويجب أن تتضمن سلامة الناس متطلبات المالك والعموم، لأن المباني هي مؤسسات اجتماعية، وهي تولد الفضاءات المحيطة بها.

يُشغل الناس معظم الأماكن في المباني، لذا تصبح الاعتبارات الخاصة بسلامتهم الجانب المهيمن في أدائها. وفي بعض الحالات، تهيمن تجهيزات المبنى، كمثل غرف الحواسيب، أو المخازن المبرّدة أو ذات القناطر على المتطلبات. أما التصميم بغرض سلامة الناس فيتركَّز جوهرياً في الصحة والأمان والراحة. والصحة تعني هنا الصحة الجسدية والعقلية، وكلاهما تابع للظروف المادية والاجتماعية التي يولِّدها المبنى.

ويمكن مالك المبنى أن يرى شيئاً فيه يتجاوز مجرد الدعم البسيط للأنشطة التي تحصل فيه، ومن أمثلة ذلك صورته ومكانته. فللمحيط الذي تحصل فيه الأنشطة أهمية بالغة، ويجب أن يمثِّل واحدة من سمات التصميم.

وتُطوِّر المجتمعات، مع مرور الوقت، صيغاً عامة للمباني للأغراض المختلفة، وتُصبح تلك الصيغ مميَّزة في تلك المجتمعات بسبب حجومها وترتيبات الأماكن الداخلية فيها والحالة الاجتماعية التي تعبر عنها. ومع انبثاق صيغ البناء تلك تظهر حاجة إلى تطوير حلول تشييد ملائمة لها. ثمة مزيد من التفاصيل لهذه العملية في الفصل 3، أما في هذا الفصل فسوف نستقصي أولاً الطيف المعقَّد لقضايا الأداء التي تنجم في المقام الأول عن احتياجات المالك والمستعملين، وعن التشريعات التي تضعها الحكومة نيابة عن المجتمع بأسره.

مقدمة لمتطلبات الأداء

من أجل استقصاء طيف قضايا الأداء، من المفيد الانخراط في تجربة ذهنية. والحالة التي سوف نتخيَّلها هي حالة لا توجد فيها حضارة بالشكل الذي نعرفه، وتقتصر غايتنا على توفير مأوى للسكن فيه. ويدور الحوار حول بضعة مصادر للمواد واليد العاملة والخبرة. وثمة أيضاً تطوير لمنظومة اقتصادية بسيطة تقع عمليتا التصميم والإنتاج فيها على عاتق المستعملين أنفسهم. تبدأ التجربة الذهنية بالتساؤل عن نوع الأداء الذي يسعى المستعمل إلى تحقيقه أولاً. ثم يمكن توسيع التجربة مع الزمن، بافتراض ازدياد الموارد والأنشطة الاجتماعية، وبإدخال متطلبات إضافية ترفع من قيمة المبنى ومن قابلية استعماله، وتحسِّن من ظروف السلامة فيه.

بإجراء هذه التجربة الذهنية سوف يكون من الممكن تحديد احتياجات المستعمل ومن ثَمَّ الوظائف التي يريد أن يحقِّقها المبنى. ونظراً إلى أن المستعمل هنا هو المصمِّم والبنَّاء، في البداية على الأقل، فإن عليه اتخاذ جميع القرارات بشأن المبنى. بذلك فإن التجربة يجب أن تبدأ بتكوين الأفكار والمعرفة التي سوف تكون ضرورية لاتخاذ القرارات بشأن إشادة المبنى. إن جميع تلك المسائل والعوامل التي ذكرناها هنا ما زالت هامة اليوم أيضاً.

البداية

بافتراض عدم وجود مخاطر هجوم عدواني مباشر، يمكننا افتراض أن الناس ينظمون مسعاهم التقاني بالطريقة التالية؛ أولاً سوف يركِّزون اهتمامهم في مجال

الأنشطة اليومية التي تحصل في المأوى. ومن المحتمل أن تكون تلك الأنشطة في البداية قليلة جداً، وربما تقتصر على النوم فقط، في حين أن معظم الأنشطة الأخرى تحصل في الخارج، تبعاً للمناخ السائد. وهذا يحدِّد حجم المأوى وتقسيماته الداخلية التي يجب إجراؤها. ومن الواضح مباشرة أن متطلبات الحجم والشكل تلك سوف تكون محدودة بصيغ المباني المتوافرة في البيئة عينها. وقد يكون من الضروري اتخاذ قرارات بخصوص مقدار الجهود الواجب بذلها في تطوير مبنى يتوافق مع التطلعات، أو الاقتصار على استعمال الموارد المتاحة لتحقيق الحاجات الملحة فقط.

من أهم المتطلبات التي يجب أن تحقِّقها بنية المبنى أن تبقى جافة، وهذا شرط جوهري لصحة الناس وراحتهم، ولخزن كثير من المنتجات الطبيعية. ويترافق ذلك بضرورة أن يكون المبنى دافئاً أيضاً، ويمكن تحقيق ذلك في البداية باستعمال تقانات مختلفة، منها الملابس والنار، برغم أن ذلك لا يقترن بالضرورة ببناء المأوى.

وبعد تكوين فكرة عن المبنى مباشرة، تواجه البنَّاء مسألة تحقيق بنية مستقرة، وتحديد المدة التي سوف تعيش خلالها. صحيحٌ أن المباني تُشاد بغية السيطرة على البيئة، إلا أن وجودها بحد ذاته يتطلب النظر في استقرارها ووثوقيتها كي تكون مُرضية للمستعمل. وهذا يقتضي تحديد أنماط الإخفاق الممكنة فيها. لذا، وفي هذه المرحلة المبكرة، يجب تحديد الكيفية التي يمكن أن يحصل بها تسرب الماء إلى المبنى مثلاً، أو أن ينهار بها. إن فهم الطرائق التي يمكن الأداء أن يتدهور بها جوهري في توجيه الجهود إلى جوانب هامة من الحل. ويمكن أن يؤدي ذلك إلى طرح بعض الأسئلة عن الصيانة الضرورية في المستقبل وعن الأجزاء التي يجب تجديدها بغية الاستمرار بالأداء المطلوب إلى أن تنتهي مدة حياة المبنى ويُهجَر أو يُهدم ليُشاد محله مبنى جديد.

ويمكن أن تكون ثمة حاجة أيضاً إلى بعض المعرفة بالظروف البيئية التي على المبنى أن يحافظ على أدائه ضمنها. وتلك المعرفة ضرورية ليس للسيطرة على البيئة فحسب، بل لتحقيق الاستقرار والوثوقية أيضاً. وتُصبح هذه النقاط الثلاث مفتاح مسألة الأداء المادي. ويجب تقدير الظروف المناخية الخارجية مثل تكرار هطول الأمطار وكمياتها بغية تحقيق وظائف الحماية منها. ويجب تقدير سرعات واتجاهات الريح المؤذية بغية تحقيق استقرار المبنى. فمن الواضح أن الحماية من الريح هي

عامل رئيسي في الحماية المناخية. ويتمثَّل بعض أكثر الظروف المناخية قسوة بالأمطار المترافقة بالرياح. لكن ليس من الممكن تحديد الجوانب البيئية التي تجب معرفتها لتقدير تحمُّل المبنى إلى أن يُتَّخذ قرار ما بشأن المواد التي سوف يُشاد منها. فثمة عوامل إتلاف معينة في الطبيعة تؤدي إلى اهتراء المواد المختلفة. لذا فإن تحديد الصلة بين المادة وسبب تدهورها هو مسألة إضافية يجب يحلها من خلال البحث عن المعرفة الضرورية للاختيار الصحيح لمواد البناء.

ويكشف هذا التقدير للظروف المناخية الخارجية بوضوح عن أنه غالباً ما تتحسَّن الظروف الشديدة القسوة في المناطق المفتوحة بواسطة الخصائص الطبيعية المحلية، وأنه يمكن تعديل تعرُّض المبنى لها بطريقة توضيعه وتوجيهه التي يمكن أن تحد من المتطلبات التي على المبنى تحقيقها والتي يمكن أن تؤدي إلى ظروف داخلية أفضل.

الخطوات التالية

ومع ازدياد عدد الأنشطة التي تحصل ضمن المبنى، يحتل توفير الهواء الجيد المرتبة التالية من حيث الأفضلية، وذلك لتحسين الظروف فيه. ولعل هذا هو متطَلَّب الصحة والراحة الهام التالي بعد الجفاف والتدفئة.

ولعل أفضل حل لتحسين جودة الهواء هو التهوية، لأن ثمة كثيراً من الهواء الجيد في الخارج. إلا أنه يجب الانتباه أيضاً إلى أن الهواء في الخارج يمكن أن يكون بارداً، وأن هذا يمكن أن يجعل متطلب التدفئة أصعب تحقيقاً. وقد يعني هذا أن حل الهواء الخارجي قد لا يكون ممكناً إلا إذا كانت درجة حرارة الهواء في الخارج عالية بقدر كافٍ، وكان الهواء في الداخل سيئاً جداً. وبافتراض عدم توافر الخدمات النشطة (active services) في المبنى، سوف يكون من الضروري استعمال التهوية الطبيعية اعتماداً على ضغوط الريح حول المبنى. وقد يكون من الضروري إنشاء فتحات لضمان مبادلة الهواء، وحينئذ يجب أخذ مواقعها ومقاساتها في الحسبان. وقد يكون من الممكن تحقيق درجة من التحكُّم في جريان الهواء بواسطة المغاليق، ويمكن الفتحات أن تتحوَّل في النهاية إلى مداخن معقدة، إلا أن التاريخ يقول إن ذلك قد أتى في وقت متأخر كثيراً.

ومن الضروري الانتباه إلى أن تلوُّث الهواء هو نتيجة مباشرة لجعل المبنى جافاً ودافئاً. إن الهواء في الخارج جيد بالتأكيد تقريباً، إلا أنه يجب ألاّ يغيب عن

البال أن المبنى نفسه يمكن أن يخلق ظروفاً غير مرغوب فيها. فالتغيُّرات التي تُدخَل فيه بغية تحقيق متطلبات جديدة يمكن أن تغيِّر الظروف التي كانت مقبولة سابقاً. وقد حصل ذلك في نهاية القرن العشرين حينما جرى تحقيق متطلب الاقتصاد في استهلاك الطاقة باستعمال العزل الحراري. وأدى ذلك، ضمن بعض الظروف البيئية القائمة، إلى تكاثف البخار المناقض لمتطلب الحفاظ على الجفاف. ونجمت عن ذلك مشكلات صحية لمستعملي المباني.

ويمكن إدخال متطلبات جديدة أن يؤدي أيضاً إلى إخفاقات في المبنى لم تحصل من قبل. ويتجلى ذلك في مثال التكاثف، حيث سبَّبت الرطوبة مشكلات صحية إضافة إلى تدهور في مواد البناء نفسها. من الممكن في التجربة الذهنية هذه توقُّع مشكلة مشابهة في محاولة لتحسين جودة الهواء الداخلي. ففي ضوء الافتقار إلى مؤسسة تُنتِج مواد ذات خواص جيدة، فإن المبنى سوف يُصنع بالتأكيد تقريباً من مواد عضوية غير معالَجة. وفي هذه الحالة يمكن توقُّع أنه إذا احتوى الهواء على مركِّبة كبيرة من الدخان مثلاً، فإن الدخان سيكون قد تغلغل في بنية المبنى، وأن تلك المواد العضوية قد أُشبِعت به. وهذا ما يمنع تعشيش الحشرات والطيور في المبنى، ويدرء نمو الفطريات التي تعزِّز تدهور مواد البناء. من ناحية أخرى، يمكن تحسين جودة الهواء أن تغيِّر الظروف ضمن بنية المبنى نفسها، وهذا ما قد يسمح لعدد ملحوظ من بعض عوامل التلف الطبيعية بالنمو، مقلِّصة بذلك مدة حياة المبنى.

المزيد من المتطلبات المادية

تستمر هذه التجربة الذهنية مع افتراض أن ليس ثمة من تهديدات كبرى للأمن. وهذا يؤدي حتماً إلى اختلاف في الموارد اللازمة، ويمكن أن يغيِّر الأفضليات لدى الأفراد أو المجتمع في السعي إلى إدخال تحسينات في مبانيهم، قد تؤدي إلى صيغ جديدة لها تنطوي على مواصفات دفاعية أيضاً.

وبافتراض أن البيئة الاجتماعية آمنة، قد يكون من الصعب تحديد الأفضلية التالية. وقد تكون الحشرات والحيوانات الصغيرة، التي يمكن أن تنجذب إلى البيئة الداخلية المحسَّنة وتعشِّش فيها، هي المشكلة. لكن في حالة انعدام وجود أي مهددات للصحة، وبوجود ظروف عيش قاسية للحشرات والحيوانات الطفيلية، يمكن التساهل بشأن تلك الأمور. وحينئذ، يمكن إجراءات مكافحة الحيوانات التي هي أكبر، إذا لم تكن قد اعتُبرت مهدداً فعلياً من قبل، أن تصبح ذات أهمية. إلا

أنه من الضروري في مرحلة ما إدراج مكافحة تعشيش الحشرات والحيوانات الطفيلية ضمن لائحة المتطلبات التي يجب على المبنى تحقيقها لتحسين السلامة العامة. وهذا جزء من المتطلب الأشمل الذي ينطوي على ضرورة الحفاظ على داخل المبنى نظيفاً. يُضاف إلى ذلك أن السطوح الداخلية الناعمة والخالية من الغبار، والتي يمكن مسحها، تصبح صفات مرغوباً فيها عندما تكون النظافة الشديدة هامة لصحة المستعمل وراحته.

بعد تأمين الهواء الجيد النظيف، يمكن إدخال تحسينات أخرى في المبنى. فهناك حاجة إلى الإضاءة لتحسين مستوى الراحة، ولتوسيع مجال الأنشطة التي يمكن القيام بها ضمن المبنى. والخيار حينئذ يقع بين وسائل الإضاءة الطبيعية والصنعية. تتضمن الإضاءة الطبيعية الفتحات (النوافذ)، في حين أن الإضاءة الصنعية لا تتطلب سوى مكان آمن يستوعب ما يمكن أن يكون مصدراً مستقلاً للضوء. ومع أن ذلك المصدر مستقل عن عملية البناء، فإنه يؤثر في المبنى من خلال مفعوله الرئيسي في زيادته لخطر نشوب الحريق. ومع أن من غير الممكن زيادة مقاومة كامل المبنى للحريق في هذه المرحلة، فإن من المعقول استعمال مواد غير قابلة للاشتعال في المكان الذي سوف يُركب فيه مصدر الضوء على الأقل.

هنا نرى استعمالاً متزايداً للتقانات على نحو مستقل عن المبنى، تلك التقانات التي يرى فيها المستعمل منفعة لسلامة أنشطته التي تؤثِّر بدورها في الوظائف المطلوبة من المبنى نفسه.

وثمة متطلب آخر يخص الحد من الضجيج. يصبح الضجيج الخارجي مزعجاً طبعاً إذا تداخل على نحو ما مع الشعور العام بالراحة. ويمكن أن يكون ثمة ضجيج داخلي مزعج إذا احتوى المبنى على غرف خاصة بأنشطة معينة من قبيل غرف آلات الخدمات. ويمكن الضجيج الصادر عن أحد الأنشطة أن يكون غير متوافق مع الظروف الضرورية لنشاط آخر. ويُعتبر الضجيج مشكلة ناجمة عن التمدُّن، خصوصاً في المجتمعات التي تمتلك تقانات متقدمة. ويبدو أيضاً أن للضجيج جذوراً ثقافية من حيث الموقف تجاه انتهاك حقوق الناس وخصوصياتهم.

زيادة تعقيد الاعتبارات التقنية

من المفيد النظر إلى الأداء تجاه الضجيج من جانب مختلف. فقد تكون هناك حاجة إلى تعديل انتشار الصوت في ما بين الخارج والداخل، برغم أن المواد

المستعملة للأغراض الأخرى تتصف فعلاً بمقدرة كافية، إن لم تكن زائدة، على القيام بوظيفة العزل الصوتي. عندما تكون متطلبات الأداء قليلة، فإن الصيغة النهائية للمبنى تكون محكومة ببضعة متطلبات وظيفية فقط. لكن مع ازدياد عدد الوظائف ومستويات الأداء المطلوبة، يصبح من الصعب توفير حل بسيط للبناء. وتصبح الحلول المركبة ضرورية باستعمال مواد متنوِّعة لتحقيق الوظائف المختلفة عند مستويات الأداء المطلوبة.

ويصبح التحليل الدقيق لما يُسهم به كل جزء من المبنى في تحقيق الوظيفة العامة أكثر صعوبة. وتظهر المشكلة حين اقتراح إدخال تغييرات فيه. لذا من الضروري ضمان أن لا يجعل إدخال أي تغيير في المبنى أداءً كان مقبولاً في السابق حرجاً، ولا يؤدي إلى إخفاق المبنى في تحقيق وظيفته على نحو غير متوقع. ومن أمثلة ذلك أن التوجُّه نحو الجدران الخفيفة في المنازل قد قلَّص عزلها الصوتي بسبب خفة وزنها وتغيُّر ترددات اهتزازها الطبيعي. لقد كان الوضع في الماضي أكثر من مُرضٍ، لأن الجدران كانت أسمك، وكانت تُصنع من مواد أعلى كثافة، ولأن الحل الخفيف والرخيص ليس ملائماً للحالات التي يُعتبر العزل الصوتي فيها أمراً مسلَّماً به.

وتقود الحاجة إلى مبانٍ مركَّبة إلى البحث عن مواد ذات خواص متوافقة مع الوظائف المطلوبة من تلك المباني. ويُمكِّن تصنيع أو معالجة هذه المواد من تحقيق تلك الخواص بدقة أكبر. وهذا لا يغير من إمكان تحسين أدائها فقط، بل يؤثر في موارد إنتاجها أيضاً.

ويمكن تغيير المواد وطرائق تصنيعها أيضاً لتحقيق مبانٍ أقل تكلفة. ليس المقصود بهذا التغيير تحسين الأداء، بل السعي إلى تحقيق تسهيلات في الإنتاج وتخفيضات في التكلفة. لكن ذلك قد يؤدي إلى تدهور في أداء حلول كانت مُرضية من قبل. لذا فإن على المسؤولين عن اختيار الحل إعادة تقييم الإخفاقات المحتملة إذا حصل تغيير في المبنى بغرض مكاسب في الإنتاج أو تخفيضات في التكلفة.

أخذ المستودعات والتجهيزات في الحسبان

إن المتطلبات البيئية التي جرى تقديمها هي المتطلبات الضرورية للحفاظ على سلامة الناس الذين يستعملون المبنى، ويمكن تلخيصها بما يلي:

- الجفاف
- الدفء
- النظافة
- الإضاءة
- الهدوء

وبالتدقيق في هذه اللائحة يتبين أنها تنطبق بالقدر نفسه أيضاً على سلامة التجهيزات والمواد المخزونة بعد إدخال تعديلات طفيفة عليها (مثلاً، يُغيَّر مفهوم التدفئة ليأخذ معنى أكثر شمولية من قبيل التحكُّم في درجة الحرارة). ويمكن الشروط الداخلية لأماكن للتجهيزات والخزن أن تكون مختلفة، وقد تكون ضارة بالصحة، ومن أمثلتها درجة حرارة الخزن المنخفضة. ومع ذلك فهي ما زالت تتطلب النوع نفسه من وظائف المباني. يُضاف إلى ذلك أنه سوف تكون ثمة تغيُّرات في المتطلبات بسبب تغيُّر مواصفات البيئة الداخلية، برغم أن الظروف الخارجية تبقى نفسها. ففي مثال الخزن البارد، سوف تكون متطلبات العزل مختلفة.

وأهم من هذا هو أنه سوف يكون للتجهيزات والمواد المخزونة، إضافة إلى الأحياء الموجودين في المبنى، إسهام في البيئة الداخلية من حيث الضجيج والرائحة والحرارة والأدخنة وغيرها. وقد يكون مطلوباً من المبنى أن يُلطِّف من هذه الملوثات من خلال عزل أمكنة العيش عن أمكنة الخزن بواسطة جدران فاصلة. ويمكن استعمال تقانات مختلفة في المكان نفسه، لتبريد الطعام مثلاً، اعتماداً على مبدأ تبخُّر الماء من مسامات قِدر أو بواسطة براد. لكن التقانات المختلفة يمكن أن تؤثِّر في الظروف الداخلية. وفي مثال تبريد الطعام، يُطلِق القِدْر المسامي بخاراً، وينشر البراد سخونة. ويمكن لإحكام سد المبنى، بغية تقليص الفقد الحراري من خلال التبادل الهوائي، أن يؤدي إلى تراكم البخار (حتى من تنفس الناس فقط)، وهذا ما يزيد من إمكان التكاثف. لذا يجب أن تكون تلك التغيرات في البيئة الداخلية، الناجمة عن القاطنين وعن التجهيزات التقانية المختلفة في المبنى، جزءاً من التحليل.

صحيحٌ أن لائحة المتطلبات البيئية الخاصة بالناس تشتمل أيضاً على جميع الظروف المقترنة بالتجهيزات وأماكن الخزن في المبنى، إلا أنها يمكن ألا تكون كاملة في بعض الحالات. فلبعض التجهيزات الحديثة متطلبات تشغيل معينة، منها الاحتياطات من الكهرباء الساكنة مثلاً، مع أن تلك الاحتياطات لا تُعتبر ضرورية

لسلامة الناس حالياً. إن ما يجب تحقيقه هو حل متوازن يضمن سلامة كل من الناس والتجهيزات والعمليات المقترنة بالأنشطة التي يُشاد المبنى من أجلها.

ما الذي يمكن اعتباره مقبولاً؟

ينطوي تحديد مستويات الأداء على تعريف ما هو المقبول. ما هي الحدود التي تُعتبر ضمنها الظروف الداخلية عادية ويجب الحفاظ عليها؟ ما هي الظروف الخارجية التي يجب أخذها في الحسبان في التصميم؟ تجب الإجابة عن هذين السؤالين من حيث المخاطر وعواقبها. فالحالات الشاذة النادرة، التي تنطوي على عواقب خطيرة على سلامة الأنشطة والممتلكات، يجب أن تُؤخذ في الحسبان. ويجب الأخذ في الحسبان أيضاً الحوادث الكثيرة التكرار، حتى لو كانت تنطوي على عواقب أقل خطورة. ليس هذا مستقلاً عن الموارد الاقتصادية المتاحة، وعن المواقف الاجتماعية. فالزلازل تحصل في كثير من أنحاء العالم، لكن إشادة المباني من أجل تقليص مخاطرها يرفع التكلفة إلى حد يتجاوز إمكان تعميمها على جميع فئات المجتمع. وقد كانت ثمة ظروف مشابهة في الماضي بخصوص الحرائق التي تحصل في المباني. لكن ازدياد توزُّع الثروة في المجتمع أثَّر في ما يمكن اعتباره مقبولاً، وعكس الرغبة في مزيد من متطلبات أداء المباني المتوقّعة.

وعلى وجه العموم، يمكن قبول حدود واسعة للحلول في بداية تجربتنا الذهنية، لكن مع تطوُّر المجتمع، يتوسَّع طيف المتطلبات ومستويات الأداء. وهذا ما ينطوي غالباً على نطاق أضيق للحلول يُعتبر الأداء ضمنه مُرضياً. وتفرض هذه التوجهات مزيداً من القيود على الحلول، وتزداد احتمالات الإخفاق.

ويجب الأخذ في الحسبان بعض الحالات الشاذة النادرة إذا كانت عواقبها وخيمة. وقد ذكرنا سابقاً إحدى الحالات الخطرة التي تنجم عن الأنشطة الداخلية التي تولِّد ظروفاً شاذة، وهي حالة حدوث حريق في المبنى. في بداية التجربة الذهنية، وبرغم أن مخرج النجاة يجب أن يكون قد أُخِذ في الحسبان، فإن من غير المحتمل أن يتوقَّع المرء بقاء المبنى موجوداً بعد الحريق. لكن في ما يخص المباني الحديثة، فقد أصبحت الحرائق اليوم نادرة فيها، وأصبح من الضروري أيضاً أن يستمر المبنى بأداء مجموعة معينة من الوظائف في أثناء الحريق وبعده، خاصة من حيث درء الخطر عن حياة مستعمليه. وهذا يتضمن الحفاظ على استقرار

البناء بالتأكيد. طبعاً، سوف توسِّع شركات التأمين من متطلباتها في تلك الحالة أيضاً.

ويجب أيضاً الأخذ في الحسبان الظروف الخارجية الشاذة والنادرة، مثل الرياح القوية والطوفان والصواعق، وحتى الزلازل. فقد يكون التصميم للحماية من الطوفان ضرورياً إذا كان موقع المبنى قريباً من الأنهار مثلاً. والحماية من الصواعق ضرورية إذا كان المبنى عالياً، والحماية من الزلازل ضرورية إذا كان المبنى في منطقة من العالم غير مستقرة زلزالياً.

وثمة مهددات جديدة ناجمة عن زيادة تعقيد الحلول، فالمنازل السيئة التهوية، والمبنية بغرض الحفاظ على درجة حرارة ثابتة، يمكن أن تعاني من تراكم غاز الرادون إذا كانت موجودة في منطقة ينطلق فيها ذلك الغاز من الصخور الموجودة تحت المبنى على نحو طبيعي. وتهدِّد الملوثات الكيميائية الموجودة في التربة في المواقع المستعملة لبعض أنواع الصناعات كلاً من سكان المبنى وهيكله العمراني أيضاً.

إدخال المتطلبات الاجتماعية

بعد أن حدَّدنا متطلبات الصحة والراحة الجسدية، من الضروري الآن النظر في الجوانب الاجتماعية للمباني. في الواقع العملي، لا يؤجَّل النظر في الأداء الخاص بالجوانب الاجتماعية حتى اكتمال المتطلبات المادية تماماً، بل يُنظر فيها من البداية. إن المساعي البشرية سريعاً ما تتحوَّل إلى نشاط تنمو معه الحاجة إلى التنظيم الاجتماعي الذي يولِّد القيم الحضارية ويكوِّن البنى السياسية والمنظومات الاقتصادية التي تحصل فيها مبادلة السلع والخدمات. وللمباني دورها في هذه العملية، ليس من حيث توفيرها بيتاً لهذه الأنشطة فحسب، بل من حيث إنها تعبِّر عن التغيير الملازم لتطوُّر النظام الثقافي والاقتصادي وتؤكِّده وتصبح أداة من أدواته.

وإلى جانب صورة المبنى ومكانته، اللتين سوف تناقشان لاحقاً في هذا الفصل، ثمة وظيفتان أخريان له تتصلان بالسلامة والرفاهية وتظهران عندما يبدأ المجتمع بالتطور، وهما المتطلبان المتعلقان بالأمن والخصوصية. يقترن هذان المتطلبان بالصحة العقلية عموماً، مع أن المهدد الأمني، إن كان حقيقياً، يمكن أن ينطوي على خطر جسدي. وتعتمد اللحظة التي يبدأ الناس عندها بأخذ هاتين الوظيفتين في الحسبان على طبيعة المجتمع. وهما ليستا قابلتين للتنبُّؤ بهما بنفس

قدر إمكان التنبُّؤ بالاحتياجات المادية، وقد يكون من الضروري النظر فيهما قبل تحقيق المستوى المطلوب من السلامة والراحة الجسديتين.

تعتمد متطلبات الأمن على وجود مهدِّد محتمل. وإذا وُجِد أن خطورة المهدِّد عالية، وجب تكريس المهارة التقانية والوقت والموارد لمكافحة ذلك المهدِّد في حالة عدم إمكان الاعتماد على الوسائل الاجتماعية، مثل المعاهدات وقوانين حفظ النظام. وتأتي المهدِّدات من داخل المجتمع ومن خارجه، وفي كل من الحالتين تظهر تحديات مختلفة للمهارات التقانية للبنَّائين. وفي الحالات الشديدة الحساسية، أي حالات المصارف مثلاً، يهيمن التهديد الأمني على التصميم بحيث تصبح تقانة الحفاظ على الحياة في مقابل تقانة التدمير.

أما متطلب الخصوصية فهو أكثر تجذُّراً في أعراف المجتمع الثقافية. إن التفسير الحضاري لماهية الأنشطة التي يمكن أن تكون مشترَكة أو التي يجب أن تبقى محصورة بأصحابها هو الذي يفرض الحاجة إلى إدخال وظيفة الخصوصية في البناء. ويمكن تحديد مستويات الأداء ذات الصلة بالخصوصية من حيث علاقتها بالحواس، ويُعتبر البصر والسمع أهم حاستين يؤثِّر فيهما غلاف المبنى الخارجي، واللتين تتطلبان عادة إجراء بعض التقسيمات لحيزه الداخلي.

وغالباً ما تُترجم وظائف المبنى ذات المنشأ الاجتماعي إلى أوجه للأداء المادي أُخذت في الحسبان من قبل. فالأمن يستدعي مواصفات إنشائية في بنية المبنى، وتحدِّد الخصوصية كثيراً من مواصفات انتقال الصوت فيه.

تأثير موارد الإنتاج

مع ازدياد الوظائف المطلوبة والمواد المتاحة، يجب تحديد موارد الإنتاج وأنواع الخبرة اللازمة له. وتُعتبر العلاقة بين الحاجة إلى المبنى، وبين توافر المواد والمهارات والأدوات لصنعه، دائماً العامل الحاسم في اختيار عملية البناء. لكن نقص المعرفة والخبرة الخاصتين بالإنتاج يحد من سرعة تطوير حلول جديدة يمكنها تحقيق أداء جديد. ومع ذلك، فإن التطورات الحاصلة في مجالي المواد والإنتاج يمكن أن توحي بطرائق مختلفة لتحقيق الأداء المطلوب.

اتخذت التجربة الذهنية حتى الآن منحى تحقيق الغرض من المبنى ومتطلبات المستعمل. لكن يجب أن نتذكَّر أن وسائل تحقيق ذلك تقتضي قدراً من التفكير

والبراعة كذاك الذي يقتضيه تصميم بنية المبنى وتنفيذها. إن من السهل جداً رؤية كيفية عمل كثير من المباني القديمة، لكن غالباً ما يكون من الصعب رؤية كيف كان من الممكن لها أن تُبنى من دون معرفة الوسائل والمهارات التي توفَّرت حين بنائها. وفي كثير من المباني المنطوية على ابتكار، تتحدَّد تفاصيل عملية تشييد المبنى غالباً بإجراءات التصنيع والتركيب المتوافرة، وبالقدر نفسه، بضرورة تحقيق الأداء. ويحدِّد توافر موارد التصنيع والتجميع التكلفة أيضاً. وتؤثِّر الحاجة إلى تخطيط إجراءات الإنتاج في مدة تنفيذ الحل المعتمَد، وفي المخاطر المقترنة بذلك الحل. وكل ذلك يُسهم في الجودة النهائية للمبنى وفي نجاح أدائه.

النظر في التكلفة والقيمة

يجب النظر في مسألة التكلفة والقيمة خلال هذه التجربة الذهنية أيضاً. تحدَّد تكاليف المباني مالياً عادة، إلا أن هناك اعتبارات أيضاً لتكلفتها البيئية ولمفعولها في المجتمع نفسه. والموارد المتوافرة للمجتمع محدودة عادة، ولذا يجب اتخاذ قرارات بشأن طريقة توزيع تلك الموارد. ونظراً إلى أن تلك القرارات تمثِّل جزءاً من الحالة الاجتماعية العامة، فإنها تُعتبر قرارات سياسية تتضمن رؤية المجتمع الذي يجب أن يتكوَّن، والطرائق المفضلة لتحقيقه. ومن هذه العملية الاجتماعية تبدأ الحاجة إلى المبنى وينطلق تحديد التكلفة وتقدير القيمة.

يُعهَّد المبنى، الذي يجب أن يحقِّق الأداء الملائم، فقط عندما تعتبر تكلفته مقبولة. أما إذا كانت التكلفة كبيرة جداً، فيجب اتخاذ قرارات بخصوص حذف بعض الوظائف وتقليص بعض مستويات الأداء أو تغيير طرائق الإنتاج. ويجب أن تضمن تلك التغييرات احتفاظ المبنى بما يقابل قيمته المالية. ويتطلب تخصيص نفقة إقامة المبنى أن تكون ثمة رؤية واضحة لكل من طرائق التشييد والإنتاج على الأقل. وعند نقطة معينة من عملية تشييد المبنى، يجب اتخاذ قرار بالشروع في التصميم التفصيلي والإنتاج، بناءً على التكلفة التقديرية. وفي ما يخص المباني التي يمكن إشادتها باستعمال صيغ مطوَّرة سابقاً وجاهزة للبناء، يمكن اتخاذ ذلك القرار باكراً جداً بشيء من اليقين. أما في حالة المشروع الذي توجد له سوابق قليلة، فإن من الضروري استقصاء حلول جديدة قبل أن يكون من الممكن تقدير التكلفة بيقين كافٍ واتخاذ القرار بالمتابعة. ومن الضروري دائماً وضع سقف للتكلفة أبكر ما يمكن، ثم وضع الحل النهائي وذلك السقف في البال.

صورة المبنى ومكانته

في وقت ما من تطوُّر المجتمع، تبدأ صورة المبنى ومكانته بالتأثير في المتطلبات. وقد يتجلى ذلك في شكل ومقاس الحيز الضروري لتنفيذ الأنشطة المادية التي صُمِّم المبنى من أجلها. وقد يتجلى أيضاً على شكل زيادة في متطلبات جودة المواد المستعملة التي تُعتبر غالية. طبعاً، يجب أن تكون المواد الغالية قادرة على أداء وظائفها المادية على نحو سليم، إلا أنه إذا أمكن الاستعاضة عنها ببدائل أرخص، كان ذلك أفضل. وتطغى على هذه المتطلبات غالباً قضايا الفن والطراز والرمزية التي يجب عدم التقليل من أهميتها، إلا أن المناقشة التفصيلية لطبيعة تلك الأمور وصيغها ليست من مهام هذا الكتاب.

ليست مسألة المكانة والصورة متعلقة بالثراء وبالموقع الاجتماعي فقط، فنحن جميعاً بحاجة إلى ترك انطباع جيد عند الآخرين عن مظهرنا، وإلى الشعور بالرضى عن مكانتنا في المجتمع من حيث الأعراف السائدة. ويجب إدراك أن تلك الأعراف يمكن أن تكون محلية إلى حد بعيد لاقترانها بالقبائل أو الشعوب، برغم أن الاتصالات الحديثة الجيدة تقلِّص الفوارق بينها. إننا جميعاً نهتم بالمظهر الذي تبدو به مبانينا وبالبيئة التي تولِّدها. واستعمالنا لمبانٍ تتوافق مع المتطلبات النفسية للأنشطة التي تحصل فيها، على درجة عالية من الأهمية لسلامتنا النفسية والعقلية.

وهذه القضايا على صلة بالجمال، وبالقيمة المرئية، وحتى الروحانية، العميقة لجمال كل الأشياء الطبيعية والصنعية. وهذه هي الجوانب المحيطية التي تُرضي مشاعرنا أكثر من تلبيتها لاحتياجاتنا المادية. إن المباني تغزو اليوم المشهد الريفي لتكوين مشهد حضَري، ولذا ثمة لأشكالها وصيغها وألوانها وزخارفها مفعول كبير في حياتنا.

ضوابط المجتمع والقوانين

توجد لدى كل التكتلات الاجتماعية أعراف سلوكية حضارية تحد من تصرفات الأفراد وتعاقب على انتهاكها. وتُصاغ تلك الأعراف على شكل تشريعات قد يتعارض بعضها مع الخيارات التي تخص البناء. وتتعلق التشريعات المباشرة عادة بالحفاظ على الصحة العامة، وتحد من استعمال الموارد الشحيحة، وتحدِّد الموقع العام للمبنى ومظهره. وفي أثناء التصنيع والتجميع، ثمة قوانين تخص صحة وأمان العاملين والناس في المنطقة المحيطة بالمبنى.

يجب أخذ كل تلك الأمور في الحسبان حين اختيار الحل النهائي، والانصياع لها. وإذا حصل الاختيار بروح من المسؤولية ضمن حدود الأعراف المجتمعية، فلن يكون ثمة من تعارض مع التشريعات. فالتشريعات توضع لحماية الذين يستعملون الأبنية، ولذا يجب تضمين ما تتطلَّبه في عملية الاختيار التي تشتمل أغراضها على تحقيق الحاجات الفردية والاجتماعية.

ويمكن في الواقع أن يكون القانون الخاص بهذه الأمور بطيء التغيُّر، ويمكن أن توضع له صياغة تجعل من تفسيره مسألة رأي. ويمكن هذه العوامل أن تثير أو تكبح التغيُّرات التقانية، لكن من الواضح أن على أولئك المسؤولين عن البناء في المجتمع المتقدم أن يكونوا واعين للقانون ولتفسيراته.

وثمة كثير من التشريعات التي يمكن أن تؤثِّر في اختيار المبنى تأثيراً غير مباشر، إلا أن فهم الصلات بينها والتنبُّؤ بتلك الصلات أشد صعوبة. لذا تصبح العقود ضرورية بين الهيئات التي تتعهد الأجزاء المختلفة من عملية تشييد المبنى. وتؤثِّر التشريعات في القرارات الخاصة بأمان المباني وبماهية المخاطر التي تنطوي عليها، إضافة إلى أن المعرفة والخبرة اللتين تمتلكهما تلك الهيئات تؤثِّران في القرار النهائي بشأن إشادة المبنى.

أصحاب المباني ومستعملوها وتغيير الغرض منها

ومن التعقيدات الأخرى الناجمة عن تطوُّر المجتمع أن الأفراد الذين يمتلكون ويشغلون المباني أصبحوا قلة. والشركات الاستثمارية أصبحت هي التي تعهِّد المباني لشركات استثمارية أخرى تحيل مهمة تشغيلها إلى شركات أخرى، لاستعمالها من قبل مجموعة أخرى من الناس أيضاً. ومع ذلك، يجب ألا يلغي هذا فكرة أن تحقيق حاجات المستعمل هي التي تحدِّد أداء الحلول المقترحة. إن توفير المكان، الذي يضمن أن الأنشطة المرغوب فيها سوف تُنفَّذ على نحو جيد من قبل المستعمل، هو الذي يعطي قيمة للمبنى ويجعله مفيداً. وقد تكون ثمة أهداف أخرى للذين يعهِّدون المبنى، من قبيل الاستثمار مثلاً، إلا أن تلك الأهداف لا تتحقق بنجاح إلا إذا تحقَّق الغرض من المبنى وأدى وظائفه على نحو مُرض.

وحتى عندما تكون هناك علاقات بسيطة نسبياً بين صاحب المبنى والإشغال

الأولي له، فإن الغرض من المبنى قد يتغيَّر مع مرور الوقت. ويمكن تلك التغيُّرات أن تكون كبيرة، كتلك التي تحصل حين تحويل كنائس إلى شقق سكنية مثلاً، إلا أن معظمها أقل من ذلك. لقد جعلت الممارسات الطبية الشديدةُ التبدُّل من تصاميم المشافي القديمة عديمة الكفاية، وغيَّرت ثورة المعلومات الإلكترونية الأنشطة الأساسية التي تحصل في كثير من المكاتب. ويرى مشغِّلو المبنى (وهم غير مستعمليه) على نحو متزايد أنه جزء من كفاية مهنتهم. وهذا يولِّد نظرة مختلفة لصيانته وتجديده، ويجعل منه جزءاً متكاملاً من مشروع بأسره، وهذا يقود إلى تساؤلات عن تكلفة المبنى طيلة حياته. وقد تكون الخيارات الأولية التي هي أغلى ذات قيمة أعلى على مدى حياة المبنى كلها، لأنها تقلِّص تكاليف تشغيله وتزيد من كفايته والرفاهية التي يوفِّرها.

المفعول البيئي والاستدامة

تقود هذه النظرة الطويلة الأجل إلى المبنى إلى أسئلة أشمل عن مفعوله البيئي. إن ثمة دائماً مفاعيل محلية للأبنية في البيئة، فهي تستهلك موارد، وتغيِّر البيئات الحيوية الطبيعية التي تحيط بها، وتستهلك طاقة، وتولِّد نفايات. لقد أصبح المجتمع في تجربتنا الذهنية، وفي الواقع الراهن، أكثر ازدهاراً، وتحسَّنت البنية التحتية ومكَّنت من نمو التصنيع وتطوير المواد لخدمة عدد متزايد من السكان، مع توقعات أداء أعلى من كل ما سبق. لذا فإن التقانات المختارة للبناء يمكن أن تُسهم في العواقب البيئية الشاملة.

وهذا يقتضي مزيداً من التحليل، إضافة إلى معارف جديدة، بغية القيام بالخيارات الصحيحة بشأن التقانات التي نستعملها في مبانينا. وسوف يقود إلى تفضيل حلول معينة على غيرها، وإلى الابتكار والمجازفة. والحكاية مستمرة.

الخلاصة

1. الغرض من المبنى هو استعمال كل المعايير المادية والاجتماعية لدعم الأنشطة التي سوف تحصل فيه.

2. تتطلَّب الوظائف المادية والاجتماعية للمبنى مواصفات أداء مادي معينة من

حيث الوثوقية والجوانب البيئية والإنشائية. وتؤدي تلك المواصفات إلى توقعات في الأداء، ومن ثَمَّ إلى تحديد أوجه الإخفاق إنْ وُجِدت.

3. يمكن اختيار عملية البناء فقط بعد معرفة البيئات التي سوف يعمل المبنى فيها، وفهم الآليات والأحداث التي يمكن أن تؤدي إلى إخفاقه.

4. من العوامل الأخرى التي يجب أخذها في الحسبان حين اختيار عملية البناء موارد الإنتاج والخبرة والتكلفة والتشريعات، إضافة إلى متطلبات المبنى ومفعوله البيئي طوال حياته.

الفصل الثالث:
صيغ عامة وحلول محدَّدة

في هذا الفصل نطوِّر فكرة أن أي مجتمع يمكنه تمييز مجموعة من الصيغ العامة للمباني. وتُشتق هذه الصيغ العامة من عدد من أنواع الحلول العامة التي تُحوَّل إلى حلول محدَّدة. ويمثِّل الحل العام والصيغة المشتقة طريقتين متمايزتين لتحديد عملية إشادة المبنى التي يجري اعتمادها. ويتميز الحل المفهومي العام بتنظيمه الشامل للمكونات والأعمال، لتحقيق الأداء المطلوب، في حين أن الصيغة المشتقة توصِّف المواد وحجوم وأشكال المكوِّنات وتفاصيل وصلها وتثبيتها. ويُصبح حل التشييد المختار حينئذ مخصَّصاً لمبنى بعينه، ويمكن تكرار استعماله عدداً كبيراً من المرات، ويمكن تفاصيله أن تكون صالحة في كثير من المباني.

الصيغ العامة والصيغ المشتقة

في أي مجتمع، وفي أي وقت، توجد متطلبات تعزِّز مجموعة متميزة من صيغ البناء العامة. وفي مقابل كل صيغة من صيغ البناء تلك، ثمة مجموعة من حلول البناء ذات الصلة في ما بينها والتي يلائم كل منها حجماً معيناً للمبنى وللموارد التي يمكن توفيرها له. وتُشتق حلول البناء من عدد محدود من الحلول العامة. ويبدأ الاختيار التقاني غالباً بانتقاء صيغة عامة ملائمة، يجري تطويرها بعدئذ لتصبح حلاً تفصيلياً لمبنى معين.

وتُعتبر المقدرة على وصف مبنى بهاتين الصيغتين في المرحلة الأولى من مفهوم تصميم المبنى، أي الصيغة العامة والصيغة المشتقة، على درجة عالية من الأهمية. فهي تمثِّل الفكرة الكبرى التي تُطوَّر تبعاً لها التفاصيل الإفرادية بحيث تعمل معاً لتحقيق أداء المبنى بكليته.

انبثاق صيغ المباني العامة

يبدو أن المحدِّد الرئيسي لإشادة مبنى على صلة بالمكان. فمتطلبات المستخدمين سوف تُتَرجم، من حيث الجوهر، إلى أمكنة، وحجوم تلك الأمكنة والعلاقة في ما بينها تحدِّد مقاس وشكل المبنى بأسره. وفي حالة المباني المنزلية، يتكوَّن المبنى من بضعة غرف، في حين أن المباني التجارية والعامة تتكوَّن من أماكن واسعة مع بعض الأماكن الصغيرة مثل دورات المياه، [تتجمع كلها] لتشكل وحدة عمل واحدة.

وحلول تشييد المبنى على صلة مباشرة بتلك المتطلبات المكانية. فتلك المتطلبات تؤثِّر تأثيراً كبيراً في البنية المختارة، ولتلك البنية مفاعيل أكيدة في الحلول المتاحة لإشادة أجزاء المبنى الداخلية وعناصره الأخرى.

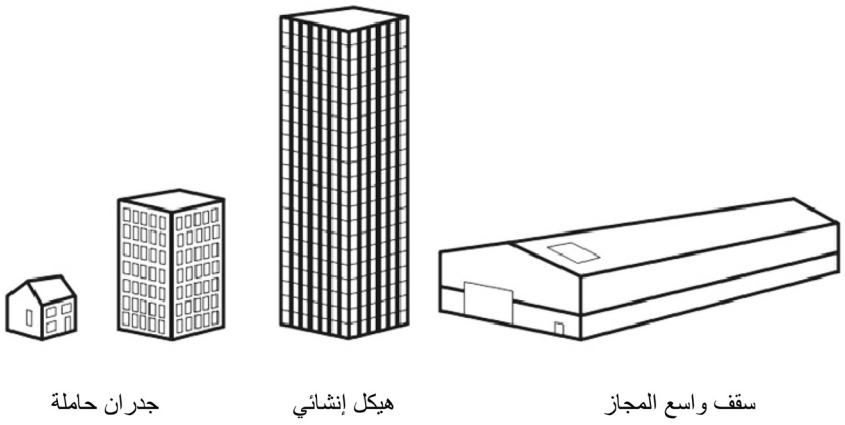
يوجد حالياً مجال واسع من المتطلبات المكانية الأفقية والعمودية التي تقود إلى استعمال عدد من الصيغ الإنشائية المتوافرة والتي يمكن تصنيفها في المجموعات الثلاث التالية:

- جدران حاملة (loadbearing walls)
- هياكل إنشائية (skeletal frames)
- أسقف واسعة المجاز (long-span roofs)

ويعطي كل من هذه الصيغ طيفاً من صيغ المباني التي يبيِّن الشكل 1.3 أمثلة لها. وتتألف كل صيغة بناء من مجموعات من العناصر الإنشائية. ومن أمثلة العناصر الإنشائية العامة العارضة (beam). تظهر العارضة، مع مفعولها الإنشائي في التقوُّس، وفي الإنشاءات الخلوية على شكل عوارض ثانوية (joist) للأرضيات أو عتبات فوقية (lintel) للفتحات مثل الأبواب والنوافذ. وتظهر أيضاً في الهياكل الإنشائية بوصفها عنصراً إنشائياً رئيسياً، وفي الأسقف الواسعة المجاز في الأطر البابية (portal frame). وقد اعتُمدت صيغة العنصر العامة هذه في حلول معينة باستعمال مواد مختلفة لتحقيق الخواص المطلوبة: متانة كبيرة، وانحرافات صغيرة، ومساحة مقطع عرضاني صغير، ووزن منخفض، ومظهر حسن، وتكلفة منخفضة، ونصب سريع. فلكل من هذه الخواص أهمية كبيرة أو صغيرة في المباني المختلفة. وفي المنازل، تكون العارضة الثانوية خشبية على الأغلب، وفي الهياكل تتكوَّن

العارضة من الفولاذ أو الخرسانة المسلحة. أما الإطار البابي فيُصنع على الأغلب من الفولاذ، وقد يُصنع من الخرسانة المسلحة، أو حتى من ألواح خشبية، في المباني ذات الاستعمالات والمقاسات التي يلائمها ذلك.

وفي حين أن إمكانية الإحاطة بمساحة ما هي المحدِّد الرئيسي للصيغة العامة، فإن التصميم وظروف الموارد تفرض الحل الاقتصادي المفصل. وهذا يؤدي إلى طريقتين للتفكير بالمبنى لكل منهما مفرداتها وعباراتها الخاصة بها لوصف الحل. يُضاف إلى ذلك أن من المفيد التفكير بعناصر المبنى ضمن المواصفات العامة في وقت مبكر من عملية اختياره. وبعدئذ يمكن تطوير ذلك الوصف العام إلى وصف مفصل للصيغة الإنشائية بحيث يتضمن مواصفات المواد وتفاصيل الوصلات والمثبتات (joints and fixings).

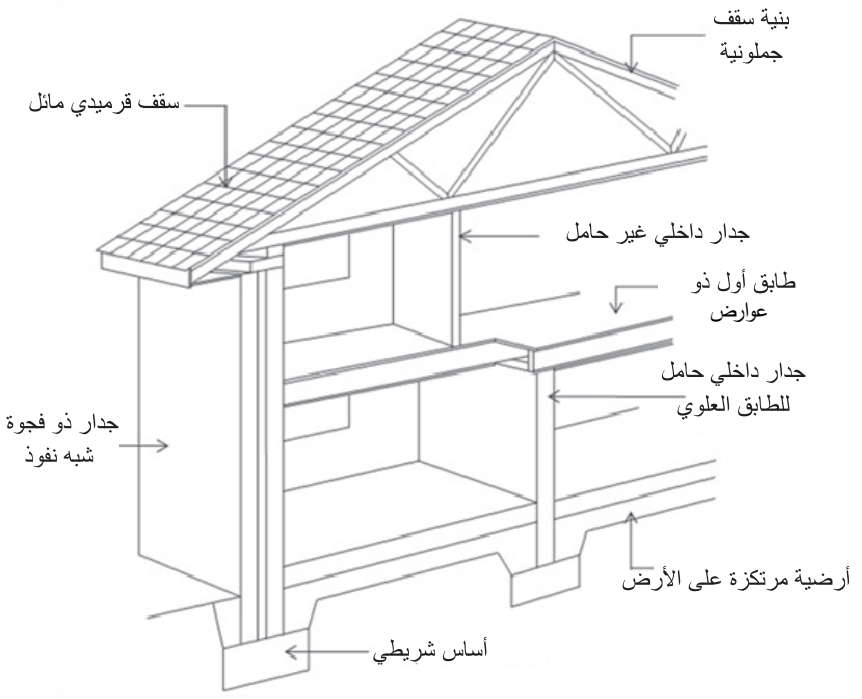


الشكل 1.3 صيغة شائعة في المباني.

الصيغة العامة للعناصر – الجدران المنزلية الحاملة

المنزل هو واحد من الأمكنة التي يشيع فيها استعمال الجدران الحاملة. ويتضمن بناء المنازل في بريطانيا، بصيغتها الأساسية في بداية القرن الحادي والعشرين، استعمال إنشاءات شبه نفوذة (ذات فجوات) في جميع الجدران الخارجية لتوفِّر (مع الجدران الداخلية) حجرات جافة ومستقرة. وتُسقف تلك الحجرات بغطاء قرميدي يرتكز على بنية من عوارض خشبية مائلة تنقل الحمل

مباشرة إلى الجدران الخارجية. هذا يعني أن ليس ثمة حاجة إلى زيادة ارتفاع أي جدار داخلي حامل حتى مستوى السقف. أما الأرضيات المعلقة فترتكز على جوائز ثانوية، وتستفيد غالباً من الجدران الداخلية للحد من مجازاتها، وذلك بجعل بعض جدران التقسيمات الداخلية في الطابق الأرضي جدراناً حاملة. ويمكن أرضيات الطوابق الأرضية أن ترتكز على الأرض مباشرة، أو أن تكون معلقة تبعاً للموقع وطبيعة الأرض. أما الأسس فهي غالباً ما تكون شريطية (strip footing) إلا إذا كانت الأرض غير صلبة. ويبين الشكل 2.3 هذه الصيغة.



الشكل 2.3 وصف عام لمكونات منزل إنشائية.

لم يُشَد كثير من المنازل التي بُنيت في النصف الأول من القرن العشرين، والتي ما زالت في قيد الاستعمال، بهذه الطريقة. فكثير منها تألف من جدران صماء نفوذة، وأسقف مصنوعة من مكونات إنشائية مستقلة (عوارض مائلة (rafter)، عوارض أفقية (purlin)، دعامات (strut)، حمالات (hanger)) ارتكزت على الجدران الداخلية. وفي ما بعد، في القرن العشرين، قُلِّص عرض واجهات المنازل المتصلة (terrace) المتجاورة، وأصبح بناء الجدران الداخلية غير الحاملة

خياراً ممكناً، وأصبحت الجدران في ما بين المنازل هي الجدران الحاملة فقط. وانعدم نتيجة لذلك مفعول الاستقرار الذي يوفِّره الهيكل الصندوقي، لكن توافرت مجموعة من الجدران الخارجية الأمامية والخلفية الرخيصة نسبياً.

وحينما طُوِّر حل الجدار الحامل لاستعماله في تشييد الشقق السكنية المتعددة الطوابق، أصبح من الضروري استعمال صيغ أساسية أخرى. وأصبحت الأرضيات ذات متطلبات الأداء العالية، من حيث مقاومة انتشار الصوت والنار، أكثر اقتصادية عندما تكوَّنت من بلاطات بلا عوارض، مع عدم تغيُّر المجازات كثيراً. وأمكن الاستفادة من الطبيعة التكرارية للطوابق في استعمال الجدران الحاملة المصنعة مسبقاً أيضاً.

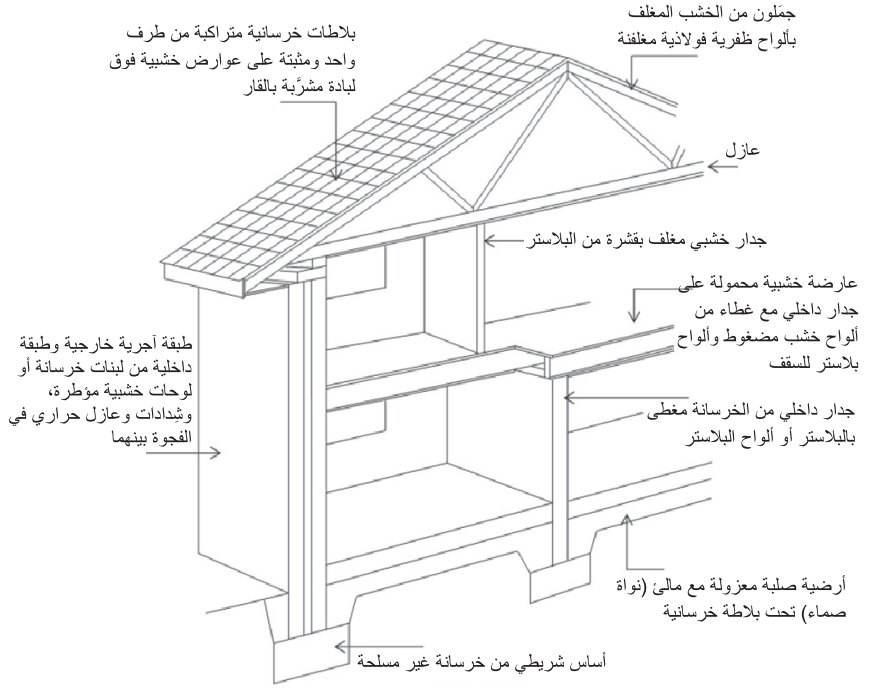
وحينما طُوِّرت هذه المنظومة إلى مبانٍ متعددة الطوابق، أصبحت الصيغة الإنشائية المكوَّنة من هياكل إنشائية بديلاً اقتصادياً جيداً، برغم وجود جدران حاملة داخلية تقسم المبنى إلى أحياز صغيرة ذات مجازات أفقية محدودة جعلت من تلك الجدران خياراً عملياً.

الصيغة المشتقة – الجدران الحاملة في المنزل

لا تقول أيُّ صيغة عامة شيئاً عن مواد وأشكال ومقاسات المكوِّنات والوصلات والمثبتات التي يجب استعمالها. بل تعطي العناصر أسماء عامة، وتصفها بدلالة صيغتها العامة أو بطريقة عملها. أما في الصيغة المشتقة، فيجب تحديد التفاصيل لضمان المقاسات الاقتصادية وتوافر تقنيات التصنيع. ومن تلك التفاصيل تنبثق الصيغة المشتقة المادية المميَّزة. يوضح الشكل 3.3 الصيغ المشتقة المقابلة لصيغ العناصر العامة المبينة في الشكل 2.3، وفيه تظهر بلاطات سطح خرسانية متراكبة من جانب واحد، متداخلة مع سطح قرميدي، ومحمولة على عوارض خشبية فوق لبادة مثبتة على عوارض خشبية مائلة مدعمة ومتمفصلة، مع صفائح أظفار فولاذية مغلفنة. والجدران الخارجية مبنية من لبنات آجرية أو خرسانية، مع أن المؤطرات الخشبية تُعتبر حلاً عملياً. ويمكن بناء الجدار على شكل قشرة خارجية آجرية مع طبقة داخلية من المؤطرات الخشبية. لكن من غير المحتمل لهذا التركيب أن يحقق متطلبات الحد من تسرب الحرارة. أما أكثر طرائق الحد من فقدان الحرارة كفاءة من حيث التكلفة في ظروف الشتاء (فقدان حرارة الهواء الداخلي الدافئ) فهي العزل المبني ضمن الجدار. أما في الصيف، فإن المتطلب التصميمي هو منع دخول الحرارة من الخارج. ونظراً إلى أن تلك الحرارة

تأتي من أشعة الشمس المباشرة في المقام الأول، فإن التظليل أو استعمال مواد ذات امتصاص ضئيل للحرارة (غير مبيّنين في الشكل 3.3) قد يكونان أفضل من العزل.

أما الأرضيات فهي عوارض خشبية مرتكزة مباشرة على طبقة الجدار الداخلية أو على حمالات من جوائز من الفولاذ المغلفن ومَنْهية بأرضية من ألواح الخشب المضغوط. ونظراً إلى أن جدران التقسيمات الداخلية في الطابق الأرضي تحمل العوارض، فإنها تُصنع من لبنات خرسانية. ونظراً إلى أن العوارض الخشبية المائلة تنقل الحمل إلى الجدران الخارجية فقط، فإن جدران التقسيمات الداخلية في الطابق الأول لا تحتاج إلا إلى أن تكون من الخشب المغطى بألواح من البلاستر، على أن توفِّر مستويات ملائمة من العزل الصوتي. لقد استُعملت ألواح البلاستر للأسقف ولتغطية مكونات الدرج، وهو يمكن أن يُستعمل على أي جدار مبني من لبنات خرسانية في المنزل. وقد يكون من الضروري تعديل الجدران الخارجية الموجودة تحت الأرض لتكون أسساً شريطية من الخرسانة غير المسلحة.



الشكل 3.3 وصف تشييد المنزل في الصيغة المشتقة

ويجب تحديد مقاس كل من هذه المكوِّنات. وقد جرى تطوير مكوِّنات عامة، منها لبنات آجر أو نوافذ بمقاسات محدَّدة ملائمة للاستعمال المنزلي وتحقِّق متطلباته. أما مقاسات بعض المكوِّنات، مثل العوارض، فيجب أن تُصمَّم تبعاً لمقاسات المبنى واستعمالاته.

وبالطريقة عينها التي اختلفت بها المنازل في الماضي عن الصيغتين المبينتين في الشكلين 2.3 و 3.3، فإن ليس ثمة من سبب للاعتقاد بأن الصيغ العامة أو الحلول المادية الحالية سوف تبقى قائمة في المستقبل. بل قد تتطور استجابة للظروف والموارد والمتطلبات التصميمية الجديدة.

صيغ عامة أخرى والممارسات الراهنة

تُبدي المباني التي تُستعمل فيها هياكل إنشائية وأسقف واسعة المجاز تنوُّعاً كبيراً من حيث الصيغ العامة والحلول التنفيذية العملية. ومن غير الملائم محاولة سردها جميعاً هنا، إلا أنه يمكن بضعة أمثلة أن توضِّح تلك الصيغ بوصفها كينونات عامة ومادية.

تتضمن بنية الهيكل الإنشائي عوارض وأعمدة وبلاطات وبعض المكوِّنات التي تضمن الاستقرار العام. ويمكن تكرار هذه الصيغة الأساسية لتكوين مبان كبيرة أفقياً وعمودياً. إلا أن تلك البنى تحتاج إلى أعمدة وجدران داخلية، وهذه تضع قيوداً على الحيز الداخلي الحر المتاح. أما صفتها التي لا يضاهيها شيء فهي مقدرتها على تحقيق ارتفاعات كبيرة مع أماكن داخلية مفتوحة نسبياً. تُصنع الصيغة المشتقة المادية إما من الفولاذ أو الخرسانة المسلحة. ويمكن الخرسانة المسلحة أن تكون مسبقة الصنع، أو يمكن أن تُصب في موقع البناء محلياً، ويمكن استعمال مزيج من تلك العناصر. وتتضمن معظم الحلول القائمة على الفولاذ عوارض وأعمدة مع أرضيات خرسانية، ويُحقَّق فيها الاستقرار تجاه الريح بواسطة الخرسانة المسلحة أو الفولاذ. وتقوم بنى الخرسانة المسلحة عادة على عناصر من الخرسانة المسلحة الموزعة عبرها، وقد أدى تطوير البلاطات المسطَّحة (flat slab) إلى إلغاء الحاجة إلى العوارض.

وتُستعمل بنى الأسقف الواسعة المجاز في منشآت الصناعة والتجارة والمستودعات والمعارض والرياضة وغيرها مما يحتاج إلى مساحة مفتوحة كبيرة تحت سقف واحد. وغالباً ما تكون هذه المنشآت وحيدة الطابق، إلا أن أسقفها

تكون ذات ارتفاعات داخلية كبيرة. وفي بعض الحالات قد لا تتطلب الأغراض المذكورة آنفاً منشآت كبيرة، لذا، ونظراً إلى إمكانات بنى الأسقف الواسعة المجاز من الأنواع العامة، فإنها يمكن أن تُستعمل للمباني المتوسطة الحجوم.

وتتصف الأسقف الواسعة المجاز بأكبر تنوُّع في صيغها العامة الأساسية التي تُطوَّر لتصبح صيغاً مشتقة. وقد جرى تطوير بنى مستوية وثلاثية الأبعاد بصيغ مسطحة ومنحنية باستعمال الفولاذ والخرسانة المسلحة، وحتى الخشب والألمنيوم.

ويجب تغليف كل من البنيتين الهيكلية والواسعة المجاز بجدران خارجية. وتُدعَّم تلك الجدران وتقيَّد بالبنية الإنشائية، وثمة طيف واسع من الخيارات المتوافرة لها. وتوجد أيضاً صيغ عامة لإكساء الجدران الخارجية، ومنها طبقات التغطية (cladding) أو التلبيس (facing) التي تُصنع من المعادن أو الخرسانة أو الزجاج أو لبنات الآجر، تبعاً لنوع المبنى. إلا أن ثمة نزعة إلى استعمال أنواع مختلفة من الجدران في الصيغ المشتقة المختلفة. وفي بعض البنى الواسعة المجاز، يتطلب المبنى عادة عدداً صغيراً من الفتحات في الجدران الخارجية. أما تقليص وزن بنية الجدران فيمكِّن تحقيق تخفيض في تكلفتها. وهذا كله يقود إلى تغطية الجدران الخارجية بالصفائح المعدنية في الأعلى، مع استعمال الصيغ التي هي أثقل، ومن أمثلتها لبنات الآجر، حول المبنى عند المستوى الأرضي فقط، حيث يمكن أن ترتكز على الأرض مباشرة. أما في الصيغة الهيكلية المتعددة الطوابق، فإن التأثير المتبادل بين الجدران والبنية، إضافة إلى الحاجة إلى تحقيق مستوى الأداء المطلوب، يؤدي غالباً إلى عملية إنشائية أكثر تعقيداً.

خدمات المبنى

بغية توضيح فكرة الصيغة العامة للمبنى والحل التنفيذي، قدَّمنا وصفاً لتشييد البنية الإنشائية والجدران المحيطة بها. لكن المباني تتضمن أيضاً مجموعة من التقنيات تسمى مجتمعة بخدمات المبنى. ليست ثمة نية في هذا الفصل لتقديم الصيغ العامة للخدمات ولحلولها الممكنة، برغم أهميتها في دعم استعمال المبنى اليومي وسلامة شاغليه وراحتهم. لكن كل مبنى يجب أن يتضمن مزيجاً من البنى والجدران الخارجية ومنظومات الخدمة بغية تحقيق مستويات الأداء المطلوبة منه. وآمل أن تكون مسألة الصيغ العامة والتنفيذية للبنية ولجدرانها قد اتضحت من

خلال أمثلة هذا الفصل. أما الصيغ العامة للخدمات وحلولها الممكنة فسوف تُطرح في فصول لاحقة من هذا الكتاب.

الارتياب والمخاطر

عندما يكون التغيُّر بطيئاً، ثمة فرصة لاعتماد حلول تفصيلية متوافرة لمبانٍ مشابهة، مع إدخال بعض التعديلات الطفيفة فيها للحصول على حل لمبنى جديد. لكن ثمة دائماً مخاطرة في الوقوع في شرك افتراض تماثل المبنيَيْن. ومع ذلك، إذا كانت الصيغة العامة التي اشتُق منها الحل التفصيلي جيدة بقدر كاف، ولا يجري استعمالها عند حافة الإخفاق، فإنه يمكن اعتماد ذلك الحل التفصيلي من دون الحاجة إلى كثير من التحليل، وبقليل من المجازفة.

لكن مع ازدياد وتيرة التغيُّر، يمكن الخيار الأولي أن يبتعد عن الصيغ العامة التفصيلية الناضجة، ويُصبح المقترح الأولي قائماً على فهم لصيغ عامة تحتاج عندئذ إلى مراجعة تفصيلية. وقد يستدعي ذلك في البداية إجراء بعض التغييرات في المواد أو طرائق الوصل والتثبيت، لكن عندما يُصبح المطلوب أكثر بعداً مما هو شائع، فإن صيغاً عامة أساسية بديلة قد تكون أكثر ملاءمة ضمن تشكيلة جديدة.

ومن الضروري حين القيام بأي خيار تقاني الانتباه إلى المخاطر التي ينطوي عليها اعتماد حل معين. طبعاً، تتعلق المخاطر التقنية بالإخفاق في الأداء. وعلى غرار أي مجازفة، تجب مقارنة المأمول منها بالعواقب التي تؤدي إليها. فالعواقب التي تؤدي إلى الموت تتطلب دائماً حذراً شديداً. أما عندما تنطوي العواقب على توقف عمل المبنى مثلاً، فتقيَّم الأضرار الناجمة وفقاً لمقدار المجازفة المسموح به.

ومهما كانت وتيرة التغيُّر، فإن اختيار المبنى يعتمد على فهم معنى الصيغة العامة والأداء الذي ينص عليه التصميم التفصيلي، وعلى توافر الموارد اللازمة لتنفيذ الحل المختار.

الخلاصة

1. تتصف العناصر والمكوِّنات بأنها محدودة الطيف من حيث صيغها المفاهيمية العامة، وذلك من منطلق دورها في تحقيق الأداء المطلوب .
2. يجب اختيار الحلول التنفيذية التفصيلية بحيث تلائم التصميم وظروف

الموارد المتوافرة، ولذا ستكون الحلول مخصَّصة لمبنى معين، مع أنه يمكن تكرار تشييد التصميم نفسها، وأنه يمكن تفصيلاً معيناً فيه أن يعمل في أكثر من مبنى.

3. تظهر في المجتمعات المختلفة أنواع متعددة من صيغ البناء العامة وحلول البناء الاقتصادية التي تكوِّن عادة أساس اختيار الحلول التنفيذية اللاحقة.

4. حين وجود اختلاف في المواصفات المطلوبة من المبنى، يجب أن تتضمن عملية الاختيار تحليلاً يبيِّن الارتيابات والمخاطر المقترنة بكل صيغة من صيغ البناء التي يمكن أن يحصل الاختيار منها، من حيث الإخفاق في تحقيق الأداء المطلوب، ومن حيث تحديد واقع الموارد المتوافرة.

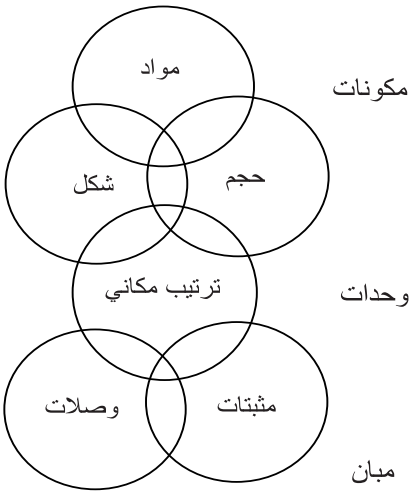
الفصل الرابع:
متغيِّرات عملية البناء

نستقصي في هذا الفصل المتغيِّرات التي تُعرِّف التشييد والبناء: المواد والشكل والحجم والعلاقات المكانية. ونقدِّم مفهوم الانحرافات في تقدير إمكان توافق مكوِّنات البناء في ما بينها وعملها معاً. ويخلُص الفصل إلى عرض جوانب معينة من عملية الوصل والتثبيت، وهي العملية التي تجعل أجزاء المبنى المختلفة تُسهم في سلوكه الشامل.

متغيِّرات البناء – نتيجة الاختيار

من الضروري أن ندرك في البداية جوانب التشييد المادية التي يمكن تغييرها بغية تحقيق الأداء المطلوب من المبنى. فتحديد ما يمكن تغييره يحدِّد أيضاً ما يجب اختياره بغية الوصول إلى حل لا لبس فيه.

ويجب اتخاذ قرارات بشأن المواد التي سوف تتألف منها المكوِّنات ذات الأشكال والحجوم المعرَّفة. ثم يجب تحديد العلاقات المكانية في ما بين تلك المكوِّنات، وبينها وبين الوصلات والمثبتات الضرورية لعملها معاً بوصفها مبنى متكاملاً. ويبيِّن الشكل 1.4 هذا التعريف البسيط للمتغيِّرات.



الشكل 1.4 المتغيرات أو نتيجة الاختيار.

يتضمن تعريف التركيب المادي النهائي للمبنى توصيفاً لكل من مكوِّناته، ومن ضمنها الوصلات والمثبتات، المدرجة بالتفصيل في تعريف الوحدات التجميعية التي يتكوَّن منها المبنى النهائي. ويجب أن يتضمن ذلك التوصيف ما يلي:

- المواد التي سوف تُصنع منها المكونات ودرجة جودتها.
- الشكل الذي سوف تتَّخذه المواد بعد تشكيلها.
- مقاسات المكوِّنات متضمنة الأبعاد الكافية لتحديد الشكل.
- الإحداثيات المكانية لكل جزء منسوبة إلى إحداثيات إطار مرجعي مطلق، أو إلى إحداثيات جزء آخر من المبنى أو البيئة المحيطة.

وتحدِّد المواصفة الأماكن التي سوف تُشغلها المكوِّنات ووصلاتها. وقد يكون ثمة تضارب بين حاجة المكوِّنات المختلفة إلى حيز بعينه، أو إلى حيز قابل للاستعمال من المبنى نفسه. لذا لا يمكن تأكيد خيارات الإنشاء إلى أن تُحَل هذه النقطة ويتقرَّر أن ثمة حيزاً خاصاً واحداً لكل جزء من أجزاء المبنى.

كما يجب أيضاً تحديد الوصلات والمثبتات من حيث مكوناتها وموادها وأشكالها ومقاساتها وعلاقاتها المكانية، لأنها بعينها جزء من الوحدة المجمَّعة. ثم يجب تحديد طرائق وصل الوحدات المجمَّعة معاً لتكوين المبنى برمته. ويجب تحديد كل المكوِّنات ذات العلاقة بالوصلات أيضاً (والتي تعرف في كثير من الأحيان كوصلات).

وتتركَّز عملية الاختيار هي في تعريف المكوِّنات وموادها وأشكالها ومقاساتها وعلاقاتها المكانية، بما في ذلك الوصلات والمثبتات الضرورية لاكتمال المبنى. والغاية من المعرفة التقانية هي اتخاذ قرارات بشأن تلك المتغيِّرات لتكوين مبنى آمن قابل للاستعمال. وهذا اختيار تقني يجب القيام به بعد وضع مفهوم التصميم وقبل تحديد إدارة عملية الإنتاج. ويجب القيام به بعد تحصيل دراية كاملة بمتطلبات التصميم وبموارد الإنتاج المتوافرة.

اختيار المواد

اختيار المواد هو عملية مُطابَقة خواص المواد مع متطلبات الأداء. إلا أن ذلك ليس مستقلاً عن مقاسات المكوِّنات وأشكالها، لأن جميع المواد متشابهة بالخواص بمقدار أو بآخر. ونحن نختار خواص معينة عندما تؤدي إلى أداء بالمستوى المطلوب من حيث الكميات الاقتصادية والمقاسات والأشكال التي يمكن إنتاجها ونقلها وتركيبها ضمن الحيز المطلوب.

ولعل المباني هي أكبر المنشآت المصنَّعة والمستعملة في كل المجتمعات. وهي تتطلب كميات كبيرة نسبياً من المواد بتكلفة معقولة، ولذا فإنه لا عجب في أن المواد التي استُعملت في أعمال البناء عبر التاريخ هي المواد الجَسِيمة المتوافرة محلياً بتكاليف معالجة محدودة. إلا أن تزايد الثروة الاقتصادية وما رافقه من مستويات رفيعة من البنية التحتية سمح باستعمال مواد تحتاج إلى كثير من المعالجة بعيداً من موقع البناء، وقلَّل من الحاجة إلى المواد المحلية. ومع هذا التطوُّر الاقتصادي أتت إمكانية نقل أنشطة الإنتاج إلى مصانع بعيدة من الموقع، وهذا ما وفَّر من ناحيته فرصاً لاستعمال طيف من المواد أوسع مما يمكن توفيره محلياً.

أما مواد البناء التي كانت شائعة في الماضي فهي الخشب والحجر والجير مع مقادير محدودة من الحديد للتثبيت، والرصاص والزجاج. واستُعمل الصلصال المشوي للآجر والقرميد مدة في بريطانيا، لكن حتى قبل بدء القرن التاسع عشر، كان استعمال تلك المواد محلياً فقط، خاصة في المناطق الحضَرية، حيث وُجدت أسواق كبيرة بالقرب من أفران الشَّي. وفي المناطق الريفية، مثل دفون (Devon)، استمر استعمال التراب لبناء الأكواخ الريفية حتى نهاية القرن التاسع عشر.

أما المادتان اللتان كان لإدخالهما التأثير الأكبر في مقاسات وحجوم المباني المستعملة في الحياة اليومية كانتا الفولاذ والخرسانة. فخواص المتانة الممتازة فيهما

سمحت بوضع أحمال أكبر على مقاطع أصغر، ووفرت إمكان استعمال عناصر مجازات أصغر وأعلى كفاءة، منها العوارض. وفتح ذلك الباب أمام مجموعة كبيرة من مستخدمي المباني لإقامة مبان كبيرة ذات حجوم ضخمة نسبياً. وفي النصف الثاني من القرن العشرين، دخل عدد متزايد من المواد في أعمال البناء. ويُستعمل اليوم مزيد من المعادن، ومنها النحاس والألمنيوم، خاصة في الخدمات. وكان للبلاستيك مفعول كبير في الماضي، لكن فقط حيث يمكن تبرير تكلفته العالية نسبياً في المكونات ذات المقاطع الرقيقة. ووفرت التطورات في معالجة وتصنيع بعض المواد القديمة فرصاً جديدة في تقنيات، مثل الخشب الصفائحي.

وإضافة إلى ازدياد طيف المواد، أدت التطورات إلى توفير مزيد من درجات الجودة مع مراقبة جودة أشد للمواد التي كانت شائعة، وهذا ما مكَّن من خيارات أدق في المقايضة بين الأداء والتكلفة. واقتضى ذلك كله مزيداً من المعرفة. فتقييم المواد التي طوِّرت حديثاً أكثر صعوبة، لأن كثيراً منها لم يخضع حتى الآن لاختبار الصمود مع الزمن. ويولِّد المزيد من المواد مزيداً من إمكانات عدم التوافق، حتى إن المواد المختبرة والمجربة جيداً يمكن أن تخفق في تراكيب المكوِّنات الجديدة. ويمكن التفاعلات الهدامة في ما بين المواد نفسها، وبينها وبين البيئة المحيطة، أن تهدِّد استمرارية تلك المواد بطرائق يجب فهمها قبل البدء بالتحليل.

وعند تصور الإخفاقات، يمكن الادعاء بأن جميع الإخفاقات هي إخفاقات مواد. ويمكن الادعاء أيضاً بأن إخفاق المواد هو دائماً نتيجة لسلسلة سابقة من الأحداث، لا نتيجة مباشرة لعيب في المادة. وتكمن فائدة هذين الادعائين في افتراض أن كلاً منهما هو افتراض صحيح. لذا، وحين النظر في سلوك المادة، من الضروري تحديد الأحداث الهامة في حياة المكوِّن التي تتيح لتصادف الظروف أن يؤدي إلى إخفاق.

وتحدِّد الأحداث التي تؤدي إلى إخفاقٍ خواصَّ المادة التي يمكن أن تكون حرجة. ويمكن الأحداث الهامة أن تحصل في أثناء التصنيع والتجميع، أو في أثناء استعمال المبنى. لذا فإن فهم عملية الإنتاج، إضافة إلى فهم سلوك المبنى في أثناء استعماله، أمر جوهري، لأن أكثر الأحداث تطلباً في حياة المكون يمكن أن تحصل في أثناء خزنه وتداوله، أو في أثناء تشييد المبنى. ومن أمثلة ذلك ركيزة خرسانة مسلحة مسبقة الصنع قد يتسبب نقلها إجهادات (stress) داخلية في موادها تختلف كلياً عن تلك التي تحصل في أثناء كونها أساساً تحت الحمل.

المواد ـ الصحة والأمان والبيئة

مع أن خواص المادة هي التي تحدِّد إمكان استعمالها في البناء، فإن ثمة مبررات لاحتمال عدم تفضيلها أو حتى استبعادها من الخيار النهائي. وقد ذكرنا سابقاً مسألتي تكلفة المواد وتوافر تقنيات تصنيعها محلياً. وإضافة إلى ذلك يجب النظر أيضاً في مفاعيلها في الصحة والأمان والبيئة.

هناك أسباب كثيرة لاحتمال كون المادة خطرة على الصحة، خاصة في أثناء عمليتي التصنيع والتجميع، وسوف نناقش ذلك بالتفصيل في الفصل 13 في المقطع الخاص بالصحة والأمان. إلا أنه يجب تقييم المواد أيضاً من حيث مفعولها في البيئة ومن حيث إسهامها في التنمية المستدامة.

إن المجتمع يُعيد النظر في علاقته بالبيئة الطبيعية باستمرار، وفي متطلباته منها، وفي الضغوط التي يضعها عليها. ومعظم القلق بهذا الشأن يقترن بتطوُّرنا من الناحية التقانية. وهذا التفكير الجديد بالبيئة سوف يؤدي دوراً رئيسياً في الطريقة التي نبني بها المباني في المستقبل. أما مصادر القلق، مثل استهلاك الطاقة والتنوُّع الحيوي والفضلات والتلوُّث، فيمكن أن تتأثر مباشرة باختيارنا لمواد البناء.

وحين تقييم مادة من حيث مفعولها البيئي، من الضروري النظر في تاريخها برمته، وهذا ما يُعرف غالباً بتحليل المهد إلى اللحد (cradle to grave analysis). إننا لا نستطيع استعمال إلا المواد التي توفرها الطبيعة. وكل مادة تنتهي إلى مبنى، بوصفها مورداً نحتاج إليه لتشكيل المكوِّن الذي نرغب فيه، تمثِّل جزءاً من منظومة بيئية طبيعية سوف تتغير بإزالة تلك المادة منها. وفي كثير من الحالات، يبقى ذلك المفعول محلياً وآنياً، لأن الطبيعة تمتلك المقدرة على إعادة التوازن في مدة قصيرة. إلا أنه مع ازدياد حجم التطوُّر وتوافر البنية التحتية لاستغلال الموارد على نطاق واسع، فإن مقدرة الطبيعة على استعادة التوازن يمكن أن تتدنَّى كثيراً. ويصبح المفعول أكثر من محلي إلى حد أن استغلال موارد الأرض سوف يبدأ بإظهار نُذُر وخيمة على إطار كوكب الأرض في المستقبل.

هذه هي المخاوف السائدة في مطلع القرن الحادي والعشرين. فالقلق الناجم عن نضوب الموارد، وتدهور التنوُّع الحيوي، والاحترار العالمي، جميعها يتأثَّر بالقرارات إزاء استعمال مواد معينة في البناء. ولا يخص هذا استخراج المواد فقط،

بل نقلها أيضاً لأن أعمال البناء غدت اليوم جزءاً من التجارة العالمية. وقد يكون ثمة تفضيل لمورد متجدِّد إذا أمكن إيجاده.

تُستهلك في المعالجة والتصنيع طاقة، وتنجم عنهما نفايات وملوِّثات. وفي محاولة لمقارنة مفعول إنتاج المواد نستعمل فكرة الطاقة المضمَّنة (embodied energy) أو الكربون المضمَّن (embodied carbon). والطاقة المضمَّنة هي مجموع الطاقة المستعملة أو الكربون المستهلك في استخراج المواد ومعالجتها طبيعياً حتى وصولها إلى مدخل موقع البناء. وعندما تصل المكوِّنات إلى الموقع، يمكن كمية الطاقة أو الكربون المستعمل في التصنيع أن تختلف حتى لو صُنِعت من المادة نفسها. وثمة مناقشة مفصلة لهذا الموضوع في الفصل 15. يمكِّن تقدير كمية الطاقة أو الكربون المضمَّنين من المقارنة في ما بين المواد، إضافة إلى تقييم استعمال المواد المدوَّرة حيث يمكن الطاقة المستعملة في التدوير (recycling) أن تكون أقل من تلك المستعملة في معالجة المادة الأصلية. وتمثِّل النفايات والملوِّثات أيضاً مشكلة كبرى من حيث إن إعادة النواتج الثانوية إلى الطبيعة تضع عبئاً عليها لا تستطيع التعامل معه. لذا تُعتبر طرائق التخلُّص من النفايات والملوِّثات مصدر قلق حين تقييم المفعول البيئي للمواد المختارة.

ويُعتبر التخلُّص من النفايات والملوِّثات مصدراً للقلق ليس في مرحلة التصنيع والتجميع فحسب، بل عند نهاية حياة المبنى أيضاً. لذا فإن تحديد المواد، عندما تكون فرص التدوير محدودة، وعندما تكون تكاليف التلوُّث والتخلُّص من النفايات عالية، يجب أن يكون جزءاً أساسياً من تحليل المفعول البيئي لاختيار عملية البناء.

اختيار الشكل

يمكن تشكيل المكوِّنات أن ينطوي على فوائد جمة من حيث الأداء. فهو يمكنه أن يعطي متانة بتجعيد المواد الرقيقة نسبياً، ويمكنه أن يوفر زينة وإنهاء لتحقيق متطلبات المظهر. وله دور هام يؤديه عند المفاصل والوصلات وفي نقاط التثبيت، حيث يمثل تشكيل الأخاديد والفرزات إسهاماً رئيسياً في تحقيق بعض الوظائف. إلا أن التشكيل يعتمد على سيرورات التصنيع التي تتطلب مهارات وأدوات وآلات. وهذا يُزيد من تكلفة المكوِّن التي يجب تبريرها بفوائدها أو بتقليلها للهدر في المواد. ويعتمد أيضاً على المادة المختارة، ليس من ناحية قابلية تشغيلها بالمهارات والتقانات الراهنة فقط، بل من ناحية إمكان تشغيلها أيضاً بدقة

كافية لتحقيق الأداء المطلوب ضمن مجال التسامحات المسموح بها [في القياسات المعيارية].

وتتصف طرائق البناء التي كانت شائعة من قبل بخاصية التشغيل أو التشكيل الأصغري للمواد الأولية. لكن مزايا التشيكل أصبحت ممكنة مع توافر الموارد وتطوُّر مهارات وتقنيات التصنيع المختلفة. ويتحقق التشكيل إما بتكوين الشكل مباشرة من مادة عديمة الشكل، أو بتشغيلها انطلاقاً من أشكال بسيطة متوافرة في الصيغة الطبيعية للمادة الخام. ويمكن الجمع بين هاتين الطريقتين بتكوين شكل أولي خشن يُنقَّح بعدئذ بحفر المادة وإزالة أجزاء منها لتحقيق الشكل النهائي.

ويجب أن يُجرى التشكيل بواسطة عملية تصنيع ملائمة. ومن تقانات التشكيل الشائعة السكب والصب والدرفلة والبثق، وتعطي هذه التقانات الموادَّ العديمة الشكل، مثل الخرسانة والصلصال والمعدن الحار، أشكالها المطلوبة. ويمكن بعدئذ إزالة الزوائد من الأشكال الناتجة بغية تنقيحها أو تعديلها، وذلك بالقص والتشغيل الميكانيكيين. ويمكن تجميع أجزاء مختلفة معاً لصنع أشكال معقدة من أشكال أبسط. ويمكن الأشكال البسيطة أن تُحنى وتُضغط وتُطرَّق وتقولب لتعطي أشكالاً أكثر تعقيداً. إن هذه العمليات تؤدي إلى ظهور طيف من خواص المواد التي تحدِّد إمكان تشغيلها. ويمكن أن تعطي مواد ذات خواص متعلقة بالأداء غير قابلة للاستعمال أو، على الأقل، ذات تكلفة عالية جداً.

ويُجرى كثير من هذه العمليات في المعامل من حيث المبدأ. فعدد الطرائق التي يمكن تنفيذها في الموقع ما زال في معظم الأحيان محدوداً بمهارات الأفراد وبالأدوات المتاحة، وهذا ما جعل الصب والقص والوصل مع بعض الحني هي سيرورات التشكيل المهيمنة في الموقع.

ويُعتبر اختيار الشكل وفهم قيمة أدائه وتكلفة إنتاجه من الاعتبارات الرئيسية في الاختيار التقاني. وهو ذو أهمية خاصة في مسألة المطابقة والانحرافات التي سوف نناقشها لاحقاً في هذا الفصل. فحيثما يجب على المكوِّنات ذات الأشكال المعقدة أن تُجمع معاً، ثمة حاجة كبيرة إلى الدقة التي تحدد مقدرة الوحدة المجمَّعة على استيعاب التشوُّهات الناجمة عن الإجهادات. لذا، ومع أن تشكيل المكونات الإفرادية يؤدي إلى كثير من المزايا في سيرورات الوصل والتثبيت، فإنه يجب تحقيقه بعناية في ضوء علاقة المكوِّن بالوحدة المجمَّعة التي يُعتبر جزءاً منها.

اختيار المقاس

بيَّنا في ما سبق أن مستويات الأداء المطلوبة من المبنى تُحدِّد الاختيار الأولي للمواد اعتماداً على التوافق بين الوظيفة وخاصية المادة التي يمكن استغلالها اقتصادياً. وبيَّنا أيضاً أنه من أجل كل مادة، يمكن لعمليات معينة، مثل القص أو التشكيل أو غيرهما، أن تؤدي إلى أفضل استعمال لها وإلى تسهيل صنع الوحدات التجميعية التي يتكوَّن المبنى منها. وقد أصبح من الضروري الآن تحديد أبعاد المكوِّنات بغية تصنيعها وتجميعها. وقد توجد في عملية الاختيار أيضاً حدود لمقاسات المكوِّنات يمكن أن تحدِّد موادها وأشكالها. وقد تكون تلك الحدود ذات صلة بطريقة تجميعها مع مكونات أخرى، أو قد تكون ثمة محدوديات لتصنيعها وتداولها. وقد يكون مقاس المكوِّن متعارضاً في منظره مع الرؤية التصميمية.

ومن المفيد أن نرى الأبعاد تتحقَّق من خلال ثلاثة أطوار تشتمل على وضع مواصفات التجميع أو التنفيذ:

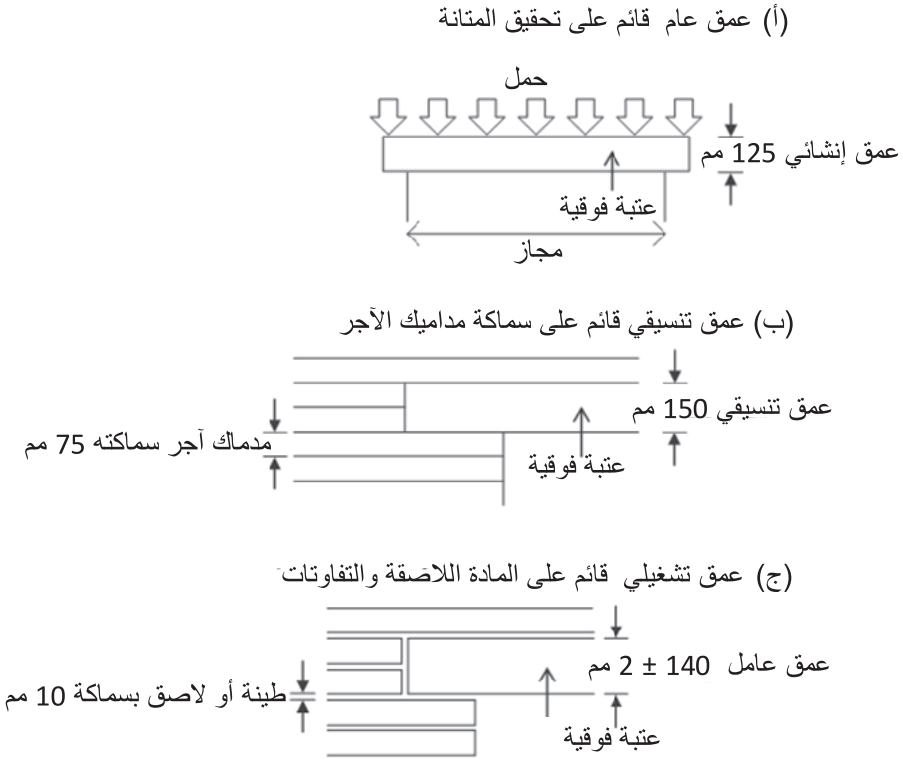
- مقاس عام (gross size) تابع لأداء المكوِّن.
- مقاس تنسيقي (coordinated size) تابع لتجميع المكوِّن مع مكونات أخرى.
- مقاس تشغيلي (working size) تابع لعمليات مَفْصَلة وتثبيت وحركة المكوِّن، والانحرافات فيه.

يتحدد المقاس العام بالأداء. وهو يمثِّل المقاس الأصغري للمكوِّن الذي يمنع تسرب المطر، أو للعنصر الإنشائي الذي يجعله يتحمَّل ثقل الأحمال. ولذا فإنه يحدِّد كمية مادة المكوِّن ونسبتها في الحل، وحتى يمكن أن يبيِّن في مرحلة مبكرة أن الحل ليس ممكناً بتلك المادة مع الشكل المختار ضمن الحيز المتاح له ضمن المبنى.

فإذا تبيَّن أن المقاس العام معقولاً لتحقيق المطلوب اقتصادياً ضمن الحيز المتاح، كان من الضروري حينئذ النظر في الأبعاد من ناحية التفاصيل وكيفية جمع أجزاء البناء معاً. وهذا شائع حيثما يكون المكوِّن الرئيسي مؤلَّفاً من لبنات آجرية أو خرسانية، على سبيل المثال. يظهر الشكل 2.4 عتبة خرسانية فوق فتحة ضمن لبنات خرسانية. يمكن الحسابات الإنشائية أن تُبيِّن أنه يكفي أن يكون عمق العتبة 125 مم (ملِّيمتراً). إلا أن العمق التنسيقي لمدماك الآجر يساوي 75 مم (65 مم

للآجرة و10 مم للطينة اللاصقة)، ولذا يجب أن يكون عمق العتبة التنسيقي 150 مم (مقابل مدماكين من الآجر).

ويصبح تحقيق المقاس التنسيقي هاماً فعلاً في المباني الصناعية المسبقة الصنع التي تُصمَّم غالباً وفقاً لمنظومة أبعاد وحدة نسقية (module)، وهذا ما يؤدي إلى مقاس عام نسائقي مرجعي. وأكثر الأبعاد النسائقية شيوعاً هي 300 مم على الأرجح. وحينما تكون المكوِّنات مسبقة الصنع وتُختار من دليل المصنِّع، فإن اقتصاديات الإنتاج تقتضي أن تكون متوافرة بعدد محدود من المقاسات فقط. ومع أن تلك المقاسات تقوم على أساس نسائقي لتسهيل إمكانية المكاملة مع المكوِّنات الأخرى، فإنها تحدّ من الخيارات من دون أن تؤدي إلى تكاليف إضافية.



الشكل 2.4 مقاسات عمق عتبة فوقية.

لا يأخذ المقاس التنسيقي في الحسبان ما يلي:

- حيز اللواصق والمثبتات
- التسامحات الخاصة بالتفاوتات والحركة

لذا يجب النظر في هذين الأمرين معاً، لأن على الوصلات في كثير من الحالات أن تسمح بالتفاوتات والحركة، وعلى المثبتات أن تستوعب كل من التفاوتات والحركات بغية نزول الوحدة التجميعية في مكانها في الموقع، والمحافظة على سلامتها في أثناء التشغيل. وهاتان النقطتان تؤديان إلى المقاس التشغيلي أو التصنيعي.

وتُعتبر الوصلات جزءاً هاماً من بنية الوحدة التجميعية، وذلك لضمان المطابقة بين المكوِّنات من حيث إنها يمكن أن تعوِّض عن التفاوتات الموجودة في أبعادها. أما مهمة المثبتات فهي جعل الوحدة التجميعية متماسكة، لكن ذلك يتطلب تخصيص أمكنة لها. ويعمل الرابط أو اللاصق أحياناً عمل المثبت. وتفرض مادة الرابط والمثبتات أبعادها الذاتية (مع تفاوتاتها). وإذا كان المثبت موجوداً إضافة إلى الرابط، وكان من غير الممكن استيعابه كلياً في المكوِّن أو الرابط، وجب توفير حيِّز له. ويتضمن ذلك أي حيِّز ضروري للوصول إلى المثبِّت في أثناء التركيب أو الإصلاح والصيانة.

في مثال العتبة الفوقية تساوي سماكة الرابط في لبنات الآجر 10 مم. ويتألف الرابط في هذه الحالة من طينة (ملاط) تعوِّض عن تفاوتات مقاسات الآجرات. ومن الممكن الآن اعتبار أن المقاس التشغيلي للعتبة الفوقية يساوي 140 مم. ومن أجل توصيف تام للعمق من الضروري، حين صنع العتبة، معرفة أن انحرافات المقاس عن 140 مم يجب أن تكون محدودة، بحيث يمكن التعويض عنها بواسطة الطينة التي تساوي سماكته 10 مم. ويُقترح في الشكل 2,4 تسامح في المقاس التشغيلي يساوي 2 مم. لذا من الضروري الآن ضمان أنه يمكن تصنيع المادة أو تشغيلها ضمن حدود تلك التفاوتات، وإلا كانت ثمة صعوبة في وجه وضع العتبة ضمن مدماك الآجر.

ويجب أن تأخذ المقاسات العاملة في الحسبان أيضاً أي تسامحات تخص تغيُّرات الأبعاد التي يمكن أن تحصل خلال حياة المكوِّن. تُعرف هذه التغيُّرات بالحركات أو التفاوتات المتأصلة، لأنها متأصلة في المواد المختارة، وسوف نناقشها بمزيد من التفصيل في الفصل 12.

انحرافات الأبعاد والمطابقة

عند تحديد المقاس التشغيلي والتفكير في كيفية تركيب الوحدات التجميعية معاً، من الضروري التفكير بثلاثة أشياء:

- مقاس الحيِّز الذي سوف يُركَّب المكوِّن ضمنه
- مقاس المكوِّن وموقعه في الحيِّز
- الفجوات التي يجب أن تُترك بين المكوِّنات من أجل الوصلات والمثبتات

ويمكن القول عموماً أنه يمكن تركيب المكوِّن في مكانه إذا أمكن توضيعه ضمن الحيِّز المخصَّص له بحيث تسمح الفجوات بلصق وتثبيت جيدين. وفي أثناء البناء، فإن جميع تلك الأشياء، أي الحيِّز والمكوِّن والموضع والفجوة، سوف تتغيَّر، ولذا ثمة حاجة إلى السماح بوجود تفاوت فيها، تسمى بالتسامحات (tolerances).

وفي ما يُعتبر غالباً نهج البناء الشائع، تحكم العمليات التجارية مسألة تطابق المكوِّنات. تمكِّن العمليات القص والقطع في أثناء البناء من تحقيق التوافق بين المكوِّنات وذلك من خلال تحديد الأبعاد من قبل العاملين أنفسهم في أثناء العمل. إلا أنها تتطلب تقديراً لتقليص المقاس من أجل احتواء المثبتات والمواد الرابطة والفجوات والحركات، ويُعدُّ القيام بهذا التقدير جزءاً من أعراف المهنة ومهارات العاملين. وهو ليس خاضعاً للتحليل، بل هو جزء من الممارسة العملية. ومن الممكن لشخص واحد أن يأخذ جميع التفاوتات في الحسبان في لحظة معينة من إجرائية التجميع، وبقرار واحد.

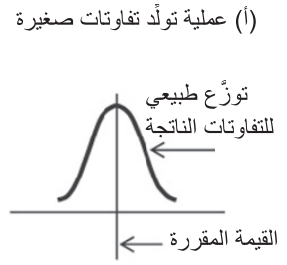
وبظهور المكوِّنات المسبقة الصنع، لم يعُد القص والقطع في أثناء البناء لتحقيق التوافق ضرورياً. لذا يجب أن يكون ثمة بعض الفهم لتلك التفاوتات ليكون أساساً للتحليل واتخاذ القرار بشأن المقاسات العاملة النهائية قبل الشروع في البناء. ونظراً إلى أن عناصر المبنى تُشكَّل من مكوِّنات كثيرة، فإن ذلك الفهم يجب أن يقوم على تحليل إحصائي لتفاوتات تلك العناصر التي يمكن أن تحصل في التصنيع والتجميع، وأن يكون على صلة وثيقة بتفاصيل الوصلات بين المكوِّنات أيضاً.

ويكشف التدقيق في طبيعة عملية الإنتاج عن عدم إمكان تكرار إنتاج نفس أبعاد الحيِّز أو المكوِّن أو الرابط من دون حصول تفاوتات فيها. وهذا ليس ناجماً عن أخطاء بشرية تُمكِن معالجتها، بل هي تعبير عن أن المواد المشكَّلة بواسطة أكثر الأيادي مهارة، وحتى بأكثر الآلات دقة، سوف تعطي مكوِّنات ووحدات

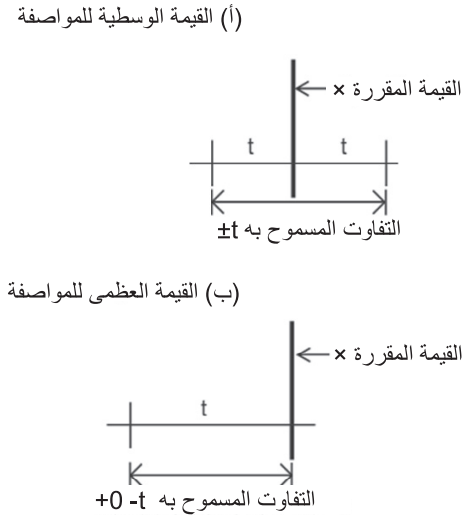
تجميعية ذات أبعاد تنحرف عن الأبعاد المقررة، وتلك هي مشكلة تقنية بحتة، لأن تلك التفاوتات تنجم عن عمليات الإنتاج المختارة. وهي تقع ضمن حدود تعتمد على نوع المادة، وعلى درجة المهارة والمساعدة التي توفِّرها الأدوات والآلات، إضافة إلى ظروف عملية البناء. طبعاً من الممكن معرفة التفاوتات الناتجة والدِّقات المميِّزة للمكوِّنات المُنتَجة من عملية الإنتاج المعتمَدة.

وتختلف الأبعاد الفعلية التي يمكن تحقيقها في الحيِّز والمكوِّن والرابط ضمن نطاق من التفاوتات التي يقترب معظمها من القيمة الاسمية المقررة، مع احتمال أقل للتفاوتات الكبيرة. ويتبِّع احتمال ظهور قيم تلك التفاوتات التوزُّع الطبيعي (normal distribution) المبيَّن في الشكل 3.4. هذا يعني أنك لا تستطيع التنبُّؤ بمقاس الحيِّز أو المكوِّن أو الفجوة سلفاً، بل باحتمال أنه سوف يكون ضمن نطاق معين. وهذا الانحراف عن القيمة المقررة موجود في مواصفات جودة المادة أيضاً.

ونظراً إلى أن تلك التفاوتات هي حقيقة واقعة، فإن من الضروري حين تقييم أبعاد مكوِّن أو وحدة تجميعية ما النظر في كيفية تأثيرها في الأداء. ومن الضروري وضع بعض القيود على تلك التفاوتات، لأنها إذا كانت كبيرة جداً، فإن الأداء سوف يتدهور. تُعرَف هذه الحدود، أو التفاوتات المسموح بها بالتسامحات، وهي تعبير عما يمكن الوحدة التجميعية أن تتحمَّله من تفاوتات قبل بدء الأداء بالتدنِّي.



الشكل 3.4 تعريف التفاوتات الممكنة



الشكل 4.4 تحديد التفاوتات الممكنة

ويُعبَّر عن التسامحات بمجال من القيم يكون أداء الوحدة التجميعية ضمنه ناجحاً. وهي حدود سوف يُخفق المكوِّن إذا كانت أبعاده خارجها، أو على الأقل سيكون مهدداً بالإخفاق ضمن الوحدة التجميعية. يبيِّن الشكل 4.4 التسامحات الممثلة بالقيمة من القيمة المقررة. وفي حين أن معظم المقاسات المقررة تُعطى بقيمها الوسطية، حيث يكون التسامح مع التفاوتات في الجانبين، فإن بعض المواصفات تُحدِّد قيمة عظمى (أو صغرى) مسموحاً بها في أحد الطرفين فقط.

وبمعرفة التوزُّع الاحتمالي لعملية الإنتاج المختارة، وبوجود تسامحات مقبولة ومحدَّدة في المواصفات، يمكن تقدير احتمال توافق القطع حين تركيبها معاً. وإذا كانت التسامحات المقبولة أكبر من التفاوتات التي تحصل في الغالبية العظمى من المكوِّنات في طريقة الإنتاج المختارة، فإن احتمال الإخفاق في تجميع الوحدات التجميعية سوف يكون صغيراً.

ومن المعتاد اختيار التفاصيل بحيث تنطوي على تسامحات تستوعب الانحرافات المتأصلة في عمليات الإنتاج الراهنة. وقد يكون من الضروري، في بعض التصاميم، النظر في عمليات إنتاج محسَّنة أو حتى جديدة يمكنها تحقيق التسامحات المطلوبة. حينئذ يجب تقدير تكلفة تلك العمليات وحجم المجازفة الناجمة عن استعمالها قبل اعتماد المقترح النهائي.

ومن الصحيح القول أنه يجب القيام بتحليل لكل من التسامحات المقبولة والتفاوتات المتأصلة (الدِّقات المميِّزة) قبل اعتماد حل بثقة تامة. وهذا يتطلب فهماً لكل من سلوك المبنى في ظروف التشغيل ولنتائج عملية الإنتاج قبل القول أن حلاً ما هو مقترح واقعي يُحقِّق معيار الأداء.

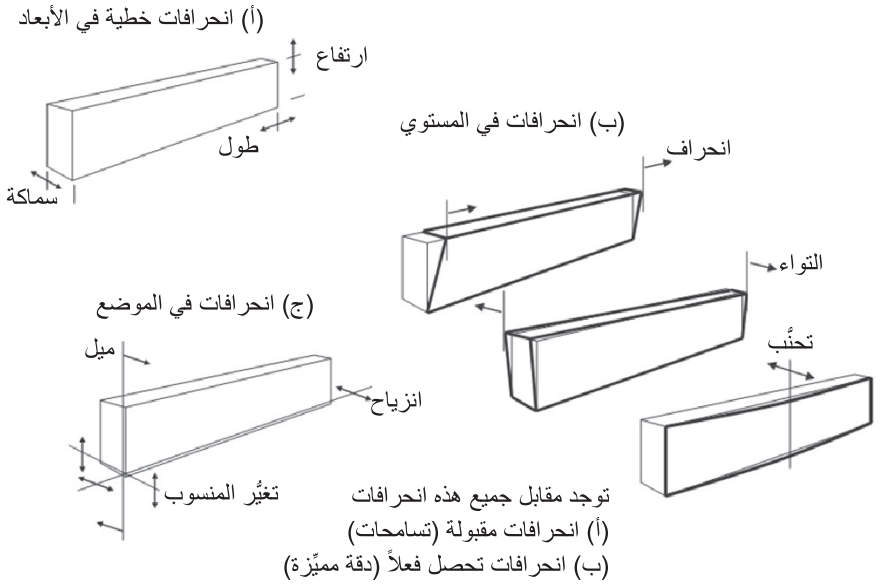
أنواع انحرافات الأبعاد

تحرَّينا في المقطع السابق العلاقة بين الانحرافات المتأصلة والتسامحات التي يمكن قبولها لضمان توافق المكوِّنات ونجاح الأداء التشغيلي. وحين تعريف المكوِّن والحيِّز الخاص به والفجوات التي سوف تُترك للوصلات والمثبتات، من الضروري الانتباه إلى الطرائق التي يمكن بها للتفاوتات أن تشوِّه بها المقاس والموضع وتؤثِّر فيهما.

يبين الشكل 5.4 مكوِّناً أصمّ بسيطاً له شكل متوازي المستطيلات. وهذا شكل

يمكن أن يكون للحيِّز المتاح للمكوِّن أو لفجوة بين مكوِّنين بغرض وصلهما وتثبيتهما.

يمكن اختلافات الأبعاد أن تكون تفاوتات خطية تؤثِّر في الأبعاد الرئيسية الثلاثة. إلا أن هذه التفاوتات يمكن ألاّ تكون نفسها في جميع نقاط المكوِّن، وهذا يسبِّب تشوُّهات أو تغيُّرات ثنائية الأبعاد مثل الانحراف والالتواء والتحنُّب. أما المجموعة الثالثة من التفاوتات فهي ذات صلة بالموضع وتتجلى على شكل انزياحات أفقية وميل وتغيُّر في المنسوب.



الشكل 5.4 انحرافات الأبعاد الممكنة.

العلاقات المكانية

ثمة طريقتان لتعريف العلاقات المستعملة في تحديد الموضع:

- مرجعية: تحديد موضع كل جزء ضمن إطار مرجعي عام.
- نسبية: تحديد الموضع بالنسبة إلى مواضع مكوِّنات أخرى من المبنى.

يعتمد استعمال كل طريقة على حجم المبنى وعلى مرحلة البناء. ونظراً إلى أن عملية البناء هي عملية إشادة متسلسلة لجزء بعد آخر في معظم الحالات، فإنه

يمكن التفاوتات البُعْدية أن تتراكم إذا استُعمل التوضيع النسبي وحده. وقد يصبح تجميع أجزاء المبنى صعب التحقيق ضمن حدود التفاوتات المسموح بها، لأن مواصفات مكوِّنات أخرى سبق تركيبها لم تأخذ في الحسبان تلك المفاعيل التراكمية الثانوية. يُضاف إلى ذلك أنه يمكن تلك المفاعيل التراكمية أن تجعل المكوِّنات تبتعد على نحو متزايد عن مواضعها المقررة لها والتي يُفترض أن تحافظ عليها الأبعاد النسبية. ويحصل هذا برغم بقاء جميع الأبعاد ضمن نطاق التسامحات المقبولة.

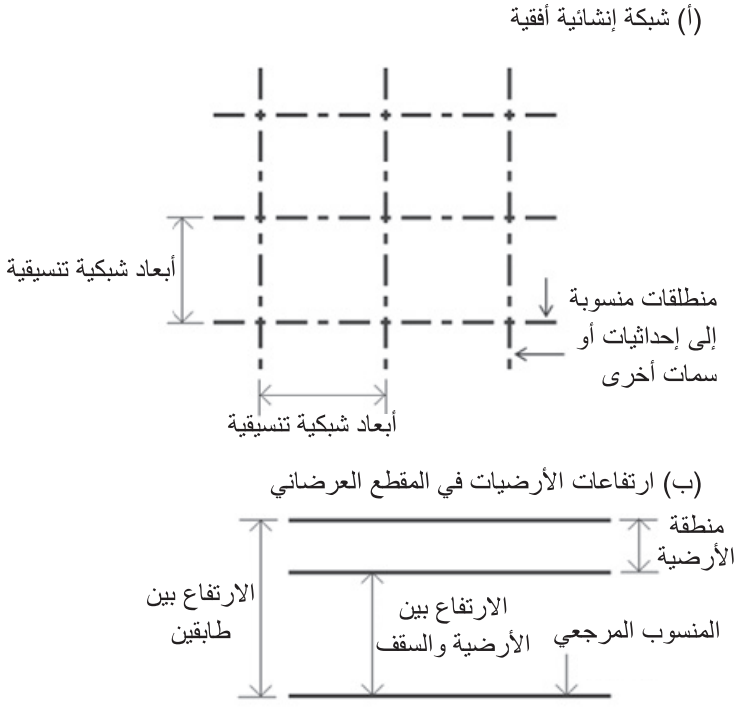
أما في الإنشاءات التي يُستعمل فيها القص والقطع محلياً في أثناء البناء لتحقيق التوافق، فيمكن التحكُّم في المقاسات النسبية التي تحافظ على العلاقات في ما بين المكوِّنات والوصلات. فبالعمل ضمن حدود التسامحات، يمكن ضبط الأجزاء بحيث تتوافق مع الظروف الطارئة. وبهذه الطريقة يمكن إنتاج الوصلات والمثبتات الهامة في موقع العمل وضمن الحدود المقبولة للتفاوتات المسموح بها. أما في الإنشاءات الحديثة، فالعملية تكون أقرب إلى تجميع مكوِّنات مسبقة الصنع ذات مقاسات محددة سلفاً. هنا تُبنى الأجزاء المسبقة التشكيل واحدة تلو الأخرى، وهذا يعني أن الانزياح المكاني أو الانتقال إلى خارج الحدود المكانية المقررة يمكن أن يكون كبيراً إذا كان ثمة كثير من الأبعاد النسبية.

لذا من الشائع تعريف معظم المراحل المبكرة من عملية البناء بالنسبة إلى إطار مرجعي واحد. وتُحدَّد مواضع أجزاء المبنى بهذه الطريقة إلى أن يُصبح ثمة ما يكفي من الأجزاء المنجزة لنَسْب الأجزاء المتبقية إليها.

يجري التحكُّم في الموضع عادة بواسطة شبكة خطوط متعامدة في المستوي الأفقي، ومناسيب أرضيات منهيَّة في الارتفاع. وهذا موضَّح في الشكل 6.4. وفي كلتا الحالتين، فإن الخطوط التي تظهر على الشبكة مع المقاطع العمودية تؤطِّر مكان المكوِّن ويمكن تحديد موضعه انطلاقاً منها.

يجب ألا يكون إطار تحديد المواضع صغيراً جداً، لأن توضيع الإنهاءات [الصقل] والمثبتات والملحقات يمكن أن يكون منسوباً إلى البناء الرئيسي إذا أُحسِن التحكُّم فيها بواسطة أبعاد منسوبة إلى إطار مرجعي. لذا فإن منظومة الشبكة المختارة تقترن عادة بالمخطط الإنشائي للمبنى. يجب بذل ما أمكن من الجهود لإبقائها بسيطة مع أبعاد تكرارية لتجنب الأخطاء في كل من طوري التصميم والإنتاج.

إن هذه الشبكات والمستويات الطابقية هي أساس التحكُّم في أبعاد الموقع. وفي جميع المباني، باستثناء البسيطة منها، يتضمن ذلك عادة استعمال أجهزة مساحية مثل شرائط قياس الأبعاد والتيودولايتات ومحدِّدات المناسيب. لقد أدت التطورات في هذه الأنواع من الأجهزة، ومنها أجهزة قياس المسافة الإلكترونية التيودوليتية، إلى استعمال الإحداثيات لتحديد المواضع في الموقع.



الشكل 6.4 إطار عمل تحديد الأبعاد.

الوصلات والمثبتات

عند نقطة تلاقي مكوِّنين أو عنصرين من المبنى، يجب النظر في كيفية ربطهما معاً. وإذا تطلَّب واحد من تلك الأجزاء أو أكثر تدعيماً أو تثبيتاً، وجب النظر في كيفية تدعيمه أو تثبيته. وتُعتبر الوصلات والمثبتات أهم الأجزاء:

- لجعل المبنى متماسكاً
- والتمكين من تجميعه
- وضمان أدائه السليم بعد اكتمال تشييده

وعلى غرار المكوِّنات، تتألف الوصلات والمثبتات من مواد، ولها أشكال ومقاسات. ويجب أن توضع ضمن فجوات أو ضمن الأماكن المخصصة لها في ما بين المكوِّنات. وهي تعمل ضمن حدود مقاسات معينة فقط (التسامحات المقبولة) ويمكن إنتاجها ضمن دِقَّات محدودة فقط (تفاوتات الإنتاج). ويجب توضيعها ضمن حدود معينة. وهي تخضع في الواقع لنفس اعتبارات أداء ومعايير إنتاج المكوِّنات التي تربطها وتثبتها معاً.

من مهام الوصلات والمثبتات التمكين من إشادة المبنى من مجموعة أجزائه. لذا فإن دورها جوهري في السلوك العام للمبنى. فهي تؤثِّر في استقراره ومقدرته على استيعاب الحركات التي تحصل في بنيته، وفي توفير استمرارية لأداء عناصره التي هي جزء منها.

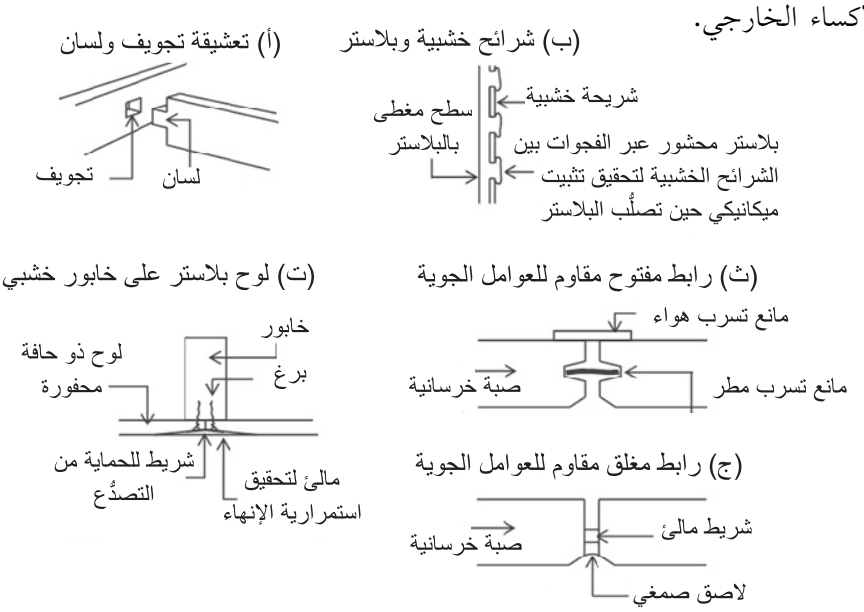
وهي تؤدي أيضاً دوراً رئيسياً في تسهيل عملية التجميع، خاصة عندما يُصنع كثير من المكوِّنات خارج موقع البناء، وتبقى الوصلات والمثبتات من اهتمام الأنشطة التي تحصل في الموقع. وتصبح قابلية البناء والعمل الآمن ومتطلبات المهارة مسألة تداول للمكوِّنات ووضعها في أماكنها واستكمال تجميعها بواسطة الوصلات والمثبتات.

وفي مجموعة الوصلات والمثبِّتات الشائعة، من الصعب تمييز الوصلات من المثبتات، إذ ينطوي التثبيت على وظيفة دعم أو مقاومة مع إمكان لنقل الحمل من مكوِّن إلى آخر. أما الوصلات فيقصد بها جميع الأشياء ذات العلاقة بتجميع المواد والمكوِّنات والعناصر معاً. ويمكن أن تكون للوصلات وظائف عديدة من قبيل مقاومة العوامل الجوية والحريق وانتشار الصوت والحركة، ويمكن ألاّ تكون لها وظائف إنشائية تقتضي التثبيت. وفي بعض الحالات، يمكن تثبيت المكوِّنات كل على حدة، وتكون حينئذ مستقرة لكنها تحتاج إلى مفْصَلة لتحقيق استمرارية الوظائف عبرها. أما المتطلب الخاص المتجلي في عزل الوصلات لحركة مكوِّنات المبنى فيحتاج إلى عناية خاصة. وقد يلزم اختيار المثبتات أيضاً للسماح بالحركة باتجاه واحد على الأقل، أو قد يكون من الضروري تكوين وصلات مستقلة تماماً عن المثبتات.

يبين الشكل 7.4 عدداً من الوصلات والمثبتات. في وصلات الخشب المعهودة، مثل التعشيقات (تجويف ولسان (mortise and tenon))، تقوم العملية كلياً على تشكيل تجويف ولسان في المكوِّنين اللذين سوف يُربطان معاً، وبذلك تكون التعشيقة هي الوصلة (الشكل 7.4-أ). ويمكن استعمال لواصق مع

التعشيقات، ولا حاجة إلى أي شيء آخر. ويتطلب توضيع البلاستر على الجدران تثبيتاً أيضاً. وفي منظومات البلاستر القديمة، مكَّنت الشرائح الخشبية البلاستر المبلول من تكوين شكل وفَّر التصاقاً ميكانيكياً (الشكل 7.4-ب)، في حين أن البلاسترات الحديثة يمكن أن تُثبَّت بالالتصاق المباشر فقط. أما تثبيت ألواح البلاستر على خوابير أو أسافين، فيتحقَّق بواسطة المسامير والبراغي (الشكل 7.4-ت).

وغالباً ما تكون متطلبات أداء الوصلات مختلفة عن تلك الخاصة بالمثبتات، ومنها المظهر ومقاومة العوامل الجوية والحريق. لذا يجب أن تأخذ المادة الرابطة بين صفائح لوح البلاستر، الموجودة في منظومة الخوابير المبينة في الشكل 7.4، في الحسبان الحركة التي يمكن أن تسبِّب تشقُّقات فيها تسيء إلى المظهر. ولذا تجب تقوية الوصلات بشريط مقاوم للقوى الناجمة عن تلك الحركة. وتُثبَّت لوحات التغطية على الوجه الخارجي للمبنى عادة مع الهيكل، كلٌّ على حدة، حيث تُدعم وتُقيَّد بمثبتات مختلفة، مثل البراغي والعزقات والزوايا. فتعمل الوصلات حينئذ بين اللوحات على استيعاب التفاوتات، المتأصلة والمتحرِّضة، وتوفِّر استمرارية المظهر ومقاومة العوامل الجوية وغير ذلك من وظائف منظومة الإكساء الخارجي.



الشكل 7.4 وصلات ومثبتات.

ثمة أهمية خاصة للوصلات في ما بين الأجزاء الإنشائية، لأن سلوك الوصلة يحدِّد توزُّع الإجهادات في المنظومة الإنشائية بأسرها. وتحدِّد تفاصيل الوصل والتثبيت إنْ كانت الوصلة جاسئة أو مفصلية. وهذا يحدِّد طريقة انتقال القوى من عنصر إلى آخر. ثمة في الفصل 12 تحليل أكثر تفصيلاً لهذا الجانب من الوصل والاستمرارية بين الأجزاء.

وبغية تسهيل عملية التجميع، يجب أن تُؤخذ التفاوتات في الحسبان في وظيفة الوصلات والمثبتات. فيجب أن تُفصَّل الوصلات والمثبتات للعمل ضمن حدود تفاوتات مسموح بها. ويمكن استعمالها أيضاً لامتصاص، أو حتى إلغاء، التفاوتات للحفاظ على مواضع المكوِّنات بدقة. إن الوصلات والمثبتات التي تسمح بتفاوتات مقبولة تضمن تحقيق التوافق بين أجزاء المبنى بأسره.

ويوجد الآن طيف واسع من المثبِّتات، ويتحدَّد نوع المثبت بطبيعة القوى التي يقوم بنقلها، وبالجزء الذي سوف يجري تثبيته، وبالبنية الإنشائية التي سوف يُثبَّت عليها. ويتحدَّد أيضاً بدقة توضيع الجزء الذي سوف يجري تثبيته وبطريقة ضبطه. ومن الخيارات المتوافرة لذلك استعمال اللحام واللصق والمسامير والبراغي المستدقة والبراغي ذات العزقات، ويمكن أن تشتمل المثبِّتات على حاصرات وصفائح. ويجب أن تتضمن المواصفات التصميمية أشكال ومقاسات ومواد المثبتات، إضافة إلى أنماط ومواضع التثبيت. إن اختيار الوصلات والمثبِّتات يؤثِّر في التكلفة، وهذه تؤثِّر كثيراً في الأدوات اللازمة للتثبيت وبتوافر المهارات لاستعمالها.

إن أداء المبنى وتوافق أجزائه يعتمد على العناية في انتقاء الوصلات والمثبتات. فالاختيار المتأني للمواد والمكوِّنات ومواصفاتها يجب أن يترافق مع العناية بتفاصيل الوصلات والمثبتات كي يعمل المبنى بوصفه وحدة متكاملة.

الخلاصة

1. حين اتخاذ قرار بشأن إشادة مبنى من الضروري تحديد مواد أجزائه وأشكالها ومقاساتها والعلاقات المكانية في ما بينها.
2. يبدأ تحديد المواد بتعريف خواصها الملائمة للأداء المطلوب. ثم يجري التدقيق في توافر المادة بصيغة ملائمة وعلى نحو موثوق ضمن حدود تفاوتات

مقبولة. وتُعتبر جوانب الصحة والأمان والبيئة على درجة من الأهمية في اتخاذ القرار.

3. توفِّر المقدرة على تشكيل المواد فوائد جمة من حيث استعمال خواصها بكفاءة في تشكيلات مستقرة، خاصة في حالة الوصلات والمثبتات. وللشكل أهمية كبيرة في المظهر أيضاً، وفي التفاصيل الدقيقة التي تضمن جماله. إلا أن التشكيل يتطلب أدوات وآلات ومهارات يجب أن تتوافر بتكلفة معقولة.

4. يجب تحديد مقاسات المكوِّنات، لا من حيث تعريف أبعادها فقط، بل من حيث تعريف أشكالها أيضاً. يتحدَّد المقاس العام بمتطلبات الأداء الأساسية، في حين أن المقاس التنسيقي يتحدَّد بالعمل المشترَك للمكوِّنات معاً. وفي ضوء الحاجة إلى ربط الأجزاء وتثبيتها معاً، من الضروري تعديل المقاسات التنسيقية لتصبح مقاسات تشغيلية تتضمن تسامحات تضمن تجميع القطع وعملها سوية.

5. يجب تقييم كل جزء من المبنى من حيث إمكان تجميعه ضمن حدود التسامحات المقررة مع بقائه قادراً على تحقيق وظيفته. ليس من الممكن إنتاج مكوِّنات مثالية، ولذا من الضروري تحديد التفاوتات العظمى، أو التسامحات، التي لا تؤدي إلى تدنٍّ في الأداء.

6. تُحدَّد العلاقات المكانية بين الأجزاء بواسطة منظومة مرجعية عامة، أو بتوضيعها منسوبة إلى مواضع أجزاء أخرى من المبنى. وحين استعمال منظومة مرجعية عامة، يكون احتمال تراكم التفاوتات ضئيلاً، لذا ينخفض احتمال الإخفاق الناجم عن الانزياحات المكانية.

7. تمكِّن الوصلات والمثبِّتات من تجميع الأجزاء معاً وجعلها تعمل بوصفها وحدة متكاملة. وهي تؤثِّر في استقرار عناصر المبنى والمبنى برمته، من حيث امتصاصها لحركاتها وتوفيرها لاستمرارية أدائها.

8. ينطوي التثبيت على وظيفة نقل الحمل، في حين أن الوصل يتضمن وظائف كثيرة يمكن أن تشتمل، أو لا تشتمل، على دور إنشائي.

9. من أجل تسهيل عملية التجميع، يجب اختيار الوصلات والمثبتات بحيث تستطيع استيعاب التفاوتات والحفاظ على العلاقات المكانية في ما بين أجزاء المبنى بأسره.

الفصل الخامس

تحديد الظروف

يبيِّن هذا الفصل الأهمية الجوهرية لتوفير كل من الظروف المادية والاجتماعية لاختيار العملية الإنشائية. ويُبيِّن الحاجة إلى تعريف المتطلبات الداخلية والظروف الخارجية من المبنى، وإسهامات أنشطة شاغلي المبنى والمبنى نفسه في الظروف الداخلية. إن هذه الظروف متغيِّرة باستمرار، ولذا يجب النظر إلى المبنى برمته على أنه منظومة متغيِّرة تتضمن سلسلة من الجريانات والانتقالات التي تسعى إلى التوازن. ونختتم الفصل بتحديد كيفية تطبيق عملية تغيُّر الظروف على اختيار العناصر الداخلية، مثل الطوابق وتقسيماتها، وبتقديم فكرة المناخات الصغيرة ضمن كل عنصر من عناصر المبنى.

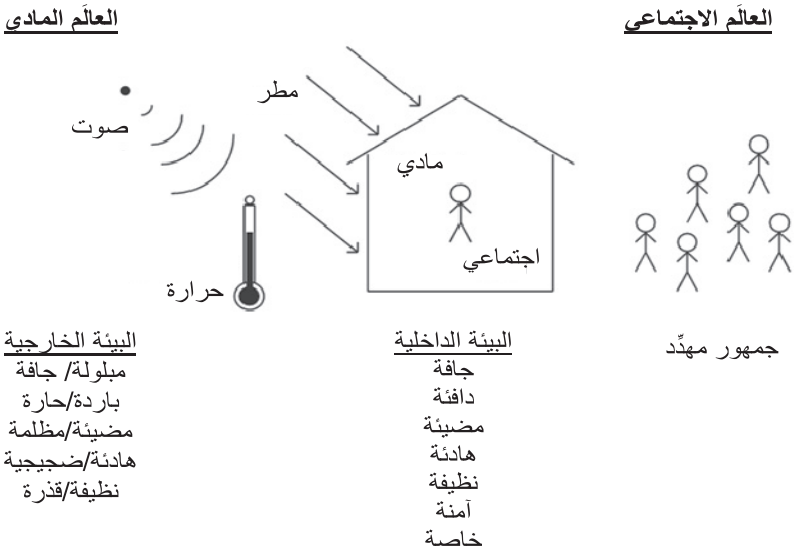
الظروف المادية والاجتماعية

يمكن القول بأن المقصود من المبنى من حيث الجوهر هو إيجاد مكان يوفِّر ظروفاً تحقِّق سلامة شاغليه وراحتهم. ويُثير هذا القول في أذهان معظم الناس ذلك الانتقال من ظروف الطقس خارج المبنى إلى بيئة أقل تغيُّراً وأكثر راحة وأماناً في داخله. ومن الواضح أن هذا دور تقني رئيسي للمبنى، ولذا فإن الفهم التام للظروف السائدة في الخارج، والتوصيف الواضح للظروف الداخلية المطلوبة يتصفان بقدر كبير من الأهمية قبل اتخاذ أي قرار بشأن المبنى وتفاصيل إشادته.

تخضع البيئة الخارجية لتغيُّرات كبيرة متزايدة ناجمة عن الأنشطة البشرية، ومنها الضجيج وتلوُّث الهواء، ولذا فإن فهم الظروف الخارجية يجب أن يكون أكثر من مجرد فهم للظروف الجوية الطبيعية. فقد أصبح من الضروري فهم مفعول إشادة واستعمال المباني في البيئة المحلية والإقليمية والعالمية.

إن الحاجة إلى فهم التأثيرات المتبادلة بين الظروف المادية جلية تماماً، لكن

الحلول المختارة وفقاً لمعايير تغيُّر البيئة المادية ليست كافية. فالمباني تُشاد ضمن سياق اجتماعي تؤدى فيه وظائف اجتماعية تؤثِّر في متطلبات حسن أدائها. يظهر الشكل 1.5 هذه الفكرة البسيطة التي تبيِّن اهتمامات المستعمل بالتغيُّرات التي تخص كلاً من عالَميْ المادة والمجتمع. إذا أمكن القيام بنشاط ما على نحو جيد ضمن حدود الظروف الخارجية السائدة، وكان ذلك مقبولاً اجتماعياً، فإنه لن تكون ثمة حاجة إلى أي مبنى بأي صيغة.



الشكل 1.5 البيئتان -الاجتماعية والمادية للمبنى.

ومن الضروري أن نتذكَّر أن للمباني، بأماكنها الداخلية والخارجية التي تحدثها، مفعولاً في الظروف الاجتماعية. إن فهم السلوك الاجتماعي يقع خارج اهتمامات هذا الكتاب، لكن من المعروف جيداً أن المبنى يمكن أن يكون جزءاً من مشكلات اجتماعية، ويمكن أن يكون أيضاً جزءاً من حلول تلك المشكلات. وذلك جلي في كثير من جوانب التصميم الحَضَري الخاصة بمجالات مثل مكافحة الجريمة وتحقيق أمن المجتمع.

ويحدِّد السياق الاجتماعي أيضاً الموارد التي يمكن أن تتوافر للبناء. لذا ثمة حاجة إلى فهم تأثير البيئات الاقتصادية والسياسية والثقافية في اختيار عملية البناء من حيث تكلفته وقيمته ضمن تفاعلاته الاجتماعية الواسعة. إن ما ينتظره المستخدمون من المبنى، والتغيُّرات التي تحصل في البيئة الداخلية والتي تُعتبر

مقبولة لهم، تتحدَّد بالمعايير الاجتماعية وبالإمكانيات الاقتصادية المتمثِّلة بما يستطيعون إنفاقه على مبانيهم.

الأنشطة والإنشاءات المغيِّرة للبيئة

من الواضح أن المباني تُعدِّل البيئة الخارجية بغية تكوين ظروف داخلية ضمنها مرغوب فيها. والأنشطة ضمن المبنى نفسه تُسهم في تكوُّن ظروف البيئة الداخلية أيضاً. فالطبخ ينشر رطوبة وحرارة وروائح، وتولِّد الآلات حرارة وضجيجاً، وتولِّد أعمال التنظيف نفايات. ولذا تجب السيطرة عليها جميعاً، خاصة إذا كانت ضارة بالصحة، وهذا يزيد من المتطلبات التقنية للمبنى.

ويجب أيضاً إدراك أن المبنى المختار نفسه يمكن أن يغيِّر البيئة الداخلية أيضاً. وهذا صحيح لأن الخدمات في المبنى غالباً ما تولِّد حرارة ودخاناً وضجيجاً، إلا أن تغيير البيئة الداخلية يمكن أن يحصل أيضاً في المباني الخالية من الخدمات. فالعزل الحراري الرديء التنفيذ، الذي يؤدي تقليص المُدخَلات الحرارية إلى المبنى، يمكن أن يسبِّب تكاثفات وأن يولِّد ظروفاً رطبة. ويمكن مواد الإنهاء أن تُطلق دخاناً ساماً إذا اندلع حريق. وهذان مثالان يؤثِّران في بيئة الظروف الداخلية في المبنى المختار.

متغيِّرات المنظومة

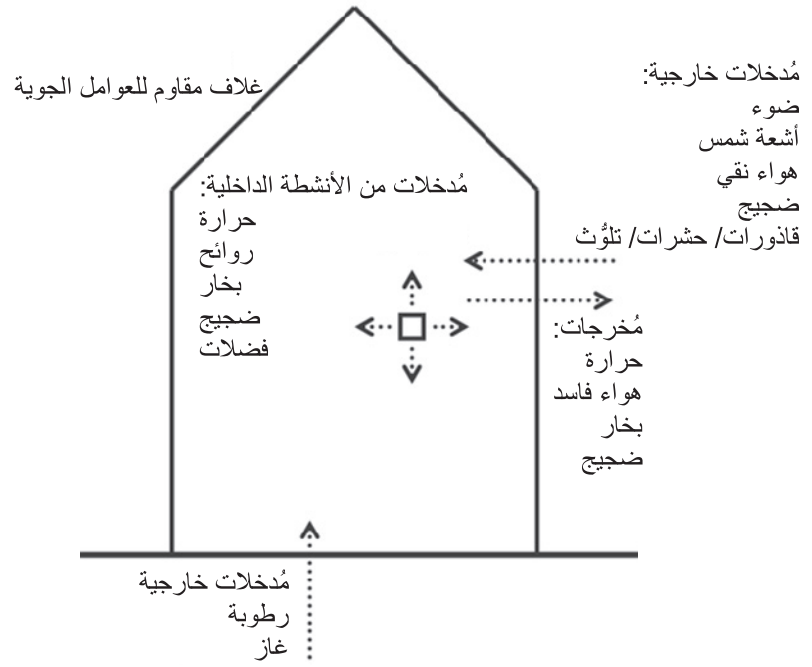
مع أن توفير البيئة الداخلية المستقرة هو الغرض الأساسي للمبنى، فإن الظروف الخارجية ومستويات الأنشطة ضمن المبنى تتغيَّر بطرائق مختلفة، مؤدية إلى تغيُّر الظروف باستمرار. ويمكن النظر إلى مجموعة ظروف المبنى بأسره على أنها سلسلة من الجريانات والانتقالات التي تسعى إلى التوازن، وفقاً للمبيَّن في الشكل 2.5. وهذه الخواص المتغيِّرة تجعل من عملية التحكُّم في الظروف الداخلية على درجة من الأهمية في عملية اختيار المبنى.

يتطلَّب التنبُّؤ بإمكان تجاوز حدود التصميم في المنظومات المتغيِّرة فهماً لكل من قابلية الظروف للتغيُّر، وللأنشطة الجارية في المبنى التي تولِّد مفاعيل التغيير. وفي الواقع، يكمن أحد الاعتبارات الرئيسية في اختيار حل لتصميم المبنى في مقدرته على الاستجابة الإيجابية لتغيُّرات البيئة من حيث مقدارها ومعدل حدوثها. وقد تجلى ذلك، على سبيل المثال، في مزايا استعمال كتلة المبنى الحرارية الكبيرة

في تحديد استهلاك الطاقة في التبريد في الأيام الحارة اللازم للحد من التغيُّرات في درجة الحرارة بين النهار والليل.

وللشروع في تحليل سلوك المبنى، من الضروري تعريف ما يلي:

- الظروف الداخلية المرغوب فيها، وحدود الأنشطة المقبولة التي يمكن أن تحصل ضمنها.
- القيود التي تفرضها البيئة الخارجية على التصميم وأنماط تلك القيود وتغيُّراتها.
- المُدخَلات إلى البيئة الداخلية من الأنشطة والمبنى، ومن ضمنها ما ينجم عن الاستجابة إلى تغيُّرات الظروف.



الشكل 2.5 جريانات بيئية في منظومة متغيِّرة.

الظروف الداخلية المرغوب فيها

إن تعريف الظروف الداخلية المثالية أو المرغوب فيها مسألة ذات صلة بالوظائف الجسدية والنفسية في حالة البشر، وبالهندسة في حالة الآلات،

وبعمليات التلف في حالة المواد المخزونة. وثمة الكثير مما هو مشترَك في الجوانب البيئية الهامة لسلامة البشر والآلات والمواد. وغالباً ما تكون درجة الحرارة والجفاف هما أكثر تلك العوامل أهمية، برغم أن القيم المثالية لهما وحدود تفاوتاتهما يمكن أن تكون مختلفة. ومن الواضح أن درجة الحرارة في المستودعات الباردة محكومة بمتطلبات خزن الأغذية، ولذا تجب حماية الأفراد الموجودين في المستودع، إضافة إلى الآلات، من البرد بوسائل أخرى (ملابس في حالة الناس مثلاً). وإضافة إلى درجة الحرارة والجفاف، يجب إيلاء الجوانب البيئية الأخرى، مثل الرطوبة والضوء والضجيج وجودة الهواء، اهتماماً خاصاً. فالقلق المتزايد أخيراً بشأن جودة الهواء، والمقترن بملوثات مشتبه فيها تحصل بتراكيز شديدة الانخفاض، ومنها غاز الرادون، يبيِّن كيف أن الجوانب البيئية الجديدة يمكن أن تصبح مؤثِّرة مع سعينا إلى ظروف أعلى جودة وأقل تغيُّراً.

إلا أن الناس، ومعهم الآلات والمواد، لا يحتاجون إلى ظروف بيئية دقيقة تماماً، بل يمكن أن يوجدوا ضمن مجال من الظروف. وفي الواقع يمكن الظروف الساكنة اللامتغيِّرة أن تسبِّب تعباً للبشر، ولذا يكون بعض التغيُّر مرغوباً فيه. إن توصيف البيئات الداخلية شديد التأثُّر بالمتطلبات الاجتماعية وبالموارد التي يقبل الزبون بتخصيصها للبناء. وإذا كانت الموارد المتوافرة قليلة، فإنه قد يكون من الواجب القبول بطيف أوسع من الظروف البيئية. فمثلاً، في المصانع الأولى التي ظهرت في عهد الثورة الصناعية، غالباً ما جعل تركيز الاهتمام في مردود الآلات مستويات الضجيج والغبار أبعد ما تكون عن المقبولة للعاملين.

وقد ضُمِّن أخيراً كثير من المتطلبات الاجتماعية في القوانين، وذلك بغية توفير الموارد اللازمة للحفاظ على بيئات صحية آمنة ضمن المباني. وحدَّد أيضاً كثير من التشريعات والتوصيات مجالات التصميم التي تحقِّق بيئات مريحة صحية آمنة.

تحقيق ظروف التصميم الخارجية

من الواضح أن تحديد الظروف الخارجية، مناخياً واجتماعياً، هو شيء مختلف عن تحديد الظروف الداخلية. فمن الضروري فهم الأنماط العامة للأحداث المؤثِّرة في البيئة الخارجية، مع تحديد احتمالات حصول ظروف متطرِّفة فيها. وتُمكِن معرفة الأنماط المناخية العامة من التصنيف العالمي. فحقيقة أن بريطانيا،

مثلاً، تقع في منطقة معتدلة ترسم صورة عامة للظروف المناخية فيها. إلا أن الظروف المناخية الإقليمية، وحتى المحلية، هي التي تحدِّد أنماط التغيُّرات التي يمكن أن تحصل وحالاتها المتطرِّفة. يتصف الجنوب الغربي من بريطانيا مثلاً بأقل قدر من الجليد، وتحصل أشد الرياح على طول الساحل الغربي لاسكوتلندا. وتوجد اختلافات أيضاً بين المناطق الحَضَرية والريفية من حيث التلوُّث بشتى أنواعه والذي ينجم عن التطوُّر الحَضَري، ومن أمثلته الواضحة ضجيج حركة المرور. كل ذلك يمكن أن يؤثِّر في توجيه المبنى في موقع البناء وفي اختيار المواد والتفاصيل لضمان تحقيق الأداء المطلوب منه. وينطبق هذا أيضاً على الظروف الاجتماعية التي تختلف في مراكز المدن عنها في الضواحي والأرياف. والتصنيفات الاجتماعية يمكن أن تعطي مؤشراً إلى الظروف الاجتماعية أيضاً، إلا أنه غالباً ما تكون ثمة حاجة أكثر إلى معرفة محلية بها بغية تحقيق الأداء المطلوب من المبنى عملياً.

ويجب فهم الظروف الخارجية أيضاً بغرض تقييم معظم أوجه الأداء المطلوب من المبنى. فمثلاً، من الواضح أن ثمة حاجة إلى تعريف المناخ بغية التحكُّم في البيئة: تغيُّرات درجة الحرارة، ومسارات الشمس التي تؤثِّر في التدفئة والتبريد، والمطر والريح وغير ذلك مما يتطلب الحماية منه لضمان بقاء المبنى جافاً. وتجب معرفة الظروف الخارجية أيضاً التي تؤثِّر في أداء المبنى الإنشائي وديمومته. فالثلوج والرياح تضعان أحمالاً على بنية المبنى الإنشائية، لكن بطرائق مختلفة. ويؤدي ضوء الشمس إلى شحوب الألوان وهشاشة البلاستيك. ويمكن الآجر المشبع بالرطوبة والمتعرِّض للتجمُّد أن يتصدَّع بسبب الضغوط الداخلية المتولِّدة فيه نتيجة لتكوُّن بلورات الجليد ضمنه.

يتَّضح من الأمثلة السابقة أن تراكيب العوامل المناخية المتطرِّفة تمثِّل أسوأ الظروف التصميمية. فالرياح والأمطار تمثِّلان أصعب الظروف من حيث تسرب الماء. ويمكن الثلج والريح أن يمثِّلا أسوأ ظروف التحميل. ويؤدي الطقس الرطب الذي يتْبعه تكوُّن جليد إلى إيذاء الجدران المبنية من لبنات الآجر. لكن تحديد تلك العوامل إفرادياً قد لا يكشف عن معظم الظروف المتطرِّفة. لذا يجب فهم أنماط المناخ وتغيُّراته فهماً جيداً بغية دراسة حالاته المتطرِّفة كل على حدة، وعندما تعمل معاً أيضاً.

يتطلَّب تحديد التغيُّرات والحالات المتطرفة معرفة الظروف التي تقع خارج

إطار دورة الطقس اليومية أو الفصول السنوية. ولا تحصل الحالات المتطرِّفة كل سنة، بل على فواصل زمنية أطول. ويبدو بعضها مقترناً بدورات طويلة الأجل، ويبدو البعض الآخر أكثر عشوائية. ونظراً إلى أن العمر التصميمي لمعظم المباني يقدَّر بعشرات السنين، فإنه يجب استقصاء توجهات التغيُّرات المناخية والحالات المتطرفة العشوائية التي تحصل ضمن ذلك السلَّم الزمني نفسه.

ومن الضروري في كل مرحلة من مراحل التحليل (البيئي والإنشائي والمتعلق بديمومة المبنى) افتراض أكثر الظروف قسوة لتحقيق الأداء ضمن المجال المحدَّد له. وفي ما يخص الديمومة، فهي تعتمد على المواد المختارة، لأن عوامل التلف وتدنِّي الخواص تختلف من مادة إلى أخرى. بعدئذ يجب تحديد كل مجموعة من الظروف بأكثر الطرائق ملاءمة لها. فمعدل هطول المطر السنوي في منطقة ما يعطي مؤشراً جيداً إلى حجم المشكلة التي تظهر في اختيار عملية تشييد المبنى في تلك المنطقة، إلا أنه لا يعطي الصورة كاملة. فثمة حاجة إلى معرفة أوقات الهطول وكثافاته خلال السنة. فالمطر الذي يهطل في موسم واحد في السنة بكميات كبيرة يؤدي إلى مشكلات تختلف عن تلك التي تقترن بهطول خفيف طوال السنة. وكثافة الهطول خلال بضع دقائق تحدِّد حجم منظومة تصريف مياه المطر، في حين أن الكثافة القليلة على مدى بضع ساعات، خاصة إذا كانت مقترنة برياح شديدة، تحدِّد تفاصيل مقاومة العوامل الجوية في الجدران والأسقف. وفي مجموعة أخرى من الظروف، يمكن الهطول الخفيف الطويل الأمد أن يخترق المواد المسامية في البنية الإنشائية بقدر يكفي لإحداث رطوبة داخلية فيها يمكن جداً أن تقاوم انهمار المطر الغزير المفاجئ.

يخص مثال هطول المطر المناخ الطبيعي، لكن مبدأ تصوُّر أقسى الظروف يبقى صحيحاً في حالة متطلبات الأداء الأخرى أيضاً. فالتغيُّرات في البيئات الاجتماعية، مثل معدلات الجريمة والإرهاب، يجب أن تُحدَّد بطريقة تمكِّن من وضع حل تصميمي يحقِّق بيئة داخلية آمنة حتى بوجود مستويات ملحوظة من المهدِّدات. إن معدلات الجريمة تُمكِّن من تحليل كمي لاحتمال الهجوم وتوقيته (نهاراً أم ليلاً) وشكله، وهذا يمكِّن من اختيار أفضل سبل الحماية منه.

ويقتضي تغيُّر الظروف الخارجية المؤثِّرة في أداء المبنى اعتبار مجالات وحدود تلك التغيُّرات قرارات تصميمية. يتضمن التصميم عموماً تحديد احتمال أن يؤدي حصول حدث ما، بمقدار ما، إلى حدوث اضطراب، أو نشوء خطورة، أو

ترتُّب تكلفة، نتيجة لإخفاق المبنى في تحقيق أدائه المطلوب. ويجب إيلاء الأحداث النادرة، لكن المدمرة والمهددة للحياة، انتباهاً مماثلاً للاهتمام بالحوادث المتكررة الشائعة التي تؤدي إلى إزعاجات أو إلى تخفيض في كفاءة التشغيل. وهذا يتطلب من المسؤول عن المبنى تخصيص قيمة لأي انخفاض في الأداء ناجم عن الظروف الاجتماعية والاقتصادية السائدة. وقد يكون ثمة دور للقانون، لأن انخفاض مستوى الأداء يُبرِز في كثير من الحالات مخاطر قد لا يراها المسؤول عن المبنى كما يراها المجتمع عموماً. فعلى سبيل المثال، لقد سقط كثير من الضحايا نتيجة لنشوب الحرائق، وأدى ذلك إلى تشريعات كثيرة بهذا الخصوص.

ومن جوانب التحليل الأخرى التي تتطلَّب معرفة بالبيئة الخارجية تصنيع مكوِّنات وأجزاء المبنى وتجميعها. تؤثِّر الظروف في الدقة التي يمكن تحقيقها في التصنيع والتجميع والتي تؤدي إلى اختلافات في التفاوتات الناتجة. وتتأثَّر حماية العاملين والأعمال المنجزة جزئياً بالظروف أيضاً. ويتغيَّر المردود، ومن ثَمَّ التكلفة مع تغيُّر الظروف. وتتغيَّر الطريقة التي تُعرَّف بها الظروف أيضاً تبعاً للغرض من التحليل. فمثلاً، يُعتبر عدد ساعات الضوء في النهار، أو عدد أيام الجليد في الشهر، أكثر المؤشِّرات ملاءمة لاتخاذ قرارات بشأن الأعمال التي يمكن تنفيذها في موقع البناء في الشتاء.

وتؤثِّر الظروف الاجتماعية أيضاً بالقرارات الخاصة بعملية الإنتاج. فسوق اليد العاملة المحلية والإقليمية، وحتى العالمية، تؤثِّر تأثيراً كبيراً في توظيف أصحاب المهارات وفي أجورهم. ويتأثَّر أمن الموقع بمعدلات الجريمة المحلية، وبالالتزامات القانونية والاجتماعية الخاصة بالحفاظ على الموقع آمناً.

المُدخَلات من الأنشطة

يجب تحديد أنواع ومقادير المُدخَلات إلى البيئة الداخلية الناجمة عن كل وجه من أوجه النشاط. يولِّد الناس داخل المبنى مقادير مختلفة من الحرارة والرطوبة والبخار والروائح ونواتج التنفس الأخرى وغيرها، وذلك تبعاً للأنشطة التي يقومون بها. وفي حين أن بعضها قد يكون مفيداً في تدفئة المبنى في الشتاء، فإن بعضها الآخر يُفسِد الهواء. وفي مثال آخر، يمكن أن يكون لإسهامات البخار مفعول كبير من حيث التكاثف إذا كان معدَّل التهوية غير كاف. ويمكن الآلات أن تُصدِر ضجيجاً وحرارة، وثمة مخاوف من المجالات الكهرمغنطيسية التي تُشعها

التجهيزات الإلكترونية. وفي حين أن معظم المواد التي تُخزن تكون خاملة ولا تُسهم بشيء في البيئة الداخلية، فإن ذلك قد لا يكون صحيحاً إذا كانت المادة المخزونة عضوية. فخزن كميات كبيرة من القش مثلاً – يمكن في ظروف معينة أن يولِّد حرارة داخلية كافية لنشوب حريق.

وعلى غرار حالة البيئة الخارجية، يمكن تحديد أنماط عامة لهذه الإسهامات الداخلية، إلا أنه تجب الإجابة عن أسئلة تخص تغيُّرات وديمومة ومعدلات تلك الأنشطة. وغالباً ما يبحث المصممون عن قيمة واحدة لتمثيل المُدخَلات الناجمة عن الأنشطة، لكن إذا كان التغيُّر كبيراً أو سريعاً، فقد يكون من الضروري تحليل خصائص التغيُّر بغية تحديد استجابة المبنى بدقة أكبر. وإذا لم تكن البيانات متوافرة لنشاط معين، وجب إجراء دراسات لتحديد معدل المُدخَلات الصافية إلى البيئة الداخلية بغية وضع الحلول الملائمة لها.

المُدخَلات من الحل التقني

من الواضح أنه لا يمكن تحديد مفاعيل المبنى وخدماته قبل اختياره، ولذا يجب أن يكون تحديد تلك المفاعيل جزءاً من عملية الاختيار نفسها. ويجب التنبُّؤ بمشكلات المبنى من هذه الناحية وتصغيرها في بداية عملية الاختيار بواسطة الخطط العامة المطوَّرة لهذا الغرض، بدل ترك حلها حتى النهاية حين وضع مواصفات وتفاصيل البناء.

ويتضمن وضع الخطط العامة اتخاذ قرارات بشأن جميع متطلبات الأداء، ولذا يجب القيام بإجراءات موازنة دقيقة. ويشتمل ذلك على الموازنة بين المبنى الخامل من حيث مفاعيله في البيئة، وبين الخدمات النشطة. فبوجود طلب متزايد لجودة البيئة الداخلية مع تغيُّرات قليلة مثلاً، من غير الممكن تجنب وجود الخدمات النشطة. والخدمات هي صاحبة الأرجحية في توليد مُخرَجات تؤثِّر في الظروف الداخلية للمبنى وفي استهلاك الطاقة فيه. فمن الممكن الاستفادة من بعض تلك المُخرجات. فاستعادة الحرارة من الهواء المُصرَّف إلى الخارج يمكن أن يُقلِّص حجم منظومة التدفئة في المبنى واستهلاكها للطاقة. إلا أن ضجيج المراوح اللازمة لتدوير الهواء يمكن أن ينتقل إلى البيئة الداخلية عبر مجاري الهواء. وهذا يستدعي اتخاذ قرارات بشأن استعمال كواتم أو ماصَّات صوت ضمن المجاري. وحينئذ يجب اختيار مواد الكواتم والماصَّات بعناية كبيرة لأن الألياف المستعملة فيها يمكن

أن تتطاير ضمن تيار الهواء وتنتقل إلى الغرف التي تُخدِّمها منظومة مجاري الهواء. ومن ناحية أخرى، تتصف التصاميم التي يمكن أن تستفيد من التهوية الطبيعية بواسطة الريح وفروق الضغط الأخرى بمزايا كبيرة، ولذا يجب أن تكون تلك التهوية جزءاً من مفهوم التصميم الشامل، لا مجرد تفصيل خدمي.

ويتصف معظم مواد البناء بالخمول الكيميائي، ولذا فإنها لا تضيف شيئاً إلى الظروف البيئية. وفي ما يخص الرطوبة الناجمة عن أعمال البناء، والتي تظهر عادة في مراحل الإشغال الأولى للمبنى، فقد جرى التغلُّب عليها إلى حد بعيد باستعمال مكوِّنات إنشائية جافة.

اختيار عناصر المبنى الداخلية

تركَّز تحليل الظروف الداخلية والخارجية حتى الآن في داخل المبنى وخارجه. إلا أن المباني نادراً ما تُستعمل لنوع واحد من الأنشطة. صحيحٌ أن ثمة غرضاً عاماً واحداً للمبنى، إلا أن تحقيق ذلك الغرض يتضمن حتماً سلسلة من الأنشطة المنفصلة المتداخلة في ما بينها. وحين تحديد العناصر الداخلية والطوابق وجدران التقسيمات الداخلية ضمن المبنى، فإن البيئة الخارجية بالنسبة إليها قد تكون حيِّزاً داخلياً آخر مستعملاً لنشاط مختلف. عندئذ يمكن تسميات الداخلي والخارجي أن تكون متبادلة.

وتعتمد المشكلات التي على المبنى حلها على الطريقة التي تؤثِّر بها عناصر من بيئة ما في بيئة أخرى. وتعتمد مهمة المبنى على الطريقة التي يحصل بها الجريان الذي يُدخِل اضطراباً في الظروف المرغوب فيها. فمثلاً، قد تكون مهمة الجدران الداخلية أن تحد من انتشار الصوت باتجاه معين، وانتشار الحرارة باتجاه آخر إذا كانت تلك الجدران بين غرفة مكتب وقاعة معمل غير مدفَّأة مثلاً.

نظرة من داخل المبنى نفسه

برغم أن عملية تعديل البيئة ضمن المبنى ليست من اهتمامات المستعمل المباشرة ظاهرياً، فإنها تولِّد مناخات وسيطة أو صغيرة ضمنه. ويمكن تلك المناخات أن تكون ذات مفعول كبير في تكلفة المبنى الجارية أو مدة حياته المتوقعة، ومن الواضح أن هذا واحد من اهتمامات مستعملي البناء أو العاملين فيه. ولعل أفضل مثال على ذلك هو التكاثف ضمن تشققات الجدران الذي يؤدي إلى

تكوُّن رطوبة في الوقت الذي يكون فيه الجدار أو السقف جافاً ظاهرياً. إن تبلُّل العازل يقلِّص كفاءته، وإذا استمر يمكن أن يولِّد عفناً أو يسبِّب تأكُّلاً، ومن ثمَّ يؤدي إلى إخفاق مبكِّر.

يمثِّل تحليل هذه الظروف الوسيطة، التي نادراً ما تصل إلى حالة مستقرة، مهمة أخرى للتقانيين الذين يسعون إلى توفير أداء مُرضٍ مستمر ضمن طيف واسع من الظروف البيئية التي يمكن أن تسود.

الخلاصة

1. من مهام عملية البناء توفير منشآت ذات ظروف بيئية داخلية مختلفة عن الظروف السائدة في الخارج. وتلك الظروف ضرورية لتحقيق وظائف مادية واجتماعية.

2. حين إشادة المبنى، سوف يكون له مفعول في كل من البيئتين المادية والاجتماعية اللتين يجب أن تكونا مفهومتين وجزءاً من التحليل.

3. يجب تعريف قيم معينة ومجالات مقبولة لعدد من الموسِطات (Parameters)، **وذلك لتحديد الظروف الداخلية التي تضمن بيئة مريحة صحية آمنة. وتعتمد تلك القيم والمجالات على الأنشطة التي تحصل ضمن المبنى.**

4. تولِّد الأنشطة داخل المبنى نواتج تمثِّل مُدخلات إلى البيئة الداخلية تؤدي إلى تغييرها. وعندما تؤدي تلك المُدخلات إلى إخراج ظروف البيئة الداخلية من المجال المرغوب فيه، فإن على المبنى أن يُوفِّر تحكُّماً ملائماً للحفاظ على البيئة الداخلية المطلوبة.

5. في ظروف التشغيل، يجب النظر إلى التداخل في ما بين الظروف الخارجية المتغيِّرة والمُدخَلات من الأنشطة والمبنى نفسه على أنه عملية متغيِّرة، أي سلسلة من الجريانات التي تسعى إلى التوازن.

6. إضافة إلى فهم كيفية الحفاظ على الظروف الداخلية، من المهم فهم كيفية تأثير الحلول المختارة في البيئة عموماً.

7. إن فهم الظروف الخارجية المناخية، وتلك التي من صنع البشر، ضروري ليس بسبب دور المبنى في التغيُّرات البيئية فقط، بل لأنها تضع على كاهل البنية الإنشائية أحمالاً أيضاً، وتؤدي إلى تدهور وتلف المواد التي تتألف منها.

8. نظراً إلى أن الظروف الخارجية تؤثِّر في كثير من جوانب تحليل الحل المقترح للمبنى، فإن الظاهرة المناخية نفسها، ولتكن هطول المطر، يجب أن تُحدَّد بطرائق عدة تبعاً لجزء التحليل الذي يجري القيام به. وفهم أوجه المناخ المختلفة هام أيضاً حين اختيار الطرائق الملائمة للتصنيع والتجميع.

9. غالباً ما تَفصِل عناصر داخلية في المبنى بين مناطق مختلفة ذات أنشطة متنوعة تتطلَّب ظروفاً داخلية مختلفة. في هذه الحالة، يكون تعريف البيئة الخارجية على أنه مجموعة أخرى مختلفة من الظروف الداخلية في حيِّز مغلق آخر.

10. حين تعديل البيئات داخل المبنى، يمكنها أن تكون داخلية أو خارجية، بعضاً بالنسبة إلى بعضها الآخر، وهذا يعني أن الظروف ضمن المبنى لا تكون داخلية ولا خارجية. وحينئذ يجب تعريف البيئة الصغيرة ضمن المبنى وتحليل معدل استجابتها للتغيُّر.

الفصل السادس

قاعدة الموارد

نُقدِّم في هذا الفصل الموارد الأساسية الأربعة الضرورية لتشييد المباني. وتُعتبر المواد المورد الرئيسي، لأنها مقترنة مباشرة بتشكيل المكوِّنات وبإشادة المبنى النهائي. والمورد الثاني هو المعرفة والمهارة اللتان يمتلكهما القائمون بالتصميم والإنتاج بغية استغلال خواص تلك المواد. وتمكِّن تجهيزات الإنتاج من استعمال المواد بصيغ ومقاسات وأشكال غير ممكنة بالجهود البشرية وحدها. وأخيراً، يُعتبر المال مورداً يجب إنفاقه من قبل المسؤولين عن المبنى والمشاركين الآخرين في صناعة البناء.

تقديم

ينضوي تأمين الموارد عادة تحت أنشطة الإدارة والتنظيم والتحكُّم. وقد اعتُبرت الموارد غالباً على أنها تتكوَّن من المواد واليد العاملة والآلات والأموال التي يجب استعمالها في عملية تشييد المبنى. ومن وجهة نظر الإدارة، تمثِّل هذه الموارد الأربعة مُدخَلات عملية التشييد التي يجب الحصول عليها واستعمالها والتحكُّم فيها. ومع أن فهم الاختيار التقني للمبنى يختلف عن إدارة عملية البناء، إلا أن فكرة الموارد الأساسية الأربعة تمثِّل نقطة بداية جيدة للتفكير بتقييم الحل المقترح للمبنى.

إن معرفة وفهم الموارد جوهريان لتحليل قابلية البناء والتكلفة والتفاعلات الاجتماعية في تقييم الحل المقترح. ويقوم مفهوم قابلية البناء برمته على المقدرة على تحصيل الموارد بنجاح بغية تحقيق المواصفات المطلوبة التي تقود إلى الأداء المرغوب فيه. وتنجم التكاليف عن الموارد والتحكُّم فيها فقط، وتتحدَّد أسعار تلك الموارد بالظروف الاقتصادية والسياسية السائدة. وثمة اهتمام للمجتمع بالمفاعيل البيئية المادية والاجتماعية لاستعمال الموارد في عملية البناء، إضافة إلى المورد المتمثِّل بالمبنى نفسه حين استعماله.

المواد – المورد الرئيسي

نظراً إلى أن المواد هي واحدة من المتغيِّرات الأساسية في عملية التشييد النهائية، يمكن اعتبارها المورد الرئيسي. وهي تُعرَّف بأنها جانب جوهري من اختيار تلك العملية بسبب خواصها وسلوكها في تحقيق الأداء، وفقاً لما ناقشناه في الفصل 4. لكن ثمة حاجة أيضاً إلى فهم مقدرتنا على تحويل المواد الخام إلى حالة مصنَّعة لها واحدة من عدد من صيغ المكوِّنات الملائمة للتركيب ضمن وحدة تجميعية نهائية. لأن صنع المكوِّنات من المواد الخام، متبوعاً بتثبيتها في مواضعها النهائية، هو الذي يحدِّد جميع الموارد الأخرى اللازمة لعملية التشييد.

لذا، فإن استعمال مادة لا يعتمد على الخواص الكامنة فيها فقط، بل بتوافر الموارد الأخرى اللازمة لمعالجتها وتصنيعها وتجميعها في المبنى. إن وجود الموارد (أو على الأقل الإرادة الاقتصادية والسياسية لتوفير الموارد) الضرورية لإيصال المادة إلى حالتها المصنَّعة هو الذي يحدِّد نجاح صيغة وتفاصيل عملية التشييد المختارة.

وفي المجتمعات التي لا تكون الموارد متوافرة فيها بسهولة، تقتصر إشادة المنشآت غالباً على المواد ذات المنشأ المحلي غير المعالَجة نسبياً. وقد يكون من الصعب التنبُّؤ بخواص تلك المواد وباختلافات جودتها حين جلبها إلى موقع البناء. وهذا يقتضي إما عملية انتقاء تؤدي إلى مقدار كبير من النفايات (وهذا غير مقبول اقتصادياً غالباً)، أو أن على التصميم أن يفترض أداء محدوداً للمادة، وهذا ما يؤدي إلى عناصر ذات مقاطع كبيرة. إن كثيراً من الأعمال التطويرية في معالجة المواد يسعى إلى الحد من التفاوتات فيها، إضافة إلى تحسين خواصها الطبيعية الأساسية.

ولا تقتصر نواتج قاعدة التصنيع والبنية التحتية المتزايدة على تحقيق جودة مضمونة، بل إنها توفِّر أيضاً طيفاً أوسع من المواد. إلا أن ظهور تلك المواد الجديدة لا يعني إمكان إدراجها في التصميم مباشرة مع توقُّع الوصول إلى مبانٍ ناجحة. بل إن ثمة حاجة دائماً إلى التيقُّن العملي من أن المهارة اللازمة لمعالجة تلك المواد وتجميعها متوافرة.

وفضلاً عن فهم خواص المادة ذات الصلة بالأداء، تجب معرفة خواص تشغيلها أيضاً، لأن قلة قليلة من المواد هي القابلة للاستعمال بصيغتها المتوافرة في الطبيعة. وثمة صناعات كاملة تهتم بمعالجة مواد تعتمد عليها المباني في توفير

مكوِّناتها. وفي بعض الحالات، مثل الخشب، تُعتبر المعالَجة تحويلاً محدوداً يحافظ على الخواص الكامنة في المادة. وفي حالات أخرى، ومنها حالة البلاستيك مثلاً، يمكن التركيب والمعالجة أن يعطياها طيفاً واسعاً من الخواص، لكن فقط ضمن حدود السلوك الأساسي الذي تحقَّق أخيراً بالبنى الجزيئية ذات السلاسل الطويلة لهذه المجموعة من المواد. لكن في كلتا الحالتين، الخشب والبلاستيك، لا تتصف جميع الأنواع بقابلية متشابهة للتشغيل. فالاستقامة وتقارب الحُبَيْبات في الخشب، والتمييز الأساسي بين البلاستيك الحراري والبلاستيك المصلَّد حرارياً، مثلاً، تؤثِّر جميعاً في كيفية استعمالها في الواقع العملي.

والسهولة، التي يمكن بها إجراء عمليات على المواد، هي مفتاح اختيار مقاسات وأشكال المكوِّنات وطرائق تثبيتها في وحدات تجميعية. والسهولة التي يمكن بها قص المادة وحنيها وصبها وبثقها من دون الإضرار بخواصها المفيدة تحدِّد طرائق تصنيعها وتجميعها. وهذا يحدِّد اقتصاديات عملية البناء.

وهذا يؤدي إلى طيف من المواد التي يمكن استعمالها لصنع مكوِّنات متشابهة. فلبنات الآجر، التي تقترن عادة بالصلصال الذي يُقوْلَب أو يبثق حينما يكون طرياً ثم يشوى، تقابلها لبنات الخرسانة التي تعتمد على تفاعلات كيميائية تحصل عند درجة الحرارة المحيطية. وفي حين أن هذا يعطي منتَجاً بعض خواصه تُشابه خواص منتَج آخر، فإن خواصه الأخرى يمكن أن تكون مختلفة. فمثلاً، تتمدد لبنات الآجر الصلصالية في أيامها الأولى، في حين أن لبنات الخرسانة تنكمش. ويمكن لبنات الآجر أن تكون غير منتظمة من حيث المظهر والأبعاد، في حين أنه لا تحصل في أبعاد لبنات الخرسانة سوى تفاوتات قليلة. وهذا يتعلق بخواص المادة، وليس صفة متأصلة في اللَّبِنة.

ليس عدد المواد التي نستعملها لانهائياً، ولتحويلها ومعالجتها مفعول في كل من البيئتين المبنية والطبيعية. ووفقاً لما ناقشناه في الفصل 4، كان إدراك ذلك التحويل الإنجاز الرئيسي في أواخر القرن العشرين، ومن الممكن لمفعوله في اختيار مواد البناء أن يكون عميقاً. والقلق المقترن باستخراجها ومعدلات نضوبها والطاقة اللازمة لتحويلها والملوِّثات والنفايات الناجمة عنها والتخلُّص منها في نهاية مدة حياتها، يقتضي تحليلاً من المهد إلى اللحد لبيان مفاعيل استعمالها الحقيقية في البيئة. فالمواد ذات الخواص الملائمة والقابلة للتشغيل بالمهارات المتوافرة قد لا تكون مناسبة لاستعمالها في البناء بسبب مفاعيلها البيئية.

المعرفة والمهارة ـ الموارد البشرية

يمكن القول أن كثيراً من الحيوانات هي بُناة. ويبدو أن قلة من [أجناس] الرئيسيات العليا قد وضعت أيديها على مبادئ استعمال الأدوات. إلا أن البشر وحدهم يتصفون بالمقدرة على الذهاب بذلك إلى مستوى التعقيد الذي نراه في العالم اليوم. وهذه المقدرة الفكرية، حين استعمالها في تطوير مهارات التصميم والبناء، هي المورد العظيم الثاني الذي نمتلكه لتشييد المباني.

إن تطوير المعارف وتكوين المهارات هما اللذان يحدِّدان أصول أفكارنا عن كيفية البناء، وهو الذي يعطينا الثقة بمحاولة القيام بالبناء أيضاً. تتصف الأنشطة البشرية بأنها اجتماعية بشكل عام، ويتطلب التعقيد الاجتماعي المتزايد طيفاً واسعاً من المباني وأغراضها. وبوجود بيئة ثقافية متجانسة، تولِّد الأنشطة الاقتصادية المتزايدة مزيداً من الموارد لمصلحة الأنشطة التقانية التي تتجلى في الطرائق المستعملة في البناء. ولعل ما هو أهم أن البيئة الثقافية هي التي تحدِّد السرعة التي تحصل بها التطورات التقانية. وإذا سبقت تلك التطورات تكوين المعارف والمهارات كثيراً، كان ثمة احتمال متزايد للإخفاق.

وفي كل مرة توضع فيها فكرة جديدة موضع التطبيق العملي، تُعتبر تجربة يمكن أن تخفق نتيجة لخطأ في فهمنا للمادة أو لسلوك المبنى. فالتقانة تشتق قدراً كبيراً من المعرفة والخبرة من الممارسة العملية ومن العلوم أيضاً. وتقدير هذه الخبرة والمهارة هو الذي يجب أن يحصل قبل تقييم المجازفة التي ينطوي عليها اختيار المبنى. وفي البيئة الاجتماعية المعقدة، من غير المحتمل أن تكون تلك المعرفة والخبرة متوافرتين لدى أي شخص بمفرده، أو حتى لدى مجموعة صغيرة من الأشخاص. ولذا يصبح التواصل بين هؤلاء الذين يمتلكون وجوهاً مختلفة من الفهم التقاني أمراً لا مناص منه.

يتجلى هذا المورد، المتمثِّل بالمعرفة والمهارة، في التنظيمات الاجتماعية للناس. والعمال والمصممون والمديرون منغمسون في ذلك مباشرة من خلال اكتسابهم للمعارف من التأهيل والتدريب، ثم من تجاربهم اليومية. ويولِّد ويُراكم مصنِّعو المواد والمكوِّنات أيضاً معلومات ومعارف لها أهمية كبرى في عملية استعمال تلك المواد في أعمال البناء. وتقف وراء كل ذلك أنشطة بحث وتطوير غير مباشرة غالباً، لكنها ذات صلة بصناعة البناء. وهذا يغذي المعرفة التي يمكن الاعتماد عليها عملياً لتحسين فرص اتخاذ القرارات الحكيمة وتقليص مخاطر الإخفاق.

وهذه المعرفة هي معرفة تقنية من حيث الجوهر، لكنْ ليس كلياً. فالتصميم هو جزء مفتاحي من عملية اختيار طريقة البناء التي تُستعمل لتشييد مبانٍ جيدة، إلا أن قيمته محدودة من دون فهم الجوانب التقنية لعملية البناء. إن مهارات المدير التنظيمية والتحفيزية على درجة من الأهمية هنا، إلا أنها يمكن أن توضع في المكان الخاطئ وأن تُستعمل على نحو سيِّئ إذا لم تكن تلك الجوانب التقنية مفهومة تماماً. ولا يمكن عزل مهارة العامل في استعمال الأدوات عن فهم القضايا التقنية، خاصة عندما يكون الأمر متعلقاً بعملية بناء جديدة. فالأحكام التي يُصدرها العامل بشأن التفاوتات (التسامحات)، مثلاً، لا تقتصر على معرفته بقابلية تشغيل المواد فقط بل يمكن أن تؤثِّر في العمليات اللاحقة في التجميع أو في الأداء الطويل الأجل للمبنى.

إن مقدرة الأفراد على إصدار الأحكام التقنية، إضافة إلى مهاراتهم، هي المفتاح الذي يحدِّد توافر الموارد الملائمة. يُضاف إلى ذلك أن الفهم التقني يجب أن يكون موضع تشارك فيه وتواصل بشأنه بحيث يمكن كلَّ فرد اتخاذ القرارات الصحيحة التي تحدُّ من المجازفة في عملية البناء الشاملة.

تجهيزات الإنتاج ـ المورد التقاني

بوجود الأشخاص المناسبين من ذوي المهارات والخبرة لاختيار المواد ومعالجتها وتشغيلها لإنتاج مكوِّنات ووحدات تجميعية ملائمة، من الممكن تشييد مبانٍ جديدة. إلا أن تلك المباني سوف تُصنع من عدد صغير من المواد، وسوف تكون ذات مقاسات محدودة أيضاً [إذا اقتصرت عمليات تصنيعها وتشييدها على العمل اليدوي]. أما استعمال وسائل الإنتاج، سواء أكانت تخص أعمالاً مؤقتة، أو مُعدَّات وآلات، فهي التي توسِّع الإمكانات التقانية لعملية البناء. وثمة مناقشة لهذا الموضوع في الفصل 13.

صحيحٌ أنه يُنظر اليوم إلى تجهيزات الإنتاج على أنها وسائل لتحقيق إنتاجية عالية بتكلفة منخفضة، إلا أنها كانت في الأصل مورد مكَّن من اختيار حلول لم يكن من الممكن تنفيذها يدوياً، بل باستعمال آلات مناسبة. وقد أدت إلى نشوء سلسلة من التقانات التي لا يمكن الاستغناء عنها اليوم في تنفيذ أي مبنى.

في الأيام الأولى للمنشآت الضخمة، مثل الكاتدرائيات والإنشاءات الهندسية المدنية الأولى، كانت تقانات الإنتاج تُصمَّم وتُبنى من قبل المسؤولين عن أعمال

البناء أنفسهم. وكانت تلك التقانات مقتصرة غالباً على رفع المواد إلى الأعلى، وعلى المعالجة البسيطة للمواد. وكانت المهارات اليدوية هي المعتمَد عليها في تشكيل معظم المكوِّنات وإنهائها، وفي تثبيتها في مواضعها النهائية.

وصحيحٌ أن الغرض من تجهيزات الإنتاج تلك مازال من حيث الجوهر هو التحرُّر من قيود قوة الفرد الذي لا يمتلك سوى أدوات يدوية، إلا أن توافر تلك التقانات الآن يجعل العمليات آمنة واقتصادية، ولذا أصبحت هي الخيار المفضَّل لأنها تخفِّض التكلفة وترفع الجودة. إن معرفة تجهيزات الإنتاج في مرحلة التصميم ووضع تفاصيل استعمالها أمران هامان لاختيار واعتماد الحلول الاقتصادية والآمنة.

وليست عملية المكننة هذه مقتصرة على عمليات التجميع في موقع البناء. فوراء خيارات المواد المتزايدة، تقف التطوُّرات في معامل المعالجة. ووراء خيارات المكوِّنات المتزايدة، تقف عمليات صناعية مؤتمتة. وأصبحت السلسلة التقانية، التي تمكِّن من اختيار الطريقة الملائمة لإشادة المباني، واسعة اليوم.

وتوفَّرت المُعدَّات والآلات منذ مدة طويلة لمعالجة المواد ورفعها إلى الأعلى، لكن ذلك كان يحصل غالباً اعتماداً على وسائل ميكانيكية تقوم على القوة الجسدية البشرية. لكن ظهور مصادر الطاقة الحديثة بدَّل ذلك المشهد. وأصبح من الممكن الآن استعمال وحدات طاقة صغيرة، في آلات كبيرة جداً وآلات صغيرة جداً، وهذا ما أدى إلى توافر وتنوع هائلين في المُعدَّات والتجهيزات. إلا أن معظم الآلات ما زال يحتاج إلى خبرات البشر ومهاراتهم لقيادتها وتشغيلها. ولعل أكثر التغيُّرات الجوهرية في العلاقة بين الآلات وطريقة إشادة المبنى المختارة هي التي سوف تنجم عن ظهور الآلات التي تقوم بوظائف مشغِّليها. فباستعمال تقانة الإلكترونيات المتكاملة لأتمتة تجهيزات البناء، يمكن الاستعاضة عن العلاقات بين المواد واليد العاملة ببروتوكولات بين المواد والآلات. ويمكن مشاهدة ذلك، مثلاً، في التحكُّم الرقمي الحاسوبي (computer numeric control CNC) المستعمل الآن في صناعة الفولاذ الإنشائي والذي يأخذ معلوماته مباشرة من قاعدة بيانات تصميم حاسوبية.

وغالباً ما يتضمن الاستعمال المتزايد للطاقة حرق وقود أحفوري، ولهذا مفعول بيئي يجب أخذه في الحسبان حين اختيار طريقة البناء.

المال ـ المورد التمكيني

يختلف المال جوهرياً عن الموارد الثلاثة الأخرى من حيث إنه لا يُستعمل مباشرة في أعمال إشادة المبنى. فهو ليس ذا طبيعة تقنية، ولذا يمكن نقله بسهولة كبرى إلى مجالات أخرى من الأنشطة الاقتصادية. ويجب النظر إلى استعماله في أعمال البناء على أنه ذو مردود جيد. في الماضي، كان الاهتمام بالمباني الضخمة موجهاً نحو المكانة والاقتران بالأشياء الجميلة. أما اليوم فيتركَّز في عوائد رأس المال، وهذا يُحدِّد معظم القيم الأخلاقية التي تحيط ببناء المبنى.

ثمة مجموعتان رئيسيتان من الأفراد، أو الأعمال والشركات، تريان في استثمار المال في العقارات عوائد جيدة. تضم المجموعة الأولى الزبائن الذين يسعون إلى امتلاك المباني بعد إشادتها من قبل متعهدي البناء. وتوجد لدى هؤلاء متطلبات تنطلق من وظيفة المبنى الشاملة وتُمكِن ترجمتها من خلال التصميم إلى وظائف، ومن ثَمَّ إلى أداء مكوِّنات تمكِّن من تنفيذ الخيارات التقنية المعتمَدة. فإذا كان من الممكن إشادة المبنى مقابل المال الذي يقبل الزبون تخصيصه له، فإنه على الأرجح ينظر إليه على أنه ذو مردود جيد.

وتضم المجموعة الثانية المستثمرين من المتعهدين والمهنيين الذين يمتلكون أموالاً ويرغبون في استثمارها من خلال توظيفها في الخبرات والمعارف التقنية في مجال التصميم والبناء. وموقفهم إزاء المال، خاصة إزاء قيمته الاستثمارية الطويلة والقصيرة الأجل، شديد الأهمية بالنسبة إلى الإمكانات التقنية لصناعة البناء برمتها. فعندما يُنظر إلى المورد البشري على أنه مجرد توظيف لأناس من سوق العمالة، فإنما يحصل ذلك على أنه استثمار قصير الأجل. لكنْ وفقاً لما هو مقترح هنا، إذا لم يكن المورد هو الأفراد أنفسهم، بل الخبرة والمهارة التي يمكن أن يمتلكونها، كان الاستثمار طويل الأجل، وحينئذ يجب القبول بتكاليفه. وهذا الاستعداد لتوظيف المال في التأهيل والتدريب يؤثِّر كثيراً في المقدرة التقنية لصناعة البناء على توليد عوائد للزبائن، إضافة إلى إمكانات طويلة الأجل لاستثمار أموالهم.

وثمة مؤسسة ثالثة، هي الحكومة، تتفاعل مع قرارات المجموعتين السابقتين بخصوص استثمار المال وعوائده. فالمِنَح الحكومية وقوانين الضرائب تؤثِّر في قرارات الزبائن وفي قرارت المنغمسين في صناعة البناء. وثمة أيضاً أدوار هامة للحكومة في التعليم والتدريب والبحث والتطوير تؤثِّر في المواقف الاستثمارية

لصناعة البناء، وليس أقلها دورها بوصفها زبوناً يُنفق أموال دافعي الضرائب على تشييد المباني. ليس هذا مجرد جزء كبير نسبياً تتحمَّله الحكومة من أعباء صناعة البناء فحسب، بل إن الحكومة بوصفها زبوناً يمكن أن تؤثِّر في طريقة تنظيم عملية البناء أصلاً.

ليس المال مورداً جوهرياً تقنياً ممكناً لتنفيذ حل معين. بل إن الإمكانات تكمن في المواد ومهارات العاملين وتجهيزات الإنتاج المتوافرة. لكن المال يؤدي دوراً في تحديد المستويات التي تتوافر بها تلك الإمكانات لعملية البناء، وفي النهاية لتنفيذ المبنى، مهما كانت معقدة.

الخلاصة

1. ثمة أربعة موارد يجب أن تكون متوافرة للتنفيذ الناجح للمبنى: المواد والخبرة والمهارة وتجهيزات الإنتاج والمال.

2. والمواد هي المورد الرئيسي لأنها مرتبطة مباشرة بالتنفيذ النهائي للمبنى. وإضافة إلى خواصها التي تُختار لتحقيق الأداء المطلوب، يجب أن تكون قابلة للتشغيل لصنع مكوِّنات ملائمة لتشييد المباني منها.

3. يُحدِّد مستوى التطوُّر في المجتمع مقدرته على معالجة وتشكيل المواد، وعلى تنمية الخبرات والمهارات واستعمال الآلات وتوفير المال.

4. تُستثمر المعارف والمهارات المكتسبة من التدريب والممارسة من خلال الناس الذين يمتلكونها، ويتضمن تحليلها مستوى الفهم الموجود لدى جميع الفرقاء المنغمسين في البناء وفي جودة التواصل في ما بينهم.

5. تمكِّن تجهيزات البناء، سواء أكانت مستأجرة مؤقتاً للعمل في موقع البناء، أم كانت في مصانع، من تطوير حلول للانعتاق من قيود قوة الأفراد الجسدية. لذا يجب تصميم تجهيزات الإنتاج وصنعها لتكوين سلسلة تقانية لمعالجة المواد وتصنيعها على شكل مكوِّنات يمكن تجميعها في الموقع.

6. مع أن المال لا يُستعمل مباشرة في تنفيذ الحل التقني، فإنه يمكِّن من جمع الموارد المتاحة معاً إذا كان المجتمع والزبائن وأولئك الذين يسعون وراء كسب رزقهم من إشادة المنشآت يرون في العمل مردوداً جيداً.

الفصل السابع
مفهوم التصميم

نُقدِّم في هذا الفصل علاقة مفهوم التصميم باختيار طريقة البناء، ونقترح نهجاً للنظر في الجريانات والانتقالات عبر المبنى، وفي بنيته وخدماته بغرض تحديد وظائف أجزاء المبنى تبعاً لوظيفته الشاملة.

الربط بين التصميم وخيارات البناء ـ الجريانات والانتقالات

ليس الغرض من هذا الفصل مناقشة جوانب التصميم النظرية أو العملية. بل نسعى فيه إلى إيجاد صلة بين التصميم وعملية اختيار طريقة البناء. إن التصميم ترجمة لمتطلبات الزبون من حيث تحديد مقاسات وترتيبات الأماكن في المبنى والعلاقات في ما بينها لجعلها تعمل تبعاً لما يجب أن تظهر عليه، وللظروف البيئية. وعلى التصميم أن يستجيب أيضاً للسياق المادي والاجتماعي الواسع باحتوائه لمتطلبات القوانين والتشريعات، ولتحقيقه التنمية المستدامة. يجب توضيح هذه المقاصد جيداً في المواصفات والتفاصيل لضمان أن كامل مفهوم التصميم قد تحقَّق.

وحين السعي إلى إيجاد صلة بين التصميم والخيار التقاني، يكون من الضروري الاهتمام بالترتيبات المكانية، وبالجريانات والانتقالات في ما بين الأماكن وحولها، وعبر المبنى نفسه أيضاً. وغالباً ما يُنظر إلى التصميم على أنه ثلاثة مجالات متكاملة، بنياني وإنشائي وبيئي، لكل منها خصوصياته من حيث الحيِّز والجوانب الإنشائية، إضافة إلى اعتبارات الجريانات والانتقالات.

لذا يجب على التصميم تحديد الترتيبات المكانية، داخلياً وخارجياً، إضافة إلى تعريف سلسلة الجريانات والانتقالات في ما بينها. فمن خلال تحديد الجريانات والانتقالات تُمكِن رؤية السلوك المتغيِّر للمبنى المتوقَّع في أثناء تشغيله.

وهذا يسمح بمقترح أولي للصيغة العامة للبناء التي يمكن أن تكون ملائمة. ولعل ما هو أهم من ذلك أن تسمح بتعريف وظائف أجزاء المبنى وإسهاماتها في وظيفة المبنى بأسره.

تحصل الجريانات والانتقالات بواحدة من ثلاث طرائق. الأولى هي ضمن المبنى نفسه وحوله، ولعل أوضحها وفقاً لخبرتنا العملية هو حركة الناس والأشياء ضمن المبنى وحوله. وهذا على درجة من الأهمية المباشرة لجوانب التصميم التي تهتم بترتيب الأمكنة المتاحة للاستعمال. ويجب توسيع ذلك ليغطي حالات الطوارئ، مثل الحريق، حيث يجب تحديد مسالك النجاة الاستثنائية التي على الناس استعمالها، وتحديد مقاساتها. وتتضمن الحركة داخل المبنى وحوله أيضاً جريان الهواء الحامل للرطوبة والحرارة والروائح. ونظراً إلى أن هذا الجريان هو عملية تهوية طبيعية، فإنه يجب أن يُخطَّط له من البداية، وقد يتطلَّب فتحات غير الأبواب والمنافذ المخصصة لانتقال الأشخاص ونقل الأشياء.

أما الطريقة الثانية التي تحصل بها الجريانات والانتقالات، فهي عبر بنية المبنى الإنشائية نفسها. ولهذا أهمية مباشرة في اختيار بنى المكوِّنات وتغليفها. وبرغم اعتبار المبنى خاملاً في أغلب الأحيان، فإن سلوكه يتغيَّر من حيث استجابته لتلك الجريانات والانتقالات. فثمة تدفقات للطاقة على شكل حرارة وضوء وصوت عادة، إلى جانب انتقالات للقوى عبر العناصر الإنشائية. وتتضمن تلك الجريانات أيضاً نقلاً مادياً للغازات والسوائل عبر التشققات والمواد النفوذة.

والطريقة الثالثة للجريانات والانتقالات تحصل من خلال مرافق خدمات المبنى. وهي منظومات مصممة لأغراض محددة تتصف بأنها نشطة لأن مهمتها هي نقل أشياء تخص الخدمات ضمن المبنى وحوله. ويمكن تلك المنظومات أن تحتوي على وسط حامل للطاقة، ومن أمثلته الماء الساخن المستعمل في التدفئة، أو شبكة أسلاك الكهرباء. ولمنظومتي الماء والصرف الصحي وظيفتان هما نقل الماء النظيف إلى نقاط مثل المغاسل ثم التخلُّص من الماء الملوَّث بطريقة صحية. وتُنقل الإشارات والبيانات بواسطة منظومات الاتصالات. ونظراً إلى أن جميع تلك المنظومات هي منظومات نشطة، فإنها تحتاج إلى تحكُّم فيها. فهي تحتاج إلى تشغيلها وإيقافها عن العمل، وهذا ما يميِّزها من بنية المبنى الخاملة حيث تتحدَّد الجريانات والانتقالات بخواص المواد وبمقاسات المكوِّنات فقط.

يجب تضمين مقاسات الأماكن والعلاقات في ما بينها، وتفاصيل بنية المبنى الإنشائية وخدماته والمبادلات والانتقالات التي تحصل فيه في مفهوم التصميم أيضاً. ويجب توضيح الغرض من التصميم بحيث يمكن أخذه في الحسبان مباشرة في عملية اختيار الحلول التقانية.

مفهوم التصميم ـ الخيارات العامة

تتطلَّب الاعتبارات البنيانية والإنشائية والبيئية تصميماً مفاهيمياً يُحدِّد بعض صيغ البناء العامة في مرحلة مبكرة من عملية التصميم بغية ترجمتها إلى حلول محدَّدة في ما بعد. وتتحوَّل التصاميم إلى حقيقة بواسطة الحلول التقنية المقترحة والموارد المتوافرة. وبالتأكيد، توضع التصاميم في الذهن بواسطة حلول تقنية. هذا لا يعني وجود حلول تفصيلية كاملة، والأرجح هو أن تكون تلك الحلول مقترنة بتعريف للخيارات التقنية العامة التي تشير إلى المواد والمقاسات، وحتى إلى التفاصيل ذات الصلة بها، وبكيفية عملها مع عناصر أخرى من المبنى. وفي بعض الحالات يمكن متطلبات الزبون أن تقود إلى تصاميم لا يمكن تحقيقها بالتقانات المتوافرة. ويمكن رؤية ذلك في أولى التصاميم المستدامة التي تستعمل التهوية الطبيعية، وفي طرائق تبديل الهواء الليلية لتقليل استهلاك المبنى من الطاقة. وهذا يتطلَّب استقصاء مفصلاً أعمق للصيغ العامة وللطرائق التي يمكن أن تعمل بها حين تحويل التصميم إلى واقع عملي.

إلا أن ثمة تحديات في الاختيار بين نسخ التقانات المستعملة في مبنى شُيِّد من قبل، وبين تطوير حلول جديدة مبتكرة للصيغ العامة. ولعل المسألة المفتاحية في هذه العملية هي مدى صعوبة تنفيذ التصميم الذي هو قيد التطوير تقانياً. وليس ثمة من علاقة مباشرة بين التصاميم المبتكرة والصعوبات التقانية. فالتصميم الجديد والمختلف كلياً قد يكون أسهل تنفيذاً بواسطة المهارة والخبرة التقنيتين المتوافرتين.

الأداء المادي والمظهر ـ تلبية متطلبات الزبون والمتانة والمتعة

يجب أن تؤدي أفكار التصميم إلى تحديد وظائف أجزاء المبنى المختلفة، مع مستويات الأداء المطلوب منها، وذلك بغية عمله بنجاح. والانتقال من متطلبات الزبون، بلغتها وصورها التي تصف العمل الطبيعي للمبنى، إلى المواصفات التقنية لأجزائه، يجب أن ينبثق من مفهوم التصميم الذي يعبِّر عن الأداء المادي والمظهر المرغوب فيهما.

وتخضع مفاهيم المظهر لاعتبارات الذوق والأناقة والشكل، وجميعها ينطوي على رؤى جمالية ويعتمد على استجابات تفرضها المؤثِّرات الثقافية والاجتماعية. لكنْ يجب عدم تفسير المظهر تفسيراً ضيقاً جداً في هذا الجانب من التصميم. فهو لا يقتصر على إنهاءات السطوح المرئية فقط، بل يشتمل أيضاً على الشعور العام بالمكان وبمظهره من قبل المشاهد. فالشعور بمكانة المبنى يماثل (أو يفوق) مظهر المبنى نفسه.

إن مسألة إشادة مبنى يحقِّق الوظائف المطلوبة منه هي مسألة أداء مادي. لذا تجب إقامة المفاهيم على حقائق العالم المادي وقوانين الطبيعة في المقام الأول، برغم أن ترتيبات الأماكن المادية تؤثِّر في الراحة النفسية. وتشتمل تلك المفاهيم على أحكام مادية وبيئية وإنشائية، وقد تطلبت في الماضي القريب معارف من العلم والهندسة وعلاقات وبيئات العمل. وهي تتطلب فهماً للسلوك المادي للمبنى حين تعرُّضه إلى قوى الطبيعة.

إن معظم تعاريف "التصميم الجيد" يقول إن كلاً من أداء المبنى العملي ومظهره يجب أن يتحققا قبل إصدار أي حكم على جودته. وقد عبَّر المعمار الروماني فيتروفيوس(*) (Marcus Vitruvius Pollio) عن ذلك في القرن الأول قبل الميلاد بالعبارة "تلبية المتطلبات والمتانة والمتعة". والمقصود بتلبية المتطلبات والمتانة مقدرة المبنى على تلبية أنشطة المستخدم، إضافة إلى محافظته على سلامته الإنشائية. وقد أشرنا إلى ذلك سابقاً في هذا الكتاب بعبارة الفائدة والأمان. وكلتا الصفتين يقتضي الاهتمام بأداء المبنى المادي. أما المتعة، فهي ما يشعر به الناس تجاه المبنى. ومن دون هذه الصفات جميعاً، يكون المبنى ناقصاً بمعنى ما. إنها جميعاً أهداف مشروعة يجب على الحلول التقانية تحقيقها. ونظراً إلى طبيعة هذه الأهداف، وإلى التقييم اللاحق الذي سوف يُجرى بطرائق مختلفة، فإن التمييز بين الأداء المادي وما يُشار إليه هنا بالمظهر (المتعة) يبدو ملائماً.

يختلف المظهر عن الأداء المادي بطريقة إصدار الأحكام على النجاح. فالاستجابة إلى جوانب المظهر سوف تُقام على استجابة بشرية ثقافية، وحتى

(*) كاتب ومهندس ومعماري روماني نَشَط في القرن الأول قبل الميلاد واشتهر بمؤلفه المتعدد المجلدات **البنيان** (*De Architectura*) الذي وردت فيه العبارة *firmitas, utilitas, and venustas*، أي المتانة والفائدة والمتعة (المترجم).

روحية، يُعبَّر عنها عاطفياً إذا كان من الممكن التعبير عنها من حيث المبدأ. أما الاستجابة إلى الأداء المادي فهي نفسية جسدية يُعبَّر عنها بالشعور بالراحة وبالحالة الذهنية. وسوف يكون ثمة تداخل بين الاستجابتين حتماً. فكل من المظهر والأداء المادي، في جوانب مثل الأمان والخصوصية، يستحث شعوراً بالسلامة النفسية.

وظائف المبنى بكليته، ووظائف أجزائه

يُعدُّ التصميم ترجمة لمتطلبات الزبون المادية والاجتماعية إلى خطة يجب أن تكون قادرة على تحديد وظيفة وأداء كل جزء من أجزائه. ويجب أن تمكِّن المفاهيم، التي توحِّد مظهر وعمل المبنى، من تحديد أدوار تلك الأجزاء في تحقيق الأداء الكلي.

ويجب أن يُحدِّد التصميم الوظيفة ومستوى تحقيقها. فعلى سبيل المثال، يجب أن يُحدِّد التصميم البيئي إنْ كانت مقاومة انتقال الحرارة بين الداخل والخارج من وظائف الجدار. ويجب أن يُحدِّد درجة الحرارة الداخلية المطلوبة، ومن ثَمَّ علاقة المُدخَلات الحرارية بمعدلات الاحتفاظ بالحرارة، ودور الخدمات والبنية الخاملة في الحفاظ على ظروف درجة الحرارة التصميمية. وفي ضوء المتطلبات العامة ذات الصلة بتقليص استهلاك الطاقة، يلجأ معظم المصممين إلى الاحتفاظ بالحرارة للتعويض عن النقص في مُدخلات الطاقة من الخارج، وهذا يعني متطلباً لأداء عال من الجدار في مقاومته لانتقال الحرارة عبره.

وبعد وضع أسس وظائف عناصر ومكوِّنات المبنى ومستويات أدائها، من الممكن الآن القيام بالتحليل الضروري لتقييم مواصفات وتفاصيل طريقة البناء المقترحة.

الخلاصة

1. يجب أن تكون ثمة طريقة لإيجاد صلة بين مفهوم التصميم الذي يقوم على متطلبات الزبون وبين عملية الاختيار التقني لعناصر المبنى ووحداته التجميعية ومكوِّناته بغية ضمان أن مفهوم التصميم والغرض من المبنى موجودان في المواصفات والتفاصيل.

2. ويجب أن يُحدِّد التصميم ترتيبات الأماكن والعلاقات في ما بينها، إضافة

إلى الجريانات والانتقالات المطلوبة بين الأماكن. وهذا يمكِّن من تحديد وظائف الأجزاء ووظيفة المبنى بكليته.

3. في البداية، يُطوَّر التصميم على الأرجح بناء على بعض الأفكار عن خيارات عامة يمكن اشتقاق مواصفات وتفاصيل منها تضمن تحقيق مقاصد التصميم الشاملة.

4. يجب أن تؤدي التصاميم الجيدة إلى أداء مادي ومظهر جيدين، ولذا يجب أخذهما في الحسبان في التحليل التقني، لكنْ كل على حدة.

الفصل الثامن

المظهر

نستعرض في هذا الفصل طرائق يمكن بها اشتقاق تفاصيل المظهر من مفاهيم التصميم، ونقدِّم كيفية تأثيرها في البناء المادي وفي المساحة التي يمكن أن تكون متوافرة للحل التقني.

تصوُّر السمات والاستجابة

اقترحنا في الفصل 7 أن الكلمة "مظهر" قد لا تكون ملائمة للتعبير عن المعنى الكامل لهذا المتطلب من مفهوم التصميم الذي يجب تحقيقه من خلال مواصفات وتفاصيل عملية البناء. واستعملنا الكلمتين "شعور" و"متعة" أيضاً، لكن حتى إن هاتين الكلمتين تحتاجان إلى مزيد من الاستقصاء بغية ترجمتهما بنجاح إلى مواصفات للمبنى.

إن من الضروري التفكير بالسمات التي سوف تؤثِّر في مظهر كل من مكان المبنى ووجوده المادي الفعلي. وثمة حاجة إلى الحكم على تقبُّل الناس للحل المقترح. طبعاً، سوف تتأثَّر استجاباتهم بالمفاعيل الثقافية والاجتماعية المحيطة بهم، وقد يكون المطلوب أن تكون تلك الاستجابات حُكْماً فنياً يقوم على الذوق والجمال. وقد يكون من المطلوب أيضاً أن يحمل المظهر رسالة ما عن الغرض من المبنى أو عن مكانة مالكه أو معتقداته. ويجب أن تكون تلك الأشياء جزءاً من متطلبات الزبون وأن تكون موجودة في مفهوم التصميم. ثم إن من المهم تقييم المدى الذي يعبر به الحل المقترح عن الاستجابات الملائمة.

المكان والبيئة

يُحكَم على مظهر المبنى في المقام الأول بإحساسنا به وبالأمكنة التي يوفِّرها.

تقسَّم المباني إلى أحياز داخلية وخارجية، خاصة وعمومية، مضاءة ومظلَّلة. ويجب على هذه التقسيمات أن تدل على وظيفة المبنى وأن تحسِّنها، ويجب أن تكون استجابة لبيئة الموقع ومحيطه أيضاً، لأنها استجابات عميقة تتضمن أحكاماً تعبِّر عن مواقف ثقافية واجتماعية. وهذا يؤدي إلى لغز من حيث إنه في الوقت الذي يكون التعبير فيه عن تلك السمات بموضوعية شديد الصعوبة في وقت اختيار الحل، فإنها هي التي يراها مستخدمو المبنى.

ونظراً إلى أن هذا الكتاب تقني في معظمه، فليس هناك نية لمناقشة هذا التحليل بأي تفصيل. لكن قد يكون من المفيد معاينة جانب أو جانبين من الجوانب التي تُسهم في صياغة هذا المقصد التصميمي من متطلبات الزبون ومن البيئة التي سوف يُشاد فيها المبنى. تجب ترجمة متطلبات الزبون إلى أمكنة تُحاكي الأنشطة التي ستحصل فيها من حيث حجومها والاعتماد المتبادل في ما بينها على بعضها. وحين فِعْل ذلك، فإن على مفهوم التصميم أن يشتمل أيضاً على أفكار تخص أشياء مثل الطراز والصورة والجمال الفني، إضافة إلى البيئة.

ويُؤثِّر تحقيق متطلبات المظهر أيضاً في الحيِّز المتاح للبناء عليه، لأنه لا يمكن المبنى أن يكون إلا في الأماكن المحصورة بين الحيِّز الداخلي والحدود الخارجية. وقد يحصل لبس بهذا الشأن في مفهوم التصميم، ليس لأنه لا يمكن دراسة صيغة المبنى وتنفيذها لأداء وظيفتها، بل لأن المساحة المتاحة قد لا تكون كافية لإقامة المبنى عليها من دون أن تؤثِّر تأثيراً سيِّئاً بالنواحي الجمالية. وهذه هي الأفكار التي سوف تُستقصى باقتضاب في ما تبقى من هذا الفصل.

الطراز

طوَّرت الحضارات المختلفة عبر التاريخ طرازات متنوعة من المباني. وقد كان تحليل البناء لدى الإغريق قائماً على الهندسة الفراغية بشكل أساسي. ونظر أصحاب مذهب الحداثة في بدايات القرن العشرين إلى المباني على أنها تمثِّل الانتظام والحياة النظيفة. وفي ما بعد في القرن العشرين، اعتُبر أن كثيراً من المباني يعبِّر عن الاستعمال الواضح للتقانات الجديدة. أما مباني الحياة اليومية، التي تطوَّرت صيغها مدفوعة بالظروف الحياتية، فتُوصف غالباً بأنها بلدية.

ولعل اللافت في هذا المنظور التاريخي، بقطع النظر عن المنشأ الثقافي، هو أن ثمة إجماعاً على أن كل تلك المباني يمكن أن تكون ذات جودة عظيمة، كل

في ما يخصه، حينما يُضمَّن الطراز في المواصفات والتفاصيل التصميمية. ولعل وحدة المفهوم هي المهمة بعد الانتباه إلى الحفاظ عليها بعناية في كل تفاصيل المبنى.

أما نسخ الطراز فهو غير ناجح غالباً. ويبدو أن ثمة حاجة إلى فهم عميق لمنشأ الطراز، أن يكون محرَّكاً بالدوافع نفسها غير المنصوص عليها التي قام عليها، وإلى إدراك الأغراض التي حقَّقها لمالك المبنى الأصلي. ويبدو أن من الضروري أيضاً توفير قاعدة الموارد الملائمة له. ومع ذلك، فإن جودة المواد، وخبرات ومهارات الحرفيين التي نمت في أثناء استقصاء وتطوير الطراز الأصلي لن تكون موجودة في أي محاولة لإعادة إنتاج أو نسخ ذلك الطراز في مكان آخر أو في وقت آخر.

الصورة

من جوانب مفهوم التصميم الأخرى الصورة التي يُقصد أن يظهر عليها المبنى. ليست الصورة مقترنة مباشرة بالأنشطة، بل هي أقرب إلى الغرض الاجتماعي والثقافي من المبنى، وإلى أحلام وطموحات مالكه أو شاغليه. وتنطوي الصورة على قضايا تخص المكانة والمنزلة الاجتماعية والتجارية. وهي تعكس المعتقدات الاجتماعية (أو الفردية) التي يعتنقها المالك أو الشاغل أو يُكِنُّ لها احتراماً خاصاً.

وهذا صحيح أيضاً إذا لم يكن المالك فرداً، بل شركة أو هيئة حكومية، مع أن الصورة من هذه الناحية هي من صنع فرد واحد، وهو غالباً رئيس الشركة أو الهيئة الحكومية. فالمعتقدات في التجارة والأعمال والسياسة هي التي تفرض مظهر المباني. قارن أُبَّهة دُور البلدية الفكتورية بالصورة البيروقراطية لدوائر الحكومات المحلية المتجلية في المباني الحكومية في نهاية القرن العشرين، أو الشعور بالأمن في قاعات المصارف عندما كانت تخبِّئ أموال الزبائن وتشجعهم على الإيداع، بالتصميم المفتوح عندما هيمنت على المصارف أعمال الائتمان والإقراض. يبيِّن كل من هذين المثالين تغيُّراً كبيراً في أهمية المكان وفي اختيار مواد وتفاصيل البناء.

وبرغم أن الغرض من مبنيَيْن يمكن أن يكون نفسه، ولذا تبقى وظائفهما متماثلة، فإن مسألة الصورة يمكن تحدِّد الترتيبات المكانية فيهما وجودة موادهما،

وكل ذلك يؤثِّر في الحل التقني إلى حد بعيد. فهي قد تتطلَّب أمكنة أصغر أو أكبر، وهذا يؤثِّر في الخيارات الممكنة للحلول الإنشائية. إن الصورة تحدِّد الجوانب التي سوف تؤثِّر في اختيار المواد ذات الجودة العالية، وتنطوي على اعتبارات تخص مدد حياة المكوِّنات. وتُختار المواد حينئذ ليس تبعاً لخواصها أو مظهرها فقط، بل تبعاً لقابليتها للتشغيل بتفاصيل دقيقة أيضاً، أو تبعاً لمقدرتها على مقاومة العوامل الجوية.

ويمكن صورة المبنى أن تتَّخذ هيئة معينة تميِّز الشركة. وفي هذه الحالة، يُستبعد كثير من قرارات التصميم. وبرغم أن الأسئلة المتعلقة بتوزيع الأماكن وبأكفأ استعمال للموقع تبقى موضع اهتمام، فإن المبنى يُصبح مجموعة من التفاصيل والمواد والألوان القياسية، مع إمكانية محدودة للتأثير في التصميم. وإذا عُمِّم هذا على [مكونات] الصنع المسبق خارج الموقع، كانت قرارات التصميم أكثر محدودية. ويمكن رؤية ذلك في منافذ البيع القائمة على امتيازات ممنوحة من شركات كبيرة، ومنها على وجه الخصوص محلات الوجبات السريعة التي ظهرت في أواخر القرن العشرين.

وفي كثير من الأحيان، لا تُترجم الأفكار الخاصة بالصورة مباشرة إلى ترتيبات مكانية ومظهر للمبنى. بل إن الصورة التي في ذهن صاحب المبنى، "الأخضر الذي يعتني بكوكب الأرض"، يمكن أن تؤدي من خلال المذكرة التي تحمل متطلباته إلى اعتبارات تخص اختيار المواد وتفاصيل عملية البناء حين تحديد طريقة تشييد للمبنى. ويمكن مستعمل المبنى أن يستغِلّ، أو لا يستغل، تلك الصورة صراحة في وقت لاحق، وذلك تبعاً لمدى أهميتها لأعماله، أو لكونها مجرد جزء من صورة المالك الذاتية بوصفها جزءاً من معتقداته وتطلعاته الشخصية.

الجوانب الجمالية

وإلى جانب مسألتي الطراز والصورة، هناك المُثُل الجمالية النقية التي غالباً ما تكون متضمَّنة فيهما. فالجوانب الجمالية للمبنى، هي قيمة يُسعى إليها بوصفها أقرب إلى الفنون التي يُعتبر فن العمارة واحداً منها. وهي تهتم بالشعور الذي يتولَّد لدى المُشاهد حينما يرى الجمال. وقد لا نكون مبالغين بالقول إن رؤية الجمال هي تجربة روحانية. وقد لا يكون من الممكن تحليل مشاعر الناس المتولِّدة في هذه الحالة، إلا أن تلك المشاعر وتأثيرها في الإحساس بالاطمئنان يمكن أن تكون مشترَكة بين جميع الأذواق المتشابهة التي ترى المبنى.

الاستجابة للبيئة

لا يَرى المباني من الداخل إلا المعنيين بالأنشطة الحاصلة فيها فقط، أما من الخارج، فيراها جمهور عريض. يُضاف إلى ذلك أن المنظر الخارجي المرئي من داخل المبنى يمكن أن يكون امتداداً للحيِّز الداخلي نفسه، ويمكن أن يغيِّر الإحساس بذلك الحيِّز. ومن ناحية أخرى، تُسهم المباني في المشهد الطبيعي أو الحَضَري، فتُحسِّنهما أو تحط من قدرهما في الشعور بالسعة.

وثمة جوانب تخص المباني سهلة التعريف والتحليل والتبرير نسبياً، منها مثلاً توجيهها بغية تحقيق حركة خروج ودخول معقولة منها وإليها، أو تحقيق أفضل استعمال للظروف البيئية الطبيعية مثل دخول أشعة الشمس إليها. وثمة جوانب أخرى، مثل المقاسات والتجمُّعات والاستعمالات الصحيحة للمواد، غالباً ما تكون صعبة التحديد، خاصة في سياق إطار عمل التخطيط القانوني.

ويمكن أن تصبح المباني موضوع جدل عمومي محلي، أو وطني في بعض الحالات. ويتجلى هذا الجدل غالباً في استجابات الناس المختلفة من حيث إعجابهم بها، وغالباً من حيث علاقتها بالمحيط. وينجم عن ذلك الجدل عادة صدمة يسببها كل جديد، أو مللاً مما هو واسع الانتشار. وغالباً ما لا يكون واضحاً إنْ كان المبنى نفسه هو الذي يفتقر إلى المحتوى التصميمي [الجميل]، أو أن موقعه ومحيطه هما المتعارضان. إلا أن ما يبدو واضحاً هو أنه يجب الاتفاق على كل ذلك بغية اكتساب المبنى الرضى الشامل.

أمكنة المبنى الداخلية

إن لضخامة المبنى أو ضآلته مفعولاً جوهرياً في مظهره. فحجم المبنى وبنيته الإنشائية الفعلية وزخارفه يجب أن تكون جميعاً متوافقة مع الطراز والصورة والجوانب الجمالية المرغوب فيها، علاوة على أهميتها للمحيط. وهذا يسري على كل من الأماكن الداخلية والمظهر الخارجي للمبنى، وعلى إسهامه في محيطه.

إن معظم أنماط التعبير عن المظهر على صلة بأشياء مثل أشكال الخطوط والسطوح، إضافة إلى ألوان وزخارف وإضاءة تلك السطوح. وهذه قيود مكانية مفروضة على تعاريف السطوح نفسها وعلى إنشائها، بحيث تُحتوى ضمن منطقة معينة بين الحيِّز الداخلي والغلاف الخارجي.

ويجب أن تكون القيود المفروضة على مقاس المبنى وترتيبه جزءاً من التحليل. وذلك لأن تحقيق المستوى المطلوب من الأداء المادي بطريقة اقتصادية، قد يدفع إلى تجاوز مقاسات وأشكال المكوِّنات للحدود المفروضة بتلك القيود، فتدخل حقل رؤية المُشاهد، وتتداخل مع المظهر المطلوب.

يُضاف إلى ذلك أن مكان المبنى أو منطقته يجب أن يحتويا على عدد من عناصر البنية التحتية والخدمات الضرورية. لذا فإن تخطيط أمكنة خدمات المبنى على القدر نفسه من الأهمية كتخطيط الأمكنة المخصصة للناس الذين سوف يشغلونه.

نهج التحليل

لا تخضع الصورة والجوانب الجمالية والاستجابة للبيئة للنوع نفسه من التحليل الذي يخضع له الأداء المادي المتوقَّع من مقترحات حلول البناء. إلا أنها تؤثِّر في الاختيار ويجب أن تكون جزءاً من أي عملية تقييم للحلول المقترحة. إن التحليل ليس حواراً مع قوانين الطبيعة، بل هو حوار مع الإحساس بالذوق والقيم الثقافية. وعندما لا تكون هذه الأشياء معرَّفة جيداً، غالباً ما يُنظر إلى التصميم على أنه قد ضل السبيل، ويتفاقم الجدل إزاء المبنى.

وغالباً ما يكون معظم المبنى بعيداً من الأنظار، ولذا فإن توافر المكان هو القيد الوحيد على المظهر. ومن الواضح أن بعض جوانب المبنى، والتي تُعرَف بالإنهاءات (finishes) [والصقل]، يجب أن تُسهم في المظهر. وفي بعض التصاميم، تُستعمل السمات الجمالية الطبيعية للمكوِّنات بوصفها جزءاً من التصميم. وفي تلك الحالات، يصبح الشكل والمقاس، وعلى وجه الخصوص الوصلات والمثبتات، جزءاً من تحقيق المظهر المرغوب فيه.

ويُستعمل في بعض التصاميم الديكور والملحقات الزخرفية لتكوين المواصفات المرغوب فيها في المظهر. ويمكن هذه الأجزاء من المبنى ألا تؤدي أي دور وظيفي باستثناء المظهر. ومبررات وجودها تكمن كلياً في القيم الجمالية التي تعطيها للمبنى. وبالقدر نفسه من الأهمية الذي يُعطى لكل أجزاء المبنى الأخرى، يجب الاهتمام باختيار مواد وأشكال ومقاسات تلك الأجزاء ووسائل تثبيتها. وما زال هذا تحدِّياً تقنياً لأن تلك الأجزاء يجب أن تتصف بمتانة كافية ويجب أن تحتفظ بمفعولها مع مرور السنين. وفي بعض أنواع الزخرفة مثل

النحت، يحدِّد الفنان مقاس المادة وشكلها، في حين أن المثبتات تبقى جزءاً من خيارات التصميم.

إن المقدرة على إنشاء مبنى يحقِّق هذه المعايير، تقترن بالعمل الخلّاق ضمن أفضل أعراف الفنون. وتاريخياً، ربما كانت قد اقترنت بالحِرَف اليدوية إلى حد بعيد من حيث إنها انبثقت من التعامل مع المواد بدلاً من التحليل الفني الخلّاق نفسه. وهذا يمثِّل عرفاً تقانياً يتعلق فيه التصميم والزخرفة والبناء على نحو أوثق بالخيارات اليومية لحلول المباني التقنية.

الخلاصة

1. يُعد المظهر جانباً رئيسياً من جوانب التصميم، والغرض منه لفت انتباه الناس إلى المبنى بطريقة تَحكُمها الأعراف الاجتماعية والثقافية.
2. وينطوي المظهر على تكوين سطوح مادية مزخرفة، وهو يتجلى في المظهر الخارجي المنسجم مع البيئة، وفي التصميم الداخلي.
3. يمكن المظهر أن يقترن بالطراز والصورة، إضافة إلى القيم الجمالية.
4. وهذا يولِّد حاجة ليس إلى اختيار مواد وتفاصيل الديكور والزخارف فحسب، بل إلى الحيِّز الذي يمكن بناؤها فيه بين الجزء الداخلي من المبنى وحدوده الخارجية.

الفصل التاسع

تحليل الأداء المادي

يمثِّل هذا الفصل مقدمة للفصول الثلاثة التالية. وهو يقدِّم مبررات عناوين تلك الفصول ويرسم النهج العام للتحليل المقترن بفهم السلوك المادي. ويهتم بالوظائف والأداء بوصفها نتيجة للسلوك المادي الذي، بارتباطه بالحاجة إلى درء الإخفاق، يولِّد الحاجة إلى شرح كيفية سلوك المبنى حين عمله وفقاً لشروط التصميم.

تصور الظروف وسلوك المبنى

بافتراض وجود مقترح لتشييد المبنى، وبقطع النظر عن بدائيته وخشونته، فإن من الممكن البدء بالتفكير بسلوكه المادي. إن ثمة ثلاثة مجالات رئيسية للسلوك ذات أهمية لنجاح المبنى هي:

- بيئات المبنى المولِّدة لسلوكه
- سلوك المبنى تحت الحمل
- تغيُّر سلوك المبنى مع مرور الزمن

يُعتبر تحليل السلوك المادي عملاً تقانياً في المقام الأول، لأنه يُجرى بعد تحديد وظائف أجزاء المبنى، وبعد تحديد الظروف التي سوف يعمل ضمنها. وهو يختلف عن تحليل مظهر المبنى من حيث إنه ليس قائماً على متطلبات ثقافية أو اجتماعية، بل على متطلبات الظروف البيئية المادية. لذا تجب إقامة تحليل السلوك المادي على فهم قوانين الطبيعة والقوى المشاركة في حالة التوازن وفي السلوك المتغيِّر مع تغيُّر الظروف.

الوظيفة والأداء ـ الهدف التقني

يتَّخذ تحليل السلوك المادي هذا معياراً له فكرة نجاح الأداء. فكل جزء من المبنى يؤدي وظيفة، وثمة سبب لوجوده ودور يؤديه في وظيفة المبنى الشاملة. وفي حين أن الزبون أو المستعمل يحدِّد وظيفة المبنى الشاملة، فإن التصميم هو الذي يحدِّد ويختار وظائف الأجزاء المختلفة.

وبعد وضع التصميم وتحديد وظائف أجزاء المبنى، من الضروري تعريف مستوى أداء كل منها بدلالة مستويات الأداء التي يمكن التحليل التعامل معها، وأنماط الإخفاق التي يحدِّدها. وسوف تختلف لغة التعبير عن مستويات الأداء، إلا أن الفكرة العامة هي أن العبارة التي تعرِّف الأداء يجب أن تكون قابلة للاختبار. ومن أمثلة ذلك أن العوارض يجب أن تتحمَّل الأحمال من دون أن تتجاوز انزياحاتها تسامحات محدَّدة مسبقاً، وأن على الجدران أن تقاوم مرور الحرارة عبرها بمستوى معين من العزل، وأنه يجب ألا تظهر أي رطوبة ناجمة عن تكاثفات بخارية على أي سطح داخلي لأي عنصر خارجي من عناصر المبنى.

درء الإخفاق ـ الهدف التقني

الإخفاق هو انعدام الأداء. ويحصل الإخفاق عندما لا يحقِّق سلوك المبنى المقترح مستويات الأداء المطلوبة منه. فمثلاً، إذا كانت العارضة صغيرةً جداً أو مصنوعةً من مادة شديدة المرونة ولم تشكَّل أو تثبَّت لتجاوز تلك العيوب، فإنها قد تنحرف كثيراً، وتُخفِق في أدائها. وإذا كانت الأحمال أكبر من المتوقَّع وانحرفت العارضة كثيراً، فإن أصل هذا الإخفاق يكمن في التقصير بالتنبُّؤ بظروف التحميل في أثناء التصميم.

يتطلب تحليل السلوك المادي ثلاثة مجالات من الدراسة بغرض:

- تعريف جميع معايير السلوك المادي
- الاستقصاء المتأني لمصادر وطبيعة ظروف التشغيل
- فهم أنماط إخفاق المبنى بسبب ظروف التشغيل

وهذه أشياء تتطلب مقدرة على تخيُّل الطرائق التي يمكن بها المبنى أن يُخفق مادياً في تحقيق الأداء ضمن الظروف المفترضة في التصميم. ويكمن مفتاح الإخفاق في مواصفات الأداء نفسها، ومن أمثلته الانحراف المفرط للعارضة في ظروف التحميل، أو النقل الحراري المفرط عبر الجدران في ظروف الشتاء الباردة.

ويتطلب تحليل السلوك المادي أيضاً طريقة للتنبُّؤ بمقدار الانحراف أو النقل الحراري اللذين سيحصلان، وذلك بغية التحقُّق من أن السلوك سيبقى ضمن حدود الأداء المطلوب. وتكمن مفاتيح كل ذلك في تخيُّل السلوك الداخلي للمبنى في تلك الظروف بغرض تحديد أدائه.

وتؤدي التنبُّؤات المستقبلية دوراً في هذا التحليل أيضاً، لكنْ غالباً ما يكون إجراؤها صعباً في ضوء العمر المديد لمعظم الأبنية. فمجرد وضع مستويات عالية من الأداء لبعض المتطلبات المستقبلية ينطوي على مشكلة، لأن مستويات الأداء العالية تقتضي تكاليف إضافية. لذا يجب التنبُّؤ بتغيُّرات الظروف مع الزمن، ومنها الأحداث العَرَضية، على أساس احتمالي لأن التصميم لجميع الحالات التي يمكن تخيُّلها يُرتِّب تكاليف إضافية باهظة.

وتزيد هذه الاعتبارات المستقبلية من صعوبة التنبُّؤ. إن من الممكن أن تكون مدرجة ضمن متطلبات الزبون، وإذا لم تُدرَج، فإنها يمكن أن تكون جزءاً من التحليل التقني من حيث درجة تحديد الحساسية للخطأ أو التغيُّر في الظروف. فالحل الحساس للتغيُّرات قد يكون أقل قبولاً إذا كان المستقبل غير مضمون. وهذا يُضيف بُعداً آخر إلى التحليل: ما مدى اقتراب الحل من الإخفاق عندما يكون المبنى في ظروف التشغيل؟ هل سوف تزيد التغيُّرات الصغيرة من احتمال الإخفاق كثيرا؟

يجب أن يكون التنبُّؤ بالحساسية جزءاً من التحليل الذي يُجرى من خلال تصوُّر سلوك المبنى ضمن الظروف المتوقَّعة. ويمكِّن فهم استجابة المبنى للظروف الخارجية من تقدير سلوكه في ظروف تشغيله، وتقدير قابليته لتحمُّل الظروف المنحرفة أو غير المتوقَّعة.

دور المشاهدات والعلم في التحليل

من المعروف أن الضروري فهم الطرائق التي تؤثِّر بها الطبيعة في المبنى بغية تعريف أوصافه وتحديد سلوكه، ومن ثمَّ أدائه.

ويمكن الخبرة أن تؤدي دوراً في التصوُّر المباشر للمبنى في أثناء تشييده وفي ظروف تشغيله. وفي حالات الإخفاق، يمكن لها أن توفِّر فرصة لرصده. فإذا لم يُلاحظ إخفاق في صيغة من صيغ المباني، أمكن تكرار تلك الصيغة في ظروف مشابهة وتوقُّع تحقيقها لمستويات الأداء المقترنة بها، برغم أن تلك المشاهدات لا تخبِرنا بشيء عن حساسية المبنى للظروف. وإذا شوهد إخفاق، كانت ثمة حاجة

إلى بعض التفسيرات لتحديد التعديلات اللازمة لتحقيق الأداء المطلوب في المرة المقبلة التي تُستعمل بها تلك الصيغة. وعندما يعمل المبنى في ظروف مختلفة، أو يُعدَّل بغرض تحقيق مكاسب اقتصادية، فإن متطلبات أدائه الجديدة تحتاج إلى توصيف أيضاً. ويجب أن تكون تلك التوصيفات بصيغة مقاومة المبنى للإخفاق.

وفي ما يخص أولئك المنغمسين في أنشطة تقانية، فإن عقولهم ذات الطبيعة الاستقصائية سوف تسعى على الأرجح إلى شروح من هذا القبيل. ومن الممكن أن يكون البعض قد قام خلال القرن الماضي بتوصيفات خاصة بغية تطوير منشآت بطريقة منهجية، وذلك من خلال تنقيح حلول سابقة والقيام أحياناً بقفزات كبيرة لفهم صيغ جديدة من البناء. ومهما كان حجم التغيير، فقد أعطت تلك التوصيفات والتفسيرات ثقة في السعي وراء أفكار جديدة يمكن أن تحقِّق الأداء ضمن احتمال محدود (أو مدروس على الأقل) للإخفاق. وإنه لمن المثير حقاً أن يكون بُناة الكاتدرائيات العظيمة قد قاموا في ما مضى فعلاً بتوصيفاتهم الخاصة لتصور سلوكها.

ويوفِّر العلم إطار عمل لاستقصاء قوانين وقوى الطبيعة. وهو يوفِّر أيضاً طريقة للتحرِّي يمكن بواسطتها التيقُّن من تفسيرات العالم الطبيعي. وتلك التفسيرات مفيدة في شرح سلوك المباني. إلا أن للعلم لغته الخاصة التي يمكن أن تكون مخيفة للكثيرين. توجد في المعرفة المشتقة من العلم قوتان رئيسيتان، قوة التفسير وقوة التنبُّؤ. والثانية فقط هي التي تحتاج إلى استعمال لغة العلم. أما التفسير فيمكن إرجاعه إلى لغة الحياة اليومية لأنه ليس سوى وصف لطريقة عمل قوانين الطبيعة. وفي حين أن التفسيرات هي التي تساعد على فهم الطريقة التي يعمل بها المبنى، فإن التنبُّؤ يبقى ضرورياً لتحديد مستوى الأداء.

نهج التحليل

يقوم التحليل على تصوُّر الأحداث وتغيُّرات العمليات موضوع التحليل. ويحصل ذلك بالشرح الوصفي والصور اللغوية عموماً. ويبدو أن وصف آليات البناء هو أكثر النُهُج اتِّباعاً لفهمها وفهم تقاناتها. وتُمكِن المساعدة على ذلك باستعمال المخططات والنماذج الرياضية من جهة، وبالخبرة من جهة ثانية، لكن يبدو أن كلتا الحالتين تحتاج إلى وصف كلامي، ليس للفهم الشخصي لسلوك المباني فقط، بل لتوفير شروح للآخرين عن الأسس التي بُنيَت الحلول عليها.

والغاية هي أولاً بناء صورة ذهنية لما يمكن الحل المادي أن يكون عليه (أي المقترح)، وثانياً للأحداث التي تحدِّد حالات الإخفاق المحتملة في ظروف العمل (التحليل). إن تقديم وصف لعملية البناء الفعلية، ثم لأداء المبنى وفقاً لمعايير معينة، يُعتبر المبنى من دون تحقيقها في حالة إخفاق، هو النهج الأساسي المتَّبع في هذا الكتاب.

لقد جرى تحديد أربعة مجالات أساسية للتحليل يجب فهمها، هي:

- الظروف المتوقعة خلال مدة حياة المبنى
- حالات إخفاق المبنى أو توقُّفه عن تحقيق بعض وظائفه
- الحل المادي المقترح لإشادة المبنى (المكوِّنات والوحدات التجميعية)
- استجابة المقترح للظروف

وتقدِّم الفصول التالية الأساس لهذا التصوُّر، وهي تتضمن نقاشاً للمبنى المقترح ولاستجابته للظروف التي سوف يُبنى ويُشغَّل ضمنها، وذلك بغية الحد من احتمالات الإخفاق.

الخلاصة

1. تُحدِّد متطلبات الأداء مستوى الوظائف التي على المبنى أن يحقِّقها ضمن الظروف المفترضة في التصميم، وتحقيق تلك المتطلبات هو معيار تقييم نجاح المبنى.
2. الإخفاق هو توقُّف المبنى عن أداء وظائفه في وقت ما من حياته ضمن مجموعة متنبَّأ بها من الظروف.
3. يحصل الإخفاق بعد إقامة المبنى. والأداء هو السلوك الداخلي لبنية المبنى المختارة ضمن الظروف التي عليه أن يعمل فيها .
4. يوفِّر تصوُّر الظروف التي على المبنى المقترح العمل ضمنها، مع سلوكه المتوقَّع ضمن تلك الظروف، أساساً لأي تحليل لتقييم جودة أدائه.

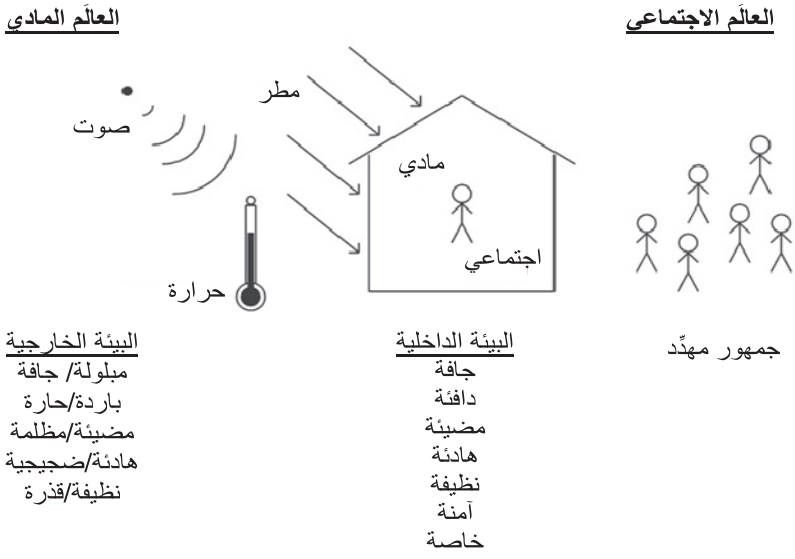
الفصل العاشر
البيئات المولِّدة للسلوك المادي

نستقصي في هذا الفصل كل جانب من جوانب البيئة الهامة لراحة وسلامة الأفراد وممتلكاتهم ضمن المبنى. وقد عُرِّفت تلك الجوانب بالجفاف والدفء والضوء والعزل الصوتي والنظافة والأمن والخصوصية. ولتحقيق هذه المتطلبات البيئية الداخلية يجب النظر إلى المبنى على أنه منظومة تستعمل خدمات نشطة وتتألف من بنية خاملة. طبعاً، تعتمد تلك المتطلبات على درجة قسوة الظروف الخارجية، وظروف العمل الداخلية. وعلى التصميم أن يحدِّد دور كل جزء من المنظومة وإسهامها (من ناحية الوظيفة والأداء) في تكوين البيئة المطلوبة والحفاظ عليها. وعندما يصبح إسهام كل جزء من المبنى في الأداء معروفاً، يمكن القيام بتحليل سلوكه ضمن ظروف التشغيل بغية تقدير احتمال إخفاقه. وفي ما يخص كل جانب من جوانب البيئة المذكورة، يمكن تصوّر تغيُّرات سلوك المبنى المقترح بناء على فهم قوانين الطبيعة، ومن ثَمَّ، على فهم الأحداث أو الآليات التي يمكن أن تؤدي إلى الإخفاق.

الجوانب البيئية

يهتم هذا الفصل بجوانب السلوك المادي للمبنى التي تضمن البيئة الداخلية اللازمة لدعم الأنشطة التي تحصل ضمنه. وتتطلب تلك الأنشطة النظر في جوانب كل من البيئتين الاجتماعية والمادية لتحقيق راحة وسلامة شاغلي المبنى وممتلكاتهم. وتعتمد جميع جوانب البيئة المادية على سلوك المبنى في تحقيق البيئة الداخلية المُرْضية. لكن أوجه البيئة الاجتماعية ليست جميعاً متعلقة بسلوك المبنى المادي. فمثلاً، لا يُعتبر المظهر والسعة في هذا الكتاب جزءاً من السلوك المادي الذي ناقشناه في الفصل 8. أما بعض جوانب البيئة الاجتماعية الأخرى، مثل الخصوصية والأمان، فتعتمد على السلوك المادي للمبنى. وفي حالة الأمان

والسلامة، يمكن سلوك المبنى المادي أن يكون مقترناً بالأحمال المطبَّقة على بنيته الإنشائية، ولذا يتطلب تحليلاً من النوع المدرج في الفصل 11. يبيِّن الشكل 1.10 طيف البيئات المادية والاجتماعية.



الشكل 1.10 البيئتان الداخلية والخارجية.

المبنى بوصفه منظومة

من الضروري قبل تقييم سلوك المبنى تحديد وظائف كل جزء من أجزائه وتعريف المستوى المطلوب من الأداء الذي على كل جزء تحقيقه لضمان توازن الجريانات والانتقالات وتكوين الظروف الداخلية المطلوبة.

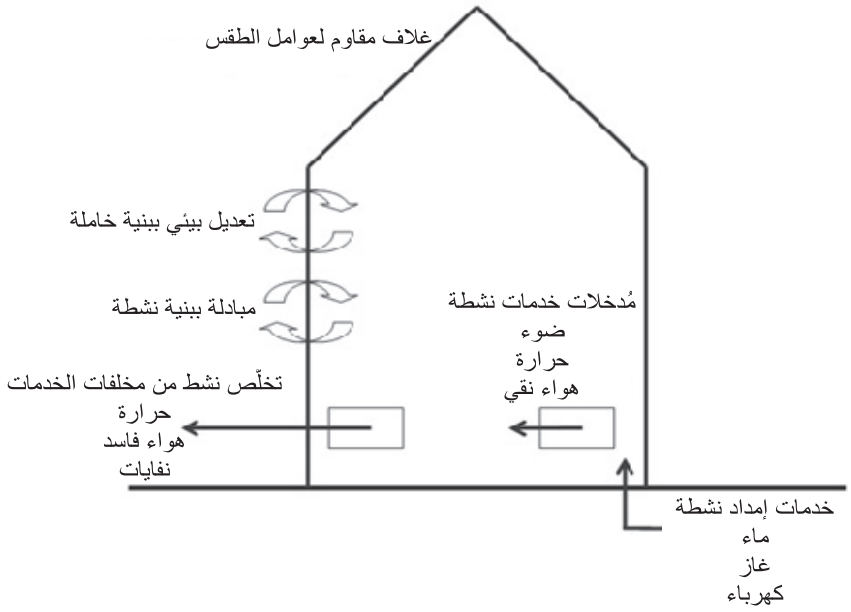
لا يتضمن تعريف البيئة الداخلية شيئاً عن الإسهام الذي يجب أن تقدمه لها أجزاء المبنى المختلفة. وحتى عندما يجري تعريف العالَمين المادي والاجتماعي خارج المبنى، فإن كل ما يكون قد أُنجز هو التعريف العام للتعديلات التي يجب إدخالها في البيئة الداخلية، مقارنة بالبيئة الخارجية، لتحقيق متطلباتها.

وقبل أن يكون من الممكن توزيع الوظائف على أجزاء المبنى المختلفة، من الضروري وضع رؤية لكيفية تكوين البيئة المطلوبة والحفاظ عليها. فثمة ثلاث مجموعات أساسية من التقانات الإنشائية التي تؤدي هذه الوظائف، هي:

- البنية الخاملة

- البنية النشطة
- الخدمات النشطة

وهي مبينة في الشكل 2.10. ومن الممكن الافتراض بأن خدمات الإمداد بالمنافع والتخلُّص من النفايات ليست جميعاً خدمات بيئية (environmental services) حصراً، إلا أنها تُسهم جميعاً في التوليد النشط للبيئة برغم أنها تسهم بخدمات تشغيل أخرى أيضاً. فالماء والغاز والكهرباء مثلاً غالباً ما تُعتبر خدمات منافع.



الشكل 2.10 التقانات التي يمكن أن تولّد الظروف الداخلية.

ويمكن تحقيق كثير من جوانب البيئة بتراكيب مختلفة من أنواع تلك التقانات الثلاث. ومن أمثلة ذلك استعمال الإضاءة الصنعية لتعزيز الإضاءة الطبيعية التي توفِّرها النوافذ أو فتحات السقف مع ألوان الجدران. وتتأثَّر القرارات بشأن توازن هذه التراكيب بالتكاليف الأولية والتكاليف الجارية واستهلاك الطاقة وترتيبات التحكُّم فيها والتي لا بد من إدراجها في التحليل. فمثلاً، مع زيادة تركيز الاهتمام في المفعول البيئي للمبنى، يمكن تراكيب من تصاميم البناء وحلول البنية النشطة تقليص استهلاك الطاقة في الخدمات النشطة.

وحتى عندما يتحقَّق التوازن بين الخدمات وبنية المبنى من حيث التأثير في

البيئة الداخلية يبقى من الممكن تحديد وظائف البنية بعدد من الطرائق المختلفة. إن بعض الوظائف واضح تماماً، ومنها وظيفة السقف في الحماية من عوامل الطقس، فهو يولِّد بيئة داخلية جافة ويحافظ عليها. أما في ما يخص الوظائف الأخرى، فثمة خيارات مختلفة. فلتحقيق بيئة دافئة، يمكن اختيار العزل الحراري للحفاظ على درجة الحرارة ومن ثَمَّ الحد من الحاجة إلى مصادر التدفئة. ويمكن هذا أن يصبح وظيفة لعنصر واحد أو لجميع العناصر الرئيسية من المبنى: السقف والجدران والأرضية، التي يتصف كل منها بمستوى أداء خاص به ويُسهم في ذلك الجزء من خطة الحفاظ على مستويات درجة الحرارة الداخلية.

وعندما يحقِّق التصميم التوازن بين البنية والخدمات، يمكن البدء بوضع التفاصيل والمواصفات. والنُهُج إلى استعمال التقانات المذكورة الثلاثة مختلفة، وكل منها يؤدي إلى مجموعة مختلفة من القرارات.

البنية الخاملة والبنية النشطة

عندما يعتمد تكوين البيئة الداخلية على إسهام بنية المبنى فيها، تتركَّز عملية الاختيار مباشرة في المتغيِّرات المعرَّفة في الفصل 4.

وإذا كانت البنية الخاملة هي التي سوف تعمل، كان الاهتمام الرئيسي بما يلي:

- خواص المواد
- أبعاد المكوِّنات، وخاصة السماكات
- الوصلات والمثبِّتات

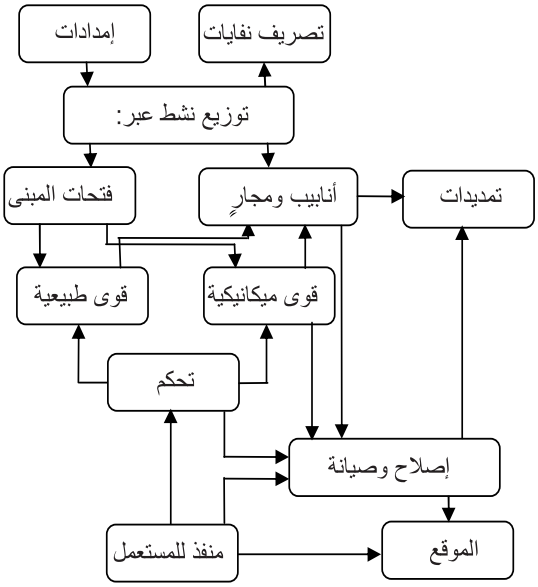
مثلاً، إذا كان العزل الصوتي هو موضوع الاستقصاء، وكانت الكتلة هي التي سوف تُستعمل لتحقيق العزل، فإن كثافة المادة سوف تحدِّد السماكة المطلوبة، وفقاً لما سوف نراه لاحقاً، ما دامت الوصلات لا تخلق مسارات جانبية لانتقال الصوت، وما دامت المثبِّتات توفِّر صلابة كافية [لتخميده].

وعند استعمال بنى نشطة، مثل النوافذ، تصبح الوصلات والمثبِّتات ذات أهمية كبرى لضمان عمل أجزائها المتحرِّكة. وتتحدَّد مواد وأشكال وأبعاد المكوِّنات النشطة على نحو دقيق بالمتانة والوثوقية التي يجب أن تتصف بها، برغم إسهامها الخامل في البيئة الذي يجب تحليله وفقاً لما ورد سابقاً. ويجب النظر في مظهرها لأنها مرئية على الأرجح.

وفي ما يخص البنى النشطة، يجب أن تكون ثمة صيغة ما للتحكُّم فيها بحيث يمكن استعمالها حين الحاجة.

الخدمات النشطة

ليس الاختيار النهائي لمواد ومكوِّنات منظومات الخدمة مباشراً كالاختيار المباشر الذي يقرن مواصفات البنية بالظروف البيئية، بل أصبح اختيارها تخصُّصاً تصميمياً قائماً بذاته. فهي منظومات ضمن منظومة المبنى الشاملة. ويقترح الشكل 3.10 طريقة للنظر في المنظومات البيئية النشطة وفي مكاملتها ضمن تصميم المبنى الشامل.



الشكل 3.10 مكوِّنات منظومات الخدمات النشطة.

تُستعمل منافذ الخدمات لربط المستعمل مع مصدر إمدادٍ أو منظومة تصريف وتخلُّص من النفايات، وفقاً للمبين في أعلى وأسفل المخطط. وبأخذ منظومة التدفئة مثالاً، يمكن لمشع الحرارة أن يكون المنفذ بعد ربطه مع مصدر حرارة. وفي هذه الحالة يكون التوزيع النشط بواسطة ماء مسخَّن محتوى في أنابيب تضخه مضخة بواسطة قوة ميكانيكية. ويمكن المشعات الحرارية أن توضع في كل غرفة، تحت النوافذ مثلاً. ويجب تحديد موضع المِرجل الذي يوفِّر الحرارة مع خزان وتوصيلات الوقود، مع الأخذ في الحسبان للمظهر والضجيج الناجم عن هذه المنظومة. ويمكن تسيير الأنابيب في ما بين الطوابق ضمن الجدران أو عليها، أو عبر مجارٍ مصممة لهذا الغرض. حينئذ يجب أن تتضمن تلك المجاري نقطة دخول للتمكين من صيانة

المنظومة وإصلاحها. وفي مثال آخر، يمكن منظومة تهوية طبيعية أن تَستعمل فتحات المبنى منظومةَ توزيع اعتماداً على قوة الريح الطبيعية والتدرُّجات الحرارية لتحريك الهواء من داخل المبنى إلى مكان تصريف الهواء الفاسد الموجود في الأعلى، وإدخال هواء نقي من مستوى أدنى (ملطَّف ربما بالتدفئة).

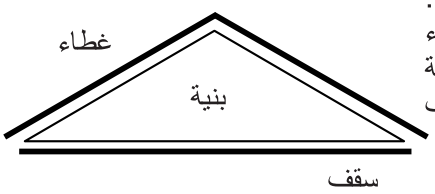
ويُبيِّن الشكل 3.10 أيضاً أن هذه الخدمات النشطة تحتاج إلى تحكُّم شأنها شأن البنية النشطة. فعندما تتغيَّر الظروف الداخلية، يجب تشغيل آلية تحكُّم ما. ويمكن هذه الآلية أن تكون يدوية، بمعنى أن على المستعمل تحديد الظروف غير المُرضية واتخاذ إجراءات لاستعادة الظروف المطلوبة. على سبيل المثال، يفتح القاطنون النوافذ ما دام ثمة هواء نقي وبارد نسبياً في الخارج لتبديل وتبريد هواء غرفة فاسد ومرتفع الحرارة، أو يقومون بإشعال الإضاءة عند حلول الظلام. أما البديل فهي طرائق التحكُّم الآلي، ومنها استعمال محساس يعمل حينما تتجاوز الظروف الحدود التصميمية ويُرسِل إشارة إلى جزء من المنظومة يبتدئ سلسلة من الأحداث لإعادة البيئة إلى الظروف المفترضة في التصميم. في مثال منظومة التدفئة الآنف الذكر، يمكن المُحِسّ أن يكون مُحِسّاً حرارياً يُشغِّل مرجل تسخين الماء عندما تنخفض درجة حرارة الغرفة (أو درجة حرارة المُحِسّ بالتحديد) إلى ما دون قيمة معينة.

إسناد وظائف التحكُّم في البيئة الداخلية

يبيِّن الجدول 1.10 أنواع البيئة الداخلية التي يجب تكوينها والحفاظ عليها. ويقترن كل من تلك الأنواع بالجوانب الرئيسية للبيئة الخارجية التي تؤثِّر في تحقيق الظروف الداخلية المعدَّلة. ويشير العمودان الأخيران [في الشكل] إلى الوظائف الشائعة التي يمكن تخصيصها لأجزاء من المبنى لتحقيق التغييرات المطلوبة في البيئة الداخلية. وفي ما يخص معظم تلك التغييرات، يمكن استعمال كل من البنية الخاملة والخدمات النشطة بوظائف مختلفة. فعلى سبيل المثال، لتكوين ظروف جافة، من الضروري فهم أنماط المتساقطات وظروف المياه الجوفية ووجود بخار الماء في الجو. ومن ذلك يمكن إسناد وظيفة العزل المائي للبنية، وإسناد تصريف الماء لخدمات المبنى.

ومن النادر أن يعمل جزء واحد من المبنى بمفرده في تحقيق وظيفة بيئية، ونادراً ما يُسهم في واحدة منها فقط. فعناصر المبنى، مثل الجدران والأسقف،

يمكن أن تُسهم في كثير من الوظائف. والعناصر هي وحدات مجمَّعة من عناصر جزئية، ومن أمثلتها القشرة الخارجية للجدار ذي الفجوة أو بلاطة السطح، حيث تكون الوظيفة الرئيسية معرَّفة على الأرجح. وتُختار العناصر الجزئية لأنها تُعرَّف عادة بمكوِّن رئيسي أو مادة رئيسية، ولأن وظائفها غالباً ما تكون واضحة تماماً. مثلاً، يؤدي الجدار الخارجي دوراً في جميع الوظائف البيئية. حتى إن العناصر الجزئية الرئيسية، مثل النوافذ، لها طيف من الوظائف. فإلى جانب وظيفتها الرئيسية المتمثلة بالإضاءة والإطلالة على الخارج، يمكن استعمالها للتهوية. لكنها مع ذلك تسبب مشكلات ذات صلة بحرارة الشمس الزائدة وبالأمن. وعند النظر في تقسيمات أدق للعناصر الجزئية نزولاً حتى مكوِّن واحد، تصبح الوظيفة غالباً واضحة تماماً. فضمن الجدار، وظيفة الحصيرة الحاجزة الرطوبة (damp proof course DPC) معرَّفة تماماً وهي السيطرة على الرطوبة. إن على التحليل في هذا المستوى أن ينظر في وظيفة المبنى الشاملة عندما يعرِّف وظائف المكوِّنات والمواد التي سوف تُصنع من العناصر الجزئية. وهذه التجزئة وهذا التنقيح للوظيفة البيئية للسقف موضحان في الشكل 4.10.



عناصر جزئية:
غطاء
بنية
سقف

إسهام العناصر الجزئية في الأداء البيئي

الغطاء	جفاف	عزل مائي
	نظافة	منع التعشيش
	أمن	غطاء مضاد لانتشار للحريق
البنية	لا يوجد	
السقف	دفء	مقاومة مرور الحرارة
	ضوء	عكس
	نظافة	منع القاذورات

الشكل 4.10 أدوار عناصر السقف الجزئية.

الجدول 1.10 أدوار البنية والخدمات

الظروف الداخلية التي يجب تحقيقها	جوانب البيئة الخارجية المؤثِّرة في الظروف الداخلية	وظائف بنية المبنى الممكنة	وظائف الخدمات الممكنة
الجفاف	المتساقطات (مطر، ثلج)، المياه الجوفية، بخار الماء في الجو	عزل مائي، حد من البخار	تصريف الماء
الدفء	درجة حرارة الهواء أشعة الشمس، الريح، الرطوبة	مقاومة مرور الحرارة كتلة حرارية، تهوية	تدفئة، تبريد
الإضاءة	منافذ أشعة الشمس الغيوم	نقل، انعكاس	غرف، مهام، مزاج، عناصر إنشائية
العزل الصوتي	صوت طبيعي، تلوُّث صوتي	نقل، امتصاص	
النظافة	قاذورات، عوامل مُمرِضة، نباتات وفطريات حيوانات وحشرات، تلوُّث الهواء	فصل، ترشيح، قابلية التنظيف	إزالة، ترشيح، تصريف
السلامة والأمن	مهدِّدات اجتماعية قضاء وقدر، حريق	مقاومة، فصل (حواجز)	رصد، إنذار
الخصوصية	أعراف ثقافية واجتماعية	عزل (صوتي ومرئي)	

إسناد مستويات التعديلات البيئية

إن إسناد الوظائف إلى عنصر ما يحدد الأجزاء [من الوظيفة] الذي سوف يؤديه العنصر أو العنصر الجزئي أو المكوِّن أو المادة في تكوين البيئة المطلوبة والحفاظ عليها وإسناد أداء يتضمن تحديد مستوى الإنجاز. وفي حين أن من غير المألوف لتصميم مبنى أن يكون معقداً إلى حد يجعل وظائفه مبهمة، فإن متطلبات

الزبائن الجديدة والتشريعات غالباً ما تؤدي إلى تعديل في مستويات الأداء. وقد جرى في ما سبق تقديم جميع الجوانب اللازمة لتحديد مستويات الأداء، ومنها:

- مجال ما يمكن أن يعتبر ظروفاً خارجية طبيعية، أو حالات متطرِّفة أو ظروفاً عَرَضية تستحق أخذها في الحسبان في التصميم
- الظروف الداخلية المثالية، والحدود التي تُعتبر مُرْضية وآليات التحكُّم المنْوي تضمينها في التصميم
- النسبة التي سوف تُسنَد إلى ذلك الجزء من المبنى من مهمة تكوين وصيانة البيئة.

استقصاء الظروف

سوف ننظر في ما تبقى من هذا الفصل في تحليل جوانب البيئة الداخلية، الواحد تلو الآخر. وسوف نركِّز الاهتمام في تحليل دور بنية المبنى فيها، ونقدِّم إضافة إلى ذلك خيارات منظومات الخدمات التي تحقِّقها. وباتباع النهج العام لتحرِّي السلوك المادي الذي ورد في الفصل 9، سوف نهتم في كل مقطع من المقاطع التالية بـ:

- منشأ وطبيعة الظروف البيئية
- سبب الإخفاق في تحقيق الظروف البيئية الداخلية
- أنواع الحلول الممكنة لدرء الإخفاق
- تحليل الاستجابة اللازمة لتحقيق الأداء المطلوب.

يجب القيام بوصف تغيُّرات الظروف البيئية التي يجب تعديلها، والآليات التي تحدِّد استجابة المبنى للبيئات المتوقعة التي يجب أن تعمل ضمنه. ويجب أن يقوم ذلك على دراسة للجريانات والانتقالات التي تحصل في المبنى.

البيئة الجافة

توجد المواد في الطبيعة في واحدة من ثلاث حالات: صلبة وسائلة وغازية. وخلافاً لجميع المواد تقريباً، يمكن الماء أن يوجد في جميع هذه الحالات ضمن المجالات المناخية العادية لدرجات الحرارة والضغوط الجوية. وهذا يؤدي إلى مشكلات للمباني التي يجب أن تحافظ على بيئة داخلية جافة. فالزيادة المفرطة في الماء السائل غير مرغوب فيها، لكن وجود مقدار محدود من الماء الغازي (أي بخار الماء) في الهواء مريح لأنه يوفِّر بعض الرطوبة. وحين تصور سلوك المبنى،

يجب النظر في إمكان تغيُّر هذه الحالة. ولعل أهم أمثلة ذلك هو التغيُّر من حالة البخار إلى حالة السائل في عملية التكاثف.

وإضافة إلى مفاعيل الماء السيئة في الصحة والراحة، فإنه يُعتبر مسبباً رئيسياً لتدنِّي خواص مواد البناء (انظر الفصل 12). ومعظم عناصر العزل المائي يقوم بوظيفة مزدوجة تتجلى في حماية البيئة وبنية المبنى. وفي هذه الحالة، من الشائع دراسة التأثير المتبادل بين الماء والمبنى بغرض تحليل التحكُّم في البيئة وديمومتها. إلا أنه يجب تحليل كل منهما على حدة لأن اختلافات مفاعيل الماء تصبح ملحوظة حينئذ، ومن أمثلة ذلك أن تغيُّر الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة وتكوُّن الجليد يسيء إلى بنية المبنى، إلا أنه عديم الأهمية بالنسبة إلى الظروف البيئية.

وإذا كان المطلوب بيئة داخلية جافة، فإن الإخفاق يتميَّز بأنه تسرب للماء الذي يدخل المبنى عبر بنيته الخارجية وفتحاته، أو عبر أعطال خدمات الماء. إن كثير من عناصر العزل المائي للمبنى لا يهتم بالدخول الحر للماء الذي من قبيل التسرب فقط، بل بدخول الرطوبة المفرطة إلى بنيته أيضاً. وهذا الخط الفاصل بين أنماط الرطوبة المختلفة، سواء من حيث مفاعيلها المرئية، أو من حيث عناصر العزل المائي الخاصة بها، غير واضح غالباً، ولذا يُنظر فيها معاً عادة.

ويتطلب الحفاظ على بيئة داخلية جافة (خالية من رطوبة البنية، لا من رطوبة الجو) التحكُّمَ فيها في الحالتين، السائلة والبخارية. وفي الحالة السائلة، يكون مصدر الماء خارجياً عادة، ولذا يكون للبنية الخارجية دور وظيفي رئيسي في منع الرطوبة. وفي حالة البخار، فإن معظمه يأتي من مصادر داخلية، ولذا يُستعمل كل من تصميم البنية الخارجية والعملية العامة للتهوية لدرء حصول التكاثف.

وحين النظر في تحليل بنية المبنى واختيارها لضمان بيئة داخلية جافة، من المعتاد الأخذ في الحسبان لثلاثة مهدِّدات:

- الرطوبة المتغلغلة (penetrating dampness)
- الرطوبة الصاعدة (raising dampness)
- التكاثف (condensation)

ومن الأشياء الأخرى، الثلج الخفيف المتطاير الذي يدخل عبر فتحات التهوية ويذوب جاعلاً الماء الناتج يتسرب إلى الداخل عبر تشققاتها [في البلدان التي تتساقط الثلوج فيها] أو عبر الخدمات التي تنقل المياه. ويسيل بعدئذ على أنابيب المياه.

ويتطلب تحليل سلوك المبنى ومقدرته على تحقيق وظيفة الحد من الرطوبة معرفة بمنشئها وبالقوى المؤثِّرة فيها حين ملامستها للمبنى ودخولها المسارات المتوافرة لها للوصول إلى السطوح الداخلية.

وثمة طرائق تنبُّئية لنمذجة أنماط البخار ودرجات الحرارة بغرض تقدير مخاطر التكاثف. لكن مشكلة الرطوبة المتغلغلة والصاعدة ما زالت إلى حد بعيد تعالَج بالوسائل المعهودة، مثل وضع عوائق لمنع تقدُّمها في المبنى باستعمال طرائق مجربة ومختبرة. ومن الممكن اختبار نماذج أولية لمقاومة نفاذ الريح والمطر، ومنها نماذج النوافذ وصفائح الإكساء الخارجي. وهذا الاختبار الأولي للنماذج هام على وجه الخصوص حين تطبيق مبادئ جديدة مثل وضع سواتر لدرء تسرب المطر لأن التنبُّؤ بسلوك الماء ما زال مسألة تجريب ومراقبة.

سوف ننظر في ما يلي في المهدِّدات الخاصة بالرطوبة على التتالي، مع وصف وتعريف لسلوك مسالك الرطوبة ولتقنيات العزل المائي الرئيسية التي يمكن استعمالها.

الرطوبة المتغلغلة

يُعدُّ المطر مصدراً رئيسياً للماء الذي يتماس مباشرة مع البنية الخارجية للمبنى، مولِّداً إمكان حصول رطوبة متغلغلة. وحينئذ يمكن حصول ثلاثة أشياء رئيسية هي:

1. تمتص البنية النفوذة ماء المطر، فتكوِّن المسامات شبكة من المسالك الشعرية المستمرة عبر المادة.

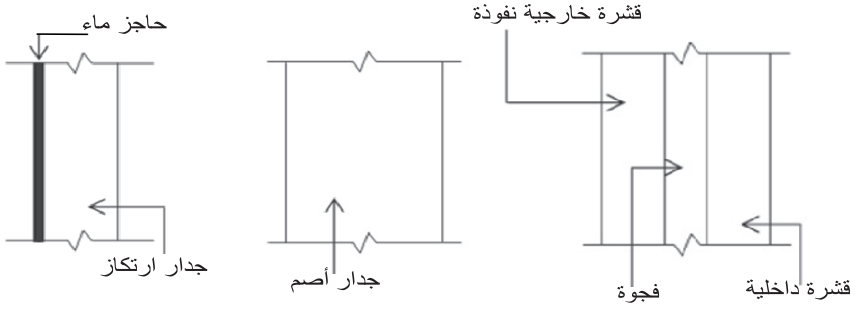
2. يتأثر الماء الجاري على سطح المبنى بقوة الثقالة، فيتسرب عبر البنية إلى الأسفل. إلا أن قوى أخرى تؤثِّر فيه أيضاً، خاصة عند الوصلات والبروزات. فالتشققات الصغيرة تجذب الماء بالخاصية الشعرية. وتولِّد الريح المرافقة للمطر ضغوطاً على المبنى تؤثِّر في معدلات حركة الماء على سطحه وفي تغلغله عبر بنيته، خاصة عند الوصلات المفتوحة. حتى الطبقة السطحية من الماء تُبدي قوة تسمى قوة التوتر السطحي (surface tension force) التي تُمسك بالماء على السطح وتجعله يجري تحت السطوح الأفقية. إن تصور هذه المجموعة الشديدة التعقيد من القوى الفاعلة في الماء على سطوح المبنى على درجة من الأهمية حين النظر في العزل المائي عند الوصلات بين المكوِّنات والعناصر المختلفة.

3. يصل معظم الماء الذي يسقط على سطح المبنى إلى حافة. فإذا كانت

حافة حرة، سقط بتأثير الثقالة. إلا أن سلوكه عند تلك الحواف يتأثَّر بالريح وبقوة التوتر السطحي أيضاً، وهذا ما يشد بعض الماء إلى الخلف تحت الأجزاء المتدلية الأفقية. لذا من المهم العمل بفاعلية على إزالة هذا الماء من الحواف لمنعه من التراكم والتغلغل في البنية بمقدار أكبر من ذاك المتوقَّع من المطر الأصلي.

وفي الواقع العملي ليس الفرق بين الظاهرة الأولى (التغلغل) والثانية (حركة الماء السطحي عند الوصلات) محدَّداً تماماً. ومعظم الإنشاءات، مثل تبليط السطح أو تغطيته بالقرميد، ليست إنشاءات ذات مكوِّن واحد مصنوع من مادة واحدة خواصها هي المؤثِّر الوحيد في معدل التغلغل. صحيحٌ أنه يمكن اعتبارها قشرة واحدة، إلا أنها مجمَّعة معاً بوصلات مصنوعة من مادة أخرى هي الطينة في حالة القرميد مثلاً. حينئذ، لا يعتمد مفعول التغلغل على نفوذية القرميد والطينة فقط، بل على تفاعل الماء عند الرابط (الطينة) أيضاً. ولبعض القوى التي جرى تحديدها في الظاهرة الثانية (أي حركة الماء السطحي عند الوصلات) دورها أيضاً. وفي الواقع، في حالة لبنات القرميد التي تربطها طينة إسمنتية، يكسر الانكماش الناجم عن الجفاف الارتباط بين اللبنات والطينة ويولِّد مسالك شعرية دقيقة، وتُمكِن مشاهدة نفاذ الماء عند الوصلات قبل مدة طويلة من تغلغله عبر اللبِنة نفسها.

ويعتمد عمق تغلغل الماء عبر المادة على أمرين اثنين: دورية التبلُّل والجفاف، ونفوذية وسماكة العنصر. تمثِّل فترات التبلُّل الطويلة التي تفصل بينها فترات جفاف قصيرة أهم المهدِّدات. وإذا لم يكن العنصر سميكاً بقدر كاف، أو لم تُستعمل عوازل لدرء التغلغل، تكاثفت الرطوبة على السطوح الداخلية. يظهر الشكل 5.10 الصيغ الإنشائية الرئيسية الثلاث لدرء انتقال الماء المباشر عبر مادة الجدران.



الشكل 5.10 صيغ جدارية عامة لمنع تغلغل الرطوبة.

كل تلك الصيغ قابلة للاستعمال. في بداية القرن العشرين، كانت جدران معظم المنشآت المنزلية من النوع الأصم، لكنْ مع حلول نهاية القرن، أدت المشكلات الحاصلة في المواد، وخاصة حين استعمال الطينة الإسمنتية (انظر التفسير في الفقرة السابقة)، إلى الاعتماد الشامل تقريباً للجدار ذي الفجوة.

يتحرك الماء الذي لا يتغلغل في البنية نازلاً على جدران المبنى. فإذا كان السطح الذي يصل إليه غير نفوذ، تراكمت كمية كبيرة منه. حينئذ ثمة خطر لاختراق الرطوبة الوصلات وأماكن البروزات. لذا تجب دراسة المسالك المحتملة لتغلغل الماء وكمياته لكل حالة من حالات الوصلات والبروزات.

لقد ذكرنا مفعول الخاصية الشَّعرية في حشوات الوصلات بين لبنات القرميد والطينة عندما ينكسر الرابط وتتكوَّن تشقُّقات شعرية. وهذه هي المقاسات التي تجب دراسة آليات التسرب عندها. تكون المسالك عبر البنية الإنشائية دقيقة جداً ومتعرجة غالباً، وتظهر الرطوبة في الداخل على بعد صغير من نقطة دخولها من الخارج. وثمة وصلات أخرى مفتوحة لا توجد فيها مادة مالئة (حشوة). فإذا كانت تلك الوصلات ضيقة، فإنها تعزِّز الخاصية الشعرية عندما تتكوَّن فجوة مفتوحة مستمرة. لكن قوتين أُخريَيْن تساعدان على تغلغل الماء عند الفجوات أو الوصلات، هما قوتا الثقالة والريح. ويمكن مفعولي هاتين القوتين أن يكونا ملحوظين حتى عندما لا تسمح مقاسات التشقُّقات بنشوء الخاصية الشعرية. فالريح يمكن أن تغيِّر حركة الماء على السطح مباشرة، والضغط الذي ينشأ حول المبنى يمكن أن يدفع الماء عبر الوصلات، أو حتى أن يضخه عبر عناصر العزل المائي، مثل الحشوات المعدنية.

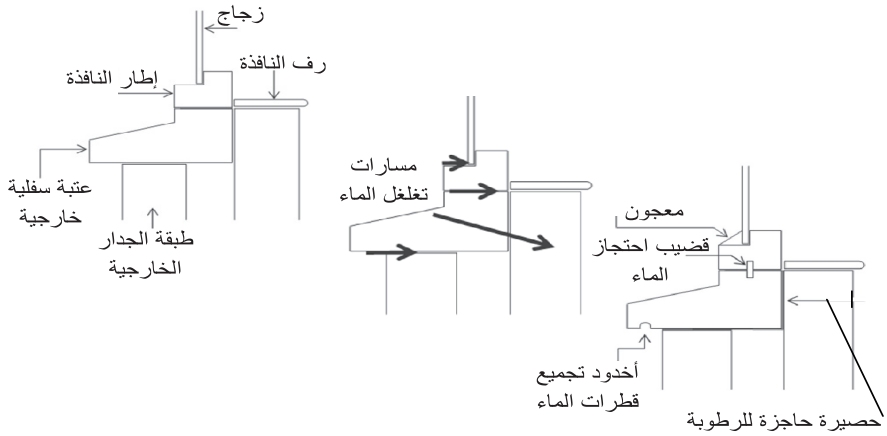
وهناك قوتان أخريان أيضاً يمكن أن تؤثِّرا في حركة الماء عند الوصلات أو البروزات، هما القوة الحركية وقوة التوتر السطحي. توجد الطاقة الحركية في المطر الهاطل، وهي تؤدي إلى ارتداد قطرات المطر حين اصطدامها بالسطح، وبذلك يمكن الأماكن التي تبدو محمية أن تتبلَّل. إن مفاعيل القوة الحركية ضعيفة نسبيا، أما التوتر السطحي فيمكن أن يسبب مشكلات عند البروزات والمتدليات. فعند الجانب السفلي من البروز، الذي يمكن اعتباره محمياً من البلل، يُمسِك التوتر السطحي بالماء الذي يتحرك إلى ما يبدو ظاهرياً وصلة محمية ويدخل من تحت البروز. يُري الجدول 2.10 القوى الفاعلة عند الوصلات.

الجدول 2.10 القوى التي يمكن أن تساعد الماء على دخول الوصلات

القوة	اتجاه التأثير	المفعول
شعرية	كل الاتجاهات	ينتقل الماء عبر تشقُّقات دقيقة وشبكات مسامية
ثقالة	نحو الأسفل	يدخل الماء أي فتحة أو صدع متجها نحو الأسفل
فروق ضغط	كل الاتجاهات	الريح التي فوق الأرض ● تدفع المطر ● تُمسك الماء في الوصلات ● تدفع تجاه أقل ● تضخ الماء عبر الحشوات المعدنية ضغط مائي تحت منسوب المياه الجوفية في الأرض
حركية	ارتداد	مقتصر على مكان التصادم
توتر سطحي	كل السطوح	حركة على الجانب السفلي من البروزات يُمسك بطبقة رقيقة من الماء على السطح والأفاريز

ويمكن تسرب الماء أن يتفاقم عند وصلات البروزات، مثل عتبات [الأبواب والنوافذ العلوية والسفلية]. فالماء يتجمَّع على السطوح العليا للبروزات مؤدياً إلى مستوى عال من التغلغل أو التسرب عبر الوصلات. ويبين الشكل 6.10 مسالك الرطوبة وعناصر العزل المائي عند العتبة السفلية للنافذة. ويبيِّن أيضاً مواد رابطة (معجون) ووصلات محمية (بقضيب حجز الماء) وحصيرة حاجزة للرطوبة، إضافة إلى أخدود أو مجمِّع قطرات بسيط على الجانب السفلي من العتبة. ففي مجمِّع القطرات هذا، يتراكم الماء حتى تصبح كتلته كبيرة فتكسر قوة التوتر السطحي وتسقط قطرات الماء من الجانب السفلي قبل وصولها إلى الوصلة تحت العتبة.

ينطوي التمييز بين الامتصاص من البلل المديد من جهة، والتغلغل المباشر عبر الوصلات والبروزات من الجهة الأخرى، على أهمية خاصة حين التفكير بعوامل المناخ الخارجية وهطول المطر. فالمبنى الذي يتعرَّض إلى مطر غزير يحتاج إلى عزل مائي يختلف عن عزل المبنى الذي يتعرض إلى رذاذ مديد الأجل، مع أن وسطي الهطول السنوي الكلي يمكن أن يكون في الحالتين نفسه.



الشكل 6.10 مسالك الرطوبة وعناصر منعها من التغلغل عند العتبات.

أخيراً، من الضروري النظر في حالة الماء الذي ينسكب من المبنى، خاصة عندما يُصرِّف سطح المبنى الماء من أعلى الجدران. فإذا لم يُعتَرض هذا الماء ويُجمع، نزل إلى الأرض بفعل الثقالة. لا يمثِّل هذا الماء تهديداً مباشراً إذا سقط على الأرض، إلا أنه يمكن أن يُدفع بالريح على سطح جدران المبنى فيتراكم ويتغلغل في مواد البناء إلى حد ليس مأخوذاً في الحسبان في تصميم التعرُّض المباشر للمطر. وإذا وصل إلى الأرض من دون تماس مع بنية المبنى، فإنه يمكن أن يرشها (بالقوة الحركية) عند مستوى الأرض، فيزيد من البلل والتغلغل في المادة القريبة منه والتي هي أعلى من مستوى الأرض. أما بقية الماء الذي يصل إلى الأرض، فإما أن يتغلغل مباشرة فيها أو أن يتجمع ويتدفق مبتعداً من المبنى. أما اعتراض الماء عند سطح السقف فهو عادة مهمة المزاريب والبلاليع.

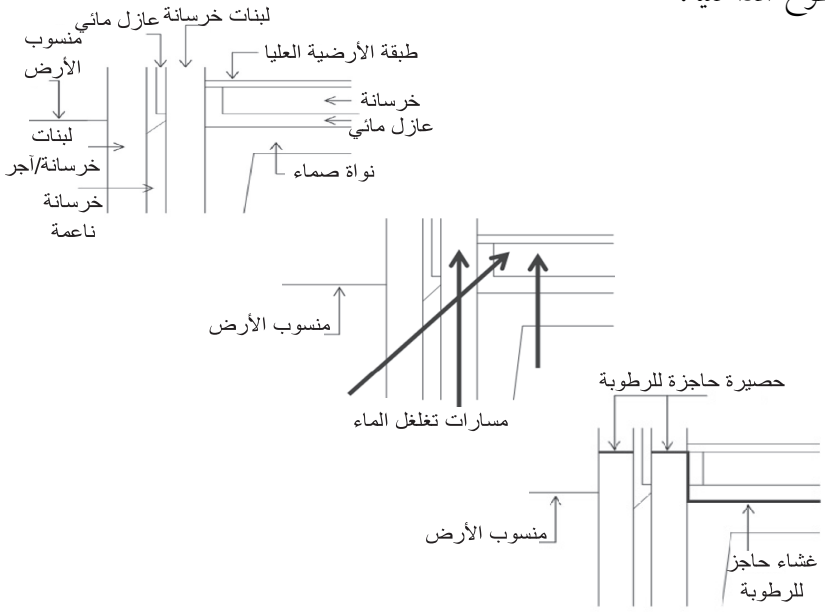
الرطوبة الصاعدة

المفعول السيِّئ للرطوبة الصاعدة موجود دائماً في المناخات المعتدلة. فالرطوبة توجد على الأرض عملياً في كل أوقات السنة. ومع أن تهديدها الرئيسي يحصل أثناء مواسم الأمطار التي يرتفع فيها محتوى التربة من الماء، فإن الرطوبة تبقى موجودة في جميع طبقات التربة باستثناء الطبقة السطحية، حتى في أوقات الجفاف. وهذا موجود حتى فوق منسوب المياه الجوفية. وإذا بُنِي أساس المبنى تحت منسوب المياه الجوفية، وثمة بعض المباني من هذا النوع، توقع تحت تهديد إضافي من ضغط المياه الجوفية، وهذا ما يساعد الماء على التغلغل عبر بنية المبنى.

أما الحدث الرئيسي المقترن بالرطوبة الصاعدة فهو، وفقاً لما توحي به التسمية، انتقال الرطوبة نحو الأعلى على نحو معاكس لقوة الثقالة، لأن الماء ينتقل إلى الأعلى عبر شبكة دقيقة من المسامات المتواصلة معاً بالخاصية الشعرية في المواد النفوذة. ويمكن لهذا الارتفاع ضمن منظومة مسامات المواد أن يصل إلى ما فوق مستوى مصدر الرطوبة التي في الأرض.

مع أن من غير الاقتصادي عادة استعمال مواد غير نفوذة لصنع المكوِّنات الرئيسية تحت الأرض، فإن حل العزل المائي المعتاد هو استعمال عائق غير نفوذ يسمى الحصيرة الحاجزة للرطوبة في الجدران، والغشاء الحاجز للرطوبة (damp proof membrane DPM) في الأرضية. يُري الشكل 7.10 مسارات الرطوبة وعناصر العزل المائي عند وصلة الطابق الأرضي والجدار الخارجي للمبنى.

إن العزل المائي والعناية بتحقيق الاستمرارية في ما بين حواجز الرطوبة تلك على درجة عالية من الأهمية. ونظراً إلى أن المشكلة الرئيسية هي الخاصية الشعرية التي بطبيعتها تستغل أدق المسارات، فإن ذلك يدل على أن أي نقص في العناية بعزل الرطوبة يمكن أن تكون له مفاعيل ضارة. وعندما لا يكون عزل الرطوبة صحيحاً، تمتص المواد الموجودة في الجانب الجاف تلك الرطوبة وتنقلها إلى السطوح الداخلية.



الشكل 7.10 مسارات الرطوبة الصاعدة وعناصر منعها.

التكاثف

كانت التوصيفات حتى الآن تدور حول المسالك الممكنة عبر البنية الإنشائية التي تهدِّد الداخل الجاف بدخول الرطوبة من الخارج. إلا أن هذا ليس المصدر الوحيد للرطوبة الداخلية. فمن بين المصادر الرئيسية الأخرى هناك التكاثف أيضاً. والرطوبة التي تتكاثف لا تدخل المبنى كماء، بل بخاراً، ومعظم ذلك البخار يتولَّد ضمن المبنى من خلال الأنشطة اليومية. فهو يأتي من الطبخ والاستحمام، ومن التنفس ومن جميع الأنشطة الأخرى المشابهة أيضاً. وبوصفه غازاً، يُحمَل مع الهواء بواسطة عمليات التهوية التي تحصل في المبنى.

لا يهدِّد البخار جفاف البيئة (برغم أن البخار المفرط الكثافة الذي يسبب رطوبة عالية قد يكون غير مريح). فطوال بقاء البخار محمولاً في الهواء، فإنه لا يسبب مشكلات رطوبة. إلا أن ثمة حداً لمقدار البخار الذي يمكن أن يكون في الهواء، وذلك تبعاً لعوامل عديدة أهمها درجة الحرارة. فإذا ازدادت كمية البخار في الهواء عند درجة حرارة ثابتة، أو انخفضت درجة الحرارة عند كثافة بخار ثابتة، أمكن للنتيجة أن تكون تكاثفاً أو ظهوراً لماء سائل. وهذا ما يُشاهد عادة على السطوح الداخلية لزجاج النوافذ التي هي، على الأرجح، السطوح ذات درجات حرارة أدنى من درجة حرارة الغرفة. والمناطق الحساسة الأخرى [في المبنى] هي الزوايا الداخلية بين الجدران والسقف وخلف الأثاث حيث تكون التهوية سيئة جداً. يمكن درجة حرارة السطح هنا أن تكون أعلى، ولذا يتركز البخار فيها. ونظراً إلى أن هذه السطوح نفوذة، خلافاً للزجاج، فإنها تمتص الرطوبة المتكاثفة، وأول مؤشر إلى ظهور هذه المشكلة هو نمو العفن.

وتختلف درجة الحرارة التي يحصل عندها التكاثف تبعاً لمقدار البخار الموجود في الهواء. فكلما كان البخار في الهواء أقل، كانت درجة الحرارة التي يبدأ التكاثف عندها أخفض. وتسمى درجة الحرارة التي يبدأ عندها التكاثف عند نسبة مزيج معينة للهواء والبخار درجة حرارة الندى (dew point temperature)، وعندئذ يقال أن الهواء مشبع 100٪، أو أن رطوبة الهواء تساوي 100٪. وإذا استمرت درجة الحرارة بالانخفاض (أو دخل مزيد من البخار إلى الهواء)، حصل مزيد من التكاثف لأن رطوبة الهواء لا يمكن أن تكون أكبر من 100٪.

وفضلاً عن حصول التكاثف على السطوح، فإن البخار يمثِّل مشكلة ضمن المواد ذاتها. فمعظم مواد البناء نفوذة للماء، وللغاز (ولذا للبخار) أيضاً. لكن

نفوذية المادة للغاز هي خاصية مختلفة عن نفوذيتها للماء. فعندما يكون الهواء داخل المبنى دافئاً، ربما احتوى على بخار أكثر مما يحتوي عليه الهواء البارد في الخارج. وهذا الفرق كاف لجعل البخار الداخلي ينتقل إلى الخارج عبر البنية الإنشائية. ونظراً إلى كونه دافئاً في الداخل وبارداً في الخارج، سوف يكون ثمة انتقال للحرارة إلى الخارج عبر البنية الإنشائية أيضاً، وتصبح درجات حرارة طبقات المادة أبرد بالتدرُّج نحو الخارج. ويُصبح هذا الهبوط في درجة الحرارة كبيراً على نحو ملحوظ عبر أي عازل. فمادة العازل لا تُمسك عادة البخار المنتقل، وهذا يخلق ظروفاً لحصول التكاثف ضمن البنية الإنشائية. ونظراً إلى حصول ذلك ضمن المواد، يسمى بالتكاثف ضمن الشقوق (interstitial condensation).

في هذه الحالة، يكون الماء موجوداً ضمن البنية الإنشائية. وإذا استمر البخار بالتدفق مع بقاء درجة الحرارة منخفضة، ازدادت كمية الماء المتكاثف. ويمكن حينئذ لوجود الماء ضمن المواد أن يهدِّد استقرارها ويغيِّر بعض خواصها التي تعتمد عليها وظيفتها، وخاصة خواص العزل والنفوذية للهواء. وتبعاً للعزل المائي ولمكان حصول التكاثف، يمكن أن يحصل التكاثف على الجدران الداخلية أيضاً. ويعتمد هذا على وجود مسالك للماء المتكاثف للعودة إلى الوجه الداخلي للجدار. وتنشأ هذه المسالك عن قوى وآليات مشابهة لتلك التي نوقشت في حالة الرطوبة المتغلغلة، حيث ينتقل الماء عبر الشقوق، وتؤثِّر الثقالة في الماء (لكن ليس في البخار) مستجرة إياه عبر البنية الإنشائية حيث يمكن أن يجد مسلكاً يجري فيه.

وإذا لم يعثر الماء على مسلك إلى داخل المبنى، فإنه سوف يجف من الوجه الخارجي على غرار المطر بتأثير الريح والحرارة المرتفعة وأشعة الشمس. لكن هذه العملية يمكن أن تكون بطيئة، ويمكن الماء المتكثف أن يبقى ضمن البنية مدة طويلة.

ويمكن الإنهاءات، ومن ضمنها موضع الطبقة العازلة، إضافة إلى التهوية وطبقات الحدِّ من مستوى بخار الماء، أن تحد من خطر التكاثف، وسوف نناقش ذلك في المقطع التالي الخاص بالبيئة الدافئة.

البيئة الدافئة

من الطبيعي في البيئات المعتدلة أو الباردة النظر إلى المبنى على أنه يكوِّن بيئة دافئة ويحافظ عليها. أما في المناخات الدافئة أو الحارة، فيمكن اعتبار وظيفة المبنى على أنها توفِّر بيئة أبرد، وهذا يقود إلى طرائق معالجة مختلفة جداً، ويجب

تحليله بطريقة مختلفة عن الطريقة الموصوفة هنا. ففي المناخات الحارة، يمكن استعمال الكتل الحرارية والطلاءات الخارجية البيضاء بدلاً من العزل الشائع في المناخات المعتدلة. لكنْ في هذا المقطع، سوف نركِّز الاهتمام في التدفئة في شتاء المناخ المعتدل، وسوف ننظر في ظروف الصيف أيضاً.

ليس منشأ الشعور بالدفء والبرودة مقتصراً على درجة حرارة الهواء فقط. فهو يعتمد على مفاعيل الإشعاع وحركة الهواء المبرِّد أيضاً (النسيم والجريانات الخفيفة). وفي ما يخص الإشعاع، فهو عملية فقْد (أو كسب) حراري بالتبادل الإشعاعي. وهذا مستقل عن درجة حرارة الهواء ولا يتطلب سوى سطح بارد (أو ساخن) يقع على خط نظر مع الشخص (أو أي جسم آخر) لحصول المبادلة الحرارية.

ويمكن الأمكنة التي تحتوي على نوافذ زجاجية أن تقترن بهذه المفاعيل الإشعاعية أيضاً. ويتناسب معدل المبادلة الإشعاعية مع فرق درجة الحرارة، ويصبح هذا الفرق كبيراً إذا كانت النافذة معرَّضة مباشرة إلى أشعة الشمس (كسب حراري) أو إلى سماء ليلة صافية في الشتاء (فقد حراري). وعلى الأرجح، لن يكون ذلك مريحاً للأفراد الموجودين بالقرب من النوافذ. في هذه الظروف، قد يكون من الضروري استعمال نوع من التظليل الخارجي للحفاظ على درجة حرارة السطح مساوية تقريباً لدرجة حرارة الهواء، واستعمال ستائر داخلية لمنع أي إشعاع مباشر بين السطح والأفراد. ويساعد وضع مشعات التدفئة تحت النوافذ أيضاً على تلطيف المبادلة الإشعاعية التي يتعرَّض إليها الأفراد إذا كانت درجة حرارة الزجاج البارد ليست منخفضة جداً. لكن العمل قريباً جداً من المشع قد لا يكون مريحاً بسبب المبادلة الإشعاعية.

ويتحرك الهواء بسبب التهوية، فإذا كان معدل جريان الهواء عالياً، كان ثمة شعور بالبرودة بسبب البخر الذي يحصل من البشرة، وسوف نناقش ذلك في المقطع الخاص بالتهوية لاحقاً. لكن رطوبة الجو العالية تقلِّص كفاءة عملية البخر المبرِّدة للبشرة، وتجعلنا نشعر بالانزعاج عند درجات الحرارة العالية حتى لو كان معدل جريان الهواء كبيراً.

ويُعتبر دور بنية المبنى الإنشائية الخاملة في الحفاظ على بيئة دافئة ضمنه مكمِّلاً لدور منظومات الخدمات البيئية النشطة. ولذا من الضروري النظر في مكاملة التصاميم الحرارية بحيث تجمع بين بنية المبنى الإنشائية وإجراءات تدفئته وتهويته. ويجب أن يقوم هذا القرار الهام على مسائل استهلاك الطاقة ونظافة الهواء وتكاليف

الصيانة والتكاليف الجارية. لكن في جميع الحالات، يبقى دور البنية الإنشائية نفسه، ولا يتغيَّر سوى مستوى أدائها.

في المناخ المعتدل، يتركَّز الاهتمام الرئيسي في الفقد الحراري عبر البنية الإنشائية للمبنى في ظروف التدفئة في الشتاء. فكلما كان مقدار الفقد الحراري بالنقل عبر البنية والتهوية أكبر، كان مقدار الحرارة الذي يجب توفيره بواسطة منظومة التدفئة أكبر، وكانت تكاليف استهلاك الطاقة أعلى. وثمة مشكلات أيضاً في المباني التجارية الكبيرة تتعلق بتبريدها في الصيف من حيث تقليص الكسب الحراري الداخلي والشمسي لجعل التبريد المطلوب أقل. ويختلف دور البنية الإنشائية في هذه الظروف عن الاحتفاظ بالحرارة في الشتاء. فهو يتطلب، مثلاً، معدلات عالية من التهوية مع استعمال مظلات على الجوانب الخارجية واستغلال السعة الحرارية بدلاً من القشرة العازلة لجدران المبنى الضرورية في ظروف الشتاء.

وفي ما يخص الغلاف الخارجي للمبنى، من الضروري فهم كيفية استجابة البنية الإنشائية لفروق درجة الحرارة بين جانبي الجدار، أو بين السطح والسقف. إذ تتألف البنية الإنشائية طبعاً من طبقات مختلفة تؤدي وظائف متنوعة، واحدة منها فقط مصممة خصيصاً لتحسين السلوك الحراري. ومع ذلك، فإن سلوك البنية الإنشائية برمتها يجب أن يكون موضع اهتمام.

ومن الممكن النظر إلى المواد وطبقات البنية الإنشائية من وجهة نظر سهولة نقلها للحرارة، أو مقاومتها لانتقالها. وفي الوصف التالي سوف ننظر عموماً في الطبقات المقاومة لانتقال الحرارة التي تتألف عادة من مواد عازلة.

نظرة مبسَّطة إلى الفقد الحراري في البنية الإنشائية

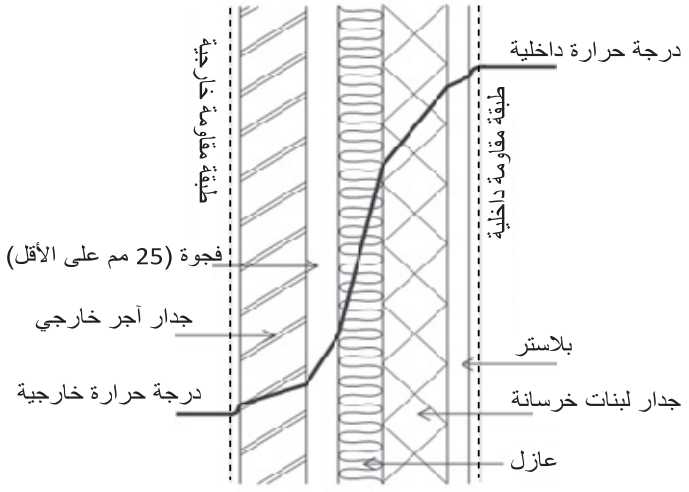
في أبسط طرائق دراسة الفقد الحراري في البنية الإنشائية، تُعتبر منظومة المفاقيد والمُدخلات الحرارية من وإلى المبنى في حالة توازن. ويُفترض أن درجة الحرارة على كل من جانبي البنية ثابتة، وأن معدل النقل الحراري عبرها قد وصل إلى حالة مستقرة. ويُفترض أيضاً أن كل الحرارة تنتقل مباشرة عبر البنية من أحد الجانبين إلى الآخر. وفي هذه الظروف، يعتمد انتقال الحرارة عبر البنية الإنشائية على مقاومة النقل الحراري التي توفِّرها طبقات المواد العازلة المختارة، ومعها الفجوات وطبقات الهواء الساكن الموجودة على سطح البنية.

وتُعتبر الحالة المستقرة أبسط حالات التدفق الحراري عبر البنية الإنشائية، وهي تبيِّن المفعول الجوهري لتلك البنية. وبافتراض وجود فرق في درجة الحرارة

بين جانبي البنية، تتدفق الحرارة من السطح ذي درجة الحرارة العالية إلى ذاك ذي درجة الحرارة المنخفضة. وتعتمد كمية الحرارة التي تعبر البنية الإنشائية في مدة معينة، أي معدل التدفق الحراري، على مقاومة الطبقات، ومنها طبقة الهواء السطحي والفجوات الهوائية ضمن البنية. وكلما كانت المقاومة أعلى، كانت كمية الحرارة التي تنتقل في وحدة الزمن أقل. وليس من الممكن للتدفق حراري في طبقة أن يكون أكبر منه في طبقة أخرى من البنية في الحالة المستقرة.

والمفعول الثاني لوجود طبقات ذات مقاومات مختلفة هو طريقة تغيُّر درجة الحرارة عبر البنية الإنشائية من الجانب الدافئ إلى الجانب البارد. ويعتمد هذا على المقاومة النسبية في كل طبقة، وفقاً للمبين في الشكل 8.10. فالطبقات التي تُسهم بنسبة كبيرة في مقاومة التدفق الحراري (الطبقات العازلة) سوف تشهد أكبر هبوط حراري على جانبيها ضمن البنية الإنشائية.

لكن الحالة المستقرة ليست أبسط طرائق النظر في التدفق الحراري فحسب، بل عندما تتحدَّد مقاومة كل طبقة، فإنها تمثِّل أبسط ظرف يمكن إجراء حسابات له. ويُعبَّر عن معدل الفقد الحراري بوصفه تابعاً للبنية برمتها، ولذا يضم مفاعيل كل الطبقات في عدد واحد يمثِّل النفاذية الحرارية (transmittance) لكامل البنية. وهذه قيمة وحيدة تُعرف بالقيمة U.



الشكل 8.10 التدرُّج الحراري عبر جدار معزول ذي فجوة.

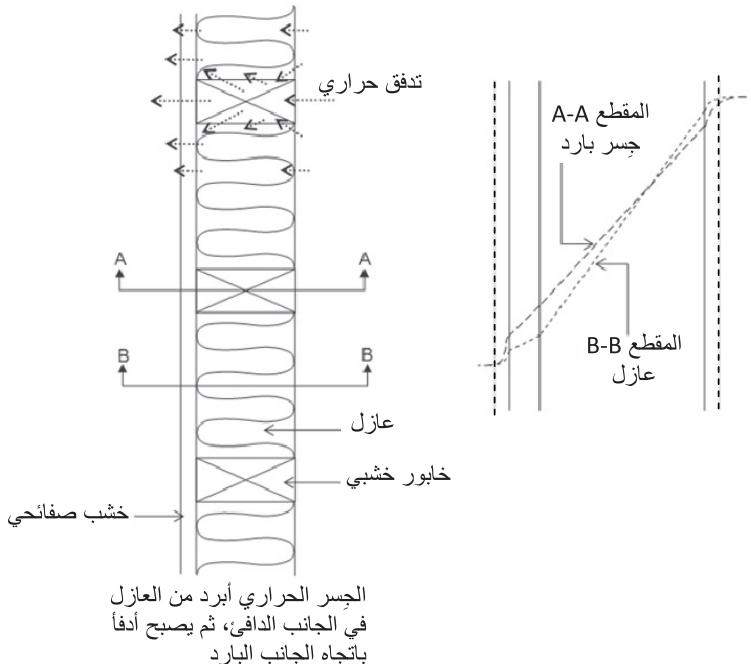
إلا أن الفقد الحراري المحسوب بهذه الطريقة يقوم على وصف للسلوك نادراً

ما يُشاهد عملياً. ففي حين أن درجة الحرارة الداخلية يمكن أن تكون ثابتة نسبياً، فإن درجة الحرارة الخارجية على مدى موسم التدفئة تشهد تغيُّرات كبيرة. واختيار القيمة التصميمية لدرجة الحرارة الخارجية يصبح هاماً للتقديرات التي تنتج عن تلك الحسابات. فإذا اختيرت منخفضة جداً، اقتضى التصميم منظومة تدفئة مفرطة على مدى معظم موسم التدفئة، وإذا اختيرت عالية فإنه لا يمكن تحقيق ظروف الراحة في نسبة كبيرة من الأيام التي تكون فيها ثمة حاجة إلى التدفئة. في بريطانيا، تعتمد التصاميم حالياً قيمة الصفر المئوية بوصفها قيمة تصميمية لدرجة الحرارة الخارجية.

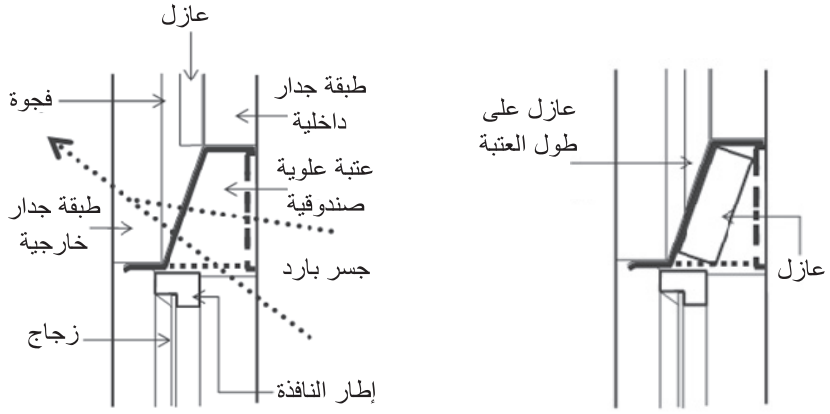
وتتصف دقة التقديرات المحسوبة بهذه الطريقة بالحساسية لظروف التصميم المفترضة، ولتفاصيل الإنهاءات أيضاً. لقد افترضنا أن كل الحرارة تنتقل مباشرة عبر البنية الإنشائية من جانب إلى آخر. هذا إذا بقيت الطبقات العازلة مستمرة دون انقطاع، أما إذا كان ثمة انقطاع إنشائي أو فتحات في البنية، فإن تلك الفرضية تصبح موضع شك.

الجسر البارد

يبيِّن الشكل 9.10 المفعول الحاصل في التدفق الحراري عبر البنية الإنشائية والناجم عن عدم كون الخوابير المغروسة في لوحة جدار خشبي مؤطَّرة طبقة وحيدة. يُقال أن الخوابير تصبح جسوراً باردة (جسوراً حرارية) بتحويلها لمسار انتقال الحرارة بحيث لا تمر مباشرة من جانب إلى آخر. ويحصل هذا أيضاً عند وصلات الأرضيات وحول فتحات النوافذ. إن الحرارة تتدفَّق تدفقاً طبيعياً باتجاه درجة الحرارة المنخفضة، مؤدية إلى تشويه لهيئة التدرُّج الحراري. ويؤدي هذا الجسر الحراري إلى فقد حراري أكبر من الفقد الذي تعطيه الحسابات البسيطة. لذا، وحيثما احتوى المبنى على قليل من البنية الإنشائية المستمرة العالية المقاومة مع فتحات وفجوات متكررة، وجب النظر في الإنهاءات التي تقلِّص هذا المفعول. يبين الشكل 10.10 الجِسر الحراري عند أعلى النافذة والإنهاءات اللازمة لتقليص مفعوله في الفقد الحراري.



الشكل 9.10 مفعول الخوابير بوصفها جسوراً باردة في لوحة خشبية مؤطرة.



الشكل 10.10 جسر بارد وإنهاءات لتقليص مفعوله في الفقد الحراري.

المبادلة والسعة والتغلغلية الحرارية في الحالة غير المستقرة

في أثناء تدفئة المبنى، تكون درجة الحرارة الداخلية ثابتة نسبياً. وتكون تغيرات درجة الحرارة الخارجية أكبر كثيراً، حتى على أساس يومي. ولا ينطبق هذا

على درجة حرارة الهواء فقط، بل تتأثَّر درجات حرارة السطوح مباشرة أيضاً بالتبادل الإشعاعي من خلال التعرُّض المباشر لأشعة الشمس (كسب) ولسماء الليل الصافية (فقد). وتمتص السطوح، وخاصة ذات الألوان الغامقة، الحرارة إذا كانت معرَّضة مباشرة لأشعة الشمس، وتفقد حرارة إذا كانت معرَّضة مباشرة إلى سماء ليل الشتاء الصافية. ويمكن درجات حرارة السطوح أن تبلغ بهذه الآلية قيماً تختلف اختلافاً ملحوظاً عن درجات حرارة الهواء حولها.

وقد لا تُدفَّأ المباني باستمرار، ولذا قد تكون ثمة حاجة إلى تدفئة متقطعة توافق أنماط إشغال المبنى. وفي هذه الظروف، تتغير درجات الحرارة الداخلية والخارجية غالباً على نحو متعاكس، وتزداد درجات الحرارة الداخلية عندما تنخفض درجات الحرارة الخارجية.

وبغرض فهم هذا السلوك الحراري المتغيِّر، من الضروري التفكير بسرعة تغيُّر تدرُّج درجة الحرارة في البنية الإنشائية استجابة لتغيُّرات درجة الحرارة عند السطح. لكن خواص المواد الحرارية وسماكة كل طبقة هما اللتان تحدِّدان سرعة استجابة البنية الإنشائية الحرارية. وهذا لا يتطلب قياساً لقيمة مقاومة الطبقات الحرارية أو عزلها فحسب، بل يتطلب أيضاً قياس سعتها الحرارية أيضاً. تعبِّر السعة الحرارية (thermal capacity) عن مقدار الحرارة اللازم لتحقيق ارتفاع معين في درجة حرارة المادة (أو للفقد الحراري اللازم لتحقيق انخفاض معين في درجة الحراة). ويكون معدَّل تغيُّر درجة الحرارة ضمن الطبقات عالياً عندما تكون مقاومة التدفق الحراري والسعة الحرارية صغيرتين. وبزيادة مقاومة الطبقات أو سعاتها، تصبح تغيُّرات درجات الحرارة ضمن المادة أبطأ. وهذا المعيار لسرعة تغيُّر درجة الحرارة الداخلية تابع لكل من المقاومة والسعة، ويُعرف بالتغلغلية الحرارية (thermal diffusivity). وعلى وجه العموم، تكون المواد ذات المقاومة العالية منخفضة الكثافة بسبب وجود فجوات هوائية كبيرة محتجزة ضمن المادة، في حين أن المواد ذات السعات الحرارية الكبيرة تتصف بكثافة عالية، ومن ثَمَّ بمقاومة منخفضة للتدفق الحراري.

ويصبح تحليل التغلغلية والسعة أعلى أهمية من تحليل العزل في المناخات التي تحصل فيها تغيرات كبيرة في درجات الحرارة بين الليل والنهار، وهذا هو شأن المناطق الصحراوية، خلافاً لحالة المناخات المعتدلة. ولذا تُستعمل فيها مواد ثقيلة ذات سعات حرارية كبيرة. وهذا مشابه لتصاميم التبريد في الصيف في

المناخات المعتدلة حيث تُستعمل البنية الإنشائية لخزن الحرارة المتولِّدة في أثناء النهار، ومن ثَمَّ لتصريفها في الليل.

وتحليل التغلغلية هام أيضاً عندما يكون من الضروري تدفئة المبنى مُدداً قصيرة، وعندئذ تكون المباني ذات الكتلة الحرارية الخفيفة هي المناسبة. ومن طرائق هذه التدفئة استعمال منظومة ذات مشعات حرارية تدفِّئ الأفراد مباشرة من دون تدفئة الهواء، وحينئذ يكون للبنية الإنشائية دور صغير في تحقيق الشعور بالدفء باستثناء تقليلها لجريان الهواء.

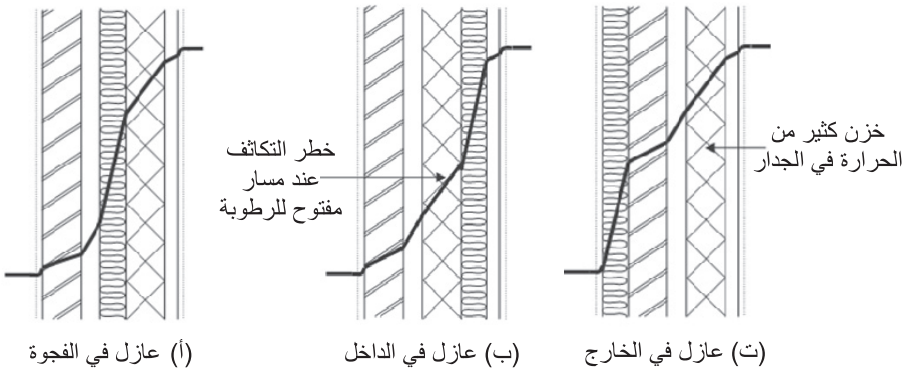
موقع العازل الحراري

عندما يقتصر الاهتمام بالفقد الحراري على الحالة البسيطة المستقرة، لا تكون ثمة أهمية لمكان الطبقة العازلة العالية المقاومة. لكنْ عندما يجري تحليل سلوك البنية الإنشائية لأي غرض تكون فيه تغيرات درجة الحرارة أو تغيُّرها مع الوقت هامة، فإن موقع المقاومة النسبية التي توفِّرها كل طبقة يصبح ذا أهمية.

إذا كانت الطبقات العازلة أقرب إلى الداخل (أي إلى الجانب الدافئ)، شهدت درجة حرارة الطبقات الخارجية زيادة طفيفة بغرض تحقيق الحالة المستقرة. وفي هذه الظروف، لا يحصل الوصول إلى الحالة المستقرة بسرعة كبيرة نسبياً فحسب، بل يكون ثمة قليل من الحرارة المخزونة أيضاً في البنية الإنشائية حتى لو كانت مبنية من مواد ذات سعة حرارية كبيرة نسبياً. وما هو أكثر أهمية من ذلك هو أن تكون الطبقة العازلة في الجانب الدافئ، وتلك حالة يوجد فيها احتمال كبير لحصول تكاثف عند درجات حرارة منخفضة في الجانب البارد من البنية الإنشائية.

يُبيِّن الشكل 11.10 هيئة تغيُّر درجة الحرارة في جدران تقع فيها الطبقة العازلة في مواضع مختلفة. ومنه يتضح أن العزل في الجانب البارد يقلِّص مشكلة التكاثف، خلافاً للحالة السابقة، لكنْ يمكن أن يزيد من فترات التدفئة عندما تكون ثمة حاجة إلى تدفئة متقطعة.

وإذا كان احتمال التكاثف عالياً، كانت ثمة حاجة إلا إنهاءات إضافية. ويتخذ ذلك عادة إما صيغة طبقة تحد من البخار، أو تجري تهوية الفجوات لإزالة البخار الذي يدخل عبر البنية الإنشائية. ويمكن التهوية أن تكون فعالة في الأسقف على وجه الخصوص.



الشكل 11.10 تغيُّر تدرُّج درجة الحرارة مع تغيُّر موضع العازل في جدار ذي فجوة.

التهوية

لا يتأثر الحفاظ على بيئة دافئة بمواصفات وخواص البنية الإنشائية المختارة فقط، بل بمقدار التهوية أيضاً. ويُمثِّل الفقد المباشر للهواء الدافئ من الغرفة في الظروف الشتوية السبب الرئيسي لفقد نسبة كبيرة من حرارتها. تتضمن التهوية مبادلة للهواء، وينجم عنها جريان له. وإذا أصبحت سرعة هذا الجريان كبيرة، سُمِّي بالتيار الهوائي، وهذا التيار يؤدي إلى زيادة الفقد الحراري من بشرة الجسم بالبخر، وحينئذ نتوقف عن اعتبار البيئة دافئة حتى لو لم تتغيَّر درجة حرارة الهواء. وفي الصيف، يسمى التيار الهوائي نسيماً، وهو مرغوب فيه لأنه يحقِّق شعوراً حرارياً مريحاً. وفي المناخات المعتدلة، تُعتبر التهوية الوسيلة الرئيسية لتحقيق بيئة حرارية مريحة في موسم الصيف. فنظراً إلى ارتفاع تكاليف مكيِّفات الهواء من حيث السعر والتكلفة الجارية، فإن استعمالها مقصور على طيف محدود من المباني في تلك المناطق المناخية.

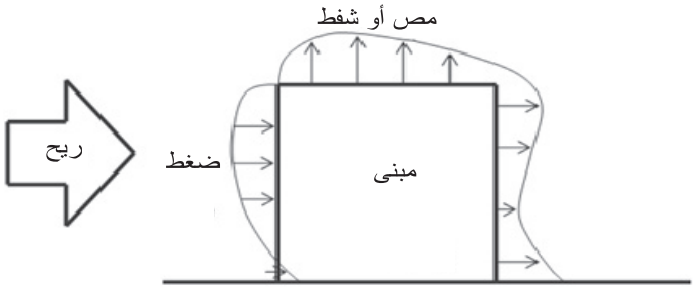
لكن التهوية ليست لمجرد تكوين بيئة حرارية مريحة. فهي تؤدي وظيفتين أُخريين أيضاً. الوظيفة الأولى هي إبعاد بخار الماء، وهذا ما يقلِّل من إمكان حصول التكاثف وتكوُّن الرطوبة في المبنى. والثانية هي تصريف الهواء الفاسد والحفاظ على جو نظيف بخفض مستوى الملوِّثات والروائح المحمولة في الهواء إلى مستوى آمن ومريح. سوف نناقش ذلك في مقطع البيئة النظيفة لاحقاً، فما من شك في أن تغيير الهواء ضروري داخل المبنى، ولذا يجب النظر في بعض وسائل تحقيق مستوى جيد من التهوية.

كي تحصل التهوية لا بد من توافر شرطين، هما: يجب أن يكون ثمة فرق ضغط لتحريك الهواء، وأن تكون ثمة فتحات لدخول الهواء وخروجه. وهذا يفترض توافر هواء نقي ليحل محل هواء المبنى الفاسد. وإذا لم يكن الهواء النقي متوافراً، وجب تنظيف الهواء بالمرشحات وإزالة رطوبته. لكننا لن ننظر في ذلك هنا.

إن وجود فرق في الضغط مع فتحات في المبنى ضروري في كل من حالتي التهوية الطبيعية والصنعية. إلا أن طريقتي تحقيقهما ووسائل التحكّم فيهما شديدتا الاختلاف. وقد تكون لذلك مناهج هجينة، وأبسط صيغة لهما هي الإخراج الصنعي للهواء من المبنى لزيادة فرق الضغط (أو على الأقل التحكُّم فيه)، مع فرض [موقع] فتحة الخروج وترك البنية الإنشائية تتكفَّل بتوفير فتحات الدخول. حتى بوجود منظومة صناعية كاملة، يجب تفصيل البنية الإنشائية وبناؤها بحيث لا تكون كثيرة التسريب، لأن ذلك يمكن أن يؤثِّر في أداء منظومة التهوية.

ويتمثَّل دور البنية الإنشائية في التهوية بتوفير الفتحات. ولا تقتصر هذه الفتحات على تلك المخصصة لهذا الغرض، مثل المداخن والفتحات الآجرية، بل تتضمن أيضاً التشقُّقات الموجودة حول النوافذ والأبواب. وسد هذه التشقُّقات بواسطة حشوة مالئة يُعتبر غالباً طريقة اقتصادية للحفاظ على الحرارة. وقد يكون هذا صحيحاً، إلا أنه يُغلق أيضاً منفذاً من منافذ التهوية ضرورياً للحفاظ على بيئة جافة وصحية. لذا يجب أن يترافق إحكام سد النوافذ بعملية تهوية أخرى، مثل فتحات تنفس دقيقة في النوافذ، في حالة عدم كفاية معدل التهوية الصناعية في المبنى.

وثمة فروق ضغط تنشأ طبيعياً من الريح التي تهب حول المبنى. يُري الشكل 12.10 توزُّعاً شائعاً للضغوط حول مبنى. يدخل الهواء من أي فتحة في جوانب المبنى يكون فرق الضغط عندها موجباً، ويخرج من الجانب الذي يكون فرق الضغط عنده سالباً.



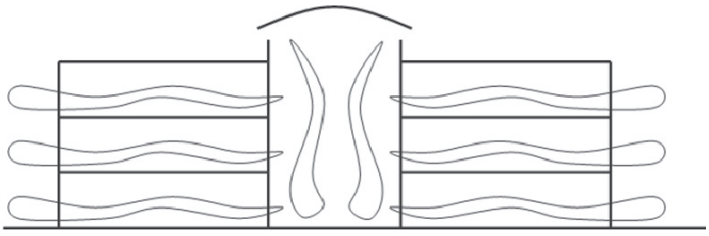
الشكل 12.10 ضغوط الريح حول مبنى.

والطريقة الثانية التي يمكن اللجوء إليها لتحقيق تهوية طبيعية تقوم على مفعول المدخنة (stack effect). لا يستحث هذا المفعول جرياناً عرضانياً للهواء، بل يخلق حركة عمودية. وهو يعتمد على فرق درجة حرارة هواء دافئ في الأسفل عن درجة حرارة هواء أبرد في الأعلى، وتُساعده الريح إذا كان الضغط الخارجي عند الفتحة العليا أقل منه عند الفتحة السفلى من المبنى.

ونظراً إلى أن القوة الرئيسية المسبّبة للتهوية الطبيعية هي الريح، فإن من الواضح أنه يجب التحكُّم بالفتحات لتحقيق ظروف محلية متنوعة في المبنى وحوله. ويمكن تجاورَ المباني أن يغيِّر الظروف المحلية على نحو كبير، فمفعوله جوهري في مستويات التهوية التي يمكن تحقيقها عملياً.

ويتطلب فهم هذه العمليات تحليلاً لفروق ضغط الريح ودرجات الحرارة، إضافة إلى أنماط الفتحات المتوافرة في البنية الإنشائية. ويمكن المعلومات المتوافرة عن ذلك أن تكون شديدة التعقيد أو مخصصة لمبان معينة. لذا تُستعمل النمذجة الرياضياتية والأنفاق الهوائية والتبليل بالماء المالح لدراسة المباني التي تستعمل التهوية الطبيعية. وهذه خطوة رئيسية في هذا المجال الهام من دراسة أداء المبنى لأنها تقلِّص إلى حد بعيد استهلاك الطاقة فيه.

ويجب النظر في تصميم المبنى بكليته بغرض استغلال القوى الطبيعية في التهوية. وتكمن إحدى طرائق تحقيق ذلك في استعمال شارع أو دهليز داخلي (ردهة على طول المبنى). يُري الشكل 13.10 تصميماً لدهليز مع قوى التهوية الطبيعية فيه. ويوفِّر هذا التصميم إضاءة طبيعية أيضاً، ولذا يقلِّص استهلاك الطاقة في الإضاءة طوال مدة حياة المبنى.



الشكل 13.10 تهوية طبيعية باستعمال دهليز أو ممر داخلي.

البيئة الضوئية

كي يحقِّق المبنى غالبية وظائفه، يجب أن تُستعمل في إنهاءاته الداخلية مواد لا تنقل ضوءاً حتماً. وهذا يعني أنه إذا أراد المستعمل استعمال ضوء طبيعي،

وجب اتخاذ إجراءات معينة لإدخال الضوء إلى المبنى. ونظراً إلى أن معظم المباني تكون مشغولة في النهار والليل، يجب اتخاذ إجراءات لتوفير إضاءة صنعية إضافة إلى الإضاءة الطبيعية. وهاتان الإضاءتان يمكن أن تكونا منفصلتين، لأن المبنى يُصمَّم كي يعمل في النهار من دون استعمال إضاءة صنعية. أو يمكن أن يكون ثمة عنصر إضاءة صنعية إضافية دائمة من أجل الأنشطة التي تحصل في النهار. إلا أنه يترتب على ذلك تكاليف جارية عالية، إضافة إلى عواقب تخص تأمين الطاقة واعتبارات تتصل بتوافق مستويات استمرارية وجودة الإضاءة. وإحدى المسائل ذات الصلة بالإضاءة أيضاً هي أنه إضافة إلى الإضاءة العامة، قد تكون ثمة حاجة إلى إضاءة مخصصة لأعمال معينة أو إضاءة رومانسية أو مزاجية، ويمكن توفير ذلك أيضاً صنعياً أو طبيعياً تبعاً للظروف.

الإضاءة الطبيعية

إن أبسط طريقة لجعل الضوء يدخل المبنى هي ترك فتحات في جدرانه الخارجية، إلا أن هذا ليس مُرضياً على الأرجح بوجود وظائف أخرى للجدران والسقف. فالمواد المتوافرة للجدران التي تنقل الضوء محدودة وتقتصر على الزجاج والبلاستيك في المقام الرئيسي. ويُضاف إلى ذلك أن زيادة سماكة هذه المواد الزجاجية يقلِّص مقدار الضوء المار عبرها، وهذا ما يقصر استعمالها على الألواح الرقيقة نسبياً.

ومتانة هذه المواد محدودة أيضاً، ولذا لا تستطيع حمل بنى إنشائية باستثناء الأحمال الناجمة عن الريح. لكنْ يجري تأطيرها غالباً لتحقيق المتانة المطلوبة. ونظراً إلى كونها مؤلفة من ألواح منفردة، فإنها تنقل الحرارة بسهولة وتؤدي إلى فقد حراري كبير في الشتاء وإلى كسب حراري كبير في الصيف، إضافة إلى أن عزلها الصوتي يكون محدوداً. ويجب أن تبقى عازلة للماء أيضاً، وهي تُستعمل غالباً للتحكُّم بالتهوية بتفصيلها على شكل نوافذ ذات أطر قابلة للفتح والإغلاق. أما مقدرتها على تحقيق الأمن والخصوصية فهي ضعيفة جداً.

تُعدُّ المكوِّنات، مثل نوافذ الجدران والأسقف، عناصر جزئية من تلك الجدران والأسقف التي تمثِّل أجزاء رئيسية من المبنى. ولذا فإنها تُسهم في أداء تلك العناصر، برغم أنها تتصف بمستويات أداء مختلفة أن تقبل. ويمكن صنع تلك المكوِّنات من مواد تختلف كثيراً عن مواد البنية الإنشائية التي تحيط بها. ولذا

يجب التفكير ملياً بتفاصيل وصْلاتها ومثبتاتها مع مواد البنية الرئيسية، وعلى نحو مستقل عن العناصر ومتكامل معها.

وإضافة إلى جميع هذه الاعتبارات، هناك تأثير كبير لأشكال النوافذ ومقاساتها في مظهر المبنى. فهي تمثِّل جزءاً لا يتجزَّأ من معظم الطُرُز العمرانية، وتؤدي غالباً دوراً رئيسياً في الإضفاء على الطراز سماته المميزة.

يتضح من هذا الوصف أن حل توفير الإضاءة الطبيعية غالباً ما يكون نوعاً من المقايضة بينه وبين وظائف المبنى الأخرى. وتختلف أهميته من الناحيتين الوظيفية والتصميمية كثيراً تبعاً لاستعمال المبنى ولتفسير المصمِّم لأهميته للتصميم. وقد أصبح الآن استعمال طبقات متعددة من الزجاج أو البلاستيك شائعاً، وأدت التطورات الأخيرة في علم المواد إلى تحسين تلك المكونات الشفافة المتعددة الطبقات من حيث العزل الحراري والصوتي، وحتى من حيث المتانة ومقاومة الحريق بغية تحقيق وظائف الأمان والسلامة.

ومن الواضح أن استهلاك الطاقة الكهربائية في الإضاءة الصنعية كبير، ولذا يؤدي توفير إضاءة طبيعية عالية الجودة دوراً هاماً في تحقيق التنمية المستدامة.

مصدر الإضاءة الطبيعية

نظراً إلى اعتماد الإضاءة الطبيعية على الشمس، فإن جودتها وشدتها وأوقات توفُّرها متغيِّرة جداً. وهي تتغير تبعاً لخط العرض على الكرة الأرضية ولتوجيه المبنى. ففي نصف الكرة الأرضية الشمالي، يكون الضوء الوارد من الجنوب أسطع من ذاك الوارد من الشمال عموماً. ومع ذلك فإن شدته تتغير، مؤدية غالباً إلى إبهار معطِّل للرؤية أو غير مريح، خلافاً لحالة الإضاءة المتجانسة. أما الضوء الوارد من الشمال، فهو أكثر تجانساً وأقل إبهاراً وإزعاجاً، لكنه أكثر برودة. وهذا ما يجعله ملائماً للمصانع والمستودعات التي توجَّه فيها نوافذ الأسقف التي لها شكل سن المنشار نحو الشمال عادة. أما في ما يخص الأغراض الأخرى، فإن تغيُّر السطوع والتدفئة وجودتهما قد يكونان أكثر ملائمة، لذا وباستعمال بعض التحكُّم في الإبهار، قد يكون ضوء الجنوب هو المفضَّل.

وتتغيَّر الإضاءة الطبيعية مع تغيُّر أوقات السنة وظروف الطقس. وتتغير مدة الإضاءة اليومية مع الفصول، وتتغير معها مستويات شدة الضوء والزوايا التي يمكن رؤية الشمس منها مباشرة. وهذا يُضفي على الإضاءة صفة التغيُّر مع الفصول،

ويعني أيضاً أن التظليل يجب أن يكون متغيراً ليتوافق مع زاوية أشعة الشمس واتجاهها. وتؤثِّر الغيوم في جودة الإضاءة أيضاً. ويتحقَّق أعلى مستوى من الإضاءة عندما لا تحجب الغيوم الشمس، في حين أن الغيوم الكثيفة يمكن أن تحجب الضوء كلياً تقريباً مؤدية إلى ظروف في النهار قريبة من الظروف الليلية.

لذا، وبوجود كل هذه المتغيرات، من غير الممكن ضمان مستويات الأداء نفسها في كل أوقات السنة. فالشمس الساطعة تتطلب التظليل، في حين أن الغيوم المتلبدة يمكن أن تفرض استعمال الإضاءة الصنعية حتى أثناء النهار. وتكون هذه التغيُّرات أكبر في المناطق المعتدلة منها في المناطق الحارة حيث تكون الشمس أكثر سطوعاً وأعلى تموضعاً في السماء. في تلك المناطق، تكون النوافذ صغيرة ودائمة التظليل عادة، بمصاريع أو أسقف خارجية في ناحية المسار الرئيسي للشمس.

ليس تغيُّر الإضاءة الطبيعية غير مرغوب فيه بالضرورة. فتغيُّر مستويات السطوع والألوان يعطي معلومات عن الظروف الخارجية، وتجعل القاطنين على تماس مع الظروف الطبيعية التي تدل على مرور الدورات الطبيعية للأيام والفصول. يُضاف إلى ذلك أن الضوء المستقبَل يحمل معه مشهد الخارج. فالنوافذ، ومنها نوافذ السقف لكنْ بدرجة أقل، تتيح للقاطنين النظر إلى الخارج لرؤية ما يحصل. وفي كثير من الحالات، يمكن تصميم المشهد الطبيعي (أو مشهد المدينة) [من خلال النوافذ] لتوفير امتداد بصري للحيِّز الداخلي. وهذا يولِّد آفاقاً ومناظر تحسِّن من الأنشطة التي يُصمَّم المبنى من أجلها. إن ارتفاع أسعار المكاتب الموجودة في الطوابق العليا من ناطحات السحاب والملاحق المبنية على أسطح المباني يعود في بعض أسبابه إلى المَشاهد التي توفِّرها تلك المكاتب.

وبرغم الصعوبات التقنية في تحقيق وظائف الفناء الداخلي للمبنى حيث يجب وضع فتحات الإضاءة، إضافة إلى رأس المال الإضافي والتكاليف الجارية التي يُحتمل أن تترتب عليها، تُعتبر نوافذ الجدران ونوافذ الأسقف ذات قيمة كبيرة (إنْ لم تكن جوهرية) في توفير المَشاهد الخارجية والإضاءة والمفعول الذي تحدِثه في مظهر المبنى. وهذا ما يجعل تحدِّياتها التقنية بالغة الدقة.

نفاذ الضوء الطبيعي إلى الأماكن الداخلية

بافتراض ظروف الإضاءة الخارجية السائدة، فإن جودة وكمية الضوء الذي يصل إلى الأمكنة الداخلية تتحدَّدان بمقاسات وأشكال الفتحات، وبشفافية المادة

الزجاجية ونوع التظليل وآليات التحكُّم الأخرى المستعملة. حينئذ تعتمد نسبة الضوء الواصل إلى الأمكنة الداخلية على مساحة وشكل الغرفة من حيث عرضها وعمقها. وينخفض مستوى الإضاءة مع ازدياد البعد من النوافذ، إلا أنه يمكن تحسين دخول الضوء بالاختيار المتأني لأشكال ومواضع الفتحات، وخاصة ارتفاع الحافة العليا من النافذة.

وتتأثر مستويات الإضاءة الطبيعية أيضاً بالانعكاسات عن الأشياء والسطوح المحيطة بالمكان، وخاصة باتجاه مؤخرة الغرفة. فالسطوح اللامعة أو الفاتحة اللون تعكس كمية كبيرة من الضوء، وترفع مستوى الضوء عند سطوح العمل، فيصبح غير مريح. وعلى غرار إمكان توفير تظليل لتخفيف الإبهار المباشر للشمس عند النافذة، فإنه من الممكن استعمال عواكس لتحسين مستويات الضوء الوارد إلى أمكنة العمل في الغرفة.

لقد أصبح الآن التنبُّؤ بمستويات الإضاءة بالضوء الطبيعي ناجحاً جداً. وثمة بيانات عن الظروف الخارجية وحسابات تأخذ في الحسبان شكل النافذة وعمق الغرفة والانعكاسات عن السطوح يمكن استعمالها للتنبُّؤ بمستوى الإضاءة الطبيعية ضمن الغرفة وبوثوقيتها.

الإضاءة الصنعية

من الواضح أن ثمة حاجة إلى إضاءة المبنى صنعياً في الظلام. طبعاً، من المفترض أن ليس ثمة من ضوء يأتي من الخارج، وأن النوافذ غير المغطاة سوف تدع الضوء الداخلي يمر إلى الخارج، ويُصبح الداخل مرئياً لمن هو هناك، وهذا ما يؤثِّر في الأمن والخصوصية. ويزداد الفقد الحراري أيضاً نظراً لانخفاض درجة الحرارة ليلاً. في هذه الظروف، تصبح الستائر، وغيرها من السواتر، جزءاً من تصميم النوافذ.

وعند حلول الظلام، تختفي الإضاءة الطبيعية من داخل المبنى ومن خارجه، وتترتَّب نتيجة لذلك عواقب على مظهره وأمنه. لكن المظهر والأمن يتطلبان نوعين مختلفين ومستويات مختلفة من الإضاءة. ومهما تكن طريقة معالجتهما، فإن ثمة حاجة غالباً إلى منابع لتشغيل الإضاءة الصنعية داخل المبنى وخارجه.

وإذا اعتُبرت مستويات الإضاءة الطبيعية غير كافية في النهار، كانت الإضاءة الصنعية هي الحل للتعويض عن النقص. ويمثِّل ذلك مشكلة في المباني العميقة على وجه الخصوص، حيث يكون وسط المكان بعيداً إلى حد ما عن الجدران

الخارجية. أما في المباني الوحيدة الطابق (أو الطابق العلوي في المباني المتعددة الطوابق)، فيمكن حل تلك المشكلة بنوافذ السقف. وفي المباني المتعددة الطوابق العميقة جداً، يمكن المنابع الضوئية أو الردهات غير المسقوفة أن تجعل الضوء متاحاً لأمكنة بعيدة إلى حد ما من الجدران الخارجية. وفي ظروف أخرى، يجب استعمال الإضاءة الصنعية، برغم أنه تترتَّب على ذلك عواقب من حيث استهلاك الطاقة والتكلفة الجارية طوال مدة حياة المبنى.

وفي كثير من الحالات يقتصر استعمال الإضاءة الصنعية في النهار على الظروف الجوية غير الجيدة. وفي تلك الحالات يمكن استعمال الإضاءة المصممة لأوقات الليل. ومن ناحية أخرى، حتى لو كانت مستويات الإضاءة الطبيعية مُرضِية، فإن بعض الأعمال يستدعي توفير مصادر إضاءة صنعية.

منابع الإضاءة الصنعية والتحكُّم فيها

مصدر الضوء الطبيعي هو الشمس التي يمكن الغيوم أن تحجبها. لذا فإن كمية ضوء الشمس (مستوى السطوع) وجودته (لونه ودفئه) يتغيَّران تبعاً لأوقات النهار والفصول. أما في حالة مصادر الإضاءة الصنعية، فيمكن تحديد عوامل الكمية والجودة. ونظراً إلى ضرورة أخذ استهلاك الطاقة في حالة الإضاءة الصنعية في الحسبان، من الضروري أن يكون من الممكن تحديد استهلاك الطاقة في منابع الضوء المختلفة، لأن ذلك الاستهلاك يختلف كثيراً أيضاً باختلاف المنابع.

وتتفاوت احتياجات الإضاءة الداخلية والخارجية كثيراً، لذا جرى تطوير طيف واسع من المنابع. فيما مضى، كان النفط والغاز هما مصدرا الإضاءة الصنعية، أما اليوم فقد حلت الكهرباء محلهما كلياً تقريباً. وخواص الضوء المتولِّد الأساسية محكومة بالطريقة التي يحصل بها تحويل الطاقة الكهربائية إلى ضوء. وسواء أكان توليد الضوء يحصل بتوهُّج مادة صلبة، مثل التنغستين والهالوجين، في المصابيح الحرارية، أو باستثارة غاز على غرار ما يجري في مصابيح الفلورسنت، فإن عملية التحويل هذه هي التي تحدِّد اللون الأساسي للضوء الناتج ومقدار استهلاك الطاقة في منبع الضوء.

بعدئذ تُمكِن الاستفادة من هذا الضوء على أفضل وجه من خلال تحديد أمكنة وطرائق تثبيت المنابع الضوئية. في ما يخص الأنوار الموجَّهة، فهي تستمد طاقتها ولونها من منبع الضوء، إلا أن توجيهيتها تأتي من طريقة تعليبها وتبئيرها بواسطة عدسات لتقليل تبعثرها، كما في أنوار إضاءة المسارح. ويمكن تلوين

الضوء الأبيض أيضاً باستعمال المرشحات. أما في حالة الإضاءة العامة، فيمكن مصابيح الفلورسنت المركَّبة ضمن علب عاكسة، أو المزوَّدة في واجهاتها بألواح مبعثرة للضوء لجعله متجانساً ومحدود الإبهار والتي تثبَّت في السقف على مسافات منتظمة، أن توفِّر مستوى عاماً من الإضاءة مع بعض التحكُّم في اللون من خلال اختيار المصباح.

ويمكن تحقيق مزيد من التحكُّم في إضاءة الغرف أو الأجنحة المختلفة بإشعال أو إطفاء أنوارها أو تخفيفها بغرض تخفيض مستوى الضوء المشع. ويمكن لهذا التحكُّم في كثير من الحالات أن يكون يدوياً باستعمال قواطع يُشغِّلها القاطنون. أما إذا كان الهدف هو الاقتصاد في استهلاك الطاقة، فيجب النظر في استعمال نوع من الأتمتة. فباستعمال مُحِسَّات حركة لتحديد أماكن القاطنين، يمكن إطفاء الأنوار عندما تكون الغرف شاغرة، وإشعالها ثانية حين عودة الأشخاص إلى الغرفة. وقد يكون من الضروري في هذه الحالة الإبقاء على مستوى منخفض من الإضاءة إذا كان ثمة تهديد للأمن. ويمكن استعمال مُحِسَّات لمستوى الإضاءة لإشعال الأنوار حينما ينخفض مستوى الإضاءة الطبيعية. ومن المفيد أيضاً وضع صفيفة من الأنوار مقابل النوافذ في مؤخرة الغرفة لتعزيز الإضاءة الطبيعية فيها من دون استعمال أنوار بالقرب من النوافذ حيث تكون الإضاءة الطبيعية مُرضِية.

وعلى غرار الضوء الطبيعي، فإن الضوء الصنعي الذي يُستقبَل في نقطة من الغرفة لا يأتي من المنبع فقط، بل من انعكاسات عن سطوح فيها أيضاً. وتعتمد شدة هذه الانعكاسات على قرب السطوح من المنبع، وعلى نعومة تلك السطوح وألوانها أيضاً. ويمكن استعمال ذلك إما لزيادة مستوى الإضاءة (الكمية) أو لتوليد تأثيرات معينة (الجودة) بالتشارك مع المنبع ومع تعليبه وموضع تركيبه.

وقد جرى تطوير بيانات وطرائق تنبُّئية جيدة تخص المنابع الصنعية وتهتم بمستويات السطوع العامة. وثمة أيضاً نماذج تنبُّؤ وبيانات عن السطوح العاكسة ومعلومات من مصنِّعي المنابع والمشعات الضوئية موثوقة ومتاحة مجاناً. حتى إن التنبُّؤ بانخفاض الكفاءة مع الزمن واستهلاك الطاقة والحرارة المتولِّدة ممكن باستعمال البيانات المتوافرة. أما إضاءة واجهات المباني التزيينية والإضاءة المزاجية والتأثيرية فهي أقل قابلية للحساب وتحتاج إلى شيء من الخيال، مع أن بعض الحسابات والنمذجة الحاسوبية يمكن أن تعطي فكرة عن التأثيرات النسبية، خاصة من حيث قوة الأضواء والظلال وترجمتها لتكوين مفاعيل مثيرة.

البيئة الصوتية

يمكن اعتبار الصوت ضجيجاً مرغوباً فيه أو غير مرغوب فيه. ويمكن الصوت المرغوب فيه أن يتحسَّن أو يتدهور بسبب بنية المبنى الإنشائية، خاصة بسبب إنهاءات وشكل الغرفة التي يوجد المستمع فيها. أما أكثر الأصوات رغبة فيها ضمن المكان الذي يشغله المستمع فهي أصوات الكلام والموسيقى. ويأتي بعض الأصوات المرغوب فيها من خارج الغرفة أيضاً. وغالباً ليس من الضروري إلغاء الأصوات القادمة من البيئة الطبيعية كلياً لأنها تولِّد إحساساً بالعالم الخارجي الواسع، وحتى بالبهجة. وعلى غرار مشهد الضوء الطبيعي الوارد من النافذة وجودته المتغيرة، فإن الأصوات تلغي الإحساس بالعزلة غير المقبولة نفسياً. ويكيِّف الضجيج المحيطي الخارجي الضعيف الأذن بحيث تلتقط الضجيج الضعيف الذي يصبح ملحوظاً [إذا فاق الضجيج العادي]. وانعدام الأصوات الخارجية يمكن أن يكون مقلقاً أيضاً، لأن الأصوات تمثِّل إنذارت من وجود مهدِّدات. ويُعزَّز الآن كشف المهدِّدات الطبيعية في المباني الحديثة بعدد من منظومات الإنذار التي توضع ضمن المبنى، ومن الضروري أن يتمكَّن جميع القاطنين من سماعها. إن إنذارات الحريق والتحذير من التسلل شائعة، ويجب أن تكون مسموعة في جميع أجزاء المبنى وقتَ عملها.

إلا أن ثمة عدداً متزايداً من الأصوات غير المرغوب فيها أيضاً. وهي تُصنَّف على أنها ملوِّثات، لذا ثمة اهتمام بتخفيضها عند منابعها، ومع ذلك يتبقى بعض الضجيج الشديد الذي يجب إلغاؤه من خلال الاختيار المتأني لمواد وإنهاءات المبنى.

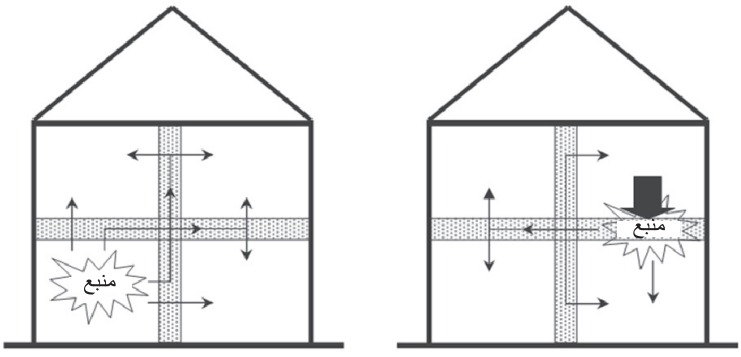
خصائص الصوت

يتصف الصوت بخاصيتين تميِّزهما الأذن هما التردد (النغمة) والشدة. يحدِّد التردد مدى ارتفاع نغمة الصوت التي نتحسَّسها وانخفاضها. وإذا كانت عالية أو منخفضة جداً، كانت غير مسموعة من قبل البشر، مع أن بعض الحيوانات يمكن أن تسمع الترددات العالية، ويمكن بعض الأصوات المنخفضة التردد أن تؤثِّر في أعضاء أخرى غير الأذن من أعضاء جسم الإنسان مسببة إزعاجاً له، إلا أن هذه الأصوات نادرة جداً. ويمكن تشكيلات من الأصوات أن تكون توافقية على غرار الموسيقا، أو أن تحمل معلومات على غرار الكلام. وتسمى مجموعات الترددات

التي ليست توافقية أو لا تحمل معلومات ضجيجاً، وفي حين أنها يمكن أن تكون مفيدة بوصفها إشارات إنذار، فإنها غير مرغوب فيها عموماً.

أما شدة الصوت فتعبِّر عن قوته. ونظراً إلى أن الصوت يحمل طاقة، فإنه يمتلك المقدرة على إحداث ألم إذا حرَّض حركة مفرطة في آلية السمع في الأذن. ومن ناحية أخرى، يمكن الضجيج الخافت أن يكون مزعجاً، لأن من المحبط أن تظن أنه يحمل معلومات في حين أنك لا تستطيع فهمها، أو أن يكون مستمراً ويبدأ بالتسرب إلى وعيك.

وتصل جميع الأصوات، المرغوب وغير المرغوب فيها، إلى الأذن عبر اهتزازات تحصل في الهواء. ويمكن الاهتزازات الصوتية في الهواء أن تنتقل عبر البنى الإنشائية، لذا فإن وضع عوائق يمكن أن يخفِّف من الضجيج دون أن يلغيه. يُضاف إلى ذلك أن أصوات الصدمات التي تتولَّد من الطرق على البنية الإنشائية نفسها، ومن أمثلتها نقرات المشي على الأرضيات، تولِّد أصواتاً ليس ضمن الغرفة فقط، بل إنها تنتقل إلى أمكنة أخرى من خلال الاتصال المباشر للبنى الإنشائية في المبنى. ويحصل التفاف الصوت حول الجدران والأرضيات بين المنبع والمستمع بواسطة المسارات الجانبية. يُري الشكل 14.10 منابع الضجيج تلك ومسارات انتقاله. يُضاف إلى ذلك أن مَرافق الخدمات والصيانة الميكانيكية يمكن أن تولِّد ضجيجاً، ويمكن هذا الضجيجَ أن يدخل المبنى عبر مجاري الخدمات ومنظومات الأنابيب المختلفة.



(أ) مسارات صوت هوائية (ب) مسارات أصوات الصدمات

الشكل 14.10 منابع الأصوات ومسارات انتشارها.

الأصوات المتولِّدة ضمن المبنى

ينطلق الصوت من المنبع ويتعرض في أثناء انتشاره إلى تخامد طبيعي في طاقته مع ابتعاده من المنبع. وإذا كان ثمة خط مستقيم بين المنبع والمستمع، استقبل المستمع الصوت مباشرة. ويتابع الصوت انتشاره في الهواء ضمن الغرفة مصطدماً بأجسام مختلفة، ومنها الأرضية والجدران والسقف التي تتكوَّن منها الغرفة. ويعبر الصوت الذي يصل إلى الأرضية والجدران والسقف الفتحات الموجودة فيها. ويُمتص الصوت الذي يصطدم بالأشياء الموجودة في الغرفة جزئياً، وينعكس جزئياً أيضاً، تبعاً لطبيعة تلك الأشياء. ويعود مكون الصوت المنعكس إلى جو الغرفة حيث يمكن أن يُستقبل بطاقة أقل، ويكون متأخراً نسبياً عن الصوت الصادر عن المنبع مباشرة. ويستمر المستمع بسماع الانعكاسات إلى أن تصبح ضعيفة جداً. لذا فإن جودة الصوت تعتمد كثيراً على الخواص الصوتية (مثل الامتصاص والانعكاس) للأشياء الموجودة في الغرفة وعلى طبيعتها. ونظراً إلى أن الصوت يفقد طاقته مع ازدياد المسافة التي يقطعها، وإلى أنه يستغرق وقتاً في عودته بعد انعكاسه، فإن شكل الغرفة وحجمها على درجة من الأهمية للأصداء أيضاً. تُعرَف المدة التي تنقضي حتى تتخامد الأصداء الصوتية المختلفة وتصبح غير مسموعة بمدة رجوع الصدى. وفي الغرف الكبيرة ذات السطوح العاكسة للصوت تزداد مدة رجوع الصدى.

وفي ما يخص الكلام والموسيقى، من المهم جداً أن يكون الجو المحيط هادئاً، مع قليل من الضجيج، أو لا شيء منه، من الخارج أو الداخل. وفي الحالتين من الضروري وجود مسارات جيدة مباشرة بين المنبع والمستمع. لكن المتطلبات الخاصة بالانعكاسات ومدد رجوع الصدى في حالة الكلام تختلف كثيراً عن تلك الخاصة بالموسيقى. ففي حالة الكلام، يُعزِّز الانعكاس القوي المبكِّر الصوت، أما الانعكاسات المتأخرة فتؤدي إلى تداخلات تُسيء إلى وضوح الأصوات المختلفة. لذا يجب ألا تزيد مدة رجوع الصدى على جزء من عشرين جزءاً من الثانية. أما في حالة الموسيقى، فإن الانعكاسات المتأخرة هي التي تحسِّن الصوت بغمرها للمستمع في الحقل الصوتي. ومدة رجوع الصدى المفضلة في هذه الحالة تساوي ما بين ثانية واحدة وثانيتين. ويقتضي هذا الغمر أيضاً أن تكون للغرفة مقاسات معينة للحفاظ على تخامد سلس مطوَّل للصوت.

وثمة ظاهرة أخرى يمكن أن تحصل حين وجود صوت مستمر يحتوي على

تردد أساسي منخفض متوافق مع أبعاد الغرفة. وتنشأ هذه الظاهرة على الأرجح من اهتزازات تحصل خارج الغرفة، وسوف ننظر فيها لاحقاً، إلا أن السمة المميِّزة لها ذات صلة بالغرفة نفسها. إذا كان مقاس الغرفة تابعاً لتردد (أو لطول موجة) الصوت، أمكن حصول ما يُعرَف بالموجات الواقفة (standing waves) التي تعزِّز ذلك التردد.

ومن الواضح أن المفعول الرئيسي للمبنى في جودة خصائص الغرفة الصوتية على صلة بالامتصاص والانعكاس اللذين يحصلان بسبب إنهاءات الغرفة والأشياء الموجودة فيها، ومنها المستمع نفسه. وبوجه عام، تتصف السطوح الصلبة المستوية بعاكسية شديدة للصوت. ومع تحوُّل السطح تدريجيا إلى طري مع مزيد من الخشونة، يزداد الامتصاص، لأن السطوح الطرية والمتشققة تمتص الصوت، ولأن طاقة الهواء المهتز تتبدَّد ضمن فجوات السطح غير المنتظم.

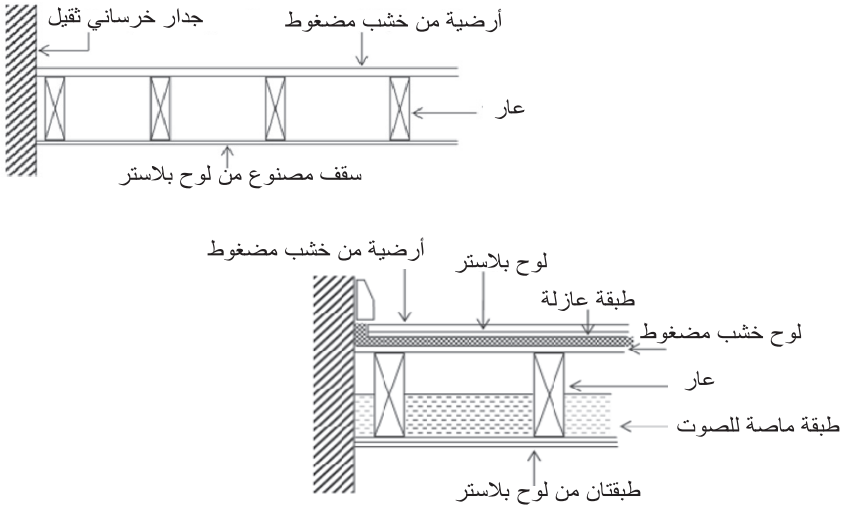
الصوت الوارد من الخارج في الهواء

ليست الأصوات الخارجية مرغوباً فيها عموماً، لكن وفقاً لما أوردناه من قبل، يمكن العزل الصوتي التام ألاّ يكون مقبولاً. إذا كان منبع الصوت في الهواء الطلق، فإن انتشار الصوت منه سوف يتغيَّر بفعل الريح والاضطرابات الجوية الأخرى، وهذا ما لا يحصل للصوت المتولِّد داخل غرفة أخرى. لكنْ هنا أيضاً يتأثَّر الصوت بالأشياء التي يصطدم بها فيُمتص أو ينعكس، إلا أنه في لحظة ما يصطدم بالعناصر الإنشائية، مثل الجدران والأرضيات.

لا تغيِّر الفتحات الموجودة في البنية الإنشائية نغمة الصوت الذي يدخل الغرفة أو يخرج منها. لكن من الضروري الانتباه إلى أهمية مقاسات الفتحات في نقل الصوت. فالفتحات الصغيرة ذات مفعول كبير من حيث تخفيضها لأداء العوائق الصوتية مهما كانت جيدة التصميم.

تُعتبر جدران وأرضيات المبنى عوائق صوتية، فهي تخفِّض شدة الصوت، لكن ليس بالتساوي لجميع الترددات. ويتصف مفعول البنية الإنشائية في خفض مستوى الضجيج بأنه مزدوج الجوانب: فهو يخمد الاهتزازات بسبب كتلة البنية في المقام الرئيسي، ويلغيها إذا كانت ثمة انقطاعات في البنية (طبقات من مواد مقاومة للصوت أو فجوات). لذا فإن الأداء الكلي لجدار أو أرضية أو سقف في تخميد الأصوات يعتمد على الفتحات والانقطاعات الموجودة فيها، وعلى كتلها وخواص

المواد الماصة للصوت في فجواتها. وينتشر الصوت في عمق المبنى أيضاً بواسطة عناصر أخرى مرتبطة بالعائق الأصلي عبر مسارات التفافية، وهذا ما يجعل إنهاء الحواف على درجة من الأهمية. يظهر الشكل 15.10 تفاصيل عزل صوتي يمكن استعمالها في أرضية خشبية محمولة على عارضة ثانوية، وتتَّضح فيه كيفية مكاملة الكتلة والانقطاعات والفجوات وإنهاءات الحواف في أرضية إنشائية أساسية.



الشكل 15.10 أرضية محمولة على عارضة خشبية مع عزل صوتي.

ويجب إيلاء أداء الفجوات عناية كافية. فإذا كان عرض الفجوة صغيراً جداً، كان مفعولها في تخميد الصوت قليلاً لأن الطاقة الصوتية تنتقل عبرها مباشرة. ويُعرف هذا بالإقران الصوتي (acoustic coupling)، وهو يحصل في النوافذ ذات ألواح الزجاج المزدوجة المعيارية عندما يكون عرض الفجوة بين لوحي الزجاج صغيراً. لذا يكون مفعول العزل الصوتي ناجماً كلياً تقريباً عن الكتلة الإضافية الخاصة باللوح الزجاجي الثاني. لكي تكون الفجوة بين لوحي الزجاج فعالة في العزل الصوتي يجب أن تصل إلى 200 مم أو أكثر.

ويحصل التخميد الأساسي لشدة الصوت في البنية الإنشائية للأرضية والجدران، لكن تخميد الصوت الفعلي يمكن أن يكون أقل عندما يكون المبنى في قيد الاستعمال، وذلك بسبب وجود الحواف والمسارات الالتفافية. يمكن قياس مقدار تخميد الصوت في مُحاكٍ للمبنى المقترح في المخبر لتحديد مؤشر التخميد

الصوتي R_w (sound reduction index) ضمن المجال الترددي من 30 حتى 315 هرتس عادة. إن التخميد بمقدار 40 db (40 ديسيبل ((decibel (db)) يجعل الكلام العالي الشدة غير مسموع. وهذه قيمة تساعد على وضع المواصفات، إلا أن القيم المخبرية قد لا تتحقَّق حين إشادة البنية النهائية في الموقع، وذلك بسبب تفاصيل العزل الصوتي والتغيُّرات الناجمة عن عمليات الموقع. من ناحية أخرى، من الممكن قياس الأداء في الموقع، وحينئذ يُستعمل مؤشر التخميد الصوتي R'_w.

الصوت الناجم عن الطَّرْق على البنية الإنشائية أو عن خدمات المبنى

يتولَّد الصوت أيضاً من حدوث اهتزازات في البنية نفسها. وتكون هذه الاهتزازات أقوى كثيراً من تلك الناجمة عن الأصوات المنتشرة في الهواء التي تصل إلى البنية الإنشائية للمبنى. وهنا تكون المسارات الالتفافية الناجمة عن استمرارية وصلات عناصر البنية على درجة من الأهمية، لأنه إذا استطاعت الاهتزازات عبور الوصلات الموجودة بين العناصر والمثبتات، تغلغل الضجيج عميقاً في المبنى. ومرة أخرى تؤدي الكتلة هنا دورها في تخميد الصوت، إلا أن جساءة المكوِّنات وتردد طنينها الصوتي الطبيعي المتوافق مع تردد الضجيج يمكن أن يؤثِّرا في ذلك الدور. ومن ناحية أخرى، تتصف الانقطاعات في البنية ومفاعيل الحواف بالكفاءة الجيدة في الحد من انتشار تلك الأصوات.

ويولِّد الطرق على السطوح الصلبة أصواتاً قوية، ليس ضمن الغرفة فقط، بل إنه يولد اهتزازات في البنية الإنشائية كلها أيضاً. أما السطوح اللينة فتخمِّد الصدمة الأصلية وتمتص الأصوات الناتجة عنها قبل انتقالها إلى الهواء.

وثمة مشكلات تنجم عن مضخات ومراوح الخدمات. فدورانها المستمر يولِّد ضجيجاً. ويمكن الحركة الدورانية أيضاً أن تُحدِث اهتزازات مستمرة في البنية الإنشائية الحاملة للمضخة أو المروحة، أو في الأنابيب والمجاري المتصلة بها. لذا يجب استعمال كواتم وعوازل صوتية لتثبيت المضخات والمراوح ولوصلها مع منظومة التوزيع.

طرائق التنبؤ بالبيئة الصوتية

ثمة تعاريف راسخة جداً للبيئة الصوتية المريحة تخص طيفاً واسعاً من الأنشطة، منها الأمكنة ذات المتطلبات الصوتية العامة والخاصة (المكاتب وقاعات

عزف الموسيقى مثلاً). وثمة مقدار هائل من القياسات التجريبية لخصائص المواد الشائعة الاستعمال في البناء، وحسابات تنبُّؤ نظرية يمكن أن تَستعمل تلك القياسات للتنبُّؤ بالأداء الصوتي في مجال واسع من الظروف. ويمكن استعمال النمذجة، التي كانت سابقاً تعتمد على صنع نماذج مادية، ثم أصبحت الآن حاسوبية، لتصميم أمكنة معينة.

ولكي يكون من الممكن تنفيذ نتائج التنبُّؤ، تجب العناية بتفاصيل التصميم وبمرحلة الإنتاج. ويُعتبر تحديد الانقطاعات وفجوات العزل الصوتي، وعلى وجه الخصوص تثبيت حواف العناصر الإنشائية، على درجة عالية من الأهمية. وفي أثناء تنفيذ الأعمال في الموقع، يجب إيلاء اهتمام خاص للمثبتات وإنهاءات الحواف. ويمكن الفجوات الموجودة عند الوصلات، وجسائة الوصلات أن تكونا حاسمتين في تحقيق العزل الصوتي الجيد.

البيئة النظيفة

على غرار كل جوانب الأداء البيئي الأخرى، من الضروري معرفة أنواع الأنشطة التي سوف تُقام في كل جزء من المبنى. ويجب تعريف معايير النظافة المقبولة التي على القاطنين التقيُّد بها، ويجب فعل الشيء نفسه بالنسبة إلى المواد والتجهيزات التي سوف توضع ضمن المبنى. ومن أجل جميع هذه الأمور، يجب تعريف النظافة وفقاً لمجموعتين متكاملتين من المعايير: تلك التي تخص الإضرار بالصحة، وتلك المتعلقة بمتطلبات وظروف تشغيلية يمكن أن تُعتبر غير مقبولة اجتماعياً.

ويمكن بعض جوانب البيئة التي يهتم بها معيار النظافة الاجتماعي ألاّ يكون ضاراً بالصحة أو بكفاءة تشغيل الآلات، إلا أنه يُسهم في الصحة الاجتماعية والنفسية لقاطني المبنى. لذا فإن التمييز بين صحة القاطنين وكفاءة تشغيل الآلات والتجهيزات هام أيضاً. ويجب تحديد معايير النظافة من حيث العادات الصحية ومن حيث القضاء على العوامل المُمْرِضة والضارة بالصحة. ويجب تعريفها أيضاً بالنسبة إلى المواد المخزونة والتجهيزات العاملة في المبنى. وقد يكون الغبار والتراب غير ضارين بالصحة، لكنهما قد يتداخلان مع عمل التجهيزات.

الطريقة الثانية للنظر في النظافة هي تصنيف المكوِّنات البيئية غير المرغوب فيها: مادية أو حيوية أو كيميائية. وتقترن كلمة النظافة غالباً بانعدام وجود الغبار

والأتربة. وتتصف هذه الجسيمات بمقاسات وتراكيب مختلفة، ويمكن أن تكون مواد معدنية خاملة، ويمكن أيضاً أن تحتوي على مواد من منشأ حيوي (خلايا جلدية ميتة مثلاً). كما يمكن أن تكون قابلة للتفاعل الكيميائي إذا كانت مترافقة مع نفايات صناعية. وتتموضع الجسيمات غالباً على السطوح، إلا أنها يمكن أن تكون معلَّقة في الهواء. وقد يحمل الهواء أيضاً مكوِّنات أخرى غير مرغوب فيها، إذ يمكن الغازات والروائح أن تمتزجا بالهواء. ويمكن مصدر الغازات والروائح أن يكون طبيعياً أو صنعياً. وفي حين أن بعضها يمكن أن يهدِّد الحياة، فإن بعضها الآخر يمثِّل مجرد إزعاج. وتتصف بعض الغازات، ومنها أول أكسيد الكربون الناتج من حرَّاقات عاطلة أو من حرق وقود أحفوري، بمفعول مميت مباشر، في حين أن مفاعيل غاز الرادون الطبيعي الذي ينطلق من الأرض في بعض الظروف لا تظهر إلا بعد كثير من السنين. والغازات الأخرى، مثل الميثان وثاني أكسيد الكربون اللذين يَنتُجان من عمليات التفكُّك الحيوي في الأرض والمِكبَّات وبعض الصناعات، لا يمثِّلان مجرد تهديد للصحة فقط، بل ينطويان أيضاً على إمكان الانفجار. وفضلاً عن الجسيمات والغازات والروائح، توجد الآن في المحيط مقادير ملحوظة من السيالة الكهرمغنطيسية التي لا يزال مفعولها البعيد الأجل في قيد الاستقصاء.

ومن الواضح أن السطوح والهواء يمثِّلان مصدرين كبيرين للقلق من حيث نظافة البيئة. والماء يجب أن يكون نظيفاً أيضاً. فما إنْ يدخل المبنى بجودة مناسبة، حتى يحتل درء تلوُّثه موقع الأفضلية في تصميم منظومات توزيع الماء.

ويجب فحص السطوح والهواء والماء دائماً، لأن القاطنين والآلات على تماس دائم معها. وهناك إمكانية ضمن المبنى، أو في الأمكنة غير المستعملة أو النادرة الاستعمال، لتعشيش الحشرات والطيور واتخاذ بعض الحيوانات الطفيلية أوكاراً لها. فالتشققات ذات المقاسات المختلفة في البنية الإنشائية، والشرفات والعلِّيات في المبنى، يمكن أن توفِّر أوكاراً وأعشاشاً للحشرات والحيوانات الطفيلية، وللنباتات. وعلى غرار تلك الحيوانات، يمكن الجراثيمَ أن تتكاثر في بعض الأمكنة أيضاً. أما الطفيليات النباتية فهي على الأغلب عفن وفطريات، وهي كائنات لا تحتاج غالباً إلى الضوء لتكاثرها.

ليست الحشرات والحيوانات التي من هذا النوع غير مرحب بها من الناحية الصحية فحسب، بل إنها يمكن أن تكون ضارة بالبنية الإنشائية نفسها أيضاً. ولذا

فإن مكافحة التعشيش والتوكير هامة للحفاظ على المبنى، وعلى بيئة نظيفة أيضاً للقاطنين وللأنشطة التي تحصل فيه.

لذا يجب القيام بتحليل لهواء المبنى ولسطوح البنية الإنشائية المرئية والموجودة على تماس مع الأنشطة الجارية في المبنى، ولإمكانات التعشيش والتوكير في الأمكنة غير المستعملة منه.

الهواء النظيف

من المعروف منذ القدم أن الجسيمات الموجودة في الهواء، وخاصة الدخان، تؤدي إلى حدوث أمراض تنفسية، إضافة إلى توسيخها للسطوح والملابس والجلد وغيرها. ومن المعروف أيضاً أن رطوبة الهواء غير مرغوب فيها، وأنه يجب الحدُّ منها. ويحمل الهواء بعض الأمراض، لكنها لا تمثِّل مشكلة بالقدر الذي كانت تقول به التنبُّؤات الطبية القديمة. وغالباً ما تكون تلك الأمراض محمولة على قطيرات ماء معلقة في الهواء وتدخل الرئتين في أثناء التنفس. والروائح هي مكوِّن آخر من مكوِّنات الهواء، وإذا تُرِكت تتراكم، أصبحت كريهة مع أنها لا تمثِّل تهديداً فعلياً للحياة. وقد أصبح من المعروف الآن أن مستويات منخفضة جداً من التراكيز الكيميائية والأيونية [الإشعاعية] في الهواء يمكن أن تكون ضارة بالصحة على المدى الطويل، أو لها مفعول منخفض المستوى في إضعاف الجسم. ليست المضامين الكاملة لكثير من تلك الأمور مفهومة تماماً حتى الآن، ولذا لم تُحدَّد مستوياتها الآمنة. لكن من الواضح أنه عندما ننظِّف بيئتنا فإننا نحسِّن صحتنا، إلا أننا نصبح عندئذ سريعي التأثُّر بمكوِّنات بيئية أخرى تؤدي إلى ظهور أنماط أخرى من المهدِّدات الصحية.

وقد ظهرت الحاجة إلى مستويات جديدة من النظافة أيضاً في المباني التي تحصل فيها أنشطة صناعية. وأوضح مثال على ذلك هي صناعة الإلكترونيات التي تتطلَّب بعض عملياتها أمكنة شديدة النظافة تسمى بالغرف النظيفة (clean room).

تحصل المحافظة على نقاء الهواء من خلال التهوية في المقام الأول. فمعظم المكوِّنات الضارة التي يحملها الهواء تتولَّد ضمن المبنى نفسه، وعملية التهوية هي طرد الهواء الفاسد والاستعاضة عنه بهواء نقي من الخارج. لكن الهواء الخارجي آخذ أيضاً بالتلوُّث على نحو متزايد، ولذا يجب إجراء بعض المعالجة إما للهواء الداخلي الفاسد أو للهواء الخارجي الداخل إلى المبنى. وهذا ما يُعرف عادة

بالترشيح الذي يتضمن عمليات متنوعة للتنظيف الفيزيائي والكيميائي، وحتى الحيوي.

لقد أتينا سابقاً في هذا الفصل على وصف عملية التهوية بنوعيها، الطبيعية والصنعية. إن ضرورة وجود فرق ضغط جوي وفتحات لتحريك الهواء في الحالتين هي نفسها، إلا أن معدَّلي التهوية يمكن أن يكونا مختلفين على نحو ملحوظ. ومن الضروري في أثناء تصميم عملية التهوية تحديد أنواع الملوِّثات والمعدَّلات التي تتراكم بها وعتبات مستوياتها التي يُعتبر الهواء عندها غير نقي. وعلى غرار جميع أوجه البيئة النظيفة، فإن المستوى الذي يُحدِّد صفة النظافة ليس مطلقاً. ثمة مستويات أو عتبات مقبولة للملوِّثات، لكن كثيراً منها غير قابل للكشف بالبصر أو الشم ويتطلب مراقبة بطرائق أخرى. وفي كثير من الحالات، تبقى الطرائق الشائعة لقيام القاطنين بفتح النوافذ لتبديل الهواء هي السائدة. أما الملوِّثات مثل غاز الرادون العديمة الطعم والرائحة، فيجب أن تُكشف بوسائل أخرى. ونظراً إلى أن الرادون غاز ينطلق من الأرض، فإن درء انطلاقه يتطلب طبقات مانعة للغاز مماثلة لطبقات منع الرطوبة التي ناقشناها سابقاً في هذا الفصل.

السطوح القابلة للتنظيف

لا تنص المواصفات على أن السطوح يجب أن تكون نظيفة، لأن جميع المواد الجديدة نظيفة. بل إن المطلوب هو أن تكون قابلة للتنظيف. وهذا يقتضي معرفة بطبيعة الملوِّثات وبالوسائل التي سوف تنظِّفها أيضاً. على سبيل المثال، يمكن القول بأن الاستعمال الواسع النطاق للسجاد المثبَّت على الأرضية قد اعتمد على اختراع المكنسة الكهربائية وعلى سعرها المقبول لدى المستعملين.

وبمقارنة تكلفة السطح الأصلية حين إنشائه بتكاليف تنظيفه طوال مدة حياته، فإن المرجَّح هو أن تكون تكاليف التنظيف أكبر من تكلفة الإنشاء. وفي الحالات المنزلية، يمكن اعتبار تقليص مدة التنظيف نوعاً من الرفاهية، وهذا ما ينعكس حتماً تكلفة إضافية من الناحية الاقتصادية.

وتعتمد طريقة التنظيف على نوع الملوِّث. ومن الممكن أن تكون بعض مواد التنظيف مؤذية لبعض المواد التي يجري تنظيفها، ولذا يجب استبعادها من أي لائحة مواصفات محتملة. ويقوم معظم أعمال التنظيف ذات الصلة بالجوانب الصحية على الماء، لذا يجب استعمال سطوح كتيمة للماء. وتتدنَّى مواصفات

السطوح إذا لم يكن بالإمكان تنظيفها بالطريقة المحدَّدة لها، أما التقصير في التنظيف فلا ينطوي على تدنٍّ للمواصفات.

الحياة الطفيلية

يتصف كثير من الحشرات والحيوانات والنباتات الطفيلية التي تعشِّش في المباني بأنها مزعجة أكثر منها ضارة بالصحة. ويحصل التعشيش حيثما تتكاثر الحياة النباتية أو الحيوانية الطفيلية وتعيش ضمن البنية الإنشائية أو ضمن الفراغات التي تحصل في الإنهاءات أو بين الأثاث والأشياء المخزونة، وخاصة الأغذية. ويختلف مقدار تفشي الحياة الطفيلية وأحجام الحيوانات كثيراً، وتختلف أيضاً تعاريف ما هو غير مقبول. وفي العالم المتقدِّم عموماً، لا يُسمح إلا بمستويات منخفضة جداً من الحياة الطفيلية. وتسعى مواصفات البناء إلى استبعاد الحيوانات الكبيرة، مثل الطيور والفئران والجرذان ومعظم أنواع الحشرات. ومع ذلك فإن وجود بعض أنواع الحياة الطفيلية في المبنى أمر لا مناص منه، فما هو مأوى لنا هو مأوى لكثير من أنواع الحياة الأخرى ما لم تؤدِّ مواد المبنى وإنهاءاته إلى استبعادها.

وأول خط دفاع تجاه الحيوانات (ومنها الحشرات) هو التخلص من تلك البالغة منها. ومع أن هذا ممكن مع الحيوانات والحشرات الكبيرة، إلا أنه بالغ الصعوبة مع الحشرات الصغيرة والجراثيم. وفي حالة الحياة النباتية، ما يجب استبعاده هو البذور والأبواغ، وقد يكون هذا شديد الصعوبة أيضاً. لذا يجب أن تُبنى وتُنهى الفتحات التي تؤدي إلى فجوات داخلية جافة بعناية لضمان أبعاد أصغرية لا تتسع للحيوانات الناضجة. وتجب حماية الفتحات الكبيرة بمناخل لدرء نشوء الحياة الطفيلية فيها.

وإذا كان الاستبعاد ليس ممكناً، فإن مفتاح منع ظهور الحياة الطفيلية هو فهم دورة حياة الطفيلي والظروف الضرورية لكل مرحلة من مراحل حياته. يمكن استبعاد مصادر الغذاء أن يمنع بعض الحياة الطفيلية، إلا أن ما هو كافٍ لمعظم الطفيليات هو المأوى والحماية اللذين يمكِّنانها من التكاثر وبناء الأوكار، وهذا ما يوفِّره المبنى. فإذا كان من الصعب الحد من الظروف الملائمة للطفيليات، كان من الضروري إيجاد ظروف ضارة بصحتها. وبرغم أن هذا يمكن أن يكون جزءاً من مواصفات البناء، على غرار المواد الحافظة للخشب، فإن الأرجح هو أن يقوم القاطنون بمكافحتها في أثناء إشغالهم للمباني.

نظرنا حتى الآن في الحياة الطفيلية وطرائق مكافحتها. وفي بعض الحالات، من الضروري طرد الحشرات الطائرة البالغة من الغرف نفسها، لا لأنها يمكن أن تكون مزعجة فقط، بل لأنها يمكن أن تحمل أمراضاً أو يمكن أن تؤدي إلى أذية جسدية مباشرة. لذا ثمة حاجة إلى إجراءات مشابهة لما سبق، برغم أن ذلك قد يخالف متطلبات التهوية.

ثمة معرفة جيدة بالحيوانات والنباتات التي يمكن أن تسعى إلى إيجاد مآوٍ لها ضمن مبانينا، وكثير من الإنهاءات الشائعة تأخذ منع تعشيشها في الحسبان. إلا أننا يجب أن نحترس من أن الإنهاءات السيئة أو البنى السيئة يمكن أن تشجِّع تكوين مستعمرات للطفيليات.

البيئة الآمنة

تنشأ الحاجة إلى الأمان من تصور ما هو الخطر. لذا فإن فهم طبيعة المهدِّد يحدِّد مواصفات المبنى وطبيعة إخفاقه في درء الخطر، ومن ثَمَّ يمكِّن من اختيار أفضل المواد لدرئه. ويمكن المخاطر أن تأتي من الكوارث الطبيعية أو الحريق، أو من المجتمع نفسه، وحينئذ تكون مقترنة بمسألة الأمن.

المخاطر الطبيعية

ناقشنا كثيراً من المخاطر الطبيعية في مواضع أخرى من هذا الكتاب. فمثلاً، نوقشت الحياة الطفيلية وغازات المِكبَّات، مثل الميثان، في المقطع الخاص بالبيئة النظيفة. وقد اعتُبرت مهدِّداً مباشراً للصحة بدلاً من أن تكون مهدِّداً للأمان، برغم أن بعض إجراءات الأمان تُصمَّم لدرء الإضرار بالصحة. وهذا التمييز موضع جدل، إلا أننا اخترنا في هذا الكتاب مناقشة قضايا الصحة مع المتطلبات العامة للبيئة النظيفة. وبقطع النظر عن كيفية القيام بالتمييز، فإن اختيار المواد والإنهاءات هو نفسه في الحالتين، وقد نوقش ذلك في المقطع السابق، ولذا لن نذكره هنا ثانية.

أما المخاطر الطبيعية التي لم تُناقَش بعد فتنجم عما يسمى بالقضاء والقدر. وهي تتضمن الظروف المناخية المتطرفة، مثل الرياح الشديدة والثلوج الكثيفة، والأحداث الطبيعية الأخرى، مثل الزلازل. وتؤثِّر هذه المهدِّدات في أداء المبنى من حيث استقراره ومتانته. لذا يجب أن تتحمَّل بنية المبنى الإنشائية القوى الناجمة عن تلك المهدِّدات من دون أن تنهار. وقد أصبحت الآن عمليات التحليل الإنشائي والتصميم راسخة تماماً، برغم أن طبيعة تلك القوى غالباً ما تكون معقدة ومتغيرة.

يعني كون تلك القوى الطبيعية متغيرة أنه يجب إجراء الحسابات الخاصة بمواجهة البنية الإنشائية لها بعناية فائقة، وهذا مفصل في الفصل 11.

ومن الحالات المناخية المتطرفة الطوفان. والخطوات العملية التي يمكن اتخاذها لدرء انغمار المبنى بالماء محدودة، إلا أنه يمكن مشاريع البنية التحتية في المناطق الساحلية وضفاف الأنهار التي تقيم حواجز عند الأمكنة المنخفضة أن تحد من هذا الخطر. وغالباً ما يكون الموقع والاختيار الأولي لمستويات ارتفاعه هو أكثر الإجراءات فاعلية في مواجهة هذا المهدِّد.

مخاطر الحريق

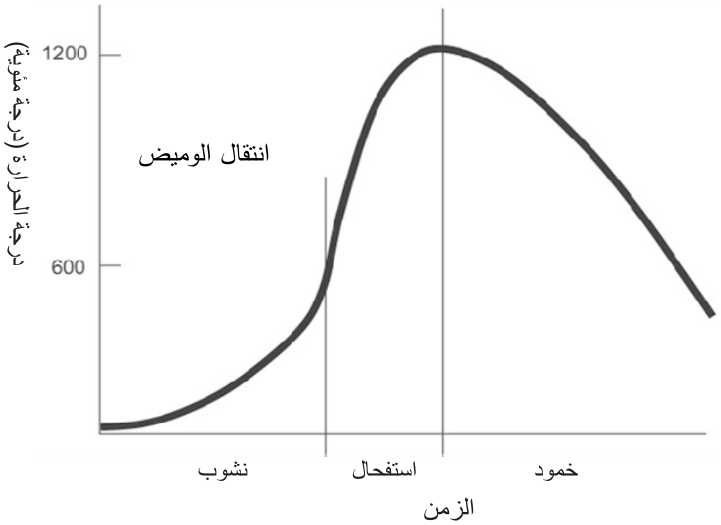
يُعتبر الحريق مهدِّداً طبيعياً، لكن احتمال حدوثه في البيئة المبنية أعلى منه في البيئة الطبيعية. وتنجم معظم الحرائق في المباني عن أنشطة تحصل ضمنها أو عن عطل في الخدمات، وخاصة الكهربائية. وقد تحصل أيضاً نتيجة لأعمال عدوانية. لكنْ مهما كانت طريقة ابتدائها، فإن منعها يُعتبر مسألة أمان كبرى في البيئة المبنية، وتحليلها مهم للمبنى ككل، لأنها تؤثِّر في كثير من سماته. وثمة الآن كثير من التشريعات الخاصة بتصميم الحماية من الحريق، وهي تعكس مدى الشعور بخطورته في المباني الحديثة. إن النار مهدِّد كبير للحياة، إضافة إلى عواقبها المالية التي تتجلى في تدمير الأملاك، ولذا يجب أن يأخذ التصميم كلا الأمرين في الحسبان.

ويوضع حالياً كثير من متطلبات ومواصفات البناء وفقاً لتعليمات معتمدة ومقاييس وتشريعات رسمية. لكن تطبيق تلك القواعد الممعيرة على أفكار التصميم الجديدة أمر صعب، ولذا لا بد من العودة إلى نهج التصميم الهندسي. وهذا ينطبق دائماً على الحرائق بسبب طبيعتها المعقدة، برغم أن النمذجة الحاسوبية يمكن أن تساعد على تقييم الحلول المقترحة لها.

وسواء جرى التصميم باستعمال مقاييس منشورة أو باستعمال تقنيات هندسة الحرائق، ثمة حاجة إلى فهم تطوُّر الحريق في المبنى بغرض القيام باختيارات مبنية على المعرفة.

وعلى غرار أي تصميم بيئي، من الضروري أولاً معرفة الظروف التي سوف يعمل المبنى ضمنها. يبيِّن الشكل 16.10 تطوُّر الحريق في حيِّز مغلق حيث يحصل وفقاً لأنماط محدَّدة تماماً.

كي يحصل الحريق يجب أن تكون ثمة مادة قابلة للاشتعال (وقود) وأكسجين ومصدر إشعال. والحريق ضمن مبنى هو فعلاً سلسلة من الحرائق تنطلق في أوقات مختلفة في كل غرفة، وكل منها يتبع منحى التطور المبيَّن بواسطة منحني الحريق البياني. ويحتاج الحريق في كل حيز إلى مُشعِل، وبعدئذ يحدِّد مقدار الوقود ونوعه، ومعدل الإمداد بالأكسجين، تطوُّره.



الشكل 16.10 منحنٍ شائع لتطوُّر درجة حرارة الحريق.

وبهدف فهم كيفية نمو الحريق وانتشاره، من الضروري أن نتذكَّر أنه يمكن الحرارةَ أن تنتقل بالنقل والحمل والإشعاع، ولكل من هذه الطرائق دور كبير أو صغير في نمو وانتشار الحريق تبعاً لمدى تقدُّمه. وطرائق انتقال الحرارة تلك هامة لكل من نمو الحريق في كل حيِّز، وتوليد المُشعِل الذي يؤدي إلى انتشار الحريق إلى أجزاء أخرى من المبنى.

ومن المهم أن نعرف أيضاً أن الأشياء والمواد التي تحترق تطلق أدخنة ومواد متطايرة أخرى قابلة للاشتعال، ومنها الغازات التي تحترق بوجود الأكسجين مولِّدة لهباً. وهذا يُعزِّز كثيراً تطوُّر الحريق.

يبدأ الحريق عادة صغيراً، فالأشياء الموجودة على تماس مباشر مع مصدر الإشعال الأصلي هي التي تبدأ بالاحتراق فقط. وتنطلق غازات وأدخنة ترتفع مع

تيارات الحمل وتسخِّن مصادر الوقود الأخرى الموجودة في المكان، فتبدأ بإطلاق غازات، وتتجمع الغازات تحت السقف، فتزداد مساحة سطح المادة القابلة للاحتراق كثيراً. فإذا كان ثمة من أكسجين كاف لتغذية الحريق عندما يصل اللهب إلى السقف وتصبح درجة الحرارة عالية بقدر كاف، اشتعلت الغازات. وتؤدي زيادة الحرارة المشَعة الآن إلى اشتعال معظم الأشياء والمواد الأخرى القابلة للاحتراق (خاصة السطوح والبطائن) في مدة قصيرة جداً. ويحصل ذلك عند درجة حرارة تساوي نحو 600 درجة مئوية، تسمى مرحلة انتقال الوميض، وتستفحل بعدها النار كثيراً. أما إذا كان الأكسجين غير كافٍ، فإن الغازات لا تشتعل، وتستمر الأشياء بالاحتراق مدخِّنة من غير لهب مع توليد للحرارة. فإذا دخل أكسجين إلى الغرفة حين فتح بابها أدى إلى اشتعال مفاجئ للغازات في ما يعرف بمرحلة ارتداد التيار.

وتزداد درجة حرارة المكان بسرعة، ويُصبح احتمال توسُّع النار أكبر كثيراً. وحينئذ يعتمد احتواؤها عند هذه النقطة على مقاومة عناصر البناء، مثل الجدران والأرضيات وغيرها، للاشتعال.

بتعقُّب تطوُّر الحريق تبعاً لهذا الوصف، من الممكن تحديد الحلول التقنية التي يمكن اللجوء إليها لضمان خروج الناس والحفاظ على سلامة البنية الإنشائية للمبنى طوال مدة الحريق.

درء الحريق

من الواضح أن الحماية المثلى من الحريق هي منع حصوله من حيث المبدأ. ويتحقَّق ذلك بتحديد مصادر الإشعال المحتملة وعزلها عن مصادر الوقود. لذا إذا كانت الأنشطة والعمليات التي تحصل في المبنى تنشر حرارة، وجب تصميمها بعناية بحيث تكون على مسافة كافية من أي مادة قابلة للاشتعال. ويمكن تمييز تلك الأنشطة بسهولة من معرفة أنها مرافق أو مداخن مولِّدة للحرارة. فمثلاً يجب إبقاء المكوِّنات الخشبية بعيدة بقدر كافٍ عن مواقد النار. إلا أن أحد المهدِّدات الرئيسية الأخرى هو تعطُّل بعض مكوِّنات خدمات توزيع الكهرباء والغاز. فالأعطال الكهربائية سبب شائع جداً لحدوث الحرائق. إذا أدى التيار الكهربائي إلى نشوء قوس كهربائية (شرر)، وفَّر مصدراً مباشراً للإشعال وسبَّب نشوب حريق في الأشياء المحيطة بتلك القوس الكهربائية. لذا يجب استعمال مصدر طاقة كهربائية منخفض الجهد الكهربائي لتقليص احتمال حصول القوس الكهربائية ونشوب حريق في المناطق ذات الحساسية العالية.

أما الاشتعال الناجم عن مصادر عَرَضية، ومن أمثلتها أعقاب السجائر، فإن من الصعب درءه من خلال اختيار البنية الإنشائية وإنهاءاتها. إلا أن معالجة البنية الإنشائية بمواد غير قابلة للاشتعال لاقت نجاحاً هاماً في الحد من نشوب حرائق من هذا النوع.

كشف الحريق والإخلاء

يجب أن تكون ثمة فرصة كافية للتعامل مع الحريق في الطور الأول من منحني درجة الحرارة والزمن. وهذا يقتضي كشفاً مبكراً وإطفاء سريعاً للنار. وتقترن هاتان المهمتان غالباً بالخدمات المتوافرة في المبنى. يمكن كشف الحريق والإنذار منه أن يكون يدوياً أو آلياً. وأبسط طرائق الكشف التي كانت شائعة هي الكشف من قبل الناس، أما أبسط وسائل الإنذار التي استُعملت فهو الجرس الذي يَرنُّه يدوياً الشخص الذي يكتشف الحريق. وما زال الإنذار يعتمد على شخص يقوم بتشغيل منظومة إنذار آلية تشمل البناء كله، وذلك بكسر زجاج نافذة صغيرة تغطي مفتاح الإنذار. وفي العقود الأخيرة، بدأ الكشف والإنذار الآليان بالانتشار، وذلك باستعمال كواشف دخان وحرارة تشغِّل منظومة الإنذار.

وبعد اكتشاف الحريق وتشغيل منظومة الإنذار، يجب البدء فوراً باتخاذ إجراءين معاً: إخلاء القاطنين وإطفاء الحريق.

بافتراض أن الحريق قد اكتُشف في طور النشوب المبيَّن على منحني درجة الحرارة والزمن، تكون الحرارة منخفضة نسبياً، برغم أن الدخان يمكن أن يتراكم بسرعة كبيرة. وإذا كان الوقود معقداً كيميائياً، أمكن الدخان أن يكون خانقاً أو حتى ساماً. ولذا يجب أن تُعطى الأفضلية لإخلاء القاطنين، فغالبية حوادث الموت في الحرائق تحصل اختناقاً بالدخان الحار، لا احتراقاً بالنار.

ويمكِّن الكشف المبكِّر من إخماد الحرائق الصغيرة. وكان ذلك يُجرى عادة بتغطية النار يدوياً بمادة مثل الرمل أو شرشف مقاوم للنار، أما اليوم فتُستعمل طفَّايات الحريق. أما المسؤولون عن الإشراف على طفَّايات الحريق فهم المسؤولون عن إدارة المبنى. وفي ما يخص محتويات الطفَّايات، فهي ليست متماثلة، ولذا يجب استعمال الطفاية الملائمة لنوع الحريق. وثمة طفَّايات تَستعمل الماء أو الرغوة أو المساحيق أو ثاني أكسيد الكربون لأنواع الحرائق المختلفة. أما الماء فيجب ألاّ يُستعمل في الحرائق الكهربائية ولا في حرائق المواد الدهنية. وإذا توفرت المعدات

الأولية لإطفاء الحريق من قبل القاطنين في المبنى، وجب تدريبهم على استعمال تجهيزات الإطفاء، وفحص جاهزية تلك التجهيزات دورياً.

ويمكن تحقيق الإطفاء الأولي الآلي بواسطة منظومات الرش بالماء (أو مكافئاتها الغازية إذا أمكن تنفيذ الإخلاء أولاً). وتتضمن عملية الإطفاء الآلي منظومة كشف تُشغِّل تجهيزات الإطفاء آلياً، وهي المِرشَّات في حالة الماء؛ يحتوي رأس كل مرذاذ على كاشفه الخاص به (تُمدِّد الحرارة سائلاً ضمن حاجز زجاجي فينكسر ويترك الماء يتدفق من ذلك الرأس فقط)، ولذلك يكون الإطفاء محلياً ويتوزع مع انتشار الحريق. حتى لو لم تستطِع المنظومة إطفاء الحريق، فإنها سوف تؤخِّره كثيراً بتقليصها لتوليد الحرارة والدخان، ممدِّدة الطور الأولي من منحني درجة الحرارة والزمن، مع توفيرها لفرص الفرار. إلا أنها تتطلب مقداراً كبيراً من الماء إذا كان المطلوب السيطرة على حريق في مكان واسع مثل المستودعات الكبيرة المفتوحة. وحينئذ قد لا يستطيع مصدر الماء العمومي تأمين معدل الماء المطلوب. لذا قد يكون من الضروري توفير خزانات ماء كبيرة مع مضخات لتحقيق معدل ضخ كاف إذا كان الحل هو مِرشَّات الماء.

ويجب بدء الإخلاء فور كشف الحريق وإطلاق الإنذار. وهنا أيضاً يجب أن تكون العلاقة بين تجهيزات المبنى وسلوك القاطنين والإدارة واضحة. فتصميم المبنى يجب أن يوفِّر وسائل الإخلاء، في حين أن من مسؤولية إدارة المبنى ضمان كون مخارج النجاة معروفة وخالية من العوائق دائماً.

ويجب تصميم مخارج النجاة في البناء بحيث تضمن إخلاء سريعاً من دون ذعر، مع توفير فرص متكافئة للجميع للخروج من المبنى، بدءاً بالمنطقة حيث بدء الحريق، عبر مسالك تتصل مباشرة مع نقطة الإخلاء التي يمكن أن يأتي إليها أناس من أجزاء من المبنى لم يصل الحريق إليها بعد. ومع أن معظم مسالك النجاة تلك تتكوَّن من الممرات والأدراج المستعملة في الحياة اليومية العادية، فإنه يجب توفير مسالك إضافية لأن الجميع سوف يستعملون مخارج النجاة في الوقت نفسه. ويجب أيضاً توفير مسالك بديلة للنجاة بحيث لا يضطر الناس المرور عبر النار للوصول إلى نقطة الإخلاء. لقد حُدِّدت مسافات ومقاسات تلك المسالك تجريبياً، وهي متوافرة ضمن التوصيات والتشريعات المتداولة. ويمكن أيضاً استعمال النمذجة الحاسوبية للتنبُّؤ بسلوك الناس في مراحل الإخلاء المبكرة.

وتتطلب مسالك النجاة تلك حماية من الحرارة والدخان كي يكون الإخلاء ناجحاً. وتتحقَّق تلك الحماية باختيار المواد والإنهاءات التي تغلف المسالك بحيث لا تساعد على انتشار الحريق والدخان. ولمتانة بنية المبنى نفسه دور في تحقيق ذلك أيضاً. وبغرض فهم خواص المواد المختارة والإنهاءات الملائمة من الضروري معرفة كيفية انتشار النار إلى الأجزاء الأخرى من المبنى من لحظة اشتعالها الأولى.

مقاومة البنية الإنشائية للحريق

يُعتبر نشوب الحريق وانتشاره أهم الجوانب التي يجب الاهتمام بها في تصميم مقاومة بنية المبنى الإنشائية للحريق. فأغلفة وبطائن الجدران والأرضية والسقف تؤثِّر في تطوُّر الحريق، وتؤثِّر مقاومة العناصر الإنشائية وغير الإنشائية في انتشاره. ويمكن اعتبار دور البنية الإنشائية هاماً من ناحية:

1. مواد البطائن
2. عناصر مقاومة النار

- الجدران والأرضية الداخلية
- العناصر الإنشائية
- الجدران والسطوح الخارجية

صحيحٌ أن البطائن على درجة من الأهمية في المراحل الأولى من نشوب الحريق، إلا أن العناصر المقاومة للنار في كل حيِّز مهمة بوصفها عوائق أمام النار وتحافظ على استقرار المبنى. وتبطِّئ عوائق النار أيضاً انتشار الدخان ضمن المبنى، وفي بعض الحالات مثل الجدران الفاصلة بين الغرف والأرضيات والمداخل المغطاة، تُحصر النار ضمن مقاطع من المبنى. وحين تصميم الجدران الخارجية والمشترَكة في ما بين المباني، فإن الهدف هو ضمان أن النار لن تنتشر إلى الأماكن المجاورة. ويجب الحفاظ على السلامة الإنشائية للمبنى طوال مدة الحريق، ويجب الأخذ في الحسبان إمكان ترميمه.

مقاومة البطائن للنار

يمكن نوع البطانة المختارة أن يؤثِّر في المدة المتاحة للإخلاء من خلال

تبطيء انتشار الحريق، ويمكنها أيضاً الإسهام في الغازات السامة والمتطايرات القابلة للاشتعال التي يمكن أن تعزِّز الاشتعال الشديد أو تكوِّن قطرات حارة يمكن أن تكون مصدراً للإشعال. وقد أصبح من الممكن الآن تحديد خواص المواد المقاومة للنار التي تُستعمل بطائن للأرضيات والجدران والأسقف. وتُعتبر قابلية الاشتعال والانتشار السطحي للهب وانتشار النار جميعاً مؤشرات إلى السرعة التي تساعد بها (إن ساعدت) البطانة على توسُّع الحريق. وتعطي اختبارات الدخان وقطرات المادة المنصهرة (جسيمات في قيد الاحتراق)، مع قياسات إسهامات الغازات السريعة الاشتعال في اتساع الحريق صورة كاملة تساعد على اختيار نوع البطانة تبعاً لمقاومتها للاحتراق.

مقاومة العناصر للنار

بعد اختيار مواد البطائن، الخطوة التالية التي يجب الاهتمام بها هي ما يتعلق بانتشار الدخان في مسالك النجاة وبالمواد المساعدة على حصول الاشتعال خارج الغرفة. إن درء الانتشار هو من مهمة العناصر المقاومة للحريق. لا تعتمد مقاومة تلك العناصر للنار على خواص موادها فقط، بل على تصميم العنصر نفسه أيضاً، سواء أكان جداراً أو أرضية أو مكوِّناً إنشائياً آخر. طبعاً، الحديث عن مواد البطائن يجب أن يقترن أيضاً بمقاومة العناصر. ويجب اختبار الكتل التجميعية برمتها، ومن ضمنها الإنهاءات والوصلات والمثبتات (مع تحميل العناصر الإنشائية)، من حيث مقاومتها للنار.

ويمكن العناصر المقاومة للنار أن تؤدي دور العائق لانتشار الدخان والحريق، أو أن تكون جزءاً من بنية المبنى الإنشائية التي لا يسمح انهيارها بانتشار النار فحسب، بل يؤدي إلى تهديدٍ جسديٍّ للقاطنين الفارين من الحريق ولرجال الإنقاذ والإطفاء أيضاً.

ثمة ثلاث طرائق يمكن العنصر المقاوم للنار أن يخفق بها ويسمح للحريق بالانتشار:

- عدم مقاومة الانهيار (انعدام الاستقرار)
- عدم مقاومة تغلغل النار (لا يحقِّق الأمان)
- عدم مقاومة انتقال الحرارة المفرطة (انعدام العزل الحراري).

يمكن أن يتأثر استقرار (متانة) عنصر إنشائي إذا خفَّضت النار مقدرته على الحمل إلى درجة ينهار عندها تحت وطأة ذلك الحمل الذي عليه حمله في تلك المرحلة من الحريق. فمثلاً، يمكن متانةَ عارضة أن تزول إذا تصدَّعت أو انكسرت أو احترقت. وهذا يشمل المواد الرابطة والوصلات التي يمكن أن تحترق أو تنصهر، أو المثبتات التي تتلف بتأثير النار. أما عزل عائق النار فيجب أن يكون كافياً لإبقاء الجانب الآخر من العنصر بعيداً من الوصول إلى درجات حرارة تؤدي إلى الإشعال. وعلى نحو أدق، يجب أن يُنظر إلى العزل الحراري على أنه توزيع حراري. وتتصف العناصر ذات الكتلة الحرارية الكبيرة أو التفاعلات الكيميائية الماصة للحرارة بمفعول مشابه من حيث إبقاء درجة الحرارة على الجانب الآخر تحت درجة الإشعال طوال مدة الحريق، برغم كون مادة العنصر من حيث المقاومة الحرارية عازلاً سيئاً.

ويمكن للجدران والأرضيات الداخلية أن تحتجز النار والدخان للحد من انتشار الحريق. لكن تلك العوائق لا تحتاج جميعاً إلى الدرجة نفسها من إعاقة انتشار النار، حتى ضمن المبنى نفسه. فمتطلبات أدائها تعتمد على عاملين اثنين. أولهما هو طبيعة إشغال المبنى، ومنها عدد الأشخاص الكلي في كل حيِّز، وطبيعة حركتهم قي الوقت الذي يستعملون فيه مسالك النجاة. فهذا يحدِّد المدة الفعلية اللازمة لإخلاء جميع القاطنين إلى مكان آمن. والثاني هو تقدير سرعة انتشار النار وشدتها النهائية في أثناء اتباعها للأنماط المبيَّنة على منحني درجة الحرارة والزمن. وهذا يحدِّد مدة الإخلاء الآمن.

ومن الاعتبارات الأخرى التي تحدِّد مقاومة العناصر للنار مقاس وتشكيلة المبنى. فبهدف الحد من متطلبات مقاومة العناصر المختلفة للنار، من الممكن تصميم المبنى بأسره على شكل عدد من الحجرات المقاومة للحريق (fire compartment) التي تفصل بينها جدران وأرضيات مصممة لاحتجاز النار كلياً. وبرغم أن توصيف تلك العناصر يمكن أن يكون مرهقاً، فإنها بذاتها تقلِّص المتطلبات من العناصر الأخرى ضمن الحجرة لأن الخطر على كل من الناس والممتلكات ينخفض كثيراً أيضاً.

ويمكن النار أن تنتشر بسهولة أكبر عند الأرضيات والجدران التي تعمل بوصفها عناصر مقاومة للحريق إذا لم تكن إنهاءاتها سليمة. تمثِّل الفتحات خرقاً ممكناً لمتطلبات تحقيق العنصر للأمان أو لمقدرته على احتجاز النار. وهنا يمكن تمييز نوعين من الفتحات: أبواب (ونوافذ)، وأمكنة تمرير الخدمات من مكان إلى آخر.

وتستدعي الأبواب اهتماماً خاصاً لأن عليها احتجاز الحرارة والدخان ومنعهما من الوصول إلى مسالك النجاة. ليس على الباب نفسه أن يتصف بخاصيتي المتانة والعزل فحسب، بل إن الشقوق حول الباب عرضة أيضاً لتسريب النار إلى سطحه الخارجي. لذا فإن أبعاد حواف وأغطية إحكام السد التي توفِّرها تفريزات إطار الباب تُعتبر جانباً هاماً من الإنهاءات. وقد يكون من الضروري تركيب شرائط عزل على حواف الإغلاق في الأبواب المزدوجة. تتصف تلك المواد بالتمدُّد عندما تسخن، فتسد الشقوق وتضمن سلامة الأبواب وتوفِّر طبقة عازلة لانتقال الحرارة.

ويجب ملء الفراغات المتكونة حول تمديدات الخدمات العابرة للجدران والأرضيات وسدها بمادة مقاومة للنار للحفاظ على سلامة التمديدات.

تُمرَّر تمديدات الخدمات غالباً ضمن ممرات خاصة فوق السقف أو تحت الأرضية. وفائدة تلك الممرات هي أنه يمكن تركيب تمديدات الخدمات فوق أو تحت الغرف المقاومة للحريق [حجرات عزل النار] من دون إعاقة. لكن هذه الممرات يمكن أن تمرِّر الدخان والنار بسرعة إلى أجزاء أخرى من المبنى، ولذا من الضروري تركيب عوائق ضمنها لمنع انتشار الدخان والنار. ويجب ألا تمتد هذه الممرات عبر الجدران الفاصلة بين الحجرات أو عبر أرضياتها.

ومن المخاطر الأخرى انتشار النار عبر المناور والأدراج وبيوت المصاعد العمودية. تُستعمل هذه الأمكنة في المباني لأغراض مختلفة، منها تمرير تمديدات الخدمات. فإذا وصلت النار إليها، عملت كالمداخن ونقلت الحرارة والدخان والغازات المتطايرة إلى الطوابق العليا بسرعة كبيرة. لذا تُعتبر مقاومة هذه الأمكنة للنار جزءاً من التصميم بغرض الحماية من الحريق. ويجب أن تكون فتحات هذه الأمكنة، مثل الأبواب ومنافذ العبور، محمية حماية تامة. ونظراً إلى أن الدرج يمكن أن يكون مسلك نجاة، فإن منع دخول الدخان إليه مطلب رئيسي، ويمكن تحقيق ذلك بجعل الضغط فيه أعلى من الضغوط المحيطة به.

حتى إن الفجوات ضمن جدران الممرات التي من ذلك النوع يمكن أن توفِّر معبراً تنتشر النار من خلاله إلى الطوابق العليا. وهذا يستدعي تركيب عوائق للنار في تلك الفجوات إذا كانت مقاومة الطبقة الداخلية من تلك الجدران للنار منخفضة.

وإضافة إلى تركيب عوائق للحد من انتشار الحريق، من الضروري ضمان أن بنية المبنى الإنشائية لن تدمِّر أو تؤذي العوائق في أثناء الحريق. وثمة اعتبارات أخرى تخص سلامة البنية الإنشائية بعد إخماد الحريق يجب أخذها في الحسبان في أعمال الترميم.

مفعول النار في المواد الإنشائية

تُغيِّر درجات الحرارة العالية خواص كثير من المواد، ومنها المتانة، ولذا يمكن أن تختفي مقدرة العناصر على الحمل من دون أن يحصل أذى جلي فيها نتيجة للحريق. إن من الضروري أن نُدرك أن المقاطع الإنشائية المعرَّضة للنار يمكن ألاّ تحترق، لكن ارتفاع درجة الحرارة يمكن أن يؤدي إلى تمدُّدها وإلى تدنِّي متانتها. وقد ينحرف مقطع العنصر، وحتى يمكن أن ينهار لأنه يصبح غير متين بقدر كاف لارتكاز الأحمال عليه.

لكن تلك الآلية ليست نفسها في المواد الإنشائية الرئيسية المختلفة. فالفولاذ يتصف بناقلية حرارية عالية وسعة حرارية منخفضة، وهذا يؤدي إلى ارتفاع سريع بدرجة حرارته حين تعرُّضه للنار. لذا يحصل انخفاض سريع في قوته، فهو يفقد نحو 50٪ من قيمة قوة خضوعه(*) عند الدرجة 600 مئوية، وهذه درجة حرارة شائعة جداً في حرائق المباني. تُمكِن معالجة الفولاذ هندسياً كي يتحمل النار، إلا أنه يُحمى عادة من الحرارة. فبتغليفه أو رشه بمادة عازلة أو مادة ماصة للحرارة، يمكن تحقيق ذلك. ويمكن تحقيق الامتصاص باستعمال سعة حرارية عالية أو تفاعلات كيميائية ماصة للحرارة، حيث تستعمل التغيُّرات الكيميائية في المواد حرارة النار. ويجب أن تبقى مواد التغليف أو الدهان تلك ملتصقة بالفولاذ وألاّ تتصدَّع في أثناء الحريق.

وتتصف الخرسانة المسلحة بسعة حرارية كبيرة، وما لم تكن مقاطعها رقيقة، فإن ارتفاع درجة حرارتها في أثناء الحريق يكون بطيئاً في المواضع البعيدة من السطح. لكن إذا تصدَّع السطح أو تفتَّت، أو إذا ارتفعت درجة حرارة الفولاذ القريب من السطح، فإن المقطع يمكن أن ينهار. وهذا يسلِّط الاهتمام على الخرسانة التي تغطي الفولاذ، فحصويات (aggregates) الخرسانة وسماكتها التي تغطي الفولاذ هي واحدة من المواصفات الهامة في مقاومة الخرسانة المسلحة للنار.

أما آلية مقاومة الخشب للنار فهي مختلفة تماماً. فالخشب يحترق، إلا أن نواتج التفحُّم من الحريق تبقى ملتصقة بالمقطع وتعزل الخشب الداخلي غير المحترق عن الأكسجين والحرارة. فيتباطأ الاحتراق كثيراً مع تطوُّر الحريق. فإذا

(*) انظر فقرة الإجهاد والانفعال واختيار المواد من الفصل 11 في هذا الكتاب (المترجم).

جُعلت البنية الخشبية غير المحمية أكبر مقاساً لاحتساب الطبقة المتفحِّمة، أمكن الخشب أن يتحمَّل الحمل المطبَّق عليه طوال مدة الحريق. ومع ذلك، يجب استبداله في ما بعد في عملية الترميم.

مقاومة العناصر الخارجية للنار

بعد تحرِّي العوائق الداخلية والبنية الإنشائية من حيث مقاومتها للحريق، يبقى ثمة مهدِّد رئيسي آخر. إذا أثرت النار في غلاف المبنى الخارجي، اكتسبت مصدراً للأكسجين، وانتشرت إلى الممتلكات المجاورة. وثمة طريقتان لحصول الانتشار بين تلك الممتلكات. الأولى هي الانتشار على طول السطوح الخارجية للمباني المجاورة، وخاصة على سطوح الأسقف. والثانية هي الانتشار المباشر من مناطق الواجهة التي تصل إليها النار. ويحصل الانتشار على السطوح الخارجية عندما تكون المباني متصلة معاً، أما انتشارها من الواجهات فيحصل عندما لا تكون المباني متلاصقة. وحينئذ، إذا كانت المسافة الفاصلة بين المباني كبيرة بقدر كاف، ينعدم خطر الانتشار إلى المباني المجاورة كلياً. حتى هذه النقطة، فإن جزءاً من الواجهة على الأقل يجب أن يعمل بوصفه عنصراً مقاوماً للنار. وكلما كانت المباني أكثر تقارباً، كانت المساحة التي يجب أن تقاوم النار أكبر. إن التعليمات والتشريعات تتضمن توصيات بخصوص المسافات غير المحمية المسموح بها تبعاً للفواصل النظرية بين الأبنية.

توصيف مقاومة الحريق

يجب توصيف جميع متطلبات مقاومة الحريق بدلالة الزمن. إن ثمة مشكلة متبقية هي أنه في حين أن الإخلاء يمكن أن يتحقق فوراً، فإن المدة الفعلية التي يُعيق العنصر المقاوم للحريق خلالها انتشار النار تعتمد على شدة النار. وبغرض مقارنة أداء العناصر المختلفة تجاه الحريق، يجب استعمال نار معيارية ذات منحني درجة حرارة وزمن محدَّد. لذا فإن الأزمنة المنصوص عليها في التوصيات ليست أزمنة حقيقية، بل أزمنة اختبارات معيارية. وتُختار مقاومة العناصر للنار بالأخذ في الحسبان لمدة الإخلاء الفعلية، ولشدة النار المعرَّفة بمنحني درجة الحرارة والزمن.

الإطفاء ومكافحة الحريق

ثمة جانب آخر من تصميم المبنى يجب الاهتمام به، وهو توفير وسائل إطفاء الحريق ومكافحته باستعمال خدمات الإطفاء النظامية. ذكرنا في ما سبق ضرورة

توفير تجهيزات لمكافحة الحريق من قبل القاطنين في مراحل نشوبه الأولى. لكن عندما تنتشر النار تصبح كفاءة تلك التجهيزات غير كافية، ويصبح من الضروري توفير خراطيم ملفوفة على بكرات، وأنابيب لتوزيع الماء وفوهات رغوة وغيرها مما يستعمله رجال الإطفاء. وهذا يقتضي الأخذ في الحسبان ضرورة وصول آليات الإطفاء إلى فناء المبنى، وفي حالة المباني العالية توفير مصاعد خاصة لرجال الإطفاء. وعلى غرار كثير من إجراءات مكافحة الحريق، يجب أن يُنظر في ذلك في التصميم الأولي، مع الانتباه إلى أن الوصول إلى تجهيزات الإطفاء يجب أن يكون ممكناً على مدار اليوم طوال مدة حياة المبنى.

المهدِّدات الناجمة عن المجتمع

تأتي بعض المخاطر من المجتمع الذي يوجد المبنى فيه. وعلى غرار المخاطر الطبيعية (القضاء والقدر) والحريق، تمثِّل تلك المخاطر تهديداً لكل من الحياة والممتلكات. لكنْ في معظم المجتمعات المستقرة سياسياً، يُعتبر التهديد المباشر للأفراد من قبل غرباء صغيراً نسبياً ما لم يكن بغرض السرقة. ويقترن كثير من تلك المهدِّدات بالجريمة، وربما بالإرهاب المتطرِّف. وتتميَّز هذه المهدِّدات بالوسائل التي يقبل الناس باستعمالها في مواجهتها. وتلك مشكلة اجتماعية معقدة، إلا أن ثمة من يقول أن جودة البيئة التي يوجد المبنى ضمنها يمكن أن تسهم في تقليص المخاطر الاجتماعية وفي توفير الحماية منها.

وتعتمد طبيعة المهدِّد كثيراً على الأنشطة التي سوف تحصل في المبنى. وفي معظم الحالات يكون المهدِّد اختراقاً من الخارج، إلا أن ثمة حالات يمكن للمهدِّد أن يكون فيها داخلياً (مبنى سجن مثلاً) وموجهاً إلى أنشطة خارج المبنى.

ومهما كانت طبيعة هذا المهدِّد، فإن نهج تصميم المبنى يشابه على الأرجح ذاك المتبع لمكافحة الحريق: ردع أو درء، يتبعهما كشف وإنذار، ثم تأمين مقاومة لقوى المهدِّد بغية الحدِّ من إيذائه للأفراد وإضراره بالممتلكات. لكنْ خلافاً للحريق، فإن المجرم يمتلك عقلاً، ولذا فإن أي تعريف لأنماط الهجوم أمر صعب. وفي الواقع، يخشى المجرم انكشاف أمره، ولذا يتَّخذ احتياطاته كي لا يُكتشف ويُقبض عليه.

يتضمن تقدير الخطورة تقدير مدى إصرار المجرم على ارتكاب جريمته والوسائل التي ينوي استعمالها فيها. يمكن درء الاعتداءات الصغيرة على المنازل بواسطة أقفال جيدة، إضافة إلى إدارة إشغال بسيطة معقولة للمكان لدرء الجريمة

القائمة على انتهاز الفرص. وتُعتبر الرغبة في سرقة ممتلكات معينة قليلة، والوسائل التي تُستعمل في السرقة لا تتضمن عادة قوى كبيرة. وفي الطرف الآخر من أنواع الجرائم، يتميَّز الإرهاب بوجود أهداف محدَّدة، ومستويات عالية من الإصرار واقتناء قوى كبيرة لإحداث الأذية اللازمة لاختراق الدفاعات التي توفِّرها بنية المبنى الإنشائية. أما المثال الثالث اللافت فهو اللصوص الذين يتسلقون الأنابيب مستهدفين أشياء معينة، ويخططون عملية الاختراق وينفذونها بإصرار شديد، لكن باستعمال قوة صغيرة جداً. لذا فإن وضع خطط مكافحة الاعتداء واختيار الحلول الإنشائية يعتمد على فهم عقلية المجرم وأدواته.

الحوادث الشخصية

تركَّز اهتمام التحليل السابق للبيئة الآمنة في المهدِّدات الخارجية، إلا أن ثمة أيضاً حاجة إلى تقليص مخاطر الحوادث الشخصية في أثناء استعمال المبنى في الظروف الطبيعية. يماثل نهج تقدير احتمال حصول الحوادث في المبنى النهج المتَّبع في حالة الصحة والأمان في مواقع البناء. فهو يبدأ بتعريف المخاطر وبتقدير الأذى الذي يمكن أن ينجم عنها. وحين تحديد احتمال أن يؤدي الحادث إلى أذية، تُمكِن معرفة مقدار خطورته. ويُعتبر استعمال تجهيزات الأمان في معظم المباني غير مقبول اجتماعياً، ولذا يجب إلغاء المخاطر في عملية التصميم من حيث المبدأ. وهذا يُحدِّد الكثير من أبعاد وإنهاءات الميولات والأدراج والدرابزينات ودرابزينات الأدراج. ويجب تضمين مسائل الأمان في توصيف المثبتات التي يمكن إخفاقَها أن يؤدي إلى أذية. ومن الأمثلة الأخرى تحديد إنهاءات الأرضيات بحيث لا تسبب الانزلاق عندما تكون مبلولة. من ناحية أخرى، يجب اختيار مواد الإنهاءات بحيث لا تكون ضارة بالصحة على المدى الطويل، إضافة إلى تقليصها لإمكان حصول الحوادث الشخصية.

بيئة الخصوصية

تعود أصول الخصوصية إلى الأعراف الاجتماعية. وخلافاً لموضوع الأمان، لا تنجم الحاجة إلى الخصوصية عن وجود مهدِّدات، بل عن الشعور بما يمكن أن يكون في السلوك الاجتماعي صحيحاً أو خطأ، مقبولاً أو مرفوضاً. لذا، ومن أجل فهم الخصوصية، من الضروري معرفة مفاهيم المجتمع ومعتقدات أفراده.

يفرض مفهوم الأسرة الكثير على صيغ المنازل. ويحدِّد أسلوب الإدارة والبنية

التنظيمية كثيراً من صيغ المباني التجارية. وهذا على صلة باعتبارات الصورة والمكانة التي اعتُبرت من أوجه المظهر، لكنها تقترن بجوانب أخرى من وظائف الفواصل بين الأمكنة التي تحصل فيها أنشطة مختلفة.

ولا يأتي الشعور بالخصوصية من الشعور بخطر مادي داهم، بل من القرب الشديد من آخرين يغزون ما يُسمى الفضاء الشخصي للفرد حتى في حالة عدم وجود عوائق مادية بينه وبينهم. إلا أن الأعراف الاجتماعية غالباً ما تتطلب فصلاً مادياً يحد من انتباه الآخرين الذين يمكن أن يروا أو يسمعوا أو يدركوا بأي طريقة أنشطة مقترنة باستعمال ذاك الفضاء.

لذا تكمن متطلبات الخصوصية الرئيسية في الفصلين البصري والسمعي. وهذا ما يجب أخذه في الحسبان في متطلبات أداء العناصر الفاصلة بين الغرف، وتلك المغلفة للمبنى. صحيحٌ أن تلك العناصر هي جدران في المقام الرئيسي، إلا أنها تشتمل أيضاً على الأرضيات والأسقف ومسارات تمديدات الخدمات، حيث يمكن لانتقال الكلام أن يكون مشكلة.

لا يتطلب تحليل وتقييم أداء الفصل البصري نظريات أو اختبارات معقدة غير المعاينة المباشرة. أما التنبُّؤ بأداء العزل الصوتي فهو أكثر صعوبة، وقد تعرّضنا له سابقاً في هذا الفصل.

الخلاصة

1. قدَّمنا في هذا الفصل الجوانب البيئية التي يجب الاهتمام بها، وهي الجفاف والدفء والضوء والعزل الصوتي والنظافة والأمان والخصوصية. وكان تحليلها هو موضوع الفصل.

2. يتألف المبنى من منظومة خدمات نشطة وبنية إنشائية خاملة يتحدَّد دوراهما وإسهاماتهما (وظائفهما وأداؤهما) في مرحلة التصميم.

3. في ما يخص تلك الجوانب البيئية المختلفة، من الضروري أن يكون ثمة وصف لتغيُّرات كل من الظروف الخارجية واستجابة المبنى لتلك الظروف.

4. يجب تحليل كل جانب من جوانب البيئة التي يمكن أن تؤدي إلى إخفاق البنية المقترحة، وذلك بغية ضمان الأداء الناجح للمبنى برمته.

الفصل الحادي عشر

سلوك المبنى المادي تحت الحمل

يقوم هذا الفصل على حقيقة أن جميع أجزاء المبنى عرضة للتحميل بوزنها الذاتي على الأقل، ولذا يجب أن يحتوي المبنى على منظومة من العناصر الإنشائية المتمفصلة معاً على نحو ينقل الأحمال إلى الأسس. ومن الضروري تحديد طريقة تطبيق الأحمال على العناصر، وتوفير الدعم لكل عنصر، إضافة إلى طريقة ربطها معاً. وهذا يعطي أنماط القوى الداخلية التي سوف تُولِّد الإجهادات في المواد المختارة. ونرى أن دراسة أشكال العناصر الإنشائية المشوَّهَة سوف توضِّح أنماط القوى الداخلية فيها. ويجب أن تحتوي المنظومة على عناصر كافية مترابطة على نحو يبقيها مستقرة في مواجهة القوى الأفقية مثل قوى الرياح، على وجه الخصوص. وبمعرفة العلاقة بين إجهاد المادة وتشوُّهها، تعطي أنماط القوى الداخلية تلك فكرة عن أكثر أشكال العناصر الإنشائية كفاءة وعن مقاساتها الاقتصادية.

القوى الداخلية والخارجية

عندما يُشاد جزء من المبنى يصبح عرضة لقوى مطبَّقة عليه، ومنها وزن [مواده] نفسه على الأقل، ولذا يجب أن يتصف ببعض القوة والمتانة والتثبيت الملائم. وثمة عناصر من المبنى تُعتبر وظيفتها جزءاً من بنيتها ذاتها. وهي تحافظ على شكل المبنى وتنقل الأحمال من جزء إلى آخر وصولاً إلى أساس مستقر هو الأرض التي يجب أن تتحمَّل الأحمال المتراكمة، ولذا تصبح جزءاً من المنظومة الإنشائية.

تنشأ القوى الخارجية، أو الأحمال، بشكل رئيسي، من أوزان المبنى وعناصره، وأوزان الناس الذين يقطنونه والأشياء التي توضع فيه، في المقام الأول. وثمة أحمال بيئية أيضاً، مثل قوة الريح ووزن الثلج، تطبِّق قوى على أجزاء من

المبنى المثبتة على العناصر التي عليها نقلها بنجاح إلى الأرض.

وتولِّد تلك الأحمال الخارجية قوى داخلية ضمن العناصر الإنشائية. وطبيعة تلك القوى، والآليات التي يمكن معاكستها بها هي موضوع تحليل السلوك المادي تحت الحمل. فعلى عناصر البنية تلك أن تضمن بقاء المبنى مستقراً ضمن حدود صغرى من التشويه من دون أن ينهار. وعدم الاستقرار والتشوُّه والانهيار هي الإخفاقات الممكنة التي يجب تعريفها، ويجب تحديد مستويات الأداء الناجح في مواجهتها.

أما مهمة التصميم الأولى فهي تحديد منظومة من العناصر والدعائم الإنشائية التي توفِّر حين وصلها معاً بنية مستقرة في مواجهة الأحمال التي سوف تطبَّق عليها. ويجب نقل الحمل المطبَّق على عنصر من المنظومة إلى دعامة عبر نوع ما من الرابط. حينئذ، يضع الحمل المنقول عبر الرابط عملياً حملاً على الدعامة التي تصبح العنصر الثاني في المنظومة. . .إلخ. لذا يجب تعقُّب مسار التحميل عبر البنية الإنشائية للمبنى حتى الوصول إلى الأرض. وكل عنصر ورابط يجب أن يكونا قادرين على مقاومة الأحمال المتراكمة التي تنتقل عبر المنظومة الإنشائية إليهما.

ومن الضروري في المرحلة الأولية من التحليل ضمان أن المنظومة الإنشائية تحتوي على كل العناصر اللازمة لاستقرارها الشامل. يتمثَّل المفعول الأولي للأحمال بإزاحة أو تدوير العناصر التي تحملها، وتحصل مقاومة ذلك عند الوصلات بين العناصر الإنشائية، لكن غالباً ما لا تكون ثمة مقاومة من هذا القبيل. لذا لا تُقرُّ المنظومة الإنشائية الشاملة إلا بعد تحديد عناصر الاستقرار الإضافية.

وبعد تحديد عناصر البنية ووصلاتها التي تحقِّق الاستقرار الشامل، تجب دراسة كيفية تشويه الأحمال لها. يحصل التشوُّه لأن الأحمال الخارجية تولِّد قوى ضمن العناصر والوصلات تُجهد المواد التي تُصنع منها. وعندما تُجهَد المواد، تحصل تغيُّرات في أبعادها تسمى انفعالات (strain)، وهي تعبير عن تشوُّه العنصر. ومع ازدياد الإجهادات في المادة تصل إلى نقطة تنهار عندها.

تهدف دراسة السلوك الإنشائي في أثناء تصميم بنية المبنى إلى تحقيق بنى مستقرة تجاه القوى الخارجية المتولِّدة عن الأحمال، وإلى تحليل القوى الداخلية والإجهادات التي تسببها تلك الأحمال، إضافة إلى الانفعالات التي تظهر وتؤدي إلى تشويهها.

وتخضع تلك الدراسة بخطوطها العريضة للنهج العام لتحليل السلوك المادي الذي ورد في الفصل 9:

1. تحدِّد الأحمال الظروف التي سوف تعمل البنى الإنشائية ضمنها.

2. يحصل الإخفاق أو تدنِّي الأداء إذا أدت الأحمال إلى:

- اضطراب البنية وجعلها غير مستقرة.
- تشوُّه البنية إلى حد تكسُّر الوصلات وانتقال الأحمال إلى عناصر غير مخصصة لحمل الأحمال فتبدو أو تصبح غير آمنة.
- تدمير جزء من البنية بتكسير عناصرها والوصلات في ما بينها.

3. تقديم توصية أو مقترح لتشكيلة من العناصر الإنشائية مع لائحة بالمواد المختارة والمقاسات التقريبية اللازمة لدعم الأحمال.

4. يُجرى تقييم استجابة العناصر الإنشائية للأحمال التي سوف تُطبَّق عليها، وذلك بتحليل التشوُّهات وتوزُّعات ومقادير القوى ضمنها لرؤية إنْ كانت سوف تتحمَّل الأحمال من دون أن تنهار.

وفي ما يلي نظرة مفصَّلة إلى تلك المراحل.

الأحمال وأنماط التحميل

تنجم الأحمال في المباني عن أوزان الناس والأشياء الموجودة فيها، وأوزان مكوِّنات المبنى نفسه، والأحمال الناجمة عن الظروف البيئية التي سوف يخضع لها المبنى. والشيء المشترَك بين الأحمال جميعاً هو أنها تطبِّق قوى على البنية الإنشائية تجب مقاومتها كي يبقى المبنى مستقراً من دون أن يتشوَّه كثيراً أو ينهار.

إن أكثر أصناف الأحمال شيوعاً هي التالية:

- أحمال ساكنة (dead load) (ميتة)، وهي أوزان عناصر المبنى نفسه.
- أحمال مفروضة (imposed load) (أو إضافية)، وتنجم عن الأنشطة التي تجري في المبنى وعن تراكم الثلج.
- أحمال الريح (wind load) وهي أحمال بيئية تنتج عن الريح.

قبل استيعاب خصائص هذه الأنواع من الأحمال من الضروري تحديد ما الذي تجب معرفته عن الحمل بغية تقييمه بوصفه قوة مطبقة على المبنى. يُعرَّف الحمل بدلالة ما يلي:

- مقداره أو حجمه
- توزُّعه

- اتجاهه

أما مقدار الحمل فهو وزنه الكلي الذي على البنية تحمُّله. وأما توزُّعه فيُحدِّد أجزاءه المطبقة على العناصر المختلفة. ويُنظر إلى التوزُّع عادة على أنه نقاط إفرادية موزَّعة بتجانس، أو على أنه أحمال صدم (impact load) متحركة. وفي ما يخص اتجاهه، فإن الكلمة تعبِّر عنه، وهو يتمم التوصيف. فمثلاً، تعمل معظم الأحمال في المباني عمودياً نحو الأسفل بتأثير الثقالة. وتعمل أحمال أخرى بزوايا أخرى (دفع الجدران الحاملة لقوس)، أو أفقياً في حالات الريح، أو حتى عمودياً نحو الأعلى في بعض حالات الريح.

لقد أصبح من الممكن الآن فهم أساس هذا التصنيف. فالأحمال الساكنة هي أحمال دائمة يمكن تحديد مقاديرها وتوزُّعاتها واتجاهاتها بشيء من اليقين. أما الأحمال المفروضة فهي أحمال متغيرة، ولذا يجري تحديدها بيقين أقل. ومع أنه يمكن تحديد مقاديرها ضمن مجالات معينة، إلا أنه يجب تحديد أنماط التحميل بغرض تعريف ظروف التحميل في التصميم. وقد تكون ثمة بعض الأشياء في المبنى، مثل الآلات أو المستودعات، التي هي أكبر كثيراً وأكثر ديمومة من جميع الأحمال المفروضة الأخرى، ولذا تجب معالجتها على نحو مستقل، مع معاملة موضعها معاملة موضع الحمل الساكن. ومع ذلك، يمكن اعتبار معظم الأحمال المفروضة على أنها حمل ساكن متجانس التوزُّع معرَّف بالاستعمال المقرَّر للمبنى (منازل أو مكاتب، مثلاً).

وأحمال الرياح متغيرة أيضاً، وطبيعتها المتغيِّرة المتأصلة المتجلية بتغيُّر شدتها واتجاهها تجعل من تعريف مقدار قوتها وتوزُّعها واتجاهها مسألة إشكالية. إذ عندما تزداد سرعة الريح في أثناء تدفقها فوق المبنى وحوله تكوِّن مناطق ضغط منخفض، وهذه بدورها تولِّد قوة رافعة نحو الأعلى، بخاصة عند الأسطح. وإذا تكوَّنت دوامات عند الحواف، أمكن أن تتولَّد قوى رافعة أشد. لذا، وبغية تقديم تعريف لحمل الريح (ومن ثَمَّ للقوى التي تطبِّقها على المبنى) يمكن استعماله في التحليل الإنشائي، يجب إجراء تبسيطات معينة للحصول على حمل ساكن مكافئ. إلا أن تلك التبسيطات يجب أن تضمن أن المفعول المتنبَّأ به لا يقل عن المفعول الحقيقي الذي تتعرَّض له البنية الحقيقية في الظروف الطبيعية الواقعية. ثمة إجراءات راسخة لتحقيق ذلك منشورة حالياً على شكل توصيات ومعايير ومؤشرات.

ومن الظروف الأخرى التي يجب أخذها في الحسبان، التحميل العَرَضي

المفاجئ الذي يمكن أن يسبب إخفاقاً إنشائياً محلياً يؤدي إلى إخفاق أشمل لجزء رئيسي من المبنى. ويمكن لهذا أن يقود إلى انهيار غير متجانس في الجزء الأخير من المبنى مع الطبيعة المحلية للإخفاق الأصلي.

وفي بعض المباني، يجب الاهتمام بالتحميل العَرَضي الذي يمكن أن ينجم عن اصطدام طائرة بالمبنى مثلاً، أو عن انفجار في مبنى أمني، أو عن هجمات إرهابية. ويمكن الظروف الطبيعية أن تولِّد أحمالاً من المياه الجوفية أو الزلازل. لذا يجب الاهتمام بمواصفات الأداء من حيث تحديد الظروف التي يجب التصميم من أجلها، سواء أكانت حدوداً قصوى للأداء في ظروف تُعتبر طبيعية أو ظروفاً متطرِّفة محتملة يمكن أن تكون كارثية. إلا أن غالبية المباني لا تُصمَّم إلا لتتحمَّل الأحمال الساكنة والمفروضة وأحمال الريح بحيث لا يحصل فيها انهيار غير متجانس. فالنظرة الشائعة إلى التصميم من أجل التحميل المتطرِّف لمعظم المباني هي أنه عديم الفائدة من حيث التكاليف الإضافية التي تترتب عليه إذا كان احتمال التحميل المتطرِّف منخفضاً جداً.

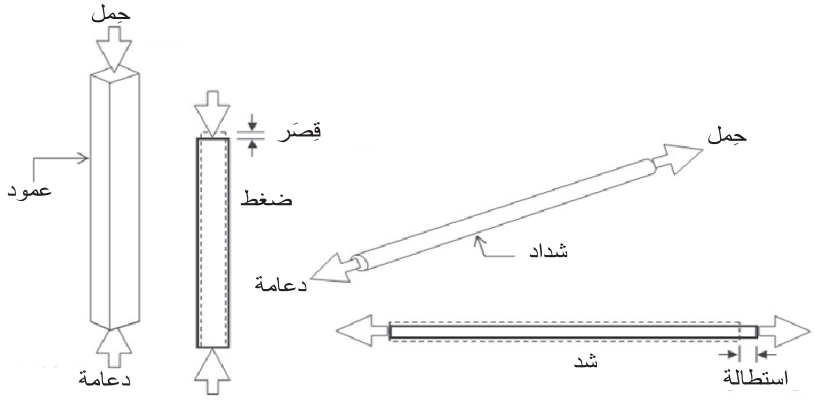
العناصر الإنشائية الأساسية

يتصف عدد أنواع العناصر الإنشائية المستعملة في البناء بأنه محدود. وهي تُستعمل إما جوائز هنا وهناك، أو ركائز لحمل الجوائز وتكوين حجرات داخل المبنى. ومع أن الأسماء الشائعة لهذه العناصر، أي الجدران والأعمدة والجوائز والبلاطات، تعطي فكرة عن مواقعها عموماً ضمن المبنى وعن أشكالها الأساسية، إلا أن فهم سلوكها الإنشائي يتطلَّب نظرة من كثب:

- أين تُطبَّق الأحمال عليها؟
- ما هو نوع الارتكاز المتوافر لها (لتحقيق استقرارها ودرء اضطرابها)؟
- كيف يتشوَّه العنصر المستقر تحت الحمل؟

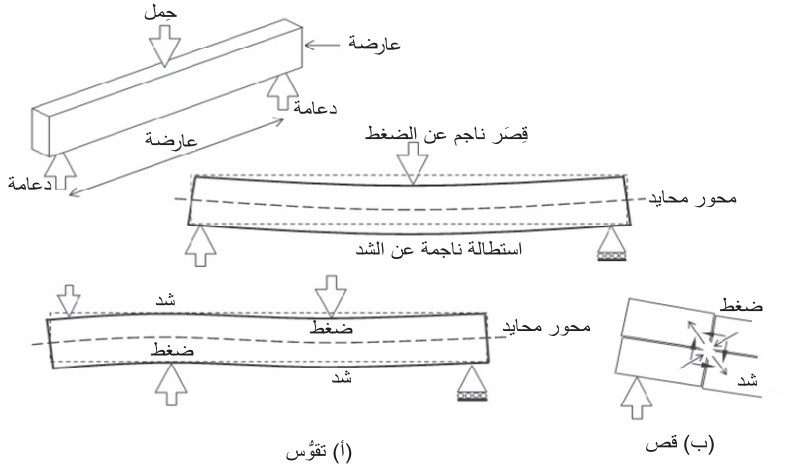
ومن خلال تصور الشكل المشوَّه للعنصر، من الممكن تحديد توزُّع القوى الداخلية التي تجعله ينهار.

يبيِّن الشكل 1.11 أبسط العناصر الإنشائية: العمود (strut) والشّداد (tie). ويوضع العمود بحيث يتحمَّل الضغط الذي يتجلى بِقِصر يحصل فيه نتيجة للتحميل. وفي المقابل، يتحمَّل الشِّداد الشد الذي يتجلى باستطالته.



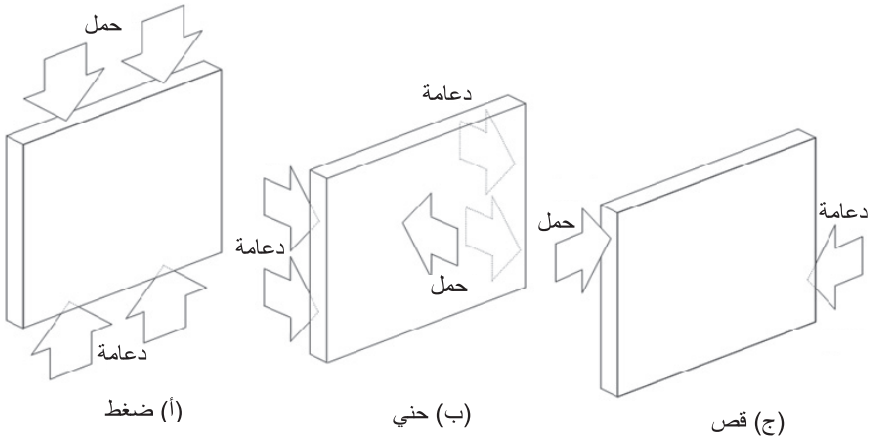
الشكل 1.11 عمود وشِداد.

ويبيِّن الشكل 2.11 العارضة، وهي عنصر تجسير تؤدي أنماط التحميل والارتكاز إلى انحنائها. ثمة عارضتان مشوَّهتان في الشكل تُظهران أن مادة العارضة تصبح قصيرة عندما تتعرض للضغط وتمتط حيثما تتعرض للشد. ويحصل القِصَر الأعظمي في أعلى العارضة، وتحصل الاستطالة العظمى في أسفلها، ولا يحصل تشوُّه على طول المحور المحايد. وتوجد قوى الشد والضغط تلك في جميع العناصر التي تتقوَّس. وثمة أيضاً في تلك العناصر زوج آخر من قوى الشد والضغط يُسمى بقوى القص. لكن هذه القوى تكون أشد ما يمكن عند المحور الحيادي للعارضة حيث تعمل قطرياً عبر مادة العنصر.



الشكل 2.11 العوارض.

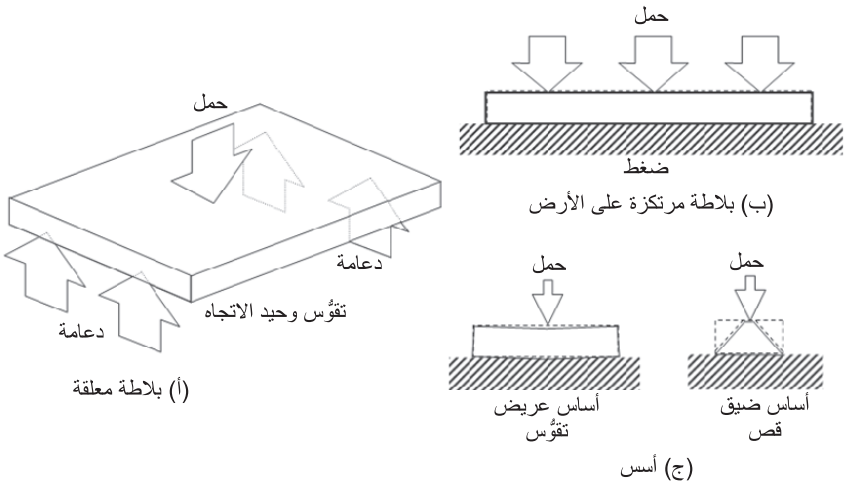
وتظهر في العمود والشَّداد والعارضة قوى ضغط وشد وتقوُّس مباشرة، على التتالي. أما العنصران الإنشائيان الرئيسيان الآخران، أي الجدار والبلاطة، فيمكن أن توجد فيها أنماط تحميل وتدعيم مختلفة تؤدي إلى مجموعات مختلفة من القوى الداخلية. ويُبيِّن الشكل 3.11 الجدار في حالة ضغط ناجم عن أحمال مطبَّقة عليه عبر المبنى، وفي حالة تقوُّس ناجم عن قوى أفقية مثل ضغط الريح، أو ضغط الأرض الجانبي في الأقبية. وتنجم أنماط القص في الجدار حين استعماله لتخميد مفعول التخلُّع (wracking or racking) الناجم عن قوة الريح وفقاً لما سوف نناقشه في ما بعد في هذا الفصل.



الشكل 3.11 الجدران وطرائق تحميلها.

وعلى نحو مشابه يمكن البلاطات أن تتعرض إلى قوى داخلية مختلفة تبعاً لتشكيلة الحمل والدعامة. يبيِّن الشكل 4.11 الفرق بين البلاطة المعلقة والبلاطة المرتكزة على الأرض. فالبلاطة المعلقة تتقوَّس. ويُري الشكل دعامات عند الحواف فقط، وهذا يعطي مجازاً وحيد الاتجاه (one way span)، إلا أنه يمكن حمل البلاطة عند الحواف الأربع، وهذا ما يعطي مجازاً ثنائي الاتجاه (two way span)، لتقليص المقاطع أو تحقيق مجازات أكبر. أما البلاطات المثبتة على الأرض، والتي تحمل أحمالاً متجانسة التوزُّع، فتتعرض للضغط من تلك الأحمال. وحين وضع البلاطات تحت الأعمدة والجدران بوصفها أسساً، فإن القوى التي تتعرض لها تعتمد على نسبة عمق الأساس إلى عرضه. فإذا كان الأساس عريضاً نسبياً، عملت

في نمط التقوُّس لأن الحمل المطبق من العمود أو الجدار ينتقل على نحو متجانس إلى الأرض. وعندما تصبح البلاطة ضيقة، فإن القوة الرئيسية التي تُطبق على الأساس هي قوة قص ثاقب.



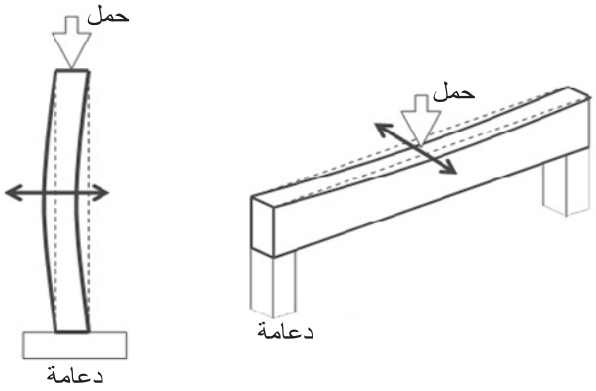
الشكل 4.11 البلاطة في حالات مختلفة.

التشوُّهات العرضانية

يظهر الشكلان 1.11 و2.11 قِصَر العمود واستطالة الشَّداد وانحراف العارضة بوصفها جميعاً تشوُّهات تنجم مباشرة عن تطبيق حمل ولها نفس اتجاهه. لكنها ليست التشوُّهات الوحيدة التي تحصل. فثمة تشوُّهات عرضانية يمكن أن تحصل في العناصر النحيفة عندما تتعرض إلى قوى ضاغطة. وتوصف بالعرضانية لأن العنصر يتقوَّس باتجاه يصنع زاوية قائمة مع اتجاه الحمل. والنحافة هي تابع لنسبة الارتفاع (الطول) إلى العرض، وهي تعتمد أيضاً على طريقة ربط العنصر مع بنية المبنى. في ما بعد سوف نشرح مفعول الربط.

وتبيِّن مشاهدات القوى الداخلية التي تنشأ في عناصر الأشكال من 1.11 حتى 4.11 أن مناطق الضغط تظهر في جميع أنواع العناصر باستثناء الشَّداد. يُضاف إلى ذلك أن بعض تلك العناصر لا يتقوَّس في اتجاه معامد لاتجاه الحمل. ومن خلال المشاهدات أيضاً، لعل أكثر عنصر ضغط نحيف هو العمود، أما مناطق الضغط الناجمة عن النحافة فهي تلك التي تنشأ في العارضات. ويُري الشكل 5.11

التشوُّهات العرضانية، المسماة تحنُّباً (buckling)، التي يمكن أن تحصل في الدعامات (الأعمدة أو مقاطع الجدران) والعارضات. ففي الأعمدة، يتجلى التحنُّب على شكل تقوُّس لأن كل المقطع معرض للضغط. أما في العارضات، فإن منطقة الضغط تتقوَّس، في حين أن منطقة الشد تبقى مستقيمة. وهذا يستحث مفعول فتل يسمى الفتل العزمي (torsion). ويُعرف مفعول التشوُّه العرضاني الكلي بالتحنُّب العزمي العرضاني.



(ب) تحنُّب عزمي عرضاني في عارضة (أ) تحنُّب عمود أو جدار

الشكل 5.11 تشوُّهات عرضانية.

لكن ما هو أقل وضوحاً هو التحنُّب المقترن بالقص. في المقاطع الشبكية الرقيقة ضمن العوارض، يمكن قوة الضغط القاصة الرئيسية المبينة في الشكل 2.11 أن تسبب تحنُّباً. وفي الجدران الرقيقة المعرضة للقص المبينة في الشكل 3.11، يحصل التحنُّب قطرياً مؤدياً إلى تقوُّس مشابه لذاك الذي يحصل في تحنُّب عمود.

من الضروري الانتباه إلى أن تشوُّه التحنُّب ليس كالتشوُّه الناجم عن التحميل المباشر، إلا أنه حينما يحصل، فإن العنصر الإنشائي يرى كلاً منهما، لأن مجموعتي القوى تتكوَّنان معاً. فمثلاً، في العمود الذي يعاني فعلاً من قوى ضاغطة، يُضيف التحنُّب تقوُّساً، مؤدياً إلى زيادة الضغط على أحد الجانبين، لكنه يقلِّص الضغط حيث تنشأ قوى شد مقوِّسة بسبب التحنُّب.

الأحمال اللامركزية

افترضنا في تعريفنا لأشكال التشوُّه والقوى الداخلية حتى الآن أن الأحمال

والدعامات تُطبَّق عند الخط المركزي (المحوري) للعنصر. تسمى هذه بالأحمال المحورية، وهي تعمل على طول محور العمود والشَّداد والعارضة والجدار. ومع أن من المرغوب فيه، من الناحية الاقتصادية ومن ناحية الكفاءة، أن تكون العناصر الإنشائية محمَّلة محورياً، إلا أن ذلك ليس ممكناً دائماً. تسمى الأحمال التي تعمل بعيداً من المحور بالأحمال اللامركزية، وتُعتبر اللامركزية مقياساً لمقدار بُعد تأثير الحمل من المحور.

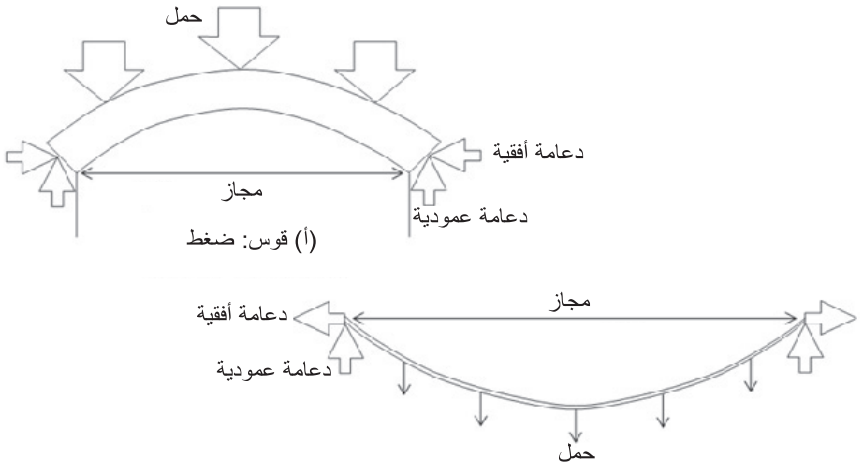
ويمكن أن يؤدي تطبيق الأحمال اللامركزية إلى انقلاب العنصر الإنشائي إذا كانت أبعاده ومثبتاته غير كافية لبقائه مستقراً. لكن بافتراض أن العنصر لا ينقلب، تولِّد اللامركزية شكلاً أكثر تشوُّهاً، ولذا تغيِّر توزُّع القوى الداخلية فيه، وتؤدي إلى التقوُّس في الأعمدة والجدران. وفي العوارض، إذا كانت النهايات مقيدة، كان المفعول تحنُّباً مشابهاً للتحنُّب العزمي العرضاني.

وعلى غرار التشوُّهات العرضانية، فإن التشوُّهات الإضافية الناجمة عن اللامركزية لا تحل محل مفاعيل التحميل المباشرة، بل تنضاف إليها. ولذا يكون مفعولها في العمود كذاك الذي وصفناه في حالة التحنُّب. فإضافة إلى الضغط الموجود أصلاً، تعمل قوى التقوُّس على زيادة الضغط على أحد الجانبين، وتعمل قوى الشد الناجمة عن التقوُّس على إرخاء بعض قوى الضغط على الجانب الآخر. ونظراً إلى أن اللامركزية تستحث مفعول ليٍّ، فسيكون ذلك هو الاتجاه الذي يحصل به التحنُّب، بافتراض أن العنصر يتصف بقيم النحافة نفسها في جميع الاتجاهات.

حني العناصر الإنشائية وطيّها

تتصف العناصر التي نوقشت حتى الآن بأنها مستقيمة أو مسطحة. أما العناصر المنحنية، فتوفِّر مزايا إنشائية تستحق الإشارة إليها، مع أن الحني يمكن أن يزيد من تكلفة التصنيع والتجميع. وتتجلى مزية الحني الإنشائية في عناصر المجازات. فلتكوين مقاومة كافية تعاكس تقوُّس عنصر المجاز، يجب أن يوجد بين مادتي الضغط والشد في العنصر، الناجمين عن مفعول التقوُّس المباشر (لا القص)، فاصل كافٍ لتكوين عزم المقاومة. وهذا يتطلب أن تكون العارضات والبلاطات سميكة في حالة المجازات الكبيرة. وإذا لم يُزَل جزء من المقطع الأصم للعنصر، ازداد وزنه، وانضافت الزيادة إلى الحمل الساكن الذي سوف تحمله العارضة أو البلاطة.

يمكن الحصول على مزايا الحني في كل من اتجاه امتداد المجاز، والاتجاهات المعامدة له، لكن لأسباب مختلفة. خُذ مثلاً العنصرين المبيَّنين في الشكل 6.11. تُعرف العناصر التي تُحنى على طول المجاز بالأقواس (arch) وكبال التعليق (suspension cable). وهنا تجب ملاحظة نقطتين هامتين. الأولى هي أن كلا النوعين يتطلب دعامتين، أفقية وعمودية، والثانية هي أن القوى الداخلية فيهما تصبح ضغطاً وشداً مستحثين على التوالي، لأنهما في المحصلة عارضة وشداد محنيين. وهذا يمكِّن من استعمال المواد والمكوِّنات القوية بطبيعتها تجاه الضغط أو الشد، لكن ليس كليهما، في أعمال البناء. حينئذ تقل كميات المواد المطلوبة وتزداد الخيارات المتوافرة. وتسمى البلاطات عند حنيها كالأقواس أو القناطر بالقواقع (shell)، وحيثما سُمح لها بالتعليق سُميت شبكات أو بنى نسيجية (خِيَم).



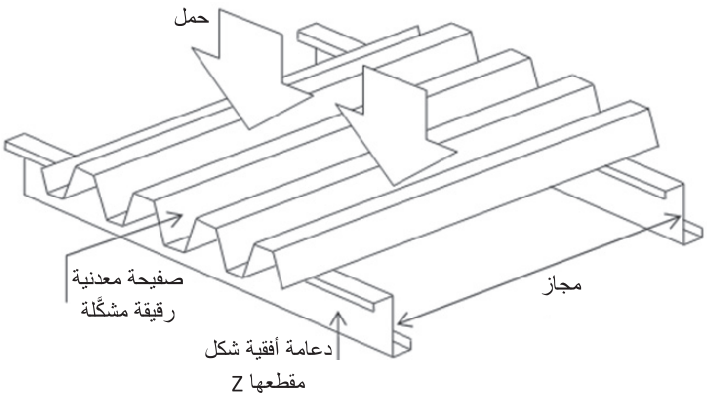
الشكل 6.11 بنى محنية على امتداد المجاز.

ويُعطي الحني والطَّي بزاوية قائمة مع امتداد المجاز مزية مختلفة. فهو يعطي العمق اللازم للعمل في حالة التقوُّس في المقاطع الرقيقة. وأكثر استعمالات هذه التقنية شيوعاً هي صفائح الأسقف المبيَّنة في الشكل 7.11. يمكن الصفائح الرقيقة المثنية أن تمتد مسافة كبيرة جداً مقارنة بحالة الصفائح المسطَّحة. لذا تكون كمية المادة المستعملة أقل، لكن تكاليف التصنيع لتشكيل الطي والحني والتحكُّم فيهما أكبر. ويكون الانحناء في هذا الاتجاه تقوساً أيضاً، لهذا طبعاً ثمة حاجة للارتكاز هما في الاتجاه المعامد للمجاز فقط.

الوصلات الإنشائية

في تحليلنا للعناصر الإنشائية الأساسية الخمسة المبينة في الأشكال من 1.11 حتى 4.11، ثمة افتراض ضمني عن طريقة وصل العنصر بالدعامة. فكل الأشكال المشوَّهة تنطوي على أن العنصر يمكن أن يدور إذا حصل فيه تقوُّس، وأن طوله يمكن أن يزداد أو ينقص بحرية استجابة لمفعول التحميل التشويهي. إلا أن حصول ذلك عملياً يعتمد على طريقة تنفيذ الوصلات.

ثمة مزايا لتقييد الحركات عند الوصلات، بخاصة الحركات الدورانية، وذلك لاستحثاث أشكال مشوَّهة مختلفة تعيد توزيع القوى الداخلية وتقلِّص مقاس العنصر. وهذا ما يزيد أحياناً من تكلفة التصنيع والتجميع، لكن زيادة تلك التكلفة تنعكس أيضاً تقليصاً لمقاس المقطع، [ومن ثَمَّ لكمية مادة العنصر].

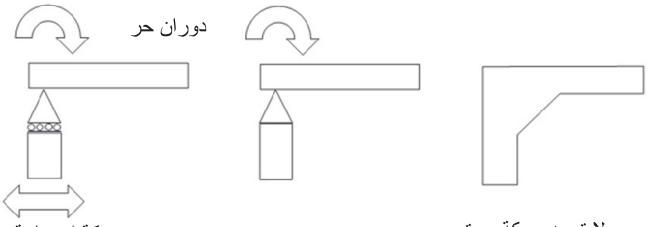


الشكل 7.11 حني أو طي باتجاه معامد للمجاز.

بغية فهم مفعول تقييد الحركة عند الوصلة في استقرار العنصر وشكله المشوَّه، لننظر في المفاعيل الصافية الثلاثة المبيَّنة في الشكل 8.11 التي رُسمت تخطيطياً باعتبارها وصلات إنشائية مثالية. طبعاً، غالباً ما يكون التنفيذ العملي للوصلات المثالية صعباً وعالي التكلفة. تسمح وصلة الدحرجة (roller joint) بكل من الدوران وبحرية الحركة في مواجهة تقلُّص المقاس أو استطالته. وتسمح الوصلة المفصلية (pin joint) (أو المفصل) بالدوران، ولا تسمح الوصلة الجاسئة (rigid joint) (أو الثابتة) بأي منهما.

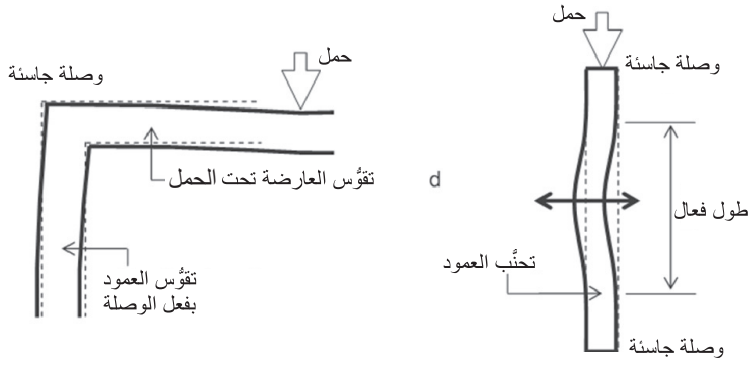
ويُبيِّن الشكل 9.11 مفعول الوصلة الجاسئة في حالتين جرى النظر فيهما

سابقاً. الأولى هي كون الوصلة جاسئة عند نهاية العارضة. حينئذ على الدعامة أن تعاكس فعل الدوران (أو العزم). إذا كانت الدعامة عموداً من دون قوةٍ موازنةٍ في الطرف الآخر، أي إذا لم يكن ثمة عارضة أخرى في الطرف الآخر على امتداد العارضة الأولى ذات تحميل وتثبيت مشابهين، حصل تقوُّس في العمود. في هذه الحالة، يُعاد توزُّع القوى الداخلية في العارضة وتقل قيمة القوة العظمى فيها، وتظهر قوى تقوُّس في الدعامة لا تظهر في حالة الوصلة المفصلية. وتظهر قوة شد في أعلى العارضة عند الدعامة، وتظهر قوة ضاغطة موازِنة في الأسفل. إن إعادة توزيع التقوُّس هذه على طول العارضة، التي يتقلَّص مقاسها، هي أساس الإطار البابي الذي يمكن أن يحقِّق مجازات طويلة على نحو اقتصادي، في حين أن العارضة ذات الارتكاز البسيط لا تستطيع ذلك.



(أ) وصلة دحرجة (ب) وصلة مفصلية (ج) وصلة جاسئة (عزم)

الشكل 8.11 أنواع الوصلات الإنشائية وأفعالها.



(أ) وصلة جاسئة بين عارضة وعمود (أ) عمود مع وصلتين جاسئتين

الشكل 9.11 مفاعيل الوصلة الجاسئة.

يبيِّن المثال الثاني في الشكل 9.11 مفعول تحنُّب العمود بسبب كون الوصلتين جاسئتين. فنظراً إلى أن معاكسة العزم تحصل عند نهايتي العمود، فإن طول العمود الفعال يتقلَّص، ولذا تقل قيمة نحافته. ويتحمَّل هذا العمود أحمالاً كبيرة قبل بدئه بالتحنُّب.

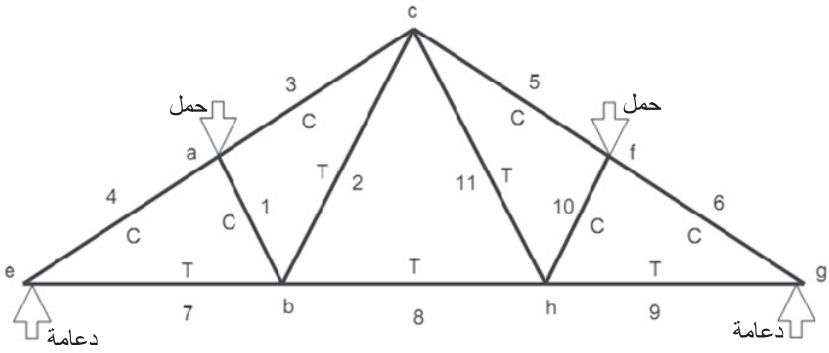
في عالم الواقع، تُصمَّم معظم الوصلات بحيث تكون سهلة التصنيع والتجميع بدلاً من أن تحقِّق أفضل سلوك إنشائي لها. فهي تحقِّق حريات الحركة تلك قليلاً أو كثيراً، لذا فإن عدم الاستقرار والتشوُّهات الحقيقية قد لا تكون تلك المفترَضة تماماً، بل يمكن أن تنشأ قوى داخلية مختلفة. إلا أن معظم الوصلات البسيطة تسلك سلوكاً قريباً من سلوك الوصلة المثالية (المفصلية عادة) من حيث افتراض أن استعمالها آمن عملياً. وإذا كان ثمة شك في درجة الثبات (تُعرف الوصلات حينئذ بالوصلات شبه الجاسئة)، وجب وضع تقدير لمفعولها بحيث يمكن حساب توزُّع القوى الداخلية ضمن عناصر أكثر واقعية. وإذا كانت الفائدة الإنشائية لجعل السلوك مثالياً يعوِّض عن تكاليف التصنيع والتجميع الإضافية، وجب اقتراح ما يضمن تحقيق السلوك المثالي.

العناصر الشبكية والأطر ذات الوصلات المفصلية

كانت جميع العناصر الإنشائية التي نظرنا فيها حتى الآن صلبة، أكانت مسطحة أم محنية. وكان الاهتمام بالثني على نحو متعامد مع المجاز لأنه يولِّد في العناصر المتقوِّسة قوى صافية (ضغط أو شد) ويقلِّص الحمل الساكن المتمثِّل بأوزان العارضات والبلاطات التي تُصمَّم لتحقيق مجازات أكبر. أما الأطر الهيكلية ذات الوصلات المفصلية فهي طريقة أخرى لتحقيق النهايات نفسها. وهذه فكرة خصبة جداً، فثمة أشكال كثيرة من هذا النوع من الأطر قيد الاستعمال، سواء المستوية (ذات السماكة الصغيرة كالعارضات) أو الثلاثية الأبعاد، مثل البلاطات المسطحة (شبكات ثنائية الطبقات) والمنحنية (شبكات وحيدة الطبقة كالقبب).

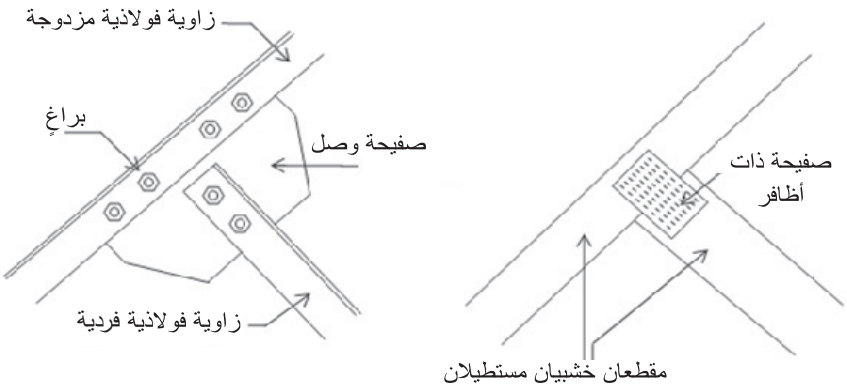
والجملون (truss)، المبيَّن في الشكل 10.11، هو واحد من أبسط أشكال الأطر الهيكلية ذات الوصلات المفصلية، وسوف نستعمله لإيضاح المبدأ. يُعتبر الجملون عنصر مجاز يُفترض أن جميع وصلاته مفصلية، وأن أحماله ودعاماته هي كتلك المبينة في الشكل. وبالنظر إلى عناصر الجملون واحداً تلو الآخر، من الممكن تحديد حِمل كل واحد منها وارتكازه لاستنتاج تشوُّه شكله. ينتقل الحمل

المطبق على العقدة a مباشرة إلى العنصر 1 الذي يرتكز على العقدة b. وهذا يقصِّر العنصر 1 لأنه في حالة ضغط. لذا يجب تصميمه على أنه عمود (لاحظ أن الحمل سوف يكون محورياً، وأن العنصر يمكن أن يتحنَّب). وتنتقل القوى من العقدة b إلى العنصر 2. لننظر الآن في مفعول ذلك في هذا العنصر. تنشأ قوة باتجاه الأسفل تجد مرتكَز لها في العقدة c. فيمتط العنصر 2 لأنه في حالة شد، ولذا يعمل بوصفه شداداً (لاحظ أنه لا يتحنَّب). وتضغط القوى عند العقدة c العنصرين 3 و5 معاً إلى الأسفل، على غرار ما يحصل في القوس تقريباً. ويولِّد ذلك قوى ضغط في هذين العنصرين تنتقل عبر العنصرين 4 و6 إلى العقدتين e وg، على التتالي. وهذا يولِّد حاجة إلى وجود قوة أفقية عند العقدتين e وg، وتوفِّر العناصر 7 و8 و9 تلك القوة لهاتين العقدتين. وتصبح جميع هذه العناصر شِدادات. وبالمنطق نفسه، يصبح العنصر 10 عموداً والعنصر 11 شداداً. وتُردُّ جميع القوى ضمن الإطار إما إلى قوى ضاغطة (عمود) أو قوى شد (شداد). وتري الدعامتان الآن حملين عموديين فقط بافتراض أن الوصلة بين الجملون والدعامتين هي وصلة مفصلية.



الشكل 10.11 جملون: إطار ذو وصلات مفصلية

يقوم هذا التحليل على افتراض أن الجملون يعمل بوصفه هيكلاً ذا وصلات مفصلية. إلا أن ثمة حاجة إلى وصلات تتصف بأنها عملية في الوقت نفسه الذي تُعتبر فيه من ناحية السلوك الإنشائي مفصلية. يبين الشكل 11.11 تنفيذين شائعين لوصلة فولاذ ووصلة خشب عند العقدة a. ويُري الشكل أن العنصرين 3 و4 هما في الواقع قطعة واحدة. إن الصلابة المنخفضة نسبياً لعنصري الوصلة في هذه الحالة تعني أن فرضية أن الوصلة مفصلية هي فرضية صحيحة.



(أ) عقدة جملون فولاذية (ب) عقدة جملون خشبية

الشكل 11.11 وصلتا جملون مفصليتان.

البنى الإنشائية ـ الاستقرار في مواجهة الريح

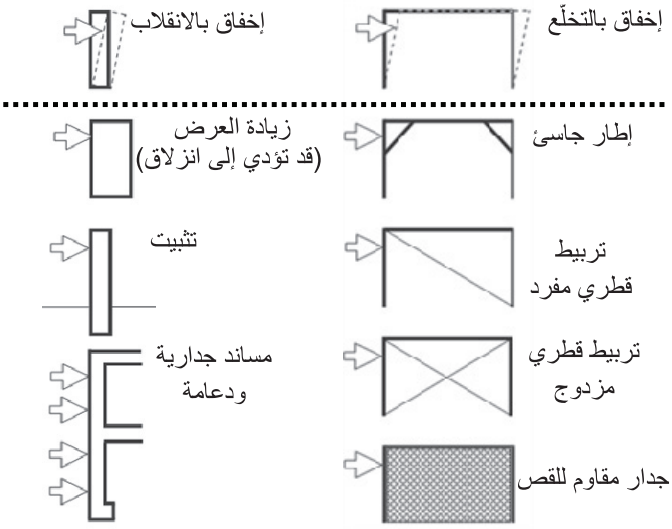
في استعراضنا للعناصر الإنشائية حتى الآن، كانت جميع القوى عمودية وناجمة عن أحمال ساكنة أو مفروضة من حيث المبدأ. وعرَّفنا مفاعيل القوى غير العمودية، وتلك المفاعيل لا تظهر إلا عندما تنقل العناصر أحمالها إلى عناصر أخرى حتى تصل إلى الأرض. لكن حين النظر إلى بنية مبنى بأسره قادرة على حمل تلك الأحمال العمودية، فإنها قد لا تكون مستقرة في مواجهة أحمال الريح. وفي الواقع لا يمكن النظر في مفاعيل أحمال الريح إلا بعد تحديد بنية المبنى برمته.

يمكن أحمالَ الريح أن تعمل عمودياً. وأحد جوانب الريح الهدامة لبنية المبنى الإنشائية هي قوى الرفع السالبة على الأسطح، حينما تزداد سرعة الريح في أثناء جريانها حول المبنى وفوقه. وعندما تغطي الأسطح أحيازاً مفتوحة واسعة، يمكن الريح دخول المبنى وأن تولِّد ضغطاً موجباً تحت السقف، فيزداد مفعول قوى الرفع. إلا أن مصدر القلق الرئيسي على أمان البنية الشاملة هو القوى الأفقية التي تضغط على جوانب المبنى. ويمكن تلك القوى أن تكون موجبة أو سالبة، وغالباً ما تكون موجبة عند أحد الطرفين وسالبة عند الآخر، مكوِّنة مفعولاً تضافرياً في الضغط على المبنى. وأحد الجوانب الأخرى للريح هي أنها يمكن أن تهب من اتجاهات أخرى أحياناً برغم أن ثمة اتجاهاً رئيسياً لها، ولذا يجب تصميم المبنى بحيث يتحمل الريح من جميع الاتجاهات.

ويُعتبر الاستقرار الشامل للمبنى إزاء الريح معيار تصميم رئيسي. قد تكون ثمة حاجة إلى عناصر إضافية لمنع الريح من جعل بنية المبنى تضطرب، وتلك العناصر مع وصلاتها توزِّع القوى عبر بنية المبنى الإنشائية وتنقلها بأمان إلى الأرض.

ومعظم المنظومات الإنشائية المستعملة في البناء هي جدران حاملة وبنى مؤطَّرة تشتمل، في ما تشتمل عليه، على معظم الأسقف الواسعة المجاز. أما أوجه عدم الاستقرار السائدة والإجراءات المتَّخذة للقضاء عليها فتختلف بين هاتين المنظومتين الإنشائيتين. لكنْ ثمة عدد محدود من طرائق تجاوز أنماط عدم الاستقرار الشامل تلك يمكن استعمالها منفردة أو مركَّبة، منها:

- زيادة الأبعاد (لمواجهة الانقلاب)
- تغيير نوع الوصلة (من مفصلية إلى ثابتة)
- توفير عناصر ارتكاز إضافية (عناصر استناد، أقواس... إلخ)
- تغيير الشكل (حني، طي...)



(أ) أساليب تحقيق استقرار الجدار (ب) أساليب تحقيق استقرار الأطر

الشكل 12.11 استقرار الجدران والأطر.

ويبيِّن الشكل 12.11 البدائل المستعملة في حالة الجدران والأطر. إن أهم شكل لعدم استقرار الجدران هو الانقلاب. لذا فإن زيادة عرض الجدار وتثبيته هما أكثر الخيارات استعمالاً للحفاظ على مقاومته للقوى الأفقية الناجمة عن ضغط الأرض (في حالة الأقبية مثلاً)، لا عن الريح. ولهما تطبيقات محدودة أيضاً في البنى الكبيرة في مواجهة الريح. ومن المرجَّح أن تكون الجدران فوق الأرض نحيفة، ولذا تعتمد على مساند جدارية (return wall) ودعامات إضافة إلى مفعول الجساءة في الأرضيات.

أما في الهياكل، فإن عدم الاستقرار يظهر على شكل تخلُّع. لذا يمكن للإطار أن يعتمد على الوصلات الجاسئة (وصلات العزم) بين العناصر الإنشائية، إلا أن هذا الخيار غالباً ما يكون غالياً. وفي حالة الأطر ذات الوصلات المفصلية، يمكن استعمال التربيط (bracing)، ومن الممكن استعمال عناصر إنشائية أخرى مثل الجدران الداخلية أو جدران بيوت المصاعد، والجدران المقاومة للقص (shear wall) (ممرات التوزيع المركزية)، أو الغطاء الخارجي المربَّط أو المقاوم للعزوم بواسطة عن البنية الإنشائية أو واجهة. وليس من الضروري تحقيق استقرار كل إطار، وإذا تحقَّق استقرار كافٍ في مقطع عمودي للأطر، فإن كامل البناء سوف يكون مستقراً. إن أعداد ومواضع هذه المقاطع المستقرة غير ثابتة، لكن البنية الإنشائية يجب أن تحتوي على مقطع واحد على الأقل في كل اتجاه كي تكون مستقرة، ومقطع واحد آخر على الأقل لمقاومة الانهيار الدوراني لكامل المبنى. وأحد أمثلة ذلك مبيَّن في الشكل 15.11، وسوف نُناقش الموضوع بمزيد من التفصيل في الفصل 25.

ومهما كانت أنواع العناصر الداعمة الإضافية المستعملة، تبقى عناصر لها وصلاتها وتشوُّهاتها وقواها الداخلية الخاصة بها. خُذ مثلاً التربيط القطري المفرد المبين في الشكل 12.11. فتبعاً لاتجاه الريح، يمكن عنصر التربيط أن يعمل بوصفه عموداً (يعمل بالضغط) أو شداداً (يعمل بالشد). لذا يجب تصميمه بوصفه عموداً، لكن نظراً إلى أنه نحيف، فإنه سوف يكون عرضة للتحنُّب. أما في تربيط الشد المتصالب، وفقاً لما ينطوي عليه اسمه، فيجب تصميم عنصر التربيط على شكل شدادين بحيث يكون شداد واحد فعالاً في أي وقت تبعاً لاتجاه الريح.

الإجهاد والانفعال واختيار المواد

تُمكِن دراسة مجموعة القوى الداخلية في العناصر الإنشائية من دون أي إشارة إلى مقاساتها وأشكالها وموادها. إلا أن فهم أشكال العناصر المشوَّهة ومقادير تشوُّهها، وقيم القوى الداخلية فيها وفي وصلاتها هي التي تعطي فكرة عن تصاميم الأشكال والمواد التي يمكن أن تكون ضمن المقاسات وعمليات التصنيع الاقتصادية.

وبغية المضي في التحليل، من الضروري اقتراح شكل ومقاس للعنصر الإنشائي. حينئذ يمكن القوى الداخلية أن تكون تابعة لمساحة مقطع العنصر العرضاني الذي تعمل من خلاله. ومن ذلك يمكن تحديد الإجهاد الذي سوف يتولَّد في المادة. ويتحدَّد الإجهاد بالقوى الداخلية المؤثِّرة في المساحة المذكورة التي تعطى بمقاس المقطع العرضاني للعنصر وشكله. وحتى الآن، كانت المقاطع العرضانية صماء، وفي العوارض، كانت مستطيلة الشكل، إلا أن توزُّع الإجهادات عبر المقطع يوحي بأنه يمكن استعمال مقطع له الشكل I أو شكل الصندوق. أي إنه يُستغنى عن المادة في المناطق المحيطة بالمحور الحيادي، وهذا يعني استعمال مواد أقل ومن ثَمَّ وزن أقل، إلا أن ذلك يغيِّر توزُّع الإجهادات عبر المقطع. أي إنه مهما كان شكل المقطع العرضاني فإن توزُّع الإجهاد يبقى مستقلاً عن المادة المختارة، فهو تابع لشكل العنصر وأبعاده فقط.

إلا أنه لا يمكن القيام باختيار المقاس والشكل من دون معرفة خواص المواد الإنشائية، وخاصة ذات الصلة بعلاقة الإجهاد بالانفعال، لكن ليس حصرياً. وقد أصبح من الممكن الآن طرح أسئلة عن الإخفاقين الأساسيين المقترنين بالأداء الإنشائي:

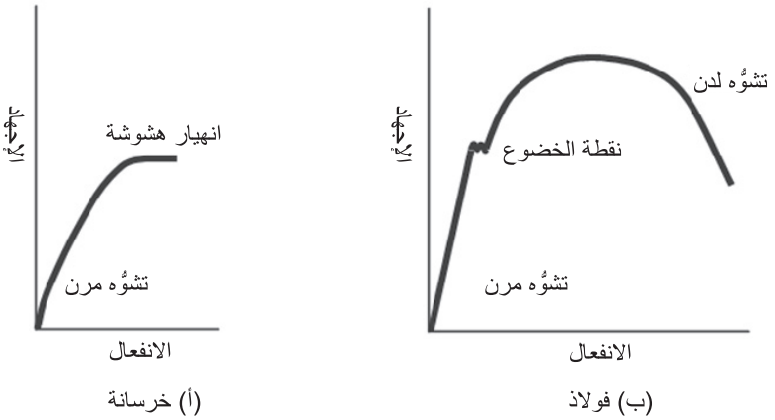
- هل سيحصل انهيار؟ يُعرَف هذا بمعيار الانهيار، وهو يتعلق مباشرة بخواص متانة المادة. ولتحقيق حل آمن، يجب أن يكون الإجهاد الذي تتحمَّله المادة أكبر من الإجهاد الذي تولِّده القوى الداخلية في منطقة المادة المقترحة.

- ما مقدار التشوُّه الذي يمكن أن يحصل؟ ويُعرف هذا بمعيار قابلية الأداء، وهو يتعلق بخواص الانفعال في المادة. ويجب أن يكون التشوُّه محدوداً بهدف الحفاظ على الاستقامة المرئية وضمان إنهاءات لا تتشقق أو تتساقط. ويجب ألاّ تنفعل البنية الإنشائية وتهتز حين تعرُّضها إلى حمل مفروض.

وفي الواقع ليس السؤال البسيط عن إمكان حصول الانهيار كافياً للتعبير عن تحقيق معيار الانهيار. فمن أجل الحد من مخاطر الانهيار حين تصميم بنية اقتصادية، قد يكون من الأدق طرح السؤال: ما احتمال الانهيار ضمن ظروف التشغيل الواقعية؟ لذا يجب أن يحتوي التصميم على عامل أمان، ويجب أن يكون هذا العامل أكبر كلما كان التصميم أكثر حساسية لتغيُّرات التحميل وخواص المواد. أما كيفية أخذ ذلك في الحسبان فتعتمد على نهج التصميم المتَّبع، وهذا خارج نطاق اهتمام هذا الكتاب.

وفي ما يخص المواد إفرادياً، ثمة علاقة بين الإجهاد الحاصل فيها ومقدار الانفعال الذي يؤدي إليه، وتبقى تلك العلاقة خطية حتى نقطة تُعرَف بالقيمة e. وتلك العلاقة مبيَّنة بمنحنيَيْ الإجهاد والانفعال في الشكل 13.11 الخاصين بالخرسانة والفولاذ. تحدِّد علاقة الإجهاد والانفعال جساءة المادة، أي مقدار انفعالها مع زيادة الإجهاد، وهي تعبِّر عن مقدرة بعض المواد على تحقيق المزايا الإنشائية الكاملة. فقد يكون من غير الممكن إخضاع بعض المواد في أثناء العمل إلى كامل قيمة إجهادها الاسمية من دون أن يؤدي الانفعال الناجم عن ذلك إلى تشوُّهات شديدة. وعموما، تُصنع بنى المباني من مواد جاسئة نسبياً مثل الحجر والخشب والخرسانة والفولاذ.

وثمة سؤال هام آخر يخص معيار الانهيار. ليس "متى سوف يحصل الانهيار؟" بل "كيف سوف يحصل؟". وهذه خاصية أخرى لعلاقة الإجهاد والانفعال في المادة يمكن استنتاجها من الشكل 13.11. إنها تتمثَّل بالتمييز بين الانهيار بالهشوشة والانهيار اللدن. ويُري منحني الخرسانة أن الانهيار فجائي: تنهار الخرسانة من دون أي إنذار مرئي، لأنها مادة هشة. ويُري منحني الفولاذ أنه بعد قيمة معينة للإجهاد، تُعرَف بنقطة الخضوع (yield point)، يصبح معدَّل التشوُّه أكبر كثيراً مع زيادة الإجهاد، ويظهر مؤشر مرئي يدل على الانهيار الذي يوصف بأنه تشوُّه لدن (plastic deformation). والخاصية الثانية هي أن رفع الحمل بعد المرور عبر نقطة الخضوع لن يعيد المادة إلى شكلها الأصلي. وفي مقابل التشوُّه اللدن، ثمة ما يُعرف بالتشوُّه المرن (elastic deformation)، وفيه تعود المادة إلى شكلها الأصلي بعد رفع الحمل عنها.



الشكل 13.11 منحنيا الإجهاد والانفعال

وبعد معرفة العلاقة بين الإجهاد والانفعال في المادة، يمكن تقييم الشكل والمقاس وخواص المواد المقترحة لكل عنصر لضمان أن الإجهادات التي تولِّدها القوى المطبقة على العناصر لا تزيد على ما تستطيع تحمُّله وأن الانفعالات الناجمة عن الإجهادات لا تؤدي إلى تشوُّهات غير مقبولة.

تُعتبر عملية التدقيق هذه في شكل ومقاس العنصر المقترحين من ناحية الإجهادات وخواص المواد أساساً للتحليل والتصميم الإنشائيين.

التحليل والتصميم الإنشائيان

بعد استعراض أنماط التحميل واقتراح منظومة من العناصر والوصلات الإنشائية المستقرة بطبيعتها، من الممكن تحديد السلوك الإنشائي لكل عنصر ووصلة مع أنماط القوى التي تنشأ في كل منها. وبمعرفة السلوك المتوقَّع للبنية الإنشائية والمواد بوجود الإجهاد، من الممكن اقتراح أشكال ومقاسات المقاطع العرضانية والمواد الملائمة لتلك البنية وتفاصيل تنفيذها.

ومن الضروري تقييم أداء تلك المقترحات لمعرفة صلاحيتها لتوفير المتانة الكافية ضمن الحدود المسموح بها من التشوُّه من دون أن تنهار. ويمكن وضع المقترحات الأولية عادة بناء على خبرة سابقة في مجال التشييد، وعلى فهم لنظرية الإنشاءات وطرائق التصميم. وتعزِّز نظريات الميكانيك ومقاومة المواد ًالمعرفة الهندسية. وتُستعمل تلك النظريات لوضع علاقات رياضية تتنبَّأ بالقوى والإجهادات

وسلوك المواد بدقة كافية للوثوق بها في عملية التصميم. إلا أنها يجب أن تستند إلى مقدرة أولية على تصوُّر سلوك البنية والمواد ذات الصلة بها. إذا لم يتخيَّل المهندس السلوك ويشك بأن ذلك السلوك قد يؤدي إلى الإخفاق، فإن الحسابات اللازمة للتدقيق في التصميم قد لا تُجرى. وكثير من الإخفاقات الإنشائية تُعزى إلى هذا الخطأ في إصدار الأحكام.

وبعدما يُصبح سلوك العناصر الإنشائية الثابتة مفهوماً ويجري تحديد أنماط إخفاقها الممكنة، تبدأ عملية التحليل الإنشائي المتمثلة بحساب مقادير وتوزُّعات القوى الداخلية المستحثة في العناصر الإنشائية. ويحصل اختيار وتقييم أشكال ومقاسات ومواد العناصر، التي تعاكس تلك القوى بنجاح للحد من التشوُّه وانعدام الاستقرار المحلي والمقدرة على التحميل، في ما يسمى بعملية التصميم الإنشائي. ويتضمن التصميم أيضاً تفاصيل تنفيذ العناصر والوصلات لضمان تحقيق السلوك المفترض في التحليل.

الحركة والسلوك الإنشائي

افترضنا في التحليل حتى الآن أن الحركات أو التغيُّرات الوحيدة في الأشكال والأبعاد الأصلية هي التشوُّهات التي تحصل في العناصر المحمَّلة. وافترضنا أيضاً أن ذلك يمكن أن يحصل بحرية من دون أي إعاقة من أجزاء أخرى من المبنى، غير الوصلات في ما بينها. أما في الواقع، فسوف تكون ثمة حركات أخرى تنجم عن تغيُّرات في الظروف الطبيعية تتجلى في تغيُّرات درجة حرارة المواد ومحتواها من الرطوبة. لا تغيِّر تلك الحركات أبعاد العناصر الإنشائية نفسها فحسب، بل يمكن أن تؤثِّر في جميع الأجزاء الأخرى من المبنى تبعاً لتفاصيل تنفيذ الوصلات والمثبتات.

وحينما تحصل الحركات، فإنها يمكن أن تؤثِّر في المنظومة الإنشائية بواحدة أو أكثر من الطرائق التالية:

- تؤدي إعاقة تَغيُّر الأبعاد إلى تغيير مقادير وتوزُّعات القوى الداخلية ضمن العنصر نفسه.
- إذا كان على العنصر نفسه منع تأثير تغيُّرات أبعاده تلك في الأجزاء الأخرى من المبنى، فإنها سوف تعمل بوصفها أحمالاً إضافية مطبَّقة عليه، ولذا تغيِّر مقادير وتوزُّعات القوى الداخلية فيه.

- إذا أدت الحركات في أمكنة أخرى من البناء (الحركات الأرضية على الأرجح) إلى تغيُّر في مواضع بعض الدعامات في المنظومة، أمكن أن تحصل إعادة توزيع كبيرة للقوى الداخلية (تتحدد غالباً بسلوك الوصلات، لا العناصر).

يجب بذل كل المساعي للتنبُّؤ بهذه الحركات ووضع تفاصيل الوصلات والروابط بحيث تسمح بالحركة الحرة. وإذا لم يكن ذلك ممكناً وجب اعتبار مفاعيل تلك القوى أحمالاً وإجهادات إضافية.

ومن التعقيدات الأخرى أن بعض المواد، ومنها الخرسانة، تستمر بالتشوُّه مع الزمن برغم بقاء الحمل ثابتاً. وتعني هذه الظاهرة، المعروفة بالزحف (creep)، أن مفاعيل تغيُّرات الأبعاد تلك يمكن أن تحصل في وقت ما من المستقبل مؤدية إلى انهيار المبنى في وقت ما بعد إشغاله. وهناك تحليل أشمل لهذه الحركات في الفصل 12.

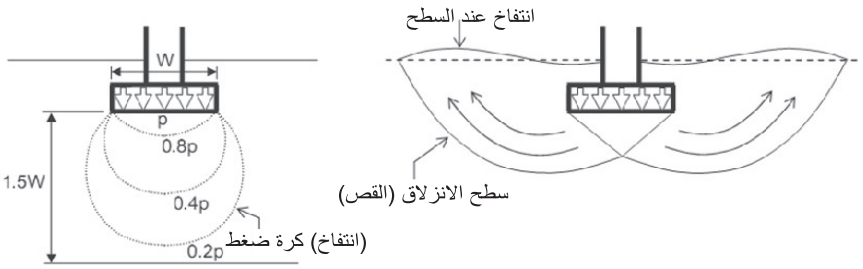
ومن أنواع الحركة الهامة التي يجب أن تُؤخذ في الحسبان في تصميم بنية المبنى الهبوط التفاضلي (differential settlement) في أسسه وقابلية بنيته للحركة مع ذلك الهبوط من دون حدوث مفاعيل خطيرة. إن كل تصميم شامل لبنية كبرى (مع العناصر والمواد والوصلات) يجب أن يتصف بمرونة تحدِّد مقدار الهبوط التفاضلي الذي يمكن استيعابه بين دعامات الأسس المتجاورة من دون حصول إخفاق، وهذا معيار أداء مفتاحي لتصميم الأسس.

الإجهادات في الأرض

اقتصر التحليل الذي أُجري حتى الآن على تحقيق تشكيلة مستقرة من العناصر الإنشائية، وذلك من خلال اقتراح شكل وأبعاد ومواد العناصر، ثم التدقيق في أن مقاومتها الداخلية كافية لحمل الأحمال بأمان من دون تشوُّه أو انهيار أي جزء من المنظومة الإنشائية. والأرض التي يُقام عليها المبنى هي جزء أيضاً من المنظومة الإنشائية، لكن لا يمكن النظر إليها بهذه الطريقة، مع أنه يجب التدقيق في استقرارها (عدم هبوطها) وتشوُّهها وانهيارها. وخلافاً لأي من العناصر الإنشائية التي ناقشناها سابقاً، لا يمكن تحديد مواصفات الأرض، بل يجب تحرِّيها.

والغرض من التحرِّي هو إيجاد المعلومات اللازمة لفحص مقدرة الأرض على تحمُّل الأثقال من دون حدوث هبوط مفرط أو انهيار فيها. إلا أنه من غير الممكن

تحديد إطار التحرِّي أو نوع المعلومات المطلوبة من دون تكوين فكرة عن أنماط القوى التي تجب معاكستها إذا أردنا درء إخفاق التربة. ومن هذه الناحية، هذه هي نفس العملية المتبَّعة مع كل العناصر الإنشائية، إلا أن تحديد السلوك يستوجب هنا تحديد شكل المنطقة المضغوطة. وهذا مختلف كلياً عن حالة العناصر الإنشائية التي نظرنا فيها حتى الآن، لأنه لا توجد الآن حدود أو حواف واضحة للتربة كتلك الموجودة في العناصر الإنشائية.



(أ) إجهاد ضاغط في التربة يؤدي إلى هبوط
p= ضغط

(ب) إجهاد قص في التربة يؤدي إلى انهيار

الشكل 14.11 إجهاد في الأرض ناجم عن تحميل الأسس.

يُساعد المخططان المبينان في الشكل 14.11 على توضيح طريقة انضغاط التربة وشرح كل من تشوُّهها (هبوطها) وسلوكها الانهياري تحت وطأة الأسس الحاملة. ولتوضيح الهبوط، يعطي المخطط الذي يُري كرات [انتفاخات] الضغط (الشكل 14.11 ـ أ) فكرة عن تكوُّن الإجهادات في التربة. وهذا يُري مقدار التربة الذي سوف يحصل فيه انفعال، ومنه يمكن التنبُّؤ بالهبوط.

ثمة تصنيف بسيط للتربة: متماسكة (صلصالات عموماً) وغير متماسكة (رمال وحصى عموماً). وهذا التصنيف مفيد حين التفكير بسلوك الأرض. وأحد الفروق السلوكية بين الصنفين المدة التي تنقضي حتى حدوث الهبوطات النهائية فيها. في التربة غير المتماسكة، يحصل الهبوط فور تطبيق الحمل. أما التربة المتماسكة فتستغرق سنوات، وغالباً للوصول إلى الهبوط النهائي، ولذا يجب استقصاء هذا السلوك التابع للزمن لتحقيق تصميم آمن.

تُوضِّح إخفاقات الانهيار المشاهدة في التربة كيفية تكوُّن سطح قص فيها يصل إلى سطح الأرض على مسافة من الأساس. ويُري الشكل 14.11 ـ ب سطحَيْ

انزلاق متناظرين. لكن عملياً، يكفي تكوُّن سطح واحد فقط لحصول الانهيار، حيث يدور الأساس مع سطح الانزلاق الوحيد الجانب. وتشير مقارنة المخططين، مخطط كرات الضغط ومخطط سطوح القص، إلى حجم التربة المعرَّض للانهيار وأنه ليس كحجم التربة المعرَّض للهبوط. ويبيِّن المخططان معاً حجم الاستقصاء ونوع المعلومات اللازمين للتنبُّؤ بسلوك التربة. إن تحديد العلاقة بين الإجهاد والانفعال (أي بين الحمل والهبوط) ضروري للتنبُّؤ بالهبوط، وتجب معرفة مقاومة التربة للقص للتنبُّؤ بالانهيار. ويمكن تحديد تلك الأشياء بالفحوص المخبرية لعينات تُؤخذ من التربة في أثناء استقصائها أو بفحوص في الموقع نفسها لعينات من الأرض الخام قبل القيام بأي أعمال فيها.

لكن تلك الحدود المباشرة لمدى واتساع استقصاء الهبوط والانهيار قد تغفل عن نمط الإخفاق الثالث، أي الاضطراب أو انعدام الاستقرار العام بسبب الانخساف (subsidence). يمكن للانخساف أن يؤدي إلى حركة كتلة من التربة تُزيل الدعامة التي توفِّرها الأرض المضغوطة بأحمال الأسس. ويمكن له أن يكون من منشأ جيولوجي، وأن يترافق مع انزلاق أرضي أو فجوات سطحية، أو أن يكون صنعياً من مخلفات مناجم أو إنشاءات مدنية. يجب استقصاء ذلك أيضاً، إلا أن الإطار الواسع لمنطقة الاستقصاء ونوع المعلومات اللازمة قد يقتضيان إجراء دراسة مكتبية تاريخية وجغرافية أو مسح طوبوغرافي للمنطقة. وقد يُبرِز ذلك الحاجة إلى تحرٍّ مادي أوسع للمنطقة.

ومن الاضطرابات الأخرى التي تحصل في الأسس، والتي لا صلة لها بالإجهاد المباشر في التربة، هو تغيُّر حجمها الناجم عن تغيُّرات بيئية في الأرض. فتغيُّر محتوى الصلصال من الرطوبة يمكن أن يغيِّر كثيراً من حجم التربة. في هذه الصلصالات القابلة للانكماش، يجب أن توضع الأسس تحت المنسوب الذي ينطوي على أي خطورة من تغيُّر الرطوبة، وإلاّ أمكن الأسس أن تهبط (أو ترتفع) مستقلة عن الإجهاد في التربة الناجم عن أحمال المبنى. وتضخُّم الجليد هو تغيُّر بيئي آخر يؤدي إلى تغيُّر في حجم التربة. ومن أنواع التربة المعرَّضة إلى الحركة في هذه الظروف، الطمي وحجر الجير الطري (الطباشير أو كربونات الكالسيوم) والرمل الطميي الدقيق وبعض الصلصالات القليلة اللدانة. ثمة مناقشة أكثر تفصيلاً لحركة الأرض في الفصل 12.

وتولِّد حركات الأرض الأخرى، مثل الزلازل، إجهادات في التربة وتغيِّر من

خواصها، مؤدية إلى ظهور قوى جديدة تطبَّق على المبنى، لكن ذلك بعيد من مقاصد هذا الكتاب.

الصيغ الإنشائية الرئيسية

من الممكن العودة الآن إلى الصيغ الإنشائية الرئيسية الثلاث التي قدمناها في الفصل 3، ورؤية أنواع العناصر والمواد التي يمكن استعمالها اقتصادياً لتشييد مبانٍ ذات أشكال ومقاسات متنوعة لأغراض مختلفة.

الجدران الحاملة

من الواضح أن البنى القائمة على الجدران الحاملة تستعمل تلك الجدران دعامات لها. وفي الماضي، كانت هذه هي الصيغة الإنشائية الرئيسية المستعملة لتشييد المنازل والمباني الضخمة ذات الأحمال الكبيرة والمجازات الواسعة نسبياً، لكن ذلك تطلَّب جدراناً سميكة أدت إلى زيادة الأحمال الساكنة وإلى الحد من أشكال البنيان العمرانية. وكانت تُبنى الجدران من قطع حجرية أو لبنات آجرية، أو من الخشب الذي استُعمل أصلاً لتأطير الجدار بكامله، وفي الآونة الأخيرة، لتأطير لوحات تُستعمل بوصفها جدراناً متغيرة الأبعاد. ووفرت التطورات في مواد، مثل الخرسانة والفولاذ، خيارات أخرى للهياكل الإنشائية، والأسقف الواسعة المجاز في تلك المباني، إضافة إلى خيارات أخرى من البنى الحاملة. وتُستعمل هذه البنى على أوسع نطاق في الحالات التي تقتصر فيها مجازات الأرضيات على 4 أو 5 أمتار. وهذا يقلِّص الأحمال ويعطي جدراناً رقيقة نسبياً حتى في حالة المباني العالية. وحيثما وجب على المبنى أن يوفِّر أمكنة داخلية صغيرة نسبياً على نحو متكرر في جميع الطوابق بحيث يمكن الجدرانَ أن تكون مستمرة حتى الأرض، يكون الجدار الحامل هو أيضاً الخيار. وذلك صحيح خاصة إذا كان المطلوب أن تكون الجدران عازلة صوتياً أو مقاومة للنار، وهذا ما يؤدي إلى بنية جيدة للتحميل أيضاً.

وقد وفَّرت المواد الحديثة منتجات أمتن وذات جودة أفضل مكَّنت من تشييد مبانٍ مؤلفة من 18 حتى 20 طابقاً، لكن فقط حيثما يوجد كثير من الجدران الداخلية والخارجية المتاحة للتحميل. ومن الأمثلة الشائعة لتلك المباني الفنادق ومساكن الطلبة. وإذا سمحت التشكيلة الداخلية، أمكن النظر في إشادة محلات

تجارية منخفضة الارتفاع مع مجازات طابقية واسعة لتكون جزءاً من البنية الحاملة.

أما أرضيات المباني التجارية والعالية فمن الممكن أن تكون بلاطات خرسانية، برغم أن أرضية العارضات الصغيرة (عارضات صغيرة متقاربة المراكز) والألواح الخشبية تمثِّل الحل الاقتصادي عندما تكون متطلبات العزل الصوتي ومنع الحريق أقل، بافتراض أن المجازات الداخلية محدودة في المنازل المنفردة. أما السقف فيمكن أن يتألف من عوارض خشبية مائلة (إطار ذو وصلات مفصلية) في المباني غير العالية.

وإذا كانت الطبيعة الخلوية لتشكيلة الغرف الداخلية تتطلب جدراناً في اتجاهين متعامدين، كانت البنية الناتجة مستقرة بطبيعتها في مواجهة قوى الريح. لكن إذا كانت أكثرية الجدران الحاملة متوافرة في اتجاه واحد فقط، كان المبنى غير مستقر في الاتجاه الآخر، ووجب استعمال بعض عناصر الاستقرار الأخرى. ويمكن تلك العناصر أن تتوافر على شكل أعمدة داخلية في بيت الدرج، أو مساند جدارية قصيرة في مقدمة وخلفية المبنى عند نهايات الجدران لتمتين المبنى في الاتجاه الضعيف. أما في الأماكن التي تُستعمل فيها جدران حاملة رئيسية بالاتجاهين، فيوصف المبنى بأنه بنية ذات جدران مستعرضة أو أطر هيكلية صندوقية، وهي بنية تسمح باختيار واجهات وخلفيات للمبنى متنوعة.

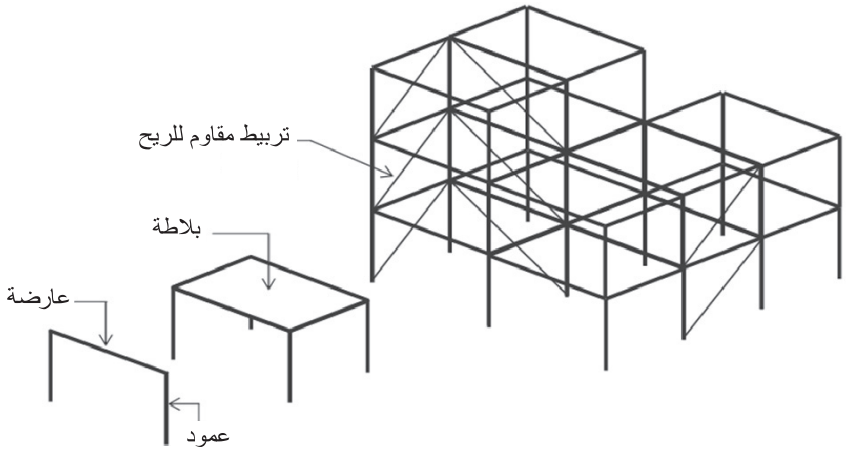
ويمكن تشييد مبانٍ صناعية وحيدة الطابق ذات أسقف واسعة المجاز باستعمال جدران حاملة من الحجر والخرسانة. وثمة مناقشة لهذه المباني، إضافة إلى الحلول الممكنة للبنى الحاملة العالية، في الفصل 27.

البنى ذات الأطر الهيكلية الإنشائية

مكَّن تطوير مادتي الخرسانة والفولاذ الإنشائيتين من تصميم عناصر إنشائية قادرة على تحمُّل الإجهادات، خاصة العارضات والبلاطات التي تمثِّل اثنين من العناصر الرئيسية في الأطر الإنشائية. يتصف الفولاذ بمتانة عالية في كل من حالتي الضغط والشد، إلا أنه غالٍ، ولذا، وبغية صنع مقاطع متينة اقتصادية منه، يجب أن تتَّخذ مقاطعها العرضانية الشكل I. أما الخرسانة، التي تفتقر إلى مقاومة الشد، فتتصف بمقاومة ضغط عالية كافية لصنع تركيب منها ومن الفولاذ لمقاومة قوى الشد، وهذا ما يعطي عناصر الخرسانة المسلحة. ويعتمد نجاح الخرسانة المسلحة على أكثر من مجرد خواص المقاومة النسبية للفولاذ والخرسانة. فخواص الانفعال

بسبب التمدد الحراري، إضافة إلى التكلفة غير العالية، يمثلان عاملين مكملين لخواص المتانة أيضاً. ويوفِّر انكماش الخرسانة في أثناء تصلُّدها، إضافة إلى وجود النتوءات على محيط قضبان فولاذ الخرسانة العالية التسليح، الالتصاق الضروري لكي تعمل المادتان بوصفهما مركَّباً واحداً.

ومكَّنت المواد ذات مقاومة الشد العالية التي طُوِّرت حديثاً من وضع أحمال عمودية على عوارض ذات مقاطع عرضانية صغيرة، فأمكن بذلك الاستعاضة عن الجدران بأعمدة، وأمكن تشكيل الصيغة الأساسية للأطر المبينة في الشكل 15.11 على نحو وفَّر مساحات داخلية أوسع، إضافة إلى ارتفاعات أعلى، وذلك من خلال التخلُّص من سماكات المواد الزائدة التي اختفت مع مقاومتها المحدودة. والبلاطات الأرضية هي المكوِّن الرئيسي الثالث للإطار. تُصنع هذه البلاطات من الخرسانة المسلحة في جميع أنحاء العالم تقريباً، وهي تُستعمل في أطر الفولاذ الإنشائية أيضاً، بعدد من الأشكال التي يمكن أن تكون مسبقة الصنع أو تُصب محلياً في الموقع. وهذا يعطي مجموعة من الخيارات تغطي مجازات في ما بين 3 و12 متراً، إلا أن تكلفتها تتحدَّد باعتبارها جزءاً من تشكيلة الإطار برمته.



الشكل 15.11 العناصر والتشكيلات الأساسية في الأطر الإنشائية.

ليس من الاقتصادي عادة استعمال أعمدة تفصل بينها مسافات تقل عن 6 أمتار أو تزيد على 12 متراً. وذلك مرتبط بالبلاطة المختارة. هذا يعني، على سبيل المثال، استعمال عوارض ثانوية لبلاطة مجازها وحيد الاتجاه ويساوي 3 أمتار، أو شبكة أعمدة تفصل بينها مسافات تصل حتى 12 × 12 متراً في حالة بلاطة ثنائية

الأبعاد ذات ضلوع سفلية. وأدى تطوير البلاطات أيضاً إلى صنع أطر خرسانة مسلحة من دون عوارض حيث تتكوَّن الأرضيات المسطحة من بلاطات تنقل حملها إلى الأعمدة مباشرة. وهذا يولِّد إجهادات قص ثاقب شديدة حول العمود. ويمكن هذه الأرضيات، حين تحميلها بحمولة مكتبية، أن تمتد حتى 9 أمتار بعمق نحو 350 مم في خرسانة مسلحة، أو حتى مجازات أكبر (أو أعماق أقل) إذا استُعمل الإجهاد المسبق (prestressing). وينجم انخفاض تكلفة البلاطات المسطحة عن بساطة منظومة قوالب صب (formwork) الخرسانة والمساعِدات المؤقتة (falsework) (السقالات وما شابهها) المستعملة في صبها، والتي تمثل تكاليفها نسبة كبيرة من تكلفة بنى الخرسانة المسلحة.

وتمثِّل عناصر الاستقرار في مواجهة الريح العنصر الإنشائي الرئيسي الآخر من الإطار الإنشائي. ولعل الجدران المقاومة للقص هي الخيار الطبيعي لأطر الخرسانة المسلحة التي تُصب في الموقع. ويمكن استعمال تربيط الضغط أو الشد المتصالب مع الفولاذ أو أطر الخرسانة المسبقة الصنع، وإنْ كانت النوى الخرسانية بديلاً ملائماً على الأغلب، تبعاً لتشكيلة المبنى.

ولم يعُد الهيكل الإنشائي يحتاج إلى جدران خارجية لحمل الأحمال الساكنة والمفروضة التي في المبنى، لكنه يحتاج إليها لنقل أحمال الريح إلى البنية. وسمح هذا بتنوع كبير في مواد الواجهات المستعملة للتعبير عن طيف من الصيغ البنيانية والعمرانية.

بنى الأسقف الواسعة المجاز

يتميَّز بعض المباني بالحاجة إلى سقف يغطي منطقة واسعة بقليل من العوائق، وحتى الأعمدة. وتُستعمل هذه الصيغة اليوم، التي طُوِّرت أصلاً للمستودعات والمعامل، لمحلات البيع بالتجزئة والمنشآت الرياضية والسياحية. ومع أن استعمالها أكثر انتشاراً في تغطية الطوابق الأرضية، فإنه يمكن استعمالها أيضاً لصنع أسقف فوق طوابق عليا لتكوين قاعات، مثل قاعات المسافرين في المطارات، حيث تستخدم الطوابق السفلى لأنشطة أخرى تتناسب مع الإطار البنيوي للمبنى.

صحيحٌ أن مجازات الأسقف الواسعة تصل غالباً إلى 35 متراً أو أكثر، إلا أن الأطر المستوية البسيطة، وحتى بعض الهياكل الثلاثية الأبعاد، يمكن أن تُستعمل مع مجازات أصغر كثيراً بتكلفة منخفضة. توصف الهياكل المستعملة لمجازات

تصل حتى 15 متراً بأنها قصيرة، في حين أن تلك التي تُستعمل لمجازات بين 15 و 35 متراً توصف بأنها متوسطة. لم يلقَ هذا التصنيف قبولاً على نطاق واسع، مع أنه يعطي فكرة عن تكاليف النوعين.

وفي حين أن الأسقف الواسعة المجاز تقوم على الأطر (على شكل بنية منحنية محمولة على أعمدة)، شأنها شأن البنى الهيكلية الأخرى، فقد جرى تطوير صيغ منها واسعة التنوُّع. وكثير منها عالي التكلفة، إلا أنها تكتسب أهميتها من الأشكال الرائعة التي يمكن أن تعطيها للمجازات المتوسطة حتى الكبيرة، وهي غالباً ما تُترك مكشوفة بوصفها جزءاً من تصميم البنيان العمراني.

أما أبسطها وأقلها تكلفة عموماً فهو الإطار المستوي (الوحيد البعد). وثمة الآن صيغتان شائعتان منه: الإطار ذو الوصلات المفصلية، ومن أمثلته الجملونات والجسور المحمولة على أعمدة، أو أطر العزم (الأطر البابية)، حيث توزِّع الوصلات الثابتة عزوم التقوُّس على الأعمدة معطية سماكات عوارض اقتصادية حتى على المجازات الطويلة. أما الجملون المثلَّثي الشكل المستعمل لبناء الأسقف المائلة (pitched roof) فلا يُستعمل عادة إلا للمجازات القصيرة، في حين أنه يمكن استعمال كل من الجسور والأقواس البابية لمجازات طويلة تصل حتى 100 متر حين الحاجة، مع أن المجازات التي هي أقصر أقل تكلفة.

وتعتمد المسافات الفاصلة بين الأطر على المقدرة على توفير عوارض وسِكَك تثبيت ألواح السقف (انظر الشكل 7.11). وتصبح الأطر المنفردة أعلى تكلفة على المجازات الطويلة، ولذا فإن توضيعها على مسافات أكبر في ما بينها يمكن أن يقلِّص تكلفتها، إلا أن العوارض وسكك التثبيت تصبح أعلى تكلفة. وفي حالة المجازات القصيرة، وحتى المتوسطة، يمكن استعمال فواصل بين الأطر من 4 حتى 8 أمتار مع عوارض أفقية ذات مقطع Z مدرفلة على البارد وسكك تثبيت. وفي حالة المجازات الطويلة، يمكن مسافات فاصلة بين الأطر تساوي من 8 حتى 12 متراً، مع عوارض وسكك تثبيت خفيفة، أن تكون أقل تكلفة.

أما توفير الاستقرار في مواجهة الريح فهو أكثر تعقيداً هنا من حالة الأطر الإنشائية. إن الأطر البابية أو الجاسئة مستقرة تجاه الريح الجانبية (في مستوي الإطار) التي تطبِّق قوى تقوُّس إضافية على الإطار يجب تحليلها. ونظراً إلى أنها

أطر مستوية وليست مربوطة معاً سوى بعوارض أفقية وسكك تثبيت، فإنها تكون غير مستقرة في مواجهة أحمال الريح المعامدة لها، ولذا ثمة حاجة إلى تربيط بهذا الاتجاه. ويعطي المجاز الطويل مساحات أسقف واسعة، وتجعل ألواح السقف الخفيفة تلك الأطر عرضة إلى الرفع بالريح إلى الأعلى. وبافتراض أن صفائح السقف تبقى مثبتة مع البنية، يمكن أن يخضع الإطار لتقوُّس عكسي. فيحصل شد في الجانب العلوي من الجائز وضغط في الجانب السفلي. وأحد أوجه الإخفاق في هذه الحالة هو حصول تحنُّب إلى الأعلى لأن أسفل العارضة غير مثبت. لذا، في حالة الأطر البابية الفولاذية، على سبيل المثال، يجب تثبيت الأعمدة مع الشفة السفلى من العارضة I.

أما الجملونات والجسور ذات الوصلة المفصلية المتوضعة في أعلى العمود، فهي عرضة لقوى الريح في الاتجاهين: العرضاني والطولاني. ويمكن الريح الطولانية أن تقلب الإطار عند وصلةِ أسفل العمود مع الأساس، وعند وصلة الجملون مع أعلى العمود. لذا من الضروري تربيط أجزاء السقف البارزة إلى ما وراء الجدران.

وكلما كان ارتفاع الأجزاء البارزة من تلك الأطر أكبر وازدادت المسافات بينها، ازداد طول عنصر التربيط. وإذا استُعمل تربيط مفرد، فإن نحافة عنصر التربيط المفرطة تجعل تحنُّبه أعلى احتمالاً في نمط الضغط، ولذا يجب استعمال عناصر تربيط ذات مقاطع عرضانية كبيرة. أما إذا استُعمل تربيط شد متصالب، فإن زيادة الطول لا تزيد من احتمال الإخفاق، وهذا ما يجعل التربيط المزدوج أقل تكلفة.

والنوع الثاني الواسع الانتشار من السقف الطويل المجاز هو النوع الثلاثي الأبعاد. وهو يعتمد إما على أطر الوصلة المفصلية الثنائية الأبعاد لتكوين شبكات مستوية ثنائية الطبقة، مثل الأطر الفراغية (space frame)، أو على إمكان الحني (أو الطي) المفيد للمجازات. ويمكن تحقيق الحني إما على شكل شبكة وحيدة الطبقة كتلك المستعملة في القبب الجيوديزية (geodesic dome)، أو على شكل بنى صماء شبيهة بالبلاطة من قبيل القواقع أو الصفائح المطوية. وهذه الصيغ جاسئة نسبياً، إلا أن الحني يمكن أن يُستعمل أيضاً في بنى الشد التي هي أكثر مرونة والقائمة على كبال الشد أو البنى الشبكية.

ويمكن استعمال هذه الصيغ الثلاثية الأبعاد للمجازات المتوسطة والكبيرة مع خيارات تشييد ومواد متنوِّعة لتحقيق طيف واسع من الصيغ العمرانية، وهذا ما يجعل تحليلها معقداً ويتطلَّب خبرة كبيرة. لذا ليس من المعقول تقديم توصيات عن صيغ وطرائق توضيع تلك البنى الثلاثية الأبعاد على غرار حلول الهياكل والأطر المستوية ذات الأسقف الواسعة المجاز.

وثمة مناقشة أكثر تفصيلاً لجميع صيغ الأسقف تلك في الفصل 26.

الخلاصة

1. يقتضي استقصاء السلوك الإنشائي أولاً فهم ظروف التحميل الخارجية، وعلى وجه الخصوص الأحمال الساكنة والمفروضة وأحمال الريح، فضلاً عن أحمال الصدم والأحمال المتحركة. وتؤدي تلك الأحمال إلى تحريك البنية أو جعلها تضطرب ما لم يُعمَل على تحقيق استقرارها، ومن دون ذلك يمكن أن تشوِّه أو تكسر عناصر المبنى.

2. إن جميع أجزاء المبنى عرضة لبعض هذه الأحمال على الأقل، لذا يجب أخذ تحمُّلها في الحسبان لدرء أذاها، واستعمال طرائق ملائمة للتثبيت. يُضاف إلى ذلك أنه توجد في جميع المباني منظومة إنشائية واضحة قادرة على نقل تلك الأحمال إلى الأسس. وتتألف تلك المنظومة من سلسلة من العناصر الإنشائية والدعامات المربوطة معاً والتي توفِّر مسارات لانتقال الأحمال إلى الأسس عبر المبنى.

3. ثمة خمسة عناصر إنشائية يمكن استعمالها: العمود والشّداد والعارضة والجدار والبلاطة. ويمكن استعمال كل منها مع طيف من ظروف التحميل وتشكيلات التدعيم التي تحدِّد تشوُّهات أشكالها وتعطي فكرة عن توزُّع القوى الداخلية التي تنشأ فيها. وتلك القوى هي قوى ضغط وشد وتقوُّس وقص وليِّ. ويبيِّن التحليل الدقيق لتلك القوى أنها تؤول جميعاً إلى قوى ضغط وشد فقط.

4. إضافة إلى تشوُّه الشكل الذي يظهر في اتجاه الحمل، تظهر تشوُّهات عرضانية في العناصر النحيفة بزاوية قائمة مع اتجاه الحمل في حالة الضغط.

وتؤدي الأحمال اللامركزية أيضاً إلى تشوُّهات إضافية تعطي قوى داخلية جديدة.

5. تُمكِن الاستفادة من حني عناصر المجازات. والحني باتجاه المجاز يمكن أن يلغي قوى التقوُّس تاركاً العنصر في حالة ضغط (تقوُّس) أو شد (تدلِّي)، إلا أنه يترك قوى أفقية في الدعامات. والحني بزاوية قائمة مع المجاز يزيد عمق الانحناء الذي يعطي مقطع حني أفضل مع مادة أقل.

6. وتؤثِّر طريقة وصل العناصر في توزُّع القوى الداخلية. والوصلات المفصلية، التي تسمح بالدوران، لا تنقل التقوُّس، في حين أن الوصلات الجاسئة لا تغيِّر توزُّع إجهادات التقوُّس في الدعامات.

7. ويمكن استعمال الوصلة المفصلية لصنع بنى شبكية من عناصر مجازات، ومن أمثلة تلك البنى الجملونات والجسور التي تُستعمل بوصفها أعمدة وشِدادات لصنع هياكل مجازات واسعة وخفيفة نسبياً.

8. وبغية تركيب العناصر ضمن بنية المبنى، من الضروري الاهتمام بالطريقة التي تُطبَّق بها قوى الريح عليها. إن البنى المصممة للأحمال العمودية الساكنة والمفروضة سوف تكون على الأرجح غير مستقرة أمام أحمال الريح، ولذا تجب إضافة عناصر إنشائية أخرى إلى التصميم لمواجهة هذه الأحمال. ويجب تحليل القوى في هذه العناصر الجديدة وإعادة النظر في تحميل العناصر الأصلية.

9. بعد تحقيق استقرار المبنى برمته وتحديد أنماط القوى الداخلية والخارجية في بنيته، يمكن تحديد أشكال ومقاسات ومواد العناصر المختلفة. ويُحدِّد شكل ومقاس المقطع العرضاني للعنصر المناطق التي تؤثِّر فيها القوى الداخلية. ومنها ينتج الإجهاد الذي يحصل ضمن المادة. ويمكن استعمال خواص الإجهاد والانفعال في المادة للتدقيق في الشكل والمقاس المقترحين بغية تحقيق مقاومة كافية تُبقي هامش الإخفاق ضمن حدود عوامل الأمان.

10. افترضنا في كل تلك التحليلات أن الحركات في المبنى لا تسبب انتقالاً للحمل من أو إلى الأجزاء الإنشائية أو غير الإنشائية من المبنى.

11. تُعتبر الأرض جزءاً من المنظومة الإنشائية للمبنى، إلا أنه لا يمكن النظر إليها بالطريقة عينها التي يُنظر بها إلى العناصر الإنشائية الأخرى. بل يجب

تحرِّيها، وإطار تحرِّيها يتحدَّد بالطريقة التي تظهر بها الإجهادات في التربة وتؤدي إلى الهبوط والانهيار.

12. من الممكن الآن العودة إلى الصيغ الإنشائية الرئيسية الثلاث: الجدران الحاملة، والأطر الإنشائية، وبنى الأسقف الطويلة المجاز، بهدف تحديد التشكيلة الاقتصادية من حيث المواد والمقاسات التي يمكن اختيارها لتشييد المبنى.

الفصل الثاني عشر
السلوك المادي مع مرور الوقت

نُعالج في هذا الفصل الجانب الرئيسي الثالث من السلوك المادي للمبنى: تحليل التلف والحركة والاهتراء. تحصل هذه العمليات في أثناء حياة المبنى، ويمكن لها أن تخفِّض وثوقية بنيته من حيث مقدرتها على الاستمرار في الإسهام في أدائه السليم. وهذا التحليل الذي يهتم بالتغيُّرات التي يمكن أن تحصل مع مرور الوقت في سلوك تلك البنية، ينظر في الإخفاقات الممكن حدوثها وفي متطلبات درئها من ناحية الصيانة والإصلاح في أثناء حياة المبنى.

الوثوقية: التجديد والصيانة والإصلاح والتخلُّص من المخلفات

يتمثَّل تحليل السلوك مع الزمن بدراسة التغيُّرات الممكن حصولها في المواد والمكوَّنات والوصلات والمثبتات التي يمكن أن تؤثِّر في مقدرة المبنى على تحقيق وظيفته. ويمكن التغيُّرات أن تقلِّص من مستوى أداء المبنى في المرة التالية التي تظهر فيها الظروف التي جرى التصميم من أجلها. أي إن وثوقية المبنى تنخفض، ويزداد احتمال إخفاقه في المرة التالية التي تظهر فيها تلك الظروف.

وفي معظم الحالات، لا تقتصر حياة المبنى على مجرد إشادته ثم هدمه حين انتهاء عمره. فوثوقيته يمكن أن تعتمد على مداخلات في بنيته في أثناء حياته للحفاظ على مستوى جيد لأدائه. وبهدف تقييم وثوقيته مع مرور الوقت، من الضروري تحديد ما يلي:

- المدة المقرر انقضاؤها حتى تجديده.
- أنواع الصيانة المقررة له في أثناء حياته.
- مفاعيل الإخفاقات وسهولة إصلاحها.

ولاستكمال المواصفات من الضروري تحديد ما يلي:

- طريقة هدمه في نهاية عمره.
- خيارات التخلُّص من مخلفاته على نحو آمن.

ومن دون وضع التفاصيل والمواصفات الأولية لهذه المداخلات في دورة حياة المبنى والنص الصريح عليها، يكون تقييم المقترح غير كامل.

ليس على جميع أجزاء المبنى أن تدوم المدة نفسها حتى تجديدها. فمتطلبات الزبائن والمستعملين تتغيَّر، ومع أن تفاصيلها لا تكون منظورة سلفا، فإنها من المحتمل أن تتضمن إنهاءات وتقسيمات لأحياز المبنى أكثر من إدخال تعديلات في البنية الأساسية. وقد يكون التجديد أقل تكلفة من الترميم، مع أن ذلك قد لا يكون مقبولاً وفقاً لمعيار الديمومة. وإنه لمن الضروري النص في التحليل على التزام الزبون القيام بإجراءات التجديد وأعمال الصيانة الدورية.

ومن طرائق النظر الأخرى إلى بعض أجزاء المبنى توقُّع إخفاقها وتجديدها أو إصلاحها حين حصول ذلك. وهذا يضع أعباء مالية على كاهل الزبون من حيث توقُّف استعمال تلك الأجزاء، واتخاذ إجراءات وترتيبات الإصلاح في حالة حصول الإخفاق في أثناء عمل المبنى.

تخص قرارات الإصلاح والصيانة جميع أجزاء المبنى، من جلدة الحنفية حتى زخارف وإنهاءات الأسقف طوال مدة حياة المبنى، إضافة إلى التوسُّعات وتغيير الاستعمالات. وسوف تكون لزبائن المبنى رؤاهم لإدارة مرافقه المختلفة التي يستعملونها في أعمالهم اليومية. يُضاف إلى ذلك أن القرارات بشأن مردود رأس المال واستمراريته لا تقتصر على تكاليف المبنى الأولية، بل على تكاليف دورة حياته بأسرها.

لذا فإن أساس الاختيار هو فهم التغيُّرات التي تحصل مع مرور الوقت، ومن ثَمَّ النظر في خيارات التجديد والصيانة والإصلاح للحفاظ على أداء المبنى المطلوب. ويجب أن تكون للمبنى المقترح مواصفات أولية تتضمن إجراءات الصيانة المتوقَّعة مع تحليل لعواقب الإخفاق (السلامة والتكلفة والتوقف عن العمل) وسهولة الإصلاح، مع متطلبات الولوج إلى أماكن الصيانة والإصلاح التي يجب أن تُضمَّن في التصميم. وإذا كان الزبون لا يفضل الصيانة، وكان الإصلاح صعب

التنفيذ، فقد يكون من الضروري تغيير المواصفات والتفاصيل الأولية قبل الاعتماد النهائي للمقترح.

أخيراً، هناك اعتبارات تخص تفكيك المبنى والتخلُّص من مخلفاته، وقد تتضمن تلك الأعمال إجراءات الإيقاف عن الخدمة. وسواء أكان القرار هو تجديد جزء من المبنى أم هدمه بأسره، فإن السهولة التي يمكن تفكيكه بها ومتطلبات التخلُّص من مخلفاته يجب أن يُنص عليها في التفاصيل والمواصفات الأولية. وعندما يُنظر إلى ذلك من وجهة النظر الاقتصادية، فقد يُعتبر أنه أمر مستقبلي بعيد يمكن تجاهله في مرحلة التصميم. إلا أن الاهتمام المتصاعد بجودة البيئة والحفاظ عليها للأجيال القادمة، يجعل من تجاهل تفكيك المباني وهدمها في مرحلة التصميم أمراً غير مقبول.

أسس التحليل

أدى العدد المحدود لمواد البناء في الماضي، إلى جانب متطلبات الأداء القليلة نسبياً، إلى تطوير معارف وخبرات عملية ومراكمتها عبر السنين. فقد طوِّرت إجراءات لحماية أجزاء المبنى من التفكُّك والتدهور، وحيثما كانت الحماية غير ممكنة، كان ثمة قبول واسع لأعمال الصيانة للحفاظ على المبنى في حالة جيدة. وكانت التفاصيل التي جرى وضعها مناطقية غالباً، إنْ لم نقل محلية، آخذة في الحسبان الظروف الخاصة بالبيئة المحلية. فتوجيه المباني وتجميعها في مجمَّعات، وخلافاً لتفاصيل إنهاءاتها، أخذ في الحسبان الظروف المناخية المحلية أكثر من أي شيء آخر لتأمين مزيد من الحماية لأجزاء المبنى غير المنيعة إزاء أسوأ الظروف الجوية.

إلا أن هذا الوصف للعلاقة الوثيقة بين الخبرة والمحلية وأعراف البناء لم تعُد موجودة في معظم المباني التي تُبنى اليوم. وهذا يضع على كاهل المصمِّم مسؤولية كبيرة للقيام بتحليل تغيُّر سلوك المبنى مع مرور الزمن.

ثمة ثلاثة مجالات واسعة من المؤثِّرات في وثوقية المبنى، ولذا يجب تحليلها لأن كلاً منها يمكن أن يؤدي إلى إخفاق ويتطلب إجراء صيانة أو استبدال أو إصلاح:

1. تدنِّي الخواص بسبب البيئة (يؤثِّر في الديمومة)

2. الحركة

3. الاهتراء

إن ثمة حاجة إلى فهم المفاعيل المباشرة لتلك المؤثِّرات بغية القيام بتحليل الحل المقترح وتحديد الطرائق التي يمكن المبنى أن يصبح بها أقل وثوقية ويتطلب كثيراً من الجهود للحفاظ عليه، ومع ذلك يُخفق في النهاية.

تنظيف الأوساخ

قبل الشروع في النظر في المجالات العريضة المذكورة آنفاً التي يمكن كلاً منها أن يؤدي إلى إخفاق مادي، يجب النظر في تراكم الأوساخ على كل من السطوح الداخلية والخارجية المشوِّه للمنظر دون أن يمثِّل تهديداً حقيقياً. يؤثِّر هذا الوسخ في مظهر البناء ويقتضي تنظيفه دورياً. لقد أشرنا إلى ذلك في الفصل 10 في معرض مناقشة السطوح القابلة للتنظيف حيث يمكن الأوساخ أن تُؤوي عوامل مُمْرضة تؤذي الصحة. ويُنظر إلى الاتساخ الخارجي أحياناً على أنه جزء مما يُعرَف بمفعول العوامل الجوية، في مقابل الجزء الآخر المعروف بالتدهور الناجم عن البيئة، وهما يتجليان بصرياً في تغيُّر مظهر واجهة المبنى.

وعلى غرار الجوانب التخريبية المتعلقة بديمومة المواد، يعتمد الاتساخ على الظروف البيئية التي تحدِّد كلاً من نوع الوسخ المتجمع على السطح ومفعول التنظيف الطبيعي بالمطر. ولعل حرق الفحم بغرض التدفئة المنزلية في الآونة الأخيرة كان هو المشكلة الكبرى من حيث حصول ذلك الاتساخ. وقد أدى ذلك إلى إصدار قانون الهواء النظيف الذي حظر حرق الفحم الذي يُصدِر كثيراً من المادة الهبابية. ولم يمنع هذا القانون إصدار الملوِّثات الغازية مثل مركَّبات الكبريت والكربون، إلا أنه أدى إلى زوال الأوساخ التي تراكمت على المباني وأدت إلى أمراض القصبات الهوائية. وقد أصبح الهواء الآن عموماً، حتى هواء المدينة أيضاً، أنظف كثيراً، برغم بقاء بعض الأوساخ على المباني.

ويمكن للاتساخ والتنظيف الطبيعيين، اللذين يحصلان في الواجهات، أن يكونا موضعيين جداً، وهذا ما يمكن أن يؤدي إلى أنماط تصبُّغ ملوِّثة مميَّزة. ففي المواضع التي يحصل فيها دفق قوي للماء من الأسطح والبروزات والأرض على سطوح الواجهات العمودية، يمكن الاتساخ أن يكون كثيفاً. وحيثما يجري الماء من

البروزات، مثل عتبات النوافذ، يمكن تراكمَ الأوساخ أن يكون أكثف منه في أجزاء الواجهات المفتوحة. ويمكن المناطق الموجودة تحت البروزات ألاّ تخضع للتنظيف بالمطر. ويمكن الأوساخ أن تتراكم على الجدران غير المعرَّضة للمطر، أو المحمية بمبان أخرى، أكثر من تراكمها على الجدران المكشوفة، حتى في المبنى عينه.

ويتصف بعض المواد بقابلية الاتساخ أكثر من غيره. وقد يعود ذلك إلى اللون، لأن بعض الألوان أكثر قابلية للاتساخ من غيرها، أو إلى أن بعض السطوح توفِّر التصاقاً أقوى جاعلة عملية التنظيف أقل فعالية. فبعض أنواع أساس الدهان الناعمة الشائعة يتميَّز بهذه الخاصية. والإنهاءات هامة هنا أيضاً من حيث إنها يمكن أن تُشجِّع كلاً من تراكم الأوساخ وعمليات التنظيف. وعلى وجه الخصوص يجب إيلاء الوصلات عناية خاصة. وإذا حصل تراكم مفرط للأوساخ على المبنى، وجب النظر في تنظيفه.

ويجب دائماً الاهتمام بتنظيف مساحات النوافذ وفتحات الإضاءة الموجودة في الأسقف. وقد يكون من الممكن استعمال زجاج ذاتي التنظيف، إلا أن معظم المباني يعتمد على خطة تنظيف دورية طوال مدة حياة المبنى. وثمة منظومات حديثة متوافرة اليوم تُستعمل فيها فَراشٍ على قضبان طويلة يتدفق منها ماء معالَج لا يحتاج إلى مسح أو إزالة. وهذا يمكِّن من تنظيف النوافذ من الأرض بطريقة آمنة وفعالة. أما في ما يخص المباني العالية، فقد يكون من الضروري تصميم نوع ما من وسائل التعليق المثبتة مباشرة في بنية المبنى، ربما في السقف على الأرجح، بغرض استعمالها في الخروج إلى الخارج لتنظيف النوافذ. حينئذ يمكن تعليق أحزمة الأمان بها للتحرُّك على الجدار الخارجي للمبنى بغية تنظيفه وصيانته وإصلاحه أيضاً.

ديمومة متانة المواد

تحصل تغيُّرات مع مرور الوقت في خواص متانة المواد وسلامتها التي تُصنَع منها مكوِّنات المباني. وهذا يؤدي إلى تغيُّر أدائها في المستقبل. ويجب الإقرار بأن بعض تلك التغيُّرات مفيد من حيث إنها تحسِّن من ديمومة المواد. ومن الأمثلة الجيدة على ذلك مفعول العوامل الجوية في النقوش الحجرية. لذا، فإن من المهم إدراك ذلك ليس فقط حين تحديد الأعمال المتعلقة بالمبنى، بل حين النظر أيضاً في تنظيفه وصيانته أو حتى تعديله. إلا أن كثيراً من التغيُّرات التي تحصل تقلِّص ديمومة المواد.

تعتمد ديمومة المادة على الظروف التي تخضع لها. فلكل مادة عوامل وآليات معينة معروفة لتدهورها أو حفظها. وليس من الممكن تحديد ديمومة المادة من دون تعريف واضح للظروف التي سوف تعمل ضمنها. فلكل مادة عوامل وآليات معروفة بأنها تجعلها تتدهور أو تحفظها. لذا، إما أن تُختار المادة بحيث تبقى وتدوم في الظروف المتوقَّعة، أو، في حالة تعذُّر ذلك، تُحدَّد آلية ما لحمايتها والحفاظ عليها.

عوامل التغيير وآلياتها

تحصل آليات التغيُّر إما ضمن المادة أو على سطحها. وفي الحالتين يحصل تغيُّر في بنية المادة الداخلية. ويمكن هذا التغيُّر الداخلي أن يؤثِّر في خواص المادة أو في تماسكها الداخلي، وفي كلتا الحالتين يتدنَّى الأداء. وتتضمن تغيُّرات الخواص هشوشة في البلاستيكات وتعباً في المعادن، ومن أمثلة تدهور التماسك الداخلي النخر الرطب في الخشب والتفاعل الكبريتي في المواد الإسمنتية. وفي جميع تلك الأمثلة يحصل التغيُّر بوجود عوامل معينة. فالهشوشة تقترن بوجود ضوء فوق بنفسجي عادة، ويقترن التعب بالإجهادات المتناوبة بين الضغط والشد، ويقترن النخر الرطب بالرطوبة، ويقترن التفاعل الكبريتي بوجود الكبريتات والرطوبة.

تفيد هذه الأمثلة أيضاً في تسليط الضوء على طريقة جيدة أخرى للتفكير بعوامل التغيير تلك. فهي تتضمن عمليات كيميائية (في حالة الكبريتات) وحيوية (في حالة النخر الرطب) وفيزيائية (في حالة التعب). وثمة أيضاً تصادف للظروف، على غرار ما يحصل في انعدام التماسك الناجم عن الجليد، حيث يسبب البخار المشبع، مع درجات الحرارة المنخفضة، تكوُّن جليد ضمن المادة، فيمزِّقها تحت السطح مباشرة.

وتُري دراسة لمواد البناء الرئيسية أن الماء يؤدي دوراً في كثير من آليات التدهور، ومثله يفعل الهواء بمخزونه الوفير الجاهز من الأكسجين. وهاتان المادتان على درجة من الأهمية، ليس في كثير من العمليات الحيوية فحسب، بل في العمليات الكيميائية أيضاً، ومنها الأكسدة، على سبيل المثال.

وقد لا يكون هذا مفاجئاً، لأن العمليات الطبيعية قائمة على التفكيك وإعادة التركيب. وكثير من المواد التي نصنع منها مبانينا يأتي من الطبيعة، وبذلك تمثِّل

جزءاً من دورة التفكيك وإعادة التركيب. لذا فإن فهم آليات هذه الدورة وعواملها يُعتبر مفتاح التنبُّؤ بديمومة كثير من المواد، بتشخيص إخفاقاتها.

وكثير من مواد البناء التي اعتُمدت في الآونة الأخيرة لا يوجد في الطبيعة مباشرة، بل هي مواد معالَجة ومنقَّحة. ولذا فإن طرائق النظر فيها وفي عوامل تغيُّرها غالباً ما تُرَدُّ إلى حالاتها الأصلية أو المنخفضة الطاقة. وقد تبيَّن أن كثيراً من المواد المعالَجة مستقر مع مرور الزمن، ومنها الزجاج على سبيل المثال. إلا أن ثمة ميلا في بعض المواد المعالَجة نحو التغيُّر باتجاه حالات طاقة دنيا قد لا تتصف بالخواص التي نصمِّم وفقاً لها حين اختيارنا للمواد المعالَجة. ويحتاج كثير من هذه الآليات إلى عوامل [تفعيل]، منها الماء والأكسجين غالباً، إضافة إلى عوامل كيميائية أخرى لتسريع عملية التفاعل. وآلية أكسدة المعادن خير مثال على ذلك.

والأكسدة هي عملية سطحية، والطبقة المؤكسَدة لا تتصف بخواص المادة الأصلية غير المؤكسَدة. وتؤدي أكسدة الحديد (ظاهرة الصدأ) إلى تقليص عمر العنصر المصنوع منه. وتتصف المادة المؤكسَدة بحجم أكبر من حجم المادة الأصلية، وهذا ما يزيد من أبعاد القطعة الصلية. يُضاف إلى ذلك أن الطبقة المتأكسدة تتقشَّر فتسمح لعوامل الأكسدة بالوصول إلى طبقة جديدة من المادة الأصلية، وبذلك تستمر عملية التدهور حتى تصدأ المادة بأسرها. إلا أن عملية الأكسدة هي مثال آخر على أن ليس جميع التغيُّرات تقلِّص الديمومة. فالمعادن غير الحديدية، مثل الألمنيوم والنحاس تتأكسد، إلا أن طبقة الأكسيد الجديدة الناتجة ـ وبرغم كون حجمها أكبر من حجم المادة الأصلية، ولذا يغيِّر من حجم القطعة ـ ليست كبيرة بقدر كاف لحصول تصدُّع الطبقة السطحية نفسها. وهذه الطبقة المتأكسدة الجديدة، المسماة بالزنجار، مستقرة عند درجات الحرارة العادية، ولذا تحمي المادة الأصلية التي تحتها بتبطيئها الشديد لمعدل الأكسدة. ولذا يطول عمر القطعة.

يمثِّل تحديد العوامل ذات الصلة بآليات تفكُّك المادة أو حفظها جانباً مفتاحياً من تحليل ديمومتها. وهو يتضمن تحديد البيئة التي على المادة أن تعمل فيها.

دورات عوامل التغيير وتراكيزها

نظراً إلى أن معدَّل حصول التغيُّرات في المواد يتغيَّر مع مدة التعرُّض إلى عوامل التغيير، من الضروري إجراء تقدير لأنماط التعرُّض المتوقَّعة. يجب أن

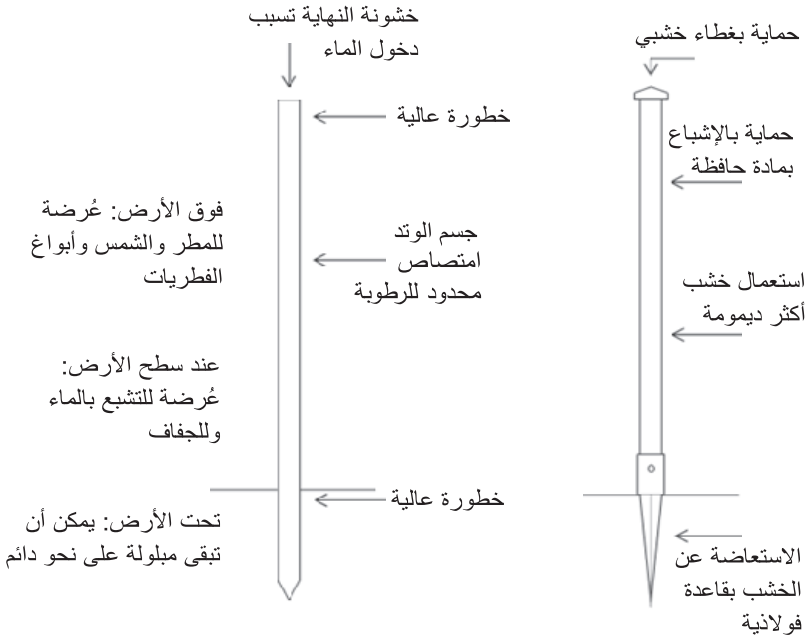
تتضمن تلك الأنماط التواتر الذي يُتوقَّع أن تحصل به تغيُّرات تراكيز العوامل التي هي على تماس مع المادة. ونظراً إلى وجود عدد من العوامل في كثير من آليات التدهور، يجب تحديد نمط كل منها بحيث يمكن تحديد تواتر تصادف وجودها معاً. ففي حالة التلف الناجم عن الجليد، ليس تصادف حصول الإشباع ببخار الماء وانخفاض درجة الحرارة هو الهام فقط، بل إن تواتر دورة التجمُّد والذوبان حاسم أيضاً في معدَّل التدهور. إذا تشبعت المادة ببخار الماء وبقيت في حالة التجمد مدداً طويلة، كان احتمال التدهور ضئيلاً. لكن إذا تجمدت في الليل، وذاب الجليد في النهار، كان معدَّل التدهور عالياً.

إن من الهام جداً إجراء تحليل لتلك الظروف محلياً وعلى مقربة من المادة. لأن من الممكن جداً، حتى لأجزاء المكوِّن المختلفة نفسه، أن تكون عرضة لظروف شديدة الاختلاف. وغالباً ما يكون الإخفاق موضعياً جداً، ومن أمثلته قوائم السياج الخشبية التي تنتخر بالقرب من مستوى الأرض والمبينة بوصفها منطقة عالية الخطورة في الشكل 1.12. هنا تأخذ تراكيز الرطوبة والهواء ومتعضيات التفكيك قيمها العظمى، وتحصل دورات التغيُّر بأعلى تواتر لها. وهذا أيضاً مثال جيد يبيِّن الطبيعة الحافظة لبعض العوامل إذا بقيت تراكيزها عالية وبقيت في حالة ثابتة. والمثال هنا هو الماء والخشب. إذا كان الماء موجوداً دائماً، محافظاً على الخشب في حالة تشبع به، عمل بوصفه حافظاً. فقائمة السياج الخشبية المغروسة عميقاً في تربة دائمة البلل، لا تتفكَّك. ومتابعةً لمثال السياج، فإن الجزء العلوي من القائمة ليس منيعاً لأن خشونة نهايتها العليا تسمح للماء بالتغلغل عميقاً في الخشب ليوفِّر مسلكاً إلى تراكيز محلية عالية من عوامل التفكيك.

يمكِّن تعريف أنماط الظروف تلك من تحليل معدَّل التدهور الذي يحصل في النقطة الحساسة من القطعة. تحصل دورات تفكُّك ودورات يكون التغيُّر فيها قليلاً في معظم مواد البناء. ويُعتبر هذا في معظم الحالات على المدى الطويل تغيُّراً تدريجياً. وتجعل تلك التغيُّرات المكوِّنات أقل وثوقية في المرة القادمة التي يكون فيها على المكوِّن أن يعمل عند أقصى الحدود التصميمية تطرُّفاً. فقائمة السياج تنكسر حين هبوب ريح شديدة جداً، حتى إذا لم تكن أسوأ مما تعرضت له في الماضي.

وحيثما يتبيَّن أن تدنِّي الخواص يؤدي إلى احتمال عالٍ للإخفاق (أو كانت عواقب الإخفاق كارثية)، يجب الاهتمام بتغيير المواصفات. فقد يكون من الممكن حماية الأجزاء غير المنيعة تجاه عوامل التفكُّك من تلك العوامل، أو إخضاعها إلى

عملية حافظة ما تحدُّ من مفاعيل التفكُّك. وقد يكون من المجدي اقتصادياً تغيير مواصفات المواد. في حالة قائمة السياج، يمكن حماية النهاية الخشنة العليا بغطاء، ومعالجة جسم القائمة بمادة حافظة، واستعمال نهاية معدنية سفلى لغرزها في الأرض. حينئذ يجب تحليل تدهور المعدن المغروز في الأرض.



الشكل 1.12 قائمة سياج خشبية: مواصفات التدهور والديمومة المحسَّنة.

ويمكن مواصفة صيانة قائمة السياج تلك أن تتضمن التقلُّص التدريجي لمفعول المادة الحافظة التي قد يكون من الضروري إعادة دهانها بالفرشاة في وقت ما في المستقبل. أما صيانة أو إصلاح غطاء نهاية القائمة العليا فهما عمليتان غير مكلفتين ويمكن إجراؤهما بسهولة. لكن الإخفاق الحقيقي الآن قد يحصل في قاعدة القائمة، حتى لو كانت معدنية. وإذا لم تُجرَ صيانة كاملة لقواعد القوائم جميعاً، أمكن إصلاح بضع القوائم التي تُخفق أولاً أن يطيل عمر السياج، لكن في النهاية قد يكون استبدال السياج بأسره هو أفضل حل. ففك السياج لن يمثِّل مشكلة، والتخلُّص من الخشب لن يمثِّل مشكلة أيضاً إذا كانت فعالية المادة الحافظة قد انتهت. وفي هذه المرحلة يمكن تنظيف القاعدة المعدنية وصيانتها وإعادة استعمالها.

الحركات ضمن المكوِّنات

يُقصد بالحركة هنا ليس تغيُّر موضع المكوِّن فحسب، بل تغيُّر مقاسه وشكله عموماً أيضاً. وتلك تغيُّرات تحصل في أبعاد المكوِّن. وكل المباني ومكوِّناتها عرضة لهذه الحركات، إلا أنه إذا كانت تنفيذاتها صحيحة، فإنها لا تؤدي إلى إخفاق، حيث يتجلى الإخفاق الناجم عن الحركة في التصدُّع والتشوُّه. وعندما تكون التصدعات والتشوُّهات صغيرة، تؤذي الإنهاءات وتسمح للماء بالتسرب إلى داخل المبنى، أما إذا كانت كبيرة فإنها تهدِّد استقراره الإنشائي. إلا أن الإخفاق ليس حتمياً بالضرورة، فالحركات التي من هذا النوع يمكن أن تُؤخذ في الحسبان في اختيار المواد وتنفيذ عملية البناء.

وتوصف تغيُّرات الأبعاد غالباً بأنها انحرافات متأصلة لأنها تحصل بسبب الخواص المتأصِّلة في المادة. وهي تقف على النقيض من الانحرافات المستحثة نتيجة لعمليات الإنتاج والتي يجب الاهتمام بها لضمان توافق مكوِّنات البناء الأولية معاً وفقاً لما ناقشناه في الفصل 4.

ولا يمثِّل كثير من تغيُّرات الأبعاد تهديداً حقيقياً للمبنى. فإذا حصلت تلك التغيُّرات بحرِّية من دون أن تؤثِّر في المكوِّنات المجاورة لها، كان مفعولها صغيراً. أما الحركات التي تُعتبر مصدر قلق فهي حركات تفاضلية عموماً، حيث يتحرك جزء أكثر من جزء آخر موصول به أو يكون مقيَّداً، أو حيث يتحرك جزء في اتجاه ويلتقي بآخر لا يستطيع الحركة (أو يتحرك الأخير ليلتقي بالجزء الأول). لكن بعض الحركات يؤدي إلى مفاعيل كبيرة حتى لو كانت صغيرة جداً. فانكماش الطينة الإسمنتية التي تربط لبنات الجدران مثلاً يكسرها ويؤدي إلى نشوء مسالك شعرية دقيقة تأتي بالرطوبة إلى المبنى وفقاً لما نوقش في الفصل 10، حيث كان أكثر الحلول شيوعاً هو استعمال فجوة لقطع مسارات الرطوبة إلى داخل المبنى.

ويمكن استيعاب معظم تلك الحركات في أثناء وضع التفاصيل العادية، شريطة الاهتمام بأن الانحرافات المستحثة لن تلغي الفجوات، وبأنه لن يحصل تجاوز لحدود مرونة مادة الربط التي تسمح بحدوث الحركة بحرِّية. بعدئذ يجب تنفيذ هذه التفاصيل بعناية لضمان أن التسامحات المتوقعة قد تحقَّقت عملياً. ويتصف بعض الحركات بأنه خطير جداً على سلامة المبنى ويقتضي تصميم وصلات حركة خاصة. وقد تنشأ الحاجة إلى تلك الوصلات حينما تلتقي بنى

مختلفة الارتفاعات وذات هبوطات مختلفة في أسسها. ومن الأمثلة الأخرى على ذلك لوحات كبيرة مبنية من لبنات الآجر، حيث تؤدي التغيُّرات البيئية إلى إجهادات داخلية ضمن البنية المستمرة.

ويمكن عَزْو تلك الحركات إلى واحد أو أكثر من الأسباب التالية:

- المجانَسة (equalization) الأولية مباشرة بعد البناء
- تطبيق الأحمال
- تغيُّر الظروف البيئية
- تغيُّر الحجم الناجم عن التدهور
- انخساف الأرض

حركات المجانَسة الأولية

يخضع الكثير من المواد لتغيُّرات في أبعاده في وقت مبكر من حياته، في أثناء تطور المادة إلى خواصها النهائية، ويحصل ذلك غالباً بسبب تغيُّرات درجات الحرارة وتبادل الرطوبة. وتتصف هذه الحركات بأنها غير عكوسة. وفي أثناء التصنيع والمعالَجة، يجب تحضير كثير من المواد لجعلها قابلة للتشكيل بغرض إنتاج الأشكال والصيغ اللازمة للمكوِّنات. وفي ما يخص بعض المكوِّنات التي تُصنع بعيداً من موقع البناء، تحصل تغيُّرات مجانَسة في الأبعاد على الأقل قبل توريدها إلى الموقع. إلا أن كثيراً من المكوِّنات لا يكون قد استكمل تلك المجانَسات حين استعماله في البناء. أما في المكوِّنات التي تُصنّع محلياً في موقع البناء، فإن جميع تغيُّرات الأبعاد تحصل عندما توضع في أمكنتها النهائية في بنية المبنى.

يتكوَّن معظم المواد التي تُستعمل في بنية المبنى، عندما تكون تغيُّرات الأبعاد ما زالت جارية، من خشب وخرسانة ومنتجات صلصالية، مثل الآجر. وتُصنَّع المكوِّنات الخشبية وهي ما زالت تحتوي على مقدار من الرطوبة يفوق ذاك الذي سوف يتبقى في النهاية حين إشغال المبنى، ولذا تستمر بالانكماش بعد التشييد. وتتضمن حركات المجانَسة في الخرسانة والبلاستر والآجر أيضاً تغيُّرات في الرطوبة، لكن باتجاهات مختلفة. ويحتاج البلاستر والخرسانة إلى الماء للتصلُّب ثم

الجفاف، ولذا ينكمشان مثل الخشب. والآجر الذي يُشوى أولاً، ولذا يكون جافاً تماماً بعد التصنيع، يمتص الرطوبة، فيتمدد بعد حصول انكماش التبريد الأولي.

أما العامل الهام فهو توقيت التركيب. فلبنات الخرسانة التي تُركَّب باكراً بعد الصب تستمر بالانكماش مؤدية إلى قوى شد ومن ثَمَّ إلى تشقُّق في الجدار. ومع أن معظم التمدُّد في الآجر يحصل في الأسابيع الأولى بعد الشي، فإنه يستمر بالتمدد في المراحل الأولى من حياة المبنى، ويجب توقُّع بعض الاستمرارية في تمدده بعدئذ. ونظراً إلى أنه يتصف عادة بمقاومة ضغط داخلية كافية، فإن ذلك التمدد يؤدي إلى انزلاق كامل الجدار على الحصيرة الحاجزة للرطوبة، أو إلى تشقُّقات قصيرة في ما بين لبنات الآجر.

وفي أثناء البناء، تحصل جميع المجانَسات في موضع التركيب. وحينئذ يمكن الانكماش الناجم عن الجفاف في الخرسانة المصبوبة على مساحات كبيرة، ومنها الأرضيات، أن يؤدي إلى التشقُّق بسبب قوى الشد الداخلية التي تنشأ في أثناء طور المجانَسة.

التحميل والحركات البيئية

هذه الحركات هي تغيُّرات في الأبعاد وتعتمد على خواص المواد والظروف التي تخضع لها خلال مدة حياة المبنى. وتعتمد الحركات الناجمة عن الأحمال على علاقة الانفعال بالإجهاد في المادة وعلى توزُّع ومقادير الأحمال. والعاملان البيئيان الرئيسيان المؤثِّران هما درجة الحرارة والرطوبة. فأبعاد كل المواد تقريباً تتغيَّر مع تغيُّر درجة الحرارة. ويُمثِّل مقدار الحركة التي تحصل في المادة عندما تتغيَّر درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة ما يُعرف بعامل التمدد الخطي (coefficient of linear expansion). أما الحركة الناجمة عن الرطوبة فتحصل في المواد النفوذة فقط. وعلى غرار التغيُّرات الحرارية، تحصل الحركة ضمن المادة، لا في المحيط الخارجي فقط. أما مقدار الحركة الناجمة عن الرطوبة المتوقَّع فيعطى عادة بنسبة مئوية من الحجم الأصلي.

وتحصل الحركات الناجمة عن التحميل والتغيُّرات البيئية في أثناء طورين يمكن أن يتراكبا زمنياً. يحصل الطور الأول غالباً في أثناء البناء وفي المراحل الأولى من إشغال المبنى، وتكون الحركات حينئذ غير عكوسة. وهي تحصل في الوقت نفسه الذي يحصل فيه كثير من عمليات المجانَسة، وتقترن في البداية

بالتحميل. فالعناصر الإنشائية تخضع للتحميل تدريجياً (بأحمال ساكنة ومفروضة) في أثناء إشادة المبنى وفي أثناء المرحلة الأولى من الإشغال. ويزيد هذا التحميل من الإجهادات التي تزيد الانفعالات، وتؤدي الانفعالات بدورها إلى التشوُّه الذي نوقش في الفصل 11.

يُضاف إلى ذلك أن ظروف الحرارة والرطوبة يمكن أن تكون مختلفة جدا في أثناء البناء تبعاً للفصل من السنة في المقام الأول. وهذا يحدِّد ليس سرعة حصول المجانَسة فقط، بل حجوم المكوِّنات المتجاورة في وقت تركيبها.

وعندنا يُشْغَل المبنى، يكتمل معظم التحميل، وعندها تتحقَّق الظروف الداخلية أول مرة. وهذا ينقل الحرارة والرطوبة إلى ظروف عمل المبنى، وفي أثناء هذه المرحلة، يحصل المزيد من تغيُّرات الأبعاد. لكنْ لا تحصل جميع الانفعالات التي تنجم عن التحميل فوراً. ففي حين أن هبوطات التربة غير المتماسكة تحصل مع تطبيق الأحمال، فإن هبوطات التربة الصلصالية يمكن أن تستغرق سنوات كي تكتمل، وهذا يعني أن الاستقرار لا يحصل في جميع الأسس في مرحلة التحميل الأولية. وتُعاني بعض المواد، ومنها الخرسانة والخشب، من الزحف. وهذا انفعال مستمر ينجم عن حمل ثابت مستمر. ويتناقص معدل الانفعال مع الزمن، إلا أنه يؤدي إلى مشكلات بعد بضع سنوات من تشييد المبنى وإشغاله من قبل المستخدمين، وهذه الفترة قد تستمر في السنوات الأولى لإشغال المبنى.

أما الطور الثاني الذي يمكن أن تحصل فيه الحركات، فيمتد على بقية مدة حياة المبنى بعد بضع السنوات الأولى من إشغاله. وهذه الحركات عكوسة عادة. وقبل هذا الطور، يكون معظم عمليات المجانَسة قد اكتمل.

ويُصبح مفعول تغيُّرات الرطوبة والحرارة البيئي في المواد الخارجية ملحوظاً في الطور الثاني. فالمساحات المكشوفة يمكن أن تتعرَّض إلى تغيُّرات كبيرة في درجات الحرارة. وفي المناطق المعتدلة، لا تكون تلك التغيُّرات كبيرة على المستوى اليومي، إلا أنها تكون كبيرة خلال دورة الفصول السنوية. وعندما تتغير درجة الحرارة بين الشتاء والصيف، تحصل في سطوح المواد المعرَّضة للمفاعيل الإشعاعية للسماء الصافية أكبر التغيُّرات. فشمس منتصف النهار في الصيف يمكن أن ترفع درجة حرارة السطوح، وخاصة الغامقة الألوان، إلى نحو 60 درجة مئوية. وفي المقابل، تخفِّض ليالي الشتاء الصافية درجة حرارة السطوح المكشوفة المقابلة

للسماء مباشرة إلى نحو 20 درجة مئوية تحت الصفر، خاصة إذا كانت ألوانها غامقة. وهذا الفرق المحتمل في درجة الحرارة الذي يساوي نحو 80 درجة مئوية يغيِّر كثيراً أبعاد كثير من المواد الشائعة الاستعمال في أجزاء المباني الخارجية. وأكثر تلك الأجزاء حساسية هي أغطية الأسقف المستمرة، وهذا ما يدعو إلى طلاء سطوح المباني باللون الأبيض للحدِّ من تغيُّرات الحرارة التي تؤثِّر فيها.

وتتعرَّض المواد الخارجية أيضاً إلى تغيُّرات كبيرة في الرطوبة بين الأوقات المشمسة الطويلة وأوقات المطر المديدة. ويُلاحظ هذا غالباً في الأبواب الخشبية التي تُرتِج في أيام الطقس المبلول. وتُصنَّف المواد التي تتأثَّر بالرطوبة، والتي يجب أن تكون نفوذة كي تمتص الرطوبة، في فئتين: مواد ذات بنية داخلية قاسية، ومواد ذات بنية داخلية مرنة. وهذه المواد هي على التوالي: سيراميكات مثل الآجر والخرسانة، ومواد عضوية مثل الخشب الأكثر انتشاراً. وتحصل في السيراميكات تغيُّرات صغيرة، في حين أنها أكبر كثيراً في الخشب. وينكمش الخشب ويتمدد على نحو مختلف في الاتجاهات المختلفة عن اتجاه الألياف، وتكون التغيُّرات أعظمية في الاتجاه المعامد للألياف.

أما مكوِّنات المبنى الداخلية فهي أقل تعرُّضاً لتغيُّرات الحرارة والرطوبة، إلا إذا كانت الأنشطة التي تحصل في المبنى هي التي تولِّد تلك الظروف، وكانت التهوية التي تحد منها غير متوافرة. إلا أنه يجب عدم الافتراض أن جميع المكوِّنات الداخلية سوف تبقى مستقرة. فعتبات النوافذ السفلية، على وجه الخصوص، تتعرَّض لأشعة الشمس من خلال الزجاج، فترتفع درجة حرارتها، والتمديدات الخاصة بمنظومة التدفئة تتعرَّض إلى تغيُّرات واسعة في درجة الحرارة. لذا يجب أن تكون الأنابيب قابلة للحركة بحرِّية في مواضع مرورها عبر البنية الإنشائية، وإلاّ فإنها سوف تصدر أصوات صرير عندما تحصل الحركة فيها.

وتحصل الحركات التي تنجم عن تغيُّرات الحرارة والرطوبة إذا كانت تلك التغيُّرات ضمن المادة فقط، لا عند السطح فقط. إلا أن التغيُّرات السطحية يمكن أن تولِّد إجهاداً داخلياً عندما يحاول السطح التغيُّر وهو مقيَّد بكتلة المادة. وهذه الصورة لطبقات المكوِّنات التي تتمدد وتتقلَّص بمعدلات مختلفة على درجة من الأهمية إذا كانت طبقات المواد المختلفة متلاصقة معاً لتعمل بوصفها جسماً واحداً. وإذا كانت خواص تمددها الحراري مختلفة كثيراً، فإن تغيُّر درجة الحرارة عن تلك التي كانت موجودة في وقت اللصق سوف تولِّد قوى تقوُّس في المواد

تؤدي إلى إجهادات قص على طول سطوح الالتصاق. وهذا ينطبق أيضاً على تغيُّرات الرطوبة. ويمكن المواد الملتصقة معاً والتي تبتل أن تعاني من إجهادات مشابهة لتلك المقترنة بالتغيُّرات الحرارية إذا كانت خواصها ذات الصلة بالحركة الناجمة عن الرطوبة مختلفة كثيراً.

تغيُّر الحجم الناجم عن تدنِّي الخواص

حينما نظرنا في الديمومة سابقاً في هذا الفصل، ذكرنا أن بعض التغيُّرات تحصل في خواص المواد، وأن بعضها يتضمن تغيُّرات في حجومها. وهي غالباً ما تقترن بالتغيُّر الكيميائي، مثل الصدأ والتفاعل مع الكبريتات أو التأكسد، أو بمفعول التمزُّق الجليدي. ويمكن أن تؤدي هذه التغيُّرات في الحجم إلى تمزُّق القطعة نفسها. أما التغيُّرات البُعْدية الشاملة فيمكن أن تخلق إجهاداً إضافياً في المكوِّنات المجاورة التي تلتقي بها. ومن أمثلة ذلك تثبيت جدار حجري باستعمال مثبتات حديد يمكن أن تصدأ.

حركة الأرض وهبوطها وانخسافها

يحصل في الأرض نوعان من الحركة، هما الهبوط والانخساف. وينجم الهبوط عن التحميل وتغيُّر الرطوبة في التربة، لذا فإن تحليلها مماثل لتحليل التحميل الناجم عن التغيُّرات البيئية لأي جزء آخر من المبنى.

وحين تقدير عواقب الهبوط من الضروري تذكُّر أن مرونة المبنى الشاملة هي التي تحدِّد مقدار الهبوط الذي يمكن أن يتحمَّله من دون أن يتأذَّى. فبنى لبنات الآجر الملصوقة بطينة إسمنتية يمكن أن تتحمَّل هبوطاً تفاضلياً من دون حصول تشقُّق فيها أقل مما تتحمَّله حين استعمال طينة جيرية. ويمكن للأطر ذات الوصلات المفصلية أن تتحمَّل هبوطاً تفاضلياً أكبر مما تتحمَّله البنى المتواصلة من دون إعادة توزيع للإجهاد يمكن أن تؤدي إلى إخفاق.

لدراسة الهبوط، توصف التربة غالباً بأنها متماسكة، ومن أمثلتها الصلصالات، أو غير متماسكة، ومن أمثلتها التربة الحُبَيْبية. وهذا تصنيف مفيد في دراسة الحركات في التربة الحاملة للمبنى. ففي أثناء التحميل، يستغرق الصلصال وقتاً طويلاً (سنوات أحياناً) كي ينضغط (وهذه عملية تماسك)، وحتى إنه يمكن أن يكون عرضة للزحف. أما التربة الحُبَيْبية، فتنضغط (تتراص) فوراً تقريباً حين تطبيق الحمل عليها، ولا تتغيَّر إلا إذا تغيَّر الحمل.

وتحصل في التربة الصلصالية تغيُّرات حجمية كبيرة مع تغيُّر الرطوبة، وذلك خلافاً للتربة الحُبَيْبية. تتضمن عمليات تجفيف الصلصال الجفافَ الموسمي في الصيف، فضلاً عن امتصاص الرطوبة من قبل النباتات، وخصوصاً الأشجار. ويمكن الحركات الناجمة عن الجفاف أن تكون كبيرة جداً ومفعمة بالقوة. ويمكن جفافَ الصلصال وانكماشه أن يؤديا إلى مزيد من الهبوط، كما أن امتصاصه للرطوبة سوف يمنحه قوة كافية حتى لرفع المبنى. لذا يجب وضع الأسس عميقاً في الأرض بقدر كاف لتكون تحت مستوى أي حركة تؤثِّر في المبنى. وقد يكون من الضروري تلبيس الأوتاد بقمصان (إحاطتها بها من دون التصاق)، وإلاّ فإن الصلصال المفعم بالقوة يمكن أن يُمسك بالوتد ويرفعه إلى الأعلى مع المبنى الذي يحمله.

ويمكن تجمُّد الماء ضمن بعض الترب، ومنها الطمي والحوَّار والرمل الطميي الناعم وبعض الصلصالات القليلة اللدونة، أن يزوِّدها بقوة رافعة. لذا يجب وضع الأسس تحت خط التجمد في تلك الترب (إلا إذا كان البناء على طبقة التربة الدائمة التجمُّد في المناطق الباردة).

وتُشاد المباني اليوم على نحو متزايد على أرض ليست متماسكة ولا حُبَيْبية، وفقاً لتعريف المواد المتكوِّنة جيولوجياً. والمِكبَّات، سواء أكانت من نواتج الحفر أم أنقاض الهدم أم النفايات المنزلية، تمثِّل مواقع تطوير عمراني جديدة. وموادها شديدة الاختلاف، ولا يمكن تعميم توصيفها بسهولة. فقد تكون قد رُميت وفقاً لبعض معايير الرص، أو قد تكون قد رُميت دون أي مداخلة. لذا يجب استقصاء خواص هذه المواد الهندسية بعناية قبل اتخاذ قرارات بشأن وضع أسس فيها. إن وضع الأسس عميقاً في المكب، أو ترك المبنى عائماً على طوف من النفايات، أو تحسين الأرض للتمكُّن من وضع أسس غير عميقة فيها، يمكن أن يمثِّلا الجواب من ناحية التكلفة. وهذا لا يعتمد على خواص الأرض فقط، بل على بنية المبنى أيضاً، بعد الأخذ في الحسبان لحجم هذا الاستثمار ومرونة المبنى.

أما الانخساف الذي يزيل الركيزة من تحت التربة الحاملة للأسس فيحصل نتيجة لتغيُّرات جيولوجية أو لأنشطة بشرية. ويمكن التغيُّرات الجيولوجية أن تكون عميقة، ومن أمثلتها التغيُّرات الناجمة عن الزلازل التي قد تكون تهديداً حقيقياً في بعض البلدان، في حين أنها لا تمثِّل تهديداً في التصميم في كثير من البلدان في العالم. ويمكن العمليات الجيولوجية أن تكون سطحية، ومن أمثلتها تغيُّر الميل الذي يهدِّد المباني. يمكن الميول الطبيعية أن تصبح غير مستقرة في ظروف الطقس

السيئة، أما الميول المكوَّنة صنعياً بوصفها جزءاً من عملية تطوير، فيمكن أن تصبح غير مستقرة وأن تهدِّد أسس المباني أيضاً. وإذا وجب أن تكون الميول شديدة، وجب بناء جدران استنادية (retaining wall) لحماية المباني عند كل من أعلى الميل وأسفله.

وتمثِّل المناجم مشكلة انخساف حقيقية. حين إيقاف العمل في بعض المناجم وهجرها، يمكن أن تنهار مكوِّنة انهداماً في سطح الأرض على شكل موجة وراء دهاليز المنجم المنهارة. والمباني الموجودة على منطقة الانهدام حين حصول الموجة تصبح عرضة للخطر، لكنْ بعدئذ لا يكون ثمة من خطر على المباني الجديدة. والأنفاق العمودية والثقوب الضحلة (وهي أنفاق طبيعية تنشأ في مناطق الحجر الجيري) يمكن أن تمثِّل خطراً أيضاً، ولذا فإن استقصاء الموقع والبحث عن سجلات المناجم وعن التاريخ الجيولوجي جوهريان في المناطق المعروفة بأنها كانت نشطة.

حركات الوصلات والمثبتات

تحصل الحركات بسبب تغيُّر أشكال وأبعاد ومواضع المكوِّنات التي يمكن أن تُحْدِث بذاتها، أو لا تُحْدِث، أي ضرر. أما إمكان حدوث الضرر فيكمن غالباً في طرائق وصل تلك المكوِّنات معاً وتثبيتها. فبعد وصل الأجزاء مباشرة معاً، أو جعلها على تماس في ما بينها، ثمة إمكان لحدوث حركة أو لانتقال مفعولها. فإذا كانت الوصلات والمثبتات تسمحان بحرِّية الحركة، فلا ضرورة إلى النظر إلا في الجزء المتحرك نفسه. وإذا لم تكن تلك الحرِّية موجودة، قُيِّدت الحركة ونشأت قوة بين المكوِّنات المتحركة والمقيدة. ويمكن هذه القوة أن تحرك المكوِّنات المتجاورة، أو يمكن أن تستحث إجهادات تشوِّه الأجزاء التي ما زالت ثابتة في مواضعها. وفي النهاية يمكن أن تستحث إجهادات كافية لتصدُّع وانكسار المكوِّنات أو مثبتاتها.

لذا، فإن تقدير الحركات المحتملة في قطعة معينة لا يمثِّل سوى البداية في أي تحليل. ويصبح من الضروري تحقيق فهم واضح للوصلات والمثبتات لتحديد الحركات الحرة والمقيَّدة.

يتضمن الجزء الأول من تحليل الوصلات المثبِّتات تقدير المواضع المحتملة للمكوِّنات ضمن البنية الإنشائية. لكنْ لا يمكن الافتراض أن الموضع هو ذاك المبيَّن على المخطط، لأنه لا يمكن تحقيق أي عميلة في الموقع إلا ضمن حدود

مقاسات معينة ذات صلة بالانحرافات المستحثة. ولا يمكن معرفة الموضع الدقيق ضمن تلك الحدود في حين وضع المواصفات. وما يمكن فعله هو فقط افتراض أن إشادة المبنى سوف تحصل ضمن حدود التسامحات المقرَّة.

وتحصل الحركات انطلاقاً من مواضع التركيب الأولية. وتسبب تغيرات المجانَسة التي لم تحصل وقتَ التركيب حركة، وتسبب الأحمال حين تطبيقها حركة، ويمكن التغيراتِ البيئيةَ أن تستحث حركات، وفي ما بعد يمكن التدهور أن يُحدث تغيُّراً في الأبعاد يُحدث حركة بدوره. وليست تلك الحركات تراكمية دائماً. فالتمدُّدات يمكن أن تنحو نحو إلغاء الانكماشات، لكن ليس كلياً، وهذا هو حال الخرسانة التي تفوق فيها تمددات العمل الحرارية انكماشات الجفاف المجانِسة. إلا أن انكماش الخرسانة يمكن أن يفاقم حالة وصلات ومثبتات أخرى على غرار ما يحصل في وصلة واجهة آجر صلصالية تنزع نحو التمدد في حين أن إطار الخرسانة يتقلَّص حتماً بتصلب الخرسانة وما يليه من تحميل (ومن ضمنه الزحف). وثمة مناقشة أكثر تفصيلاً في الفصل 29 لوصلات ومثبتات تستوعب الحركة بين البنية وغلافها.

وإذا نتج من هذا التحليل توقُّع للإخفاق، وجب إدخال تعديلات على المواصفات أو الوصلات والمثبتات. حينئذ، يجب النظر في مواد ذات خواص مختلفة. ويمكن النظر في الحماية من الظروف التي تؤدي إلى الحركة. إلا أن أفضل إجراء يمكن اتخاذه هو إعادة تصميم الوصلات لاستيعاب الحركة وتركها تحصل بطريقة مسيطر عليها، حيث يمكن الوصلات والمثبتات أن تحتوي على فجوات أو مواد تستطيع امتصاص الحركات من دون أن يتدنَّى أداؤها.

اهتراء المكوِّنات

ركَّز مقطع الحركة الاهتمام في تغيُّرات الأبعاد والأشكال والمواضع التي تحصل حين تغيُّر التحميل والظروف البيئية. والاهتراء هو أيضاً نتيجة للحركة، لكن في هذه الحالة في الأجزاء المصممة كي تتحرك، ومن أمثلتها المفاصل (hinge) أو سكك الجدران المتحركة. لا يتحدَّد الاهتراء بالظروف التي تتعرض لها المكوِّنات، بل بتواتر تشغيلها. وهي لا تمثِّل إلا جزءاً صغيراً من التحليل في معظم المنشآت، لأن غالبيتها لا يهتم إلا بالأداء السكوني.

لكن الاهتراء يكون موضع اهتمام أكبر عندما يحصل في الخدمات حيث

تقترن الأجزاء المتحركة غالباً بمحركات وآلات هي جزء من منظومة خدمة. هنا يقتضي حصول عطل في وقت ما من المستقبل الولوج إلى العنصر المتعطل واستبداله أو حتى استبدال الوحدة برمتها. وهذا ما يجب النظر فيه في تصميم المبنى وتصميم أجزائه نفسها.

الخلاصة

1. في أثناء حياة المبنى، تحصل تغيُّرات في المواد والمكوِّنات تؤثِّر في وثوقيته وفي تحقيقه لأدائه على نحو صحيح دون إخفاق في المرة التالية التي تحصل فيها ظروف على الحدود القصوى للتصميم.
2. التغيُّرات الكبرى الثلاثة التي يمكن أن تؤدي إلى تدنِّي الوثوقية وإلى الإخفاق هي تدنِّي الخواص الناجم عن البيئة، والحركات، والاهتراء.
3. تتصف العوامل البيئية التي تؤدي إلى التدهور بأنها نوعية وذات صلة بخواص كل مادة على حدة، لذا من الضروري تحديد تراكيز وتواترات حصول كل منها في البيئة مع تحديد المكوِّنات المصنوعة منها التي غالباً ما تكون موضعية في جزء معين من الوصلات والمثبتات.
4. تحصل الحركات، أو تغيرات أشكال وحجوم ومواضع المكوِّنات، نتيجة لعمليات المجانَسة الأولية التي تلي التركيب والتحميل وتغيُّرات درجات الحرارة والرطوبة التي يمكن أن تحصل في أثناء حياة المبنى. وتتطلب حركات الأرض دراسة مستقلة للانخساف، إضافة إلى التحميل وتغيُّرات الحرارة والرطوبة التي تسبب الهبوط.
5. يحصل الاهتراء في الأجزاء التي تصمَّم لتكون متحركة، ولذا تظهر أهميته في تصميم الخدمات الذي يجب أن يتضمن إمكانات الوصول إلى الأجزاء المهترئة واستبدالها أو استبدال الوحدة التي تحتوي عليه بأسرها.
6. لا تؤدي جميع تلك التغيُّرات إلى إخفاق. فالقصور الذي يحصل في المبنى مؤدياً إلى انعدام الأداء السليم يعتمد على تنفيذ الإنهاءات التي تحد من التدهور وتستوعب الحركات.

الفصل الثالث عشر

التصنيع والتجميع

نستعرض في هذا الفصل منهجية تحليل لعملية إنتاج تتضمن كلاً من التصنيع والتجميع. ونقترح فيه أن هذا التحليل ليس من مهام مدير الإنتاج فقط، بل يجب فهمه بوصفه جزءاً متكاملاً من اختيار حل البناء المناسب. فانطلاقاً من الحاجة إلى ضمان حسن الأداء، من الضروري تصوُّر المبنى على شكل قطع، ثم تصوُّر مراحل تجميعه الجزئية المختلفة. ويجب النظر إلى العمل اللازم لإكمال كل مرحلة على أنه سلسلة من العمليات التي تُنفَّذ من خلال طرائق مختارة تحدِّد مجموعة الموارد اللازمة لها. وإلى جانب موارد المواد واليد العاملة ثمة صنفان من التجهيزات: تجهيزات أعمال مؤقتة، وآلات ومُعدَّات. يجب أن تهدف طرائق الإنتاج المختارة إلى إنجاز الأعمال على نحو آمن واقتصادي في الوقت المحدَّد وبالجودة المطلوبة لضمان حسن الأداء. وعندما يتبيَّن من التحليل أنه يمكن تحقيق ذلك، يمكن القول أن الحل المقترح ملائم للتنفيذ. ونُنهي الفصل باستقصاء طبيعة خيارات الإنتاج الشائعة محلياً(*) في الموقع وتلك المسبقة الصنع.

تحقيق الأداء

حينما استقصينا سلوك المبنى المادي في الفصول من 9 حتى 12، افترضنا في التحليل أن المبنى المكتمل هو المبنى الذي ينجح في أداء وظائفه في الظروف التشغيلية. إن الحل المقترح ينطوي على أداء محتمل، والمبنى النهائي هو ذاك الذي يحقِّق الأداء الفعلي، ولذا لا بد أن يتضمن تقييم الحل المقترح إمكان تشييده بتكلفة معقولة (اقتصادياً وبيئياً) في مدة معقولة وبطريقة آمنة، مع تحقيق الأداء المطلوب.

وقد كان الغرض من التحليل في الفصول السابقة تحديد وتفصيل المكوِّنات

(*) المقصود هنا في المملكة المتحدة (المترجم).

وموادها وأشكالها وأبعادها ومواضعها النسبية ضمن البنية المكتملة. إن كل تحليل للإنتاج يحتاج إلى هذه المعلومات لكي ينظر في الطرائق والموارد التي يمكن أن تجعل من تلك المتطلبات حقيقة واقعة. لكن هذا لا يعني أن من غير الممكن التفكير بالإنتاج قبل إنهاء التصميم. فحتى لو كان التصميم في مرحلة مبكرة ولم تُنجَز فيه إلا أفكار عامة عن المواد والأبعاد، فإنه يمكن تحديد مؤشرات أولية لخيارات الإنتاج. ومن الممكن تصوُّر متطلبات الإنتاج فور انبثاق صيغة مادية للمبنى. وهذا يمكن أن يؤثِّر حينئذ في اختيار عملية البناء مع اكتمال تنقيح الحل.

تصوُّر مراحل وتسلسل الإنتاج

تطلَّب تحليل سلوك المبنى النهائي الذي ورد في الفصول السابقة مقدرة على تصوُّر الأعمال مكتملة. وقد كان من الضروري وجود مقدرة على تصوُّر المبنى مجمَّعاً كلياً في ظروف التشغيل الفعلية. من ناحية خرى، وبغية النظر في عمليات الإنتاج أو التجميع، من الضروري تصوُّر المبنى مجزَّأ إلى أجزاء كي يكون من الممكن رؤية المواد والمكوِّنات التي سوف تُبنى تلك الأجزاء منها في مراحل التصنيع المختلفة، ورؤية الهيئة التي يمكن كل جزء أن يظهر عليها حين الوصول إلى موقع البناء، والكيفية التي يجب تحضيره بها لتركيبه ضمن البنية المجمَّعة النهائية. وهذا يؤدي بعدئذ إلى التمكُّن من تصوُّر الهيئة التي سوف يبدو عليها المبنى في كل مرحلة من مراحل تشييده وقد نُفِّذ جزئياً. وذلك ضروري لتحليل طرائق الإنتاج وموارده، إضافة إلى سلوك المبنى المجمَّع جزئياً لضمان بقائه آمناً في كل مرحلة من الإنتاج.

ويجب تصوُّر سلسلة الإنتاج على شكل مراحل متتالية كل منها تُنفَّذ في ظروف آمنة. وبعدئذ من الضروري تحديد العمليات التي يجب القيام بها للانتقال من مرحلة إلى أخرى. ويمكن تنفيذ هذه العمليات غالباً بطرائق مختلفة، لكل منها مواردها التي يجب أن تكون ذات جودة مقبولة ومتوافرة بكميات كافية. يُضاف إلى ذلك أن المقدرة على تصوُّر طريقة ملائمة لإنتاج المبنى على نحو آمن، وبطريقة اقتصادية لتحقيق الأداء المطلوب، هي معيار إعلان قابلية المبنى للتشييد.

ويكمن أساس تحليل قابلية المبنى للتشييد في المقدرة على تحديد جميع العمليات الضرورية لإنجاز كل مرحلة من مراحل التشييد. فهناك طيف واسع من العمليات التي يجب إجراؤها، بدءاً من تداول ومعالجة وتحضير وتجميع الأجزاء، وانتهاء بالأعمال التقنية والإدارية. ويجب تعريف كل عملية مع اختيار طريقة لتحديد الموارد الضرورية لتحقيق المرحلة التالية من الإنتاج.

ومن الضروري توافر المقدرة على تصوُّر تلك المراحل وتحديد العمليات التي سوف تُجرى فيها واتخاذ القرار بشأن طرائق تنفيذها من أجل التمكُّن من البحث عن الموارد اللازمة لإنجاز العمل.

التصنيع والتجميع

تتميَّز عملية الإنتاج الشاملة بأخذها لمواد معالَجة وتشكيلها لتعطي مكوِّنات، ثم تجميع تلك المكوِّنات لتكوين المبنى. ومن بين القرارات الرئيسية التي يجب اتخاذها في هذه العملية ما يخص الأمكنة التي يجب أن تُجرى فيها تلك العمليات. فثمة في المجتمعات الصناعية خيارات كثيرة متاحة لأماكن صنع المكوِّنات وتنفيذ عمليات التجميع.

وفي عمليات البناء التي كانت شائعة، كانت المكوِّنات تُصنع وتجمَّع اعتماداً على المهارات اليدوية. وتتضمن هذه الأعمال القص والتركيب في موقع البناء، وهذا ما يجعل العمليات في الموقع هي المهيمنة. لكن هذا لا ينطبق على بعض المباني الحالية. فالمكوِّنات تُصنع، وحتى تُجمَّع، خارج الموقع. وتصل المكوِّنات إلى الموقع على شكل وحدات نصف مجمَّعة أو مسبقة الصنع بالمقاسات المقرَّة من دون الاكتراث بالضبط في الموقع. وهذا لا يعني أن عملية الإنتاج أصبحت الآن أكثر ارتباطاً بالتصنيع فقط، بل إن العمل في الموقع أصبح أكثر تركيزاً في عمليات الوصل والتثبيت بهدف ضبط المقاسات. وفي إحدى العمليات الأخرى، يمكن تشكيل المكوِّنات في الموقع في مواضعها النهائية، ومن أمثلة ذلك أطر الخرسانة المسلحة. وحينئذ، يمكن اعتماد التصنيع خارج الموقع للأعمال المؤقتة والتقوية، في حين أن العمليات في الموقع تتركَّز في التشكيل.

ومع أنه قد جرى تطوير منظومات معقدة مسبقة الصنع، فإن عملية إشادة الأبنية ما زالت تتضمن مزيجاً من عمليات التصنيع في الموقع والتصنيع المسبق. لذا من الضروري الانتباه إلى الموازنة بين التصنيع والتجميع في الموقع وفي خارجه. طبعاً هذا يعتمد على توافر العمال والتقنيين المدرَّبين والمجموعة الإدارية المؤهَّلة تأهيلاً مناسباً لتحقيق الجودة المطلوبة ضمن الحدود الزمنية المتوقعة. وثمة مناقشة أكثر تفصيلاً لأوجه خيارات الإنتاج في نهاية هذا الفصل.

تحديد المراحل

تُعرَّف عملية الإنتاج بكليتها بأنها تأخذ المواد المعالَجة وتشكِّلها لتكوين القطع

ثم تجمِّع تلك القطع لتكوين المبنى. ويمكن النظر إلى الإنتاج على أنه سلسلة من المراحل، أو وفقاً لما يُعرف به في تخطيط الإنتاج، سلسلة من الأنشطة التي يتخصَّص كل منها بصنع الجزء التالي من المبنى. وتحصل هذه الأنشطة على التتالي، وكل منها يقترن بسلسلة من العمليات التي تحدِّد طرائق ومجموعة الموارد التي تصل بالمرحلة إلى نقطة طبيعية يمكن عندها التيقُّن من سلامة تنفيذها قبل البدء بالمرحلة التالية.

ويمكن المراحل أن تكون كبيرة أو مفصَّلة بالقدر المطلوب تبعاً لمرحلة التفكير بعملية الإنتاج. حتى في مرحلة التصميم، قد يكون من الضروري التفكير ببعض أجزاء المبنى بشيء من التفصيل بسبب الطبيعة الابتكارية للتصميم. طبعاً، حين تخطيط عملية الإنتاج، سوف تكون ثمة حاجة إلى برامج شهرية، وحتى يومية.

وتكمن مبررات تجزئة عملية البناء إلى مجموعة من الأنشطة في ضرورة أخذ فكرة عن الطرائق والموارد التي يمكن استعمالها والتي تحدِّد التكلفة والمدة وجوانب الأمان، إضافة إلى الحكم على إمكان ضمان حسن الأداء ضمن حدود التسامحات، على سبيل المثال. إلا أن من الصعب وضع قواعد لحجوم المراحل لأنها تعتمد على مدى جِدَّة الحل المقترح. في حالة الحلول الراسخة والمعتَمدة ذات التفاصيل المعروفة جيداً، يمكن تصنيع عناصر كاملة، مثل الأسس والجدران والأسقف أن يكون كافياً. أما إذا كان الحل جديداً (أو على الأقل غير معروف أو حتى منسي)، فيجب التفكير بمراحل صغيرة نسبياً بغية التيقُّن من إمكان تنفيذها.

وحينما تصبح تقسيمات المراحل، أو الأنشطة، صغيرة جداً، تصبح من مهام العمال فرادى. وتصبح جزءاً من الحرفة اليدوية ويمكن تركها باطمئنان للأفراد ليقوموا بها. لكن قد يبدو في البداية ألاّ حاجة لفهم الإنتاج في هذا المستوى. إلا أنه عندما تتغيَّر طرائق الإنهاءات، قد يُصبح من الصعب الوصول إلى معايير ملائمة لمنهجيات العمل القائمة. وأحد أمثلة ذلك التي اعتُبرت سبباً لبعض الإخفاقات المبكرة للصمغ اللُّباني (mastic) كان حين إدخاله أول مرة في عملية البناء. فقد تطلبت المواصفات أن تكون السطوح نظيفة. وأعطت الممارسات الحِرَفيّة في ذلك الحين لكلمة "نظيف" معنى كان غير ملائم لهذه الحالة. فقد تضمنت طرائق استكمال عملية تنظيف السطوح منتجات وأدوات لا تستطيع تحقيق مواصفة النظافة المطلوبة ليحقِّق الصمغ وظيفته. ونظراً إلى عدم تنبيه العامل إلى أهمية تنفيذ المواصفة بشكلها الجديد، فقد اتَّبع النهج الشائع غير الملائم، وهذا ما منع من تحقيق الأداء النهائي المطلوب. إن فهم الممارسات الحرفية ضروري لتحديد قابلية تنفيذ الحل المقترح.

وأحد أنواع الأنشطة التي يمكن النظر فيها بشيء من التفصيل نزولاً حتى المستوى التنفيذي هو النشاط الذي يتكرر كثيراً في تجميع المبنى بكليته. فالوفر القليل المحقق في هذا النوع من الأنشطة يمكن أن يكون ذا مردود عال من حيث التكلفة والمدة من دون تخفيض مستوى الأداء إذا جرى التفكير بها حين تقييم الحل المقترح. وهذا النوع من التحليل ضروري لتقييم وصلات ومثبتات المنظومات المعقدة المسبقة الصنع، فهي من النوع المتكرر.

وعلى وجه العموم، يعتمد عمق التحليل المطلوب على المشاكل المتوقَّعة. تقترن المخاطر عادة بالسلامة والأمان، وبالجوانب الفنية والمالية للمشروع. وتكون تلك المخاطر في ذروتها في الإنشاءات الجديدة أو حيث تكون ظروف الموقع معقدة، ومن أمثلة ذلك العمل ضمن أو في جوار مبانٍ يجب أن تستمر في عملها.

وتعتبر السلامة سبباً رئيسياً لإجراء تحليل المخاطر، ويجب تقليص تهديد الصحة والسلامة في أي مرحلة من البناء من خلال تغيير المواد والتفاصيل الإنشائية. ويجب أن يكون تقليص المخاطر على السلامة والصحة هدفاً دائماً حين اختيار حل وأثناء تحليل عمليات الإنتاج نفسها.

وتتعلق المجازفة التقنية بإمكان ألاّ يؤدي المبنى وظائفه بعد الانتهاء من تشييده أو أن يعاني من إخفاقات مبكرة في أثناء تشييده أو في أثناء السنوات الأولى من إشغاله، وذلك بسبب طرائق الإنتاج غير الصحيحة. وهذا يقترن غالباً بعدم المقدرة على تحقيق مواصفات المواد المطلوبة، أو جودة اليد العاملة المتخصصة، أو تحقيق دقة الأبعاد المطلوبة التي تضمن أداء الجزء موضوع الاهتمام أو الأجزاء التي سوف تُنجز اعتماداً على إنجازه.

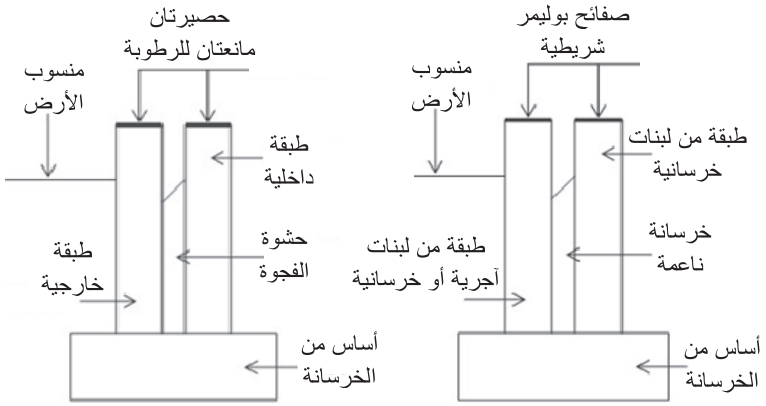
ونظراً إلى أنه يترتب على تأمين السلامة ودرء المخاطر التقنية تكلفة مالية، فإن بعض المخاطر تؤثِّر مباشرة في تقديرات موازنة المشروع. ويمكن المخاطر المالية التي من هذا النوع، والتي تكون في معظم الأحيان غير مرتبطة بالتكلفة المباشرة، أن تنشأ عن عدم تحقيق مواعيد إنهاء المبنى وتسليمه إلى الزبون لإشغاله. تُمكِن مراجعة مخاطر عدم تحقيق المواعيد من خلال تحديد الأنشطة التي تمر في المسار الحرج (critical path analysis). يُحدِّد المسار الحرج المراحل التي تُعتبر جزءاً من سلسلة الأنشطة التي تمثِّل أقصر مدة لتنفيذ المشروع. والتأخيرات التي تحصل فيها تؤثِّر مباشرة في موعد تسليم المبنى إلى الزبون. لذا يجب استعمال تقنيات التخطيط، مثل تخطيط المسار الحرج، لتحديد الأنشطة الحرجة. ومعرفة الطرائق التي يمكن استعمالها لتنفيذ تلك الأنشطة، بشيء من التفصيل،

تقلِّص مشكلة تجاوز مدة التنفيذ التي تترتب عليها غرامات مالية، وتدرأ تدنِّي أداء المبنى بعد إشغاله.

تحليل عمليات الإنتاج وطرائقه وموارده

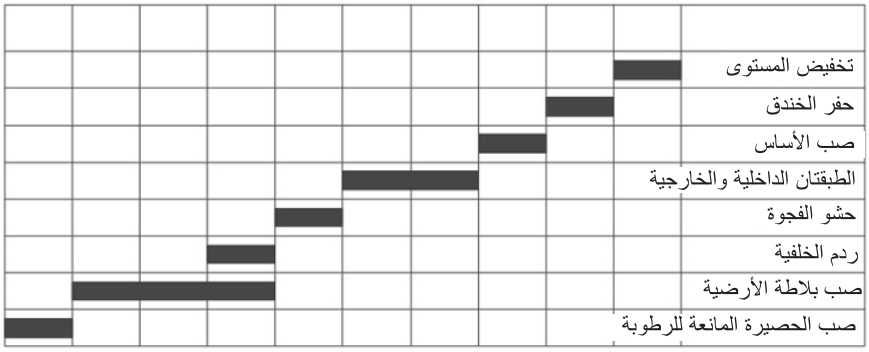
بعد اتخاذ القرار بخصوص مستوى التحليل المطلوب وتجزئة الأنشطة وتحديد تسلسلها على نحو ملائم، يمكن تحديد ظروف ابتداء كل مرحلة وانتهائها. حينئذ يكون من الضروري تحديد العمليات اللازمة لإكمال تلك المرحلة من العمل. ومن خلال فهم العمليات، يمكن اختيار طرائق تنفيذها وموارد المرحلة موضوع الاهتمام. إلا أن تلك الطرائق والموارد يمكن أن تتأثَّر بالطرائق والموارد اللازمة لمراحل أخرى لتحقيق الاستمرارية. وثمة تأثير لتكرار العمليات واستمرارية الموارد في الإنتاجية وفي العلاقة في ما بين الزمن والتكلفة والجودة.

يبين الشكل 1.13 مقطعاً عرضانياً لأساس منزل، حيث يحمل أساس شريطي جداراً ذا فجوة. وبرغم أن هذا هو ما يظهر عادة على مخططات البناء، فإن ثمة أنشطة أو مراحل أخرى في عملية التشييد يجب القيام بها لتحقيق ما ينص عليه التصميم. وتتعلق تلك الأنشطة عادة بتجهيزات الإنتاج التي سوف تُناقش لاحقاً في هذا الفصل. وتتضمن تلك الأنشطة، في هذا المثال، إزالة التربة العلوية وحفر خندق الأساس وربما تدعيمه. وهذه الأنشطة، إضافة إلى الأنشطة المتعلقة بالتشييد، مبينة في الشكل 2.13 الذي يُري سلسلة الأنشطة كما تبدو على مخطط غانت (Gant chart) أو المخطط القضباني (bar chart).

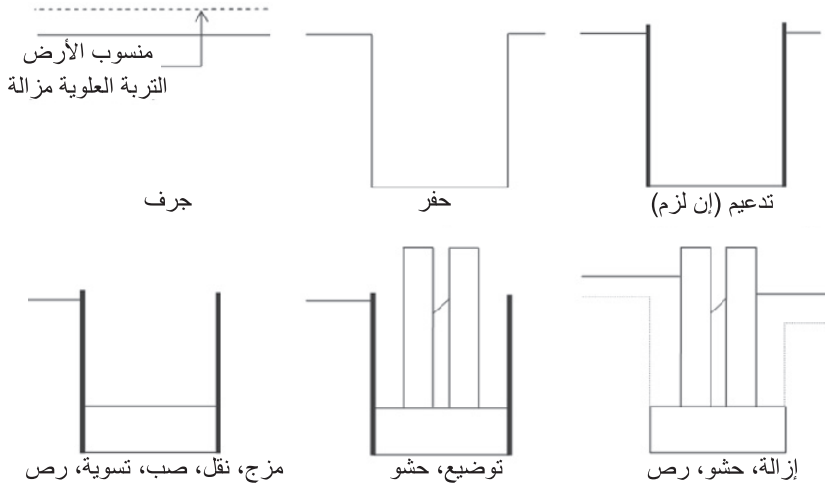


الشكل 1.13 أساسان شريطيان: الأجزاء والمواد.

لقد أصبح من الممكن الآن تحديد العمليات الخاصة بكل مرحلة في تشييد الأساس. وهذا يتطلب استعمال مفردات (مصطلحات) جديدة لتصوُّر عملية التشييد المقترحة ووصفها. لقد وُصفت الأنشطة أو المراحل منسوبة إلى أجزاء البنية التي تجري إشادتها: أساس، جدار، حصيرة مانعة للرطوبة. ويُري الشكل 3.13 مقترحاً ينطوي على أن العمليات هي أحداث، ولذا تتطلب كلمات تعبِّر عن الفعل (مثل الحفر والتوضيع والصب والنقل).



الشكل 2.13 أساس شريطي: المراحل وتسلسل التنفيذ.



الشكل 3.13 أسس شريطية: عمليات مراحل التشييد.

ويوضِّح الشكل 3.13 تكرار المرات التي تتضمن فيها الأنشطة عدداً من العمليات. فالخندق يتطلب حفراً، وقد يتطلب أيضاً أعمال تدعيم مؤقتة، لكن الأعمال المؤقتة لا تظهر على مخططات البناء عادة. وفهم عملية الإنتاج وحده هو الذي يمكِّن من تحديد الحاجة إلى بنى مؤقتة وإلى بعض الأفكار عن الطرائق الملائمة والموارد الضرورية لضمان إنتاج اقتصادي آمن. ويتضمن تشكيل الأسس سلسلة من العمليات المتكاملة الخاصة بصب الخرسانة: خلط، نقل، صب، تسوية، رص، ويجب التحكُّم في كل ذلك لضمان أن جودة الخرسانة وموضع صبها قد تحقَّقا ضمن التفاوتات المسموح بها.

إن هذه الأفعال العملية هي التي تعطي أفكاراً عن الطرائق البديلة وعن أنواع الموارد التي يمكن استعمالها. وفي حالة حفر الخندق، يمكن أن يحصل ذلك يدوياً في الأماكن الضيقة، إلا أنه من غير المحتمل أن يكون اقتصادياً إذا كان دخول الآلات ممكناً إلى المكان. وإذا استُعملت الآلات، فإن المهارات المطلوبة تتغيَّر من عمال عاديين إلى سائق آلية وموجِّه يوجِّهه لضمان عمليات آمنة. ويمكن صب الخرسانة أن يكون يدوياً أيضاً في أسفل الخندق الصغير نسبياً، أما خيارات توريدها ونقلها فتعتمد على الكمية وعلى ظروف الموقع. وفي ما يخص الأعمال الصغيرة، يمكن عربة اليد أن تكون كافية، أما في الأماكن المفتوحة فإن آليات نقل الخرسانة قد تكون أقل تكلفة. أما توضيع الحصيرة المانعة للرطوبة، فهو عادة جزء من عملية بناء الآجر حين بناء الجدران الخارجية(*).

بالعودة إلى الشكل 3.13، يُستعمل مخطط غانت، أو المخطط القضباني، لتوضيح تسلسل العمليات ومددها. إن طريقة تنفيذ عملية ما وتوافر الموارد اللازمة لها، هما اللذان يحدِّدان المدة التي يستغرقها تنفيذها. وهذا هام جداً في تخطيط الإنتاج بهدف توريد الموارد الملائمة إلى موقع العمل في الوقت المحدَّد وبالكميات المطلوبة. إلا أن الزبائن يهتمون، حتى في مرحلة التصميم، بالتوقيت كاهتمامهم بالتكلفة، ولذا تُعتبر مدة التنفيذ واحدة من الجوانب المفتاحية في اختيار حل للمبنى.

من الممكن الآن تخيُّل طيف الموارد التي يمكن استعمالها في تصنيع المباني

(*) لا بد من التذكير هنا بأن هذا التقدير للتكلفة مرتبط بالظروف في المملكة المتحدة (المترجم).

وتجميعها. تتضمن الموارد المباشرة المكوِّنات والمواد المحدَّدة للتنفيذ، واليد العاملة الماهرة والمدرَّبة اللازمة لإنجاز العمل، وتجهيزات الإنتاج التي تساعد عملية الإنتاج. وثمة حاجة أيضاً إلى دعم تقني وإداري مع خبرة ومعرفة عملية. أما الموارد غير المباشرة المتعلقة بتنظيم الشركة ورأس المال، فهي ضرورية أيضاً، إلا أنه لا يُنظَر إليها في تحليل التصنيع والتجميع الذي يمثِّل موضوع هذا الفصل.

ويمكن الموارد أن تتضمن أعمالاً مؤقتة لا تُرسم على شكل مواد ومكوِّنات على مخططات المبنى المكتمل. إنه من الضروري الأخذ في الحسبان لطيف من الأعمال وإجراءات الأمان المؤقتة من أجل إنجاز العمل. وفي بعض الحالات، يمكن تلك الإجراءات المؤقتة أن تُمثِّل جزءاً هاماً من تكلفة ومدة تنفيذ العمل. وهذه هي حالة صب الخرسانة في الموقع. فثمة وسائل مساعِدة مثل قوالب الصب والسقالات التي يجب نصبها وفكها، وهذا يتطلب سلسلة من الأعمال التي تحتاج إلى موارد. وفي تحليل مفصَّل لعملية الإنتاج، يمكن أن تظهر تلك الأعمال بوصفها أنشطة قائمة بذاتها.

وتتحدَّد طرائق التنفيذ ومجموعة الموارد الممكن استعمالها باختيار مواد البناء وتفاصيلها في المقام الأول. أما أساس تحديد تكاليف الإنتاج والإنتاجية فهو يتم من تحديدات أولية في عملية التشييد المختارة في التصميم. يُضاف إلى ذلك أن الاختيار الحكيم لطريقة الإنتاج وإدارته الجيدة يؤديان حتماً إلى مردود جيد. إن المرحلة التي تُختار فيها حلول التشييد، هي التي يحصل فيها تحديد التكاليف الأساسية والإنتاجية.

المواد واليد العاملة

إن توافر اليد العاملة التي تحوِّل المواد إلى حالتها ووضعها النهائيين في المبنى المنجز، جوهري تقريباً لجميع أنشطة التشييد. وهذا من مميزات المجتمعات الصناعية التي تمر فيها المواد عبر عدد من العمليات التي يُنفِّذها عدد من الأشخاص المختلفين. ويتصف أولئك الأشخاص بمهارات وخبرات مختلفة، ويمكن أن يعملوا في أمكنة متنوعة، من تحصيل المواد حتى وضعها بالشكل النهائي في المبنى. وتتجلى تجزئة العمل الخاص بالمواد في عدد الهيئات التي تتعهَّد هذا العمل وفي مستويات الخبرات التقنية والإدارية اللازمة لتنفيذه. وهذا يتطلب تواصلاً في ما بين عمليات التشييد، ومنها الأنشطة الخاصة باختيار المبنى.

وما زالت صناعة البناء تعتمد عدداً من المهارات المعهودة، ومنها النجارة ووضع لبنات الآجر في أماكنها المحددة، برغم التنوُّع الكبير للمهارات الضرورية اليوم. وهذه أعمال أكثر تخصُّصية عموماً، ويمكن اعتمادها في تنفيذ طيف صغير من العمليات التي غالباً ما تُجرى في مرحلة محدَّدة من الإنتاج ذات صلة بجزء معين من المبنى. ومهما كانت طريقة توزُّع المهارات في ما بين الأفراد، فإن كل عملية تحتاج إلى العمال الذين يمتلكون المهارة والخبرة اللازمتين لها.

الصحة والأمان

إن اليد العاملة جوهرية لعمليات البناء، إلا أن ثمة حاجة كبيرة للاهتمام بسلامة العاملين. فالعمليات الصناعية تنطوي بحد ذاتها على مخاطر معينة. ويكشف تحليل العمليات عن المخاطر التي يمكن أن تحيق بالعاملين وبأنواع الأذى التي يمكن أن تُلحقها بهم. وحين تحديد الاحتمالات التي تؤدي بها الحوادث إلى أضرار، يمكن تقييم مدى تعرُّض الأفراد للخطر. فالحادث الذي يمكن أن يسبب أذية كبيرة أو يؤدي إلى الموت، وإنْ كان بعيد الاحتمال، يجب أن يُعتبر خطيراً جداً. والحوادث الكثيرة الشيوع يمكن أن تُعتبر مخاطر كبيرة برغم عدم تسببها لأذى شديد. وهذا النوع من التحليل يجب أن يكون جزءاً من التقييم الذي يُجرى لعمليات الإنتاج المقترحة. وقد يؤدي تقييم المخاطر إلى تغييرات في مواصفات وتفاصيل المبنى المختار، وإلى تضمين إجراءات أمان في عمليات تشييده.

وتمتد المخاطر إلى غير الشخص الذي ينفِّذ العمل. فكل الأعمال يمكن أن تهدِّد آخرين موجودين على مقربة من مكان تنفيذها، سواء في موقع البناء أو في المحيط المجاور مباشرة. ولا يقتصر هذا على أخطار الحوادث المباشرة فقط، بل على التعرُّض القصير والطويل الأجل إلى المهدِّدات الصحية. وقد اشتملت التشريعات على معظم تلك المخاطر والمهدِّدات، وأصبح جعل مكان العمل آمناً من الأخطار من متطلبات القانون. فالقانون يحمِّل المسؤولية جميع الجهات المشاركة في تصميم المباني وتشييدها.

لقد تبيَّن أن أفضل طريقة لتقليص المخاطر هي إلغاؤها بواسطة التصميم من البداية. وعندما يكتمل التصميم، فإن الخطوة التالية هي تغيير سلوك الناس ووضع إجراءات عمل آمنة في أثناء عملية الإنتاج. وتُعتبر وسائل الحماية الفردية آخر الخيارات التي يمكن التفكير بها. فصحيحٌ أن الحماية الفردية ما زالت عاملاً رئيسياً

في الحد من الحوادث والمشكلات الصحية الطويلة الأجل، إلا أن التصميم يجب أن يسعى إلى تقليص اعتماد الأفراد على ملابس وتجهيزات الحماية الفردية.

ويمكن أن تساعد مواصفات وتفاصيل مواد البناء على تقليص المخاطر. فباستبعاد المواد المعروفة بإيذائها للصحة، والتي تتضمن الألياف الزجاجية والمذيبات وغيرها، يمكن الإسهام مباشرة في تحقيق السلامة والأمان. وحيثما كانت ثمة مخاطر كبيرة، مثل تلك المقترنة بالأسبستوس مثلاً، وجب البحث عن بدائل. وفي ما يخص الإسمنت، فإن مخاطره ما زالت غير معروفة، ولذا ما زال مستعملاً لأن البدائل ليست سهلة التحديد، ولأن إجراءات الوقاية منه بسيطة نسبياً.

ويمكن التفاصيل التنفيذية أن تساعد على تحديد الأماكن التي على العاملين الوقوف فيها حين تركيب الوصلات والمثبِّتات، وعلى تحديد حجوم وأوزان الأجزاء التي عليهم التعامل معها. ويجب أن تكون أوزان المكوِّنات التي سوف تُرفع إلى أعلى محدودة، ويجب أن تكون منصات العمل مستقرة وأن تسمح للعامل بالحفاظ على وضعيته. إن العمل في الأعلى، بخاصة مع أجزاء حرة أو غير مكتملة التثبيت، يزيد من خطر سقوطها، وهذا ما يتطلب إجراءات خاصة في مواجهة تلك الحوادث. وثمة مخاطر مقترنة بدخول مكان العمل في المبنى والخروج منه، خصوصاً إذا تضمن حمل مواد أو مكوِّنات. وتكون المخاطر أعظمية عندما تُجرى العمليات على نحو متقارب، خاصة إذا كانت واحدة فوق أخرى. ومن العمليات العالية المخاطر العمل في أمكنة محصورة، والعمل على نحو منفرد بعيداً من الناس.

ومع أن هذا العرض لا يسعى إلى تقديم لائحة شاملة بمسائل الأمان والسلامة، إلا أنه قُصِد ببضعة الأمثلة التي وردت آنفاً الإشارة إلى أن تقييم المخاطر ينجم عن تحليل العمليات التي تفرضها مواصفات وتفاصيل عملية البناء المختارة. لذا يجب أن تتضمن الطرائق المختارة إجراءات أمان لتوفير أمكنة عمل آمنة. فالأمان والسلامة يمكن أن يتحقَّقا من خلال اختيار حلول البناء.

تجهيزات الإنتاج

ما زال كثير من عمليات البناء يُنفَّذ من قبل أفراد يتعاملون مع المواد والمكوِّنات يدوياً، وربما بمساعدة أدوات آلية. إن العمال بحاجة أكيدة إلى طيف من تجهيزات الإنتاج التي يوجد منها صنفان رئيسيان هما تجهيزات مؤقتة وآلات

ومُعدَّات. وقد استعمل البنَّاؤون تلك التجهيزات دائماً ليتمكَّنوا من تنفيذ أعمالهم وجعلها آمنة وأكثر سهولة وأعلى إنتاجية. وثمة كثير من حلول البناء اليوم التي لا يمكن تنفيدها إلا بوجود الآلات والمنظومات المساعِدة.

من الأمثلة الشائعة لأدوات الأعمال المؤقتة والآلات والمُعدَّات تلك المدرجة في الجدول 1.13. إلا أن تجهيزات الإنتاج تلك لا تمثِّل جزءاً من المبنى النهائي الدائم. فهي تُفكَّك عادة وتُستبعد عندما تصبح البنية المنجزة الدائمة قابلة للاستعمال بأمان. ولا تظهر تلك التجهيزات على مخططات البناء أو ضمن مواصفاته. إلا أنها تكون متضمَّنة في عملية البناء المختارة وفي تفاصيلها. لذا، فإن تغيير عملية البناء يقتضي تغيير تجهيزات الإنتاج المؤقتة والآلات والمُعدَّات.

الجدول 1.13 تجهيزات الإنتاج

تجهيزات أعمال مؤقتة	مُعدَّات وآلات
دعم إنشائي	معالجة المواد
• تنفيذات إنشائية جزئية	حفر وأعمال أرضية
• تشكيل	عمليات صب
• أعمال تدعيم أرضي	خرسانة عمليات يدوية محطات
• تدعيم المبنى الموجود	توليد كهرباء
• منصات عمل عمليات في الموقع	
• تسهيلات دخول وخروج	
• أعمال بيئية	
• أمان	
• صحة وسلامة	
• حواجز واقية	

وفي معظم الأحيان، تكمن اقتصادية منظومات تجهيزات الإنتاج تلك في إمكان استعمالها عدداً من المرات في مواقع مختلفة لتشييد مبانٍ مختلفة. وهذا يعني أن أي تحليل لعمرها المفيد يتضمن تحليلاً للسهولة التي يمكن بها تفكيكها ثم إعادة نصبها في أماكن أخرى، بطرائق مشابهة، لكن غالباً غير مماثلة. وتصبح عملية التفكيك والتركيب هذه عامل تكلفة رئيسي في حياة كثير من التجهيزات المؤقتة. ويمكن لها أن تكون بسيطة بساطة نقل واحدة من المعدات من موقع إلى

آخر، أو تفكيك وإعادة تركيب وفحص سقالة أو رافعة برجية مثلاً. إن لإعادة استعمال التجهيزات المؤقتة تلك تأثيراً عميقاً في طريقة تصميمها من ناحية مَقْيَسة ومعيرة مكوِّناتها، وعلى وجه الخصوص من ناحية طرائق ربط مكوِّناتها معاً. لذا يجب تصميم وصلات الربط بحيث يكون فكها وتركيبها سريعين. ويمكن رؤية ذلك في كثير من منظومات الدعم المؤقتة مثل السقالات. وهذه المميزات هي التي تحدِّد اقتصادية مواصفات وتفاصيل التجهيزات المساعِدة المؤقتة. ويجب أن تكون تجهيزات الإنتاج موثوقة. وهذه فكرة مرتبطة نسبياً بتعطل التجهيزات، إلا أن المخاطر المتعلقة بها تجعل اقترانها بمسألة الأمان والسلامة أهم من توقفها عن العمل. وإضافة إلى الجوانب المتعلقة بديمومة تجهيزات الإنتاج، يعني استعمالها المتكرر أنها عرضة للتلف نتيجة لسوء الاستعمال وللتغييرات غير المخوَّل بها. لذا يقتضي إمكان ألاّ تكون التجهيزات آمنة إجراء فحوصات واختبارات دورية لها.

وفي حين أن لوسائل الأعمال المؤقتة والآلات والمعدات كثيراً من الخصائص المشترَكة، فإن أصولها تعود إلى وظيفتين متميزتين تتعلقان بعملية الإنتاج. يمكن تعريف تجهيزات الأعمال المؤقتة بأنها تحقِّق مهمة رئيسية من حيث إن اليد العاملة لا تستطيع من دونها تنفيذ الأنشطة المفروضة في حل المبنى المختار. أما مهمة الآلات والمُعدَّات فهي المساعدة على تنفيذ العمليات التي كانت تُنفَّذ سابقاً يدوياً. وفي عملية المكننة هذه، تحل الآلات محل بعض اليد العاملة (على الأرجح في الأعمال الثقيلة أو القذرة أو الخطرة)، لكنها تولِّد وظائف جديدة تتطلَّب مهارات عالية غالباً. وفي حالة تجهيزات الرفع إلى أعلى، يحل سائقون وموجِّهون وميكانيكيون وغيرهم محل عدد كبير من العمال. إن كثيراً مما يُبنى اليوم لا يمكن أن يُبنى يدوياً، وسيرورات تشييده قائمة على افتراض توافر أنواع معينة من المُعدَّات والآلات.

وقد أصبح التمييز بين بعض وسائل الأعمال المؤقتة والمُعدَّات والآلات غير واضح على نحو متزايد. وأفضل مثال على ذلك منصات العمل الرافعة المتنقلة (mobile elevated work platform). ففي حين أن تلك المنصات هي جزء من عملية مكننة (عربة يمكنها رفع منصة إلى الارتفاع المطلوب)، فإن ما جرت مكننته عملياً (وقوف العامل آمناً على المنصة في أثناء تنفيذه لعمله) كان يحصل سابقاً بواسطة المساعِدات المؤقتة (السقالات).

إلا أن التمييز يبقى واضحاً في نسبة كبيرة من تجهيزات الإنتاج، ولذا يمكن

الاستمرار بالنظر إليها منفصلة، حتى لو أمكن القول أن بعض التجهيزات يمكن أن يقع في أيٍّ من الفئتين.

الأعمال المؤقتة

تُقسم الأعمال المؤقتة عموماً إلى دعم إنشائي مساعد أو إلى أعمال تخص الموقع، ومنها ما يخص الأمن وإقامة حواجز حماية للعمال، وفقاً للمبيَّن في الجدول 1.3. وتوجد في كل تلك الأعمال عناصر تخص الصحة والسلامة تؤثِّر في تصميم الأعمال الإنشائية وتنفيذها ومواعيد توريد تجهيزاتها وإبعادها.

أولاً هناك منظومات توفِّر دعائم إنشائية مؤقتة للارتكاز والتسنيد تبقى موجودة حتى تُصبح البنية الدائمة جاهزة للاستعمال. فبعض صيغ البناء، مثل الأقواس مثلاً، تُبنى من مكوِّنات لا تعمل إلا مجتمعة بعد الانتهاء من بنائها. وهذا يطرح سؤالاً جوهرياً في جميع حلول البناء: هل تستطيع المكوِّنات حمل نفسها في أثناء التجميع؟ فإذا كان الجواب سلبياً كانت ثمة حاجة إلى بعض تجهيزات الدعم المؤقت لحمل البنية في أثناء تنفيذها.

وإذا كانت القطعة مصنوعة من مادة مثل الخرسانة التي لا شكل لها في البداية، كانت ثمة حاجة إلا قالب. يمكن تشكيل الخراسانة في الموقع في موضعها النهائي، ويمكن أيضاً تشكيلها في قالب بعيداً من الموقع، ثم تُنقل إليه وتُثبَّت في موضعها النهائي. يُعرف هذا بالصب المسبق. وفي كل من حالتي الصب المحلي والصب المسبق، ثمة حاجة إلى قالب صب. وفي حالة الصب في الموقع، يجب تركيب القالب في الموضع المخصَّص للقطعة الخرسانية في المبنى. ونظراً إلى أن المواد التي يُصنع منها القالب (خشب، معدن، أو حتى ألياف زجاجية) شديدة الاختلاف عن المادة التي سوف تُصب، يمكن أن يشتمل العمل على حِرَف مختلفة. لذا يمكن التفكير بالقالب ولمتطلبات تدعيمه في هذه الحالة في وقت التصميم، وبالتفاصيل بغية التبسيط وتحقيق التكرارية، أن يكون ذا تأثير كبير في تكلفة المبنى النهائية. وقد شوهد ذلك في تصميم بلاطات الخرسانة المسلحة المصبوبة في الموقع، ثم تطور من تصميم العارضة والبلاطة إلى البلاطة المسطحة، حيث كان تبسيط القالب سبباً رئيسياً لتخفيض التكلفة.

وثمة نوع آخر من أعمال الدعم المطلوبة هو الحفر العميق. فنظراً إلى التنوُّع الكبير في طبيعة الأرض وفي تشكيلات الأعمال النهائية الدائمة التي تُنفَّذ تحت

الأرض، يمثِّل ذلك الدعم جانباً رئيسياً يجب الاهتمام به. فحيثما يكون الحفر عميقاً أو بجانب بنى قائمة، فإن التدعيم الأرضي يتضمن غالباً أعمالاً هندسية كاملة. لكنْ ثمة لتدعيم الأعمال الأرضية عواقب على كل من التكلفة وعلى مدة تنفيذ البناء. وغالباً ما يُترك الخيار للبنَّاء بشأن اعتبارات تسلسل وصعوبات تنفيذ الأعمال الدائمة حول البنى المؤقتة من حيث خطورة حركة الأرض في أثناء التشييد. إلا أن تطوير حلول مثل الجدران الحاجبة (diaphragm wall) والأوتاد المتجاورة (contiguous piling) التي تسمح بتشييد البنى الأرضية الدائمة من دون اتباع طرائق تدعيم الأعمال الأرضية الاعتيادية، أسهم إسهاماً كبيراً في تخفيض تكاليف بناء الأقبية وتقصير مدد تنفيذها وتحسين أمانها، خاصة في مراكز المدن. وثمة مناقشة لهذه النواحي أكثر تفصيلاً في الفصل 28.

وعندما تكون الأعمال التي يجري تنفيذها فوق الأرض بجوار مبانٍ قائمة، أو تخص الاحتفاظ بجزء من مبنى قائم، أو بإدخال تغييرات فيه، يمكن إزالة التدعيم الذي يوفِّره المبنى الأصلي على أن يُعاد في مرحلة لاحقة. ولذا سوف تكون ثمة حاجة للتدعيم المؤقت في أثناء عملية التشييد. ويُعرف هذا عادة بالتسنيد (shoring).

إن الغاية من جميع الأعمال المؤقتة تلك هي تدعيم جزء من المبنى أو الأرض إلى أن تستطيع البنى الدائمة حمل الأحمال بنفسها بأمان. أما المجموعة الأخيرة من منظومات التدعيم المؤقت فهي منصات العمل. لا تدعِّم هذه المنصات المبنى نفسه، بل تُستعمل لرفع العمال والمواد في أثناء تنفيذ الأعمال. وثمة حاجة إليها إلى أن تكتمل عمليات التجميع. وتتكوَّن المنصات غالباً من سقالات يجب أن تحمل المكوِّنات والمواد، إضافة إلى العمال أيضاً. ونظراً إلى استعمالها مباشرة من قبل العمال لتنفيذ الأعمال، تصبح قضايا الأمان والسلامة جوهرية في نصب السقالة. لذا من الضروري النظر في وضعيات الأفراد عليها في أثناء العمل واتخاذ الاحتياطات اللازمة لدرء الحوادث.

وتُري الإحصاءات أن حوادث السقوط من أعلى هي السبب الرئيسي للأذى، وأن معظمها يحصل عندما يُنفَّذ العمل في أماكن عالية. ولا يكون السقوط من المنصات المؤقتة فقط، بل من أجزاء المبنى الدائمة أيضاً. وتشمل مخاطر السقوط كلاً من العمال أنفسهم والمواد والأدوات التي يستعملونها والتي تؤذي من هم في الأسفل. وهذا ما يجعل حواجز الحماية الجانبية على قدر كبير من الأهمية. وفي

حالة المنصات المؤقتة، مثل السقالات، يجب أن يشتمل تصميمها على قضبان للتمسُّك بها يدوياً وعلى حواجز جانبية للأقدام. وإذا شكلت منصات العمل أجزاء دائمة من المبنى، وجب تأمين حواجز حماية مؤقتة لحوافها.

وغالباً ما تفرض عملية التنفيذ المكان الذي يجب أن يقف فيه العامل، وأنواع الأعمال التي يجب عليه القيام بها عند حافة المبنى أو بجوارها. فعلى سبيل المثال، يمكن صفائح الإكساء أن تُثبَّت أحياناً في أعلى بلاطة أو على حافتها. ويمكن عملية التثبيت تلك أن تتضمن تثقيباً أو استعمال السكب في قنوات التثبيت. ولهذه العمليات تأثير في تحقيق التسامحات وتوافق المقاسات، وهي تحدِّد أيضاً الخيارات المتعلقة بالعمليات التي سوف تُجرى عند حافة المبنى.

ويمكن منصات العمل أن تكون مقترنة بتجهيزات متنقلة (منصة متحركة) تُصنَّف مع المُعدَّات عادة. وتُستعمل هذه التجهيزات على وجه الخصوص عندما تُجرى العمليات في مواضع متتالية معزولة نسبياً في الأعلى فوق مناطق مفتوحة، مع سطح مناسب للتنقُّل ونقل المعدات عليه بأمان.

لا يوجد دور إنشائي جوهري لكثير من البنى المؤقتة، بل هي ذات صلة عموماً بتنظيم الموقع العام، مع أن دور المبنى المختار في تحديدها قوي جداً. وكثير من هذه المنظومات يكون على صلة بمنافذ الدخول المؤقتة إلى الموقع، وذلك لنقل المواد والمكوِّنات والأفراد إلى الأمكنة التي تُنفَّذ الأعمال فيها. ويشتمل الدخول إلى مكان العمل والخروج منه على تحركات أفقية وعمودية، ونوع المبنى هو الذي يحدِّد طيف الأحمال المنقولة وطرائق نقلها وأعدادها.

يقع تحليل تلك الأعمال المؤقتة في صلب تنظيم الموقع، حيث يجب تحديد مسالك نقل المواد ومناطق خزنها وطرائق تحميلها وتنزيلها، حين تخطيط النفاذ المؤقت إلى الموقع. والأحمال التي سوف يجري نقلها، والمسالك التي تتبع مقاسات المنافذ هي التي تحدِّد مواصفات تلك المسالك. لا تحتاج الرافعات الجسرية التي تحمل المواد في الهواء إلا إلى مكان تنزيل، في حين أن رافعة البكرة والحبل تتطلب ارتكازاً على البنى الدائمة أو المؤقتة. وتحتاج الآليات إلى طرقات ومواقف صلبة لتنزيل حمولاتها، إضافة إلى تجهيزات بيئية تحدُّ من من تكوُّن الوحل والطين. ويُعتبر فتح ممرات خاصة بالمشاة مستقلة عن طرقات الآليات من عوامل الأمان.

والصلة هنا بالمُعدَّات والآلات قوية جداً. فالمثالان السابقان عن الرافعة الجسرية ورافعة البكرة والحبل، اللتين تُستعملان في رفع المواد، يشيران إلى كيفية تحديد مستوى المكننة، والحاجة للمنافذ المؤقتة المستعملة للدخول والخروج.

ومع أن فكرة حركة العاملين من منطقة العمل وإليها هي فكرة تامة الوضوح، قد يُفترض في البداية أن المواد والمكوَّنات فقط هي التي يجب نقلها إلى مكان التجميع. لكن جميع العمليات تولِّد قدراً ما من النفايات التي تنجم عن تحضير المواد وتشكيل المكوِّنات وقصها، أو عن مواد التغليف التي تورَّد المكوِّنات بها. لذا يجب القيام بتقدير كميات تلك الفضلات والأنماط التي سوف تتَّخذها عند تخطيط عمليات التخلُّص من النفايات.

وقد يكون من الضروري إقامة مبانٍ مؤقتة للأعمال الإدارية للحماية البيئية. إن جميع المواقع تقريباً تتطلب مكاتب ومستودعات مؤقتة تعتمد حجومها على حجوم الأعمال التي سوف يجري تنفيذها. فقد تُحضَّر في بعض المواقع مواد أو حتى وحدات جزئية مجمَّعة، لكن ليس في موضعها النهائي من المبنى. وقد تكون أماكن تلك العمليات مغطاة على شكل ورش أو معامل صغيرة. حتى إنه قد يكون من المفيد تأمين غطاء لمكان أعمال التجميع نفسها إذا كانت ظروف الطقس المتوقَّعة سيئة، برغم أن كثيراً من عمليات التجميع تُجرى عادة في الهواء الطلق.

وهناك حاجة أيضاً إلى أعمال تخص الأمن على حدود الموقع بغرض حمايته والحدّ من دخول العامة إلى أمكنة تُجرى فيها أعمال خطرة. وقد تكون ثمة ضرورة لإجراءات أمنية إضافية لحماية المواد والمكوِّنات من السرقة والتخريب. وتمثِّل بعض الأشياء، مثل أسطوانات الغاز، مهدِّدات خطيرة، وقد تكون ظروف خزنها خاضعة لمتطلبات قانونية. وكل ذلك يجب أن يكون موضع اهتمام.

صحيحٌ أن الأعمال المؤقتة التي طُرحت حتى الآن يمكن أن تُحقِّق معظم متطلبات الصحة والأمان والسلامة، إلا أن بعض العمليات قد تتطلب عناية خاصة. فثمة مناطق خطرة، مثل الحفر العميقة وكِبال الطاقة الكهربائية المعلقة والفتحات الواسعة في البلاطات، وكلها تتطلب وجود حواجز حماية منها.

ويمكن كثيراً من نواتج العمليات في الموقع أن يُهدِّد الموارد البيئية، مثل التربة والهواء ومصادر المياه والحياة البرية. ومع أنه يمكن درء تلك المهدِّدات على أفضل وجه باتخاذ إجراءات تحدُّ منها، إلا أن من الضروري توفير وسائل متخصِّصة للتخلُّص منها أو من مفاعيلها.

لقد كان هنالك مقترحات لأعمال مؤقتة ضرورية بوصفها بنى داعمة، ولأعمال أخرى لازمة لتشغيل الموقع بكليته. وفي جميع الحالات تتأثَّر تلك الأعمال باختيار المبنى. إن تحليل كيفية تصنيع الحل المقترح وتجميعه يتضمن تحديد الأعمال المؤقتة اللازمة له.

المُعدَّات والآلات

لقد بيَّنا سابقاً أن تجهيزات الأعمال المؤقتة لازمة من حيث المبدأ لتجميع المباني، في حين أن أصول المُعدَّات والآلات تعود إلى مكننة العمليات اليدوية. إن من غير الممكن تشييد كثير من المباني اليوم من دون آلات، لأن اختيار نوع المبنى في التصميم يقوم على افتراض وجود تلك المُعدَّات والآلات. ومعرفة مستوى المكننة المتوافرة يجب أن تكون جزءاً من تحليل الحل المقترح.

إن أكثر عمليات مكننة الأعمال اليدوية نجاحاً هي عمليات تداول المواد. فحجوم وأوزان الأحمال التي يمكن رفعها تؤثِّر مباشرة في حجوم المكوِّنات وفي حجم المبنى الممكن تشييده من حيث المبدأ. وطيف مُعدَّات تداول المواد والأغراض منها واسع جداً. وهي تختلف باختلاف مقاسات الأحمال التي تستطيع حملها، وبتنوُّع المقدرات التي تتصف بها من حيث نقلها لمواد ومكوِّنات مختلفة ضمن الموقع بغية وضعها في أمكنتها.

إلا أن أكثر أوجه الاختلاف بينها جلاء يكمن في الحركتين الشاقولية والعمودية. فالشاحنات القلاّبة والكبيرة والصغيرة تتحرك جميعاً أفقياً، في حين أن روافع البكرات والرافعات الثابتة تنقل المواد عمودياً. أما الرافعات البرجية والشوكية والمضخات، وحتى الحوامات، فيمكن أن تحقِّق النقل أفقياً وشاقولياً. لكن ثمة لتلك المُعدَّات حدود عملياتية للحركة في المستويين الأفقي والعمودي يجب أن تكون متوافقة مع طريقة النفاذ إلى الموقع ومع صيغة المبنى المختار.

ويُعدُّ الحفر ونقل الأتربة من أعمال الموقع ذات الطبيعة الخاصة التي تطلَّبت تطوير مجموعة من المعدَّات المتخصِّصة. وتشتمل عملية الحفر على قوى إضافية غير تلك الخاصة بالجرف والتقاط نواتج الحفر وتحميلها. وتختلف مُعدَّات الحفر من آلات دوارة ذات سطول متنوعة حتى آلات متخصصة بحفر الخنادق. وتُستعمل المضخات لتفريغ الماء من الحفر. وثمة طيف من أنواع الشاحنات والقلابات لأغراض النقل تعتمد مقاساتها على حجوم العمليات التي سوف تقوم بها.

ومن أنشطة الموقع الأخرى التي تتضمن طيفاً من العمليات، والتي جرت مكننتها، أعمال صب الخرسانة. ففي حين أن معظم المكننة يخص تداول المواد، فإن ثمة عمليات تخص التحضير والتجميع النهائي في حالة صب الخرسانة. ويختلف مقدار الخرسانة الأصغري الذي تُمكن مكننة خلطه، من مقادير صغيرة يمكن خلطها بواسطة جبَّالة تُغذَّى بالمواد يدوياً، إلى مقادير كبيرة تحتاج إلى معدَّات خلط تامة الأتمتة تُنتِج الخرسانة على دفعات متتالية. ويمكن أن يحصل نقل الخرسانة المخلوطة إلى القوالب باستعمال معدِّات تداول متنوِّعة تعتمد على ظروف الموقع وعلى المرحلة التي وصلت إليها عملية البناء. وعندما تصبح الخرسانة في القالب يمكن استعمال الأتمتة في فرشها وتسويتها ورصِّها. وأحد أعمال الخرسانة الذي أصبح أكثر مكننة هو صب أرضيات خرسانية واسعة ترتكز على أرضيات مدعمة. فالآلات التي تُنفِّذ صبها شديدة التخصُّص في وضع الخرسانة في موقعها وفرشها وتسويتها وإنهائها، وهي تتضمن أيضاً بعض عناصر الأتمتة.

إلا أن ثمة كثيراً من العمليات التي ما زالت تنفَّذ يدوياً باستعمال أدوات يدوية، وربما آلات صغيرة مثل المثاقب. فالقص والتثقيب وتركيب البراغي والبخ هي بضعة من العمليات اليدوية التي تُجرى اليوم باستعمال أدوات كهربائية. وكثير من تلك الأدوات يمكن أن يعمل بالبطارية، أما الكبيرة منها والتي هي أقوى، فتحتاج إلى مصدر طاقة مناسب. وتُعتبر الكهرباء والهواء المضغوط منبعين رئيسيين للطاقة للأدوات الكبيرة. وهذا يقتضي استعمال مولِّدات كهرباء وضواغط هواء في الموقع للأدوات الصغيرة.

تُصنَّف المعدَّات بأنها إما محمولة باليد (ثمة آلات بسيطة، من قبيل رافعة البكرة والسلسلة، تُشغَّل يدوياً) أو يقودها سائق. وهناك بعض المحاولات لأتمتة عمليات ذات معدَّات بلا سائق يُستعمل فيها التحكُّم الحاسوبي. ومع أن التطبيقات التي من هذا النوع محدودة في الموقع، إلا أنها استُعملت على نحو متزايد في الإنتاج في المعامل. وقد أدى استعمال تقانة التحكُّم الحاسوبي في التصنيع إلى منظومات تربط إلكترونياً بين المعلومات التصميمية ومرافق التصنيع بهدف أتمتة عملية التصنيع.

إن فهم عملية المكننة وإمكاناتها يحدِّد الصلة بين حل المبنى المختار وعملية الإنتاج. فتطوير وتوفير الآلات والمُعدَّات لهما تأثير كبير في تطوير حلول البناء. وفي بعض الحالات، يجب أن يُطوَّر الجانبان معاً. في أعمال الهندسة المدنية

المبكرة، كان على المهندس أن يصمِّم آلات للإنتاج ولأعمال الهندسة المدنية ذاتها. أما معظم المباني الحالية، فلم يكن ممكن التشييد لولا توافر الآليات والمعدات وتقنيات التصنيع. فأكثر الطرائق شيوعاً لتوريد المكوِّنات والمواد إلى الموقع لم تكن ممكنة من دون توافر معدَّات تداول المواد. وهذا يوضِّح مرة أخرى ضرورة إجراء تحليل الإنتاج بوصفه جزءاً من حل البناء المقترح.

خيارات الإنتاج

تتميَّز عملية الإنتاج بأخذها لمواد سبقت معالجتها وتشكيل مكوِّنات منها وتجميعها معاً لإنشاء المبنى. وهذا يتضمن سلسلة عمليات يقترن كل منها بطريقة تحدِّد الموارد اللازمة لإنجاز العمل. لكن سلسلة الأنشطة الخاصة بالمعالجة والتشكيل والتجميع تتأثَّر كثيراً بالمواصفات والتفاصيل المختارة لتنفيذ التصميم.

وبغية القيام بتحليل لعملية الإنتاج تلك، يجب تصوُّر المبنى على شكل قطع مجزَّأة، لأن من الضروري تصوُّر كل جزء في كل مرحلة من مراحل تصنيعه وتجميعه. فتصوُّر المكوِّنات والمبنى مُشاد جزئياً في كل مرحلة من مراحل بنائه، إضافة إلى تصوُّر العمليات التي يجب إجراؤها للوصول بالمبنى إلى شكله النهائي، يتصفان بالقدر نفسه من الأهمية كالمقدرة على رؤية المبنى منجزاً كلياً ومستجيباً إلى متطلبات تشغيله.

إن القرارات التي تُتَّخذ باكراً في مراحل تصميم المبنى، تؤثِّر كثيراً في طبيعة أنشطة الإنتاج من حيث تسلسل الأحداث الضرورية لتشييد المبنى، ومن حيث الأمكنة التي سوف تُجرى بها تلك الأنشطة أيضاً. ثمة عموماً ثلاثة أمكنة تحصل فيها أعمال المعالَجة والتشكيل والتجميع، هي:

- في موضع المكوِّن من المبنى نفسه.
- في موقع البناء.
- خارج موقع البناء.

ومن الواضح أن آخر مرحلة من التجميع يجب أن تكون في موضع المكوِّن النهائي، إلا أن ثمة تساؤلاً عن مقدار المعالجة والتشكيل والتجميع الذي يمكن إنجازه في الموقع بالقرب من المبنى الذي يجري تشييده أو في معامل خارج الموقع.

واختيار مكان إجراء تلك العمليات على صلة وثيقة باختيار المواد وتقنيات وعمليات تصنيعها وتجميعها. وفي ما يخص مادة معتادة مثل الخشب، ثمة خبرات مكتسبة لتشغيلها في الموقع وفي الورشات. قد يكون ذلك قد اقترن بالنجارة وبحرفة الخشب في البداية، إلا أن تقانات التصنيع الحديثة مكَّنت من تطوير المدى الذي يمكن أن يحصل به التشكيل والتجميع في الورشات، إضافة إلى معالجَة الخشب أيضاً لتشكيل ألواح وصفائح وسَّعت كثيراً من إمكانات استعمال الخشب في طيف واسع من تطبيقات البناء ومفاهيم التصميم.

وأتت إمكانات استعمال الفولاذ في البناء من التوسُّع الصناعي في المعالَجة، وما زال هذا صحيحاً حتى الآن. فتشكيل الفولاذ هو عملية صناعية يمكن أن تُجرى في معمل أو في ورشة، ويُورَّد معظم المكوِّنات الفولاذية إلى الموقع جاهزاً للتجميع. ومع أن من الممكن رؤية بعض التشكيل والقص والتثقيب يحصل في الموقع، على غرار حالة الأسلاك والقضبان والصفائح، فإن ذلك غير ملائم في حالة المقاطع الفولاذية الكبيرة. لذا، وفي حالة الحاجة إلى إجراء عمليات على هذا النوع من المقاطع الكبيرة في الموقع، تجب إقامة ورشات مؤقتة لإنجاز العمل فيه.

واتَّخذ صب الخرسانة في قوالب منحيين: صب في الموقع، وصب مسبق. وفي حالة الصب في الموقع، تثبَّت القوالب في الوضعية النهائية للمكوِّن الذي يجري صبه بواسطة حوامل ومساند مؤقتة، وبذلك يحصل التشكيل والتجميع في عملية واحدة. أما في حالة الصب المسبق، فتُشكَّل الخرسانة في قوالب موضوعة على الأرض عادة. وهذا يتطلَّب نقل المكوِّن بعد تصلُّد الخرسانة إلى موضعه ضمن المبنى. وحينئذ تنحصر عمليات الموقع في الوصل والتثبيت، حيث يجب استيعاب تفاوتات المقاسات وتحقيق التوافق مع المكوِّنات الأخرى. أما مكان الصب، فيعتمد على عوامل عدة مثل حجوم القطع التي سيجري صبها وأعدادها وأنواعها، وخواص المواد المستعملة والاعتبارات التقنية المتعلقة بها، إضافة إلى اعتبارات نقلها ورفعها إلى مواضعها النهائية في المبنى. ويمكن إنجاز الصب على الأرض في الموقع لتقليل أعباء النقل، إلا أن ذلك يتطلب ورشة من نوع ما لرفع المكوِّنات إلى مواضعها النهائية (انظر الفصل 27). ويمكن إنجاز الصب أيضاً في معمل مخصَّص لإنتاج هذه المكوِّنات التي تُنقل بعدئذ إلى الموقع.

تتحدَّد خيارات التصنيع والتجميع هذه باكراً جداً في عملية التصميم، لا من

حيث اختيار المواد فقط، بل من حيث تفاصيل التنفيذ أيضاً. وابتداء من تحديد مقاسات وتكرارية المكوِّنات، يمكن التوسُّع حتى تحديد تفاصيل الوصلات والمثبتات بغية تعريف حدود الوحدات التجميعية تمهيداً لخيارات التصنيع المسبق.

والتصنيع المسبق هو تجميع عدد من المكوِّنات، التي يمكن أن تكون مصنوعة من مواد مختلفة، في معمل أو ورشة لنقلها ووضعها في موضعها النهائي في وقت لاحق. ومرة أخرى يمكن تحقيق ذلك في ورشات تجميع مؤقتة في الموقع، لكن يُفضَّل حينئذ أن تكون قريبة من مكان رفعها إلى موضعها النهائي، أو في معامل بعيدة تُنقل منها إلى الموقع بشكلها المجمَّع مسبقاً.

إن هذا التحليل البسيط للمواد وطرائق معالجتها وتشكيلها وتجميعها، قضلاً عن مناقشة أماكن إجرائها، يكوِّن صورة لثلاثة أنواع عريضة من خيارات الإنتاج:

- إنتاج في الموقع
- تشييد بالطريقة المعتادة (يشتمل على تجميع مكوِّنات مصنوعة في المعامل)
- صنع مسبق وتشييد منظومات

وفي حين أن هناك سمات مميزة لكل من هذه الخيارات، فإن من المهم الانتباه إلى أنه غالباً ما تكون هذه السمات متداخلة ويكون التفريق بينها غامضاً ويجعل من الصعب الانتقال من واحد منها إلى الآخر. ومن الممكن أيضاً اتباع نُهُج مختلفة في صنع عناصر المبنى المختلفة. فإذا كان هذا هو الحال، وجب استيعاب التسامحات والانحرافات المتأصلة في المكوِّنات والناجمة عن كل نهج في الوصلات في ما بينها.

تأخذ عمليات التصنيع المحلي في الموضع مواد لا شكل لها، من حيث المبدأ، مثل التراب أو الخرسانة، وتُشكِّل المكوِّنات في مواضعها. وتحصل كامل عملية تكوين الأبعاد والشكل في موضع المكوِّن، ويحصل تحضير المادة فقط قبل التشكيل. وتؤدي الخبرات والمهارات المقترنة بالأعمال المساعِدة المؤقتة دوراً رئيسياً في إنجاح هذا النوع من الإنتاج، لأنها لا تحدِّد الشكل فقط، بل الأبعاد أيضاً، ومنها التسامحات والتوافق بين المكوِّنات حين التركيب.

ويقوم بعمليات التشييد التقليدية غير الممكننة عمال ذوو مهارات تخص مادة واحدة غالباً لتشكيل المكوِّنات وضبط مقاساتها ووصلها وتثبيتها في مواضعها. وفي

البداية كانت مهارات هؤلاء العمال تتضمن مقدرة على القيام بكثير من عمليات التشكيل في الموقع. إلا أن صنع المكوِّنات المسبق خارج الموقع أخذ بالتزايد، وبرغم أن الطرائق القديمة ما زالت مستعملة، فإن العمل بها في الموقع يقتصر على وصل وتثبيت المكوِّنات، لأنها تُصمَّم بحيث لا يجري قصها في الموقع. وفي الواقع، تُعتبر الحاجة إلى قص المكوِّنات في الموقع بغرض موافقتها معاً إخفاقاً في ضبط تسامحات التصنيع التي تحقق التوافق. وغالباً ما تُركَّب تلك المكوِّنات باتباع الطرائق القديمة التي تقوم على القص لتحقيق التوافق. ومن أمثلة هذا التغيُّر المتكررة استعمال النجارين لصفائح الأظافر (gang-nail plate) في جملونات الأسقف التي تحل محل خشب السقف المقصوص. لكن من الواضح أنه كلما ازداد عدد المكوِّنات المستعملة، ضعفت إمكانية تركيبها، ولذا يجب تحقيق التوافقات في الوصلات، أو القيام ببعض القص لتحقيقها.

وأدى استعمال المكوِّنات في عمليات التشييد المعهودة إلى تطوير ما يُعتبر غالباً منظومات متخصِّصة ينصبها في مواضعها عمال لا يمتلكون الطيف الواسع من المهارات المتنوِّعة التي كانت تُستعمل في طرائق التشييد القديمة. فالعمال الآن متخصصون ويمتلكون مهارات محدودة في طيف صغير من المقاطع والمكوِّنات المعيارية. لكن ثمة حاجة غالباً إلى قص بعض المقاطع المعيارية بغرض تحقيق التوافق بينها، وغالباً ما توصل أو تُكمَّل تلك المقاطع بطيف من المكوِّنات الأخرى. وتُمكِن رؤية ذلك في كثير من حالات الإنهاء الداخلي، مثل جدران التقسيمات المعدنية الداخلية أو الأسقف المعلقة.

لقد فتح تطوير المكوِّنات المصنَّعة الباب أمام تصميم أجزاء كثيرة، أو حتى مبانٍ كاملة، من مكوِّنات معيارية. تُعرف تلك المباني بمباني المنظومات، وتُصنع مكوِّناتها بعدد محدود من المقاسات مع وصلات ومثبِّتات معيارية للتجميع في الموقع. وفي تلك المنظومات، يسمح التصميم بالقص والموافقة في الموقع بالحد الأدنى، إلا أنه يجب إلغاؤهما في المكوِّنات ذات المقاسات المحدَّدة مسبقاً. حينئذ يجب تحقيق التوافق في الوصلات، غالباً من خلال آلية ضبط مضمَّنة في المثبِّتات. وهذا يمثِّل تحوُّلاً من عمليات الموقع القديمة، حتى لو انطوى على استعمال كثير من المكوِّنات.

ويتألَّف كثير من المكوِّنات التي تورَّد إلى الموقع من مكوِّنات مجمَّعة في المصنع مسبقاً. ويمكن كثيراً من الأجزاء أن تكون مثبَّتة معاً قبل التوريد إلى

الموقع، ومن أمثلتها مفاصل الباب المثبتة على الإطار، والقفل المثبت على الباب. و"الصنع المسبق" هو المصطلح المعطى لوحدة مجمَّعة من مكوِّنات جرى تجميعها معاً في معمل أو في الموقع قبل رفعها ووضعها في مواضعها النهائية من المبنى. ويمكن مقدار التجميع المسبق أن يختلف، ويمكن مستوى التصنيع المسبق أن يختلف أيضاً، من إنتاج البنى الأساسية التي يمكن تثبيت الأبواب والنوافذ والإنهاءات عليها في الموقع، حتى تصنيع مقاطع كاملة من المبنى، مع إكساءاتها وخدماتها، توضع في مواضعها النهائية من المبنى. وثمة مناقشة أكثر تفصيلاً لهذه الخيارات في ما يلي.

ومع أن تصنيع المكوِّنات وصنعها المسبق في الموقع ممكنان، فإن المستوى الحالي من البنية التحتية من حيث المقدرة على التصنيع والنقل يسمح بتحقيق الصنع المسبق في المعامل بعيداً من الموقع. وقد كان من الضروري سابقاً وضع معايير المكوِّنات والمنظومات والأجزاء من حيث الأشكال والأبعاد لزيادة مردود الإنتاج وتخفيض التكلفة، إلا أن طرائق التصنيع المتزايدة المرونة سمحت بإنتاج حتى المقاسات والأشكال غير المعيارية بتكلفة إضافية صغيرة لكل مشروع. ومن أمثلة ذلك إنتاج جدران خشبية مؤطرة فريدة خاصة بمنزل واحد.

الوقت والتكلفة والجودة

إن اعتماد خيار إنتاج معين يتوقَّف على توافر الموارد، مثل المواد واليد العاملة الماهرة، وذلك بغية تشييد المبنى وفقاً لواحد من المعايير التالية:

- مدة تنفيذ قصيرة.
- تكلفة تشييد منخفضة.
- جودة تنفيذ عالية.

إن من الخطأ الظن أن ثمة علاقة مباشرة بين بعض هذه المعايير وبين خيارات الإنتاج. فخيارات الإنتاج لأي مشروع معين تعتمد على المحيط [الذي يقع فيه المبنى]، وعلى نوع قاعدة الموارد المتاحة، ومنها مهارات التصميم. وقد يكون من المفضَّل اعتماد طرائق إنتاج أساسية مختلفة لأجزاء المبنى المختلفة. لكن وفقاً لما أشرنا إليه آنفاً، يجب فعل ذلك بحذر بغية موافقة الانحرافات المتأصلة والمستحثة، وذلك لضمان توافق التصنيع في حالة الانحرافات المتأصلة،

واستيعاب الحركات على المدى الطويل في حالة الانحرافات المستحثة. وهذا يسلِّط الضوء على الملتقيات (interface) بين المكوِّنات والوصلات البيئية على وجه الخصوص: وصلات عناصر المبنى ومثبِّتاتها الفعلية المنتَجة بطرائق مختلفة.

يمكن مدةَ التنفيذ أن تكون ذات أهمية لمشروع معين، ويمكن أيضاً أن تكون موضع اهتمام في نوع من الإنشاءات التي يتطلبها المجتمع، ومنها المنازل، حيث تكون مقدرة صناعة البناء برمتها موضع تساؤل من حيث مواكبتها للحاجات المتزايدة. عندما تفوق الحاجة إلى المنازل إمكانات توفيرها لافتقار صناعة البناء إلى المقدرة على الإنتاج بالطرائق المعتادة بسبب محدودية الموارد، يمكن النظر في الصنع المسبق. وهذه كانت الحالة التي نشأت في بريطانيا بعد الحرب العالمية الثانية، والتي اقترنت بفائض في المقدرة الصناعية التي كانت مكرَّسة للمجهود الحربي، والتي أنتجت بعدئذ المنظومات المسبقة الصنع مثل منازل الخرسانة من الطراز Woolaway وAirey والتي طُوِّرت في ذلك الوقت.

وحين النظر في مدة التنفيذ، من الضروري عدم الحكم على سرعة تنفيذ المشروع اعتماداً على المدة التي يستغرقها العمل في الموقع. فهذا يمكن أن يعطي انطباعاً بأن الصنع المسبق هو الحل الذي يحقِّق السرعة في التنفيذ. إن مدة تنفيذ المشروع بالنسبة إلى الزبون (الذي قد يدفع مالاً في مقابل سرعة التنفيذ) تبدأ من لحظة تعهيد التصميم، وتنتهي في لحظة استلام المبنى جاهزاً للاستعمال. وتتضمن تلك المدة مدد التصميم والتحضير للإنتاج، والإنتاج في المعامل، والعمليات التي تُجرى في الموقع. فإذا جرى التمحيص جيداً في وضع معايير جميع مكوِّنات المبنى، ومنها الوصلات والمثبتات، لتكون جاهزة للطلب وفقاً لتشكيلات المباني المختلفة، أمكن تقليص بعض تلك المدد. ويقوم ذلك على افتراض أن حجم المبنى ومحيطه ملائمان لاستعمال المنظومات المسبقة الصنع. وإذا كان التصميم وتفاصيله قائمين على تصنيع مسبق لمكوِّنات غير معيارية، وجب اعتبار مدة التصميم وتحصيل المواد وتحضير الإنتاج والتصنيع كمدة التنفيذ في الموقع. وفي ما يخص كثير من التصاميم الشائعة، فإن المواد والخبرات متوافرة على نطاق واسع، ويمكن الحصول عليها ونقلها بسرعة نسبياً، لكن مدة العمل في الموقع يمكن أن تكون أطول، ومع ذلك يمكن أن يكون موعد التسليم إلى الزبون أبكر.

أما التكلفة فهي أكبر من مجرد تكلفة اليد العاملة والمواد المحددة في المواصفات والتفاصيل. فالمباني العادية تتطلب استثماراً مالياً صغيراً نسبياً. في

الماضي، تطلَّب تطوير المهارات من خلال العمل مع معلم حرفة، أو من خلال التدريب، إنفاقاً شأنه شأن حيازة المعدَّات والآلات. لكن بعد تطوير المكوِّنات الجاهزة، وبخاصة المنظومات الجزئية، تقلَّصت الحاجة إلى الإنفاق على التدريب التقليدي الذي كان ضرورياً سابقاً، لكنها لم تنعدم. ومع توافر المكوِّنات والمعدَّات والآلات على نطاق واسع، فإن تكاليف طرائق الإنتاج المعهودة تترتَّب عموماً في أثناء عملية الإنتاج نفسها. لكن تبقى ثمة جوانب من التكلفة تخص التدريب وتحصيل الخبرة والمهارة لكل من العمال والمديرين في جميع خيارات الإنتاج، وتلك التكاليف ليست أقل شأناً منها في أي أعمال تشييد كما في الأعمال الأخرى.

وفي ما يخص إنتاج كثير من المكوِّنات والوحدات المسبقة الصنع، ثمة استثمارات مالية في المصانع وفي الإمكانات التصنيعية. لكن تلك الاستثمارات لا تكون اقتصادية إلا إذا كان ثمة طلب مستمر يُبقي وتيرة التصنيع عند مستو عالٍ نسبياً يمكِّن من استعادة رأس المال من أرباح المكوِّنات التي تباع. وفي حين أنه يمكن تحقيق ذلك في مكوِّنات كثيرة، مثل العتبات الفوقية التي تستند إليها لبنات الآجر، والتي تتَّخذ طيفاً من المقاسات والأشكال المعتمدة بشكل شائع، فإنه يجعل من التصنيع المسبق للمكوِّنات غير المعيارية والمعقدة أعلى تكلفة. أما في معامل التصنيع المرن، فإن الحاجة إلى وجود مجال محدود من المكوِّنات الممقيَسة ليست قائمة، لأن الآلات الغالية التي تعطي هذه المرونة، والتي تقوم غالباً على التحكُّم الرقمي الحاسوبي، تتقبَّل تغيير التفاصيل والمواصفات، وخاصة الأبعاد، بسهولة كبيرة. وهذا ما يمكِّن من توفير تصاميم فريدة لمختلف الزبائن.

ويمكن تقليص التكاليف المالية الاستثمارية أيضاً إذا فُصِّلت القطع المسبقة الصنع على نمط البنى المعتادة الشائعة. فهذا يمكِّن من إقامة خط إنتاج مستمر يستعمل التقنيات المعتادة، في ورش ذات ظروف عمل محسَّنة تتضمن عوامل الأمان والسلامة، ويمكن أن يقلِّص مدة الإنتاج ويرفع الجودة.

وأما الجودة فهي السبب الثالث للنظر بعناية في خيارات الإنتاج، لأنها، على غرار مدة التنفيذ، يمكن أن تبرر زيادة التكلفة إذا كانت ذات قيمة للزبون. فيجب تشييد المباني كلها وتجميعها بعناية وبمستويات من المهارات والخبرات وجودة المواد الملائمة للتصميم. فكل طريقة تُختار للإنتاج، مع موادها المختارة، يمكن أن تحقِّق جودة في كل من دقة المقاسات والإنهاءات الهامة لتحقيق مفهوم التصميم. وكل تصميم يقترن بمستوى من جودة الأبعاد والإنهاءات إذا لم يتحقَّق

أدى إلى الإخفاق في الوصول إلى مقاصد التصميم. وسواء أكان التصميم حديثاً أم من طراز بلدي، فإن ثمة درجة من الجودة المنصوص عليها في التصميم إذا لم تتحقَّق في عملية الإنتاج تعارضت مع أغراض التصميم. لذا يجب أن تكون جزءاً من التحليل الذي عليه تأكيد أن عملية الإنتاج المتضمَّنة في المواصفات والتفاصيل سوف توفِّر الجودة المطلوبة.

الاستدامة والحفاظ على البيئة

تعتمد خيارات الإنتاج أيضاً جزئياً على تحليل الحفاظ على البيئة الوارد في الفصل 15. فنظراً إلى أن المباني لا تولِّد كثيراً من الكربون في عملها، فإن الأنشطة التي تصدر ثاني أكسيد الكربون، من المواد ذات الطاقة والكربون المضمَّنين، أكثر أهمية، ومنها عملية الإنتاج. يقترن الكربون المضمَّن في المواد غالباً بمعالجة تلك المواد، وبعمليات تشكيل المكوِّنات منها وتجميعها. وفي تحليل [ما درجت تسميته] "من المهد إلى اللحد"، يجب أخذ كل تلك المراحل في الحسبان، ومنها خيارات تفكيك المبنى والتخلُّص من ركامه. لكن الأرقام التي تخص الطاقة والكربون المضمَّنين تُؤخذ عادة من تحليل المهد إلى البوابة فقط، أي بوابة الموقع. فتلك الأرقام تقترن على نحو متزايد بالمواد التي يجري تكوينها لتحسين الإنهاءات، إلا أن إصدار الكربون أيضاً من عمليات النقل والتجميع يمثِّل مصدراً آخر للقلق. وهذا يؤدي إلى فكرة التزويد المحلي بالمواد والمكوِّنات، إلا أن ذلك يجب أن يُوسَّع ليشتمل على كامل حركة تنقّل المواد والمكوِّنات إذا جرى النظر في التصنيع المسبق، حتى من قبل متعهدين محليين. لكن عمليات الموقع وغيرها من العمليات الحرفية تتطلب توريد المواد والمكوِّنات إلى الموقع أيضاً ثم توزيعها ضمنه. لذا يمكن التصنيع في الموقع (أو حتى المحلي) أن يكون فعالاً في الحد من إصدار الكربون. أما عمليات التصنيع بعيداً من الموقع فتتطلب كثيراً من النقل والآلات، إلا أنها يمكن أن تعطي فضلات أقل.

والفضلات هي مسألة مفتاحية أيضاً في البيئة. فإضافة إلى القلق من المواد ذات الطاقة والكربون المضمَّنين، فإن المعالجة تُنتِج فضلات على شكل جوامد وسوائل وغازات يمكن أن تلوِّث الماء والهواء. لكن هذا النوع من الفضلات قليل في عمليات التشكيل والتجميع، وأكثر التصاقاً بعمليات المعالجة. من ناحية أخرى، كثير من عمليات الموقع والمعامل يُنتِج فضلات، ومن دون أخذها في

الحسبان في التصميم أو من قبل الإدارة، لا يمكن تقليصها أو تدويرها. فمن التحديات التي تواجه عمليات الموقع تقليص الفضلات واتخاذ إجراءات محلية للتخلُّص منها بتدويرها بغية تقليص رميها في المكبَّات.

وتوجد في عمليات الهدم مشكلة أنقاض محدَّدة أدت إلى تطوير تقانات وإجراءات كثيرة للتعامل معها. فيمكن تحطيم الآجر والخرسانة في الموقع لإنتاج مواد مالئة، في حين أنه يمكن جمع الفولاذ بغية تدويره. ويمكن انتقاء الخشب بغية إعادة استعماله أو إرساله لتحويله إلى مركَّبات قائمة على الخشب أو إلى وقود. وإنه لقرار تصميم حكيم أن تُستعمل مواد تُمكِن إعادة استعمالها أو تدويرها في نهاية مدة حياة المبنى. ويمكن تعزيز ذلك على نحو أفضل في اختيار التفاصيل والوصلات والمثبتات في أثناء التصميم. فسهولة التفكيك يمكن أن تحسِّن كثيراً من فرص إعادة استعمال المكوِّنات بعد انتهاء حياة المبنى.

ويستطيع كثير من عمليات المعامل إدارة الفضلات إدارة ناجحة لأن ظهور الفضلات قابل للتنبؤ به ولذا يمكن تقليصها أو استعمالها في أغراض أخرى على نحو ممنهج. وفي حالة إنتاج المكوِّنات الخشبية يمكن معالجة الفضلات بتحويلها إلى ألواح أو مقاطع إنشائية كبيرة من الخشب المضغوط، إضافة إلى معالجتها لاستعمالها كعوازلَ، أو يمكن حرقها لتوليد طاقة أو تدفئة للمعمل.

إن لاختيار المواد وعمليات الإنتاج تأثيراً في توليد الطاقة والكربون والفضلات، وفي الحاجة إلى النقل أيضاً وهي توفر فرصاً للشراء من مصادر مستدامة. ويمكن أن تُضاف قضايا الماء المستعمل في معالجة المواد إلى ذلك في التجارة العادلة والحجج بشأن الاستدامة الشاملة. إن كلاً من المواصفات وعمليات توريد المواد يمكن أن تساعد على انتقاء موردين مسؤولين يساهمون في تحقيق أغراض الاستدامة.

هذا يعني ظهور حاجة إلى تقييم المواد والمكوِّنات، ليس من حيث مقارنتها معاً فحسب، بل من حيث إمكان تأمينها من مصادر مختلفة أيضاً. وطرائق تصنيفها وتحديد جودتها يمكن أن تساعد على إجراء هذا التقييم، إلا أن تلك الطرائق مختلفة في تعقيداتها، وفي العوامل التي تأخذها في الحسبان، ومقدار المعلومات التي تعطيها. وكثير منها يمكن أن يكون مفيداً، ومن أمثلة ذلك شهادة منشأ تنص على أن الخشب قد أتى من مصدر مستدام أو متجدِّد. وإنه من الضروري إجراء تقييمات إفرادية وفقاً للتحليل الآنف الذكر، في عقود التوريد الكبرى التي تخص

نسبة كبيرة من الأعمال، أو حيثما كان ثمة دور للتلوُّث أو النقل، أو كانت ثمة ندرة في الموارد أو استعمال جائر لها.

خيارات الإنتاج: قرارات التصميم

تتأثَّر خيارات الإنتاج الممكنة كثيراً باختيار الحلول التقنية في مرحلة التصميم. فكل خيار تقني يحصل في مرحلة التصميم يأتي مع مجموعة من خيارات الإنتاج. لكن خيارات الإنتاج غالباً ما تكون محدودة جداً، لأنها على صلة وثيقة باختيار الحل التقني نفسه.

تنطوي التفاصيل الجيِّدة التحديد على مجموعة من الموارد والطرائق التي جرى تطويرها لإنجاح تلك التفاصيل. وتقترن تلك الموارد والطرائق عادة بأعمال حرفية في الموضع ضمن المبنى أو في الموقع، وهي تحقِّق مستويات الأداء المطلوب فقط إذا جرى تحديدها بطريقة ملائمة ترسَّخت عبر السنين، وإذا جرى تنقيح التفاصيل نفسها. لكن التفاصيل الجديدة غير المجربة يمكن أن تنطوي على تغيير في عملية الإنتاج، وكل تغيير من هذا النوع يجب أن يؤدي إلى إعادة تقييم للتفاصيل.

إن الحاجة إلى النظر في خيارات تقنية جديدة، بغية تحقيق متطلبات أداء جديدة تقوم على احتياجات المجتمع والزبائن، في حالة تغيُّر مستمر. يُضاف إلى ذلك وجود ضغط من صناعة البناء لتحقيق إنتاج اقتصادي ذي مردود عال. ويمكن تحقيق ذلك غالباً بتعديل التفاصيل والمواصفات.

ويجب على التصاميم كلها أن تضمن وجود عملية إنتاج ملائمة لتشييد المبنى. وحتى إن بعضها قد يتضمَّن استغلال خيار إنتاج معين للتعبير عن مفهوم للتصميم. ومن الضروري اختيار نهج إنتاج أساسي لمكاملته مع الحلول التقنية، وحتى مع مفهوم التصميم نفسه. وهذا النوع من التحليل هام على وجه الخصوص إذا وُجِد أن التصنيع المسبق هو خطوة إلى الأمام في تحقيق تصميم معين.

التصنيع المسبق ومنظومات البناء

يعطي التصنيع المسبق للمكوِّنات والمنظومات أجزاء مصنوعة في المعمل لا تحتاج إلى قص أو موافقة في الموقع، وكل ما تحتاج إليه هو أن تُصنّع بعدد محدود من المقاسات المعيارية بغرض الحد من التكلفة. لذا فإن أول قرار يجب اتخاذه بشأن بناء المنظومات أو التصنيع المسبق هو تحديد إطار للمقاسات. إن عدد

المقاسات المحدود وتكرار الإنتاج يؤديان إلى خفض تكاليف الأعمال التي تُنجز في الموقع وإلى زيادة مردودها. وفي التصنيع المسبق، ثمة ضرورة للمقاسات المحدودة العدد للحد من عدد القطع التي يجري تصنيعها، مع توفير حرية عظمى في تصميم الأمكنة بغية الاستعمال الأمثل للمبنى. تُعرف القطع المسبقة الصنع تلك بالنسائق، وتُختار أبعاد تلك النسائق لتعطي أكبر مرونة في التصميم. تساوي مقاسات أكثر النسائق استعمالاً 300 مم و600 مم و1200 مم، ومن الممكن أن تكون ثمة نسائق أكبر. لا يوفِّر هذا تقسيماً اقتصادياً للحيِّز الداخلي من المبنى فحسب، بل يوفِّر أيضاً وحدات سهلة التداول. ووفقاً لما ذُكر آنفاً، قلَّص ظهور طرائق التصنيع المرن الحاجة إلى هذه المعايرة، فضلاً عن أن بعض الانتظام في المقاسات يؤدي إلى الاقتصاد في الإنهاءات وعملية الإنتاج.

وإضافة إلى اختيار إطار للمقاسات، يجب اتخاذ قرارات بشأن مقدار التصنيع المسبق في الموقع وخارجه. فالتصنيع العالي المستوى الذي يتضمن إنتاج إنهاءات وخدمات خارج الموقع يقلِّص مدة العمل في الموقع ويحدُّ من المهارات اللازمة لتشييد المبنى. إلا أنه يزيد من فرص التلف أثناء التداول والنقل، ويمكن أن يسبِّب مشكلات للوصلات التي تصبح مرئية في ما بين المقاطع المسبقة الصنع. ونظراً إلى أن مبادئ التصنيع المسبق تقتضي إلغاء القص والموافقة في الموقع، فإنه كلما كان مستوى التجميع الممكن خارج الموقع أكبر، كان هذا المبدأ أكثر ضرورة، لأن أي تعديل في الموقع سوف يؤثِّر حتماً في حسن المظهر ويمكن أن يؤدي إلى تدنِّي الأداء.

يوفِّر أبسط مستوى من التصنيع المسبق بنى أساسية يمكن تثبيت العناصر الأخرى عليها. وإضافة إلى أن تلك البنى يمكن أن تكون عناصر ترتكز عليها الأحمال الساكنة والمفروضة في المبنى، فإنها يمكن أن تكون أيضاً منظومات جزئية على شكل لوحات أو غرف مسبقة الصنع (pod) تتضمن عناصر مثل العوازل والإنهاءات. على سبيل المثال، يمكن استعمال ألواح الخرسانة المسبقة الصنع لتكوين بنى حاملة أو بنى تعمل بوصفها لوحات إكساء ضمن هيكل المبنى أو خارجه. أما اللوحات المؤطرة بالخشب (أو الفولاذ) فيمكن أن تُستعمل بوصفها جدراناً حاملة أو حشوات داخلية في الجدران، على سبيل المثال. تورَّد هذه اللوحات المؤطَّرة عادة إلى الموقع على شكل لوحات فارغة من الداخل مع لوح على أحد الجانبين جاهز لعمليات العزل وغيرها من الخدمات في الموقع قبل تغطية السطح الداخلي وإكساء الجانب الخارجي. إلا أنه يمكن أيضاً توريد

اللوحات مكتملة التغطية من الوجهين، وجاهزة لملئها بالعازل نفخاً ومن ثَمَّ استعمالها في الإنهاءات التي تُجرى في الموقع.

أما الطريقة الأخرى فهي تطوير منظومة من مكوِّنات تُصنع خارج الموقع وتورَّد كي تُجمَّع في المبنى، لكن باستعمال وصلات ومثبِّتات معيارية. لكنْ في كثير من هذه المنظومات، لا يمكن استعمال المكوِّنات إلا مع مكوِّنات أخرى من المنظومة نفسها. ويمكن لهذه المنظومات أن تختلف في بنيتها من عناصر منفردة مثل الأطر، إلى منظومات تعطي مبانٍ كاملة. وتكون نطاقات مقاسات المكوِّنات وإنهاءات الوصلات والمثبِّتات خاصة بالمنظومة عينها. ويمكن تطوير تلك المنظومات وإنتاجها من قبل شركات تجارية أو من خلال ائتلاف للزبائن الذين يرغبون في الحصول على مبانٍ متشابهة. وعندما يجري تطوير منظومات للمباني، فإنها تقتصر على أطوار معينة في المبنى مثل موانع تسرب الماء التي توفِّر غلافاً جافاً، أو تتضمن جميع المكونات ومنها جدران التقسيمات الداخلية وعناصر التثبيت.

وبدلاً من تطوير منظومة يمكن استعمالها في كثير من المباني، من الممكن تصميم منظومة من المكوِّنات غير القياسية لمشروع واحد. يشتمل نهج المنظومة هذا على تصنيع المكوِّنات خارج الموقع وتجميعها في الموقع. حينئذ لا يعتمد التجميع في الموقع على المهارات الحرفية الشائعة، لأنه يجب أن يلغي القص والتشكيل ويوفِّر وصلاً مبسَّطاً بوصفه عملية تجميع يقوم بها عمال ذوو مهارات عادية. وهذا يحدُّ من عدد العمليات التي تُجرى في الموقع، ويقلِّص طيف الأدوات اللازمة لها، ويوفِّر تكراراً يُسرِّع من الإنتاج في الموقع إذا أتقنه عمال الموقع. ويمكن تحقيق السرعة في الموقع أيضاً بواسطة شركات تجارية وائتلافات الزبائن التي يمكنها الاستفادة من الاستثمارات في تصميم وتنفيذ كثير من المباني، إضافة إلى المزايا الاقتصادية من تصنيع المكوِّنات التي يُتوقَّع أن تُطلب كثيراً لعدد من المشاريع. لكن يمكن لتصاميم المنظومات غير المعيارية أن تستغرق مدداً أطول، وأن تتطلب اتفاقات مع مصنِّعين قد لا تتكرر ثانية، إلا أن ذلك يُعتبر جديراً بالقبول إذا كانت طبيعة المبنى أو التصميم وجودة التشييد تسمح به.

وهناك مستوى آخر من التصنيع المسبق هو إنجاز مقدار كبير من تجميع مكوِّنات غلاف المبنى وإنهاءاته وخدماته على وحدات إنشائية أساسية في المعمل قبل نقلها إلى الموقع. وبعد توريد كثير من الوحدات المجمَّعة إلى الموقع، يمكن

تقليص مدة التركيب، خاصة إذا كان تصميم الوصلات مُركَّزاً في تحقيق التوافق وتبسيط عمليات الموقع. ومن ناحية أخرى، إذا ترك التصميم كثيراً من التسامحات في المكوِّنات، فإن ذلك قد يؤدي إلى أن تكون أكثر عرضة للتلف.

ومع ازدياد الاهتمام بهذه القضايا، تظهر فكرة التصنيع الحجمي الكبير [النسائقي] (volumetric (modular) manufacturing) المسبق. وهذا ينطوي على تصنيع وتوريد غرف أو مقاطع كاملة من المبنى متضمنة الأرضيات والجدران بوصفها كتلة واحدة، بدلاً من الكتل المجمعة جزئياً. طبعاً يحتاج السطح الخارجي للغرفة المسبقة الصنع إلى إكساء في ما بعد، أما داخلها، ونظراً إلى أنه أقل عرضة للأذى في أثناء التداول والنقل، فيمكن إنهاؤه في المعمل مع تركيب جميع الخدمات والملحقات.

ويمكن اللجوء إلى التصنيع النسائقي المسبق إذا تبيَّن أن برنامج البناء يسمح بتحديد جزء من المبنى يمكن أن يُنهى بسرعة، أو كان هناك كثير من العمليات الطويلة الأمد على المسار الحرج، خاصة في المناطق المزدحمة. من هذه الأجزاء الأدراج والغرف الكثيرة التخديم، مثل الحمامات والمطابخ. طبعاً، يجب تكرار صنع هذه المرافق عدداً من المرات كي يكون التصنيع النسائقي المسبق مجدياً. لذا فإن هذا النوع من التصنيع ملائم لبناء الفنادق ومساكن الطلاب على وجه الخصوص.

لقد اقترنت المنظومات المسبقة الصنع، والتصنيع النسائقي المسبق، في الماضي بأنواع من المباني مثل المنازل والمدارس والفنادق عندما كانت ثمة حاجة كبيرة إلى تلك الأنواع من المباني. وقد استُعملت بنجاح أيضاً في تشييد مبانٍ إفرادية غير متكررة عالية الجودة، ومثَّلت عاملاً مساعداً في صنع عناصر أو أجزاء من المباني من حيث تسريع تنفيذ المشروع بكليته. هنا من الضروري تقدير حالة كل مبنى في سياق تصميمه وتحديد موارده لتحديد مزايا خيارات الإنتاج المختلفة. إلا أن من الضروري أيضاً معرفة خيار الإنتاج المحدَّد في التصميم لضمان انسجام الوصلات والمثبتات. فالوصلات بين مكوِّنات منتَجة بتقنيات مختلفة يجب أن تلقى عناية خاصة في تصميمها.

المعارف والخبرات اللازمة لتحليل عملية الإنتاج

يتطلب القيام بهذا التحليل بغرض التصنيع والتجميع معارف وخبرات مكتسبة من الممارسة العملية. وتأتي تلك المعارف، من حيث الجوهر، من الممارسة

الحرفية العملية للطرائق الحديثة التي تتضمن الآن استعمالاً واسعاً لمعدَّات وآلات تختلف من أدوات يدوية حتى آلات ذات مستوى عالٍ من الأتمتة. ويأتي الفهم العميق للطرائق التي يمكن بها إجراء العمليات الأساسية من الخبرات والمعرفة العملية التي يمتلكها أولئك الذين يعملون بالمواد والمكوِّنات ويُنجزون مهام التشييد. إنهم الأناس الذين يعرفون ما يمكن تحقيقه ضمن حدود الانحرافات التي يُقرُّها التصميم، والمدة التي يستغرقها بناؤها. إنهم يمتلكون أيضاً رؤية للمساعِدات المؤقتة التي تجب الاستعانة بها ولإجراءات العمل الآمنة.

وبعد ظهور المواد ذات المواصفات الحديثة، أصبح من الضروري تعزيز تلك الخبرات العملية بمعارف تقنية جديدة. فعندما تظهر مواد جديدة، قد لا تكون الجوانب المفتاحية للعمليات التي تتحكَّم في خواصها، ولذا في أدائها، واضحة مباشرة من الخبرات العملية السابقة. ولذا يجب تحصيلها من المعلومات التقنية المستجدة لتصبح في ما بعد جزءاً من الخبرة العامة. وفي بعض الحالات، يصبح الدعم الفني جزءاً من الممارسة العامة، ومن أمثلة ذلك تحديد متانة الخرسانة بغية اتخاذ قرار بشأن إزالة السقالة المؤقتة الحاملة لها.

وتُستكمل تلك الخبرات بعدئذ بالمعارف والخبرات المكتسبة من قبل الذين ينظمون ويديرون عملية الإنتاج. فهم يمتلكون المقدرة على الرؤية الشاملة لكامل عملية الإنتاج. وعليهم أن يروا جميع المراحل والأنشطة التي يجب القيام بها. وعلى الإدارة أن ترى تسلسل الأعمال والأعمال المؤقتة وتنظيم موقع العمل وإجراءات وممارسات الأمان والسلامة. وهي تمتلك رؤية شاملة للإنتاجية والتكاليف ومدة التنفيذ الإجمالية. لكنْ يجب أن يُزوَّدوا بمعلومات تقنية ومعارف عملية من العمال ويستوعبوها لضمان إدماجها مع الخطط والبرامج التي يضعونها للتنفيذ.

وبالطريقة نفسها التي يُحكَم بها اختيار المبنى بالتصميم العام، ويحصل تنفيذه بعد وضع المواصفات والتفاصيل، يجري توجيه عملية الإنتاج ببرامج شاملة، وتُنفَّذ بعد اختيار الموارد وطرائق العمل. وهذا يتطلَّب قاعدة معارف وطرائق مختلفة لتحليل كل من التصميم والإنتاج، إلا أن ذلك لا يعني أن هذين التحليلين الإبداعيين يجب أن يكونا مستقلين عن بعضهما. إن الإنتاجية العامة محكومة بالتصميم وبكفاءة العمليات الإنتاجية على حد سواء. والأداء العام أيضاً محكوم بطرائق الإنتاج بالقدر عينه الذي تحكمه به المواد وتفاصيل عملية التشييد.

الخلاصة

1. إن تحليل الجوانب الإنتاجية لعمليتي التصنيع والتجميع ضروري بوصفه جزءاً من عملية التقييم لصيغة المبنى المقترحة، وذلك لضمان أن الأداء المطلوب يمكن أن يتحقَّق في المبنى النهائي.

2. يقوم التحليل على تصوُّر المبنى مجزَّءاً إلى قطع في مختلف مراحل تجميعه وبأشكاله المبنية جزئياً.

3. يعتمد عدد المراحل التي يجب تجزئة عملية البناء إليها على جِدَّة صيغة التشييد، وبخاصة على مخاطر التنفيذ التقنية المنظورة. وبغية تحقيق إنتاجية عالية، يمكن النظر إلى العمليات التكرارية على أنها تستحق تحليلاً عميقاً مفصلاً.

4. بعد تحديد المراحل، يستمر التحليل بتحديد العمليات اللازمة لتحضير وتجميع المواد والمكوِّنات، والطرائق التي سوف تُستعمل والتي تحدِّد الموارد اللازمة.

5. إن الموارد الأولية اللازمة لأعمال البناء هي المواد واليد العاملة مدعومة بتجهيزات لأعمال مؤقتة ومستوى ملائم من المكننة.

6. نظراً إلى أن اليد العاملة تمثِّل مورداً مفتاحياً للإنتاج، يُعتبر الأمان والسلامة والصحة كلها عناصر أساسية في اختيار طرائق وموارد الإنتاج التي يمكن أن تتأثَّر جميعاً باختيار مواد البناء والإنهاء.

7. يتحدَّد أداء المبنى وجودته وتكلفته ومدة تنفيذه بتسلسل عملية الإنتاج وطرائقها. لذا يجب أن يكون تحليل الإنتاج جزءاً لا يتجزَّأ من اختيار مواد البناء والإنهاء.

8. تتحدَّد خيارات الإنتاج العريضة، التي تُعرف بالإنتاج الشائع وفي الموقع والورش أو التصنيع المسبق، من خلال مواصفات وتفاصيل التصميم.

9. تأتي المعارف اللازمة للقيام بالتحليل من خبرات تُكتسب من الممارسة العملية. وتتعزَّز تلك الخبرات على نحو متزايد بالمعلومات التقنية والعملياتية.

الفصل الرابع عشر

التكلفة

نستقصي في هذا الفصل قضايا تتعلق بتحليل تكلفة التشييد المقترح. إن فكرة العلاقة بين سلسلة التكلفة والسعر والحاجة إلى تحديد التكاليف ضمن إطار زمني معين وسياق اقتصادي [قائم على الميزانية] تبيِّن الحاجة إلى فهم من يتحمل التكلفة وأسبابها وأبواب النفقة التي تتضمنها. ليس ثمة من تعريف وحيد لتكلفة المقترح، وأكثر تفاسير التكلفة انتشاراً ينص على أنها تساوي تكلفة الإشادة الفعلية بالنسبة إلى الزبون. إلا أن هذا التفسير يمكن أن يكون مضلِّلاً، وأن تكلفة التصميم والتكاليف الجارية وحتى تكاليف التخلُّص من الركام قد تمثِّل أساساً أفضل للاختيار. وهذا يعتمد على الجهة التي تقع التكلفة على عاتقها وعلى القيمة التي تقدِّرها مقابل الإنفاقات الحالية والمستقبلية.

التكلفة والقيمة

من الواضح أن تقدير التكلفة هام لأنه ما لم يكن الحل المقترح ضمن حدود إمكانات الزبون الاقتصادية، فإنه لن يُنفَّذ. ومن الصحيح أيضاً أن الزبائن لا يريدون إنفاق أكثر مما هو ضروري للحصول على ما يرغبون فيه. فيمكن اختيار واحد من حلين متشابهين بالأداء بسبب السعر. وما يرغب الزبائن فيه وما يمكنهم تحمُّل تكلفته يمكن أن يكونا شيئين مختلفين، وقد يكونان متعارضين. وهذا ما يجب حله من خلال تقييم الحل المقترح. وكل ذلك يحتاج إلى أساس واضح لتحليل التكلفة.

إن ما يريده الزبائن، ومقدار المال الذي يقبلون بإنفاقه، يتعلقان بالقيمة التي يعطونها للخدمة التي يحصلون عليها من المبنى. وهذا الإحساس بالقيمة التي يعطيها الزبائن لسمات المبنى المختلفة يجب أن يتكوَّن في مرحلة وضع المتطلبات من قبلهم، إلى جانب مقدار واضح ومباشر للموازنة التي سوف تُرصد للمشروع.

وتُصدَر الأحكام على القيمة بطرائق مختلفة، وتلك الطرائق تؤثِّر في النهج الذي تُحلَّل التكلفة به.

ولعل أبسط فكرة عن التكلفة تأتي مما يمكن تسميته بالأداءات الأساسية، مثل مقاومة العوامل الجوية والحريق، مثلاً. هنا تساوي القيمة مستوى من الأداء يرى الزبون تحقيقه بأقل تكلفة. إلا أن الزبائن قد يكونون جاهزين لدفع كثير من المال من أجل مظهر المبنى، لأن قيمته تكمن في الرمز أو الصورة التي يمثِّلها عن الشخص أو الشركة. وهذا واضح من العربون الأعلى الذي يقبل الزبائن دفعه للمباني العالية في مراكز المدن. ويمكن زبائن آخرين أن يفضِّلوا الهدوء الذي يمكن تحقيقه بالإنفاق على العزل الصوتي (بافتراض أن موقع المبنى قد تحدد)، أو جودة الأنوار مقابل مال إضافي يُنفق على الإضاءة. إن هذه الأحكام على القيمة هي مسائل تصميم في المقام الأول، وتجب ترجمتها إلى حلول تُضاف فيها إلى التكاليف التي على الزبون تحمُّلها. لكن جوانب التصميم هذه صعبة التبرير من حيث التكلفة لأنها تُعتبر من ناحية الأداء الإنشائي أو السلوكي عديمة الفائدة غالباً. لكن عدم الفائدة لا يعني انعدام القيمة، لأن تلك القيمة بالنسبة إلى الشاري هي مبرر للتكلفة الإضافية.

وثمة فكرة أخرى تخص القيمة على صلة بمقولة تكلفة أكثر اليوم في مقابل تكلفة أقل في المستقبل. وهذه هي الحجة التي يستند إليها القائلون بالعزل الحراري الذي يستعيد تكلفته في أثناء فترات فواتير التدفئة القليلة القيمة في المستقبل. إلا أن بعض الزبائن قد لا يكونون مستعدين للدفع في مقابل العزل الزائد عما يقتضيه القانون، لأنهم قد يرغبون في استثمار مواردهم الحالية في مناحٍ أخرى مع قبولهم بتمويل النفقات المستقبلية من دخلهم المستقبلي.

التكلفة والسعر

تُحسب التكلفة الناجمة عن اعتماد حل معين لتشييد المبنى من مجموع أسعار الموارد المختلفة التي سوف تُستعمل والتي تشتمل على السلع والخدمات اللازمة لإنجاز العمل. وتتولَّد التكاليف من سلسلة الأسعار التي يجري دفعها والتي تحدِّد تكلفة كل مرحلة من مراحل عملية البناء. لذا فإن تكلفة بناء الجدار بالنسبة إلى الزبون ليست كتكلفته بالنسبة إلى المتعهِّد، بل هي السعر الذي يوافق الزبون على دفعه إلى المتعهد. أما التكلفة بالنسبة إلى المتعهد فهي السعر الذي يوافق على دفعه

إلى مورِّدي البضائع والخدمات اللازمة لإنجاز العمل.

لذا، إذا كان تحليل تكلفة حلٍّ مطلوباً، فإن السؤال الذي يجب طرحه أولاً هو: لمن يُجرى التحليل؟ والجواب المعتاد لهذا السؤال هو: للزبون، لأنه هو الذي يمتلك الموارد التي سوف تُستثمر، وهو صاحب التوقعات عن عوائد الاستثمار.

إن كثيراً من تحليل التكلفة الذي يُجرى لمصلحة الزبون محدود بتكلفة المبنى نفسه، أي السعر الذي يُدفع للمتعهِّد مقابل إنجاز المبنى النهائي. وفي السياق المهني والصناعي، ثمة اهتمام كبير بهذه التكلفة، لأن أهميتها التجارية كبيرة، ولذا كانت ثمة بيانات وفيرة لتحليلها. وهذا ما يُغري باستعمالها أساساً لتقييم تكلفة حل مقترح لتشييد المبنى. وهذه التكلفة هي التي يدفعها الزبون والتي تمثِّل السعر الذي يدفعه إلى المتعهد لقاء الخدمات، وأي تحليل لها يجب أن يقوم على بيانات مناقصات المتعهد السابقة. إلا أن هذا قد لا يكون أكثر الأسس ملاءمة لإقامة تحليل التكلفة الحل عليه.

إن المثلبتين الرئيسيتين في استعمال هذا الأساس للتحليل هما: أولاً أن بيانات التكلفة هي بيانات سابقة، وهذا ما يجعل تفسير الأرقام لحلول جديدة أو مبتكرة صعباً، وثانياً أنه لا يأخذ في الحسبان تكاليف التصميم أو التكاليف الجارية، إضافة إلى تكاليف التخلُّص من المبنى وما يليها من تكاليف إعادة البناء.

التكلفة والأطر الزمنية

تمثِّل تكلفة التشييد جزءاً من النفقة التي على الزبون دفعها. فحتى بالبقاء ضمن الإطار الزمني نفسه للتكلفة المترتِّبة بعد الاستحواذ على الأرض وقبل إشغال المبنى، ثمة تكاليف مرتبطة بتصميم الأعمال. وعموماً، عندما تكون حلول البناء شائعة على نحو جيد، سوف تكون تكاليف التصميم أقل منها في حالة التصاميم الجديدة. أما إذا كانت الخبرات والمعارف المتوافرة غير ملائمة لتحديد الأداء المطلوب بدرجة مناسبة من الثقة، فقد تترتَّب تكاليف للبحث والتطوير، إلا أن هذا نادر عموماً في صناعة البناء.

وتمثِّل المدة الزمنية من لحظة الاستحواذ على الأرض حتى إشغال المبنى بالنسبة إلى الزبون أيضاً وقتاً يُنفق فيه قبل البدء بالحصول على دخل من المبنى.

فالمصمِّمون والمتعهِّدون سوف يطلبون دفعات على مراحل مع تقدُّم التصميم والتشييد. وكلما طالت المدة حتى الوصول إلى استلام المبنى، كانت تلك التكاليف أعلى. وإذا كان من الممكن للمدة الفاصلة بين شراء الأرض وإشغال المبنى أن تتأثَّر باختيار المبنى، فإن من الممكن القول أن هذه تكلفة مقترنة بذلك الخيار. لذا يجب إدخالها ضمن تحليل تكلفة ذلك الخيار.

وثمة للحلول المختلفة تكاليف مختلفة بعد إشغال المبنى. فالمواد التي جرى اختيارها لتشييد المبنى تبدأ بالتلف بمعدلات مختلفة، ولذا تتطلب دورات مختلفة من التجديد والصيانة، وتترتَّب على ذلك تكاليف مختلفة لاستبدالها. وتحدِّد أيضاً تفاصيل التصميم مقدار السهولة التي يمكن بها إجراء التجديد والاستبدال. وهذا لا يؤثِّر في تكاليف الصيانة المباشرة فقط، بل قد يُرتِّب تكاليف أخرى نتيجة لحصول انقطاع في أنشطة شاغلي المبنى في أثناء ذلك.

وهنالك تكاليف جارية للمبنى تتأثَّر مباشرة بالحل الذي اختير له أيضاً. وقد ذكرنا آنفاً مثال العزل الحراري الذي يمثِّل جزءاً من تكلفة استعمال الطاقة في المبنى. وهناك مثال آخر يتعلق باختيار السطوح، حيث يمكن لتكاليف تنظيف المباني التجارية على مدى حياتها أن تكون أكبر كثيراً من تكاليف البناء الأصلية. فإذا أمكن تحقيق التنظيف من قبل عدد صغير من الأشخاص، أمكن التكلفة الكلية أن تكون أقل برغم كون تكلفة السطوح الأولية عالية.

أخيراً، تختلف تكاليف التخلُّص من المبنى في نهاية حياته باختلاف حلول البناء. ولا تقتصر هذه التكاليف على عملية الهدم فقط، بل تتضمن أيضاً تكلفة نقل الركام إلى المكبَّات نقلاً آمناً. إلا أن بعض المواد التي تُعتبر نفايات في مشروع معين قد تكون ذات قيمة لمشروع آخر. وقد كانت ثمة قيمة تجارية لتدوير البقايا العمرانية ذات القيمة الأثرية منذ مدة طويلة، وأصبح ركام الهدم أيضاً مصدر دخل للبعض على نحو متزايد.

وثمة عواقب تخص التكلفة وتتعلق بالأرض التي سوف يشتريها الزبون. فتوافر بعض أنواع حلول البناء يجعل من استعمال الأرض اقتصادياً. وهذا صحيحٌ، بوجه خاص، في حالة الأسس والعمليات التقنية والجيولوجية لتحسين الأرض التي يمكن أن تجعل الأرض الفقيرة اقتصادية، أو تسمح باستعمال أحياز تحت الأرض. ويمكن هذا أن يحصل أيضاً في حالة البنى الكبيرة الخفيفة الوزن التي تخفِّض

تكاليف الأسس.

لقد أصبح إصلاح أراضي المرافق الصناعية أو التجارية المهجورة، التي تعرَّضت سابقاً للتلوُّث، ممكناً مع ظهور تقنيات التنظيف أو التغطية. وهذا ينطبق أيضاً على أرض المبنى في نهاية عمره من حيث تكاليف إعادة استعمال الأرض. إنه من غير المحتمل أن يُسمح للمرافق الصناعية والتجارية الجديدة بتلويث الأرض على النحو الذي حصل في الماضي والذي ترك في بعضها أنواعاً معينة من الأسس العميقة، مثل الأوتاد الصعبة الإزالة. ويمكن لذلك النوع من التلوُّث أن يقلِّل من قيمة الأرض بعد انتهاء عمر المبنى وهدمه.

ويكتمل تحليل تكلفة حل ما بتحديد الجهة التي يُجرى تحليل التكلفة لمصلحتها، وبتحديد الإطار الزمني الذي يرغب ذلك الشخص في تقدير التكلفة ضمنه. وإنه لمن غير المحتمل أن يُؤخذ طيف التكلفة بكامله في الاعتبار، لأن على الزبون الموازنة بين استعمال رأس المال الحالي والدخل المستقبلي. لكن وعلى نحو متزايد، يُجرى تقدير كامل لتكلفة المبنى على مدى حياته غالباً، وهذا التقدير يؤثِّر في اختيار حل البناء.

التكلفة وبياناتها

ذكرنا آنفاً أن البيانات المتوافرة والمتعلقة بتكاليف البناء هي بيانات قائمة غالباً على أسعار تاريخية يقبل المتعهِّدون بها للقيام بالعمل بعد تحديدها تماماً. تتبع التكلفة مقاسات أجزاء المبنى المصمَّم، ولذا تعتمد على كون العمل الجديد مشابهاً للعمل في مبنى سابق. وثمة عمليات موثوقة لتقدير تكلفة هذا العمل تقوم على تكاليف بناء أجزاء مُقاسة بطريقة معيارية.

ويواجه توسيع متطلبات تحليل التكلفة إلى ما هو أبعد من تكاليف التشييد، وإلى أطر زمنية أطول، صعوبة الحصول على بيانات موثوقة. ففي حين أنه يمكن تقدير تكاليف التصميم عموماً، قد يكون من الصعب تحديد تكاليف تصميم جزء معين من المبنى. وقد تكون المعلومات المتوافرة عن تكاليف تشغيل المبنى محدودة، وخاصة تقدير التكاليف المتوقَّع نشوؤها بعد بضعة عقود في المستقبل. فأعمار المباني طويلة، وغالباً ما تكون الملكية غير مستمرة، ولذا يكون جمع هذه المعلومات صعباً. حتى لو كانت هذه البيانات متوافرة، فإن ثمة حاجة إلى إسقاطها على المستقبل، لأن من الصعب التنبُّؤ بتوافر الموارد وبالظروف الاقتصادية حينئذ.

أساس للتحليل أكثر عمقاً

تنجم التكاليف عن استعمال الموارد. ويعتمد السعر الذي يجب دفعه في مقابل الموارد على الظروف الاقتصادية (والمالية الحكومية).

فمثلاً، يمكن تحديد الموارد التي يجب استعمالها في التصنيع والتجميع من تحليل للعمليات التي سوف تُجرى، وللطرائق التي يمكن أن تُستعمل لإنجاز تلك العمليات. وهذا هو التحليل الذي يُجرى لتحديد قابلية تنفيذ الحل المعرَّفة في الفصل 13. فهي تتضمن أخذ المواد والمكوِّنات ومعالجتها بواسطة اليد العاملة والتجهيزات بطريقة آمنة. وهذا لا يحدِّد مقدار الموارد اللازمة فقط بل المدة التي سوف تُستعمل خلالها اليد العاملة والتجهيزات أيضاً. ويجب أن تُضاف إلى هذه التكاليف العملياتية المباشرة إلى تكاليف الإدارة والدعم التقني، مع نسبة من تكاليف الهيئة المنفِّذة، لأنها جميعاً تتضمن استعمالاً للموارد.

ويتأثَّر السعر في اقتصاد السوق بالعرض والطلب في المقام الأول. فحين وجود فائض، تنحو الأسعار نحو الانخفاض، وعندما تكون ثمة ندرة ترتفع. وفي السوق التنافسية، يقوم أعلى سعر يقبله الشاري على الحكم على ما يطلبه الآخرون مقابل سلع أو خدمات مكافئة. أما الظروف المالية الحكومية التي تؤثِّر في التكلفة فهي إما ضرائب مباشرة أو حوافز تخص خطط تشغيل اليد العاملة أو منح تطوير محلية.

وكلما بَعُد المستقبل الذي تشتمل عليه هذه التوقعات، كان احتمال الخطأ أكبر في تقدير التكلفة. إذ يمكن تحديد التكاليف الجارية خلال بضع السنوات الأولى بشيء من اليقين، أما تكاليف التجديد والإصلاح على المدى الطويل فتترتَّب غالباً بعد سنوات أو عقود في المستقبل. وقد تتوافر حينئذ موارد بديلة (أو تصبح الموارد الحالية غير متوافرة)، وهذا ما يجعل تحليل تكاليف العمليات المتوقعة غير ملائم. وتؤدي التغيُّرات في العرض والطلب، أو في وجود بدائل جديدة تزيد من المنافسة إلى تشويه فوارق الأسعار. وتغيِّر الضرائب الجديدة الأسعار على غرار ما حصل في بريطانيا حينما فُرضت ضريبة القيمة المضافة على أعمال الصيانة وعلى أعمال البناء الجديدة. وفي نهاية عمر المبنى، يمكن الهدم أن يصبح غالياً جداً إذا اكتُشفت مخاطر جديدة، على غرار ما حصل مع الأسبستوس، أو رخيصاً بسبب ظهور طرائق جديدة لتدوير للمواد، على غرار حالة الخرسانة.

كل هذا يعني أن تقدير التكاليف خلال أطر زمنية طويلة يمكن أن يُجرى ضمن حدود الارتياب فقط. فالنتائج سوف تكون عرضة للأخطاء والمجازفة التي يجب تحليلها قبل القيام بالاختيار على أساس هذه الأطر الزمنية الموسَّعة.

تحديد الأسعار

صحيحٌ أن هذا الفصل مخصَّص لتقدير التكلفة، إلا أن التكلفة تُبنى من سلسلة تكاليف وأسعار تؤثِّر فيها عوامل اقتصادية (ومالية). لذا من الضروري فهم طريقة نشوء الأسعار.

يمكن تحديد السعر بواحدة من طريقتين أساسيتين هما: السعر الذي تتحمَّله السوق، أو السعر الذي ينجم عن استعمال هوامش معقولة. وعملياً، من الممكن وجود حالات تتضمن الطريقتين معاً في تحديد السعر، خاصة في المناقصات التنافسية. وفي الحالتين، من الضروري معرفة التكاليف المتوقَّعة، إضافة إلى بعض التقديرات بخصوص مدى دقتها. وهذا يمكِّن من إصدار بعض الأحكام ذات الصلة بالهوامش. الهامش هو المقدار المضاف إلى التكلفة والذي تحتاجه المؤسسة لتعيش وتنمو. والحاجة إلى الهوامش ودور الربح هو خارج إطار هذا الكتاب. لكن حتى لو أُضيفت هوامش معقولة إلى التكلفة، يبقى ثمة سؤال عمَّا يمكن السوق أن تتحمَّله. فإذا كان ما تتحمَّله السوق أقل من التكاليف، فإن من غير المعقول الدخول في مناقصة.

إن التحليل الكامل لعملية التسعير يقع خارج نطاق اهتمام هذا الكتاب، ومع ذلك من المفيد تسليط الضوء على جانب من مسألة التسعير في هذه المرحلة. يجب أن تعبِّر العلاقة بين التكلفة والسعر أيضاً عن المجازفة التقنية المتمثِّلة في سوء أداء الأعمال عند إنجازها، ومن ثم في التكاليف التي تترتَّب عليها. فقد تمثِّل مجازفة مالية ترتبط بالتأخير وعدم تنفيذ العقد تنفيذاً صحيحاً. وفي ما يخص هاتين الحالتين وغيرهما من المجازفات، قد يكون من المفيد اللجوء إلى التأمين الذي يُرتِّب تكلفة معروفة على الأقل يمكن ضمها إلى التكاليف الكلية. وإذا كان من الضروري القيام بالمجازفة، فإنه يجب اتخاذ قرار بخصوص السعر الذي يستحق المجازفة. وعادة، من الممكن الحصول على سعر أقل إذا قبلت بالمجازفة. أما من هو الذي يقوم بالمجازفة في سلسلة التكاليف والأسعار فيعتمد على نوع العقد الذي سوف يحصل العمل بموجبه. فالتصاميم التي تقوم على مكوِّنات وحسابات

المصنِّع، تضع المجازفة على المصنِّع. أما الأعمال، مثل تقديم عروض المناقصات لمشاريع متلاحقة والتشارك فيها، فيمكن أن تحدّ من المجازفة أو تجعلها مشتركة من خلال التفاهمات والمعلومات المتشارك فيها من قبل الأطراف المتعاقدة. وهذا يمكن أن يؤثِّر في حلول التشييد التي تسعى إلى تكاليف منخفضة لجميع الأطراف المشاركة.

الخلاصة

1. يجب أن يكون ما يراه الزبون قيمة مقابل المال الذي سوف ينفقه لتحقيق معايير التصميم والأداء واضحاً، وذلك من خلال السعي إلى الحلول الاقتصادية.

2. ليست التكلفة مجرد رقم واحد، بل هي تعتمد على الشخص الذي يجري تقديرها لمصلحته وعلى الإطار الزمني الذي تقدَّر ضمنه. ويمكن التكلفة أن تشتمل على تكاليف التصميم والتشييد والتكاليف الجارية وتكاليف التخلُّص من المبنى في نهاية حياته، والتي يمكن أن تخضع إلى مزيد من التنقيح من خلال النظر في تكاليف الاستثمار والمزايا المالية [الضريبية].

3. حين تقدير التكاليف التي سوف تترتَّب في المستقبل القريب، قد تكون بيانات الأسعار متوافرة. لكن التقديرات بالإنفاق في المستقبل تتطلَّب معرفة التطورات التقنية والظروف الاقتصادية والمالية الحكومية التي سوف تحصل حينئذ، ولذا يكون التنبُّؤ بها أكثر صعوبة.

4. يمكن السعر أن يقوم على عوامل السوق وعلى هوامش معقولة تضاف إلى التكلفة، إلا أنه يعكس أيضاً مقدار المجازفة التقنية والمالية التي يمكن أن تحصل في تصميم المبنى المختار وتشييده وتشغيله.

الفصل الخامس عشر

الاستدامة ــ الاعتبارات الاجتماعية

نستعرض في هذا الفصل الأخير من القسم الأول موضوع الاستدامة (sustainability) باعتباره من الاهتمامات الاجتماعية الجديدة التي تتطلَّب معالجة تقنية. لقد قدَّمنا في الفصول السابقة مادة تقنية معينة تخص التنمية المستدامة يجب تضمينها في عملية الاختيار الطبيعية. وقد وُضِعت الاستدامة هنا في سياق الاحتياجات الاجتماعية التي تتطلب حلولاً خارج إطار المعارف الحالية، وفي إطار ضرورة التأني في اتخاذ القرارات إلى أن تترسّخ تلك المعارف.

قوتان رئيسيتان

ثمة محدِّدان رئيسيان لحلول البناء قمنا باعتمادهما. الأول هو قانون الطبيعة، والثاني هو السياق الاجتماعي الذي نعمل ضمنه. وهاتان القوتان العظيمتان تحدِّدان التقانات التي نطورها ونستعملها. وهذا هو السياق الذي نبني ضمنه. إننا نسعى إلى فهم الموارد الطبيعية التي توفِّر لنا المواد، وقوى الطبيعة التي تؤثِّر في المبنى النهائي. وهذه هي المعرفة التي استعملناها في تحليل السلوك المادي. وقد أصبحت معارفنا في هذا المجال راسخة، ومع أنها ما زالت في تحسُّن، فإنه من غير المحتمل لها أن تتغيَّر جوهرياً. ثم علينا أن نفهم الظروف الثقافية والاقتصادية والسياسية الموجودة، وأن نعرف أنها سوف تتغيَّر مع مرور الوقت. فتلك التغيُّرات تؤثِّر في التصميم وتحدِّد الموارد المتوافرة للبناء. وهي تؤثِّر أيضاً في الحدود التجارية والأخلاقية التي تحكم تنظيم صناعة البناء، وفي المهارات المتوافرة وفي طرائق التشغيل التي تجعل الحلول قابلة للتنفيذ، إضافة إلى أنها سوف تصبح محدِّداً رئيسياً لتكلفة المبنى. ومن المحتمل جداً أن تتطلَّب تلك التغيُّرات معرفة تقنية جديدة مع الحاجة إلى العودة إلى الفهم الجوهري للمنظومات ولسلوكها.

إن المناقشة الموسَّعة لطبيعة ومفعول المعتقدات والقيم الثقافية والأخلاقية في اختيار حل لتشييد المبنى بعيدة من اهتمامات هذا الكتاب. لكن تلك القيم والمعتقدات غالباً ما تكون متضمنة في المجتمع يُغطيها ما يمكن أن يُعتبر مقبولاً عموماً على أنه "حل معقول". لكن عندما يعيد المجتمع النظر في قيمه الذاتية وأطره الأخلاقية، فإن من المؤكد أن تلك الأمور سوف تظهر في إعادة النظر تلك التي يجب أن تُجرى بخصوص الحل "المعقول" الذي يجب تحقيقه على نحو "معقول". وهذا يؤدي إلى تغيرات لها عواقب تقنية، لأن على التقانة أن تستجيب إلى تغيُّر القيم كي تكون مقبولة للمجتمع من خلال عملية تطورها وتغيُّرها الذاتية المستمرة.

ونظراً إلى أن أولئك المنغمسين في صناعة البناء هم عادة جزء من المجتمع الذي يعملون فيه، أو تربطهم به روابط ثقافية على الأقل، فإن معظم تلك التأثيرات تكون متأصلة في عملية اتخاذهم للقرار. لم يكن هذا صحيحاً عندما قامت الدول المتقدمة في النصف الثاني من القرن العشرين بنقل تقاناتها إلى الدول النامية. فقد أرفقتها بأفضل النوايا، ومع ذلك حصل كثير من الأخطاء حينئذ. وقد نجم عن ذلك مصطلح جديد هو " التقانة الملائمة" (appropriate technology) لتذكير أولئك الذين يعملون مع ثقافات أخرى بأهمية أخذ السياقات الاجتماعية لتلك الثقافات في الحسبان حين اختيار الحل التقني. إن علينا دائماً بذل كل الجهد لتوفير التقانة الملائمة.

في نهاية القرن العشرين، نشأ الاهتمام الاجتماعي الجديد بمفاعيلنا في البيئة الطبيعية، وهو ينطوي اليوم على تأثير عميق في مبانينا والطريقة التي نبني بها. وقد جعلَنا نتساءل عن التقانة الملائمة للقرن الحادي والعشرين، وهذا يتطلَّب تغيُّرات بعيدة عن معارفنا الحالية. وقد جرى التعبير عن ذلك الاهتمام بالبيئة بمقدرتنا على توفير الموارد لمستقبلنا من دون التضحية بجودة الحياة التي نتمتع بها اليوم أو الحدّ من آمال أجيال المسقبل. وقد صيغ هذا الاهتمام الطموح ضمن مفهوم الاستدامة.

الاستدامة

عملت جميع الأجيال على تحسين جودة الحياة لأبنائها. وقد اعتمدت في ذلك، في أثناء تطور المجتمعات، على عملية الاقتصاد وتوليد الثروة، وعلى توزيعها على نحو يضمن العدالة الاجتماعية، مع توفير حوافز للأفراد من أجل

التطوير الاقتصادي. وحدَّدت العلاقة بالمعتقدات السياسية، المقترنة بالقيم والأخلاق وأفضل طرائق تحفيز النمو الاقتصادي والعدالة الاجتماعية، الحاجة إلى المباني، ووفرت الوسائل لبنائها. وقد حقَّقنا في السنوات الأخيرة تقدُّماً اقتصادياً واجتماعياً انعكس اليوم في وتيرة غير مسبوقة للتطوُّر.

وجمَع ذلك القوتين العُظْميين، البيئة الطبيعية والمجتمع، معاً. فالتطوُّر اليوم يغيِّر البيئة إلى حد أن علينا مواجهة إمكان أنه لن تكون لدينا موارد للحفاظ على معدل تطوُّرنا الحالي، أو حتى أسوأ من ذلك، يمكن أن نجعل البيئة قاسية بحيث لن نستطيع توفير الحلول التقنية للحفاظ على جودة الحياة وتحسينها. ويُعتقد الآن على نحو واسع أن الخيارات المتاحة، وجودة الحياة للجيل القادم سوف تتأذى إذا لم نضافر الجهود للحفاظ عليها وعلى استقرار الظروف الاقتصادية والاجتماعية.

يُعرف هذا التوجُّه لإدخال قلقنا على البيئة الطبيعية ضمن تحليلنا، وجعله جزءاً من عملية اختيارنا، بالتنمية المستدامة (sustainable development)، أو الاستدامة. إن هذا التوجُّه يرى أن الاهتمام بالبيئة هام كأهمية إدارة الاقتصاد وضمان العدالة بين جميع أفراد المجتمع.

لا تخص التنمية المستدامة البناء فقط، إلا أن للمباني مفعولاً كبيراً في البيئة، وفي الاقتصاد والمجتمع أيضاً، ولذا يجب أن تُؤخذ في الحسبان مصادر القلق الجديدة الناجمة عن مفاعيلها. فعلى غرار اختيار المبنى الذي يتأثَّر بالظروف الاقتصادية والاجتماعية، يجب الأخذ في الحسبان لمفعوله في البيئة.

المؤثِّرات في البيئة وأوجه القلق الجديدة

لقد ترسّخ كثير من المؤثِّرات الاقتصادية والاجتماعية التي تُعتبر مهمة للاستدامة، والتي أثَّرت في تصاميمنا وفي حلول البناء التي اخترناها طوال سنين كثيرة. ومن تلك المؤثِّرات متطلبات الأداء التي وضعها الزبائن ومستويات البنية التحتية التي طوَّرها المجتمع للأنشطة الصناعية. وتخضع تلك المؤثِّرات للتغيُّر والتطوُّر. أما قلقنا على البيئة فهو جديد. وقد تجلَّى ذلك القلق في الأنشطة الفكرية والسياسية والاجتماعية التي يجب اختبارها بغية تحويلها إلى واقع عملي في الحلول التقانية.

وقد نجمت عن ذلك حاجة إلى تحديد المسائل الهامة للاستدامة والبحث عن

المعارف الكافية لاقتراح حلول بناء "آمنة" بيئياً. قد لا يستطيع المصمِّمون تحليل سلوك المبنى المقترح، وقد يُخفق متعهِّدو البناء في إدارة جوانب الجودة الهامة، أو قد تكون خبرة العمال قليلة في هذا المجال، أو قد يسيئون استعمال الخبرات التي يمتلكونها. لكن ثمة معارف تكنولوجية لدى جميع أولئك المشاركين في أنشطة صناعة البناء. وقد أُعِدَّ هذا الفصل لتحليل الخيارات وتقييمها، وفيه نقترح أن البناء الناجح يتطلَّب تكامل معارف وخبرات أولئك جميعاً. لقد أصبح ضمان تكامل تلك الخبرات قبل القيام باختيار الحل جزءاً من التحليل، وذلك لتحقيق الأداء المطلوب. وهذا يسلِّط الضوء على الحاجة إلى أن يكون التأهيل والتدريب والبحث والتطوير جزءاً من ثقافة المجتمع والصناعة والمهن التي تُشارك في عمليات البناء.

إنه لمن الصعب غالباً التفريق بين المسائل التي حُلَّت وتلك الجديدة حقاً. فعلى سبيل المثال يمكن القول أن التغيُّرات الأخيرة في متطلبات الأمان والسلامة بحيث تشتمل على التصميم والإنتاج لا تمثِّل تغيُّراً جوهرياً في رؤيتنا لقيمة الحياة، بل تعبِّر عن تحسُّن معاييرنا الاقتصادية التي يجب أن يُصرف جزء منها على الأقل على معايير أعلى للأمان والسلامة. لقد حصل التغيُّر الجوهري في القيم الخاصة بالأمان والسلامة والصحة مع الإصلاح الصحي العام الذي كان له مفعول عميق أيضاً في حلول البناء، حيث لم يغيِّر تفاصيل المباني فحسب، بل غيَّر ترتيبات الموقع العملياتية من خلال إجراءات التفتيش وقمع المخالفات. وقد كان ذلك جزءاً من الحركة العامة باتجاه العدالة الاجتماعية لتحسين الظروف الاجتماعية وضمان التوزيع الأوسع للثروة الاقتصادية الجديدة المتولِّدة من الثورة الصناعية. إن الأمان والسلامة وقضايا الصحة هي اليوم جزء من أي تحليل لقابلية بناء المبنى وتشغيله. وقد استوعِبت ونُفِّذت المتطلبات الجديدة ضمن قاعدة المعرفة والخبرة الواسعة المتوافرة للمصمم ومتعهِّد البناء ومشغِّل المبنى.

ومن أمثلة القلق الاجتماعي الأخرى المؤثِّرة في البناء استيعاب المعاقين وضرورة الأخذ في الحسبان لاحتياجاتهم في تطويرنا للبيئة العمرانية. وهذا من حيث الجوهر مجرد توسيع لفهمنا للتصميم من أجل الناس، ومن غير المحتمل أن يكون له مفعول عميق في المبنى كمفعول الاستدامة، إلا أنه يؤثِّر في الطريقة التي نبني بها. وفي حين أنه ليس من السهل دائماً تعديل مبانٍ قائمة، فإن جميع المؤشِّرات تقول إن علينا استيعاب كل الناس في المباني الجديدة، وذلك بتعديل الحلول التي نستعملها. ولعل أبسط مثال على ذلك توفير مكان دخول عند الأبواب

الخارجية للمقعدين الذين يستعملون كراسي متحركة. فوجود فرق بين مستويي الأرضيتين الداخلية والخارجية يحتاج إلى إعادة النظر فيه من حيث إما استعمال عتبة منحدرة أو جعل المستويين متماثلين. وفي الحالة الأخيرة، قد يؤدي ذلك إلى دخول الماء إلى المبنى في الظروف العاصفة، خاصة في مناطق الفيضانات. وهذا يتطلب ترتيبات جديدة حول العتبات تشتمل على مجاري تصريف ماء مغطاة بحاجز شبكي وإجراءات حماية من الفيضان تُصمَّم بوصفها أجزاء من المبنى نفسه. وثمة عواقب تخص مستويات الحصائر المانعة للرطوبة وترتيبات تهوية الطوابق الأرضية، إلا أن تلك ليست متطلبات جديدة، بل تعديلات لمبانٍ مفهومة جيداً.

إن جوهر القضايا المستجدة، مثل القلق على البيئة، هو الافتقار إلى قاعدة المعرفة قائمة على الممارسة العملية. بالتأكيد، ليس ثمة من فهم تقاني مباشر لتلك القضايا بين أولئك المنغمسين في تصميم وتشييدها المباني وتشييدها. وتختلف درجة الافتقار إلى ذلك الفهم بين الأفراد الذين يمتلكون المعرفة المتممة والحل التقاني الكامل، من الباحثين حتى العمال اليدويين. وبالفعل، من الصعب تحديد من هو الذي يمتلك المعرفة اللازمة للتفكير بأول محاولة للحل ووضعها موضع التنفيذ العملي.

ومن أمثلة ذلك دوافع الحفاظ على الطاقة بعد أزمة النفط في أوائل سبعينيات القرن العشرين. فقد كانت أزمة اقتصادية من حيث الجوهر، لكنها انطوت على أن المجتمع بأسره قد أدرك، أو على الأقل لم يعترض على الحاجة إلى اتخاذ إجراء ما في مواجهتها. وعنى القبول الاجتماعي للمبدأ أن الإجراء السياسي كان مضموناً، وهذا ما أدى إلى ضرورة الاستجابة التقانية السريعة جداً للموضوع. وتضمنت إحدى الاستجابات زيادة كفاءة العزل الحراري. ومن نواحٍ عدة، كانت متطلبات تحقيق ذلك بعيدة من إمكانات التطوير التقاني لتوفير حلولٍ تحافظ على جميع جوانب الأداء المنتظرة. وفي حين أن زيادة مقاومة مرور الحرارة قد تحقَّقت، ولم تكن الترتيبات وعمليات الموقع مفهومة بقدر كافٍ لتوفير حلول آمنة. ففي كثير من الحالات ترافقت زيادة العزل مع زيادة في الرطوبة بسبب تسرب المياه أو حصول التكاثف، نتيجة لاستعمال المواد والإنهاءات الجديدة. وحصل انهيار في أكثر المتطلبات أهمية المتمثلة بالبيئة الجافة. إلا أن تلك الصعوبات الأولى في العزل أصبحت الآن مفهومة تماماً وأصبح لدينا كثير من الحلول الآمنة لزياد كفاءة العزل، وهذا ما سمح بتقليص استهلاك الطاقة والتلوُّث بثاني أكسيد الكربون، ومن ثَمَّ كان مفيداً في تحقيق الاستدامة.

لقد حقَّق مفهوم التنمية المستدامة، وفقاً لتعريفها في بداية القرن الحادي والعشرين، مفعولاً بيئياً في القرارات الخاصة بتفاصيل ومواصفات المباني. فقد اشتمل التحليل على أصول المواد ومصنِّعيها وتجميعها والتخلُّص من نفاياتها وإسهاماتها في التلوُّث واستهلاك الطاقة، إضافة إلى قضايا مباشرة تخص نضوب الموارد وتغيُّرات البيئة الحيوية. إن الاستدامة تتطلب تحليل تشغيل المبنى وتأثيره في البيئة من حيث التلوُّث واستهلاك الطاقة طوال مدة حياته. ويشتمل ذلك على مصدر الطاقة، لأنه إذا أمكن توفير الطاقة على نحو اقتصادي من دون إلحاق أذى كبير في البيئة، أمكن حينئذ استعماله بوصفه جزءاً من استدامة التطوير. يُضاف إلى ذلك أن هذا التحليل يجب أن يشتمل على كل المفاعيل العالمية والإقليمية والمحلية في البيئة.

وثمة حاجة إلى العمل مع هيئات أخرى تهتم بالاستدامة من جوانب أخرى، مثل تطوير التجمعات العمرانية والنقل وغيرها. وتقتضي الاستدامة أيضاً تحرِّي تلك المفاعيل على مدد طويلة بغرض الحفاظ على الموارد للأجيال القادمة.

تنفيذ خطط الاستدامة

إذا كان القلق على البيئة قلقاً مستجداً، فإن من المهم حين التوجُّه إلى معالجته طرح الأسئلة المناسبة. فالاستدامة حركة واسعة جداً تقتضي التفكير بها من قبل جميع فئات المجتمع. وهي تنطوي على فكرة أن ضمان جودة العيش للأجيال الحالية والقادمة يجب أن يشتمل على استمرارية المنظومات الاقتصادية والاجتماعية. ويتركَّز القلق الجديد في المفعول البيئي، فحتى إن أبسط التحاليل يبيِّن أن تشييد المباني، والمباني المشغولة، لهما مفعول بيئي كبير. ومن الواضح أن التطوير العمراني والتصميم الحَضَري، برغم أنهما لا يرتبطان مباشرة بالحل التقني للمبنى، ينطويان على عواقب تخص التنقل ومدد الرحلات التي سوف تؤثِّر في قطاعات أخرى ذات تأثير كبير في البيئة، ومنها قطاع وسائل النقل. إن طبيعة هذه المشاكل والتداخل في ما بينها واعتماد بعضها على البعض الآخر هي التي تمثِّل جزءاً هاماً من التحليل.

يتركَّز اهتمام هذا الفصل في عمليات البناء وفي المباني المشغولة. إلا أن من الضروري الانتباه إلى التحدِّيات البيئية التي تقترن بجميع أوجه النشاط البشري بحيث تكون إسهامات المباني في درئها فعالة. وتتضمن تلك التحديات احترار

كوكب الأرض، والتغيُّر المناخي، والحفاظ على البيئات الحيوية والتنوُّع الحيوي، وإدارة الموارد والنفايات. لكنْ ثمة مسألتان مختلفتان هنا يمكن اعتبارهما توجُّهين عامين، هما:

- التلوُّث
- ونضوب الموارد

يقترن مفعول التلوُّث بإحداث تغييرات في البيئة. ويمكن تأثيره أن يكون مباشراً في تسميم الهواء والماء والتربة، ولذا فهو يؤثِّر في البيئات الحيوية والتنوُّع الحيوي وسلسلة الغذاء، هذا إضافة إلى مفاعيله غير المباشرة. ومن مصادر القلق الرئيسية في هذا المجال احترار كوكب الأرض. تحصل هذه التغيُّرات عادة على نحو طبيعي على مدى أحقاب جيولوجية بسبب تغيُّرات مكوِّنات الجو. إلا أن إحراقنا للوقود الأحفوري أدى إلى انطلاق كثيف لثاني أكسيد الكربون، وهو غاز يتصف بمفعول البيت الزجاجي. فحينما يتراكم هذا الغاز في الجو، يسمح للإشعاعات الشمسية ذات الأمواج القصيرة بتسخين الأرض، ويحدُّ إعادة بث الإشعاعات الطويلة الموجة من الأرض المسخَّنة إلى الفضاء، وذلك على غرار ما يفعله البيت الزجاجي. والمقلق في ذلك هو حصول تغيُّر في المناخ بوتيرة يجد الناس صعوبة في مواكبتها. ونظراً إلى أن هذا التغيُّر المناخي يؤثِّر في مقدرتنا على الحفاظ على جودة عيش مستدامة، فإننا نصف غاز ثاني أكسيد الكربون بأنه ملوِّث، برغم وجود غازات مشابهة له من حيث مفعول البيت الزجاجي مثل كربون فلور كلور الهدروجين HCFC (Hydrochlorofluorocarbon) وأكاسيد النتروجين التي تنطلق في عمليات البناء.

أما المنحى الآخر فهو نضوب الموارد الذي يؤثِّر في التوافر المستمر للموارد التي نبني منها ونحافظ بها على رغد العيش. يُعرَّف بعض الموارد، مثل الخشب والماء، بأنه متجدِّد، ومع ذلك تجب إدارة هذا النوع من الموارد بحكمة لأن استجرارها الجائر يمكن أن يؤدي إلى نضوبها من الطبيعة. فهي أجزاء من دورات طبيعية، وإذا لم نحترم هذه الدورات، تكوَّنت ظروف تحبط من سعينا إلى تحقيق رغد العيش. وثمة موارد معروفة بأنها محدودة، (مادياً أو اقتصادياً)، ويمكن بعضها أن ينضب (أو أن يصبح باهظ الثمن) إذا استمرَّينا باستعمالها بالوتيرة المتزايدة التي شهدتها العقود السابقة. إن تقلُّص توافر الموارد والاستمرار في الاستجرار منها

يمكن أن يكون لهما مفعول خطير في المنظومات الاقتصادية والاجتماعية قبل حصول مفاعيل بيئية غير قابلة للإصلاح، وكل ذلك هو جزء من الاعتبارات التي تخص الاستدامة.

ومن الموارد المحدودة الوقود الأحفوري الذي نستمد منه اليوم معظم احتياجاتنا من الطاقة. وهذا يجعل الطاقة محط اهتمام رئيسي في تصميم المباني وتشييدها. لكن الطاقة ليست هي المشكلة في الواقع. صحيحٌ أن توافر مصدر دائم الطاقة يُعتبر حيوياً لمستقبل مستدام، حتى عند المستويات الحالية من جودة الحياة، إلا أن التلوُّث بثاني أكسيد الكربون ونضوب الوقود الأحفوري هما المشكلة. وقد تبيَّن أن الاقتصاد في استهلاك الطاقة يقلِّص كليهما ويمثِّل سياسة مفتاحية في تحقيق أغراض الاستدامة.

إن لمن الضروري إدراك أنه كان دائماً لجميع المباني تأثير في البيئة وفي توافر الموارد. وفي الماضي كان التأثير غالباً محلياً وضمن إمكانات تعافي البيئة مع مرور الوقت. لكنْ عندما نحكُم على التعافي، نستعمل عادة معيار أن التغيُّر لا يهدِّد كثيراً حياة الناس أو جودتها الآن وفي المستقبل. إننا نواجه اليوم احتمال أن يصبح التعافي غير ممكن، وأنه قد لا تكون لدينا المقدرة التقانية على التعامل مع طيف الظروف اللازمة للحفاظ على سلامة الجنس البشري في المستقبل.

لذا فإن المهمة التي أمامنا ليست إلغاء التأثير في البيئة، بل الحد منه للحفاظ على ظروف جيدة. وثمة آراء مختلفة بخصوص مدى قربنا من حالة التغيُّر اللاعكوس، إلا أن هناك الآن اتفاقاً واسع النطاق على أن التأثير قد انتقل من كونه محلياً أو إقليمياً ليصبح كوكبياً، وأن علينا تقليص المفاعيل الضارة التي نسببها اليوم في البيئة. والهدف يجب أن يكون مبان ذات مفعول بيئي صغير.

يوجد اليوم إجماع على ضرورة البحث عن حل يتقارب مع الهدف. فعلى سبيل المثال، من المقبول عموماً أن المستوى الحالي من استعمالنا للطاقة والموارد لا يمكن تحقيقه بواسطة مصادر متجدِّدة مسيطر عليها ضمن الإطار الزمني المطلوب. لذا علينا خفض استهلاكنا للطاقة مع زيادة اعتمادنا على المصادر المتجدِّدة، لأننا سوف نبقى، على المدى القريب على الأقل، بحاجة إلى الوقود الأحفوري.

ليس ثمة من اتفاق على مقدار التخفيض الذي علينا تحقيقه في التلوُّث

واستعمال الموارد، ونحن نعرف أن الملوِّثات كثيرة والموارد محدودة. لكنْ ثمة اهتمام الآن باستعمال الطاقة وبتوليدها، بغية الحد من إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون، وتبطيء نضوب النفط والغاز الطبيعي. وهذا واحد من مجالات التحليل الهامة لتقليص إسهام المباني في الإساءة إلى البيئة، إلا أنه ليس الوحيد.

وعلى المستهلكين إعادة النظر في سلوكهم أيضاً. ولعل هذا أكثر جلاء في الرغبة القوية في "تخفيض الاستهلاك وإعادة الاستعمال والتدوير". ونحن، بوصفنا بنَّائين للمباني، مستهلكون للمواد والطاقة والموارد الأخرى، مثل الماء، ونولِّد نفايات شأننا في ذلك شأن شاغلي المبنى. لذا يجب تصميم المباني بحيث يكون مفعولها البيئي منخفضاً، لا حين تشغيلها فحسب، بل في أثناء تشييدها أيضاً. وفي الواقع، يجب الاهتمام بكليهما معاً. فالخرسانة تُعتبر غير ودودة للبيئة بسبب الطاقة التي تُستعمل لإنتاج الإسمنت. لكن إذا أُخِذ الإسمنت من المعمل باستعمال مصدر طاقة متجدِّد، واستُعمل بكتلته الحرارية الكبيرة لتقليص استهلاك الطاقة طوال مدة حياة المبنى، فإنه سوف يوفِّر حلاً ذا مفعول بيئي شامل صغير.

الحد من المفاعيل البيئية

من الضروري النظر إلى المبنى على أنه ملوِّث ومستهلك للموارد، إضافة إلى كونه مساهماً في الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية. وإلى جانب مساهمته الاقتصادية والاجتماعية من الضروري أيضاً تحرِّي مفعول المبنى البيئي طوال مدة حياته، ابتداء من التشييد، ومروراً بالاستعمال، وانتهاء بالتخلُّص منه (وإعادة إعماره).

تأخذ عملية اختيار حل للمبنى في الحسبان كثيراً من العوامل عملياً، من السلوك المادي والمظهر حتى الإنتاج واعتبارات التكلفة. واستقصاء المفعول البيئي هو مجرد عامل إضافي في عملية الاختيار. فعند النظر في تكوين جو المبنى الداخلي من حيث التدفئة والإضاءة والتهوية، يمكن اللجوء إلى حلول منخفضة استهلاك الطاقة. ويمكن أيضاً تقليص المفعول البيئي بتحرِّي عمليات استهلاك الماء والصرف الصحي والتخلُّص من النفايات. وحين اختيار المواد والمكوِّنات تبعاً لمنشئها، فإن الاهتمام بمتطلباتها من الطاقة والتخلُّص من فضلاتها يقلِّص مفعولها البيئي في المبنى أيضاً.

ومن المفيد أن يكون ثمة إطار عمل يمكن خيارات تصميم المبنى وتفاصيله أن تتوافق ضمنه مع اعتبارات الاستدامة. وقد جرى تطوير نهج من هذا القبيل من

خلال المبادرة المشتركة لجمعيتي الإقليمية الحيوية (bioregional) والصندوق العالمي للحياة البرية (World Wildlife Fund WWF) التي تسمى "لا يوجد سوى كوكب واحد حي" ((One Planet Living (or OPL). فقد حدَّدت المبادرة تحدّيات شاملة اشتُقَّت منها مبادؤها، ومن هذه المبادئ وُضِعت سلسلة من الأهداف والخطط التي يمكن اعتمادها من قبل المجتمعات. وتعطي هذه المبادئ مجموعة من العناوين التي يمكن استعمالها لتحديد مزيد من الأهداف التي يجب تحقيقها والخطط التي يمكن اعتمادها في تصميم المباني واختيار تقانات إنشائها. والمبادئ العشرة تلك معطاة في الجدول 1.15. ومن الواضح أن بعض تلك الإجراءات أكثر قابلية للتطبيق على المباني وعلى تطويرها من غيرها، إلا أن من الممكن رؤية صلات لمعظمها أيضاً بالمباني، ولذا يجب تحديد الإجراءات التي يمكن اتخاذها إزاءها خلال دورة تصميم المبنى وتشييده. وهذا يُؤثِّر في أنشطة اختيار التقانات وتحضير المواصفات والتفاصيل بالتأكيد.

الجدول 1.15 مبادئ مبادرة كوكب واحد حي

لا كربون
لا نفايات
نقل مستدام
مواد محلية ومستدامة
غذاء محلي ومستدام
ماء مستدام
مآوي طبيعية للحيوانات البرية
ثقافة وتراث
عدالة اجتماعية وعدالة في التجارة
صحة ورفاه

تركِّز مبادرة كوكب واحد حي الاهتمام في المجتمعات، ولذا يصبح من الضروري التساؤل عن كيفية إسهام المباني في المجتمع. وحينئذ يكون من الممكن تطبيق مبادئ المبادرة باعتماد خطط ملائمة في تصميم واختيار التقانات التي سوف تُستعمل في تشييد المباني وتشغيلها، والتخلُّص في النهاية من ركامها.

وتُري المبادرات، مثل مبادرة كوكب واحد حي، أن ثمة طرائق كثيرة يمكن المبنى أن يُسهم بها في تقليص مفعوله البيئي ويُعزِّز التنمية المستدامة. فمع إصدار تشريعات وتعهدات حكومية بتحقيق أهداف الاستدامة، تظهر الحاجة إلى تحديد إسهام المبنى في الاستدامة. وهذا يقود إلى تطوير منظومات تصنيف المفاعيل البيئية (environmental assessment rating systems)، ومن أمثلتها قانون المنازل المستدامة (code for sustainable homes) الصادر في عام 2007 الذي يمنح ثناءات تخص الجوانب المختلفة من تصاميم البيوت الجديدة في إنكلترا، وعندما تُجمع نقاط الثناءات تلك تبعاً لأهمياتها تُعطى علامة لمدى تحقيق المبنى لمتطلبات القانون. وتُعطى الأوزان الأكبر في تلك المنظومات للاقتصاد في استهلاك الطاقة وتخفيض إصدار ثاني أكسيد الكربون، لأنهما يمثِّلان موضع اهتمام الحكومة البريطانية الرئيسي. وطرائق التصنيف تلك هي أدوات تنفيذ سياسات الحكومة البيئية وتقوم على تقدير المفاعيل البيئية التي تجب مواجهتها وفقاً لمعايير قومية. لكن يمكن سياق تطوير معين أن يعطي لاحتياجات محلية، مثل مواجهة مخاطر الفيضان أو جوانب حيوية بيئية معينة أخرى مثلاً، أهمية أكبر مما تعطيه نقاط ثناءات منظومة التصنيف.

المباني بوصفها منظومات

إن نظرة هذا الكتاب إلى المبنى على أنه سلسلة من التدفقات والانتقالات جوهرية لفهم طبيعة سلوكه المتغيِّرة. وهذا مفيد في تقييم تصميم المبنى وفقاً للمعايير البيئية. فبجعل المُدخلات إلى المبنى، التي تؤثِّر في البيئة، أصغرية، وبالقيام بأفضل استعمال للموارد حين وجودها ضمن المبنى، وبتقليص ما يخرج منه إلى أدنى حد ممكن، يمكن تحقيق كثير من أهداف تخفيض المفاعيل الضارة بالبيئة. ويمكن رؤية هذا على أفضل وجه، ربما، في ما بات يُعرف بالتصميم غير النشط. إذا أمكن إبقاء تدفقات الحرارة والضوء والهواء النقي إلى المبنى متوازنة بحيث تحافظ على ظروف الجو الداخلي من خلال البنية الإنشائية النشطة وغير النشطة (انظر الفصل 10) بدلاً من استعمال خدمات المبنى النشطة فقط، كان مفعول المبنى في البيئة أصغر. إن الخدمات النشطة تستعمل طاقة، ولذا فإن التصاميم التي تستطيع الاستفادة من التدفقات غير النشطة يمكن أن تسهم إسهاماً كبيراً في تخفيض استهلاك الطاقة وإصدار ثاني أكسيد الكربون. إن الاستعمال الرئيسي للطاقة في المبنى يحصل في التدفئة والتبريد والإضاءة والتهوية، ولذا

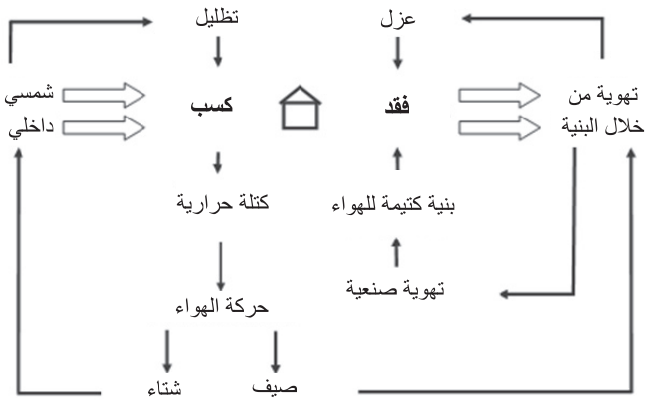
يجب أن تكون تلك الأنشطة موضع الاهتمام الرئيسي لطرائق التصميم غير النشط (passive design) ولتقانات تخفيض إصدار ثاني أكسيد الكربون.

يشتمل تصميم المبنى غير النشط بيئياً، من حيث اكتساب الطاقة وضياعها، على بنيته الإنشائية وعلى استعمالات أحيازه لإدخال الضوء الطبيعي والتقاط الحرارة التي يمكن أن تُحرَّك ضمنه بقوى طبيعية. والهدف من ذلك هو تقليل الاعتماد على المنظومات النشطة التي تستهلك طاقة. أما المنظومات النشطة التي لا تزال ثمة حاجة إليها، فيمكن أن تتضمن مكوِّنات قليلة لاستهلاك الطاقة، وأن يُتحكَّم فيها من خلال منظومة إدارة المبنى، ويمكن الطاقة اللازمة حينئذ أن تُستجر من مصادر طاقة متجددة لزيادة تقليص إصدار ثاني أكسيد الكربون.

إن هذه الأوجه الثلاثة المتمثِّلة بالتصميم غير النشط وإدارة استعمال الطاقة وتوليد الطاقة المتجدِّدة يجب أن تُؤخذ جميعاً في الحسبان في مرحلة التصميم المفاهيمي. وليس من المقبول إضافتها لاحقاً في تصميم المبنى الجديد. ومع ذلك فإن مساعي تحسين مردود استعمال الطاقة في المباني القائمة يمكن أن تُسهم كثيراً في تقليص إصدار ثاني أكسيد الكربون على المستوى الوطني.

التصميم غير النشط للبيئة الحرارية

تتطلب التغيُّرات الفصلية في بريطانيا حتماً تدفئة في الشتاء وربما تبريداً في الصيف. وهذا يتأثَّر بالكسب الحراري الداخلي الذي يُسهم في التدفئة في الشتاء ويزيد من الحاجة إلى التبريد في الصيف. وغالباً ما يعني ذلك عملياً أن الاهتمام الرئيسي في ما يخص المنازل في الشتاء يجب أن يكون بالتدفئة، أما في ما يخص المباني التجارية والصناعية فثمة عدد كبير من الأيام في السنة تتطلب التبريد. ولذا من الضروري أن تكون ثمة تصاميم غير نشطة يمكن أن تعمل في ظروف كل من الشتاء والصيف. وبرغم أن القصد من هذا التحليل هو توفير ظروف حرارية مريحة في المبنى، سوف نرى أنه يجب الاهتمام بالتهوية لتأمين الهواء النقي في الوقت نفسه وأنها يجب أن تكون جزءاً من التصميم.

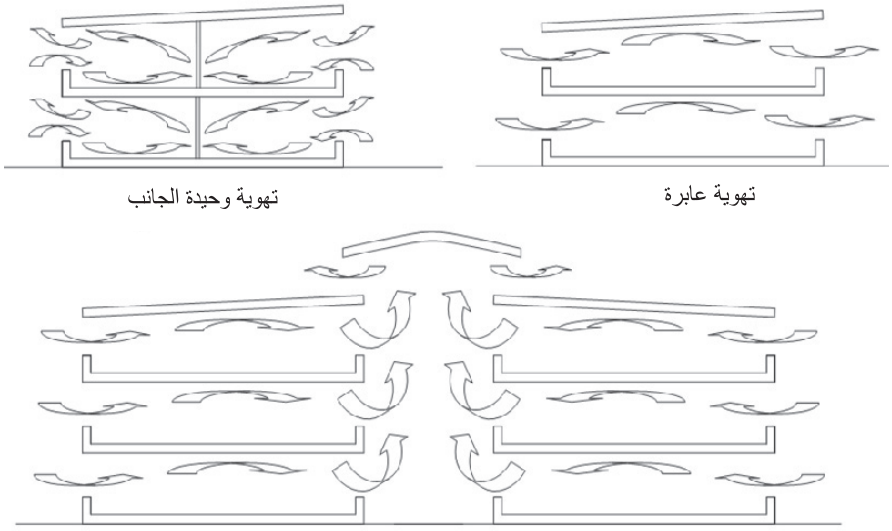


الشكل 1.15 الكسب والفقد الحراريان.

يبين الشكل 1.15 التدفقات التي يجب الاهتمام بها للحفاظ على البيئة الحرارية من خلال تركيز التحليل في الكسب والفقد الحراريين ضمن الجو الداخلي للمبنى. يجب أن يضمن التصميم أن ثمة توازناً في الظروف الداخلية المرغوب فيها. إذ يأتي الكسب الحراري من أشعة الشمس ومن المصادر الداخلية ومنها القاطنون والتجهيزات وخدمات المبنى مثل الإضاءة (مع أن التصميم غير النشط الناجح يجعل الكسب من هذه المصادر أصغرياً). ومن الواضح أن هذا الكسب مفيد في الشتاء، لكنه غير مساعد في الصيف. ويحصل الفقد غير النشط من خلال البنية الإنشائية للمبنى والتهوية. ويمكن الحدُّ من الفقد عبر البنية بالعزل الحراري، وهذا يُسهم كثيراً في الحد من الفقد في الشتاء، ولذا فإن المستويات العالية من العزل الحراري للأبنية أصبحت الآن مقبولة على نطاق واسع.

ثمة ضرورة لبعض التهوية في المبنى لتوفير هواء نقي مأمون ومستويات رطوبة مضبوطة، إلا أن ذلك يمكن أن يؤدي في الشتاء إلى مفاقيد حرارية كثيرة، لذا يجب قَصْر التهوية على ما هو ضروري للعيش الصحي. أما في الصيف، فتُستعمل التهوية لتأمين البيئة الحرارية الصحيحة بإدخال هواء أبرد وزيادة سرعة جريان الهواء لزيادة البخر من الجلد، ومن ثَمَّ تبريده. ويجب أن تكون التهوية في الصيف قوية لزيادة الضياعات الحرارية ومن ثمَّ الحفاظ على التوازن بين الكسب والفقد الحراريين. ولتحقيق متطلبات الشتاء والصيف من الهواء النقي المأمون، يجب أن تصمَّم المباني بحيث تكون كتيمة للهواء، مع تهوية كافية متحكَّم فيها

لتوفير هواء نقي في الشتاء وتبريد مباشر في الصيف. ويمكن تحقيق هذه التهوية في التصاميم غير النشطة باستعمال القوى الطبيعية التي تقدِّمها الريح والفوارق الحرارية ضمن المبنى. وتُمكِن تهوية الغرف طبيعيا بتهوية وحيدة الجانب، لكن إذا كانت التشكيلة الداخلية وشكل المبنى وأبعاده ملائمة، أمكن استعمال التهوية العابرة والحصول على مفعول المدخنة، وفقاً للمبيَّن في الشكل 2.15، وهذا ما سنشرحه في ما يلي.



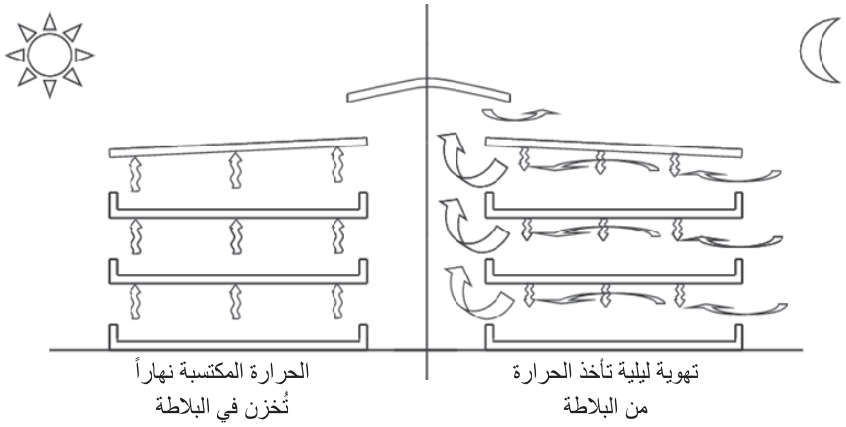
الشكل 2.15 تهوية وحيدة الجانب وعابرة وتهوية بمفعول المدخنة.

هنالك بضعة أيام في السنة تقريباً يكون فيها ثمة توازن بين المكاسب والمفاقيد الحرارية غير النشطة التي تعطي بيئة حرارية مريحة في جميع الغرف. في الماضي القريب، كانت الخدمات النشطة تُصمَّم لاستعادة الظروف الداخلية ضمن الحدود المرغوب فيها، باستعمال التدفئة في الشتاء، والتبريد في الصيف، مع بعض تكييف الهواء أحياناً. إلا أن ثمة آليتين غير نشطتين، هما الكتلة الحرارية والتظليل، يمكن استعمالهما للحفاظ على التوازن بين المكاسب والمفاقيد الحرارية.

تستغل الآلية الأولى الكتلة الحرارية للبنية الإنشائية التي تُستعمل لخزن الحرارة في أثناء الكسب العالي وإطلاقها حينما يحصل فقد. وهذا مفيد على مدار الـ 24 ساعة، ففي أثناء ساعات النهار يكون الكسب عالياً، وفي ساعات الليل يمكن الفقد أن يعيد التوازن. يجب ضبط هذا الفرق بين مكتسبات النهار ومفاقيد الليل وذلك بتحريك الحرارة ضمن المبنى. وأفضل آلية غير نشطة لتحريك الحرارة هي تحريك هواء المبنى بطريقة معروفة وقابلة للضبط. وقد يكون هذا مختلفاً عن عملية التهوية الخاصة بالهواء النقي والملطَّف. وبالفعل، ثمة حاجة إلى أنماط حركة للهواء مختلفة بين الشتاء والصيف.

تمثِّل حركة الهواء في ليالي الصيف تهوية تُصرِّف الحرارة إلى الخارج في ما يُعرف بالتصريف الليلي. أما في الشتاء، فتوزِّع حركة الهواء الحرارة عبر المبنى، وتحقِّق تهوية بحدها الأصغري لتوفير الهواء النقي. والقوى التي تحرك الهواء في الصيف هي تلك التي تُستعمل للتهوية النهارية، ومنها التهوية الوحيدة الجانب أو العابرة أو تلك ذات مفعول المدخنة، إلا أنه يجب في جميع الحالات توجيه الهواء نحو الكتلة الحرارية المستعملة لخزن الحرارة، لكنْ بعيداً من الأشخاص، وذلك لزيادة تبريدها. وموضع الكتلة الحرارية هام لكل من الخزن الكُفء والنقل في أثناء التصريف. وأكثر أجزاء البنية استعمالاً لذلك هو الجانب السفلي من البلاطة وفقاً للمبيَّن في الشكل 3.15، حيث يرتفع الهواء الحار في النهار إلى الأعلى، فتمتص الكتلة الحرارية للبلاطة الحرارة. لكن البلاطة تتصف بسعة حرارية كبيرة، والسعة الحرارية الكبيرة تعني أن أسفل البلاطة سوف يستغرق وقتاً كي ترتفع درجة حرارته. إن درجة حرارة سطح البلاطة أقل دائماً من درجة حرارة الهواء، ولذا يشعر القاطنون بالبرودة حين إشعاعهم حرارة إلى البلاطة. وعندما يصبح الهواء في الخارج أبرد بقدر كاف من الهواء الحار ضمن المبنى، يجب أن تفتح النوافذ آلياً ليبدأ التصريف الليلي بمرور هواء الليل البارد على سطح البلاطة السفلي، ومن ثَمَّ خروجه بعد أن يكون قد حمل بعض الحرارة. وتَستعمل هذه الدورة التي تعمل طوال اليوم الـ 40 مم الأولى تقريباً من البلاطة بوصفها كتلة حرارية فعالة، مع أن كامل الكتلة الحرارية تُستعمل استعمالاً غير مباشر، لأن أي كتلة حرارية سوف تمتص الحارة في أثناء النهار وتعطيها للهواء الأبرد في الليل. إن جميع الكتل الحرارية تساعد التوازن في ما بين المكتسبات والمفاقيد، وهذا مفيد على وجه الخصوص في الظروف الشتوية.

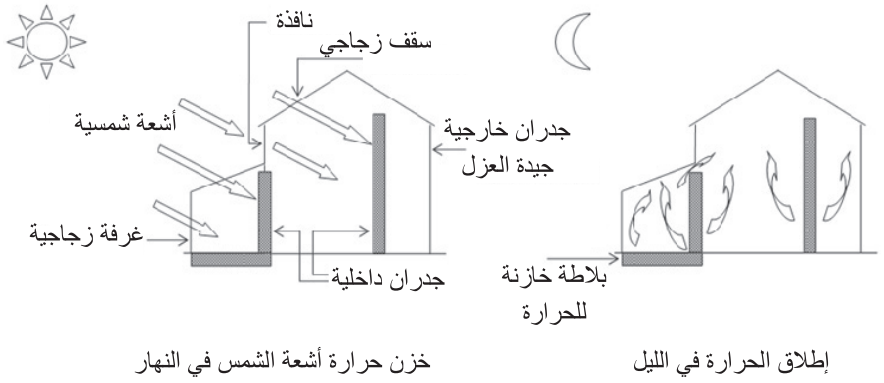
أما في الشتاء فيجب أن تبقى حركة الهواء في الليل ضمن المبنى، ولذا لا تستفيد من الضغط الخارجي الذي يسبب التهوية العابرة ومفعول المدخنة. والقوى الوحيدة تأتي حينئذ من التدرُّج الحراري، وربما من المقدار الصغير من التهوية لإدخال الهواء النقي إلى المبنى. والفرق الآخر بين الشتاء والصيف هو أن الحرارة غير المرغوب فيها في الهواء هي التي تذهب إلى الكتلة الحرارية، في حين أن حرارة الأشعة الشمسية والمصادر الداخلية في الشتاء هي التي يجب التقاطها. وعندئذ يمكن استعمال تلك الحرارة للحد من انخفاض درجة الحرارة ليلاً عندما لا تكون ثمة مصادرة كافية لها.



الشكل 3.15 تصريف حراري في ليالي الصيف (مبان تجارية).

يمكن تجميع الحرارة المكتسبة في أثناء النهار بواسطة أي كتلة حرارية، ثم يُعاد توزيع تلك الحرارة في الليل حتى لو كان ذلك ضمن الغرفة التي جُمِّعت فيها. أما الغرف التي يستمر فيها صدور الحرارة ليلاً فقد تحتاج إلى بعض التهوية لتحريك الهواء منها إلى أجزاء المبنى الأخرى. وللحصول على أكبر مردود من الأشعة الشمسية في الشتاء، يجب أن تكون الكتلة الحرارية داخلية وفي مواجهة الشمس مباشرة. وهذا يقتضي توجيهها نحو الجنوب من وراء زجاج. لكن ذلك يؤدي إلى صعوبات كثيرة في الصيف في معظم المباني التجارية، في حين أنه يمكن أن يكون مفيداً للمنازل. يمكن استعمال جدران وأرضيات سميكة لالتقاط الحرارة من الغرف الزجاجية المنزلية والنوافذ والأسقف الزجاجية، وللمساعدة على

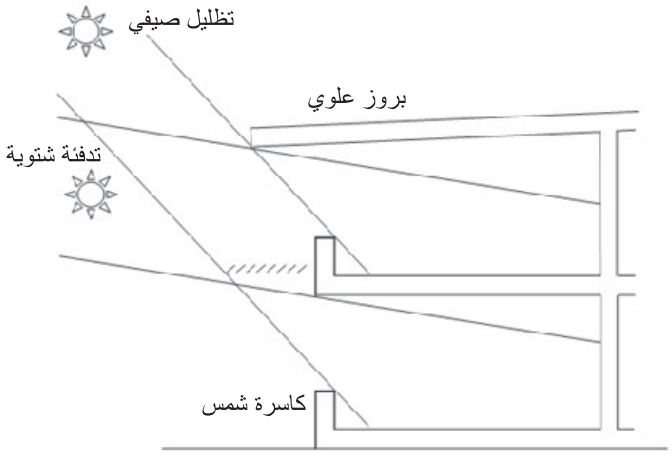
إبقاء المنزل دافئاً في أثناء ليالي الشتاء عندما تكون الضياعات الحرارية في ذروتها. وهذا النهج مبيَّن في الشكل 4.15. لكن ذلك يؤدي في الصيف إلى إمكان حصول زيادة كبيرة في درجة حرارة الأحياز مثل البيوت الزجاجية، وإلى عدم إمكان منع الحرارة من الدخول إلى المبنى في أثناء النهار.



الشكل 4.15 التقاط الحرارة في الشتاء (مبنى منزلي).

تقود تلك المفارقة بين الكسب من الأشعة الشمسية في الشتاء، ومشكلة التسخين المفرط الذي يمكن أن يحصل في الصيف، إلى الآلية غير النشطة الثانية: التظليل. يكون الكسب الحراري الشمسي في ذروته من اتجاه الجنوب، لكن حتى زيادة توجيه واجهات المباني نحو الشرق أو الغرب، سوف تؤدي إلى كسب حراري مباشر أثناء جزء من النهار. وأي جانب من المبنى يواجه الجنوب يمكن أن يزيد من الكسب الحراري الشمسي من خلال النوافذ الزجاجية، وتجب حمايته من التسخين المفرط في الصيف. والآلية المستعملة لهذا الغرض هي التظليل. وفي حين أن من الممكن استعمال تظليل داخلي بواسطة ستائر غير شفافة، فإن مفعول ذلك محدود لأنها سوف تسخن بأشعة الشمس وتنشر حرارتها في داخل المبنى وتتحول إلى مصدر حراري. أما التظليل الخارجي، بواسطة المغاليق الخارجية أو الخيم المتحركة أو كاسرات الشمس أو الأطر ذات الشفرات المائلة أو حتى الأشجار، فهو أعلى كفاءة. ويمكن ترتيب كاسرات الشمس بحيث تحجب الشمس عندما تكون عالية في السماء في الصيف وتسمح لشمس الشتاء المنخفضة بالدخول لتحقيق أكبر قدر

ممكن من التدفئة. ويبيِّن الشكل 5.15 هذه الطريقة، حيث يمكن الأشجار ذات الأوراق الموسمية أن توفِّر أيضاً ظلاً في الصيف عندما تكون مكسوة تماماً بالأوراق، لكنها تدع الشمس تمر في الشتاء بعد سقوط أوراقها.



الشكل 5.15 تدفئة شمسية في الشتاء وتظليل في الصيف

صيغة المبنى والتقسيمات الداخلية

إذا أردنا استغلال التدفقات والجريانات المحدَّدة في أفكار التصميم غير النشط، فإن ثمة تأثيراً كبيراً لاستعمال التهوية الطبيعية في صيغة المبنى وتقسيماته الداخلية. فنظراً إلى أن التهوية الطبيعية تستعمل قوى ضعيفة فقط لتحريك الهواء، يجب إيلاء اهتمام خاص لمقاسات وتقسيمات الأحياز الداخلية والنوافذ والفتحات لضمان تحقيق جريان كاف للهواء. ولعل أكثر المقاسات أهمية هو طول المسافة بين فتحتي تهوية خارجيتين متقابلتين. إذ يتولَّد فرق ضغط بين الفتحتين بسبب الريح التي تجري حول المبنى والتي تؤدي إلى ضغوط موجبة وسالبة يمكن أن تدفع الهواء عبر فتحات التهوية الوحيدة الجانب أو العابرة. وإذا كانت ثمة رغبة في التهوية العابرة، وجب ألاّ تزيد المسافة المذكورة على نحو 4.5 مرة من ارتفاع السقف عن الأرضية. أما في حالة التهوية الوحيدة الجانب، فيجب ألاّ يزيد عمق الغرفة بالنسبة إلى النافذة على 2.5 مرتين من ارتفاع السقف عن الأرضية. لكن من

غير المرجَّح أن يزيد ارتفاع السقف عن الأرضية على 3 أمتار، وهذا يعني أن الحد الأقصى لعرض المبنى يساوي نحو 13.5 متراً إذا كانت تقسيماته الداخلية قليلة وغرفه كبيرة مع تهوية عابرة، أو ربما 16 متراً إذا كان ثمة ممر مركزي في حالة التهوية الوحيدة الجانب. لكن كلا نوعي التهوية يتطلب نوافذ ذات مساحات كافية. وفي حالة التهوية الوحيدة الجانب، يمكن مستوى الحافة السفلى المنخفض أن يحسِّن دخول الهواء، ومستوى الحافة العليا المرتفع أن يحسِّن خروجه، لأنهما يؤديان إلى حصول مفعول مدخنة محلي.

أما مفعول المدخنة فهو حركة عمودية للهواء عبر المبنى من الفتحات الموجودة في طوابقه المختلفة إلى الفتحات الموجودة في الأعلى، حيث يتحرك الهواء الدافئ عبر المبنى ويخرج من أعلاه. ويحصل هذا حتى في حالة انعدام الريح في أيام الصيف الساكنة. لكن في ذروة الصيف، إذا عمل التصميم غير النشط جيداً وحافظ التظليل والكتلة الحرارية على درجة حرارة داخلية منخفضة، أمكن ألاّ يعمل مفعول المدخنة جيداً أثناء النهار وأدّى إلى أن تبدأ درجة حرارة المبنى بالارتفاع. أما في الليل، فتصبح حركة الهواء الدافئ إلى الأعلى جيدة وتساعد على تصريف الحرارة حينئذ.

ويحصل مفعول المدخنة أيضاً نتيجة لفروق الضغط الناجمة عن الريح والتي تسبب التهوية العابرة والوحيدة الجانب. وفي جميع الأيام، باستثناء الساكنة منها، من المرجَّح أن تكون هذه هي القوة المهيمنة التي تحرك الهواء إلى الأعلى، خاصة إذا اقترنت بالتهوية العابرة. لكن يجب أن تكون أعلى فتحة في المبنى عالية بقدر كاف لضمان وجود ضغط في الأعلى أخفض من الضغط عند الحواف السفلى لنوافذ أعلى طابق مهوّى في المبنى، وإلاّ حصل جريان عكسي للهواء في ذلك الطابق. ومن الممكن أيضاً استغلال اتجاه الريح لإدخال هواء نقي في أسفل عمود الهواء. وهذا يتطلب آلية ما لضمان أن فتحة الدخول تواجه الريح. ويحدث مفعول المدخنة في الأحياز العمودية المفتوحة، مثل المناور أيضاً. فإذا استُعملت مناور عمودية، وجب أن تكون مساحة المقطع العرضاني للمنور 1 متر مربع لكل 6 أمتار من ارتفاع المبنى كي يخدم ثلاثة طوابق. ويمكن استعمال مناور أضيق، لكن مع مراوح.

الإضاءة الطبيعية بوصفها منظومة غير نشطة

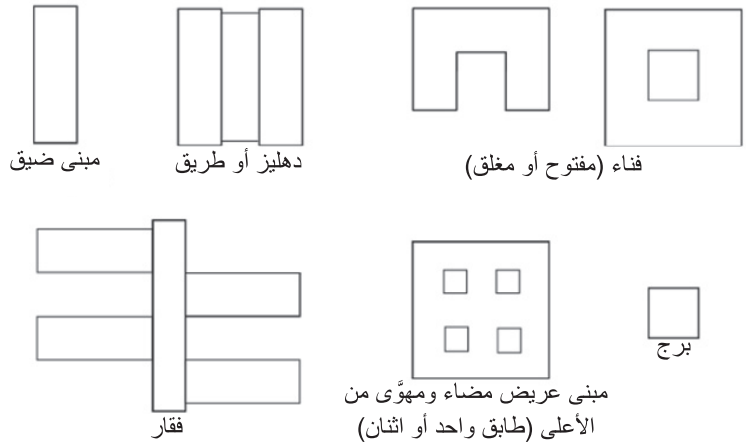
يُستهلك في الإضاءة الصنعية مقدار كبير من الطاقة، ولذا فإن التصاميم التي تجعل استعمال الإضاءة الطبيعية أعظمياً تُسهم كثيراً في التصميم غير النشط. لقد أدى تحليل التصاميم الحرارية غير النشطة، التي تستعمل التهوية الطبيعية، إلى مبانٍ ضيقة المساحة يمكن أن تحقِّق فوائد من استعمال الضوء الطبيعي، على غرار ما يحصل في المناور التي تُستعمل للتهوية بمفعول المدخنة. ولتحقيق مستويات الإضاءة المطلوبة باتجاه مراكز تلك المباني الضيقة التقسيمات، وجب أن تكون ثمة فتحات زجاجية للإضاءة أكثر من الفتحات الضرورية للتهوية. ويعتمد اختراق الضوء للغرفة على ارتفاع أعلى النافذة وعلى عرض الغرفة. ويعتمد أيضاً على معاملات الانعكاس عن السطوح في النصف الخلفي من الغرفة. فمثلاً، في حالة غرفة يساوي عرضها 3 أمتار، وذات نافذة ارتفاع حافتها العليا يساوي نحو 2,5 مترين، وذات معامل انعكاس عن السطوح فيها يساوي 0,5، من الممكن للضوء الطبيعي أن يصل إلى نحو 5,5 أمتار من النافذة، مهما كان عرضها. لكن في غرفة لها نفس ارتفاع أعلى النافذة، وعرضها يساوي 10 أمتار ومعامل الانعكاس عن السطوح يساوي 0,6، فيمكن أن يصل الضوء إلى نحو 7,5 أمتار، وهذا يطابق عمق غرفة ذات تهوية طبيعية عظمى. إن الغرض من هذه الأبعاد هو تبيان إمكانات الإضاءة الطبيعية فقط، ولذا يجب تصميم مساحات الفتحات الزجاجية بحيث تحقِّق تلك الإمكانات.

لكنْ يمكن ترتيبات الإضاءة الطبيعية بالفتحات الزجاجية أن تفاقم الكسب الحراري. وعلى غرار حالة الكسب الحراري، يُمثِّل توجيه المبنى عاملاً هاماً في الإضاءة. فالضوء الشمالي ثابت، في حين أن الضوء الآتي من الجنوب يمكن أن يكون ذا مستويات عالية تؤدي إلى الإبهار. وقد يتطلب ضوء الجنوب تظليلاً، خاصة في الصيف، ويمكن كاسرات الشمس الخارجية التي تُستعمل للحدِّ من الكسب الحراري أن توفِّر ظلاً في الصيف، وأن تسمح بدخول الضوء في الشتاء، لكن الحاجة إلى الستائر الداخلية تبقى قائمة.

ويمكن المباني المجمَّعة حول فناء لتأمين التهوية أن تستعمل ذلك الممر أو الفناء لإدخال الضوء إليها، شريطة أن تكون الفناءات واسعة بقدر كاف لتأمين مستويات إضاءة ملائمة مع غياب المشهد المباشر للسماء. وبرغم أن النظر في الإضاءة الطبيعية يجب أن يكون بمعزل عن التصميم الحراري، وبرغم أنها يمكن

أن تتطلب نوافذ زجاجية أكثر وأنها تحدّ من عرض المبنى، فإن صيغة المبنى العامة وتوجيهه من حيث متطلبات الإضاءة والحرارة متوافقان.

لكن اعتبارات تصميم تهوية وإضاءة المباني العميقة تجعل من التصميم غير النشط صعباً ما لم تسمح التقسيمات الداخلية بتكوين مسارات لكل من الضوء والهواء المتحرك. أما في ما يخص المباني الضيقة، فيمكن أن تُجمَّع معاً على نحو يوفِّر طرقات أو فناءات مغطاة أو مكشوفة تسمح بالتهوية والإضاءة من الواجهات للأحياز الداخلية من الجانبين. ويُري الشكل 6.15 هذه الترتيبات.



الشكل 6.15 تشكيلات مبان يمكن أن توفِّر تهوية وإضاءة طبيعيتين.

المنظومات المختلطة

قد يكون من الضروري حتى في التصميم غير النشط توفير منظومات نشطة لمواجهة الظروف المتطرِّفة بغية الحفاظ على توازن الكسب والفقد. ويمكن هذا أن يكون صحيحاً على وجه الخصوص في المواقع الصعبة حيث يكون المكان محدوداً وليس ثمة الكثير من الخيارات في تشكيلة المبنى وتقسيماته الداخلية. وقد تكون ثمة حاجة إلى نوع ما من التدفئة شتاء وإلى تسخين الماء على مدار السنة. وبجود كسب حراري داخلي كبير، قد يكون من الضروري وجود تهوية بنظام المدخنة بمساعدة مراوح، أو حتى تهوية بعض الأماكن آلياً أو تبريدها لزيادة التصريف الحراري في الصيف. ويمكن استعادة الحرارة من هواء التهوية المصرَّف

أن تكون فعالة إذا أمكن استعادة طاقة تفوق الطاقة المصروفة عليها. ويمكن استعمال المناطق الصعبة التهوية طبيعياً للمراحيض حيث من الضروري استعمال التهوية الصنعية القوية للحفاظ على الهواء النقي في جميع الأحوال. أما الإضاءة الصنعية فيجب أن تُستعمل ليلاً في جميع الأحوال أيضاً، وفي الأماكن التي تحتاج إلى تعزيز الإضاءة الطبيعية نهاراً، لكن استعمال تلك الأماكن يجب أن يقتصر على الأنشطة القليلة الإشغال من قبل الناس، مثل التخزين.

المزيد من تقليص إصدار ثاني أكسيد الكربون

تهدف المنظومات غير النشطة إلى إيجاد ظروف بيئية تعتمد على قوى الطبيعة، وإلى الحفاظ عليها. ومع ذلك تبقى ثمة حاجة إلى منظومات نشطة للخدمات والأجهزة المستخدمة، قد تستهلك مقداراً صغيراً من الطاقة، ومن أمثلتها الحواسيب. وفي حين أن التصميم غير النشط يقلِّص من إصدار غاز ثاني أكسيد الكربون، فإن من الممكن زيادة تقليص صدوره بتقليص استهلاك تلك المنظومات النشطة للطاقة. والطريقتان الرئيسيتان لتحقيق ذلك هما:

- اختيار تجهيزات عالية الكفاءة
- استعمال منظومات الإدارة والمعلومات

ثمة تجهيزات في المباني تحتاج إلى طاقة في جميع الأحوال. وفي كثير من الحالات، توجد من بين أنواع التجهيزة الواحدة طرازات ذات مردود جيد من حيث استهلاك الطاقة. فمثلاً أصبحت مصابيح توفير الطاقة الكهربائية ومراجل التسخين التكثيفية (condensing boiler) هي المعتمَدة في بداية القرن الحادي والعشرين بعد أن أخرجت الحكومة أسلاف تلك المراجل المتعطشة للطاقة من الاستعمال. وثمة كثير من الأدوات المنزلية التي يمكن اختيارها بناء على معايير الكفاءة في استهلاك الطاقة.

ويمكن أن تُحدِث منظومات الإدارة المتكاملة للمباني (Building management systems (BMS)) مفعولاً كبيراً في استهلاك الطاقة في المبنى، حيث ترتبط هذه المنظومات بمنظومات حاسوبية وتُستعمل عادة في المباني التجارية، وثمة منظومات منها خاصة بالمنازل. أما جزء الإدارة من المنظومة فيخص التحكُّم. فهو يحتوي على مُحِسَّات تسهِّل التحكُّم الآلي. ووفقاً لما أشرنا إليه آنفاً، ثمة

حاجة إلى التحكُّم الآلي في التهوية الطبيعية وتصريف الحرارة الليلية القائمة على المنظومات غير النشطة. ففتح النوافذ يجب أن يقوم على درجة الحرارة والتوقيت لضمان جريان الهواء في الأوقات المناسبة. وتحتاج أيضاً المظلات العمودية ذات المحركات إلى تحكُّم آلي لتلاحق وضعية الشمس.

ويمكن استعمال منظومات إدارة المباني المتكاملة أيضاً للتحكُّم في الخدمات النشطة لتقليص ضياعات الطاقة. لا تحتاج منظومات المُحِسَّات البسيطة إلى تحكُّم حاسوبي، بل يمكن وصلها مباشرة لفصل ووصل الأدوات التي تستعمل الطاقة الكهربائية. ويمكن استعمال المُحِسَّات الحرارية لمراقبة درجة الحرارة وتشغيل وإطفاء منظومات التدفئة أو تكييف الهواء. وتُستعمل مُحِسَّات الحركة والصوت والضوء لإشعال الأنوار وإطفائها. تكشف مُحسَّات الحركة غياب الناس وتُطفئ الأنوار، وتُشعلها حين عودتهم. وتثبَّت محسَّات ضوء على حامل المصباح نفسه وتكتشف تغيُّر مستويات الإضاءة فتُطفئ المصباح أو تشعله وفقاً للحاجة. أما أكثر استعمالات مُحسَّات الضوء كفاءة فيحصل عندما توضع المصابيح على شكل صفيفات موازية ومقابلة للنوافذ حيث تكتشف مُحسَّات تغيُّرات الإضاءة الطبيعية في عمق الغرفة بعيداً من النافذة وتعوِّض عنها بالإضاءة الصنعية. وهذا يُبقي على مستوى الإضاءة ثابتاً من دون الحاجة إلى قيام الأشخاص بذلك. فمن غير المرجَّح أن يقوم الأشخاص بإطفاء الأنوار حين ازدياد الإضاءة الطبيعية، مع أنهم يُشعلونها حين انخفاض مستوى الإضاءة. إلا أن ليس من بين منظومات التحكُّم الآلي تلك ما يُلغي الحاجة إلى قواطع كهربائية يدوية يمكن أن يقوم القاطنون باستعمالها لتجاوز تلك المنظومات.

ويمكن منظومات إدارة المباني أن تتضمن منظومات لكشف السرقة والحريق تُستعمل المُحساسات فيها أيضاً. وفي هاتين الحالاتين تشغِّل المنظومة إنذاراً بدلاً من التحكُّم في استهلاك الطاقة.

يجب تصميم وظيفة المعلومات في منظومة إدارة المبنى بحيث تعطي المستعمل (مدير المبنى تحديداً) معلومات فورية، وكذلك للاتراكمية، عن استعمال الطاقة في كل من تجهيزات التدفئة والآلات الأخرى. ويجب أن يقترن هذا بتحديد أماكن المبنى ذات الاستهلاك الزائد بغية إعلام القاطنين بضرورة تغيير سلوكهم في استهلاك الطاقة. وهذا يتطلب من مدير المبنى أن يثقِّف القاطنين ويدرِّبهم على أفضل السبل لجعل مردود استهلاك الطاقة أعظمياً. ومن ذلك إعلامهم بضرورة

إطفاء التجهيزات في الليل، وربما لفت أنظارهم إلى الطرائق التي يستعملون بها المبنى، مثل استعمالهم لحواجز نصفية وأشياء أخرى تمنع ضوء النهار من دخول المبنى. فهي لا تعيق الإضاءة الطبيعية فقط، بل تخفِّض عاكسية الجدران التي حدَّدها التصميم لضمان مستويات ملائمة من الإضاءة الطبيعية أيضاً.

ويمكن تركيب الأدوات المنزلية ذات مردود الطاقة العالي ومنظومات المحسَّات البسيطة مثل المحساسات الحرارية والضوئية من دون استعمال التحكُّم الحاسوبي، لكن حينئذ ثمة حاجة إلى إعلام المستعملين بأفضل سبل استعمال تلك المنظومات، ووسيلة ذلك هي دليل المستعمل. يتضمن هذا الدليل كيفية تشغيل المنظومات على أفضل وجه. وهو ذو أهمية كبيرة في المنازل على وجه الخصوص حيث من غير المرجَّح أن يكون ثمة مدير للمبنى يُعلمهم ويدرِّبهم. ويحتاج القاطنون إلى معلومات لتركيب الأدوات في منازلهم، وعليهم تحمُّل المسؤولية كاملة عن استعمال الطاقة بأعلى مردود ممكن. وتوفِّر أجهزة القياس الذكية تلك المعلومات.

مصادر الطاقة المتجدِّدة

حتى بوجود المنظومات غير النشطة ومردود استهلاك الطاقة العالي الذي يتحقَّق من خلال اختيار التجهيزات وإدارتها، تبقى ثمة حاجة إلى استهلاك طاقة في معظم المباني. فحين السعي إلى الحل الذي يقترب من الاقتصاد في استعمال الطاقة، فإن استعمال التصميم غير النشط والمنظومات ذات المردود العالي يقلِّصا من متطلبات الطاقة، ومع ذلك ثمة إمكانية لزيادة تخفيض إصدار غاز ثاني أكسيد الكربون من خلال استجرار الطاقة من تقانات منخفضة أو حتى عديمة الكربون. وفي حين أنه يمكن السعي إلى مصادر الطاقة المتجدِّدة على المستوى الوطني، فإن من الممكن أيضاً النظر في تقانات تعمل على مستوى المباني إفرادياً، أو على مستوى التجمعات السكانية الصغيرة. تسمى هذه التقانات غالباً تقانات توليد الطاقة الصغيرة.

هناك الآن عدد من تقانات توليد الطاقة الصغيرة التي تلتقط الطاقة مباشرة من الشمس أو من حركة الرياح أو المياه. ومصادر الطاقة هذه عديمة الكربون، إلا أنها تحتاج إلى طاقة لصنعها وصيانتها. وتقع تجهيزات هذه المصادر في فئتين: التقاط مباشر للحرارة، وتوليد كهرباء. وفي ما يخص المباني إفرادياً، تُلتقط الحرارة

بواسطة لوحات الطاقة الشمسية التي تُركَّب غالباً على السطح وتوجَّه نحو الجنوب، ويمكن هذه اللوحات أن توفِّر معظم الماء الساخن اللازم للاستحمام والتنظيف وغسل الملابس، إلا أنها غير كافية للتدفئة. أما توليد الكهرباء للمباني إفرادياً، فهو محدود في بريطانيا، إلا أنه يمكن استعمال منظومات التوليد الكهرضوئية إذا أمكن تركيب صفيفة منها كبيرة بقدر كاف. وتصبح هذه المنظومات أكثر واقعية إذا أمكن خزن الكهرباء في بطاريات أو ضخها في الشبكة العامة إذا تجاوز التوليد حاجة المبنى. أما استعمال طاقة الرياح للمباني إفرادياً، خاصة في المناطق الحَضَرية، فمن غير المرجَّح أن يكون فعالاً ما لم يكن المبنى كبيراً بقدر كاف لتركيب عنفة هوائية كبيرة في أعلى صارٍ طويل. وإذا كان المبنى قريباً من نهر سريع التدفق أمكن توليد طاقة كهرمائية، إلاَّ أن هذا نادر نسبياً في مواقع التجمُّعات السكنية. لكن طاقتي الرياح والماء تُستعملان لتوليد الكهرباء على المستوى الوطني، ويجري ضخها في شبكة الكهرباء العامة.

وإلى جانب المصادر العديمة الكربون (carbon free) ثمة منظومات تُعتبر محايدة كربونياً (carbon neutral). تولِّد هذه المنظومات الحرارة والطاقة من الوقود الحيوي القائم على النباتات والذي يُعتبر محايداً كربونياً من حيث إن الكربون الذي ينطلق يلتقطه الجيل التالي من نباتات تكون قيد النمو. وكي تكون تلك المنظومات طبيعية ومتجدِّدة تماماً، يجب أن يكون هناك برنامج مستمر من الإمداد بالوقود يفي بالاحتياجات. لكن هذا الإمداد محدود لأن إنتاج الوقود الحيوي القائم على النبات يحصل على حساب زراعة الغذاء والحياة الحيوانية البرية والتنوُّع الحيوي. وترك الأمر للسوق لتُقيم توازناً على أساس السعر قد لا يتوافق مع أهداف الاستدامة بخصوص الحدِّ من المفاعيل الضارة بالبيئية وبالعدالة الاجتماعية.

وإلى جانب المنظومات العديمة الكربون والمنظومات المحايدة كربونياً، ثمة المنظومات الكفية كربونياً (carbon efficient) مثل مضخات الحرارة (heat pump) التي تُستعمل لسحب الحرارة من الهواء أو الأرض لتوفير التدفئة وبعض الماء الساخن للمبنى. تستعمل هذه المنظومات طاقة لضخ الحرارة، إلا أن الحرارة نفسها تأتي من الشمس التي تسخِّن الأرض والهواء، ولذا تكون عديمة الكربون. حتى الهواء الذي تقل درجة حرارته عن الصفر المئوية، يحتوي على حرارة، لذا فإن منظومات سحب الحرارة من الهواء تعمل حتى في الشتاء حيث تنقل مضخات حرارة الهواء عادة الحرارة من الهواء الخارجي مباشرة إلى الهواء الداخلي. فإذا كان

المطلوب تدفئة أكثر من حيِّز داخلي واحد، كانت ثمة حاجة إلى وحدة ضخ حراري واحدة لكل حيِّز، أو وجب تحريك الهواء الداخلي في حالة استعمال وحدة واحدة، ومن الواضح أن المفضَّل أن يحصل ذلك بحركة الهواء الطبيعية ضمن المبنى. أما مضخات الحرارة الأرضية، فتسحب الحرارة من أعماق تكون عندها درجة الحرارة قليلة التغيُّر مقارنة بدرجة حرارة الهواء. ولا حاجة لأعماق كبيرة لتحقيق ذلك، فالمنظومة السطحية التي توضع في حفرة عمقها يساوي نحو متر واحد يمكن أن تكون فعالة، لكن الحفرة يجب أن تأخذ شكل حلقة طول محيطها يساوي نحو 200 متر للمنزل المتوسط الواحد. وإذا لم تكن هذه المساحة من الأرض متوافرة، أمكن تركيب المنظومة في آبار عمودية.

تصلُح مضخات الحرارة الأرضية لتسخين الماء في منظومة تدفئة مركزية. إلا أن تدفق الحرارة الممكن منخفض، ولذا فإن استعمال مشعات التدفئة غير ملائم لأنها يجب أن تكون ذات مقاسات كبيرة. لكن تدفق الحرارة المنخفض ملائم لتدفئة الجوانب السفلية من الأرضيات حيث تتوافر مساحة كبيرة للتسخين، إضافة إلى أن العزل الجيد تحت الطابق الأرضي والكتلة الحرارية لأرضيته يمكن أن تحقِّقا تحكُّماً جيداً في درجة الحرارة حتى بوجود تغيُّرات كبيرة في درجة حرارة الجو الخارجي.

ومن الطرائق الكفيّة كربونياً أيضاً استعمال وحدات حرارة وطاقة مجمَّعة معاً تستجر الحرارة اللازمة للتدفئة وتسخين الماء من وحدات تولِّد الكهرباء. وتُستعمل هذه الطاقة لرفع مردود حرق النفط والغاز والوقود الحيوي. يقوم استعمال الوقود الحيوي على وحدات طاقة مثل محرك ستيرلينغ (stirling engine) الذي عُرف مبدؤه قبل سنين كثيرة والذي ثبتت كفايته في هذه التطبيقات المبتكرة. إن هذه الوحدات متوافرة للمنازل، إلا أن الوحدات الكبيرة منها التي تُستعمل في المباني التجارية أو التجمُّعات السكانية الصغيرة فتحقِّق أداء جيداً في كل من توليد الكهرباء والحرارة الناتجتين في الوقت نفسه.

وهناك اهتمام متزايد بمصادر الوقود الجديدة التي تقلِّص إصدار ثاني أكسيد الكربون وتحدُّ من معدَّل نضوب النفط والغاز وتساعد على الحفاظ على استمرارية الإمداد بهما. ويجري تطوير استخراج وقود حيوي من فضلات الحيوانات، مثل غاز الميثان، وهو وقود غازي يُستعمل عادة في إنتاج الكهرباء التي تُضخ في شبكة

الكهرباء العامة، إضافة إلى إمكان استعماله في تدفئة التجمعات السكانية الصغيرة بواسطة وحدات الحرارة والطاقة المشتركة في المناطق الريفية حيث تتوافر فضلات الحيوانات. ولهذا مزية إضافية، فعلى الرغم أن حرق تلك الفضلات يؤدي إلى انطلاق ثاني أكسيد الكربون، فهو يوقف إصدار الميثان منها، وهو غاز أشد فعالية من ثاني أكسيد الكربون في احترار كوكب الأرض. ويجري أيضاً تطوير خلايا وقود تقوم على الهيدروجين لاستعمالها في وحدات التدفئة.

لكن ما زال من غير الواضح في بداية القرن الحادي والعشرين ما هو الوقود الذي سوف يكون متوافراً لأغراض الطاقة في المباني في المستقبل. إلا أن مبدأ الحذر الذي يقتضي السعي إلى حلول متعددة تقلِّص استهلاك الطاقة وإصدار ثاني أكسيد الكربون وغيره من الملوِّثات الأخرى، وتعتمد على مصادر متجدِّدة مضمونة، يجب أن يكون هدفاً أساسياً في تطوير المباني الجديدة وتحديث القائمة منها.

الماء العذب وماء الفضلات

يصل دور المبنى بوصفه مستهلكاً للموارد ومولِّداً للملوِّثات إلى أبعد من مجرد استهلاك الطاقة والإسهام في احترار كوكب الأرض. فمن الدورات الطبيعية الأخرى التي تُؤثِّر فيها إشادة المباني دورة الماء. لقد كان توافر ماء الشرب النظيف الضروري للصحة دائماً عاملاً أساسياً في تقرير أمكنة إقامة المباني. وبظهور منظومات إمداد وتوزيع الماء الحديثة، انكسرت الصلة المباشرة تلك بين مصدر الماء والتجمُّع السكاني. وكان الماء داعماً لزيادة السكان، ومع أنه متجدِّد، إلا أنه لا يمكن ضمان إمداد مستمر به إذا لم تُفهم دورته الطبيعية تماماً وتُحترم. وقد يصبح عاملاً آخر في جعل مستقبل الأجيال القادمة غير مستدام.

لكن ثمة مثلبتان في منظومات الإمداد بالماء وتوزيعه. الأولى هي استعمال الماء القابل للشرب لكل أغراض المبنى. فقد أوشك توفير هذا الماء العالي الجودة بكميات كافية أن يصبح غير مستدام. والمثلبة الأخرى هي التخلُّص من مياهنا السطحية. فقد اعتدنا على أخذ المطر الذي يهطل فوق المناطق المبنية وجره إلى مجاري للتخلُّص منه. وهذا يُعيد المطر ثانية إلى دورة الماء، لكنه يزيد كثيراً من معدلات ذهاب المطر إلى الأنهار، ويمنع عمليات التبخر الطبيعية، ويقلِّص معدَّلات التسرب إلى طبقات التجميع الباطنية، وجميعها يمثِّل مصادر طبيعية للماء

الجيد. وتزيد مجاري تصريف المياه تلك أيضاً مدد تجمُّع الماء في مناطق معينة في جداول المياه بعد المطر الغزير، مؤدية إلى مخاطر حدوث فيضانات في بعض الأماكن.

وإضافة إلى مشكلات المياه السطحية، يتكوَّن في التجمُّعات السكنية ماء ملوَّث يجب إرساله إلى المعالجة بغية درء التلوُّث المحلي. ويفاقِم توسُّع التجمُّعات السكنية القائمة المشكلة بتوسيع منظومة معالجة المياه، وهذا ما يؤدي أيضاً إلى تجاوز دورة الماء الطبيعية حيث يُصب الماء المعالج مباشرة في مجاري الأنهار. يُضاف إلى ذلك وجود إجماع متزايد على أن بعض المياه السطحية، وخاصة مياه الشوارع، ملوَّثة. ونظراً إلى أنها لا تتطلب معالجة كاملة، فإنه يجب التخلُّص منها بحذر لدرء تلوُّث البيئة السكانية ومنع الملوِّثات من دخول دورة الماء.

إن هذه المسائل ذات الصلة بكمية المياه القابلة للشرب، وبالحفاظ على مصادر المياه الطبيعية، إضافة إلى الخشية من الفيضانات، ولَّدت عدداً من الخيارات التي يتوجَّه معظمها نحو معالجة تلك المخاوف من حيث مساعدتها على استعادة الإيقاع الطبيعي لدورة الماء.

وأكثر تلك المنظومات بساطة يسعى إلى تقليص هدر الماء باستعمال خزانات لشطف المراحيض ذات معدَّلين، منخفض وعال، لتدفق الماء، وصنابير ذات تدفق بطيء لغسل الأيادي. أما الخطوة التالية فهي تحديد درجات لجودة الماء للاستعمالات المختلفة في المبنى. في حين أن الماء ذا الجودة العالية ضروري للشرب وتحضير الطعام، فإن ماء الغسيل والتنظيف ليس من الضروري أن يكون بتلك الجودة، ويمكن ماء شطف المراحيض والاستعمالات الخارجية الأخرى أن يكون بجودة أقل من ذلك. إلا أن ثمة حدوداً دنيا لجودة كل أنواع المياه، خاصة من حيث اللون والمحتويات من الجسيمات، كي تكون مقبولة للاستعمال في المباني، إضافة إلى ضرورة الحد مما تحتويه من العوامل الممرضة والملوِّثات الكيميائية. وضمن هذه الحدود، من الممكن استعمال مصادر ماء بديلة أو مدوَّرة.

وتدوِّر منظومات معالجة الماء المستعمل مياه الاستحمام والتنظيف وغسل الملابس لاستعمالها في شطف المراحيض. تحتاج هذه المنظومات إلى بعض الترشيح والتطهير، إلا أنها تقلِّص الحاجة إلى الإمداد بالماء، إضافة إلى تقليص تصريف الماء المستعمل. ويوفِّر جمع مياه المطر بديلاً لشطف المراحيض

والاستعمالات الخارجية (ريّ الحدائق وغسل السيارات مثلاً). وهذا لا يُقلِّص الحاجة إلى الماء الجيد فقط، بل يُقلِّص معدلات تدفق المياه السطحية أيضاً في أثناء المطر الغزير. لكن هاتين المنظومتين تحتاجان إلى خزن الماء لضمان استمرارية الإمداد. وقد تكون ثمة أوقات يتجاوز فيها الاستهلاك الإمداد، ولذا ثمة حاجة إلى منظومات مزدوجة، خاصة لشطف المراحيض حينما لا يتوافر الماء المستعمل أو ماء المطر. انظر الفصل 21 لمزيد من التفاصيل عن منظومات جمع الماء المستعمل وماء المطر.

وقد يلزم أن يكون حجم الخزان اللازم كبيراً، خاصة في حالة جمع مياه المطر، عندما يكون توقيتا الإمداد والاستهلاك غير متوافقين. لذا غالباً ما توضع صهاريج تخزين تلك المياه على الأرض أو على الأرجح تحتها، بغية تجنُّب وضع أحمال إضافية على بنية المبنى الإنشائية. وهذا يتطلَّب ضخّ الماء، ربما إلى خزان صغير يوضع على السطح، لتوفيره للاستعمال في جميع الطوابق. يُضاف إلى ذلك أنه حين يفوق الإمداد الاستهلاك، يجب توفير وسائل لتصريف الماء الزائد. في حالة الماء المستعمل، يمكن تصريف الماء الزائد في مجاري الصرف الصحي، أما ماء المطر، فيُصرَّف في حُفَر ماصة (soakaway) مجهَّزة خصيصاً له.

إن سبب استعمال الحُفر الماصة (بدلاً من أنابيب مجاري التصريف) هو جزء من التفكير بإنشاء منظومة لتصريف المياه السطحية ذات خصائص تحاكي مجاري التصريف الطبيعية. وتُعرف هذه الحفر جماعياً بمنظومات التصريف الحَضَرية المستدامة. والفكرة هي الإبقاء على الماء في مصائد مائية محلية للتمكين من تغلغلها في الأرض أو تبخُّرها (يحصل البخر مباشرة من الماء المكشوف، أو عبر تنفس النباتات التي تمتص الماء من الأرض). وهذه المنظومات، تخفِّف من سرعة تدفق الماء في السيول وتساعد على التحكُّم في الفيضانات، إضافة إلى أنها تعوِّض عن الماء في المكامن الصخرية، وبذلك تحمي الموارد المائية.

تُستعمل في منظومة التصريف الحَضَرية المستدامة تقنيات كثيرة لمحاكاة أنماط تصريف مياه الأمطار الطبيعية، ومنها الأسقف الخضراء (green roof) التي تؤخر جريان الماء، والسطوح الصلبة النفوذة التي تجعل المياه السطحية تتسرَّب عبر الشوارع ومرائب السيارات، والمستنقعات والبِرَك التي تتجمَّع المياه فيها ملطِّفة الجو العام. يمكن كل مبنى أن يفعل ذلك منفرداً، إلا أن منظومات التصريف الحَضَرية المستدامة هي مثال على فعالية المنظومات الجماعية على مساحات واسعة.

وعلى غرار جميع المنظومات الجماعية، تحتاج منظومة التصريف الحَضَرية المستدامة إلى إدارة وصيانة. وفي حالة عدم وجود رعاية من هيئة حكومية لمنظومات من هذا القبيل، يجب اللجوء إلى جهات راعية أخرى، تجارية أو شعبية كي تبقى المنظومة فعالة باستمرار.

الفضلات الصلبة

على غرار الماء الذي كان سابقاً يُستعمل لكل الأغراض في المبنى بالجودة نفسها، كان يُنظر إلى الفضلات الصلبة على أنها متماثلة من حيث التخلُّص منها، في مكبَّات أو محارق. إن اعتبار نفايات المبنى جميعاً متماثلة ينطوي على مشكلتين في تحقيق أغراض الاستدامة. وهما تمثِّلان مصدري القلق العامين المتعلقين بالتلوُّث ونضوب الموارد.

إن الأمكنة المتاحة لاستعمالها مكبَّاتٍ محدودة، والفضلات تتفكَّك، مع إمكان تسرب ملوِّثات منها إلى المياه الجوفية ومياه الأنهار والجداول، إضافة إلى إطلاقها لغاز الميثان، وهو غاز دفيئة (احترار)، إلى الجو. من الممكن اختيار مواقع المكبَّات بحيث يُحدُّ من تسرب الملوِّثات إلى أعماق التربة، ويُجمَّع غاز الميثان لإحراقه وتوليد طاقة كهربائية منه، مع إصلاح الأرض وإعادتها إلى استضافة الحياة البرية أو للبناء عليها بعد اكتمال التفكُّك، لكن هذه الخيارات محدودة، من حيث كونها عالية التكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً، وقد لا تكون في مكان ملائم. أما الحرق فيلوِّث الجو ويتطلب التخلُّص من الرماد إضافة إلى وجود المكان الملائم. وثمة حلول تقنية لمشكلات الحرق، لكن على غرار المكبَّات، ثمة تكلفة أيضاً.

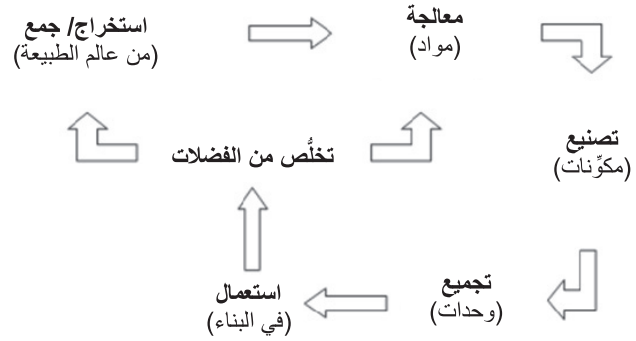
إن كثيراً من الأشياء التي اعتُبر أن لا حاجة إليها من قبل مستعملي المبنى أو مشغِّليه مصنوع من مواد يمكن تدويرها. إلا أن معالجة مواد الفضلات تختلف تبعاً لنوع المادة، وهذا يتطلب فصل الفضلات إلى مجموعات فضلات مختلفة في المبنى. وأفضل وقت لفصل مجموعات الفضلات تلك هو عندما يتقرَّر رميها. وتبرز قيمة تحديد أنواع الفضلات وفصلها فقط إذا كان من الممكن جمعها وتوزيعها ومعالجتها تحضيراً لتدويرها. والمرافق اللازمة لذلك في بريطانيا جيدة التطوُّر، ولذا فإن تصميم المباني بحيث تُشجَّع القاطنين على فصل فضلاتهم يُعتبر جزءاً من التنمية المستدامة. يمكن استعمال الفضلات العضوية سماداً، في حين أنه تُمكِن إعادة معالجة الورق والزجاج والمعادن والبلاستيك، وهذا ما يُمكِّن من زيادة

تقليص استهلاك الطاقة ودرء نضوب الموارد الأصلية. أما لائحة المواد القابلة للتدوير، فهي في تزايد مطَّرد، إلا أنه ما زال من المفضل تقليص استهلاك المواد وإعادة استعمالها قبل تدويرها، وتلك أمور تعود إلينا جميعاً في طريقة شرائنا لاحتياجاتنا وطريقة عيشنا. إلا أن ثمة فضلات مقترنة بعملية تشييد المبنى نفسه، وهذه مسألة تصميمية تقانية تتعلق باختيار مواد البناء.

اختيار المواد ومواصفاتها

في حين أن تصميم المباني يهدف عند تشغيلها إلى تقليص استهلاك الطاقة وإصدار غاز ثاني أكسيد الكربون، وإلى تحسين إدارة مياهها وفضلاتها، فإن عملية تشييدها نفسها تُعتبر عملية تلويث واستهلاك للموارد. وهذا على صلة مباشرة باختيار المواد، وعلى صلة أيضاً باختيار تفاصيل وخيارات الإنتاج المتَّبعة في تناول المواد المعالَجة وتحويلها إلى مكوِّنات لتجميعها واستعمالها في تشييد المبنى.

يجب أن تُؤخذ في الحسبان، في أثناء تقييم المواصفات البيئية للمواد، مدد حياتها في ما يُعرف بتحليل المهد إلى اللحد. يبين الشكل 7.15 مراحل دورة حياة المادة. ومع أننا نستعمل عبارة دورة حياة المادة، إلا أن مراحل المعالجة فقط هي التي يجب الاهتمام بها من حيث المفعول البيئي. وحين إرسال المادة إلى مرحلة التصنيع، تُحوَّل إلى مكوِّنات تدخل في تصنيعها عمليات متنوِّعة لكل منها مفاعيلها البيئية. على سبيل المثال، تبيِّن المقارنة البسيطة للخرسانة المسبقة الصنع بالخرسانة التي تُصب في الموقع، من حيث متطلبات القولبة والنقل المختلفة، أن صفة الخرسانة نفسها لا تعني أن مفعوليهما البيئيين متماثلان.



الشكل 7.15 دورة حياة المادة.

وأدى ذلك إلى ما يُعرف بتحليل "من البوابة إلى البوابة" الذي ينظر إلى أي جزء من المبنى على متابعة تداوله من خلال سلسلة من العمليات أو المراحل رجوعاً إلى أصله، ووصولاً إلى التخلُّص منه، حيث تتصف كل مرحلة بمفعول بيئي مختلف يتراكم عبر دورة حياة المادة في أثناء استعمالها في المبنى. أما البوابتان اللتان أشرنا إليهما فهما بوابتا الدخول إلى الموقع والخروج منه، وهو الموقع الذي يجري العمل بالمادة فيه لتحويلها إلى مكوِّن، ثم وضع المكوِّن ضمن بنية المبنى الذي سوف يُستعمل، ليُتخلَّص منه لاحقاً. وبين بوابتي الخروج من موقع والدخول إلى موقع آخر ثمة متطلبات نقل لها مفاعيل بيئية. وسوف نُري الآن أن المواد المحلية ذات متطلبات المعالجة القليلة تتصف بمفاعيل بيئية ضعيفة. إلا أن ذلك يعني أنه يجب إجراء تحليل منفصل لكل مكوِّن من مكوِّنات المبنى. وفي وقت اختيار المواصفات والتفاصيل، يجب الأخذ في الحسبان لمفعول المكوِّن في أثناء استعمال المبنى والتخلُّص منه في المستقبل. ولذا تقوم أرقام المقارنة على تحليل المهد إلى البوابة بغية الأخذ في الحسبان لمفاعيل فوارق التصنيع، إضافة إلى مفاعيل الاستخراج والمعالجة.

وقد يكون هذا مضللاً. فالمواد تُحدَّد اليوم بوصفها جزءاً من خطط الحد من استهلاك الطاقة، ولذا يمكن القول أن لاستعمالها مزايا بيئية. وهذه هي حالة الخرسانة التي تُستعمل بوصفها كتلة حرارية بغية تقليص إصدار الكربون في أثناء استعمال المبنى (من خلال تقليص حرق الوقود الأحفوري). يُضاف إلى ذلك إمكان تدوير المواد للحفاظ على الموارد وتقليص التلوُّث.

لكن مهما كان عدد المراحل التي تُؤخذ في الحسبان، تبقى المخاوف في كل مرحلة نفسها. فلكل عملية داخل البوابات، ولكل طريقة نقل بين البوابات، يجب أن يكون ثمة تحليل لموارد العملية لتحديد مفاعيل التلوُّث ونضوب الموارد.

لقد أدى تركيز الاهتمام في الكربون بوصفه ملوِّثاً إلى تحليل الطاقة المضمَّنة، أو أكثر تحديداً، الكربون المضمَّن في تشكيل المكوِّنات من المواد ونقلها، وحتى في عملية تجميعها. وعلى غرار حالة تشغيل المبنى، يجب إيلاء العناية لمسائل استعمال الماء والتخلُّص من فضلاته في كل عملية بغية تقليص استهلاك الطاقة والتلوُّث وإعادة استعمال وتدوير المواد، وذلك بوصفه جزءاً من تحليل عملية التصنيع وخياراتها. ويتضمن استخراج المواد ومعالجتها غالباً استهلاك مقادير كبيرة من الطاقة والماء، ويمكن أن تنجم عن ذلك نواتج ثانوية شديدة السُّمية تصبح غير

جلية بعد تحويل المواد إلى مكوِّنات ووضعها ضمن بنية المبنى. لذا يجب النظر في هذه القضايا حين اختيار المواد، ويجب أن تُتابع بمسؤولية حين التزوُّد بالمواد والمكوِّنات وشرائها. فالمصادر الموثوقة والمواد المحلية تُسهم في تقليص المفاعيل البيئية لكل مكوِّن من مكوِّنات المبنى موضوع الاهتمام.

التخطيط ومفاهيم التصميم

يجب تضمين تحقيق أغراض الاستدامة في صيغة المبنى نفسها في مرحلة مفهوم التصميم. فجميع الخيارات المتعلقة بصيغة المبنى ومظهره وتقسيماته الداخلية التي يُنظر فيها في مرحلة تصميم المفهوم تنطوي على مضامين تخص الحلول التقنية. وتحقيق أغراض الاستدامة ليس استثناء. لقد جرى من قبل تحديد جوانب التحليل التي يجب أخذها في الحسبان باكراً في مرحلة التصميم. ونوقش استعمال الكتلة الحرارية وتعقُّب حركات الهواء بغرض التهوية الطبيعية، ونوقش أيضاً استعمال الإضاءة الطبيعية مع ضمان جودتها. وسُلِّط بعض الضوء أيضاً على تحسين الموقع وتشجيره بغرض التظليل، ونوقش المبنى أيضاً بوصفه جزءاً من منظومة التصريف الحَضَرية المستدامة.

وثمة فكرة أخرى تكرَّرت في المقطع السابق تخص الخطط المجتمعية من حيث بناء تجمعات سكنية تتضمن كثيراً من المباني ضمن الخطة الوطنية الطويلة الأجل، أو حتى خطة المدينة، وتستفيد من التقانات التي تدعم تطوير المجتمعات المستدامة. وقد ذُكرت محطات الكهرباء والتدفئة المحلية ومنظومات تصريف مياه المدن بوصفها أمثلة على ذلك.

وتحتاج منظومات التجمعات السكانية إلى إدارة وصيانة. لذا يجب في مرحلة التصميم تحديد المسؤولية عن الاستعمال والصيانة الصحيحين لها، وعن الإشراف على نفقاتها. وقد أشرنا إلى ذلك في ما سبق أيضاً من حيث إنه إذا لم تأخذ السلطات المحلية على عاتقها إدارة تلك المرافق، على غرار ما كان يحصل في الماضي، فإنه يجب أن تكون ثمة إجراءات تقوم بها تجمعات السكان المحلية، أو تُعهَّد تلك الأعمال تجارياً، وحينئذ، يجب أن ينص عليها أي عقد يخص تشغيل أو بيع المبنى.

وهناك أشياء أخرى أشمل على صلة بالاستدامة، وقد تتضمن مبادئ مبادرة الكوكب الواحد الحي، يمكن النظر فيها عند هذا المستوى من التخطيط والتصميم.

ولعل أكثرها جلاء هي العلاقة بالنقل وبالكيفية التي يمكن بها للتجمُّع العمراني الجديد أن يؤثِّر بها في الحاجة إلى النقل، وعلى وجه الخصوص، في استعمال السيارات. ومع أن المناقشة التفصيلية لهذه القضايا بعيدة من اهتمامات هذا الكتاب، فإن توفير أماكن لوقوف السيارات ومعالجة مسألة دخول جميع أنواع وسائل النقل، إضافة إلى دخول المشاة والدراجات، له دور هام في المشهد العام لتحقيق التجمعات السكانية المستدامة. ويمكن تحقيق ذلك بتزويد التجمُّع السكاني بخدمات محلية، مثل الدكاكين والمستوصفات، وحتى ببناء أنواع جديدة من المباني تشمل وحدات مشتركة للعمل والعيش فيها، وبتعهيد المواصلات لتقليص التنقل والحاجة إلى وسائل النقل الشخصية.

التقانات البازغة

تؤدي جميع الاعتبارات المذكورة آنفاً، للتخفيف من الأعباء البيئية، إلى نشوء حاجة إلى حلول تقنية. وكثير من تلك الحلول يمكن أن يكون تقانات موجودة تُطبَّق بطرائق جديدة، ويمكن بعضها الآخر أن يؤدي إلى ظهور تقانات وطرائق جديدة للبناء تحتاج إلى تقييم، لا من حيث مواصفاتها ذات الصلة بالاستدامة فقط، بل من حيث أداؤها وتكلفتها وإمكانات إنتاجها أيضاً.

ويتوقع المجتمع أن تستجيب التقانات وتأخذ دورها، ربما دون أن تتسامح تجاه الإخفاق. إلا أن كثيراً من هذا التحليل الجديد يتطلب معرفة بعملية الإنتاج والتجميع، وبالمواد نفسها. وفي هذا الكتاب، قُدِّمت الاستدامة بوصفها جزءاً من تقييم تصميم المبنى وسلوكه المادي وتصنيعه وتجميعه. ومع نمو المعرفة والخبرة، تصبح قضايا الاستدامة جزءاً طبيعياً من عملية اختيار المبنى. لكن التعامل مع تلك القضايا على أنها اعتبارات خاصة ينطوي على إمكان حصول أخطاء كتلك التي نجمت عن تفاصيل العزل الحراري التي أعقبت أزمة النفط في أوائل سبعينيات القرن العشرين.

ومن بين القوتين العظميين اللتين ذُكرتا في مطلع هذا الفصل، فإن القوى الاجتماعية هي التي تتغيَّر. فالتنمية المستدامة تمثِّل مصدر الاهتمام الجديد في السنوات الأولى من القرن الحادي والعشرين. وكلما عرفنا أكثر عن قضايا الاستدامة وابتكرنا حلولاً تثبت نفسها في الواقع العملي بوصفها سوابق، أصبحت الحاجة إلى الاهتمام بالبيئة استجابة راسخة في تصاميمنا وإجراءاتنا للإنتاج. إن الاستدامة هي،

تاريخياً، آخر الدوافع التي تجعل التقانة تستجيب إلى المخاوف الاجتماعية الجديدة. لكن من غير المرجَّح أن تكون الأخيرة.

الخلاصة

1. ثمة قوتان رئيسيتان تؤثِّران في ظروف حل البناء: قوانين الطبيعة والمجتمع الذي يحصل البناء من أجله.

2. يمكن أن تحصل في أي وقت تغيّرات عميقة في قيم ومعتقدات المجتمع يجب أخذها في الحسبان في الحل التقني لتكون من بين الخيارات المطروحة. وفي بداية القرن الحادي والعشرين، تضمنت تلك التغيُّرات احتضان المسائل البيئية ضمن فهمنا للتنمية المستدامة.

3. التلوُّث ونضوب الموارد هما المشكلتان الرئيسيتان اللتان يجب الاهتمام بهما عند وضع خطط الاستدامة والحفاظ على البيئة.

4. ثمة اهتمام مباشر باحترار الكرة الأرضية واستهلاك الطاقة، لأن إنتاج الطاقة الحالي يقوم على حرق الوقود الأحفوري الذي يولِّد غاز ثاني أكسيد الكربون الملوِّث للجو. وثمة مخاوف من نضوب الوقود الأحفوري ومن العواقب الاقتصادية والاجتماعية التي يمكن أن يخلِّفها. لذا فإن الاقتصاد في استهلاك الطاقة هو وسيلة لمواجهة ذلك، لا هدف بحد ذاته.

5. لا تقتصر الاستدامة على المباني وعمليات البناء. لكن نظراً إلى أن المباني هي ملوِّثات ومستهلكات للموارد في كل من إشادتها واستعمالها، فإن اختيارنا للكيفية التي نبني بها يجب أن يتكامل مع استجابات المجتمع بسبب مفعولها الكبير في البيئة وفي جودة أحوالنا الاجتماعية والاقتصادية.

6. يمكن مبادئ التصميم غير النشط أن تُسهم إسهاماً كبيراً في تحقيق مبانٍ ذات احتياجات منخفضة من الطاقة، وذلك من خلال التدفئة والتهوية والإضاءة الطبيعية.

7. يجب النظر في أوجه القلق تلك في المراحل المبكرة من التصميم، لأن تقسيمات المبنى الداخلية ومقاساتها وتوجيهها هامة في التصميم غير النشط.

8. يُسهم كل من اختيار التجهيزات وإدارة المبنى في تقليص المفاعيل البيئية الضارة.

9. يُعتبر استعمال الماء والتخلُّص من الفضلات السائلة والصلبة من الجوانب التي يجب الاهتمام بها من حيث تحقيق أغراض الاستدامة.

10. حين اختيار المبنى، يجب أن تلقى تفاصيل ومواصفات المواد، من حيث التزوُّد بها، ومن حيث اعتبارات الطاقة والكربون المضمَّنة فيها، الاهتمام الكافي.

11. إن التغيُّرات الجوهرية في القيم والمعتقدات تتطلب غالباً تغييراتٍ تكون المعرفةُ بها غير أكيدة، وهذا ما يجعل تحليل سلوك المبنى المادي أكثر أهمية لضمان حلول آمنة.

القسم الثاني
الاختيار ــ بناء المنزل

الفصل السادس عشر
تطبيق إطار عمل الاختيار على المنازل

نُطبِّق في هذا الفصل الافتتاحي للقسم الثاني من الكتاب عملية الاختيار التي طوَّرناها في الفصول السابقة. ثم نلقي الضوء على منطلقٍ لدراسة حالة تبيِّن كيف أن تلك العملية أدت إلى صيغ عامة لبناء المنازل في بريطانيا في بداية القرن الحادي والعشرين.

الحاجة إلى نهج متكامل

أوضحنا في الفصول السابقة أنه يجب تقييم حلول البناء المقترحة من خلال عدد من مجالات التحليل. إلا أن هذا يمكن أن ينطوي على اعتقاد مفاده أنه يمكن إجراء تحليل المجالات المختلفة كلٍّ على حدة وبترتيب معين بغية القيام بالاختيار النهائي. لكن هذا الاعتقاد ليس صحيحاً، ونأمل ألاّ يكون هذا الكتاب قد أعطى ذلك الانطباع. فقد صُمِّمت بعض من الفصول الأولى من هذا الكتاب لتكوين فكرة شاملة عن عملية الاختيار قبل وضع تفاصيل التحليل.

وفي الواقع ثمة موازنة بين الأولويات في كل مشروع يقوم بها الزبون تبعاً للسياق الذي يحدِّد النهج الملائم لكل منها. أما تركيز الاهتمام فهو في تقييم شمولية العملية التي لا تكتمل على نحو مرضٍ حتى تُري جميعُ مناحي التحليل توقعات مقبولة. ومع أن كل تحليل مستقل إلى حد بعيد، إلا أنه يجرى دائماً في إطار فهم لنتائج التقييم بوصفها كلاً متكاملاً. فالمقترحات المبكرة يجب أن تبقى مؤقتة إلى أن تتضح نتائج التحاليل كلها. وهذا يقتضي وجود تقنيات لوضع حلول تقريبية لكل تحليل بهدف رؤية إنْ كان ثمة حل شامل، إضافة إلى وجود معلومات تصميمية تفصيلية للقيام بعملية الاختيار الأخيرة.

يقوم هذا الجزء على إطار عمل شامل، لا على سلسلة من التحاليل.

واعتُبرت عملية الاختيار عملية متغيِّرة ومفتوحة وتكرارية تتحرك نحو الحل من دون تحديد مسبق للطريق إليه. ويجب أن يُجرى الاختيار ضمن إطار عمل يشتمل على جميع المسائل التي يجب أخذها في الحسبان، ويمكن استعماله لتحقيق العوامل المكمِّلة، وربما المتنافسة، التي سوف تحدِّد نجاح المبنى من النواحي التقنية والاجتماعية.

إن لمن الصعب التعبير عن هذه العملية على صفحات كتاب. فهي بطبيعتها عملية يجب أن تُمارَس كي يتحقَّق الفهم التام لكيفية التحكُّم عقلانياً بما يبدو عملية عشوائية، والقيام بالاختيارات الخلاقة عملياً.

لقد كُتب هذا الجزء بهدف شرح أسس الجوانب التقنية والمنطقية لعملية الاختيار، ولبيان أن من خلال هذا الفهم فقط يمكن وضع الابتكار والإبداع موضع التنفيذ العملي.

وبغية الاستمرار في تطبيق هذا النهج، كُتِبت الفصول التالية بصيغة دراسة حالة. أما الحالة فهي اختيار عملية بناء منازل في بريطانيا في بداية القرن الحادي والعشرين. ويقدِّم هذا الفصل السياق الذي تُجرى به تلك الاختيارات، وأنواع بيئاتها المادية والاجتماعية، ويحدِّد جوانب التصميم والمظهر وقاعدة الموارد التي سوف تؤثِّر في الاختيارات التي سوف نقوم بها.

أساس دراسة الحالة

تهتم دراسة الحالة هذه بتشييد منزل، أي بيت تشغله أسرة واحدة ويتكوَّن من طابق أرضي وسقف، ولا يحتوي على شقق، إلا أنه يمكن أن يكون منفصلاً أو نصف منفصل أو متصلاً مع سلسلة من المنازل الأخرى. ويمكن هذا الوصفَ أن يشتمل على مبانٍ لإقامات متخصَّصة، منها دور العجزة، ولذا سوف نقصر الدراسة على السكن العائلي. إلا أن مفهوم العائلة وأعضائها والعلاقات بينهم تختلف باختلاف زمان ومكان المبنى موضوع دراسة الحالة. ونظراً إلى أن اقتناء المنزل ما زال من تطلعات كثير من العائلات، نفترض هنا أن تلك التغيُّرات لا تؤثِّر كثيراً في تشييد ما تسعى إليه تلك الأسر، على الرغم من إمكان وجود اختلافات في مواصفات المنزل المطلوبة من حيث أنماط استعمالاته الجديدة.

وفي حين أن هذا الوصف سوف يمكِّن من فهم شامل لاحتياجات المستعمل، فإنه لا يتضمن شيئاً عن قاعدة الموارد أو البنى الصناعية اللازمة لتصميم المنازل وبنائها. بل إن دراسة الحالة هذه سوف تصب الاهتمام على اتخاذ

القرار من قبل متعهِّدي مشاريع البناء الواسعة المضاربين الذين يبنون معظم المنازل في بريطانيا في بداية القرن الحادي والعشرين. فطرائق البناء التي يتَّبعونها هي التي تجعل الموارد متاحة، لذا فحتى بالنسبة إلى المبنى ذي المواصفات الخاصة غير المعيارية هنالك ميل لاختيار الحل التقاني عينه. أما التصاميم التي هي أكثر ابتكاراً فقد تحتاج إلى تطوير حلول تقنية أخرى، وقد تنحو تلك التصاميم نحو نهج يشابه ذاك النهج المقترح في القسم الثالث من هذا الكتاب للمباني التجارية التي تتصف حلولها بتنوُّع كبير.

لقد حدَّدت الفكرتان اللتان استُعملتا حتى الآن في تعريف دراسة الحالة، أي الأسرة والصناعة (العرض والطلب)، كثيراً من مشهد الخيارات. لذا يجب عدم التقليل من أهمية الفهم العميق اللازم لكل من هاتين الفكرتين لإدراك سبب اختيار حلول معينة.

لقد كان هذا هو القوة المحركة في الفصول السابقة حيث بيَّنا أن من الضروري فهم شيء عن البيئتين الاجتماعية والطبيعية التي يحصل الاختيار ضمنهما. وهذا يتضمن فهم تصميم المنزل ومعرفة قاعدة الموارد المتوافرة لصناعة بناء المنازل.

البيئتان المادية والاجتماعية

تخص دراسة الحالة هذه مجتمعاً صناعياً متقدماً في جزيرة مكتظة بالسكان وذات مناخ معتدل. ومن القيم الاجتماعية السائدة فيه توزيع الثروة بعدالة بين جميع أفراده واحترام حقوقهم، مع اهتمام متزايد بالمفعول البيئي. وتنجم عن ذلك حاجة مجتمعية كبيرة إلى تشييد المنازل في منطقة محدودة المساحة وأراضيها ذات أسعار مرتفعة.

إن هذه الحقائق القليلة ترسم صورة للسياق العام الذي سوف يحصل فيه الاختيار. وسوف ينبثق عنها الكثير من التفاصيل الأخرى في الفصول التالية، إلا أن حتى هذا الوصف المقتضب يمكن أن يؤدي إلى بعض الرؤى الأخرى. وغالباً ما يكون ثمة كثير من التشريعات والقوانين في المجتمعات الصناعية المتقدمة. وتُمكن الاستفادة في تلك المجتمعات من مكوِّنات وأجزاء مصنوعة في أي مكان في العالم تقريباً، ومع ذلك تجد أنها تسبِّب مفاعيل هائلة في البيئة. فالحاجة إلى منازل في جزيرة مكتظة بالسكان تعني أننا سوف نبني على نحو متزايد على أراضٍ كانت مبنية من قبل، وفي مواقع صناعية وتجارية ملوَّثة مهجورة، وسوف تواجهنا مشكلة

التعامل مع فضلاتنا. يُضاف إلى ذلك أن اهتمامنا بالمساواة والعدالة الاجتماعية مع توفير مستوى جيد من العيش للجميع، يفرض مستويات أداء للمبنى عالية نسبياً. ويُحدِّد المناخ مشاكلنا المناخية ويدل على أن تسرب الماء والتدفئة في الشتاء هما موضعا الاهتمام الرئيسي في بناء المنازل. وثمة قلق الآن من أن مستويات الأنشطة البشرية التي نرغب في الحفاظ عليها قد تؤدي إلى تغيُّرات بيئية تهدِّد مقدرتنا على الحفاظ على التقدُّم. لذا يجب الاهتمام بالمسائل البيئية على قدم المساواة مع الاهتمام بالجوانب الاقتصادية والاجتماعية لضمان التطوُّر المستدام.

ليس ثمة من فائدة كبيرة في استقصاء هذه الأفكار بالتفصيل في هذا الكتاب، لأن ذلك ليس من أهدافه. أما الجوانب التي هي أهم فقد قُدِّمت في الفصول السابقة، وعلى القارئ أن يعي أهمية تلك المسائل من خلال تطوير الفصول القادمة لأساس اختيار عملية بناء المنازل.

قاعدة الموارد

برغم المستويات العالية لأنشطة بناء المنازل المفترضة في هذه الدراسة، يُعتبر معدَّل الإمداد بالمواد والمكوِّنات المنتَجة في المعامل جيداً، مع وجود نقص في اليد العاملة في مواقع البناء، وخاصة في المهارات اليدوية المعهودة. ولمواجهة الطلب، بُذِلت جهود كبيرة لتحديد المكوِّنات وطرق التصنيع المسبق، ومنها المنظومات النسائقية والكثيرة التكرار، وذلك للحد من العمليات التي تُجرى في الموقع (والتي لن تُناقش بالتفصيل في الفصول القادمة). أما معدَّات تداول المواد فهي متوافرة بسهولة. وقد سهَّل ظهور الأدوات الكهربائية المحمولة باليد التي تعمل بالبطاريات عمليات الوصل والتثبيت التي تُعتبر الآن العمليات الرئيسية في أعمال التجميع التي تُجرى في الموقع. وأما تمويل البناء فهو متوافر على أساس أن المجازفة ضئيلة، مع أن الموارد اللازمة للسكن الاجتماعي (social housing) تكون عادة محدودة ومحكومة بالقوانين.

التصميم والمظهر

إن تصميم المنزل ومظهره معرَّفان تماماً. وأنماط الغرف الرئيسية وغرف المعيشة والنوم والمطبخ والحمام شائعة جداً، ويمكن اختيارها بسهولة مع بعض الأحياز للتنقل الداخلي، ومن أمثلتها الممرات والأدراج. ومع أن ثمة تنوُّعاً متزايداً في عدد غرف المنزل وتقسيماته الداخلية المبتكرة، فإن مقاسات الغرف تنحو

باتجاه التصغير عموماً، خاصة في المنازل الشعبية حيث يجري تقليص المساحة الكلية التي يحتلها المبنى. وأدى هذا في بعض الأحيان إلى بناء أحياز تمتد إلى السقف للإقامة فيها.

ومن حيث المظهر الخارجي، ما زال المنزل الآجري هو الصيغة المهيمنة. ويمكن أن تُستعمل إكساءات خارجية فيه قائمة على الطلاءات، مع بقاء المنزل محتفظاً بمظهره الآجري. وتغطى سطوح المباني بقرميدات مائلة متدرجة أو شرائح أردوازية لإعطاء المنزل شكلاً مميزاً، سواء أكان منزلاً منفرداً أم مؤلفاً من طابقين أو ثلاثة طوابق. وثمة أنواع مختلفة من النوافذ، منها النوافذ البارزة إلى الخارج المنخفضة، والمرتفعة، المستعملة غالباً لتحقيق تنوُّع في تصميم المنزل. لكن ليس من الممكن تعميم التصميم المعد لزبون معين، لأن التزيين بواسطة مواد كالزجاج والخشب يمكن أن يرتبط بالرغبة في تضمين التصميم جوانب ذات صلة بالتطوُّر المستدام.

أما الإنهاءات في الداخل فهي بسيطة، لكنها يجب أن تلائم خدمات المنزل المتنوِّعة. وقد شاع الحث على الاقتصاد في استهلاك الطاقة في التشريعات في السنوات القليلة السابقة، وكان لذلك تأثير كبير في الإنهاءات، ومن المحتمل أن يستمر ذلك التأثير مع تزايد الاهتمام بالبيئة. وفي داخل المنازل المنفردة، تكون إجراءات مقاومة الحريق ضمن الحدود المتعارف عليها، أما الجدران المشتركة بين المنازل المتجاورة وإنهاءات السطوح المستمرة في ما بينها، فتخضع لتشريعات أكثر صرامة. وثمة تشريعات جديدة تخص العزل الصوتي والإنهاءات المانعة لتسرب الهواء واختبارات كفاءاتها تغيِّر أيضاً من مواصفات المنازل وطرائق بنائها.

وتؤثِّر الاعتبارات البيئية في الموازنة بين التقانات النشطة وغير النشطة، وفي اختيار المكوِّنات والمواد والإنهاءات نفسها أيضاً.

الصيغة العامة

تؤدي الظروف التي اختيرت لدراسة الحالة إلى بروز الصيغة العامة التي قُدِّمت في الفصل 3. وسوف يجري تطوير تلك الصيغة بمزيد من التفصيل في الفصول التالية. وبعد تحديد الصيغة العامة من الممكن اتباع نهج يقوم على عناصر إنشائية كالأرضيات والأسقف والجدران والأسس والخدمات. فكل عنصر منها يقوم بمجموعة رئيسية من الوظائف ويمكن فهمه بسهولة من خلال حلوله الإنشائية

الأساسية. والسؤال الذي يطرح نفسه هو ترتيب الاهتمام بتلك العناصر. لقد بيَّنا من قبل أنه لا يمكن اختيار أي عنصر نهائياً من دون بعض المعلومات عن الصيغ المحتملة للعناصر الأخرى. وفي هذه الحالة، فإن العناصر التي تُمكِن مناقشتها من دون تفاصيل كثيرة عن العناصر الأخرى هي الأرضيات والأسقف. فالأسقف تضع أحمالاً على الجدران، ولذا من الضروري مناقشتها قبل الاستقصاء الكامل للجدران. وبعدئذ من الممكن استكمال البنية من خلال النظر في الأسس حيث يُفترض أن الأحمال الناجمة عن المنزل خفيفة نسبياً، ولا تتطلَّب بنى فائقة المتانة. أما الإنهاءات فسوف تُناقَش في أثناء مناقشة كل عنصر، وذلك لتغطية كل تحليلات البنية غير النشطة. وتبقى حينئذ الخدمات النشطة التي لا بد لبعض الجوانب منها أن تكون ضرورية للتكامل مع العناصر الأخرى.

الخلاصة

1. يُحدِّد إطار العمل المجالات التي يجب الاهتمام بها، إلا أنه لا يُقدِّم الترتيب الذي يجب أن تُجرى التحليلات به. وطبيعة المشروع هي التي تحدِّد الخيارات الأساسية فيه، من دون تأكيد أي اختيار لحل معين حتى اكتمال كل التحاليل، بالخطوط العريضة على الأقل.

2. يهتم نهج دراسة الحالة الذي سوف يُتَّبع في الفصول الخمسة التالية باختيار عملية بناء منزل في بريطانيا في بداية القرن الحادي والعشرين.

3. في دراسة الحالة هذه، تتمثَّل البيئة المجتمعية والمادية التي سوف يبنى المنزل فيها بمجتمع صناعي متقدم يعيش على جزيرة مكتظة بالسكان ذات مناخ معتدل، ويكافح من أجل المساواة والعدالة الاجتماعية، ولديه اهتمامات بيئية متنامية.

4. يعاني المجتمع الصناعي المتقدم من نقص في اليد العاملة، ويدفع لها أجوراً عالية، إلا أنه يوفِّر بنية تحتية للإنتاج والصنع المسبق في المعامل لتكون بديلة لطرائق البناء اليدوية القديمة.

5. بناء على متطلبات مستعملي المنزل التي ينص عليها التصميم، انبثقت صيغة معرَّفة تماماً للمنزل في سوق السكن الاجتماعي والتجاري، مع أن كثيراً من تفاصيل تلك الصيغة يجب أن ينبثق ويتحدَّد لكل مشروع بمفرده.

الفصل السابع عشر

الأرضيات

نقدِّم في هذا الفصل أرضيات الطوابق العليا والطابق الأرضي في المنزل الذي يُشاد في دراسة الحالة هذه التي استُعرضت خطوطها الرئيسية في الفصل السابق. ويأتي ذلك بعد تحليل مواصفات وتفاصيل المبنى المختار، مع اقتراح البدائل وإعطاء بعض التفاصيل التي تُعزِّز وتوضِّح التحليل.

أرضيات الطوابق العليا

يمكن النظر في الطوابق العليا والطابق الأرضي، كل على حدة، لأنها ذات وظائف مختلفة. فخيارات الدعامات الإنشائية للطوابق العليا، التي تتحدَّد مجازاتها بتقسيمات الغرف، لا تنطبق على الطابق الأرضي.

تمثِّل أرضيات الطوابق العليا بنًى تمتد فوق الغرف التي تحتها وتوفِّر سطحاً مستقراً نظيفاً للغرف العلوية. ونظراً إلى أنها داخلية، فلا توجد فيها وظائف لمواجهة العوامل الجوية والمناخية، ومن غير المحتمل أن تشارك في مقاومة انتقال الحرارة أو في توفير إضاءة أو تهوية. لكن برغم أنها لا تُسهم في تلك الوظائف البيئية غير النشطة، فإن كثيراً من منظومات توزيع الخدمات يجب أن تتكامَل مع الحيِّز الذي تحتله [تلك الأرضيات].

وضمن المنزل، ليس الأمن من المتطلبات التي على الأرضية تحقيقها عموماً. لكن مع تغيُّر أنماط العيش وتطلعات أعضاء الأسرة المختلفة، يمكن الخصوصيةَ، وخاصة من حيث العزل الصوتي أن تكون مطلباً. وقد لا يتحقَّق ذلك بمجرد إضافة الإنهاءات إلى البنية الإنشائية. وعندما تكون الأرضية بين شقق، فإنها يجب أن تكون مقاومة لانتقال الصوت والنار، ولهذا تأثير كبير في اختيار بنيتها.

الصيغ العامة للأرضيات العليا

ثمة صيغتان عامتان يمكن أن توفِّرا حلاً اقتصادياً لهذه المجموعة من المتطلبات: أرضيات ذات عوارض وأرضيات مكوَّنة من بلاطات. تتكون أرضيات العوارض من جسور ثانوية صغيرة تفصل بينها مسافات صغيرة وتغطيها ألواح الأرضية التي تكوِّن السطح المستمر اللازم لحمل إنهاءات الغرفة التي فوقها. وقد يكون من المطلوب أن توفِّر الأرضية حاملاً لسقف الغرفة التي تحتها والذي يمكن أن يكون لوح بلاستر. أما البلاطة (التي تُصنع من الخرسانة عادة) فهي بنية مستمرة ذات مجاز وحيد الاتجاه، على غرار العارضة عادة، إلا أنها يمكن أن تُصمَّم لتنقل أحمالاً على حوافها الأربع (مجاز ثنائي الاتجاهات).

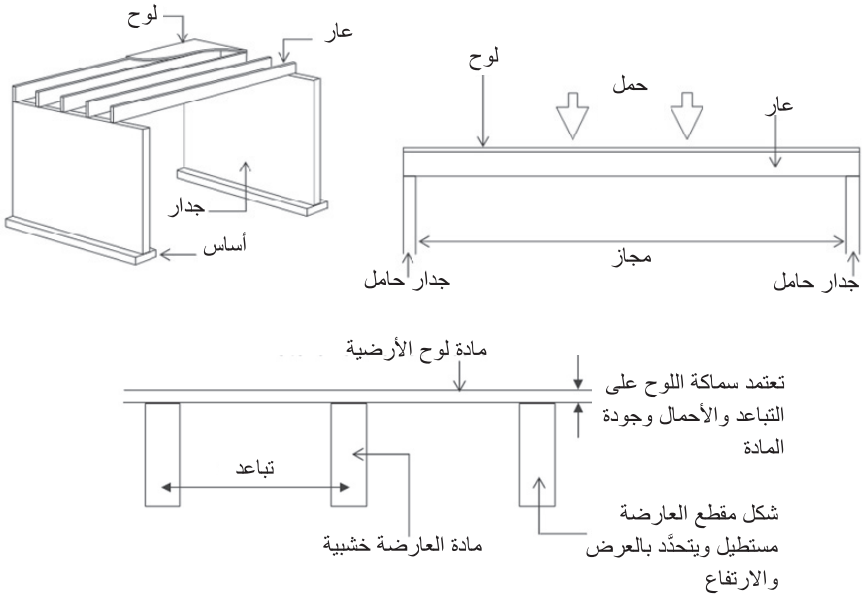
لا تزيد مجازات الأرضيات في المنازل على 5 أمتار عادة، وهذا ما يجعل بنى العارضات الخشبية اقتصادية، مع أن المجازات التي هي أكبر ممكنة باستعمال الخشب أيضاً إذا غُيِّر شكل عارضة وفقاً لما سوف نناقشه لاحقاً في هذا الفصل. إلا أنه عندما تكون ثمة متطلبات للعزل الصوتي ومنع انتشار الحريق بين الشقق، فإن البلاطات الخرسانية هي المفضَّلة للمجازات الكبيرة. ويمكن صب البلاطات الخرسانية في الموقع، إلا أن المرجَّح هو استعمال البلاطات المسبقة الصنع بإحدى صيغتين: دف (لوح ضيق وطويل) أو بلاطة مكونة من عوارض ولبنات. وقد عُدِّلت الأخيرة لاستعمالها في الأرضيات المعلقة في الطوابق الأرضية (سوف تُناقش لاحقاً في هذا الفصل).

أرضيات الطوابق العليا ذات العوارض الخشبية

سوف نختار للأرضيات العليا في دراسة الحالة هذه أرضية ذات عوارض خشبية. ويبين الشكل 1.17 التشكيلة الأساسية لهذه الأرضية ومتغيِّراتها. تظهر في الشكل تشكيلة شائعة من عارضات خشبية ذات مقاطع مستطيلة مع ألواح فوقها تمثِّل سطح الأرضية، وقد تحدَّد متغيِّران أساسيان فيها: مادة العارضة وشكلها. وفي حين أن الشكل واضح تماماً ولا يحتاج إلا إلى تحديد مقاساته فقط، فإن جودة المادة تحتاج إلى توصيف. إن وصف العارضة بأنها خشبية فقط ليس كافياً في التطبيقات الإنشائية (وفي غيرها أيضاً)، ولا بد من طريقة توصيف تضمن متانتها واقتصاديتها.

تُعتبر مادة الخشب من المتغيِّرات، ومن أوجه اختلافاتها قوتها. حتى إن

التصنيف الأساسي للخشب على أنه طري أو قاسٍ ليس مؤشراً جيداً إلى قوته. وقد يعطي نوع الشجرة بعض المؤشرات، إلا أن الاختلافات لا تختفي. ولذا على التصميم الآمن أن يفترض أن ما يُورَّد إلى الموقع ويُستعمل في البناء هو أضعف خشب يُنتَج من ذلك النوع. وتصنَّف الأخشاب المخصصة للأغراض الإنشائية تبعاً للإجهادات التي تتحملُّها، وهي تعطى اسماً مميزاً يضمن قوتها ضمن نطاق معين، ولذا يمكن اختيار المقاس بشيء من الثقة بقوة الخشب الذي سوف يُستعمل في التشييد.

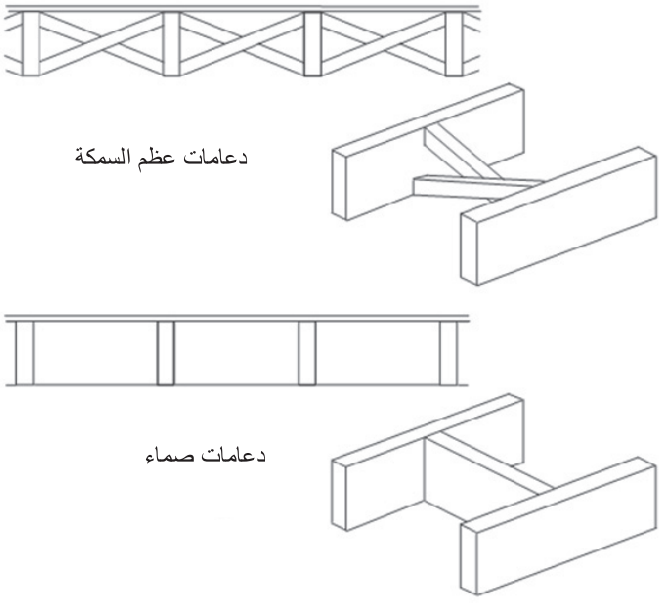


الشكل 1.17 أرضية ذات عوارض خشبية – التشكيلة والمتغيِّرات.

وتعتمد مقاسات العوارض على التباعد بينها وعلى نسبة عرض مقطع العارضة إلى ارتفاعها. فكلما كان التباعد أكبر كان عدد العوارض أصغر، وكانت مقاطعها أكبر، وكانت ألواح الأرضية أسمك لأن تباعد العوارض يحدِّد مجازات الألواح. وعملياً، تُعتبَر التباعدات التي تقع بين 400 و 600 مم اقتصادية. وحينئذ يتبقَّى تحديد نسبة عرض مقطع العارضة إلى ارتفاعها، فلارتفاع المقطع تأثير كبير في مقاومة التقوُّس وفي الحد من الانحرافات. ويؤثِّر عرض المقطع في الاستقرار تجاه التحنُّب الناجم عن العزوم العرضانية، وإلى حد ما تجاه الاهتزازات الأرضية. ليس ثمة من خيارات هنا تخص الارتفاع إلا زيادته بغية زيادة مقاومة التقوُّس

والانحراف. أما في ما يخص العرض، فبدلاً من زيادته من الممكن زيادة استقرار ألواح الأرضية وجسائتها.

ويُري الشكل 2.17 صيغتين لتدعيم العوارض تؤديان الغرض نفسه. فهما تجعلان المنطقة المضغوطة بقوى التقوُّس في أعلى أحد العوارض مستقرة باستعمال منطقة الشد المستقرة في أسفل العوارض المتجاورة. وهذا يمكِّن من استعمال عوارض أنحف مما هو ضروري للاستقرار والجساءة من دون التدعيم. أما مقدار التدعيم فيعتمد على نسبة عرض إلى ارتفاع مقطع الخشب المختار للعوارض. ومن المرجَّح أن تُختار مقاطع العوارض بأبعاد بين نحو 38 × 100 مم و 75 × 225 مم. أما المقاطع التي هي أكبر فهي أغلى وربما كان الحصول عليها أصعب. ومن غير المرجَّح أن تكون ثمة حاجة إلى تدعيم على مجازات تصل حتى 2500 مم، ويكفي خط واحد من التدعيم في مركز المجاز الذي يصل إلى 4500 مم، وثمة حاجة إلى صفين من التدعيم للمجازات التي هي أكبر. لكن من غير المحتمل أن تُستعمل أرضيات ذات عوارض خشبية بمجازات تزيد كثيراً على 4500 مم، ولذا غالباً ما لا تكون ثمة حاجة إلى أكثر من صفين من التدعيم.



الشكل 2.17 أرضية ذات عوارض خشبية – طريقتان للتدعيم

وفقاً لما ذُكر سابقاً، ليس اختيار العارضة مستقلاً عن اختيار ألواح الأرضية. فمجاز اللوح مرتبط بتباعد العوارض، إلا أن مادة الألواح يجب أن تُحدَّد أولاً. لقد كان الخشب هو الخيار سابقاً، أما الآن فالأرجح هو استعمال ألواح من مواد مركَّبة، ومن أمثلتها ألواح الخشب المضغوط. وفي هذه الحالة يجري تحديد درجة المتانة من خلال تحديد درجة جودة الأرضية، إضافة إلى أنه قد تكون ثمة حاجة للنظر في بعض مسائل الديمومة إذا كان من المحتمل أن يتعرَّض الخشب المضغوط إلى الرطوبة. إن سلامة المادة المركَّبة، مثل الخشب المضغوط، تعتمد على الرابط أو اللاصق المستعمل فيها من حيث مقاومته للرطوبة. وعندما تكون ثمة حاجة إلى مقاومة الرطوبة في أماكن كالحمامات والمطابخ، فإن ذلك يجب أن يكون جزءاً من المواصفات. لكن مهما كانت مواصفة الديمومة، فإن سماكة لوح الخشب المضغوط يجب أن تساوي 18 مم في حالة تباعد العوارض بـ 400 أو 500 مم، و 22 مم للتباعد الذي يساوي 600 مم. ومن مواد الألواح البديلة الخشب الرقائقي (plywood) وألواح الرقاقات الموجهة (oriented strand board). يجب أن تكون سماكات هذه الألواح مماثلة لسماكات ألواح الخشب المضغوط، ويجب أن تأخذ مواصفة جودة المادة في الحسبان مقاومتها وديمومتها.

الوصلات والمثبتات

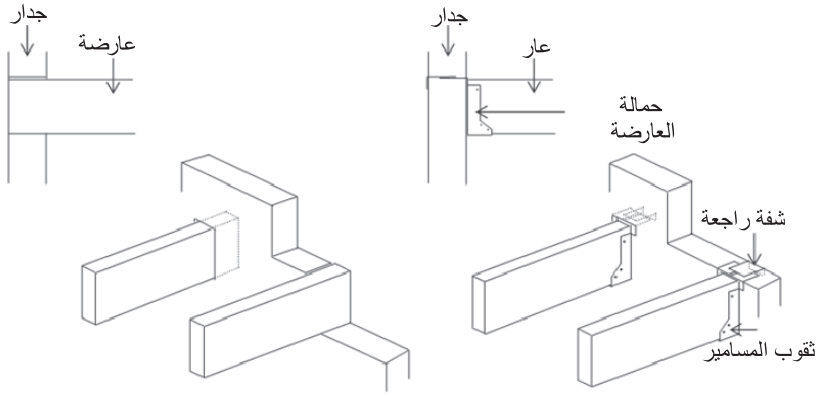
بعد اختيار المواد ومقاسات وأشكال المكوِّنات الأساسية لأرضيات الطوابق العليا ذات عارضات خشبية، وبعد تحديد العلاقات المكانية في ما بينها، يجب الالتفات إلى الوصلات والمثبتات التي سوف تُستعمل. توجد الوصلات والمثبتات بين:

- صفائح الألواح
- الألواح والعوارض
- العوارض وقطع التدعيم
- العوارض والدعامات الحاملة لها

تُحفر حافَّتا لوحي الخشب المضغوط على شكل لسان وتجويف ويثبتان معاً بلاصق، وتوضع الألواح المجمَّعة بهذه الطريقة على طول العارضة، دون أن يكون ثمة تدعيم للوصلة بين اللوحين. أما الوصلات الأخرى في نهايات الألواح، فتستقر

على العوارض التي تحملها، وتثبت الألواح بالمسامير أو البراغي وفقاً لأنماط معينة تؤدي مع الوصلة اللاصقة إلى إمساك الألواح تماماً في أمكنتها وإلى إلغاء صوت الصرير حين المشي على الأرضية. وإذا استُعملت المسامير، وجب أن تكون ذات أجسام أسطوانية أقطارها تساوي 3 مم لتحقيق قبض جيد عليها ضمن اللوح، وأن تساوي أطوالها 2,5 مرة من سماكة اللوح. وللسماح بحركة الألواح، يجب قصها بحيث تكون ثمة مسافة صغيرة بينها وبين الجدران تساوي نحو 12 مم في الغرفة المتوسطة المقاس، ونحو 3 مم تحت نعال الجدران (wall skirting) للسماح بالتمدد الحر. وتثبَّت عوارض التدعيم أيضاً بالمسامير أو البراغي.

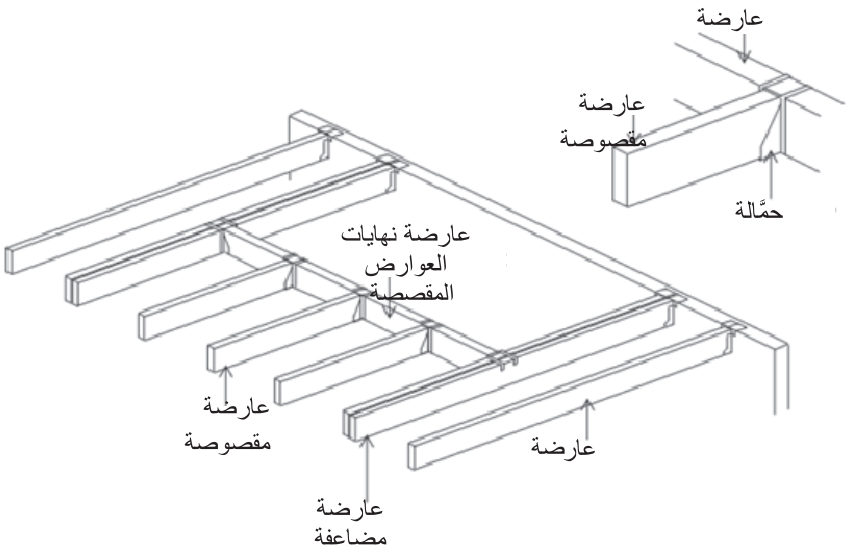
ويجب على الوصلة بين الأرضية والجدار أن تنقل أحمال العوارض إلى الجدار. ويجب أن توفِّر نقلاً للحمل كافياً لمنع تكوُّن ضغوط (إجهادات) زائدة في نقطة النقل قد تؤدي إلى تهشُّم نهايات العوارض أو مادة الجدار. وليس ثمة من متطلب معين لمفعول الوصلة الإنشائي باستثناء أن تكون وصلة مفصلية بسيطة تجعل سلوك العارضة والجدار بسيطاً أيضاً. يُوضِّح الخيار الأول المبيَّن في الشكل 3.17 التوضيع البسيط لنهاية العارضة على كامل عرض الجدار لتحقيق تحميل كامل، ويُري الثاني استعمال حمَّالة للعارضة مصنوعة من الفولاذ المغلفن ويمكن إضافة شفة راجعة إليها لتأمين استقرار إضافي للجدار. إن كلتا هاتين الوصلتين العمليتين البسيطتين تحقِّقان مفعول الوصلة المفصلية بحيث تبقى العارضة، باللغة الإنشائية، محمولةً فقط.



الشكل 3.17 أرضية ذات عوارض خشبية – طريقتان لتثبيت العوارض

الثقوب والفتحات

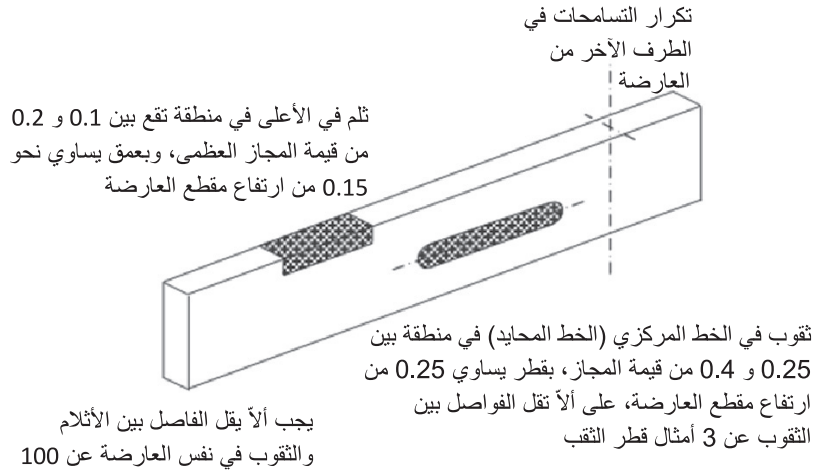
وعلى غرار جميع عناصر البناء، ثمة حاجة في الأرضيات إلى فتحات وثقوب وفجوات. يمكن استيعاب الثقوب الصغيرة اللازمة لتمرير تمديدات الخدمات شاقولياً عبر ألواح الأرضية بين العوارض. إلا أن ثمة بعض القيود المفروضة على أقطار وأمكنة تلك الثقوب بحيث تبقى حواف الألواح المقصوصة (على نقيض المحفورة) محمولة على البروزات، وتبقى خشبات التدعيم مثبتة بين العوارض. أما في حالة الدرج أو مدخنة الموقد، فتكون الفتحات أكبر من المسافة بين عارضتين، ولذا يجب قص العوارض. يُري الشكل 4.17 ترتيبات قص العوارض وإنهاءاتها واستعمال الحمَّالات بوصفها وصلات.



الشكل 4.17 أرضية ذات عوارض خشبية – تشكيلة قص العوارض.

ولتمديد أنابيب وأسلاك منظومات الخدمات أفقياً يمكن استعمال الفراغات بين العوارض. لكن إذا وجب مرور التمديدات عبر العوارض نفسها، وجب حفر جزء من العارضة لتمريرها. وحينئذ يجب الانتباه إلى عدم التأثير في سلامة العارضة. إن العارضة هي دعامة، والطريقة التي تُثبَّت بها مع الجدار بسيطة، ولذا فإن أكبر إجهادات التقوُّس تحصل في أعلى وأسفل منتصفها، ويتزايد إجهاد القص على طول محورها المحايد باتجاه النهايتين المثبَّتتين (انظر الفصل 11). لذا يُنصح بعدم إزالة الخشب من تلك المواضع. ويبين الشكل

5.17 أمكنة على العارضة يمكن حفر ثقوب وأثلام فيها. فنظراً إلى أن إجهاد التقوُّس يقل باتجاه نهايتي العارضة المثبَّتتين، يمكن حفر أثلام في أعلى العارضة (أو أسفلها، لكن ليس في كليهما). ونظراً إلى أن إجهاد القص يتناقص باتجاه المنتصف، يمكن فتح ثقوب في مركز العارضة. وفي منطقة المركز، يفترض التصميم أن المقطع بكامله يقاوم عزوم التقوُّس، في حين أن المادة بالقرب من المحور المحايد تكون أقل إجهاداً من تلك التي في الأعلى والأسفل التي تسهم في مقاومة التقوُّس. لذا فإن أي إزالة للخشب من هاتين المنطقتين سوف تقلِّل من مقدرة العارضة على الحمل.



الشكل 5.17 أرضية ذات عوارض خشبية – مناطق العارضة التي يُسمح بإزالة الخشب

عودة إلى المقترح الأصلي

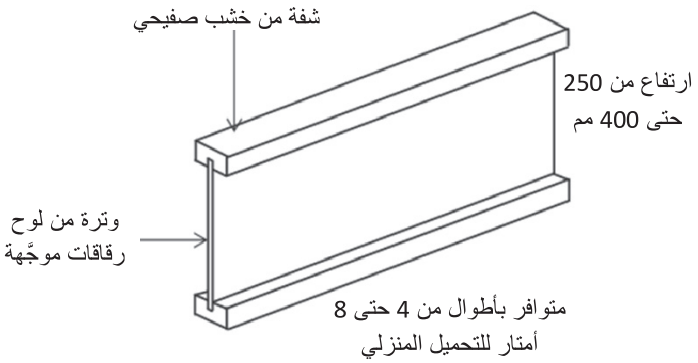
ابتدأنا هذا التحليل بشكل مستطيل للمقطع العرضاني للعارضة. وإذا اختيرت مقاطع خشبية مستطيلة صماء، كانت القرارات بشأن التفاصيل والمواصفات جميعاً منطقية جداً، لكن على غرار جميع القرارات الأولية، فإنها تحدُّ من الإمكانات اللاحقة، وفي هذه الحالة على وجه الخصوص تقْصِر المجاز الاقتصادي على 5 أمتار. وإذا كانت ثمة حاجة إلى مجازات أكبر من دون تغيير المادة الأساسية، من الممكن لتغيير شكل المقطع العرضاني أن يكون مفيداً.

من المقاطع العرضانية المفيدة الأخرى التي يمكن اعتمادها المقطع I

والمقطع الصندوقي. وكلاهما يحتوي على مادة صماء في الأعلى والأسفل، حيث تكون إجهادت التقوُّس أعظمية، وتكوِّن تلك المادة ارتفاعاً للمقطع العرضاني يحدُّ من الانحراف، في حين أنهما لا يحتويان على مادة صماء كثيرة في الوسط، مقلِّلة بذلك مادة العارضة ووزنها. ونظراً إلى أنهما لا يحتويان على مادة كثيرة على طول المحور المحايد، تكون مقاومتهما للقص ضعيفة. لكن ذلك لا يُمثِّل مشكلة في حالة المجازات الطويلة الخفيفة التحميل نسبياً. أما تحقيق الاستقرار العام والسلوك الحركي فيهما، فهو أقل سهولة منه في حالة مقطع الخشب العرضاني الأصم، ولذا تجب إعادة النظر في هذه النقطة.

لقد جرى تطوير كل من هذين المقطعين العرضانيين فعلياً، لكنْ تبيَّن أن المقطع I أكثر نجاحاً تجارياً. تُصنع هذه المقاطع من وَتَرة (web) من الألواح الخشبية التركيبية يوضع على طرفيها لوحان خشبيان صفيحيان يمثِّلان الشفتين، وفقاً للمبيَّن في الشكل 6.17. إن استعمال الخشب المركَّب والصفائحي يقلِّص الحركة الناجمة عن الانكماش والتقوُّس واللّي والانفصام المعروفة في مقاطع الخشب الصماء، لكن نظراً إلى أن المادة الأساسية لم تتغيَّر، فإن معظم الإنهاءات والمثبتات يمكن أن تبقى نفسها. ويمكن تثبيت ألواح الأرضية وحمَّالات العوارض على الجدران وفقاً لما سبق أيضاً. وإذا استُعملت تلك المقاطع بوصفها عوارض مقصوصة أو عوارض حاملة لعوارض مقصوصة أو عوارض مضاعفة، فإن من الضروري سد منطقة الوترة عند النهايات حيث يحصل انتقال الأحمال، وعلى مسافات على طول العارضة لزيادة جساءتها. وتُسهم وترة المقطع I قليلاً في مقاومة إجهاد التقوُّس، إلا أنها يجب أن تتحمل إجهاد القص كله. هذا يعني أن الأثلام الضرورية لتمديدات الخدمات غير مقبولة في أي نقطة على طول الشفتين، إلا أن ثمة إمكانات أكثر للثقوب، خاصة في وسط المجاز، وحتى بالقرب من الدعامات إذا زيدت الجساءة تجاه القص.

وتُصنع المقاطع I في المصانع، وتُطلب بالمقاسات الملائمة لكل مشروع. لكنها أقل استقراراً من عارضات الخشب ذات المقاطع الصماء حين تركيبها في موضعها وقبل تثبيت ألواح الأرضية عليها، ولذا من الضروري تدعيمها في أثناء تركيب ألواح الأرضية عليها.



الشكل 6.17 أرضية ذات عارضات خشبية – المقطع I.

اعتبارات دورة الحياة

اقتصر اهتمامنا بتغيُّر السلوك مع مرور الوقت، في هذا المقترح حتى الآن، على إمكان حصول رطوبة في الخشب المضغوط. لذا يجب إيلاء عناية أكبر للمكوِّنات التي اقتُرحت حتى الآن. فالمتوقَّع من بنى الأرضيات التي من هذا القبيل أن تدوم طوال عمر المبنى من دون إجراء أي صيانة رئيسية لها. لكن نظراً إلى تمرير تمديدات الخدمات ضمن الأرضيات، فإن ثمة حاجة إلى الوصول إلى تلك التمديدات بغرض الإصلاح أو التجديد. ولذا من المفضَّل دراسة مواقع تمديد الخدمات وتوفير منافذ إليها من خلال ألواح الأرضية، لأن الوصلات المستمرة الملصوقة تجعل النفاذ الجزئي إليها في ما بعد صعباً.

يَتلف الخشب إذا زادت نسبة الرطوبة فيه على 20٪، أو حصلت ظروف تشجِّع على نخره. إن ذلك غير محتمل لجسم الخشب، إلا أنه إذا وُضع الخشب ضمن جدار للتدعيم، فإن نهايته الخشنة الموجودة في الفجوة سوف تكون معرَّضة للإصابة. ويمكن درء ذلك بتغليف النهاية بحيث تبقى دافئة وجافة. أما إذا كانت التفاصيل تشير إلى غير ذلك، فمن الأفضل طلي النهاية بمادة واقية في الموقع قبل التركيب، وخاصة إذا كانت القطعة الخشبية مطلية أصلاً. وإذا كان تثبيت الخشب يحصل بواسطة حمَّالات، فمن المحتمل أن يُقص بالطول الملائم في الموقع، ولذا تبقى الحاجة إلى حماية النهايات قائمة إذا كانت العارضة مشبَّعةً بالمادة الواقية. أما الحمَّالة فيجب أن تكون مغلفنة، وحينئذ سوف تكون محمية ما لم تتعرض الغلفنة للأذية في أثناء النقل والتركيب.

ويجب ألاّ يكون تفكيك الأرضية في نهاية حياتها صعباً، وقد يكون من الممكن إعادة استعمال عوارضها إذا كانت حالة الخشب جيدة، أو يمكن إرسالها لتحويلها إلى ألواح تركيبية جديدة أو لتدويرها إلى أشياء أخرى. ونظراً إلى تثبيت الألواح بالمسامير واللواصق، فإن تفكيكها قد يكون صعباً، ولذا قد لا تكون إعادة استعمالها ممكنة، وهذه هي حال ألواح الأرضيات القديمة. أما الحمَّالات فيمكن تدويرها أو تنظيفها بغية إعادة استعمالها، وذلك تبعاً لحالاتها.

الإنهاءات والعناصر الأخرى

طرحنا في المقترح الأصلي فكرة استعمال ألواح بلاستر لإنهاءات الأسقف، وأصبح الآن من الضروري العودة إلى مسألة الإنهاءات لرؤية إن كانت البنية المقترحة تستطيع توفير خلفية (background) لإنهاءات كل من السقف والأرضية.

من الضروري لخلفية أو ركيزة الإنهاءات أن توفِّر:

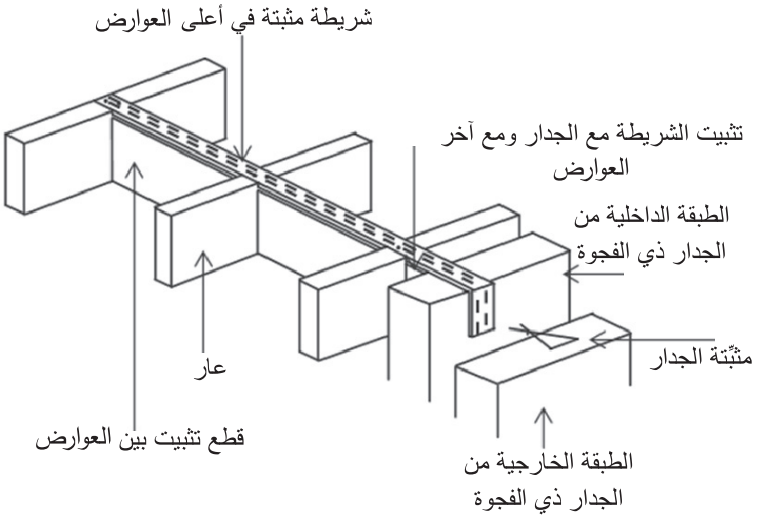
- مرتكَزاً مستقراً بقدر كاف.
- إمكانات تثبيت ملائمة.
- تسامحات استواء متوافقة.
- فجوات لاستيعاب الحركات المستقبلية.
- موانع لآليات التلف.

إن أكثر إنهاءات الأرضيات استعمالاً هو السجاد الذي يحتاج في كل نقطة منه إلى حامل، إضافة إلى أنه يتبع تعرجات الأرضية. ويمكن الألواح أن تكون الحامل وأن تكون عديمة التعرجات، إلا أن سطحها قد يكون قاسياً (ناقص المرونة)، ولذا يجب استعمال بطانة تحت السجادة. ومن الممكن استعمال لاصق للصق السجادة، وهذا ممكن على الألواح التركيبية، إلا أن الحل الأفضل هو استعمال تثبيت عند الحواف بواسطة مسامير تدق في الألواح، وهذه طريقة تلغي مشكلات الحركات النسبية. ويجب ألا يكون ثمة أي تفاعل كيميائي بين بطانة السجادة والألواح.

أما في حالة السقف فإن الجانب السفلي من العوارض لا يوفِّر حاملاً متصلاً ومستمراً، لكنه يوفِّر تثبيتاً جيداً عند نقاط معينة. والمقترح الأصلي بشأن ألواح البلاستر ملائم للحل المعتمد ما دامت سميكة بقدر كاف بحيث لا ترتخي بين

العوارض. وتوفِّر ألواح البلاستر سطحاً جيداً للدهان والإنهاءات الأخرى أيضاً. لكن إذا كان اللوح جاسئ التثبيت مع العوارض، فإن الحركات الأولى قد تؤدي إلى نشوء تشققات عند وصلة السقف مع الجدار، ولذا تُستعمل قضبان تزيينية لتغطية تلك التشققات وإخفائها. أما سماكة اللوح فتساوي 12,5 مم، ويجري تثبيته بالعوارض بالمسامير أو البراغي.

لقد تعرَّضنا لمكاملة تمديدات الخدمات مع الأرضيات في المقطع الخاص بالثقوب والفتحات، ومن الضروري تحرِّي عناصر البناء الأخرى التي يمكن أن تكون لها صلة بالأرضية. سوف نناقش في الفصل 19 الحاجة إلى تقييد الجدران الخارجية، وإلى إمكان تحقيق ذلك بواسطة الأرضية. ويمكن الحمَّالات المبيَّنة في الشكل 3.17 أن توفِّر التقييد في النقاط التي تنقل عندها العوارض الحمل إلى الجدران (لاحظ الحاجة إلى تثبيت نهاية العارضة مع الحمَّالة بالمسامير لضمان أن العارضة تُمسك بالجدار). وعندما تكون العوارض موازية للجدار، يمكن استعمال شرائط تربط الطبقة الداخلية للجدار بأول ثلاث عوارض بالقرب منها، وبذلك تُمسك الأرضية بأسرها بالجدار على أن يكون تثبيت الألواح مع جميع العوارض الأخرى جيداً. وهذه التركيبة المبيَّنة في الشكل 7.17 يجب أن تُنفَّذ بتباعدات لا تزيد على 2000 مم.



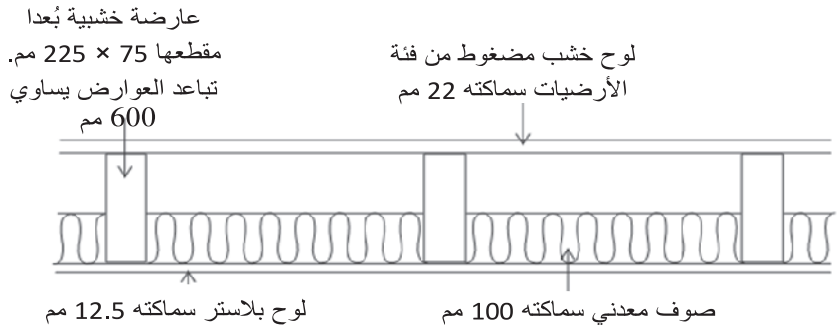
الشكل 7.17 أرضية ذات عوارض خشبية - ربط الجدار الخارجي مع الأرضية.

وفي ما يخص الجدران الداخلية في الطابق الأسفل التي لا تتلقَّى أحمالاً من الأرضية، فيجب بناؤها بحيث تصل إلى الجانب السفلي من الأرضية. وإذا كانت تلك الجدران مبنية من لبنات خرسانية، كانت مستقرة من دون أي مثبِّتات في أعلى الجدار شريطة ألاّ يكون السقف عالياً جداً، وهذا غير محتمل في المنزل الحديث. وإذا كانت جدران التقسيمات الداخلية جدراناً خفيفة قابلة للفك والتركيب، فإنها تحتاج إلى تثبيت مع الجانب السفلي من السقف لجعلها مستقرة. وإذا كانت تلك الجدران متعامدة مع العوارض، أمكن إجراء التثبيت عند كل عارضة. أما إذا كانت موازية لها، وما لم تكن تحت عارضة مباشرة، فليس ثمة من مثبِّتات. وفي هذه الحالة، من الضروري توفير قطع تثبيت بين العوارض بتباعد بين 400 و 600 مم بغرض تثبيت تلك الجدران. يجب أن تظهر قطع التثبيت على مخططات تنفيذ الأرضية، وشأنها شأن شرائط تثبيت الجدران الخارجية، يجب أن تُثبَّت من قبل النجارين الذين يبنون الأرضية.

وإذا بُنيت جدران التقسيم الخفيفة من أرضية الطابق نفسه، أمكن تثبيتها على ألواحها. حينئذ توزِّع الجدران المتعامدة مع العوارض الحمل عبر الأرضية، لكن إذا كان جدار التقسيم ثقيلاً، وكان موازياً للعوارض، كان من الضروري توفير عارضة مضاعف تحت الجدار الفاصل مباشرة.

العزل الصوتي

تبيِّن تغيُّرات أنماط الإقامة في المنازل أن استعمال غرف النوم في النهار يتزايد عندما تكون الغرف السفلى مشغولة أيضاً. وهذا يغيِّر من وظيفة الأرضية من حيث تخفيض مستوى الصوت المنتشر في الهواء. في الماضي، ربما كانت بنية الأرضية التي نظرنا فيها حتى الآن مقبولة عندما كانت غرف النوم تُستعمل في الليل فقط، إلا أنها لا تحقِّق تخميد الصوت المطلوب اليوم. يجب أن تساوي قرينة التخميد الصوتي R_w في الأرضية اليوم 40 ديسيبل داخل المنازل، ومن الممكن تحقيق ذلك بوضع مادة ماصة للصوت بسماكة 100 مم في الفجوات الفاصلة بين العوارض فوق ألواح السقف. ويُري الشكل 8.17 ذلك مع بعض المواصفات الأخرى.

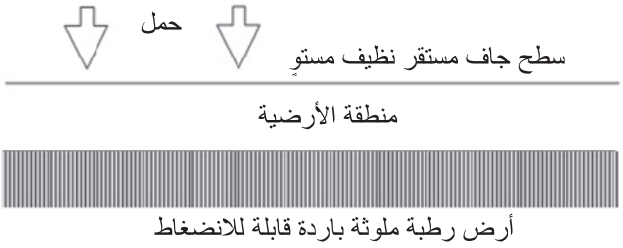


الشكل 8.17 أرضية ذات عوارض خشبية – أرضية شائعة لمجاز يساوي نحو 4.5 أمتار.

يُؤثِّر وجود المادة العازلة للصوت في الحيِّز المتاح للأنابيب والأسلاك التي تُمرَّر ضمن فجوات الأرضية. فقد يكون استعمال الثقوب غير ممكن على طول المحور المحايد أيضاً، ولذا يجب أن تمر تمديدات الخدمات عبر أثلام بالقرب من نهايات العوارض عند نقاط التثبيت. إذا مُرِّرت الكبال الكهربائية تحت حشوة الليف المعدني (mineral wool)، أمكن لخواص عزلها الحرارية أن تسبب زيادة في درجة حرارتها، ولذا يجب أخذها في الحسبان حين تحديد أقطار الأسلاك (انظر الفصل 21).

أرضيات الطوابق الأرضية

انصب اهتمامنا في اختيارنا لبنى أرضيات الطوابق العليا في المنازل الفردية التي ناقشناها آنفاً على تحقيق بنية قادرة على حمل الأحمال المفروضة وتحقيق استقرار الجدران المجاورة لها، في المقام الأول، وعلى أن تكون ركيزة لإنهاءات توفِّر سطوحاً نظيفة مستقرة مع مستوى ملائم من التخميد الصوتي، ومن دون أن يكون لها أي وظيفة رئيسية أخرى ذات صلة بتحديد مواصفاتها وتفاصيلها. وهذه ليست حالة أرضية الطابق الأرضي. يبين الشكل 9.17 بيانياً الظروف المتوقع ظهورها تحت أرضية الطابق الأرضي والظروف التي يجب أن تتوافر فوقها. ومن الواضح وجود وظائف مختلفة، منها مقاومة تسرب الرطوبة وانتقال الحرارة. إن الظروف السائدة تحت الأرضية قد تكون أشد قسوة من ناحية تسببها لتلف المواد، ومشاكلها أكبر من حيث احتمالات الحركة. وكل ذلك يجب أن يُؤخذ في الحسبان في أي مقترح لتشييد أرضيات الطوابق الأرضية.



الشكل 9.17 أرضية طابق أرضي – الظروف.

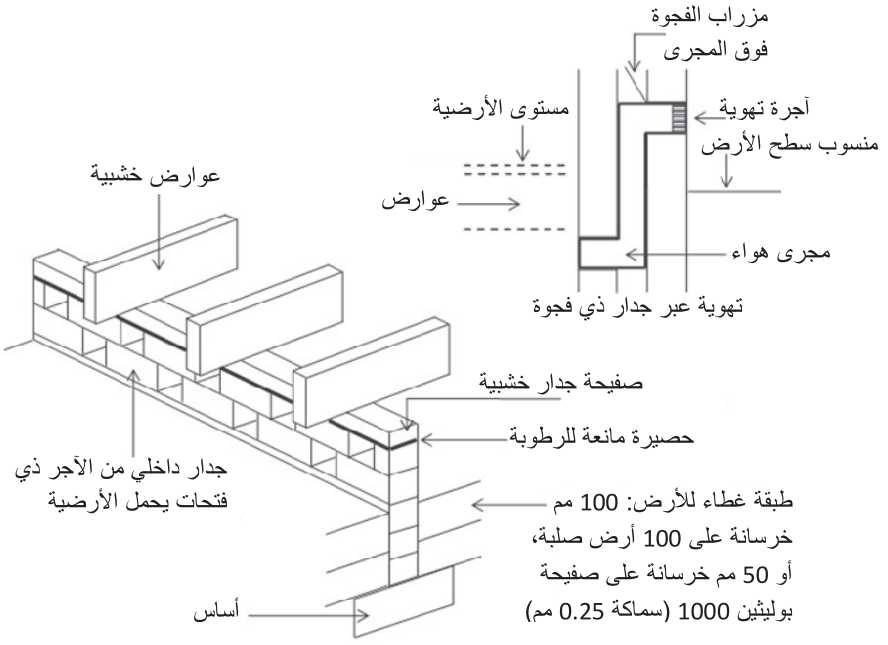
تمتد أرضية الطابق الأعلى فوق غرف الطابق الأدنى، وهذا غير موجود بالنسبة إلى أرضية الطابق الأرضي التي قد ترتكز على أرض صلبة مستقرة بقدر يكفي لوضع الأرضية عليها مباشرة. يجب أن يكون منسوب سطح الأرض المستقرة قريباً بقدر كاف من مستوى الأرضية المرغوب فيها. وإذا كان تحقيق أرض مستقرة يتطلب مزيداً من الحفر أو الملء، قد تكون الأرضية المعلقة حلاً أكثر اقتصادياً.

وإذا اعتُبرت الأرضية المعلقة هي الخيار الاقتصادي، كانت بنيتها مشابهة لبنية أرضية طابق علوي، إلا أن من الممكن الآن بناء جدران لحمل الأرضية في موضع يُختار تحتها. وثمة خيارات أوسع للمجازات، وهذا ما يولِّد فرصاً للاقتصاد. إلا أن الوظائف الإضافية والبيئة التي هي أقسى تفرض مزيداً من المتطلبات الخاصة بالتفاصيل واختيار المواد.

أرضية الطابق الأرضي المعلقة

من حيث التفاصيل الشائعة، يمكن الأرضية أن تكون بنية ذات عوارض خشبية وتفاصيل مشابهة لتفاصيل أرضيات الطوابق العليا. لكن في الطابق الأرضي يمكن تحقيق بعض الاقتصاد في حجوم العوارض من خلال توفير تدعيم وسيط بجدران من عوارض أو خلايا مبنية على نحو متقاطع مع حصيرة مانعة للرطوبة تحت صفيحة جدار خشبية توضع عليها العوارض وفقاً للمبيَّن في الشكل 10.17. وتوضع فوق العوارض ألواح على غرار أرضيات الطوابق العلوية. أما تحت الأرضية، فالتهوية وإحكام كتامة سطح الأرض تحت الألواح ضروريان في حالة استعمال الخشب. فثمة إمكان لتراكم الهواء الرطب تحت الأرضية، وهذا ما يزيد من نسبة الرطوبة في الخشب ويجعله عرضة للنخر. ويمكن درء ذلك بتدفق جيد

للهواء النقي تحت الأرضية مع طبقة تغطي الأرض تحت الأرضية. ومع أن التهوية ضرورية لضمان ديمومة الأرضية، وليس لتوفير هواء نقي على نحو غير مباشر للقاطنين في المنزل، فإن آليات التهوية التي نوقشت في الفصل 10 تُستعمل في هذه الحالة أيضاً. ويمكن الاعتماد على التهوية الطبيعية العابرة التي تسببها الريح. وهذا يقتضي وجود فتحات في الجدران الخارجية في الجوانب المتقابلة من المبنى، مع مسلك مستمر من دون عوائق بين الجانبين. يتوافر مسلك التهوية هذا بواسطة آجرات تهوية (لبنات فيها فتحات) في الجدار الخارجي، ومجرى هوائي عبر الفجوة بين الجدارين الداخلي والخارجي، وثقوب في جدران التدعيم الحاملة للأرضية. ويجب ألاّ يقل ارتفاع الجانب السفلي من العوارض عن الطبقة المغطِّية للأرض عن 150 مم، وألاّ يقل ارتفاع السطح السفلي لصفيحة الجدار عن تلك الطبقة عن 75 مم. ويجب أن توفِّر لبنات التهوية الآجرية فتحات لا تقل مساحتها عن 1500 مم^2 للمتر الطولي الواحد من الجدار، ويجب أن تُصمَّم بحيث تمنع تعشيش القوارض، لأن الفراغ تحت الأرضية جذاب جداً للحياة الحيوانية. يُري الشكل 10.17 ترتيبات التهوية تلك.

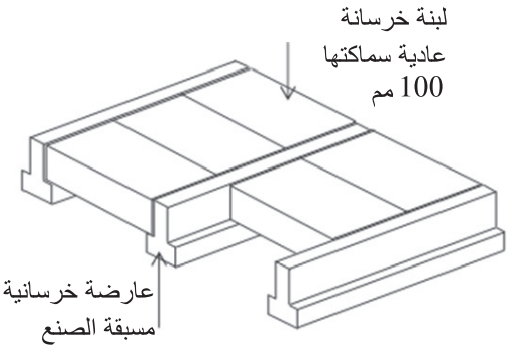


الشكل 10.17 أرضية خشبية معلقة للطابق الأرضي.

وثمة حل آخر جرى تطويره هو عوارض خرسانية مع لبنات تتوضَّع عليها لتكوين الأرضية. أُخِذت الصيغة العامة لهذا الحل المبيَّنة في الشكل 11.17. من أرضيات الطوابق العليا التي طُوِّرت للمباني التجارية حيث تكون المجازات والأحمال أكبر. وقد تبيَّن أن منظومة مكوِّنات من هذه الصيغة بمقاسات أصغر أكثر ملائمة لأرضيات منازل وأكثر اقتصادية.

وتتحسَّن ديمومة الأرضية حين استعمال الخرسانة بدلاً من الخشب، ولذا لا حاجة إلى طبقة لتغطية الأرض. إلا أن ترتيبات تهوية الحيز الموجود تحت الأرضية، المشابهة لحالة الأرضية الخشبية، ما زالت ضرورية. وثمة توصيات جديدة تخص المناطق التي يُحتمل حصول فيضانات فيها تنص على ضرورة وجود وسائل لتفقد ذلك الحيِّز وتنظيفه أيضاً.

وحيثما كانت ثمة تمديدات للغاز تحت الأرضية، فإن من الضروري أيضاً توفير مانع لانتشار الغاز فوق بنية الأرضية محميٍّ بحصيرة خرسانية. ومن الضروري أيضاً في تلك الحالات حماية فجوات الجدران بحصيرة مانعة للرطوبة وغير نفوذة للغاز. وثمة مناقشة لأنواع طبقات منع انتشار الغاز تلك وغيرها من وسائل السيطرة عليه في المقطع الخاص بالأرضيات المحمولة على بلاطات تحت العنوان "حماية البيئة ودورة الحياة" الوارد لاحقاً.



الشكل 11.17 أرضية طابق أرضي مكوَّنة من عوارض ولبنات خرسانية.

مقاومة انتقال الحرارة

لقد بيَّن تحليل الأرضيات الخشبية والخرسانية حتى الآن أنها يمكن أن تكون بنى اقتصادية ومقاومة للرطوبة، ويمكن وضع مواصفات لها تضمن ديمومتها. وإذا

كانت الجدران مبنية على أسس جيدة، كانت مشاكل الحركة في الأرضيات منخفضة جداً. إلا أن تلك الأرضيات ليست جيدة في مقاومة انتقال الحرارة، ولا تتصف العوارض واللبنات الخرسانية بالدقة الكافية لتطبيق الإنهاءات عليها مباشرة.

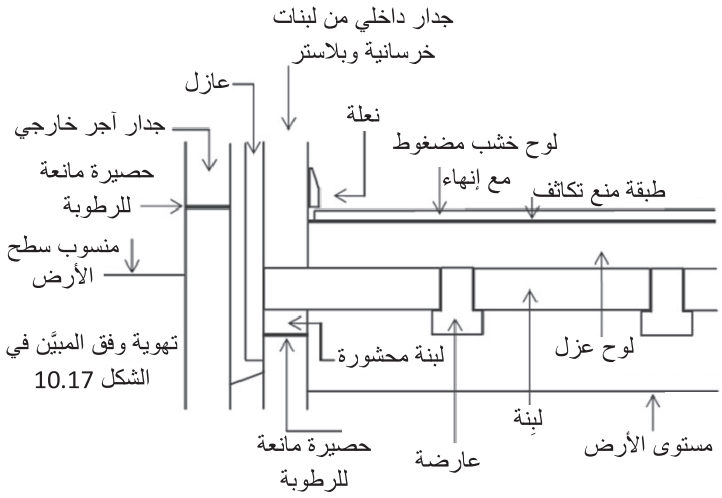
إن من الضروري استعمال عوازل حرارية في تلك البنى لمنع انتقال الحرارة. وثمة طيف من المواد التي يمكن استعمالها بوصفها عوازل جيدة، إلا أن الاختيار منها لا يعتمد فقط على أفضل قيمة للعزل. فعلى سبيل المثال، يجب فهم الصيغة التي تتَّخذها المواد العازلة: فهي يمكن أن تكون حشوات غير متماسكة أو بطائن أو ألواحاً. وتختلف تلك الصيغ بجساءة الطبقة التي تكوِّنها وبقابليتها للتلبُّد وإمكان تلفها. وتلك العوامل هي التي تحدِّد نوع الحوامل والمثبِّتات اللازمة لها والجوانب المتعلقة بتركيبها.

وثمة اعتبارات أخرى تخص اختيار المواد تنجم عن المسائل البيئية. ففي حين أن أحد المبررات الواضحة للعزل الجيد هو تقليص استهلاك الطاقة بغية الإسهام في حماية البيئة، فإن للمواد المختارة تأثيراً في البيئة، ابتداء من تصنيعها حتى توريدها إلى الموقع وتركيبها. ويجب أن يأخذ تحليل البناء الودود للبيئة الطاقة في الحسبان في جميع مراحل دورة الحياة، إلى جانب التلوُّث والنفايات وأي مفاعيل مباشرة في البيئة الحيوية طوال مدة حياة المادة. ويجب تحرِّي وفهم معدَّل نضوب الموارد واعتبارات الموارد المتجدِّدة والقابلة للتدوير، إضافة إلى التخلُّص من نفاياتها أو تدويرها. وقد يؤدي هذا إلى اختيار مواد ذات مقدرة منخفضة على العزل الحراري، والتعويض عن ذلك بجعل سماكتها أكبر.

ومن الاعتبارات الأخرى في تحليل العزل الحراري هو مكان وضع طبقة العازل. فمع أن المقاومة الكلية لانتقال الحرارة (قيمة U) لا تتأثَّر بمكان العازل، إلا أن التدرُّج الحراري عبر العازل يتأثَّر. وقد استُقصي ذلك في الفصل 10 حيث نوقِشت الكتلة الحرارية ومشكلات التكاثف والجَسْر البارد.

ويمكن الاعتبارات العملية أن تؤدي إلى فكرة أولية تنطوي على أن طبقة العازل يجب أن توضع فوق الأرضية، وفقاً للمبيَّن في الشكل 12.17، لكن السطح يجب أن يكون مستقراً ونظيفاً، ويجب أن يكون المنزل كتيماً للعوامل الجوية. إلا أن ثمة إمكان لحصول التكاثف الآن عبر بنية الأرضية، ويُحدُّ من التكاثف على

الجانب السفلي من الأرضية بالتهوية العابرة، إلا أن تركيب طبقة للتحكُّم في البخار فوق العازل ضروري لتقليص مشكلات التكاثف تحت العازل.



الشكل 12.17 أرضية طابق أرضي مع عوارض ولبنات خرسانية.

يخضع العازل فوق الأرضية للأحمال المفروضة الناجمة عن القاطنين. ولذا يجب أن يكون متيناً بقدر كاف، وقد يكون الخيار الوحيد هو استعمال عازل على شكل لوح إلا إذا استُعمل حل قضبان تثبيت متصالبة، إلا أن ذلك يولِّد جسوراً باردة تتطلب عازلاً أسمك للحصول على نفس قيمة U. وحتى في حالة لوح المادة العازلة، فإن الصدمة أو التحميل النقطي المركَّز يُتلف العازل، ويُصبح السطح غير مستقر وغير نظيف، ولا يوفِّر تثبيتاً جيداً للسجاد. ويصبح من الضروري حينئذ وضع ألواح أرضية غير ثابتة فوق العازل على طبقة الحدّ من تكاثف البخار. ومن أمثلة ذلك الخشب الخاص بالأرضيات أو ألواح رقاقات موجهة توصل معاً بلسان وأخدود ولاصق في جميع الجوانب الأربعة، مع فجوة ملائمة للحركة تحت نعال الجدار، على غرار تلك التي في الأرضيات العلوية. ويمكن الآن تثبيت الإنهاءات بنفس طريقة تثبيتها في الأرضيات العليا أيضاً.

وإذا وجب وضع العازل تحت الأرضية، وجب تعليقه بطريقة ما، وإذا وُضع بين العوارض في حالة الأرضية الخشبية، وجب أن يكون أسمك لأن العوارض تمثِّل جسوراً باردة تتطلب مزيداً من العزل للحصول على قيمة U المطلوبة. وبطريقة التوضيع هذه تقل مشكلات التكاثف ويصبح من الممكن استعمال أنواع

أخرى من العوازل، منها البطائن أو الحشوات غير المتماسكة، إلا أن إمكانات تقليص الجَسْر البارد عند الحواف تصبح محدودة إذا كانت الأرضية تنقل أحمالها إلى الجدران الخارجية.

وبعد تحديد نوع مادة العازل وموضعه، من الضروري تحديد سماكته. وهذا يعتمد على قيمة U المرغوب فيها، وعلى ناقلية العازل الحرارية، إلا أن النفاذية الحرارية لأرضية الطابق الأرضي معقدة من حيث طريقة ضياع الحرارة في الأرض. فباتجاه محيط المبنى، تضيع الحرارة بالعودة إلى السطح، أما في المركز فينخفض هذا المفعول كثيراً. لذا يعتمد ضياع الحرارة الكلي على نسبة محيط الأرضية إلى مساحتها. تتصف هذه الحسابات بالتعقيد، لذا ثمة جداول متوافرة لتحديد السماكة اللازمة.

الإنهاءات

بعد استكمال تحليل الأرضية الخشبية من جميع أوجهها، بقي سؤال واحد عن حل العوارض واللبنات الخرسانية: الدقة اللازمة لتطبيق الإنهاءات على البنية مباشرة. إذا وُضع العازل فوق الأرضية، ووُضع لوح فوقه، تحقَّقت الدقة. والبديل للوح هو صبة من الرمل والإسمنت بسماكة 50 مم. وإذا استُعملت هذه الصبة (screed)، وجب تثبيت السجادة بلاصق لأن التسمير مع الإسمنت غير مقبول.

بلاطات أرضيات ترتكز على الأرض

وفقاً لما يوحي به هذا الحل، فإن السلوك الإنشائي لهذه الأرضية ليس التقوُّس، بل الضغط لأن الأحمال المفروضة تُنقل إلى الأرض مباشرة عبر البلاطة. إن هذه النظرة البسيطة إلى جميع القوى الضاغطة تفترض أن الظروف التي تؤدي إلى ثلاثة أنماط من الإخفاق غير موجودة: **(1)** قوى الصدم والقوى المركَّزة في نقطة واحدة لا تثقب البلاطة. وهذا إخفاق قص من غير المحتمل حصوله في المنازل، ولذا يمكن إهماله. **(2)** إذا كانت المادة المختارة للبلاطة عرضة للانكماش، فإن قوى الشد التي تنجم عن الانكماش يمكن أن تُقاوَم من دون أن تتشقَّق البلاطة. لكن أكثر المواد أرجحية للاستعمال في البلاطة هي الخرسانة التي تُصب في الموقع والتي تنكمش حينما تتصلَّد. وعلى أي حال، فإن من غير المرجح أن ينطوي مقاس أرضية المنزل على أن قوى الشد سوف تتراكم إلى أن

تُحدِث تشقُّقات ذات مقاسات كافية لاعتبارها مشكلة. أما في أرضيات المباني التجارية الكبيرة، فإن قوى الشد تلك تتطلَّب كثيراً من تفاصيل التنفيذ والإنهاء. (3) إذا كانت قابلية انضغاط الأرض ليست متجانسة تحت كامل البلاطة، أدى ذلك إلى عدم تجانس ارتكاز البلاطة ومن ثَمَّ إلى مفاعيل تقوُّس لأن البلاطة الجاسئة تمثِّل جسوراً فوق المناطق الرخوة. وقد يحصل ذلك في بعض المواقع ويجب تحرّيه. ينجم هذا النقص في متانة الأرض والتغيُّر في قابليتها للانضغاط عن تغيُّرات طبيعية فيها، إلا أنها تكون عادة صغيرة ضمن نطاق مساحة المنزل إذا كانت الأرض ذات مقدرة معقولة على التحميل. أما إذا كانت التربة ضعيفة، أو كانت الأرض مكبَّ ركام في وقت سابق، أو كانت قائمة على صلصال قابل للانكماش، فإن إمكان حصول ذلك يصبح أعلى احتمالاً ويحتاج إلى أخذه في الحسبان. ومن المسببات الأخرى لحدوث هذا الارتكاز غير المتجانس الطويل الأجل على الأرض وضع طبقة مالئة ورصُّها لتسوية مناسيب الأرض قبل البناء. وتشتمل هذه العملية على رص الأرض، وإذا لم يكن الرص صحيحاً، فإن حصول هبوط في الأرض يزيد من احتمال تصدُّع البلاطة. إذا كانت ثمة حاجة إلى ملء عميق لتحقيق المناسيب، فإن الأرضية المعلَّقة قد تكون أكثر اقتصادية.

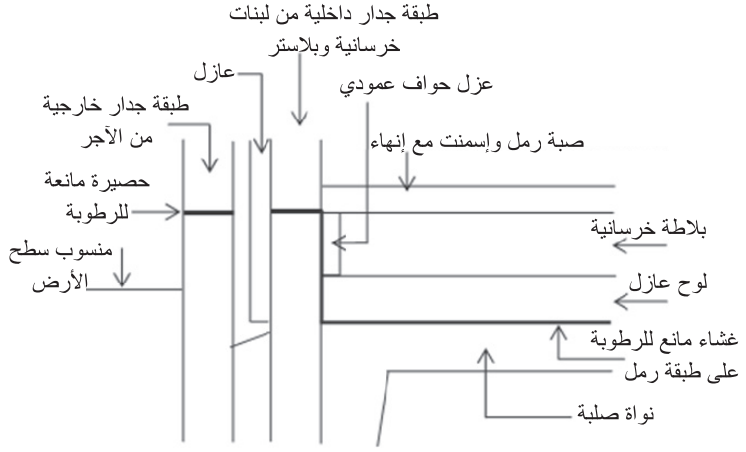
ووفقاً لما أشرنا إليه آنفاً، تُصنع البلاطة من الخرسانة. وإذا كانت الأرض مستقرة، لا حاجة لتسليح البلاطة، لأن مقاومة الخرسانة للضغط كافية لمواجهة القوى المؤثِّرة فيها. أما إذا اشتُبه بأن الأرض ضعيفة أو غير مستوية تحتها، أمكن استعمال التسليح بغية توزيع الأحمال ولضمان أن حدوث أي هبوطات تفاضلية لن يجهد البلاطة.

وسواء أكانت البلاطة الخرسانية مسلحة أم لا، إذا وُضعت على الأرض مباشرة فإنها سوف تتعرَّض لبعض التشقُّق بسبب الجساءة النسبية للمواد المختلفة. لذا يجب صب البلاطة على طبقة وسيطة أقوى وأقسى من الأرض، لكن أقل صلابة من الخرسانة. تسمى هذه المادة غالباً النواة الصلبة (hardcore)، وهي ركام من مواد خاملة غير متماسكة من مثل النفايات الحجرية أو ركام مبانٍ مطحونة ومرصوصة من دون أي رابط لصق فيها. وبالنسبة إلى منزل على أرض معقولة، يمكن سماكة هذه الطبقة أن تساوي نحو 100 مم، ويمكن أن تُرصَّ لتصبح طبقة واحدة. ويمكن بلاطةً سماكتها بين 100 و 150 مم أن توضع فوقها لتكوين أرضية كافية للتحميل المنزلي.

دورة الحياة وضبط البيئة المنزلية

بعد إنشاء بنية مقبولة للأرضية، من الضروري أن نعود إلى المعلومات الواردة في الشكل 9.17 للبدء بتحليل عناصر ضبط البيئة المنزلية ذات الصلة بالأرضية. لا يمنع بناء بلاطة خرسانية على النواة الصلبة الرطوبة من الصعود إلى سطح الأرضية، ولا يُوفِّر إلا القليل من العزل الحراري. وليس من السهل تغيير مواصفات النواة الصلبة لتحقيق مزايا في خواصها الحرارية. وفي حين أن استعمال الخرسانة الخفيفة الوزن للبلاطة يمكن أن يوفِّر متانة كافية وعزلاً جيداً، إلا أنها أعلى تكلفة.

إن مقاومة الرطوبة والعزل الحراري، إضافة إلى توفير خلفية للإنهاءات تتطلَّب جميعاً طبقات إضافية من المواد ذات الخواص الملائمة وبسماكات كافية لتحقيق الوظائف المرجوَّة منها. يبين الشكل 13.17 واحدة من تلك البدائل. يُبيِّن الشكل مانع الرطوبة والعازل الحراري بين النواة الصلبة والبلاطة، وصبَّة رمل وإسمنت فوق البلاطة لتوفير السطح اللازم للإنهاء. وفي خيار آخر، يمكن وضع العازل فوق البلاطة، وتوضع فوقه أرضية من خشب مضغوط، وفق المبيَّن في الشكل 12.17، وكل ذلك فوق أرضية لبنات وعوارض خرسانية. وحينئذ يمكن الغشاء المانع للرطوبة أن يكون تحت العازل أو تحت البلاطة مع طبقة رمل (فرشة) فوق النواة الصلبة لحماية الغشاء المانع للرطوبة من التلف. ومهما كان موضع غشاء منع الرطوبة، فإنه يتألف على الأرجح من صفيحة بوليثلين 1200.



الشكل 13.17 بلاطة أرضية مرتكزة على الأرض.

يمكن غشاء البوليثلين أن يوفِّر أيضاً عائقاً أمام غاز الرادون على أن يُستعمل الصنف الملائم منه لذلك. وإذا كانت ثمة حاجة إلى عائق لثاني أكسيد الكربون أو الميثان، أمكن استعمال صفيحة متعددة الطبقات من ضمنها طبقة ألمنيوم، إضافة إلى طبقة مقاومة للتمزُّق. وتعمل هذه الأغشية أيضاً على منع تسرب الرطوبة. وفي حالة عائق الغاز، يجب إحكام سد الوصلات بشريط مزدوج، ويجب سد الفجوة بحصيرة مانعة للرطوبة وللغاز. ويجب إيلاء عناية خاصة لإحكام سد الغشاء عند نقاط مرور تمديدات الخدمات، وسوف نناقش ذلك لاحقاً. ويمثل غشاء الغاز عائقاً منخفض النفوذية يمكن استعماله مقترناً بطبقة حُبَيْبية عالية النفوذية تحت البلاطة (بدلاً من النواة الصلبة) يمكن إزالة الغاز منها بالتهوية غير النشطة مسيطر عليها.

وتشابه معايير اختيار مواد العزل هنا تلك التي شرحناها في حالة الأرضية المعلقة. والعازل الذي يوضع فوق البلاطة يجب أن يُغطى بلوح أرضية أو بصبة رمل وإسمنت لتحقيق سطح نظيف مستوٍ لوضع الإنهاء عليه. ومن الضروري أيضاً عزل حواف البلاطة عند الجدار الخارجي لدرء الجَسْر البارد، فالفقد الحراري الذي يحصل حينئذ عبر الحواف يذهب مباشرة تقريباً إلى الهواء الخارجي، ويمثِّل نسبة عالية من الفقد الحراري الكلي عبر الأرضية. وعلى غرار حالة الأرضية المعلقة، تعتمد سماكة العازل على نسبة مساحة الأرضية إلى محيطها عند الجدران الخارجية.

ومع أن الظروف تحت الأرض تماثل تلك التي تحت الأرضية المعلَّقة، فإن المواد المستعملة أقل عرضة للتلف، لأن مولِّدات عوامل تفكيك النواة الصلبة والخرسانة ليست موجودة تلقائياً. ومع ذلك يجب القيام بتحرِّي وجود العوامل الضارة. وبافتراض أن درجة حرارة التربة تحت المنزل لا تنخفض إلى ما دون درجة التجمُّد، حينئذ، حتى لو كانت الحصيرة المانعة للرطوبة فوق البلاطة، فإن التجمُّد لن يمثِّل مشكلة. أما المواد الكيميائية، فهي مصدر الخطر الأكبر. وأكثر المواد الموجودة في التربة ضرراً هي الكبريتات التي تتفاعل مع الإسمنت وتخرِّب الخرسانة إلاّ إذا استُعمل إسمنت مقاوم للكبريتات، أو كانت نفوذية الخرسانة منخفضة جداً. وهذا غير محتمل في حالة الخرسانة الإنشائية المنخفضة الجودة المستعملة في هذا النوع من البلاطات. ومع تزايد استعمال المواقع الصناعية أو التجارية المهجورة الملوَّثة، قد تكون ثمة في الأرض بعض المواد الكيميائية الضارة

للنواة الصلبة أو الخرسانة. حينئذ، وفي حالة استعمال الموقع لبناء المنازل، يجب إصلاح التربة لجعل الموقع آمناً، ويتحقَّق ذلك بإزالة المواد الكيميائية بالمعالجة أو باستبدال التربة.

ومن المخاطر الكيميائية الأخرى تلك التي تأتي مع مواد البناء نفسها. لقد أشرنا حين الحديث عن طبقة الحشوة أن مادتها يجب أن تكون خاملة. وإحدى المشكلات الكبرى المقترنة بالنواة الصلبة المكوَّنة من ركام الهدم هي أن الركام يحتوي على البلاستر. لكن بظهور إجراءات فصل مواد ركام الهدم لأغراض التدوير وبعض المعالَجة، ومنها السحق، أصبحت المواد المدوَّرة تلك أكثر أماناً ويمكن استعمالها بثقة. ومن المصادر الكيميائية الخطرة أيضاً ما يأتي من الخرسانة نفسها حين استعمال حصويات قابلة للتفاعل في الخرسانة ويمكن أن تؤدي إلى تفاعلات السليكا القلوية.

الخدمات والعناصر الأخرى

بعد استقصاء الصيغة الأساسية للأرضية، أكانت معلقة أو مبنية على الأرض مباشرة، من الضروري التفكير بطريقة تفاعل عناصر البناء الأخرى مع الحل المختار. فجدران التقسيمات الداخلية التي لا توجد أسس خاصة بها تُبنى على الأرضية. لذا من الضروري تقوية الأرضية بحيث تحمل تلك الجدران. وقد يتطلَّب ذلك زيادة سماكة البلاطة المرتكزة على الأرض أو مضاعفة العوارض في الأرضيات المعلقة. وتعتمد العلاقة مع الجدران الخارجية على دور الجدار في أخذ حمل من الأرضية. وإذا استُعمل الجدار لأخذ حمل من أرضية معلقة، كانت تفاصيل التثبيت مع الجدران مشابهة لتلك المستعملة في الأرضيات العليا. وفي الأرضيات المرتكزة على الأرض مباشرة، يمكن الجدران أن تحتوي على جوانب الأرضية في أثناء التشييد، لكن التأثير المتبادل بين الجدران والأرضية في أثناء حياة المبنى العملية يبقى قليلاً.

أما التأثير المتبادل مع تمديدات الخدمات الداخلة والخارجة فهو موجود: تمديدات المياه والكهرباء والغاز والاتصالات ومجاري الصرف الصحي. وكل من هذه التمديدات يأتي من أعماق مختلفة تحت الأرض، ويتصف بنصف قطر أصغري للحني من الوضعية الأفقية في الأرض إلى الوضعية الشاقولية ضمن المبنى. وقد تحتاج تلك الخدمات إلى صيانة أو استبدال في أثناء حياة المبنى. وإنه

لمن السهل نسبياً استيعاب تلك المتطلبات في الأرضيات المعلقة، أما في حالة البلاطة المرتكزة على الأرض الصلبة فيجب أن تُفصَّل بعناية. ويجب توفير مجارٍ محفورة في البلاطة للتمديدات الداخلة، ويجب تضمين مجاري الصرف الصحي في البلاطة قبل الصب. ومع أن هذا سهل نسبياً، إلا أنه يجب الانتباه إلى عدم الإساءة إلى استمرارية الغشاء المانع للرطوبة حول فتحات مرور تلك التمديدات، خاصة إذا كان الغشاء مانعاً لتسرب الغاز أيضاً. حينئذ يجب استعمال أغطية خاصة لإحكام سد الفجوات حول الأنابيب.

تأثير الموقع في اختيار أرضيات الطوابق الأرضية

تُري تحليلات السلوك تحت الحمل والحماية البيئية والديمومة أن ثمة عدداً من الحلول لأرضيات الطوابق الأرضية. واختيار أكثرها اقتصادية قد يعتمد على الموقع. وثمة لدى كثير من متعهِّدي البناء تصاميم جاهزة للمنازل، ولديهم خيارات متعددة للطوابق الأرضية، ولا يُعتمد أيٌّ منها إلا بعد تحرِّي ظروف الموقع جيداً.

تتضمن ظروف الموقع [طبيعة] الأرض وميلها، إضافة إلى منافذ الدخول إليه والخروج منه التي تؤثِّر في عمليات الإنتاج. ويُجرى الكثير من تحرِّيات الموقع لتحديد الخيارات المناسبة من الأسس، وسوف نقدِّم ذلك في الفصل 20. لكنْ من الضروري فهم عمليات الإنتاج للقيام بهذا الجانب من التحليل قبل الاختيار.

عمليات الإنتاج الخاصة بأرضيات الطوابق الأرضية

تُبنى الأرضيات المعلقة والأرضيات المرتكِزة على الأرض بعد استكمال الأسس وبناء الجدران حتى مستوى الحصيرة المانعة للرطوبة. ويتضمن ذلك الجدران الداخلية مع أسسها، إضافة إلى الجدران القصيرة حول الأرضية المعلقة. لكنْ قبلئذ، تزال التربة العليا بالحفر ويُخفَّض منسوب مستوى الأرض ضمن حدود المبنى حتى منسوب مستوى الجانب السفلي من الأرضية المعلقة أو حتى منسوب الطبقة المالئة للنواة الصلبة في حالة البلاطة المستندة إلى الأرض. لذا تُجرى جميع عمليات تشييد الأرضية انطلاقاً من الأرض وضمن الجدران الخارجية للمنزل. لكنْ يجب تحضير المواد وخزنها وتوزيعها حول الموقع.

لا يحصل التشييد الكامل للأرضية ضمن تسلسل مستمر. فالبنية الأساسية تُنجز قبل بناء الجدران الخارجية حتى مستوى الطابق الأرضي. وتُجرى أعمال

الإنهاءات بعد أن يُصبح المبنى محْكَم السد بالنسبة إلى العوامل الجوية المناخية. لكن تلك الأعمال ليست مدرجة ضمن التحليل العام الوارد في ما يلي.

تختلف أعمال نقل المواد وخزنها باختلاف الحل المختار. فالخشب خفيف الوزن نسبياً، إلا أنه يتطلب ظروف خزن معينة لضمان عدم انضغاطه وإجهاده كثيراً، وعدم زيادة نسبة الرطوبة فيه على حد معين. ويجب الحفاظ على ألواح الخشب التركيبية والمواد العازلة جافة كي لا تتضرَّر من الرطوبة برغم أنها لا تتأثَّر بالتبلُّل المباشر. أما المكوِّنات الخرسانية في أرضية العوارض واللبنات الخرسانية فهي متينة، إلا أنها يمكن أن تُجهد إذا لم تُخزن بطريقة صحيحة، وهي ثقيلة من حيث النقل والتركيب. وفي ما يخص المادة المالئة التي توضع تحت البلاطة المستندة إلى الأرض، يجب فرشها وتسويتها ورصُّها وتغطيتها بطبقة ناعمة، لأنه إذا كان السطح ليس ناعماً بقدر كاف، فإنه قد يُتلف الغشاء المانع للرطوبة. وتمكِّن هذه الإجراءات من توضيع الغشاء المانع للرطوبة بسهولة، إلا أنه يجب الانتباه إلى إحكام سد الغشاء عند الوصلات وحول فتحات تمديدات الخدمات، وإلى استمرارية الحصيرة المانعة للرطوبة عند الحواف. أما الخرسانة التي تُصب منها البلاطة في الموقع، فيجب خلطها وصبها وفرشها وتسويتها، ثم تصليدها.

ويتطلب كل من هذه الأعمال مهارات مختلفة. فالعوارض الخشبية تحتاج إلى نجارين، في حين أن العوارض واللبنات الخرسانية تتطلب مهارات محدودة، مع أنها قد تحتاج إلى عمال بناء ذوي مهارات تقليدية، مثل بنَّائي الآجر، وذلك لضمان الاستمرارية بين الجدران والأرضية. ويمكن عمال البناء تركيب البلاطات الخرسانية، أو يمكن استئجار مجموعة صب خرسانة كاملة، برغم أن مهارات أفرادها متخصِّصة بأعمال خرسانة الهياكل الإنشائية، ومن غير المرجَّح أن تُستعمل في أعمال بناء المنازل البسيطة نسبياً.

تحتاج هذه الأعمال جميعاً إلى مداخل مؤقتة للعاملين والآليات. وإذا كان ممكناً، يُفضَّل أن تكون تلك المداخل منفصلة لتقليل مخاطر الحوادث. وتختلف أنواع الآليات المستعملة. فآليات النقل الثقيلة كشاحنات الخرسانة الجاهزة للصب، يجب أن تصل إلى جوار المبنى كي تستطيع تفريغ حمولتها مباشرة في قالب بلاطة الأرضية المستندة إلى الأرض، في حين أن كثيراً من المواد الأخرى تُنزَّل من شاحنات التوريد في الموقع بعيداً من المبنى وتُنقل إليه بوسائل نقل صغيرة كالرافعة الشوكية. لذا يجب توفير ممر ملائم لكل من وسائل النقل تلك.

ونظراً إلى أن العمل يحصل عند مستوى سطح الأرض، فلا حاجة إلى سقالات، ومن ثمَّ فإن الخطر الرئيسي يأتي من تداول المواد. والخرسانة المبلولة فقط هي المادة الخطرة وتتطلب تجهيزات حماية للعمال إضافة إلى وسائل الحماية الشخصية الشائعة. ولعل الاصطدام بآلات تداول المواد هو مصدر الخطر الأساسي لأن الأذية التي تحصل يمكن أن تكون كبيرة. ولعل أعظم مخاطر التداول اليدوي يأتي من العوارض واللبنات الخرسانية، حيث يساوي وزن العارضة نحو 35 كيلو غرام لكل متر طولي، وهذا ما يجعل أذية العمود الفقري والأصابع عالية الاحتمال.

الاختيار النهائي

من الممكن الآن القيام بالاختيار بناء على معايير الأداء والإنتاج بحيث تتوافق مع ظروف الموقع. إلا أن ثمة أمراً آخر يمكن أن يؤثِّر في الاختيار وهو حجم البناء. في حالة المنزل الوحيد في الموقع، يتصف البنَّاء غالباً بمجموعة من المهارات، وقد يستعمل آلة متنوِّعة الوظائف لكثير من العمليات المختلفة. أما في الموقع المتعدد المنازل، فإن فرصة المعايرة والجدولة الاقتصاديتين لليد العاملة والآلات تؤثِّر في اختيار الموارد على نحو أفضل.

الخلاصة

1. تمتد أرضية الطابق العلوي فوق جميع الغرف التي تحته، وبذلك توفِّر سطحاً مستقراً يُسهم في الخصوصية من حيث العزل الصوتي بين الأعلى والأسفل. وتُستعمل الأرضية لتمرير تمديدات الخدمات إضافة إلى وظائف أخرى ضمن المنزل نفسه موضوع اهتمام دراسة الحالة هذه.

2. والصيغتان الرئيسيتان لأرضيات الطوابق العليا هما صيغة العوارض وصيغة البلاطة، إلا أن حل العوارض الخشبية قد يكون اليوم هو الخيار الاقتصادي في ضوء متطلبات الأداء التي يجب على المنزل تأمينها.

3. والمستطيل هو الشكل الشائع لمقطع العارضة العرضانية الذي يُصنع من الخشب الإنشائي المدعَّم بهدف تحقيق استقرار الأرضية. أما ألواح الأرضية فهي على الأرجح مادة صفيحية من مثل ألواح الخشب المضغوط المخصصة للأرضيات المقاومة للرطوبة في المناطق الرطبة.

4. يجب وصل الألواح معاً لتكوين سطح مستمر، ويجب تثبيتها جيداً على العوارض. ويمكن تحقيق وصلة العارضة مع الجدار الحامل له بوضع طرفها ضمن الجدار أو بتثبيتها بواسطة حمَّالة.

5. وفي حالة وجود فتحات في الأرضية ذات العوارض الخشبية، يجب قصها. أما الفتحات التي يجب فتحها في العوارض لتمرير تمديدات الخدمات أفقياً فهي محدودة من حيث الموضع والمقاس بسبب الحاجة إلى الحفاظ على سلامة العارضة.

6. وفي حالة المجازات الكبيرة، يمكن استعمال عوارض ذات مقاطع عرضانية من الشكل I **مكوَّنة من شفتين صفيحيتين ووَتَرة بينهما.**

7. توفِّر الأرضية المصنوعة من عوارض وألواح سطح إنهاء للغرف التي فوقها، وتوفِّر دعامة لتثبيت الألواح، وعلى وجه الخصوص ألواح البلاستر، على الوجه السفلي لتكوين سقف للغرفة التي تحتها. وتُعتبر الأرضية عموماً جيدة الاستقرار وتستطيع الإمساك بالجدران الخارجية. أما جدران التقسيمات الداخلية في الغرف التي تحت، فتحتاج إلى تثبيت أطرافها العليا مع العوارض، وتتطلب جدران تقسيم الغرف التي فوق الأرضية عوارض مضاعفة إذا كانت موازية للعوارض.

8. تختلف متطلبات أرضيات الطوابق الأرضية عن تلك الخاصة بالطوابق العليا، من حيث منع الرطوبة ومقاومة انتقال الحرارة، وتُعتبر بيئتها أشد قساوة من ناحية تلف المواد.

9. يمكن أن تتكوَّن أرضيات الطوابق الأرضية من عوارض معلقة أو بلاطة ترتكز على الأرض مباشرة. فإذا كان حل الأرضية المعلقة هو المعتمَد، توفِّر العوارض الخرسانية بديلاً لصيغة العوارض الخشبية الشائعة. وتُعتبر تهوية الفراغ تحت الأرضية المعلقة على درجة كبيرة من الأهمية.

10. يمكن أن تتَّخذ موادَّ العزل الحراري صيغاً كثيرة تختلف في قساوتها وقابليتها للانضغاط، وهذا هام إذا كان العازل سيخضع لأحمال مفروضة من الغرفة التي فوقه. ويجب أيضاً أن يُؤخذ في الحسبان دور موضع وسماكة العازل في حدوث التكاثف والجسور الباردة.

11. تتوضَّع البلاطة المرتكزة على الأرض، والتي تُصب في مكانها ويمكن أن

تكون مسلحة، على طبقة نواة صلبة مالئة مرصوصة. وهذه تتطلب غشاء مانعاً للرطوبة يوضع عادة تحت البلاطة. ويمكن وضع العازل الحراري في عدد من الوضعيات، إلا أن إحكام سده عند الحواف ضروري لدرء تكوُّن الجسر البارد. وقد يكون من الضروري التفكير باستعمال مانع لتسرب الغاز.

12. إضافة إلى متطلبات الأداء، تؤثِّر ظروف الموقع والاعتبارات الإنتاجية في اختيار حل البناء.

الفصل الثامن عشر

الأسقف

نهتم في هذا الفصل بالأسقف(*) المائلة مع تقديم للأسقف المسطحة. ويتضمن الفصل مناقشة للصيغ العامة لكل من التغطية المانعة لتسرب الماء وبنية السقف، إضافة إلى تحليل شامل لبلاطات الخرسانة المتعشقة على بنية جملونية ذات عوارض مائلة بوصفها الحل المرجَّح لدراسة الحالة هذه.

الميل والمجاز

العاملان المهيمنان على اختيار بنية السقف هما ميله ومجازاته. يؤثِّر المجاز (وهو المسافة الفاصلة بين الدعامات) في الحل الإنشائي واستيعاب الحركة وتجميع مياه المطر والتخلُّص منها، خاصة في حالة الغطاء المانع لتسرب الماء. أما الميل (زاوية سطح السقف) فله تأثير كبير في مواصفات الغطاء المانع للماء، وهو يفرض صيغة بنية السقف ويؤثِّر كثيراً في مظهر المبنى.

تكون الأسقف عادة مائلة أو مسطحة. لكن صفة التسطُّح لا تمثِّل هنا المقصود وتصفه وصفاً دقيقاً، فالسطوح المائلة هي مسطَّحة أيضاً على وجه العموم، وحتى إن الأسقف المسطَّحة تتصف بشيء من الميل (أي إنها ليست أفقية تماماً)، وذلك بغية تصريف مياه المطر. وعلى كل حال، يبقى ذلك تمييزاً مفيداً لأن ميل السقف المسطَّح طفيف جداً إلى درجة لا يمكن عندها اعتباره مائلاً، ولذا

(*) في العربية، السقف هو الجانب السفلي الداخلي من ظهر المبنى، والسطح هو جانبه العلوي الخارجي. ونظراً إلى أن الكلمة "سطح" تُستعمل بمعان أخرى، فقد استعملنا هنا الكلمة "سقف" للتعبير عن ظهر المبنى بجانبيه السفلي والعلوي، تاركين للسياق تحديد المقصود (المترجم).

يمكن معاملة بنيته معاملة الأرضية، وحينئذ يجب أن يكون الغطاء المانع للماء مستمراً ومحكم السد عند جميع الوصلات.

في ما يخص المنازل في بريطانيا، فإن مستويات هطول الأمطار وقوة الرياح تجعل من السقف المائل الصيغة السائدة لأنها يمكن أن تكون اقتصادية، وأكثر وثوقية من حيث كونها أغطية مانعة لتسرب الماء إلى الداخل، وهذا ما يجعل منها حلاً متيناً مديد العمر. إلا أن بنية السقف المائل أكثر تعقيداً من بنية العوارض (أو البلاطات) البسيطة التي تُستعمل في الأسقف المسطَّحة. ونظراً إلى أن تصميم المنزل وتوافر الغطاء الرخيص يفرضان الميل الفعلي، فإن الاعتماد الواسع النطاق للسقف المائل يمثل جزءاً من المظهر المميِّز للبيت البريطاني.

وظائف أخرى

حدَّدنا حتى الآن جزأين من السقف: الغطاء المانع للماء (مع منظومة تصريف ماء المطر) وبنية السقف الإنشائية. وتربط بين هذين الجزأين الحاجة إلى أن تحمل البنية الإنشائية الغطاء بحيث يستمر في أداء وظيفته من حيث منع تسرب الماء. وفي معظم التصاميم ثمة حاجة إلى توفير أسقف للغرف التي تحت والتي يجب أيضاً أن تحملها البنية الإنشائية. والبنية ذات الغطاء المانع للماء والسقف الداخلي من المرجَّح ألاّ تكون كافية لمنع انتقال الحرارة، ولذا يجب الاهتمام بمسألة العزل الحراري.

ومع أن الحيِّز الموجود تحت سطح المنزل يُستعمل مستودعاً أو لوضع خزان ماء فيه عادة، فقد تزايدت احتمالات لجوء التصاميم إلى اعتبار جزء منه على الأقل مكاناً للمعيشة فيه. وهذا لا يؤثِّر في بنية السقف وتفاصيلها وفي العزل الحراري فحسب، بل يولِّد حاجة إلى الإضاءة بأنوار كهربائية تركب في مسطح السقف أو من خلال نوافذ تُفتح في السقف. وهذا يقتضي فتح ثقوب في كل من بنية السقف والغطاء. حتى لو كانت الإضاءة غير ضرورية، فإن ثمة حاجة لفتحات للمداخن وأنابيب الخدمات الأخرى، إلا أن هذه الفتحات أصغر من النوافذ ومن أضواء السقف على الأرجح. ولن نناقش هذه الأمور بالتفصيل في هذا الكتاب.

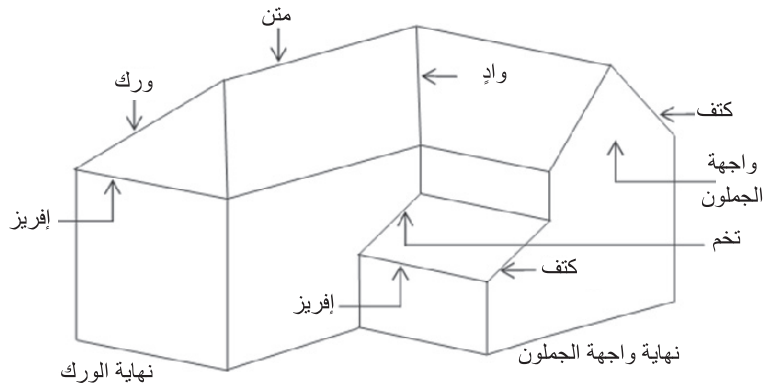
وحين النظر في موضوع الاستدامة، يمكن السقف، خاصة إذا كان موجَّهاً نحو الجنوب، أن يوفِّر حيِّزاً لالتقاط الطاقة الشمسية المتجددة، باستعمال لوحات طاقة شمسية تسخِّن الماء للاستعمالات المنزلية، أو لوحات خلايا كهرضوئية لتوليد الكهرباء (انظر الفصل 21). حينئذ، يجب تثبيت هذه الوحدات فوق الغطاء المانع

للماء، وهي تتطلب تمديدات (أنابيب وكبال) يجب أن تمر عبر السقف.

ومن حيث توفير الأمان والخصوصية، فإن مواصفات وتفاصيل وظائف السقف الأخرى يمكن أن تكون كافية ما لم تكن ثمة ظروف محلية خاصة، مثل أن يكون المنزل تحت مسار خطوط طيران جوية، وحينئذ من الضروري الاهتمام بالعزل الصوتي. ويجب الاهتمام بالمخاطر المقترنة بالحريق في جميع المنازل المتصلة وشبه المنفصلة (انظر الفصل 19) التي تتطلب وجود جدران فاصلة بين المنازل. ونظراً إلى أنه يمكن النارَ أن تنتشر على سطح الغطاء المانع للماء فوق الجدار الفاصل، يجب رفع هذا الجدار إلى ما فوق مستوى أعلى السقف، وهذا يتطلب إجراءات للحماية من العوامل الجوية، وما يترتَّب عليها من تكاليف تشييد أولية وتكاليف صيانة. وإذا مر الغطاء فوق الجدار الفاصل، فيجب اختياره بحيث يقاوم انتشار اللهب، وتفصيله بحيث تتوقف النار عند أعلى الجدار. وهذا ينطبق أيضاً على إنهاءات أعلى الجدار لضمان العزل الصوتي ومنع الأصوات من المرور عبر الجدار الفاصل.

الأسقف المائلة

قبل أي مناقشة للأسقف المائلة من الضروري فهم المفردات اللغوية المستعملة لوصف تشكيلات تلك الأسقف المختلفة. يبين الشكل 1.18 التشكيلات الأساسية مع مفرداتها.



الشكل 1.18 سقف مائل – التشكيلة وتسمياتها

الأفاريز (eaves) هي حواف يُجمع فيها ماء المطر لتصريفه عبر مزاريب توصل عادة مع أنابيب نازلة تأخذ الماء إلى منظومة صرف تحت الأرض. والأكتاف

(verge) هي حواف لا يتجمَّع عندها الماء، وتمثِّل غالباً نهايات واجهة الجملون العليا. ويتكوَّن المتن (ridge) والورك (hip) والوادي (valley) حيثما تتلاقى السطوح المائلة. وفي حين أن المتن والورك يتركان الماء يسيل نحو الأسفل على سطوح السقف، فإن الوادي يجمع الماء. لذا يجب تشييده بطريقة تضمن أن المطر المتساقط على السطح سوف يذهب إلى الأفاريز. فإذا لم يكن من الممكن توزيع القرميدات نفسها بحيث تحافظ على وظيفة الغطاء المانع للماء، وجب تكوين مزراب لجمع الماء وتوجيهه إلى المزراب الرئيسي عند الأفاريز. أما التخوم فهي ملتقيات سطوح السقف مع الجدران، ولذا يجب أن تكون وصلات محكمة السد بحيث يجري الماء إلى الأفاريز، لا إلى داخل السقف.

وقد تحتاج هذه الوصلات إلى إنهاء بقرميدات خاصة ومكوِّنات من مواد أخرى، ومن أمثلتها الأشرطة اللاصقة والصفائح الرصاصية التي تُستعمل عند التخوم. أما المزاريب التي تُشكَّل عند الوديان فهي عادة من الخشب المبطَّن بالرصاص، أو من البلاستيك المسبق التشكيل الذي يُثبت على السطح مباشرة.

الغطاء

ثمة ثلاثة أنواع عامة من أغطية الأسقف طُوِّرت لتعطي عدداً من الصيغ التي يمكن استعمالها تبعاً لشكل المبنى. وتلك الأنواع مبيَّنة في الجدول 1.18، وهي:

- غطاء مستمر
- غطاء من صفيحة كبيرة
- غطاء أردواز وقرميد

الجدول 1.18 أغطية السقف المختلفة

الأنواع العامة	الصيغ الشائعة
غطاء مستمر	لبَّادة مقوَّاة
	بوليمر وحيد
صفيحة كبيرة	الطبقة صفائح معدنية
	إسفلت
قرميدات صغيرة، شرائح أردواز،	معدن مجعَّد
ألواح خشبية	بلاستيك مجعَّد
	مركبات إسمنت مجعَّدة
	بلاطات صلصالية أو إسمنتية، شرائح أردواز طبيعية
	أو صنعية، ألواح خشبية

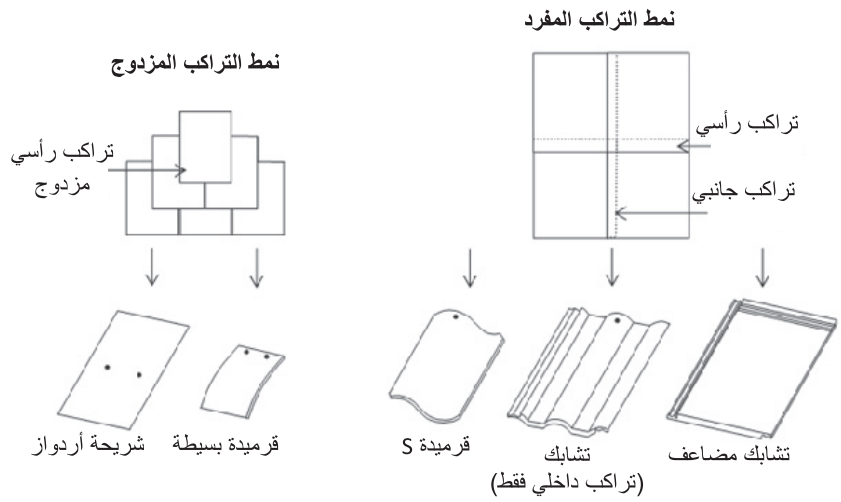
تُصنع الأغطية المستمرة من مواد غير نفوذة، ويمكن تشكيل جميع تلك المواد، باستثناء الإسفلت، لتعطي صفائح رقيقة مرنة توضَّع على السطح، جاعلة منه خفيف الوزن. أما الإسفلت فيُصب حاراً على السطح. وتحتاج هذه الأغطية جميعاً إلى تدعيم وتثبيت مستمرين لمنع الريح من رفعها إلى الأعلى، وإذا استُعملت على أسقف مائلة، لمنع انزلاقها. ويمكن تحقيق التثبيت بلصق المادة على السطح، أو ميكانيكياً. ويجب إحكام سد الوصلات والحواف لتكون مانعة للأمطار والثلوج، إما باللصق بالقار، على غرار اللبادات المقوَّاة (built up felt)، أو بالدرزات المطوية في حالة المعادن. إن عملية الطي هذه التي تُجرى على حواشي الصفائح المعدنية، والتي تُكوِّن نتوءات وأخاديد تجميع لقطرات الماء، تعتمد على وضع مادتي الصفيحتين قريبتين جداً من بعضهما بحيث تلغيان مفاعيل الثقالة والخاصية الشعرية التي تجذب الماء إلى الوصلة غير المُحكَمة السد. ويُفرش الإسفلت على السطح المستمر على شكل طبقات سماكتها الكلية تساوي نحو 18 مم، وهذا ما يجعل هذا النوع من الغطاء أثقل كثيراً من الأغطية ذات الطبقات الرقيقة. ويُحكم سد الوصلات في أثناء برودة الإسفلت مع أنها لا تكون مشدودة بين الطبقات.

يعني هذا التركيب من المواد غير النفوذة والوصلات المحكمة السد أن تلك الأغطية تعمل بنجاح على الأسقف المسطحة، وعلى الأسقف المائلة أيضاً. أما في ما يخص الإسفلت، فهو يتساقط مع مرور الوقت، ولذا نادراً ما يُستعمل في الأسقف المائلة. لقد شاع استعمال هذه الأغطية على الأسقف المسطحة في المباني المنزلية الصغيرة (اللباد المقوَّى) وفي المباني التجارية (الإسفلت والصفائح المعدنية والبوليمرات الوحيدة الطبقة) وعلى الأسقف المائلة أيضاً (صفائح نحاس ومعادن أخرى)، ومنها أسقف المنازل.

تُصنع أغطية الصفائح الكبيرة أيضاً من مواد غير نفوذة وبسماكات صغيرة نسبياً. إلا أن هذه الصفائح أقسى بسبب طبيعة المواد المستعملة فيها وسماكاتها وأشكالها. وتقوَّى الصفائح بالتجعيد كي تغطي المسافات الفاصلة بين الدعامات. ومع أن التجعيد قام أصلاً على الحني الذي يعطي الشكل المميز لألواح الحديد المجعَّد (corrugated iron)، فإن تجعيد كثير من الألواح المعدنية الآن يأخذ شكل المستطيل. لكن مهما كان شكل التجاعيد، يجب تثبيت الصفائح لمنع الريح من

رفعها وزلقها. وتوضع هذه الصفائح عادة بحيث تتراكب جوانبها، ولذا لا تحتاج إلى إحكام سدها إذا كان التراكب كبيراً بقدر كاف، وكان الميل كافياً لحصول تصريف ملائم للماء. وتُستعمل التجعيدات للحماية من العوامل الجوية عند حواف التراكب الجانبية لأنها تتراكب عند قمم تلك التجعيدات. وفي حالة الميول القليلة، يجب إحكام سد التراكبات الجانبية والرأسية بواسطة شرائط لُبانية لاصقة في أثناء تركيب الصفائح. ويمكن الصفائح الحديثة أن تكون مطلية بطلاءات ملونة على سبيل الإنهاء.

وتُصنع القرميدات وشرائح الأردواز من مواد ذات نفوذية مختلفة. وتُعتبر شرائح الأردواز الطبيعية والصنعية غير نفوذة، ولذا يمكن استعمالها بسماكات صغيرة. وهذه المادة صلبة ولا يمكن تشكيلها، وقوتها محدودة، ولذا تحدُّ من المسافات بين الدعامات. ونظراً إلى أن الشرائح مستوية، فإن الوصلات الجانبية يجب أن تكون وصلات تقابلية (butt joint)، مع أنه يمكن استعمال وصلات متراكبة عند الرأس. ويجب أن تكون الدعامات متقاربة لأن مقاسات شرائح الأردواز صغيرة، ولأن كلاً منها يحتاج إلى حامل. وتحدُّ سماكاتها الصغيرة من وزن الشرائح المختلفة، لكن نظراً إلى أنها مستوية وإلى أن وصلاتها هي وصلات تقابلية، فإنها توضع بتراكب مضاعف وفقاً للمبين في الشكل 2.18.



الشكل 2.18 قرميدات وشرائح أردواز – الأنواع وأنماط التراكب.

أما المواد الأخرى، مثل الصلصال والخرسانة فهي نفوذة، ولذا يُعتمد على سماكتها "لخزن" الماء أثناء هطول المطر وتصريفه في أثناء الفترات الجافة. تُشكَّل بلاطات الخرسانة والصلصال غالباً، لا لتوفِّر زيادة ملحوظة في المتانة، بل لتحقِّق مناعة من العوامل الجوية عند تراكباتها الجانبية (وأحياناً الرأسية) بحيث يمكن استعمالها في تراكب مفرد. يظهر الشكل 2.18 أنماط التراكب المفرد وأشكال البلاطات الشائعة.

لا يُحكم سد الوصلات بين البلاطات القرميدية والشرائح الأردوازية، ولذا لا تُستعمل إلا على السطوح المائلة. ويحدِّد تصميم التراكبات الجانبية والرأسية الميل الأصغري الذي يعمل عنده كل تصميم. ومع أن القرميدات وشرائح الأردواز ثقيلة نسبياً، فإنه يجب تثبيتها لمنع الريح من رفعها ودرء انزلاقها على سطح السقف المائل.

لقد شاع استعمال أغطية القرميد وشرائح الأردواز في بريطانيا للبنى ذات المقاسات الصغيرة مثل المنازل. ويعود أصل هذه الصيغة العامة إلى استعمال كثير من المواد المتوافرة محلياً التي يمكن تصنيعها بتكاليف منخفضة. وبالفعل، فإن المنازل البريطانية في كثير من المناطق تتميَّز بطغيان مواد الأسقف المتوافرة محلياً. وبرغم ظهور الإنتاج الواسع النطاق، وخاصة في الخرسانة، بقيت الصّبغة المحلية متجلية في إنهاء القرميدة ولونها وربما شكلها.

لم نناقش المواد المحلية القديمة الأخرى، ومنها الحجارة والقش والتراب، مع أنها تصنَّف ضمن واحد من أنواع المواد العامة الثلاثة. يُستعمل الحجر غالباً مثل شرائح الأردواز، لكن نفوذيته العالية تؤدي إلى أغطية سميكة وثقيلة. أما القش والتراب فهما نوعان من الغطاء المستمر النفوذ، خلافاً لمعظم المواد المستعملة اليوم، ولذا غالباً ما تكون سماكاتها كبيرة. ويتراكم ماء المطر الغزير عادة ضمن هذه المادة التي تغطي السقف المائل، لكنه يسيل بعدئذ على السطح الذي توفِّره طبقة تحتية (لحاء عادة) إلى أفاريز السقف الجانبية.

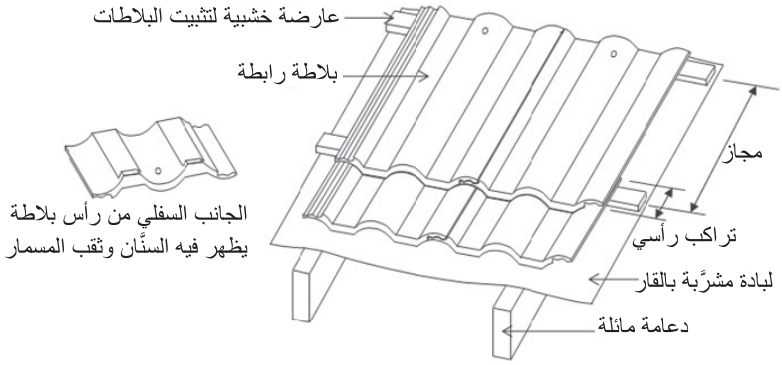
وثمة إمكان لإعادة استعمال القرميدات وشرائح الأردواز القديمة في أعمال الترميم، إلا أنها غالباً ما تُستبدل لأنها تتأثَّر بالعوامل الجوية وتتدهور حالتها إلى درجة تصبح وثوقيتها عندها موضع شك. أما في الإنشاءات الجديدة، فهي عديمة القيمة.

تراكب بلاطات الخرسانة

باستثناء بعض حالات الحماية التراثية الخاصة أو حالات التصاميم بحسب الطلب أو ذات المكانة العالية، ظهرت في التطبيقات الأخرى لبنات الخرسانة ذات التراكب المفرد بوصفها خياراً عملياً للغطاء المقاوم للعوامل الجوية في المنازل البريطانية الجديدة. فهي تمثِّل حلاً اقتصادياً مع تنوُّع في الإنهاءات والأشكال والألوان المتوافرة. وفي كثير من الحالات، صُنعت بلاطات من الخرسانة لها أشكال بلاطات القرميد والحجر المسطَّح وشرائح الأردواز يمكن أن تعطي مظهراً محلياً لغطاء السقف برغم كونها أكثر انتظاماً من نظيراتها المذكورة.

يجب قص بلاطات الخرسانة لتكوين الأوراك والوديان، وثمة حاجة إلى طيف من البلاطات الخاصة لتكوين المتون ومخارج المداخن وفتحات التهوية في السقف، خاصة تلك التي تحد من التكاثف في أحياز السقف غير المدفَّأة. وتجب العناية بتوضيع البلاطات لضمان استعمال بلاطات كاملة عند الكتف والمتن والإفريز، لأن البلاطات المقصوصة عرضة للاقتلاع بواسطة الريح، ويمثِّل ذلك خطراً خصوصاً عند الكتف.

وتصنع البلاطة الخرسانية ذات التراكب المفرد بطرازات وأشكال متنوِّعة قد تؤثر في أحجامها، وتكون من مقاسات تساوي عادة 420 × 330 مم، ويساوي وزن الواحدة منها 50 كيلوغراماً للمتر المربع عند تركيبها على الأسطح. أما البلاطات التي تُصنع بالأشكال الشائعة في القرميد، ومنها الشكل S، فتحافظ على مقاسات تلك القرميدات التي تساوي عادة نحو 380 × 230 مم، مع بقاء الوزن الكلي نفسه. ويوجد في كل بلاطة سنَّان لتعليقها بالعارضة الخشبية، ويوجد في معظمها ثقب مسمار لتثبيتها وفقاً المبيَّن في الشكل 3.18. وعندما لا تحتوي البلاطة على ثقب مسمار، وجب تشبيكها بحيث لا تقتلعها الريح.



الشكل 3.18 بلاطات متراكبة – التثبيت واللبادة المشرَّبة بالقار.

يساوي بُعدا المقطع العرضاني للعارضة الخشبية (batten) عادة 38 × 19 مم عندما يساوي التباعد بين العوارض 450 مم، و 38 × 25 مم إذا كان التباعد 600 مم. وإذا كان بُعدا البلاطة يساويان 420 × 330 مم، فإن تباعداً بين العوارض يساوي 345 مم يعطي تراكباً رأسياً بمقدار 75 مم. وفي حين أن جميع بلاطات الحواف يجب أن تُسمَّر أو تُثبَّت بملاقط، فإن عدد البلاطات الأخرى التي يجب تثبيتها يعتمد على الظروف الطبيعية المحلية، إلا أن نسبة ما منها يجب أن تُثبَّت. وقد يكون من الضروري تثبيت الحواف الأمامية من البلاطات عند الأفاريز خاصة، وعند الأكتاف الخارجية لمنع الريح من اقتلاعها.

تتصف كل أنواع بلاطات أغطية الأسقف بميل أصغري يجعلها مقاومة لعوامل الطقس، ويمكن ذلك الميل أن يتغيَّر إلى حد ما تبعاً لمقدار التراكب الرأسي. ويحدد شكل البلاطة الميل الأصغري أيضاً، وثمة أشكال ملائمة لميل يصل بصغره حتى 17,5 درجة مع زيادة في التراكب الرأسي، في حين أن ثمة أشكالاً أخرى لا يقل ميلها عن 30 درجة. تجب العودة إلى توصيات المنتجين من أجل بعض المواصفات، ومنها الميل الأعظمي. ويُحدِّد التراكب الرأسي أيضاً وزن الغطاء وتباعد العوارض الخشبية.

وما تبقَّى بحاجة إلى توصيف حتى الآن هو إمكان تسرب الماء. في أوقات هطول المطر الغزير أو المديد مع رياح نشطة، يمكن بعض الماء التسرب من خلال طبقة البلاطات. ويمكن الثلج الذي يتطاير مع الريح أن يخترق مواضع التراكب بطرائق لا يستطيع المطر بها ذلك. ويؤدي أي تلف للبلاطات أيضاً إلى

عدم تأديتها لوظيفتها من حيث مقاومة العوامل الجوية، ويمكن هذا أن يكون ضاراً على الأقل على المدى القصير في أثناء العواصف قبل التمكُّن من إجراء أي إصلاح. لذا، ولتوفير خط دفاع ثانوي تجاه تلك الظروف، يجب تثبيت العوارض الخشبية فوق طبقة لبَّادة قار. وهذا مبيَّن في الشكل 3.18. واللبَّادة هي طبقة من خَيْش القنِّب المشبع بالقار، لكنْ حلَّت محلَّها اليوم مادة بلاستيك. وثمة مواد قائمة على البوليستر، ومنها البوليثين المقوَّى أو البوليبروبيلين المجدول، يمكن أن تُصنع منها تلك الطبقة، وهي أطول عمراً وأكثر مقاومة للتمزُّق. ويمكن الحصول عليها الآن على شكل مادة نفوذة للهواء وغير نفوذة للماء، ولذا تسمح بحركة بخار الماء مقلِّصة مقاومة مرور البخار على الجانب البارد من العازل، وهذا ضروري في الأسقف غير المهوَّاة. وبرغم أن البلاطات تتراكب لضمان استمرارية الحماية من عوامل الطقس، فإنه لا يُحكم سد مواضع التراكب لأن الحيِّز تحت البلاطات مغطى تماماً ولا يُتوقَّع دخول كميات كبيرة من الماء إليه. وتتدلَّى اللبَّادة بين العوارض المائلة مكوِّنة قنوات تصريف تحت العوارض الخشبية تنتهي عند الأفاريز. وعند الأفاريز يجب الانتباه إلى تثبيت اللبَّادة جيداً مع المزراب بحيث تصل إليه كل المياه التي تسيل فوق البلاطات. وثمة مناقشة لطريقة التثبيت هذه لاحقاً في هذا الفصل.

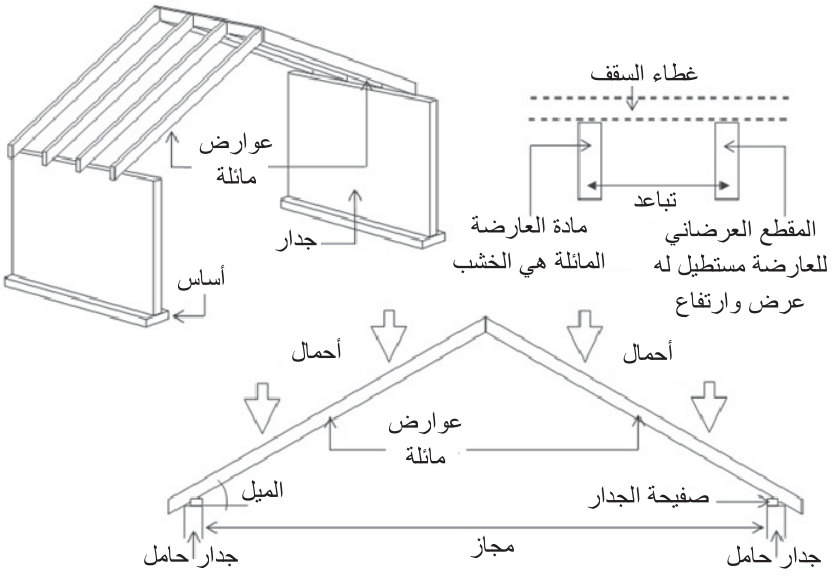
ليس من مقاصد هذا الكتاب إعطاء تفاصيل جميع خيارات تغطية الأسقف. لكنْ إذا كانت ثمة حاجة إلى استقصاء خيارات أخرى، فمن الضروري التيقُّن من فهم آلية منع تسرب الماء وكيفية تدعيم الغطاء ومفْصَلته على الهيكل الحامل، إضافة إلى بعض التحليل للأضرار المحتملة في حالة تلف الطبقة الرئيسية المانعة لتسرب الماء. فكل ذلك يحدِّد أداء هذه البنية والتحميل والحركة المسموح بهما من دون تدنِّي الأداء من حيث حماية السقف من تسرب الماء. على سبيل المثال، تُعتبر البلاطات المستوية منظومة مضاعفة التراكب وفقاً للمبيَّن في الشكل 2.18. يساوي بُعْدا هذه البلاطة 268 × 165 مم، وهي تحتوي على سنَّيْن وثقبي مسمار للتثبيت على العوارض الخشبية التي تفصل بينها مسافات تساوي 100 مم. وبرغم أن هذه البلاطة صغيرة، فإن طريقة تراكبها المضاعف تسمح بحمل يساوي نحو 80 كيلوغراماً للمتر المربع. وتُحدَّب البلاطات قليلاً للمساعدة في كسر المسارات الشعرية بينها. وتعني مقاساتها أنها يمكن أن تعمل بميل أصغري يساوي 35 درجة، في حين أنها

تعمل بزاوية قائمة جيداً باعتبارها مادة إكساء للجدران (حينئذ تُسمَّر البلاطات على الجدار).

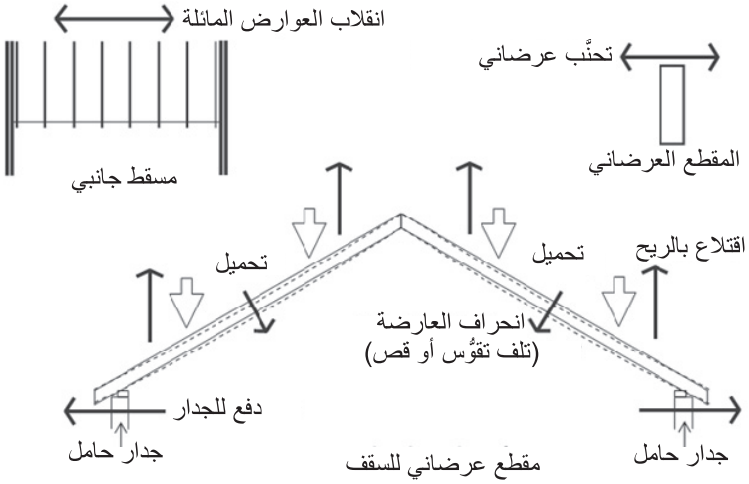
هيكل السقف

على غرار الأرضية التي تقوم على العوارض (الفصل 17)، فإن السقف المائل يقوم على العوارض المائلة. يُري الشكل 4.18 تشكيلات العارضة المائلة ومتغيراتها الأساسية. وعلى غرار حالة عوارض الأرضيات حيث يقتضي مقاس المنزل مجازات محدودة، فإن المقطع العرضاني المستطيل للعارضة الخشبية المائلة هو العامل الرئيسي في تحديد الخيار الاقتصادي. لكن، خلافاً لحالة الأرضية، يجب تدعيم العارضة المائلة وفقاً للميل المطلوب. وفي حالة السقف المائل من الجانبين، يوفِّر زوج من العوارض المائلة دعماً متبادلاً عند المتن. وبوجود أنماط التحميل والتدعيم هذه، ثمة ستة أنماط ممكنة للإخفاق الإنشائي مبيَّنة في الشكل 5.18، هي:

- انقلاب العوارض المائلة
- دفع جانبي للجدار
- تدلِّي العارضة المائلة
- التحنُّب العرضاني للعارضة المائلة
- تلف العارضة بسبب إجهادات التقوُّس والقص
- الاقتلاع بالريح



الشكل 4.18 عوارض مائلة من الخشب – التشكيلة والمتغيِّرات.



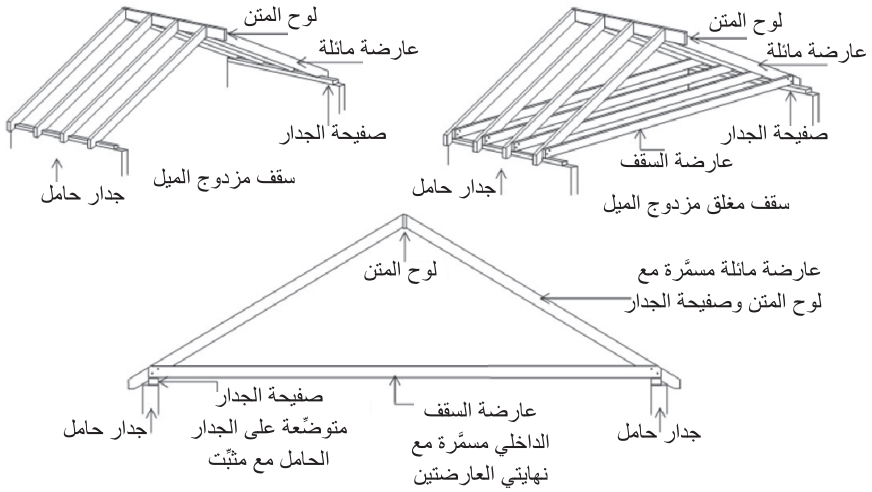
الشكل 5.18 عوارض مائلة خشبية – أنماط الإخفاق الإنشائي.

إن العوارض المائلة عرضة للانقلاب، لذا، وحتى لو كان تباعدها صغيراً، فإنها بحاجة إلى عناصر تثبيت متعامدة معها. ومع أن عوارض تثبيت البلاطات تتوضَّع في ذلك الاتجاه، فإن ثمة ضرورة لتوفير عناصر خشبية معينة لهيكل السقف. وأبسط تلك العناصر هو لوح المتن الذي يوضع بين نهايات عوارض الجانبين المائلة ويمتد على طول المتن حتى جداري واجهتي الجملون. تُعرف هذه التشكيلة بالسقف المزدوج الميل (couple roof)، وهي مبيَّنة في الشكل 6.18. وتُثبَّت نهايتا العارضتين الأخريين مع صفيحتي الجدارين (بقصهما على شكل منقار وتسميرها عليها). أما صفيحة الجدار فهي خشبة بُعدا مقطعها العرضاني يساويان 100 × 75 مم، تُضمَّن في الطينة التي تعلو الجدار. وهي تحمل نهايات العوارض المائلة وتوفِّر حاملاً أفقياً للأفاريز عند نهايات العوارض.

بزيادة مجاز السقف ونحافة الجدار، يصبح الدفع الجانبي للجدار مصدراً رئيسياً لعدم الاستقرار، وهذا ما يحد من مجاز السقف المزدوج الميل بنحو 3 أمتار. وفي حين أن من الممكن حل مشكلة انقلاب الجدار تصميمياً بجدار داعم خارجي، فإن الأفضل من الناحية الاقتصادية هو تثبيت النهايات السفلى للعوارض المائلة في الطرفين على عارضة السقف الداخلي. وهذا يعطي بنية تسمى السقف المزدوج المغلق (close couple roof) وهي مبيَّنة في الشكل 6.18. أما عارضة السقف الداخلي فتوفِّر حاملاً للسقف إضافة إلى حيِّز فيه لخزن الأشياء أو منفذاً لأعمال الصيانة، علاوة على ربط نهايات العوارض المائلة معاً وفقاً لما ذُكر آنفاً. ويؤدي ذلك إلى تقوُّس، إلا أن السلوك الإنشائي الرئيسي للسقف بمجمله هو الشد، وكي يتحقَّق ذلك يجب تثبيت العوارض المائلة وعوارض السقف الداخلية بالتسمير. أما مقاسات عارضة السقف فتتحدَّد بالتقوُّس المسموح به، وبذلك يكون مشابهاً لعوارض الأرضيات. ومن الممكن تقليص مقاسات العارضة بتجزئة المجاز بأربطة إذا أمكن توفير دعامات ملائمة لها.

ومع ازدياد المجاز أو الميل يزداد طول العارضة المائلة (وطول عارضة السقف)، وتزداد معها قوى التقوُّس. ويزداد الانحراف، ويزداد أيضاً التحنُّب العزمي العرضاني، ويزداد معهما إمكان الإخفاق النهائي بإجهادات التقوُّس

والقص. إلا أن إخفاق القص بعيد الاحتمال لأن الأحمال خفيفة والمجاز طويل نسبياً. وهذا ما يجعل الانحراف غالباً معياراً للتصميم، لأنه يحصل قبل أن يُصبح التقوُّس ممكناً. وبغية درء إخفاق الانحراف أو التقوُّس، فإن زيادة ارتفاع المقطع العرضاني للعارضة المائلة هو أفضل طريقة لزيادة مقاومة تلك القوى. وعرض مقطع العارضة مهم لأنه يحدُّ من عدم الاستقرار الناجم عن العزوم العرضانية. لكن زيادة كل من العرض والارتفاع تؤدي إلى زيادة الوزن والتكلفة. من ناحية أخرى، تساوي الحدود الاقتصادية لأبعاد بنية السقف المزدوج المغلق ذي العوارض المائلة وعوارض السقف الداخلية نحو 5 ـ 6 أمتار.

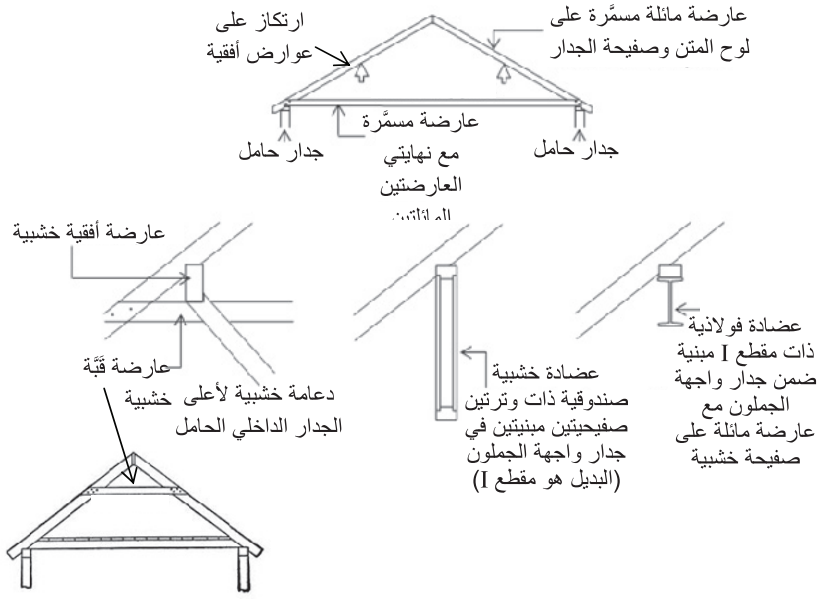


الشكل 6.18 هيكل السقف – سقف مزدوج الميل.

ثمة طريقتان أخريان لتوفير بنية ذات عوارض مائلة أطول تمكِّن من بناء أسقف اقتصادية تمتد على مجازات تزيد على 6 أمتار، هما:

- التدعيم بالعارضة الأفقية
- التدعيم بالعارضة الشبكية المائلة

والعارضة الأفقية هي عنصر متعامد مع العوارض المائلة يوفِّر ارتكازاً إضافياً وفقاً للمبيَّن في الشكل 7.18. حينئذ يجب توفير حوامل للعوارض الأفقية التي يحدِّد تكرارها طول العارضة الأفقية، وبُعْدا مقطعها العرضاني. والعارضة الأفقية أكثر تحميلاً من العوارض المائلة ولذا تستطيع توفير دعم على مجازات محدودة إذا كانت خشبية وذات مقطع عرضاني مستطيل. وفي حين أن بُعْدا مقطع العارضة المائلة يساويان نحو 50 × 125 مم، فإن بُعدا العارضة الأفقية يصلان حتى 75 × 200 مم، وهي تحتاج إلى دعائم على مسافات فاصلة تقع بين 1800 و 2400 مم. وهذا يستدعي استعمال جدار حامل داخلي لتوفير الارتكاز لعضائد من العوارض الأفقية وفق المبيَّن في الشكل 7.18، مع أنه يمكن تحميل نهايتي العارضة الأفقية على جدار واجهة الجملون.



الشكل 7.18 بنية السقف – ارتكاز على عوارض أفقية.

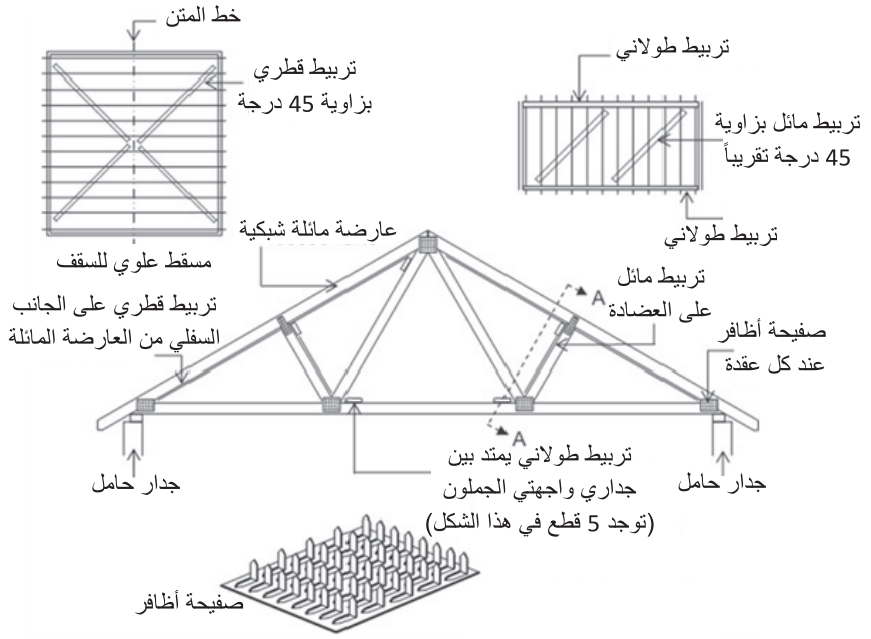
ومن الممكن استعمال عارضة فولاذية أو عارضة أفقية خشبية ذات ارتفاع كبير مصنوعة من خشب تركيبي بصيغة مقطع صندوقي أو مقطع I أو عارضة شبكية لوضعها بين جداري واجهة الجملون ومن ثم إلغاء الحاجة إلى الجدار الداخلي الحامل. وهذه الخيارات مبيَّنة أيضاً في الشكل 7.18. وفي حين أن العارضة الأفقية المصنوعة من الفولاذ تكون ذات مقطع صغير نسبياً، فإن حل الخشب التركيبي

يمكن أن يجعل العارضة ذات ارتفاع كبير، وهذا يحد من الحركة ضمن فراغ السقف. والخيار الآخر لإلغاء الجدار الداخلي الحامل هو استعمال عارضة شبكية عند كل رابع عارضة مائلة لحمل العارضة الأفقية التي تمثِّل الحامل المشترك للعوارض المائلة. وهذا يزيد من التكلفة ويحدُّ من الفراغ المتاح في السقف. يمثِّل استعمال العارضة الشبكية والعوارض المائلة حلاً قديماً استُعمل في حظائر الحيوانات ومخازن الحبوب والقاعات منذ العصور الوسطى، لكنه ليس اقتصادياً للمنازل.

أما في الآونة الأخيرة، فقد أُعيد إحياء فكرة العارضة الشبكية من خلال العوارض الشبكية المائلة. وقد أصبح ذلك ممكناً بعد تطوير صفيحة الأظافر لاستعمالها في الوصلات بين العناصر. وهذا مبيَّن في الشكل 8.18. فهي توفِّر تثبيتاً على شكل وصلات تقابلية للعناصر الخشبية، وتتصف بالمقدرة على توفير مقاومة شد كافية في الوصلة لبناء هيكل خفيف ذي وصلة مفصلية لكل عارضة مائلة (انظر الفصل 11). ومع أن من الممكن تثبيت صفائح الأظافر في الموقع، فإنها تحقِّق أقصى مزاياها الاقتصادية حين تجميعها في المعمل حتى لو ترتَّبت على ذلك تكاليف إضافية لتوريد العوارض الشبكية كاملة.

وتقود الكفاءة الإنشائية لهذه المنظومة إلى مقاطع نحيفة. وهذا يقتضي التعامل مع هذه العوارض الشبكية بعناية في أثناء النقل والتجميع، إضافة إلى إعادة تقييم استقرار بنية السقف بمجملها. ليس من الممكن هنا استعمال لوح المتن الشائع، فمقاطع الخشب النحيفة أكثر عرضة للتشويه العرضاني، خاصة تلك التي تعمل في حالة الضغط. ولذا ثمة حاجة إلى عدد من عناصر التربيط الطولاني والقطري وفقاً للمبيَّن في الشكل 8.18.

وبرغم الحاجة إلى التداول الحذر وإلى التربيط الإضافي، تبقى العوارض الشبكية المائلة حالياً أكثر الحلول اقتصادية. وقد أدت شعبيتها إلى طيف واسع من المكوِّنات التي تمكِّن من بناء أسقف ذات أوراك ووديان، وتشكيلات جملونية تسمح ببناء غرف في فراغ السقف. وقد أصبحت تصاميم الأسقف ذات المجازات التي تزيد على 12 متراً معتمَدة حالياً، ويعرض معظم المصنِّعين تصميم تصاميم خاصة وتصنيعها.

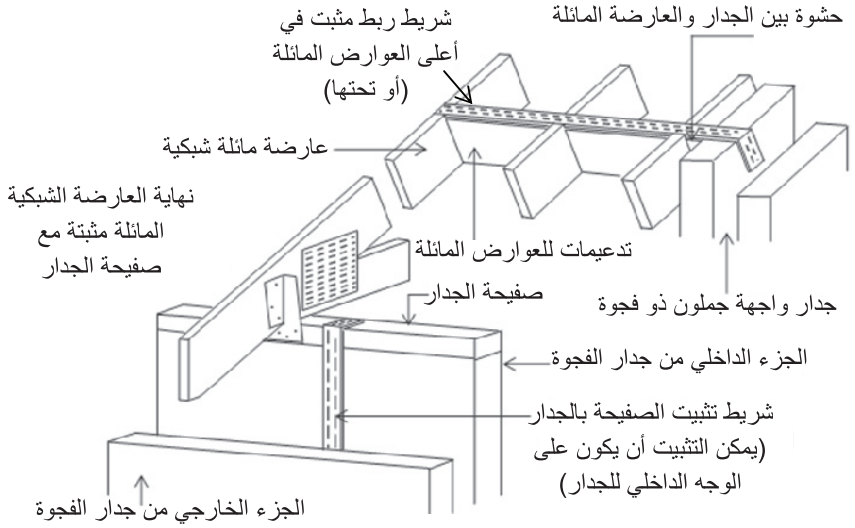


الشكل 8.18 بنية السقف – عوارض مائلة شبكية.

بعد تحديد بنية السقف بحيث تتحمَّل الأحمال العمودية، من الضروري النظر في أدائها في مواجهة الاقتلاع بالريح إلى الأعلى. إذا كانت قوة الرفع من الريح كافية لرفع الأحمال الساكنة للسقف، فإن ثمة إمكان لحصول أضرار في السقف. وإذا كانت مثبتات الغطاء كافية لمقاومة انفصال مكوِّناته عن بنية السقف، فإن مفعول ذلك هو تحرير الحمل من حيث المبدأ، ومع ازدياد سرعة الريح، يُقتلع السقف برمته. لذا يجب أخذ ذلك في الحسبان في أثناء التصميم بحيث يُربط السقف جيداً مع الجدران. وهذا شائع في الأسقف المسطَّحة، حيث تُستعمل أغطية خفيفة الوزن مع شرائط ربط مع الجدران. أما في حالة السقف المائل، فإن وزن الغطاء يجعل الاقتلاع بالرفع أقل احتمالاً إلا إذا كانت الريح شديدة جداً. لكن حيثما كان استعمال شرائط الربط ضرورياً، وجب أن يساوي تباعد الشرائط 1500 مم، وألاّ تقل أطوالها عن 1000 مم، وأن يكون التثبيت على الجدار في آخر 150 مم من الشريط. ويجب توضيع نهاية العارضة المائلة السفلى بحيث يمكن تثبيتها مع صفيحة الجدار بالتسمير أو باستعمال حاصرات فولاذية مغلفنة. وإذا استُعمل التسمير، وجب الانتباه إلى عدم إيذاء صفيحة الأظافر وتقليص كفاءتها الإنشائية.

وإذا كانت ثمة واجهة جملون للمنزل، كان جدار الواجهة عرضة لقوى الريح

أيضاً على طول حافة السقف، وتنجم عنها قوى عرضانية يمكن أن تُتلف أعلى الجدار. لكن أعلى الجدار يُجاور هيكل السقف المستقر والتام التربيط، ولذا من الممكن ربط أعلى الجدار مع ذلك الهيكل لجعله مستقراً في مواجهة تلك القوى الأفقية. يُري الشكل 9.18 مجموعتي الربط هاتين، أي ربط السقف مع الجدار عند الأفاريز وعند الأكتاف.



الشكل 9.18 بنية السقف – الربط مع الجدران الخارجية.

من الجدير بالذكر أنه إذا كانت قوة الرفع بالريح إلى الأعلى متوقَّعة، وكان هيكل السقف جيد التثبيت مع الجدران، فإن الرفع سوف يعكس مفعول العناصر الإنشائية والوصلات. وينعكس تقوُّس العوارض في الأسقف المسطَّحة، وتقوُّس العوارض المائلة في الأسقف المائلة. وينفصل سقف العوارض الأفقية الذي تعتمد وصلاته على الضغط نحو الأعلى. ويتعرَّض الجملون إلى قوى رافعة نحو الأعلى، وهذا ما يعكس القوى في كثير من عناصره. وإذا حصل ذلك، فإن العناصر التي تعمل بالشد في ظروف التحميل الطبيعية تصبح عرضة لعدم الاستقرار العرضاني، لأنها تكون غير مربوطة بحيث تقاوم قوى الضغط التي تنشأ حين هبوب رياح شديدة.

الإنهاءات الداخلية للسقف والعناصر الأخرى

يماثل إنهاء السقف العلوي من الداخل إنهاء السقف الداخلي الموجود تحت الأرضية، والحل غالباً هو نفسه. ويُري تحليل عوارض السقف الداخلي أو الوتر السفلي للجملون وجود خلفية مماثلة للجانب السفلي من للأرضية، وفقاً لما ناقشناه في الفصل 17 تحت العنوان "الإنهاءات والعناصر الأخرى" نفسه. لذا فإن حل لوح البلاستر وطلائه هو على الأرجح الحل الذي يمكن اعتماده هنا أيضاً.

قدَّمنا في بداية هذا الفصل فكرة أن تجهيزات التقاط الطاقة الشمسية أصبحت جزءاً من التصميم. ويجب وضع هذه التجهيزات على هيكل السقف، ولذا يجب الاهتمام بأحمالها في التصميم. يُضاف إلى ذلك أن مثبِّتات هذه التجهيزات وتمديداتها سوف تخترق السقف، لذا يجب الانتباه إلى عدم الإضرار به.

العزل الحراري

جرى الاهتمام في هذا المقترح حتى الآن بمنع السقف لتسرب الماء إلى الداخل، وباستقرار بنيته وبإنهاءاته الداخلية بوصفه سقفاً للغرفة التي تحته. إلا أن هذه البنية لا توفِّر مقاومة جيدة لانتقال الحرارة، ولذا تُعتبر سبباً لضياع نسبة كبيرة من حرارة المبنى. لكن من الممكن معالجة ذلك بكفاءة كبيرة باستعمال العزل الحراري.

وأفضل مكان لوضع العازل هو السقف الداخلي كي لا تحصل تدفئة للحيِّز الذي فوقه إذا لم يكن مصمماً للعيش فيه. وهذا يتطلب تغليف خزانات وتمديدات الماء الموجودة في ذلك الحيِّز بعوازل حرارية أيضاً لدرء تجمُّد الماء فيها في الطقس البارد. وبوضع العازل على السقف الداخلي، لا يستقبل ذلك الحيِّز حرارة من الغرف التي تحته، لكنه يستمر باستقبال بخار الماء. ويزيد ذلك من إمكان حدوث التكاثف على الخشب وعلى الجانب السفلي من لبَّادة القار. وفي ما يخص الخشب، فإن ذلك يمثِّل خطورة على ديمومته، أما في ما يخص لبَّادة القار فيمكن الماء المتكاثف عليها أن يتساقط على العازل. وبرغم أن من المعقول استعمال طبقة للحد من البخار تحت العازل، فإن صعوبات التركيب تجعل الحصول على طبقة فعالة غير ممكن. لذا فإن الطريقة البديلة للحد من التكاثف هي التهوية التي يمكن أن تكون أكثر وثوقية.

يجب أن تضمن هذه التهوية جرياناً جيداً للهواء عبر السقف. ويمكن الريح أن توفِّر جرياناً عابراً إذا وُضعت فتحات التهوية عند مستوى الأفاريز. لكن لضمان جريان تام للهواء يصل حتى المتن، قد يكون من الضروري وضع فتحات تهوية عند المتن، أو ضمن بلاطات قريبة منه.

ومن الممكن وضع العازل الحراري بين عوارض السقف الداخلي على لوح البلاستر، ولذا يمكن أن يأخذ شكل لِحاف أو بطانية، أو حتى ألياف غير منسوجة. وإذا كانت سماكة العازل أكبر من ارتفاع العارضة، أصبح الدخول إلى السقف صعباً لأن الأماكن الآمنة من العوارض التي يمكن الدوس عليها تصبح محجوبة عن الرؤية. وإذا كان الفراغ ضمن السقف سوف يُستعمل للمعيشة، وجب وضع العازل في مستوى العوارض المائلة مع استعمال منظومة ألواح مشرَّبة بالقار.

اعتبارات دورة الحياة

تتضمن بنية السقف التي تحرَّيناها حتى الآن خرسانة وخشباً ومكوِّنات معدنية. وهذه المكوِّنات عرضة لظروف مختلفة، لكن ليس منها ما يحقِّق حماية كاملة للجو الداخلي. ومن الواضح أن بلاطات الغطاء هي أكثر مكوِّناته عرضة للعوامل الجوية، فالمكوِّنات الخرسانية تتصف عموماً بعدم المناعة من التجمُّد أو من تغيُّر ألوانها بفعل ضوء الشمس. وتُثبَّت البلاطات بالمسامير، والمسامير الحديد تصدأ، ولذا يجب استعمال مسامير غير حديد. ومسامير النحاس أو خلائط الألمنيوم ملائمة للاستعمالات العادية، أما في البيئات القاسية، فيمكن استعمال برونز السليكون أو الفولاذ غير القابل للصدأ.

ويتعرض غطاء السقف إلى طيف واسع من درجات الحرارة على مدار العام. ونظراً إلى مواجهته السماء مباشرة، فإنه سوف يعاني من درجات الحرارة السطحية التي هي أوسع تغيُّراً من درجات حرارة الهواء بسبب التبادل الإشعاعي. فدرجة حرارة غطاء السقف تبلغ قيمة عظمى تحت شمس الظهيرة في الصيف، وقيمة دنيا في منتصف الليالي الصافية في الشتاء. ويستحث ذلك تغيُّرات في الأبعاد يجب استيعابها من دون خسارة في الأداء. وفي حين أن هذا مقلق في حالة الإنهاءات المستمرة، فإن عدد وأنواع المثبتات والوصلات المستعملة في البلاطات وشرائح الأردواز تسمح لها بالحركة في ما بينها، وهذا ما يحد من حصول إجهاد يؤدي إلى تلف المكوِّنات.

أما أكثر المكوِّنات الخشبية عرضة للعوامل الجوية فهي العوارض الخشبية التي تُثبَّت عليها البلاطات، ولذا يجب أن تكون من الخشب الطري (softwood) المعالج. وهنا أيضاً يجب أن تكون مسامير التثبيت من معدن غير حديد. وتُحمى لبَّادة القار بالبلاطات من معظم أشعة الشمس، إلا أنها تصبح أكثر هشاشة مع مرور الوقت. وهذا ما يُضعفها كثيراً، فتتدلَّى خصوصاً عند الإفريز حيث تكون محشورة تحت المزراب. وفي حين أن ذلك لا يمثِّل مشكلة كبيرة في معظم البطائن القائمة على البلاستيك الذي يقاوم الأشعة فوق البنفسجية، فإن استعمال لبَّادة القار المعهودة يقتضي حمايتها عند الإفريز بواسطة أشرطة حماية لاصقة.

لقد أصبح الجملون الرئيسي محمياً الآن من العوامل الجوية المباشرة، وبتوفُّر تهوية مناسبة لفراغ السقف، يصبح محمياً من تكاثف البخار. إلا أن فراغ السقف مفتوح للحشرات، وخاصة الخنفساء ذات القرن الطويل في بريطانيا. وتقتصر هذه الحشرة على منطقة صغيرة من بريطانيا، لكنها تستطيع إحداث أضرار تقتضي معالجة خشب السقف بمادة حافظة. وتُصنع صفيحة الأظافر التي تُثبَّت بها العوارض المائلة من الفولاذ المغلفن، لكن الأظافر تُبثق فيها بعد الغلفنة. وفي حين أن الخشب الطري لا يتفاعل مع حواف فتحات الأظافر الفولاذية المكشوفة، وأن التهوية تحدُّ من التكاثف الذي يُعزِّز الصدأ، إلا أن البناء في مناطق عالية الرطوبة، وخاصة المناطق الساحلية، يمكن أن ينطوي على إمكانات تأكُّل تلك الصفائح على المدى الطويل. في تلك الحالة، يجب استعمال صفائح فولاذ غير قابل للصدأ، أو أي نوع آخر من الحماية.

ويخضع السقف في الداخل إلى الظروف الداخلية، ولذا لن يكون عرضة إلى أضرار عالية الخطورة. من ناحية أخرى يمكن أن يحصل في بعض أنواع العازل فوق السقف الداخلي انضغاط يقلِّل من مفعول العزل، إلا أن ذلك لا يؤدي إلى تلف أساسي إذا جرت تهوية الفراغ الموجود في السقف.

وتمنع اللبَّادة التي توضع تحت اللبنات دخول الغبار والأتربة التي تثيرها الريح إلى حد بعيد، إلا أن فراغ السقف يبقى مكاناً لتجمُّع الغبار. لكن وجود الشقوق يمكن أن يؤدي إلى تعشيش الطيور والحشرات، وحتى القوارض التي تتسلَّق على أنابيب الصرف الصحي، أو النباتات التي تنمو على الجدران أو بالقرب منها. لذا تجب العناية بسد الشقوق، خاصة عند الأفاريز، وذلك بغية درء تعشيش تلك الكائنات.

وتبلغ مدة الحياة المتوقعة للأسقف ذات البلاطات الخرسانية الحديثة نحو 50 سنة. وخلال هذه المدة تحتاج إنهاءات السقف وبنيته إلى قليل من الصيانة الدورية، خاصة إعادة ضبط وضعيات بلاطات المتن والورك. أما الصيانة الرئيسية فتخص المواضع التي تحيط بالأفاريز، وذلك تبعاً للمواد المختارة. وفي أثناء ظروف الطقس العنيفة، خاصة الريح الشديدة، يمكن أن تحصل أضرار ضئيلة، ولذا يجب توفير منافذ للتمكين من إجراء الإصلاحات. قد لا يتضمن التصميم الأصلي منفذا إلى السقف لأغراض الإصلاح والصيانة، تاركاً توفيره إلى وقت الحاجة إلى الإصلاح. ومن الممكن في أثناء الإصلاح والصيانة أن يُداس على بعض البلاطات، لذا يجب أن تكون متينة بقدر كاف للارتكاز بين العارضة الخشبية والبلاطة التي في أسفلها التي تستقر عليها. وهذا يجب أن يكون منظوراً في تصميم البلاطة، ويجب أن يكون واحداً من الاختبارات المعيارية للبلاطات.

وتعني مدة الحياة التي تساوي 50 سنة أن استبدال الغطاء، إنْ لم نقل كل السقف، محتمل ضمن حياة المبنى. حينئذ، وحين اتخاذ الإجراءات اللازمة للعمل في أعلى المبنى وإزالة السقف القديم، يُجرى تركيب السقف الجديد بطريقة تركيب السقف الأصلي نفسها، باستثناء أن المنزل يكون مشغولاً في أثناء عملية التجديد. ويمكن فرز البلاطات بحيث يُعاد استعمال الصالح منها، لكن معظمها يكون قد اهترأ بفعل العوامل الجوية، ولذا يُحطَّم ويُستعمل مادة مالئة. أما أحوال العوارض الخشبية فيمكن أن تكون شديدة الاختلاف، ولذا فإن ثمة طيفاً من الخيارات لتدويرها وإعادة استعمالها بدلاً من رميها في مكبَّات الأنقاض.

تشكيل الحواف والوصلات

يتطلَّب طيف التشكيلات الذي قدَّمناه في بداية هذا الفصل طيفاً من تشكيلات الحواف والوصلات، ليست جميعاً لمبنى واحد، لكنها يجب أن تكون متطوِّرة بقدر يكفي للاختيار منها لطيف واسع من المباني. فثمة حاجة إلى مكوِّنات ووصلات عند حواف الأفاريز والأكتاف، وفي الأمكنة التي يلتقي بها سطح السقف مع المتن والورك والوديان والمزاريب الداخلية، وعند تخوم تلاقي السقف مع الجدران. وثمة حاجة إلى تلك المكوِّنات بتراكيب معينة لاختراق البنية، ومنه المدخنة أو نوافذ السقف.

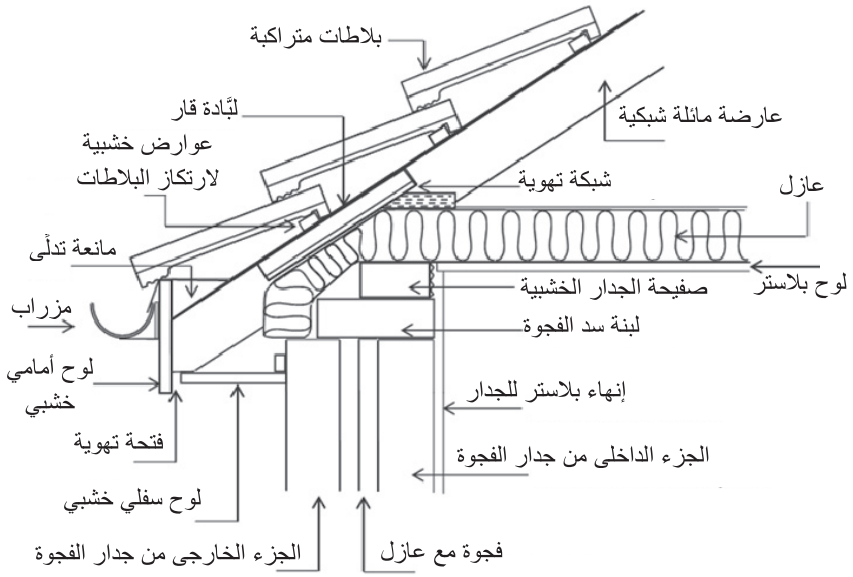
ليس من أغراض هذا الكتاب تفصيل كل تلك الأشياء، بل تحرِّي مجموعة

توضِّح السمات الأساسية لهذه الوحدات. لذا سوف نناقش ما يلي:

- الإفريز (حافة مع قناة لجمع ماء المطر)
- الكتف (حافة من دون تجميع لماء المطر)
- المتن (ملتقى السطوح في أعلى السقف)
- التخم (ملتقى السطح بالجدار)

يبين الشكل 10.18 تشكيلة إفريز شائعة لسقف ذي بلاطات خرسانة وحيدة التراكب على هيكل يقوم على عوارض مائلة شبكية مع عازل فوق لوح البلاستر الذي يتألف منه السقف الداخلي. وربما كان السؤال الأول عن مقدار بروز السقف عن الجدار الخارجي. من الواضح أن هذا يؤثِّر في المظهر، ويُؤثِّر أيضاً في تركيب وسائل الحماية من العوامل الجوية في أعلى الجدار. عادة، تتضمن المباني في المناطق ذات العوامل الجوية القاسية بروزات عريضة، لكن حتى في الظروف التي هي أقل قسوة، فإن الأفاريز العديمة البروزات أو التي تحتوي على قليل منها عرضة للرطوبة، خاصة مع تقدُّم السقف في العمر.

ويُري الشكل بروزاً إلى الخارج بمقدار 300 مم تقريباً مع لوح أمامي (fascia) ولوح سفلي (soffit). يوفِّر اللوح الأمامي غطاء لحافة السقف، إضافة إلى سطح لتثبيت المزراب عليه وركيزة مستمرة مستقيمة لحواف البلاطات. ويُثبَّت أعلى اللوح الأمامي فوق مستوى خط العوارض المائلة لحمل حواف البلاطات. وترتكز جميع بلاطات السقف باستثناء تلك التي عند الإفريز، على البلاطة التي تحتها، ويجب على اللوح الأمامي محاكاة خط الارتكاز ذاك للحفاظ على ميل البلاطة نفسه على طول الإفريز. وهذا يكوِّن فجوة خلف اللوح الأمامي تسمح للبَّادة القار بالتدلِّي وتكوين حوض خلف اللوح الأمامي يجمع الماء بدلاً من تركه يذهب إلى المزراب. تُري التفاصيل في الشكل 10.18 مانعةَ تدلٍّ توفِّر سطحاً صلباً للبَّادة التي تمتدُّ فوق اللوح الأمامي وتُبطِّن المزراب. وتبرز البلاطة حينئذ فوق اللوح الأمامي لتصب ماء المطر في المزراب. وتنجم حينئذ عن البلاطات المستوية فجوات كبيرة نسبياً فوق اللوح الأمامي مكوِّنة منفذاً للطيور التي يمكن أن تُتلف اللبَّادة. ولذا قد تكون ثمة حاجة إلى قطعة مالئة تثبَّت في أعلى اللوح الأمامي لدرء ذلك.



الشكل 10.18 الحواف والوصلات – تفاصيل الإفريز.

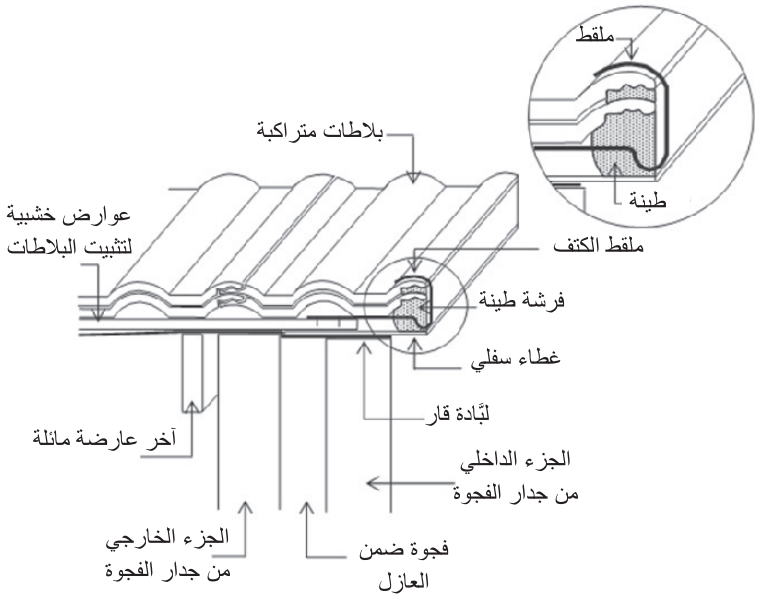
يوجد للوح الأمامي دور رئيسي في حماية الأفاريز من العوامل الجوية والتصريف الجيد لماء المطر في المزراب. أما اللوح السفلي فيخفي نهايات العوارض السفلية ويُحكِم سد الأفاريز ويمنع الطيور والحشرات الكبيرة من التعشيش، إلا أنه يحدُّ من تدفق الهواء إلى الحيِّز الداخلي من السقف الضروري للتهوية وتقليص مخاطر تكاثف البخار على الجانب البارد من العازل. يُري الشكل 10.18 فتحات تهوية بجوار اللوح السفلي وشبكة تهوية مثبتة عند أعلى العوارض المائلة فوق العازل الحراري لتوفير مسار للهواء عبر فراغ السقف. إن مد العازل حتى الإفريز ضروري للحدِّ من الجَسْر البارد عند الوصلة بين الجدار والسقف.

ويتكوَّن اللوحان الأمامي والسفلي هنا من الخشب الذي يحتاج إلى إنهاء، هو الدهان عادة. ومع أن كل المجموعة تبدو مكشوفة، إلا أن اللوحين الأمامي والسفلي يحتاجان إلى حماية خاصة من العوامل الجوية، وتجب صيانتهما. وقد أدى ذلك غالباً إلى عدد من البدائل البلاستيكية لاستعمالها في صنع هذه الألواح، إلا أن التكاليف الأولية لتلك البدائل وصعوبة تثبيتها تجعل من الخشب الخيار الرئيسي للمنازل الجديدة.

ويحصل انتقال الحمل من السقف إلى الجدار أيضاً عند الأفاريز، ولذا يجب

أخذه في الحسبان في هذه التشكيلة. وترتكز العوارض الشبكية المائلة على صفيحة الجدار. وهذه صفيحة خشبية توضع على فرشة من الطينة فوق اللبنة التي تسد أعلى فجوة الجدار. وهذا يوفر سطحاً أفقياً مستوياً لضمان استواء حافة السقف إضافة إلى نقل متجانس للحمل إلى الجدار. في الشكل 10.18، تتوضَّع صفيحة الجدار ولبنة سد الفجوة على الجزء الداخلي من جدار الفجوة، وبذلك تنقلان حمل السقف إلى ذلك الجزء من الجدار. وهذا ما يجب أخذه في الحسبان في اختيار تشكيلة ومواد الجدار الواردة في الفصل 19. وبغية الوضوح وعدم جعل الشكل مزدحماً، لا يظهر فيه تثبيت العوارض الشبكية المائلة مع صفيحة الجدار الضروري لحماية السقف من اقتلاعه بالريح عند الأفاريز وفق المبيَّن في الشكل 9.18.

ويبين الشكل 11.18 تفاصيل شائعة تخص كتف جدار واجهة الجملون النهائي. ومن هذه التفاصيل كتف ذو بروز يساوي 50 مم من دون لوح سفلي أو أمامي. أما فرشة الكتف فهي طينة إسمنتية وذلك لسد حافة البلاطة ومنع دخول الماء. وتُستعمل البلاطات ذات البروزات أو مكوِّنات التغطية الأخرى للحفاظ على الكتف جافاً. وقد طُوِّرت هذه البلاطات لدرء سقوط الطينة من بين البلاطات، ومن ثَمَّ الحاجة إلى الصيانة على المدى البعيد.



الشكل 11.18 الحواف والوصلات – تفاصيل الكتف.

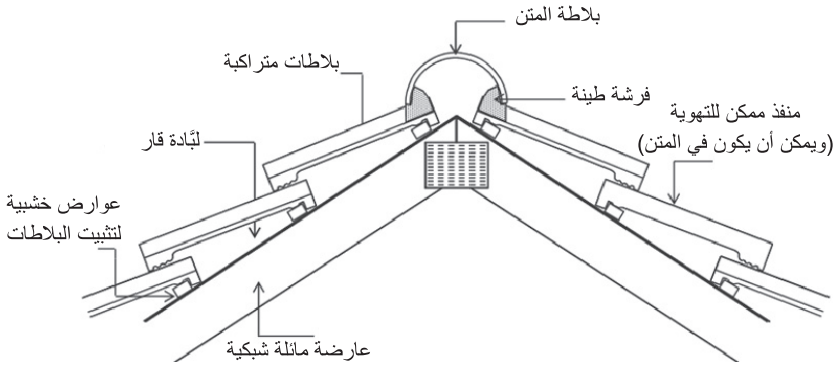
ومن الممكن أن يكون ثمة بروز مشابه لذاك الموجود في الإفريز، إلا أن ذلك يتطلب بنية إضافية لحمل البلاطات فوق الجدار. وتنشأ المشكلة لأن آخر المثبِّتات الفعالة للعوارض الخشبية التي ترتكز عليها البلاطات هي العارضة المائلة عند الجانب الداخلي من الجدار المتوضِّعة على بعد نحو 50 مم من الجدار. وإذا أُنهيَت البلاطات ببروز صغير يساوي 50 مم فقط عن الجدار الخارجي، أمكن العوارض الخشبية الممتدة فوق الجدار توفير ارتكاز كاف. أما إذا كان المطلوب بروزاً أكبر عند الكتف، وجب تثبيت سلم لواجهة الجملون على آخر عارضة مائلة ومدِّه فوق الجدار لتوفير ارتكاز لكل من اللوحين الأمامي والسفلي. وحينئذ يمكن اختيار إنهاء جاف أو مكوَّن من فرشة طينة للكتف، لكنْ هذه المرة مع بروز يساوي 50 مم فوق اللوح الأمامي، لا الجدار.

وتُري التفاصيل الرئيسية في الشكل 11.18 العارضة المائلة الأخيرة مع لبَّادة القار متوضِّعتين فوق الجدار، والعوارض الخشبية ممتدة إلى نحو منتصف المسافة عبر الجزء الخارجي من الجدار لتوفير ارتكاز لآخر بلاطة. في هذه التشكيلة، يجب قص لبنات الجدار الخارجي بخط مستقيم لتوفير سطح يتوضَّع عليه الغطاء السفلي. ويتألف هذا الغطاء من لوح رقيق صلب من مادة إسمنتية مقوَّاة بالألياف غالباً، يوضع بين اللبَّادة والعوارض الخشبية. ويوفِّر هذا الغطاء السفلي سطحاً مرئياً مستوياً لأعلى الجدار إضافة إلى كونه مرتكَزاً لمادة الطينة، ولذا يجب أن يكون مستقراً من حيث الأبعاد للحفاظ على سلامة إحكام سد حواف البلاطات إذا سقطت الطينة اللاصقة.

ولتوفير حماية إضافية للبلاطات من الاقتلاع بالريح، تُثبَّت ملاقط على العوارض الخشبية ثم توضَّع البلاطات على الطينة وتُسمَّر، وتُضغط مادة الطينة وتُنهى لتعطي البلاطات حافة نظيفة. وللمساعدة على توضيع البلاطات وتجنب قصها، توجد أنصاف بلاطات، ويمكن البروز أن يأخذ قيماً بين 38 و 50 مم. وفي بعض التشكيلات، توجد بلاطات يسارية من دون أخاديد التشابك اليسارية التي يمكن لولا ذلك أن تكون مرئية عند حافة الكتف.

ويُري الشكل 12.18 تشكيلة شائعة للمتن. وعلى غرار الكتف، يظهر هنا متن ذو فرشة من الطينة، إلا أن ثمة منظومات متن جافة متوافرة لبعض أشكال البلاطات. ويُري الشكل بلاطة متن نصف دائرية (من دون ثقب مسمار) متوضِّعة على طينة فوق البلاطات التي سوف تُسمَّر على العوارض الخشبية. ويساوي طول

بلاطة المتن 450 مم، وهي ذات وصلات تقابلية ويجب أن تثبَّت بصلابة عند الوصلات لمنع تسرب الماء وتحقيق تثبيت كامل. وإذا كان شكل البلاطة ذا تقوُّس كبير، أمكن لسماكة فرشة الطينة أن تصبح كبيرة وعُرضة للسقوط والانكماش. ويُدرأ ذلك بقطع صغيرة من البلاط التي تُحشر ضمن الطينة وتظهر عادة على شكل زينة لخط المتن. وإذا كانت ثمة حاجة إلى تهوية عند المتن، أمكن استعمال بلاطات مخصَّصة لذلك. أما لبَّادة القار التي يجب أن تكون مستمرة تحت المتن، فيجب أن تُقص حينئذ وتُلف حول المجرى الداخلي القصير الذي يصل بين منفذ التهوية وداخل حيِّز السقف.



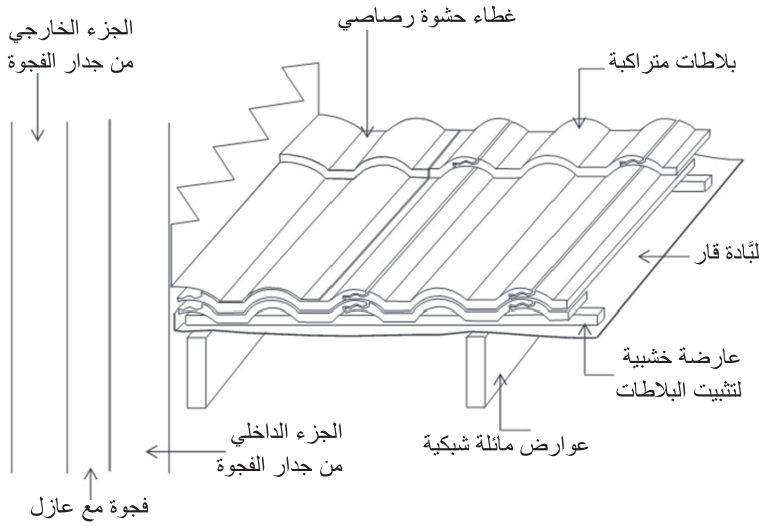
الشكل 12.18 الحواف والوصلات – تفاصيل المتن.

أما التشكيلة الأخيرة، أي التخم، فهي مبيَّنة في الشكل 13.18. والمكوِّنات الإضافية في هذه التشكيلة هي الحشوة المعدنية. تُصنع هذه الحشوة عادة من الرصاص، وهي تسد الوصلة بين البلاطات والجدار. وفي حالة البلاطات الخرسانية ذات الشكل المقوَّس الشائعة في التراكب الوحيد الطرف، من المعتاد استعمال غطاء أو حشوة فوقية حيث يوضع الرصاص على البلاطة، وفوق الجزء المتقوِّس منها، وفوق قناة تصريف الماء الطبيعية المتكوِّنة من شكل البلاطة. وحيثما لا يوجد تقوُّس في البلاطة، كما في البلاطات المستوية، يجب استعمال مزراب مخفي أو بالوعة (غير مبينة في الشكل).

ومهما كانت وضعية الحشوة المعدنية في مستوى البلاطات، يجب إحكام سد الفجوة بينها وبين لبنات الجدار. ويتحقَّق ذلك بتدريج أعلى الحشوة وطي الحواف

الأفقية على وصلات اللبنات المنحدرة بعمق 20 مم لتستقبل الرصاص الذي يُثبت بخوابير رصاصية ثم يوجَّه ليتوافق مع بقية اللبنات. وإذا كانت المادة المواجهة للجدار لا توفِّر وصلة طبيعية لطي الرصاص عليها، وجب حفر أخدود لهذا الغرض.

وتُرفع لبَّادة القار عند أسفل الحشوة المعدنية على الجدار، وتُسند البلاطات على الجدار. ويمكن قص البلاطات لتحقيق الاستواء إن لزم الأمر شريطة أن تكون البلاطات مثبتة، وأن تغطي الحشوة المعدنية الانحناءة.



الشكل 13.18 الحواف والوصلات – تفاصيل التخم.

عمليات الإنتاج

تُبنى الأسقف في أعلى المباني، ولذا ثمة حاجة إلى منصة عمل آمنة يقف عليها العمال في أثناء تحضير وتركيب المواد والمكوِّنات ضمن الهيكل النهائي. ويجب أن تكون ثمة منافذ آمنة إليها لكل من العمال والمواد والمكوِّنات.

وقبل بدء العمل بالسقف، يجب أن تكون الجدران منجزة حتى صفيحة الجدار وبشكل أدق لا بد من إتمام الإنهاء الداخلي للجدار. وفي حالة جدار الفجوة، ليس من المعقول بناء الجدارين الخارجي والداخلي كل على حدة، لكن إذا كانت الطبقة الداخلية من الجدار مكوَّنة من لوحات خشبية مؤطرة، فتُشاد البنية بكاملها قبل بناء الجدار الخارجي. لذا فإن السقالة المستعملة لبناء الجدار سوف

تكون موجودة لتوفِّر حينئذ مدخلاً آمناً ومنصة عمل للأعمال التي تجرى عند حافة السقف.

أما تسلسل الأعمال الأساسية فهو تشييد الهيكل وإنجاز تركيب الخشب عند الأفاريز والأكتاف، وبعدئذ يجري تركيب البلاط. ثم يجري تركيب السقف الداخلي مع الإنهاءات الأخرى. أما العازل فيجب تركيبه بعد تثبيت السقف الداخلي.

وتورَّد جميع المكوِّنات إلى موقع العمل محضَّرة بدرجة ما. وتأتي العوارض الشبكية المائلة من المعمل مجمَّعة، إلا أن نهاياتها يجب أن تُقص لتتوافق مع تفاصيل البروز عند الأفاريز. أما الأجزاء الخشبية الأخرى، ومنها اللوحان الأمامي والسفلي فتورَّد بأطوال كاملة وتقص في الموقع وفقاً للحاجة. وفي ما يخص العوارض الخشيبة التي تُثبَّت البلاطات عليها، فتُشرَّب في المعمل بمادة حافظة تحت الضغط. وتورَّد اللبَّادة ورصاص الحشوة المعدنية على شكل لفائف. وتورَّد البلاطات والمزاريب مع ملحقاتها من المثبتات وغيرها معاً، إلا أن المكوِّنات الرئيسية (البلاطات والمزاريب) قد تحتاج إلى قص في الموقع لتحقيق التوافق في ما بينها.

يجب تداول جميع المكوِّنات وخزنها في موقع البناء. ولعل العوارض الشبكية المائلة هي أكثر المكوِّنات عرضة للأذى. فقد يحصل ضغط زائد على الوصلات في أثناء خزنها، وعلى وجه الخصوص في أثناء نقلها. وإذا جرى حمل الجملون من قبل العمال، وجب أن يكون الرفع عند وصلات الإفريز وأن يكون الجملون في الوضعية القائمة. فهذا يضمن أن الإجهادات فيه سوف تكون كتلك التي تحصل حين وضعه في مكانه النهائي. وهذه وضعية الخزن أيضاً، حيث يجب أن تكون نقاط الارتكاز في المستوى عينه وعند وصلات الأفاريز. أما الحَمل بالرافعات فلا يمكن أن يكون من وصلات الأفاريز غالباً، ويجب دائماً أن يكون عند نقاط العقد الإنشائية مع حبل توجيه.

وفي ما يخص المكوِّنات الأخرى، يجب درء أذيتها وتلفها من خلال ظروف الخزن الجيدة والتداول بعناية. وعلى وجه الخصوص، يجب الاهتمام، في إجراءات تخطيط موقع العمل، بمخاطر السقوط من السقف، والمخاطر المقترنة بالأماكن المخصَّصة لنقل الآلات ورفع المكوِّنات.

الأسقف المسطَّحة

في ضوء نهج دراسة الحالة المتبع في هذه الفصول، ليس من المحتمل استعمال الأسقف المسطَّحة في المنازل البريطانية في بداية القرن الحادي والعشرين، ولذا لن نُسهب بتفاصيلها في هذا الكتاب. صحيحٌ أن الأسقف المسطَّحة تتطلَّب تكاليف أولية منخفضة، إلا أن ذلك لا يتحقَّق إلا باستعمال الأغطية المستمرة الرخيصة نسبياً، ومنها اللبَّادة الثلاثية الطبقات. أما في حالة الأغطية المستمرة الأخرى الغالية، فتصبح التكلفة الكلية للسقف المسطَّح أعلى من تكلفة السطح المائل المكافئ. يُضاف إلى ذلك أن اللبَّادات الثلاثية الطبقات لا تدوم أكثر من نحو 15 ـ 20 سنة، وهي أكثر عرضة للأذية بسبب الحركة والعوامل الجوية، وهذا ما يجعلها أقل وثوقية وأغلى صيانة. لذا، فإن أي تكلفة أولية منخفضة ليست سوى اقتصاد زائف إذا كان المال متوافراً عند تشييد المنزل.

ومع ذلك، فإن السقف المسطَّح الجيد التنفيذ ذا المواصفات الجيدة، يمكن أن يكون حلاً عملياً. ووفقاً لما أشرنا إليه في بداية هذا الفصل، يقوم السقف المسطَّح على بنية ذات عوارض على غرار الأرضية، إلا أنه يجب أن يكون مائلاً قليلاً لتصريف ماء المطر في المزاريب. ويتحقَّق هذا إما بإمالة العوارض (وهذا ما يؤدي إلى سقف داخلي مائل)، أو بوضع عوارض خشبية متدرجة السماكة فوق العوارض. ويجب أن تكون الألواح التي سوف توضع عليها الطبقة المانعة لتسرب الماء مقاومة للرطوبة. وعندئذ يمكن أن تُوفَّر حماية لسطح الغطاء المانع لتسرب الماء من العوامل الجوية المباشرة ومفاعيل الحرارة السطحية، وذلك باستعمال طبقة عليا بيضاء عاكسة للضوء تُصنع عادة من شرائح فاتحة اللون.

وحين عزل السقف المسطَّح يجب الاهتمام بمشكلات التكاثف، لأن الطبقة المانعة لتسرب الماء مقاومة لمرور البخار أيضاً وتحجز في المحصلة كل البخار ضمن السقف. لذا إذا وُضع العازل بين العوارض، وجب ترك فجوة تهوية مقدارها 50 مم فوق العازل. لكن صعوبات تثبيت وتفصيل حواف طبقة الحد من تكاثف البخار تحت العوارض تجعل منها غير فعالة نسبياً. فالسقف الذي يحتوي على عازل بين العوارض معروف بأنه بارد لأن الألواح تتوضَّع على الجانب البارد من العزل. أما البديل المعروف بحل السقف الدافئ، فيمكن أن يُعتمَد حينما يكون العازل فوق الألواح. حينئذ يمكن جعل طبقة الحد من التكاثف الموضوعة فوق الألواح أعلى كفاءة، ويمكن جعل حيِّز العوارض تام التهوية. وثمة حل قليل

التكاثف أيضا يسمى السقف المقلوب، وفيه يوضع العازل فوق طبقة الحماية من العوامل الطبيعية. حينئذ يبقى المبنى كله دافئاً وتزول مشكلة التكاثف. إلا أن العازل أصبح الآن في الخارج، ولذا يجب تحرِّي امتصاصه للماء ومقاومته للصدمات الناجمة عن التحميل في أثناء أعمال الصيانة، وهذا ما يحد من أنواع مادة العازل التي يمكن استعمالها. ثمة مناقشة لهذه الخيارات في الفصل 29 في المقطع الخاص بتشييد السقف.

الخلاصة

1. يهيمن ميل السقف ومجازه على اختيار غطائه وهيكله.

2. يحتاج السقف إلى عزل لمقاومة انتقال الحرارة، وقد يتطلب أن يتصف غطاؤه بشيء من مقاومة الحريق. وإذا استُعمل الفراغ الموجود ضمنه مكاناً للإقامة فيه، كانت ثمة حاجة إلى إضاءته بواسطة النوافذ والمصابيح الكهربائية.

3. يُعتبر السقف المائل الحل الأوفر حظاً في دراسة الحالة هذه، لأنه يمثِّل المظهر المألوف للبيت البريطاني. وقد بيَّنت مشكلات حديثة ظهرت في الأسقف المسطَّحة أن السقف المائل يمثِّل بنية منيعة.

4. برغم أنه يمكن استعمال أغطية مستمرة كبيرة، فقد هيمنت البلاطات (وشرائح الأردواز) على السقف المائل الشائع في بريطانيا. وقد كانت بلاطات الخرسانة المتراكبة من طرف واحد أكثر الحلول اقتصادية في دراسة الحالة.

5. ونظراً إلى تنوُّع ألوان وأشكال البلاطات الخرسانية المتراكبة، والتي يقوم بعضها على أشكال القرميدات المعهودة، إضافة إلى ملاءمتها للميول المختلفة، فإنه يمكن استعمالها في معظم الحالات.

6. تقوم بنية السقف المائل على العوارض الخشبية المائلة. وثمة طرائق مختلفة لتجميع العوارض المائلة على نحو آمن بالميل المطلوب لطيف من المجازات الشائعة في المنازل موضوع دراسة الحالة هذه. ومع أن الحلول القائمة على العوارض الأفقية قد استُعملت في الماضي، فإن العوارض الشبكية المائلة تمثِّل حلولاً اقتصادية شريطة تحقيق تفاصيل التربيط والتثبيت وشروط التداول الصحيح في أثناء عملية الإنتاج.

7. يوفِّر هيكل السقف الكامل التربيط خلفية لتثبيت السقف الداخلي المكوَّن

من لوح بلاستر، إضافة إلى تثبيت الجدران الخارجية عند واجهتي الجملون. لكن هذه البنية قد تكون عرضة للاقتلاع بالريح ولذا تحتاج إلى ربط بالجدران عند الأفاريز.

8. يمكن وضع العازل الحراري على الأرجح بين عوارض السقف الداخلي، حيث تُمِكن تهوية فراغ السقف البارد لتقليص مشاكل التكاثف.

9. من غير المحتمل أن تدوم إنهاءات السقف طوال مدة حياة المنزل، ولذا سوف يكون من الضروري استبدالها. ومع ذلك يجب أن تضمن إنهاءات السقف متطلبات الحفاظ على ديمومته ومنع تعشيش الحشرات والحيوانات فيه ودخول كميات كبيرة من الغبار والأتربة إليه.

10. كي تكون تشكيلات الأسقف المتنوعة ملائمة لأشكال المباني المختلفة، ثمة حاجة إلى عدد من الوصلات وإنهاءات الحواف. يجب وضع تفاصيل لإنهاءات الأفاريز بحيث يُصرَّف الماء في المزاريب. أما الأكتاف، فلا توجد فيها مصارف للماء المتجمِّع. ويجب اختيار التفاصيل أيضاً للمتون والأوراك والوديان حيث تتلاقى سطوح السقف، وللتخوم حيث تتلاقى سطوح السقف مع الجدران.

الفصل التاسع عشر

الجدران

نستقصي في هذا الفصل الجدران الخارجية ذات الفجوة، وجدران الفصل وجدران التقسيمات الداخلية. ونقدِّم متطلبات أدائها مع تحليل لبنيتها، في كل من الصيغة الحجرية الخرسانية وصيغة المؤطَّرات الخشبية، وصولاً إلى التفاصيل والمواصفات النموذجية لكل منهما.

أنواع الجدران من حيث وظائفها

تمثِّل الجدران جزءاً رئيسياً من بنية المنزل في دراسة الحالة هذه، فهي تقوم بطيف واسع من الوظائف الإنشائية والبيئية التي عليها تأديتها. وتُعطى الجدران أسماء مختلفة تبعاً لتلك الوظائف التي تؤديها ضمن الإطار العام للتصميم، الذي يرتكز على مجموعة الوظائف المطلوبة.

نحن نتكلم عن الجدران الحاملة والجدران غير الحاملة عادة اعتماداً على مسارات انتقال الأحمال الساكنة والمفروضة. لكن هذا التعريف محدود بتلك الأنواع من الأحمال، في حين أن الاستقرار الشامل على صلة بالتحميل الناجم عن الريح، واستقرار مكوِّنات المبنى غالباً ما يعتمد على الجدران التي يمكن ألا تكون حاملة لأحمال مباشرة من المبنى ومن شاغليه. إن كثيراً من الجدران التي توصف بأنها غير حاملة هو جزء من البنية الإنشائية لأنها عرضة للإجهاد في بعض الظروف.

ومن ناحية بيئة المبنى نتحدث عن جدران خارجية (external wall)، وجدران فاصلة (separation wall) (أو مشترَكة (party wall))، وجدران تقسيمات داخلية (partition wall) (جدران داخلية)، حيث لكل منها مجموعة من الوظائف التي تحدد اختيار بنيتها. وفي ضوء ظروف التعرُّض للعوامل الجوية في دراسة الحالة هذه، تظهر الحاجة إلى الجدران الخارجية التي تحمي من العوامل الجوية وتوفِّر

العزل الحراري الذي يمنع انتقال الحرارة. وتوجد في تلك الجدران فتحات مثل النوافذ والأبواب التي تحقِّق وظائف الدخول والخروج والإضاءة وتوفِّر المشهد الخارجي والأمن والتهوية. إلا أن إجراء الفتحة في الجدار الخارجي محكوم بالحاجة إلى الحفاظ على وظيفته. فأداء النوافذ والأبواب محدود من حيث القوة والعزل الحراري، وهما وظيفتان تُضمَّنان بعناية في بنية الجدار الخارجي الأساسية.

أما الجدران الفاصلة، أو المشترَكة، فهي تلك التي تقع بين منزلين من مجموعة منازل متصلة أو نصف منفصلة. ولا توجد في هذا الجدران فتحات، وهي لا تحتاج إلى حماية من العوامل الجوية، بل يجب أن تحقِّق وظائف الأمن والخصوصية من حيث مقاومة انتشار الحريق والعزل الصوتي. أما الجدران الداخلية ضمن المنزل فهي جدران للتقسيم. ثمة حاجة إلى فتحات في هذه الجدران، إضافة إلى أن متطلبات الأمن والخصوصية تهيمن عليها. وحجبها لرؤية ما وراءها ليس كافياً، بل يجب أن تتصف بشيء من مقاومة انتشار الحريق والصوت، ويجب أن تكون متينة وقادرة على حمل الإنهاءات والخُزُن والرفوف والخدمات الأخرى.

الصيغ العامة

نتحدث أيضاً عن الصيغ العامة للجدران بعدد من الطرائق المختلفة. إن أحد أوجه التفريق في بناء المنازل بين الجدران من حيث مقاومة العوامل الجوية هو كون الجدار الخارجي ذا فجوة أو أصماً (يجب الانتباه إلى الفرق بين فجوة العزل الصوتي وفجوة العزل الحراري اللتين تُستعمل لهما معايير مختلفة). لقد اكتسب جدار الفجوة الخارجي قبولاً شاملاً تقريباً، برغم عودة الاهتمام بالجدار المصمت من حيث زيادة عزله، وبالأفكار الأخرى ذات الصلة بتخفيض استهلاك الطاقة، وربما بالقبول الواسع له باعتباره إنهاءً خارجياً، وإنْ كان كل ذلك بانتظار أن يتحوَّل إلى واقع واسع الانتشار.

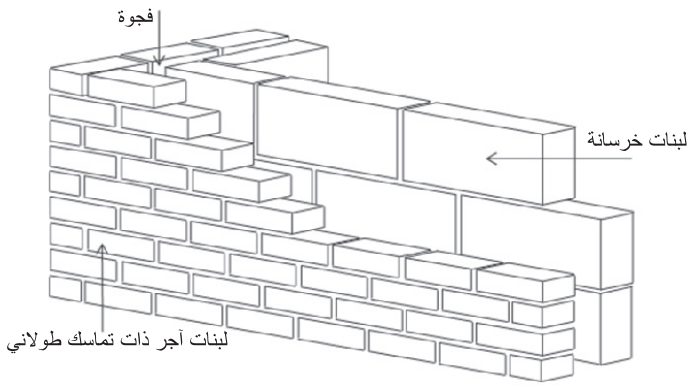
ثمة ثلاث صيغ عامة يمكن أن تُستعمل في تشييد جدار الفجوة والجدار الأصم، هي:

- الجدران المبنية (masonry wall)
- جدران اللوحات (panel wall) (المؤطَّرة أو المصمتة)
- الجدران الوحيدة العنصر (monolithic)

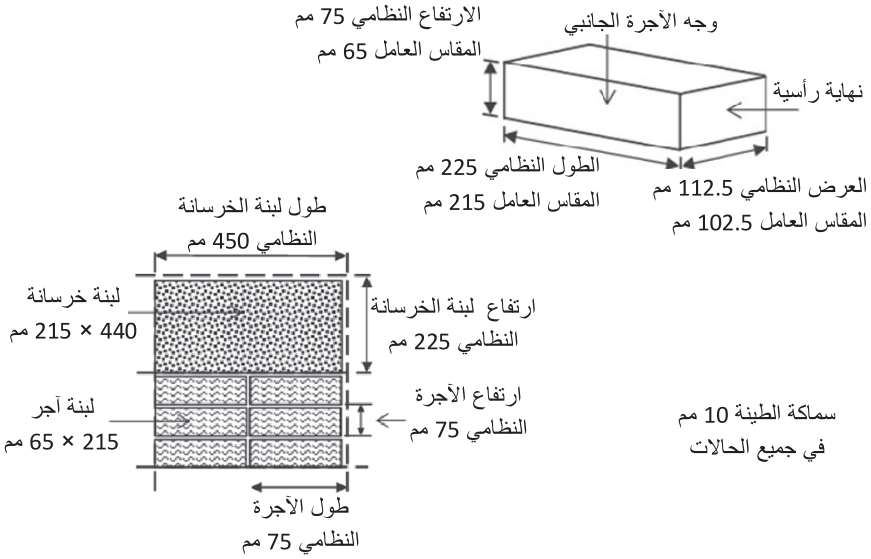
الفارق الأساسي بين هذه الصيغ هو مقاسات المكوِّنات وطرائق توضيعها مكانياً، ومنها تتحدَّد أنواع موادها وطرائق إنتاجها وتركيبها. يجب أن تتوافر لجميع

الجدران صيغ مستمرة، وإذا كانت جدران حاملة، وجب أن تحقِّق توزيعاً متجانساً للأحمال على البنية التي ترتكز عليها. ويجب أن توفِّر استمرارية في ضبط البيئة، إضافة إلى توفيرها لإمكان إحداث فتحات فيها.

وتتصف الصيغة المبنية بثقل المواد التي يتألف منها الجدار، ومنها الحجر ولبنات الآجر والخرسانة، وهي مكوِّنات صغيرة عادة مقارنة بأبعاد الجدار، وذات شكل منتظم يساعد على تكوين أنماط مترابطة توفِّر الاستقرار والاستمرارية. ويختلف اختيار المواد ومقاسات وانتظام أشكال المكوِّنات كثيراً من حيث الخواص والمظهر والتكلفة. ونظراً إلى ثقلها، كانت المواد المتوافرة محلياً تُختار في الماضي على أسس اقتصادية قائمة على تكلفة النقل، وأدى ذلك إلى طرازات ذات صبغة متميِّزة جغرافياً. لكن مع ظهور طرائق التصنيع الحديثة ووسائل النقل المنخفضة التكلفة نسبياً، غدت لبنات الآجر والخرسانة الخيار المفضَّل في معظم مناطق بريطانيا. يُري الشكل 1.19 جداراً خارجياً ذا فجوة، طبقته الداخلية مكوَّنة من لبنات خرسانية، وطبقته الخارجية مكوَّنة من لبنات آجرية. تَتَّخذ لبنات الآجر والخرسانة مقاسات منتظمة نسائقية، وتُضاف إلى تلك المقاسات سماكة الطينة التي تساوي 10 مم، وهي تسمح بتكوين أنماط الربط المتراكب باستعمال لبنات الخرسانة والآجر في الجدار عينه وفقاً للتشكيلة الأساسية المبيَّنة في الشكل 2.19. وفي حالة الآجرة، ينطبق هذا الانتظام على بعدها الثالث أيضاً. يساوي عرض لبنة الآجر 112,5 مم، وهو نصف طولها، وهذا ما يسمح ببناء جدران أسمك بوضع الآجرة بطريقة عرضانية. يبين الشكل 2.19 انتظام تلك الأبعاد. أما لبنات الخرسانة فهي ليست ثابتة في البعد الثالث، بل تتوافر بسماكات بين 75 و 200 مم.



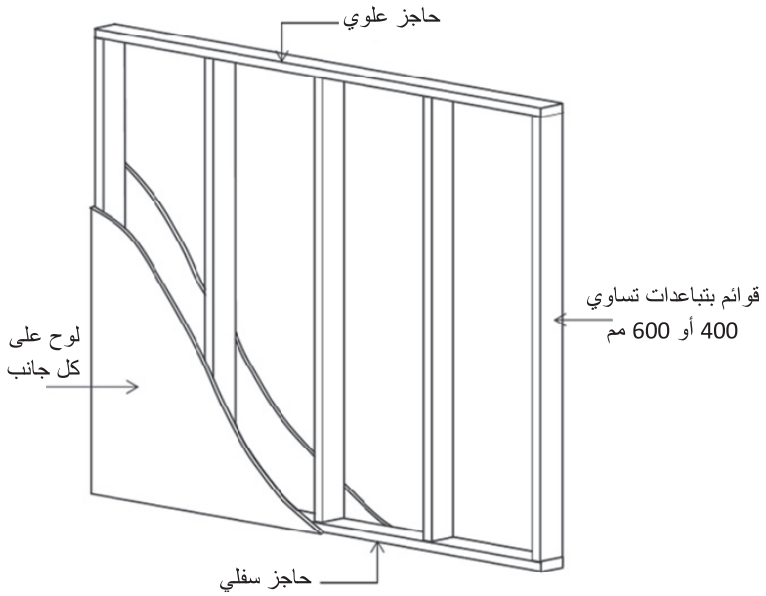
الشكل 1.19 جداران مبنيان من لبنات خرسانة وآجر.



الشكل 2.19 مقاسات لبنتي الآجر والخرسانة النظامية.

ويمكن توفُّر المواد محلياً أن يؤثِّر في اختيارها في مناطق المحميات، ويمكن اليوم أن يقلِّص انخفاض تكلفة نقل المواد المحلية استهلاكَ الطاقة (بدلاً من التكلفة)، ولذا يمكن أن يُسهم في التنمية المستدامة.

أما جدران اللوحات فهي بنى ارتفاعها يساوي ارتفاع طابق واحد ويمكن تشييدها في مكانها، أو يمكن أن تكون مسبقة الصنع على شكل لوحات ذات عرض منتظم تُجمع معاً لتكوِّن جدراناً مختلفة الأطوال وتلائم التصميم وقيود المكان. وتمثِّل اللوحات المؤطَّرة المكوَّنة من مقاطع خشبية أو فولاذية خفيفة أساس كثير من المنظومات المسبقة الصنع التي يمكن طلبها من المعمل وتركيبها وتجميعها في الموقع. يبين الشكل 3.19 الصيغة الأساسية للوحات الخشبية المؤطَّرة. ويمكن أيضاً صنع لوحات مصمتة مسبقاً، باستعمال الخرسانة عادة، إلا أنه جرى في الآونة الأخيرة تطوير بنى ذات طبقة بينية (sandwich structure) تحقِّق قيم عزل حراري كبيرة من دون حدوث جسور باردة، وذلك بوضع مادة عازلة مصمتة بين لوحي خشب تركيبي. هنا يجب الانتباه جيداً إلى وصل اللوحات المصمتة معاً.



الشكل 3.19 جدار مؤلف من لوحة ضمن إطار خشبي.

صحيحٌ أن جدران اللوحات تمثِّل أساساً لبعض أكثر المنظومات المنزلية المسبقة الصنع تطوُّراً، فقد كانت في الماضي تُصنع في الموقع وتُرفع إلى مواضعها، وكان لذلك بعض المزايا من حيث تكاليف التحضير والنقل، إلا أن ذلك لم يعُد متَّبعاً اليوم.

ووفقاً لما توحي به التسمية، فإن مكوِّن الجدار الوحيد العنصر هو الجدار برمته. ويُجرى تشييد هذا الجدار في الموقع حيث تُفرض الوصلات بين الوحدات بوتيرة عملية الإنتاج. وتُعرف تلك الوصلات بوصلات اليوم (day joint)، لأنها تتحدد بعدد الجدران التي تُبنى في اليوم نفسه. وعندما تتصلَّد تلك الجدران، تعمل بوصفها بنية مستمرة، وهذا ما يفرض مواضع الوصلات. وتُصنع الجدران الوحيدة العنصر اليوم من الخرسانة، أما في الماضي، فقد كانت تُبنى من التراب بالاستعانة بقوالب ومساعِدات مؤقتة. وقد استُعملت في بناء بعض الجدران الترابية قوالب يرصُّ فيها التراب، إلا أن الرص لم يكن ضرورياً دائماً بوجود نسبة عالية من الصلصال في المواد المحلية التي كانت تُخلط بالقش لتعطي خليطاً مبلولاً متماسكاً في أثناء البناء. وحالياً، نادراً ما تُستعمل الجدران الوحيدة العنصر في بريطانيا، إلا أن بعض الاعتبارات ذات الصلة ببيئة المنزل الداخلية، وخاصة استعمال الجدران

بسبب سعتها الحرارية والطاقة القليلة المضمَّنة فيها، قد تجعلها ملائمة لبعض التطبيقات.

الجدران في دراسة الحالة هذه

في ما يخص المنزل موضوع دراسة الحالة هذه، المقترح الأولي الذي سوف ننظر فيه هو:

- جدران خارجية ذات بنية من فجوة وطبقتين مبنيتين، داخلية وخارجية
- جدران فصل مشترَكة مبنية
- جدران تقسيمات داخلية مبنية أو ذات لوحات مؤطَّرة خفيفة

وبعد تحليل هذه الجدران المبنية، سوف ننظر في استعمال جدران اللوحات الخشبية المؤطَّرة لأنها البديل الرئيسي في بريطانيا في مطلع القرن الحادي والعشرين.

لا يمكن تحديد أيٍّ من هذه الجدران واعتبارها جدران حاملة، أو تعمل بوصفها جزءاً من البنية الإنشائية، إلا بعد معرفة التصميم. ولا يوجد في دراسة الحالة هذه تصميم بعينه، إلا أنه من المعقول الافتراض أن الجدران الخارجية هي جدران حاملة، وأن على بعض الجدران الداخلية على الأقل أن تتلقى أحمالاً من الطوابق العليا، ويمكن الجدران المشترَكة أن تكون من بين تلك الجدران. إلا أن جميع الجدران، إلى جانب غيرها من العناصر ربما يجب أن تكون قادرة على تحمُّل قوى التخليع الناجمة عن الريح.

الجدران الخارجية المبنية ذات الفجوة

طُوِّر الجدار ذو الفجوة للحد من مشكلات تغلغل الرطوبة في الجدران المبنية المكشوفة للعوامل الجوية، خاصة من خلال الوصلات، والتي تتفاقم بسبب سوء الصيانة أو تركيب واستعمال طينة الإسمنت القوية. والمبدأ هو إقامة طبقتين بينهما فجوة، هما الطبقة الخارجية والطبقة الداخلية. وتحدُّ الطبقة الخارجية من تغلغل الرطوبة، لكنها لا تلغيه في الظروف كلها. أما الفجوة، فهي فراغ يحتوي على الهواء مهمته ضمان عدم انتقال الرطوبة إلى الطبقة الداخلية، على ألاّ يكون ثمة خلل في الفجوة. وحينئذ تبقى الطبقة الداخلية من الجدار جافة ويمكن استعمالها

لتوضيع الإنهاءات عليها من دون الخشية من وجود الرطوبة في الداخل.

لقد ثبت أن مبدأ الفجوة البسيط ذاك متين جداً ما دامت ثمة عناية كافية ببعض وصلات الجدار والفتحات الموجودة فيه (انظر المناقشة اللاحقة). ويمكن أن يُستعمل عدد من المواد للطبقة الخارجية، لكنْ في ما يخص دراسة الحالة هنا، فإن المقترح الأولي هو اختيار لبنات آجرية للطبقة الخارجية ولبنات خرسانية للطبقة الداخلية. وتبيِّن الخبرة العملية أن سماكتَيْ الطبقتين الخارجية والداخلية يمكن أن تساويا نحو 100 مم. وفي ضوء مقاس المنزل، تبدو هذه السماكة معقولة، إلا أن المقاس الفعلي يجب أن يتحدَّد بمواصفات المواد المختارة. وإذا اختلفت السماكة عن هذه القيمة وجب تبرير استعمال المواد الإضافية من ناحية الأداء والتكلفة، وحينئذ تجب إعادة النظر في التفاصيل أيضاً. أما عرض الفجوة فهو جزء مفتاحي آخر من مواصفات هذا النوع من الجدران. ولا تكون الفجوة فعالة إلا إذا كان عرضها في جميع النقاط يقع ضمن حدود تسامحات معينة، وجرت المحافظة على نظافتها. وتُعتبر هاتان النقطتان من مشكلات الإنتاج، لأن عملية الإنتاج هي التي تفرض عرض الفجوة تبعاً للمواد المستعملة في طبقتي الجدار الداخلية والخارجية. وفي دراسة الحالة هذه، كلتا الطبقتين هما جداران مبنيان، ولذا شاع استعمال عرض للفجوة يساوي 50 مم. ليس من الممكن تقديم تحليل للتحقُّق من دقة هذا العرض إلى أن توضع مواصفات الجدار برمته. ويتحدَّد عرض الفجوة أيضاً بنوع العازل الحراري الذي سوف يوضع فيها، ولذا يجب توصيف العازل قبل تحديد عرض الفجوة. ومن الضروري أيضاً إعادة النظر بالعرض المقترح الذي يساوي 50 مم عندما تكون مواصفات الجدار أكثر تقدُّماً.

طبقة الجدار الخارجية

ربما كان المظهر هو الأساس الذي يقوم عليه المقترح الأولي للطبقة الخارجية. ومن الواضح أن هذا لا يتوقَّف عى طراز المبنى ومكانته فقط بل سوف يكون عاملاً رئيسياً في استجابة المبنى للسياق الذي يُقام ضمنه. حتى إنه قد يتحدَّد مباشرة من قبل الزبون الذي قد يكون له رأي قوي فيما يجب أن يُشاد المبنى منه. أما الشائع في السوق البريطانية اليوم فهي لبنات الآجر، برغم أن الحجارة كانت قد استُعملت محلياً في الماضي. لذا جرى تكييف المباني القائمة على الحجارة التي أُعيد ترميمها بحيث تستوعب الفجوات. وشاع استعمال طلاء البلاستر في

الأماكن التي لم يتوافر فيها محلياً آجر ذو جودة كافية أو في حالات الانكشاف التام للعوامل الجوية، ومن أمثلتها المناطق الساحلية. ويمكن تكييف هذه التقنية بسهولة للجدار ذي الفجوة حيث يمكن استعمال لبنات خرسانة في الطبقة الخارجية تُطلى بالبلاستر.

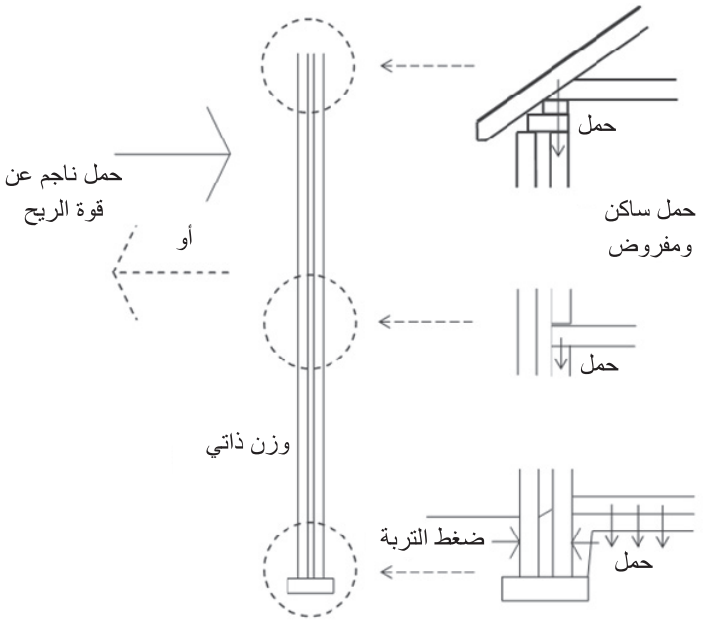
يُعتبر التعرُّض إلى العوامل الجوية عاملاً هاماً في انتقاء مواد الطبقة الخارجية من الجدار، وبدرجة أقل من أجل منع تغلغل الرطوبة، لأن ذلك هو وظيفة الفجوة، بل من أجل الديمومة وقابلية الصيانة. وإذا كان الجدار من النوع المبني من لبنات آجر أو خرسانة، فإن التعرض للمطر في درجات الحرارة المنخفضة تمثِّل، في حالات التجمد، مشكلة حقيقية. لذا يجب تحرِّي مسألة مقاومة التجمُّد ليس في الآجر والخرسانة فحسب، بل في الطينة المختارة أيضاً. ومن مشكلات التغيُّر مع الزمن أيضاً بهْت الألوان. قد يكون هذا التغيُّر مرغوباً فيه، لأن المواد التي تتعرَّض إلى العوامل الجوية غالباً ما تكون معتَّقة وجذابة أكثر من الجديدة. إلا أن بعض أنواع تغيُّر الألوان، ومنها تلك التي تحصل في طلاءات البلاستر الفاتحة، قد لا تتحمَّل مناخ بريطانيا مع مرور الوقت. لذا يجب تحرِّي التفاصيل التي تحدُّ من التلوُّث مع غسل جيد متجانس من المطر. وإذا كان هناك تفضيل لمواد محلية، فإن الخيار قد يكون محدوداً. وعموماً يمكن للبنات الآجر أن توفر خيارات كثيرة، معظمها مقاوم للتجمد ويتصف بتشكيلة واسعة من الألوان.

وقد بيَّنا المقاسات النظامية للبنات الآجر والخرسانة في بريطانيا في الشكل 2.19. تساوي سماكة الآجرة 102,5 مم، ويمكن لتوضيعها بطريقة التماسك الطولاني أن يشكِّل طبقة خارجية سماكتها تساوي 100 مم، هي السماكة المفترضة في دراسة الحالة هذه. إن هذه الطبقة الآجرية تحد من تغلغل الرطوبة إلى الفجوة، لكنها لا تلغيها، لذا يجب أن تأخذ الإنهاءات داخل الفجوة في الحسبان وجود بعض الماء على الوجه الداخلي من طبقة الجدار الآجرية الخارجية.

البنية الإنشائية وطبقة الجدار الخارجي الداخلية

ليس من الممكن قبول هذه المواصفات للطبقة الخارجية، التي قامت على المظهر في المقام الأول، أو البدء بالتفكير بالطبقة الداخلية من دون اتِّضاح طريقة توزُّع الأحمال على الجدار. ويتحدَّد ذلك بتفاصيل الوصلات في الأرضيات والسقف. يُري الشكل 4.19 جدار الفجوة مع تلك التفاصيل (التي نوقشت في

الفصلين السابقين) بغية تحديد الأحمال الساكنة والمفروضة وأحمال الريح. ويُري التحليل أن الطبقة الداخلية هي التي تأخذ الأحمال الساكنة والمفروضة، لذا ليس ثمة من متطلبات لمقاومة تلك الأحمال في الطبقة الخارجية، وتُعتبر طبقة الآجر الخارجية كافية. تتصف لبنات الآجر المتينة بمقاومة مقبولة، ولذا يجب أن تكون الطبقة الخارجية قادرة على حمل وزنها الذاتي مع الضغوط المحلية من العتبات الموجوة فوق الفتحات. لكن إذا كانت ثمة فتحات كبيرة في الجدار، فإن مقاومة الآجرات قد تصبح مسألة يجب الاهتمام بها.



الشكل 4.19 الأحمال المطبقة على الجدار الخارجي ذي الفجوة.

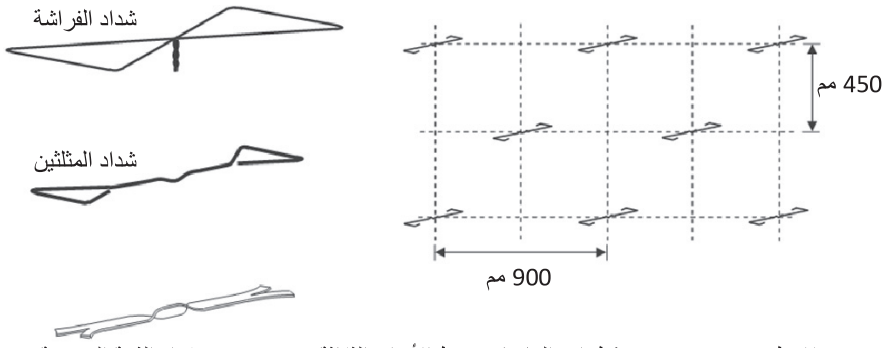
ومن الواضح أن المواصفة الأساسية للبنات الطبقة الداخلية من الجدار هي متانتها. وأكثر مناطق هذه الطبقة تعرُّضاً للضغط هي منطقة ما بين العتبات السفلية لنوافذ الطابق الأرضي. بافتراض توزُّع معقول للنوافذ من حيث مقاساتها والمسافات بينها، وأن سماكة الطبقة الداخلية تساوي 100 مم، من الممكن استعمال لبنات خرسانة مسامية (aerated concrete) عازلة تتحمَّل ضغطاً مقداره 2,8 N/mm^2 (تساوي السماكة الأصغرية لهذه اللبنات 115 مم) للمنازل التي لا يزيد ارتفاعها

على طابقين. وهذا النوع من اللبنات الخرسانية أغلى عادة من اللبنات المصنوعة من الخرسانة الحصوية (aggregate concrete) الخفيفة التي هي أكثف، ولذا يكون عزلها الحراري أقل وسعتها الحرارية أكبر. أما إذا كانت ثمة حاجة إلى سعة حرارية كبيرة، فإن لبنات الخرسانة الكثيفة هي الخيار المفضَّل لأنها أرخص وأقوى بالتأكيد، لكن عازليتها الحرارية سيئة. لذا يُفضَّل ترك التوصيف النهائي للبنات الخرسانة إلى أن يكتمل تحليل سلوك الجدار الحراري.

بنية الجدار واستقرارها

بالعودة إلى الشكل 4.19، نلاحظ أن جدار الفجوة نحيف، وهذا ما يجعله من حيث الجوهر غير مستقر. وبافتراض وجود أسس جيدة للجدار، يمكن تمييز نوعين آخرين من عدم الاستقرار فيه. الأول هو إمكان انقلابه بقوة الريح، والثاني هو تحنُّب الطبقة الداخلية الذي ينجم عن قوى الضغط التي تولِّدها الأحمال الساكنة والمفروضة.

تضمن الطينة وأنماط الترابط المتراكب في كل من لبنات الآجر والخرسانة أن الجدار يعمل مثل اللوحة. لكن وفقاً لما ذُكِر آنفاً، فإن طبقتي الجدار الداخلية والخارجية مستقلتان، ولذا لا تنتقل أحمال الريح المطبَّقة على الطبقة الخارجية إلى الطبقة الداخلية، ولا تساعد الطبقة الخارجية في درء تحنُّب الطبقة الداخلية. إلا أن ثمة حاجة إلى تدعيم إنشائي متبادل بينهما، ويتحقَّق ذلك عادة بشِدادات الجدار (التي تعمل في معظم الأحيان بوصفها دعامات). يبين الشكل 5.19 صيغ أشكال هذه الشِّدادات وتباعداتها. ويُحدِّد عرض الفجوة نوع الشِّداد الذي يمكن استعماله، إلا النوع الوحيد الذي يُستعمل لفجوات يزيد عرضها على 100 مم هو الشداد ذو الثنية العمودية. ويوجد في جميع أنواع الشِّدادات نتوء الغرض منه منع الماء من الحركة الأفقية كي لا ينتقل من الطبقة الخارجية إلى الداخلية ويكوِّن رطوبة فيها. وتُصنع الشدادات الآن من الفولاذ الأوستنيتي العديم الصدأ، ومن الفولاذ المغلفن أو البلاستيك. وبوجود الشِّدادات الآن يعمل الجدار وكأنه لوح واحد في ما يخص الانقلاب والتحدُّب. ومع ذلك يبقى غير مستقر.



الشكل 5.19 شدادات جدار الفجوة.

ويمكن أيَّ مسند جداري أن يقاوم الانقلاب. فإذا كانت جدران البيت ذات أشكال خلوية، فإنها سوف تدعم بعضها دعماً متبادلاً. أما إذا كان معظمها باتجاه واحد في تشكيلة تسمى بنية الجدار العابر (cross wall)، وجب وضع دعامات عند نهايات الجدران العابرة.

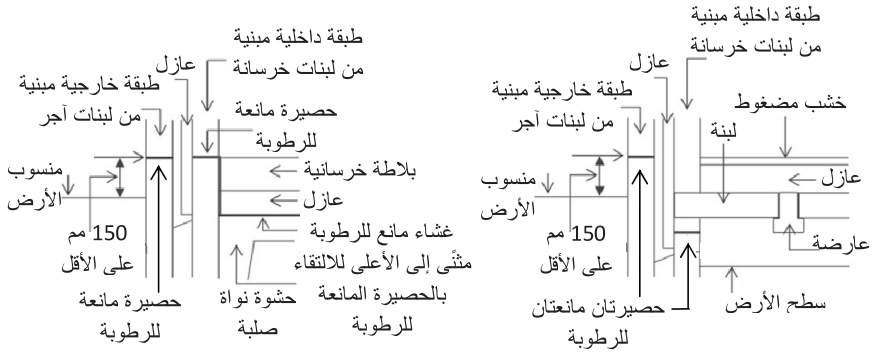
ويبقى الآن وجه واحد آخر لانقلاب الجدار. فالجدار الذي يمثِّل واجهة جملون، لا يستفيد من الجدران الراجعة في مقاومة قوى الريح. يمكن المدخنة أن تكون دعامة أيضاً، لكن بغياب أي دعم مبني، يجب ربط الجدار بالسقف لتحقيق استقرار إضافي، وقد قُدِّمت هذه التفاصيل في الفصل 18. ويجب تحقيق الربط في أعلى جدار واجهة الجملون، وبتباعدات لا تزيد على 2000 مم على طول الكتف المائل.

ومن الضروري أيضاً استعمال دعامات الطوابق العليا لتقليص الأبعاد الفعالة للجدار في مواجهة التحنُّب. ويتحقَّق هذا بتوفير حمَّالات عوارض مع تقييد أو ربط، وفقاً لما ورد في الفصل 17. ويجب وضع الرباطات بتباعدات لا تزيد على 2000 مم في حالة الجدران التي تزيد أطوالها على 3000 مم.

الرطوبة الصاعدة

توفِّر الفجوة حماية من تغلغل الرطوبة الناجمة عن سقوط المطر مباشرة على سطح الجدار الخارجي. والمواد المختارة له نفوذة للرطوبة، لذا يمكن أن تدخل

الرطوبة المبنى أيضاً بالصعود من الأرض بالخاصية الشعرية التي تجذب الماء إلى داخل لبنات الآجر والخرسانة مكوِّنة مساراً للرطوبة. والحل هو استعمال حصيرة منع الرطوبة عبر كل من الطبقتين الداخلية والخارجية. وفي الجدار ذي الفجوة، تكون هاتان الحصيرتان مستقلتين، ولذا يمكن أن تكونا عند مستويين مختلفين. وهذا يحمي الجدار من المطر الذي يسقط على الأرض ويرتد إلى الجدار. ويعتمد مستوى الحصيرة في الطبقة الداخلية على مستوى الأرضية الداخلية وعلى بنية تلك الأرضية. وفي حالة أرضية الطابق الأرضي المعلقة، يجب أن تكون الحصيرة أخفض من أي جزء من بنية الأرضية يمكن أن يكون عرضة للرطوبة، في حين أنه في حالة أرضية البلاطة المرتكزة على الأرض يجب أن تكون الحصيرة مستمرة مع الغشاء المانع للرطوبة. وهذا مبيَّن في الشكل 6.19 الذي رُسِم بناء على أشكال واردة في الفصل 17.



الشكل 6.19 جدار فجوة – ترتيبات الحصائر المانعة للرطوبة.

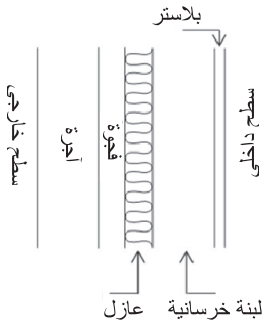
يمكن اختيار مواد مختلفة للحصائر المانعة للرطوبة. في الماضي، ضُمِّنت شرائح الأردواز، وحتى الآجر القليل النفوذية المعروف بالآجر الهندسي، في الجدار، أما الآن فتُستعمل صفائح رقيقة مرنة يمكن توضيعها على الطينة. ويمكن استعمال معادن، مثل الرصاص والنحاس، لكنهما غاليا الثمن. أما حصائر القار المانعة للرطوبة، وخاصة صفائح البوليمر (بوليمر قار وبوليمر قطران)، فهي أكثرها استعمالاً. وتُستعمل صفائح البوليمر أيضاً في تطبيقات منع رطوبة أخرى، ومنها صواني الفجوة التي سوف نناقشها لاحقاً في هذا الفصل. إذ تتصف المواد البوليمرية بالمتانة، أي إنها لا تتمزَّق تحت الحمل، وتلتصق بالطينة جيداً، وهي

ذات عمر طويل حتى حينما تُحنى لتشكيل المزاريب. لكن هذه الصفائح سوداء بطبيعتها، إلا أنه من الممكن الحصول عليها بلون موافق للون الطينة بغية تقليص أثرها الأسود ضمن الطينة.

الأداء الحراري للجدار ذي الفجوة

في ما يخص الاقتصاد في استهلاك الطاقة في تدفئة المنازل شتاءً، انصب الاهتمام أولاً على خواص العزل الحراري بغرض مقاومة انتقال الحرارة. وتركَّز الاهتمام بقيمة U أو النفاذية الحرارية للجدار بوصفه عنصراً واحداً. ويوفِّر الهواء الساكن عزلاً حرارياً جيداً أيضاً، ولذا فإن الفجوة غير المهوَّاة تحقِّق الحماية من العوامل الجوية، وتلك هي وظيفتها، إضافة إلى أنها تُسهم في المقاومة الحرارية الكلية على ألاّ يقل عرضها عن 25 مم. ويمكن تحسين الوضع بتوفير سطح قليل الإشعاع يواجه الفجوة للحد من انتقال الحرارة بالإشعاع. ومن الممكن أيضاً زيادة مقاومة الجدار من خلال انتقاء مواصفات اللبنات بعناية. إن كثافات لبنات الخرسانة مختلفة، وقد ذكرنا من قبل أن الكثافات العالية تحقُّق متانة وسعة حرارية أكبر، إلا أن قيمة عزلها الحراري منخفضة. ويمكن اختيارَ لبنات منخفضة الكثافة أن يؤثِّر كثيراً في قيمة العزل مع بقائها متينة بقدر كاف لتحمُّل ثقل منزل مؤلف من طابقين. لكنْ حتى بوجود الفجوة واللبنات المنخفضة الكثافة، لن تكون ثمة للجدار نفاذية حرارية أو قيمة لـ U كافية لتلبية التشريعات الحالية أو التوقُّعات الخاصة بحماية البيئة عموما.

ومن الممكن زيادة سماكة المادة الفعالة (وهي هنا لبنات الخرسانة، لأن زيادة عرض الفجوة ليصبح أكبر من 25 مم قليل الفائدة) أو استعمال طبقة من مادة ذات خواص عزل حراري جيدة. وأكثر هذه الحلول شيوعاً هو تضمين مادة عازلة في الفجوة. يمكن ملء الفجوة جزئياً (أي تبقى ثمة فجوة) أو كلياً باستعمال الألياف أو الألواح، ويمكن تحقيق الملء الكلي بمواد غير متماسكة أو بسواها بعد اكتمال بناء الجدار. ويمكن كثيراً من تراكيب اللبنات الخرسانية والعوازل ضمن الفجوة تحقيق قيم لـ U تساوي $0{,}35\ W/m^2K$ أو أفضل باستعمال لبنات عرضها 100 مم مع 50 مم من العازل. يُري الشكل 7.19 بعض التراكيب الممكنة للبنات وألواح وألياف العزل المستعملة للملء الجزئي للفجوة الذي يستبقي جزءاً من الفجوة فاعلاً في العزل.



	المادة العازلة	الناقلية الحرارية (W/mK)
A	ألياف صوف معدني	0.033
B	ألواح رغوة صلبة	0.024
C	لبنات خرسانة حصوية كثافتها 1100 kg/m^3	0.34
D	لبنات خرسانة مسامية كثافتها 480 kg/m^3	0.11

تركيبة العازل واللبنة	قيمة U للجدار (W/m^2K)
A-D	0.34
B-C	0.35
B-D	0.29

الشكل 7.19 جدار ذو فجوة – قيم U للعزل الجزئي.

إن من المعروف أن الجدار ليس سوى واحد من أجزاء المبنى التي تضيع الحرارة من خلالها. فالأبواب والنوافذ والأسقف والأرضيات جميعاً تؤدي إلى فقدان الحرارة، وجميعها يتصف بقيم U مختلفة. ولذا يمكن مقايضة قيمة عزل عالية في واحدة منها بأخرى على ألاّ يؤثِّر ذلك في الفقد الحراري الكلي من المنزل. وهذا يؤدي إلى قيم U محددة يمكن أن تعدِّل أداء الجدار المطلوب.

صحيحٌ أن وظيفة الجدار حُصِرت في البداية في مقاومة مرور الحرارة من وجهة نظر الحد من المفاقيد الحرارية، إلا أن الغرض الأشمل للعزل هو الحفاظ على الطاقة. والجدار وعوازله ليست إلا وجهاً واحداً من أوجه اقتصاد الطاقة في المبنى بكليته. وقيم U للعناصر المختلفة ما زالت هامة للعزل الحراري، لكنها أصبحت على نحو متزايد جزءاً من خطة الحد من استعمال الطاقة في المنزل. وقد ناقشنا ذلك في الفصل 15 بوصفه جزءاً من التصميم غير النشط، واستقصينا مسائل معدلات التهوية وتسخين الماء والكسب الحراري الداخلي والكسب من أشعة الشمس جميعاً مع مفاقيد البنية في طرائق تقييم استهلاك الطاقة في المبنى بأسره. وفي ذلك الإطار يمكن أن تكون وظيفة الجدار الخارجي أكثر من مجرد عزل حراري. فالفتحات تؤثِّر في معدلات التهوية، ومثلها إنهاءات الوصلات التي يجب أن تكون الآن محكمة السد إزاء الهواء. ويمكن السعة الحرارية لبنية المبنى أن تُستعمل لخزن الحرارة بغية تقليص متطلبات تدفئة المنزل الكلية. لكن عندما تصبح السعة الحرارية كبيرة، تجب إعادة النظر في موضع العازل ضمن الجدار.

لفهم أهمية ذلك من الضروري تحرِّي الجدار ليس في الحالة الحرارية الساكنة، بل في حالة تغيُّر درجة الحرارة على جانبيه. إن مفعول الكسب الحراري الذي يحصل في الجدار في رفع درجة حرارة الهواء سوف يكون محدوداً بسعته الحرارية الكبيرة، لأنه يستغرق مدة طويلة ليسخن ويصل إلى الحالة المستقرة. يُضاف إلى ذلك أنه حينما تبدأ درجة حرارة الهواء بالانخفاض، يعيد الجدار الحرارة المخزونة فيه إلى الهواء، مؤخِّراً بذلك الحاجة إلى مصادر تسخين إضافية. ويمكن حصول دورة مماثلة في تبريد المباني التجارية الكبيرة في الصيف.

ويؤثِّر مكان العازل أيضاً في مشكلة التكاثف. وقد استُعرض سلوك الجدار الحراري من حيث التكاثف والاستجابة الزمنية والسعة الحرارية في الفصل 10. أما الوجه الرئيسي الآخر لصلة الجدار بانتقال الحرارة فهو الجَسْر الحراري. وفي حالة الجدار المبني، يحصل ذلك عند الفتحات والوصلات في السقف والأرضية. وثمة مناقشة لتفاصيل هذا الموضوع في هذا الفصل والفصول الأخرى.

عرض الفجوة

أصبح الآن من الممكن العودة إلى تأكيد عرض الفجوة الذي افتُرض في البداية مساوياً 50 مم. فقد افتُرض أنه كي تعمل الفجوة عائقاً في وجه الرطوبة المتغلغلة، يجب أن تكون عريضة بقدر كاف لتبقى نظيفة، وهذا يعتمد على وضع عازل فيها وعلى عملية الإنتاج. يجب أن يكون عرض الفجوة 25 مم على الأقل للحصول على العزل الحراري الذي يحقِّقه الهواء الساكن، شريطة وجود مقاومة سطح جيدة على جانبي الفجوة، ولذا فإن العرض 50 مم مقبول للعزل الحراري.

الآن، من الممكن تحديد تأثير عملية الإنتاج. تتضمن العملية إقامة طبقة الجدار الداخلية مع حماية الفجوة من سقوط الطينة فيها في أثناء تنفيذ العمل. وإذا كانت ألواح أو ألياف العزل سوف توضع في الفجوة، وجب وضعها بعد بناء الطبقة الداخلية وتقييدها بها (ليست اللُّحف العازلة صلبة بقدر كاف لتكوين وجه ثابت ضمن الفجوة). بعدئذ من الممكن بناء الآجرات الخارجية. وهنا ثمة مسألتان تخصان لبنات الآجر الخارجية يجب طرحهما، هما: ما مقدار سهولة تنظيف الطينة التي تبرز من بين لبنتين في أثناء توضيع اللبنة العليا وضغطها لتكون في مستوى اللبنات المجاورة لها، وما مقدار الدقة التي يمكن تحقيقها في عرض الفجوة؟ ففي حين أنه كان من السهل تنظيف الطينة البارزة في أثناء بناء طبقة الجدار الداخلية، فإن آجرات الطبقة الخارجية هي التي تحدِّد الفجوة، ويجب تنظيف الطينة عن

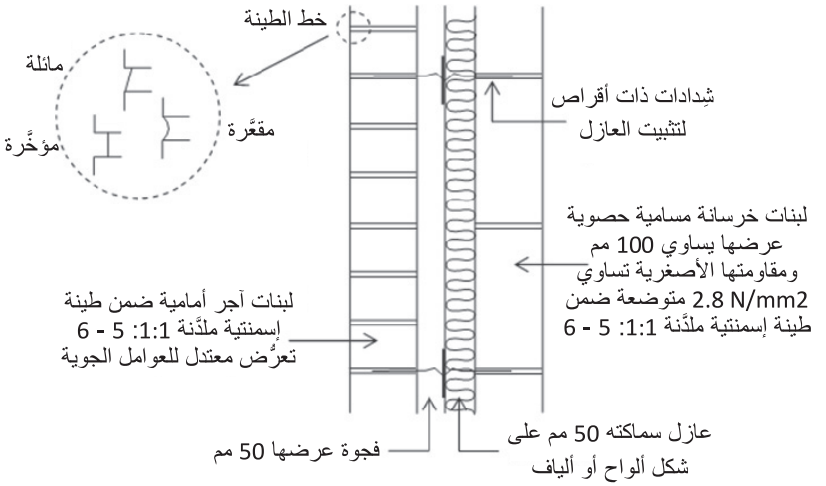
سطحها الداخلي بواسطة المالج من داخل الفجوة. فإذا كانت الفجوة ضيقة جداً، فإن تنظيف الطينة البارزة تلك يصبح غير ممكن إلا إذا تُركت تسقط في الفجوة لتتراكم عند أسفل الجدار أو أعلى النوافذ، أو حتى تلتصق بشِدادات الجدار، موفِّرة مساراً للرطوبة من الطبقة الخارجية إلى الطبقة الداخلية. ويتفاقم ذلك بأي تضيُّق للفجوة ينجم عن المحافظة على الطبقة الخارجية مستوية، وعن الدقة التي تكون قد تحقَّقت حين بناء الطبقة الداخلية أولاً. إلا أن الممارسة العملية قد بيَّنت أنه يكفي أن يكون عرض الفجوة مساوياً لـ 50 مم كي يستطيع المعماري الحفاظ على الفجوة نظيفة، وكي تتحقَّق قيمة العزل المطلوبة مع درء مشكلة الرطوبة المتغلغلة.

إن كثيراً من خيارات عزل الجدار يعتمد الفجوة بطرائق مختلفة، وقد قدَّمنا بعضها سابقاً في هذا الفصل في المقطع الخاص بالأداء الحراري. على سبيل المثال، يمكن اختيار جدار بفجوة مع حشوة عازلة جزئية بسماكة 50 مم إضافة إلى فجوة دون عزل عرضها 50 مم، وبذلك تكون المسافة الفاصلة بين الطبقتين الداخلية والخارجية 100 مم. وبافتراض أن شِدادات الجدار تعمل غالباً بحالة الضغط، فإنه يجب الانتباه إلى حصول بعض التحنُّب نتيجة لزيادة المسافة بين الطبقتين. لقد صُمِّمت شِدادات الجدران أصلاً لفجوات فارغة عرضها 50 مم دون وجود عازل، وبحيث تُحشر ضمن الطينة بعمق يساوي نحو 60 ـ 65 مم، على أن تكون صلبة بقدر كاف لمقاومة تحنُّب الجدار على طول الفجوة. أما عندما يصبح عرض الفجوة 100 مم، فإنه يجب أن تكون الشِّدادات أطول وأسمك بحيث تلائم عرض الفجوة هذا.

الجدار عند هذه المرحلة

جرى حتى الآن تحديد الخيارات المختلفة للعزل الحراري ومكان توضُّعه ونوع مادته، إضافة إلى سماكته بالنسبة إلى لبنات الآجر والخرسانة وتأثيره في الفجوة. لكن المظهر وظروف التعرُّض للعوامل الجوية تقتضي متطلبات أداء مختلفة تؤثِّر في اختيار الطبقة الخارجية، ولذا فإن من غير الممكن القيام باختيار وحيد يخص دراسة الحالة هذه، إلا أن الشكل 8.19 يبين أحد الخيارات الذي يعتمد على العزل بالملء الجزئي للفجوة الذي ذُكر في مثال الفقرة السابقة. لقد اختير هذا الجدار بغرض تحقيق الحماية من العوامل الجوية والوظيفتين الإنشائية والحرارية. ووفقاً للمواصفات التي حُدِّدت له، فإنه سوف يوفِّر مستوى جيداً من العزل

الصوتي بسبب كتلته الكبيرة، وبسبب وجود الفجوة، وسوف تعطي المادة المختارة للعازل مقاومة جيدة للنار. يُضاف إلى ذلك أن هذه البنية تحقِّق الوظائف الإنشائية والبيئية.



الشكل 8.19 جدار مبني ذو فجوة.

الإنهاءات الداخلية والخارجية

لقد اخترنا اللبنات الآجرية للمظهر الخارجي، برغم أن الإنهاءات وأنواع اللبنات ولون الطينة والطلاء هي جميعاً من خيارات التصميم. ويُستعمل شكل خط وصلات الطينة الأمامية بين اللبنات أحياناً بوصفه سمة تصميمية أيضاً، إضافة إلى أن له تأثيراً كبيراً في الحماية من العوامل الجوية وفي عمر الجدار. يُري الشكل 8.19 إنهاءات خط وصلات الطينة الفاصلة بين اللبنات. في نوع الطينة المائلة، يُصقل سطحها الخارجي عند بدئها بالتصلُّد، وهذا السطح المائل الأملس يعزِّز سيلان الماء إلى الأسفل ويحمي الآجرة. أما الطينة المؤخَّرة إلى الوراء فلها مفعول معاكس من حيث إنها تترك حافة اللبنة المبلَّلة عرضة للتجمُّد. لكن الطينة المائلة الملساء تتطلب وقتاً ومهارة لصنعها، ولذا غالباً ما تُستعمل الطينة المقعَّرة البسيطة. أما النوع الرابع من شكل خط الطينة الطينة، أي الطينة ذات السطح الأمامي المستوي التي تُصنع في أثناء توضيع اللبنات من دون استعمال أدوات، فمقاومتها لتغلغل ماء المطر ليست جيدة ويمكن ألاّ تعطي حافة جيدة على الآجرات غير المستوية أو ذات الحواف المتعرجة.

أما في الداخل، فيمكن أن تكون لبنات الخرسانة ذات سطح ناعم جاهز للدهان المباشر، إلا أن هذا النوع ليس صالحاً للمنازل. أما الخيارات الأخرى فمنها بلاستر الجبس الخفيف وألواح البلاستر الجاف.

يُوفِّر سطح لبنات الخرسانة خلفية أو ركيزة للإنهاء تتصف بالخصائص عينها المذكورة في الفصل 17 لإنهاء الأرضيات. إنه لمن الضروري لركيزة الإنهاءات أن توفِّر ما يلي:

- ارتكاز ذو استقرار كاف
- إمكانات ملائمة للتثبيت
- تسامحات استواء ملائمة
- توافق مع الحركات المستقبلية
- آليات لدرء الاهتراء والتلف

وإذا استُعمل البلاستر، كانت مواصفات الخلفية المكوَّنة من سطوح لبنات الخرسانة كافية لتطبيق طبقتي دهان عليها. ومن الواضح أن الجدار مستقر باعتباره جزءاً من بنية المبنى. أما كثافة لبنات الخرسانة فهي هامة من حيث أنها تحدِّد امتصاص البلاستر في أثناء طليه، فذلك الامتصاص هو الذي يؤدي إلى التصاق البلاستر باللبنة، وهذا يحدِّد مواصفات البلاستر المطلوبة. ويجب أن تكون تفاوتات سطح الجدار ضمن الإمكانات التي توفِّرها الطبقة الأولى من غطاء البلاستر والتي تساوي سماكتها عادة نحو 12 مم، وذلك لجعل سطح الجدار مستوياً تماماً. أما طبقة البلاستر الرقيقة الأخيرة فتوفِّر سطحاً تزيينياً ناعماً صلباً. ويجب ألاّ يؤدي انكماش البلاستر إلى فك التصاقه بالجدار برغم إمكان ظهور تشققات فيه في أعلى الجدار وأسفله. وإذا كانت لبنات الخرسانة خاملة كيميائياً، وجب ألا تكون ثمة تأثيرات متبادلة مع البلاستر تؤدي إلى تدهور اللبنات أو البلاستر. لكن إذا وُضِّعت اللبنات وأُنهيت قبل تصلُّدها تماماً واستمرت بالانكماش، فإن تشققات يمكن أن تظهر في البلاستر.

وفي حين أن سطح البلاستر صلب بقدر كاف لمعظم الحالات المنزلية، فإنه لا يتحمَّل سوى صدمات محدودة، وهو غير ملائم للظروف الخارجية. لذا يجب في هذه الحالات استعمال طبقة من طلاء مكوَّن من الرمل والإسمنت مع ملدِّن،

هو الجير عادة. يُستعمل هذا الطلاء عادة في الخارج بالمواصفات الملائمة، حتى في ظروف العوامل الجوية القاسية. وإذا استُعمل في الخارج، أمكن استعمال لبنات الخرسانة في طبقة الجدار الخارجية بدلاً من لبنات الآجر، لأنها أرخص. وعلى غرار البلاستر، تحدِّد كثافة لبنات الخرسانة المختارة مقاومة الخلفية. حينئذ يجب اختيار طبقة الطلاء الأولى بحيث تتوافق مع مقاومة لبنات الخرسانة، في حين أن الظروف الخارجية تحدِّد مواصفات طبقة الطلاء الأخيرة. ويمكن الإنهاءات على الطلاءات الخارجية أن تختلف من إنهاءات ناعمة توضَّع بالمالج ويمكن دهانها، حتى إنهاءات مزخرفة باستعمال حصويات تزيينية تعطي سطحاً يتحمل الظروف الجوية.

أما منظومات الإنهاء الجافة للجدران الداخلية فهي على الأرجح تقوم على ألواح البلاستر. فالخلفية المتمثِّلة بلبنات الخرسانة ليست مستوية بقدر كاف لتوضيع ألواح البلاستر على الجدار مباشرة. إلا أن الجدار مستقر ويمكن أن يتحمَّل أنواعاً مختلفة من المثبِّتات. وثمة خياران ممكنان للتثبيت: عوارض خشبية مسطحة يُثبَّت عليها اللوح بمسامير أو براغ، أو معجون من مادة شبيهة بالبلاستر لتسوية الجدار وتثبيت اللوح عليه. وفي كلّتا الحالتين، يجب وصل الألواح معاً. وتُستعمل في حالة الألواح ذات الحواف القائمة (التي تثبَّت بحيث يظهر الوجه الرمادي) وصلات مقوَّاة بالقماش وتُطلى بالبلاستر، أما الألواح ذات الحواف المنحنية فتسمح بإنهاء الوصلات (وثقوب البراغي) من دون الحاجة إلى طلاء الجدار بالبلاستر بكامله.

التأثير المتبادل بين الجدار الخارجي والعناصر الأخرى

ثمة تأثيرات متبادلة بين الجدران والأرضيات والأسقف من حيث نقل الأحمال (من السقف والأرضية إلى الجدار) وتأمين الاستقرار (للجدار بواسطة السقف والأرضية). وتؤثِّر الخدمات في الجدران أيضاً، ولذا فإنها تؤثِّر في مواصفاته وتفاصيله. فقد تكون ثمة ضرورة لإخفاء الأسلاك تحت البلاستر في أنابيب ضمن طبقة الجدار الداخلية، إلا أن معظم الأنابيب يُمدَّد ظاهراً على السطح. لكنْ إذا كانت ثمة رغبة في إخفائها، فإن من الممكن تغليفها بمجراة. وتُثبَّت مشعَّات التدفئة وغيرها من المكوِّنات على الجدران أيضاً، وهذا يتطلب أن تكون الجدران قوية، ويتطلَّب مثبتات تستطيع حمل تلك المشعات. وهذا صحيح أيضاً في ما يخص الرفوف والخُزُن التي يرغب القاطنون في تثبيتها على الجدران،

خاصة في المطابخ. ثمة طيف من المثبتات المتوافرة لجدران لبنات الخرسانية، وحتى إنه يمكن تثبيت تلك الأحمال على اللبنات المنخفضة الكثافة باستعمال المثبتات الملائمة. بذلك فإن المواصفات التي اقتُرحت حتى الآن تحقّق الأداء المطلوب.

اعتبارات مدة حياة الجدار

لقد ناقشنا اختيار المواد الخارجية الملائمة للعوامل الجوية التي تضمن الديمومة، وناقشنا أيضاً الإنهاءات الداخلية. طبعاً يجب أن يبقى العازل وطبقة الجدار الداخلية جافَّين، لذا، وفي حالة عدم وجود عوامل تعفُّن في الفجوة تُتْلف العازل، سوف يكون تدنِّي خواص تلك المواد قليلاً، وإنْ كانت حشوة الفجوة الكاملة غير المتماسكة تتلبَّد مع مرور الوقت. ويمكن لمتطلبات الصيانة أن تكون أصغرية إذا وُضِّعت الآجرات الخارجية على طينة إسمنتية. أما التعديلات والتغييرات فيجب أن تُجرى بعناية لأن الجدار هو بنية حاملة. يُضاف إلى ذاك أن التغييرات التي تُجرى في الطبقة الخارجية يمكن أن تواجه صعوبات التوافق بين لبنات الآجر في المستقبل. أما الإنهاءات الداخلية فهي سهلة التجديد.

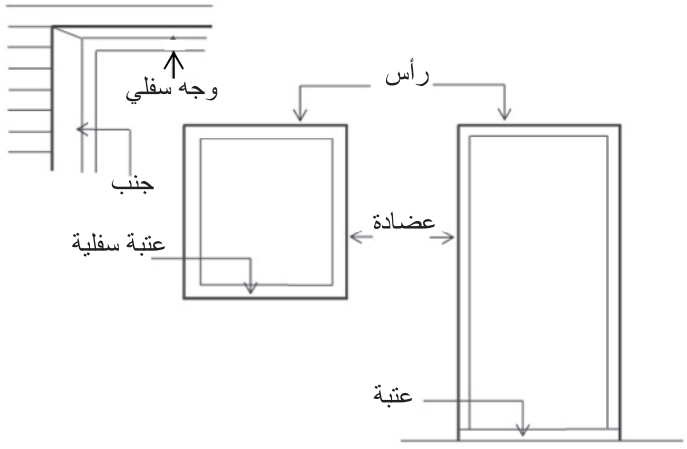
وتشير اعتبارات التخلُّص من أنقاض المبنى في نهاية عمره إلى فرص لتدويرها واستعمالها كحشوة مالئة، لأن من السهل فصل العازل من الركام. ومن الممكن أيضاً استعادة العازل لأنه محصور في موضع معين، برغم إمكان اتِّساخه بالطينة التي قد تلصق به في أثناء البناء والتي تصعب إزالتها. لذا فإن وضع صفيحة رقيقة من الورق بين العازل واللبنات تمنعه من الالتصاق بالطينة يمثِّل طريقة رخيصة تضمن إعادة استعمال العازل. ويمكن أيضاً إعادة استعمال شِدادات الجدار المعدنية بعد تنظيفها أو تدويرها، فهي غالباً ما تكون بحالة جيدة.

فتحات الجدار الخارجي

لا يحتوي الجدار الذي استعرضناه حتى الآن على منافذ للدخول والخروج والإضاءة والتهوية الضرورية في الجدران الخارجية. تتمثَّل تلك المنافذ بالأبواب والنوافذ، وهذه عناصر لا تأخذ أحمالاً، وتتصف بمقاومة منخفضة لانتشار الصوت والحرارة والحريق. وتنجم عنها أيضاً مشكلات أمان وأمن، ويمكن أن تحدَّ من الخصوصية. وتُحلُّ تلك المشكلات عادة بتكوين فتحات تحافظ على سلامة وأداء

الجدار، مع تصميم مكوِّنات مستقلة للأبواب والنوافذ تكمِّل الجدار وتضمن وظيفته الشاملة. طبعاً تُضاف إليها مثبِّتات ووصلات المكوِّنات التي سوف تُركَّب في الفتحة. ومع أن مقاسات الفتحات تتحدَّد بمتطلبات تصميم الباب أو النافذة، فإن التفاصيل الأساسية للفتحات في جدران المنزل لا تتغيَّر على الأرجح.

يُري الشكل 9.19 المصطلحات الخاصة بالفتحات. يجب تحرِّي تفاصيل الرأس والعضادة والعتبة السفلية والعتبة الأساسية كل على حدة، مع المحافظة على عمق الوجه السفلي والجنب، ثابتاً حول الفتحة. ويجب ضمان أن ينقل الرأس الأحمال إلى العضادة. ويجب أن تكون العضائد مستقرة في مواجهة قوى الضغط المطبقة عليها. أما العتبة السفلية فلا وظيفة إنشائية لها، ويمكن تشييدها على الجدار الذي تحتها، إلا أن متطلباتها في مواجهة العوامل الجوية على درجة كبيرة من الأهمية.



الشكل 9.19 فتحات الجدار ــ التسميات.

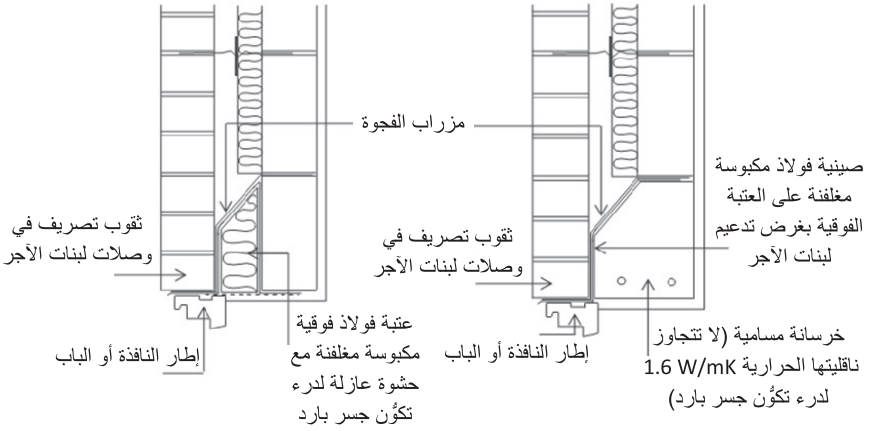
كل ذلك يجب أن يتحقَّق بدقة لضمان أن الأبواب والنوافذ، التي تُصنع الآن خارج الموقع على الأغلب، يمكن أن تُركَّب ضمن الفتحة وأن تُجرى إنهاءاتها التي تحميها من العوامل الجوية. وفي حين أنه يمكن السماح ببعض الحشوات تحت العتبة السفلية، فإن التطابق بين العضادة والجنب يجب أن يتحقَّق بواسطة إنهاءات التثبيت والحماية من العوامل الجوية.

إنهاءات رأس الفتحة

إن انتقال الحمل عبر الفتحة جوهري لإنهاءات رأسها. في الماضي استُعملت الأقواس للرأس لأن مادة الجدار الأساسية ضعيفة تجاه الشد، لكن نظراً إلى أن المفعول الإنشائي الأساسي للقوس يكمن في الضغط، سمح القوس باستعمال مادة الجدار نفسها للامتداد فوق الفتحة. أما اليوم، فتُستعمل العتبة الفوقية (عارضة صغيرة قليلة التحدُّب) بسبب توافر طيف واسع من المواد لها.

وإذا كانت العتبة الفوقية ذات المقطع العرضاني المستطيل تحمل كلاًّ من طبقتي الجدار بوصفها عارضةً بسيطةً، فإن أعلاها يجمع ماء المطر الذي يعود إلى داخل الجدار. وقد تحتاج مقدمة تلك العتبة إلى إنهاءات لتحسين مظهرها الخارجي وديمومتها. وقد استُعمل المقطع العرضاني المستطيل في الماضي في العتبات الفوقية الحجرية والخشبية والخرسانية المسلحة. وكل تلك المواد تكوِّن جسراً حرارياً إذا وُجِد العازل في الفجوة، لكن ذلك لا يحصل لو استُعمل عازل داخلي أو خارجي.

ومع أنه يمكن تجاوز جميع هذه الصعوبات، فإن التطورات الحاصلة في الفولاذ المشكَّل بالكبس (pressed steel) والخرسانة الخفيفة الوزن توفِّر حلولاً اقتصادية تأخذ جميع تلك المخاوف في الحسبان. يبين الشكل 10.19 تنفيذين لرأس فتحة باستعمال عتبة فوقية فولاذية وأخرى مصنوعة من خرسانة خفيفة.



الشكل 10.19 فتحة في جدار – مقترحان لتفاصيل الرأس.

يُفترض في هذين الحلين، في حالة جدار المبنى المؤلف من طابقين، أن الأحمال تُطبَّق على طبقة الجدار الداخلية، وأن الحاجة إلى تدعيم الطبقة الخارجية قليلة. وفي حل الخرسانة المسلحة الخفيفة الوزن يبقى المقطع المستطيل ضرورياً لأخذ الحمل من طبقة الجدار الداخلية، برغم أنه يُشكَّل الآن ليكون أشبه بصينية فجوة لتوجيه الماء بعيداً من الطبقة الداخلية. ويخرج المزراب عند زاوية رف الفولاذ التي تدعم طبقة الجدار الخارجية. وتساعد ثقوب تصريف الماء في بعض الوصلات العمودية بين الآجرات على تصريف الماء على نحو أكفأ. ومن الممكن الآن توضيع الآجرات عبر الفتحة لإعطاء استمرارية مرئية للإنهاء الخارجي وحماية العتبة الفوقية.

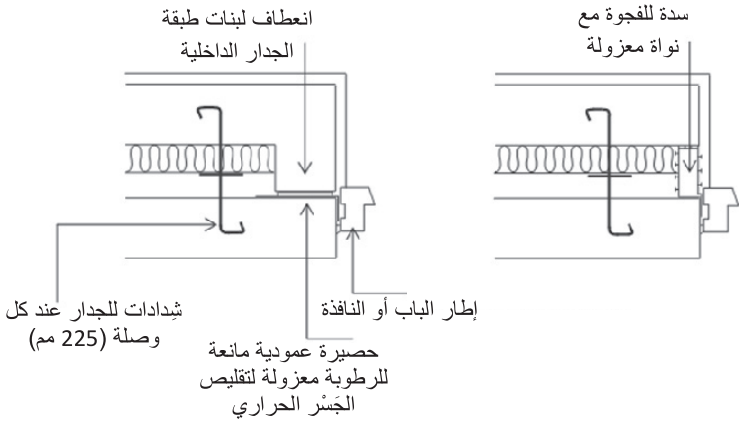
ويكتسب الفولاذ المشكَّل بالكبس قوته ليس من صلابة المادة، بل من تشكيل صفيحة الفولاذ. أما المظهر وتفاصيل الحماية من العوامل الجوية فتبقى نفسها كما في حل الخرسانة التركيبية وزاوية رف الفولاذ. والمزية الرئيسية لهذا الحل هي وزن العتبة الخفيف، وهي مزية في عملية الإنتاج. ويمكن ملء المقطع الأجوف بعازل لتقليص الجَسْر البارد. ويجب وضع بعض الوسائل التي توفِّر خلفية للإنهاء الداخلي تحت العتبة. وتجب حماية الفولاذ من التأكُّل بطبقة مغلفنة، لكن هذا الحل قد لا يوفِّر الحماية المطلوبة مع مرور الوقت في حالة الظروف المكشوفة، وخاصة في أثناء الإنتاج حيث يمكن أن تحصل أذية لتلك الطبقة. لذا من الممكن استعمال عتبة فوقية مطلية بالبوليستر لتوفير حماية إضافية.

أحد التفاصيل التي لا تُمكِن رؤيتها من المسقط العرضاني المبيَّن في الشكل 10.19 هو أن صينية الفجوة، التي تمثِّل مزراباً من صفيحة حصيرة مانعة للرطوبة، يجب أن تمتد إلى ما بعد العتبة العليا لتقليص مشكلة عودة الرطوبة من نهاية المزراب ومن تحت الجانب السفلي للعتبة، أو تجب إضافة نهايتي إيقاف إلى المزراب لمنع الماء من العودة منهما وتبليل عازل الفجوة.

تفاصيل العضادة والعتبة السفلية

إن تفاصيل العضادة بسيطة نسبياً، وثمة خياران لها مبيَّنان في الشكل 11.19. يُري الأول انعطاف إحدى طبقتي الجدار لإغلاق الفجوة مع توفير حصيرة عمودية لمنع الرطوبة من التغلغل عبر العضادة. والطبقة التي تنعطف تحدِّد عمق الجنب، لأن إطار النافذة أو الباب يوضَّع بحيث يغطي الحصيرة المانعة للرطوبة لضمان

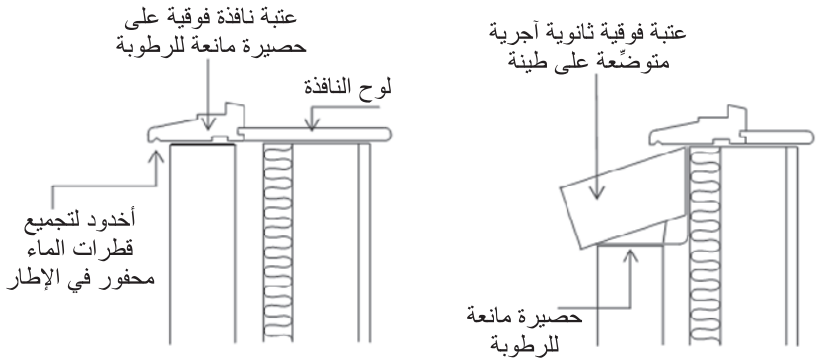
عدم وصول رطوبة إلى الإنهاءات الداخلية أو إلى خلف الإطار إذا كانت طبقة الجدار الخارجية هي المنعطفة. وانعطاف اللبنات (وفق التفصيل المبيَّن) يقلِّص مفعول الجَسْر الحراري، إلا أنه يترك الإطار قريباً نسبياً من الوجه الخارجي. وسوف يكون الجنب صغيراً. وهذا يعني أنه يمكن تفصيل العتبة السفلية للإطار بحيث تتعلق على الجدار من دون الحاجة إلى عتبة سفلية ثانوية (sub-sill)، لكنها تجلب الوصلة بين الإطار والفتحة إلى موضع أكثر انكشافاً. وبغية توفير حماية أفضل للوصلة، يمكن عطف طبقة الجدار الخارجية لتحقيق جنب أعمق. وحينئذ تظهر حاجة إلى عتبة سفلية ثانوية، ويؤدي انعطاف الآجر إلى مزيد من الجَسْر البارد، مع أن حصيرة منع الرطوبة المعزولة يمكن أن تساعد على تقليص ذلك المفعول. أما الخيار الثاني فهو استعمال سدادة للفجوة. يمكن ملء هذا المقطع الصندوقي البلاستيكي الأجوف بعازل لتقليص الجَسْر البارد، ويمكن أن يعمل بوصفه حصيرة مانعة للرطوبة إضافة إلى توفيره تثبيت للإطار.



الشكل 11.19 فتحة في جدار- تفصيلتين مختلفتين للجنب.

ومن الناحية الإنشائية، يجب أن تأخذ حافة الجدار الحمل من العتبة الفوقية، إلا أنها تفقد مفعول الاستقرار الذي يوفِّره الترابط الناجم عن تداخل تراكب اللبنات، وهذا يجعل العضادة عرضة للتحنُّب. وتوفِّر طبقة الجدار المنعطفة أو سدة الفجوة تدعيماً إذا تحنَّبت طبقتا الجدار نحو بعضهما، إلا أنهما لا توفِّران مقاومة إذا ابتعدتا عن بعضهما. ولتوفير هذه المقاومة توضع الشِّدادات عند كل وصلة من وصلات اللبنات في جوار الطبقة المنعطفة. ويمكن أن تتضمن سدة الفجوة شِدادات تُلحق بالمقطع الصندوقي.

يُري الشكل 12.19 تفاصيل العتبة السفلية مع عتبة سفلية ثانوية ومن دونها. لكن الشيء الهام هنا هو تصريف الماء، الذي يسيل من مسطح الباب أو النافذة غير النفوذين، بعيداً من الجدار ما أمكن. لذا يجب أن يكون السطح العلوي للعتبة مائلاً، ويجب أن تُعلَّق شفتها بالجدار، ويجب تزويد الجانب السفلي من الشفة بأخدود لتجميع قطرات الماء. والماء الذي يتجمع حول العتبة يزيد من المشكلات المتعلقة بديمومتها، ولذا يجب اختيار مادتها بعناية. ومن المشكلات الأخرى تغلغل الرطوبة، خاصة عند نهايتي العتبة عند الجنب وتحت الإطار حيث يتجمع المطر المدفوع بالريح، وحتى إنه يمكن أن يكون تحت ضغط بدلاً من الانسياب على سطح العتبة المائلة. وإذا سُدَّت الفجوة عند العتبة، كانت ثمة حاجة إلى حصيرة مانعة للرطوبة لحماية الإنهاءات الداخلية، برغم أن توضيع العتبة على الحصيرة المانعة للرطوبة شائع عملياً لحماية الإطار الخشبي المتوضِّع على طبقة الجدار الخارجية. ويجب الانتباه إلى أن حافة الحصيرة المانعة للرطوبة ليست بارزة عن الوجه الخارجي للجدار، وإلاّ انتهى مفعول أخدود تجميع الماء الذي يسيل راجعاً تحت العتبة. ويمكن استعمال مقاطع سد الفجوة أيضاً في إنهاءات العتبة الفوقية.



الشكل 12.19 فتحة في جدار – تفاصيل مختلفة للعتبة الفوقية.

الأبواب والنوافذ ـ مكوِّنات الفتحات

ليست غايتنا دراسة تفاصيل الأبواب والنوافذ ذاتها. فقد أصبحت تلك الدراسة فرعاً تخصُّصياً قائماً بذاته يتضمَّن تصنيع المقاطع وتجميع المكوِّنات في المعامل، إضافة إلى فهم جوانب تصميمها من حيث المتانة وتحمُّل العوامل الجوية وما توفِّره من الأمن والسلامة. إن جميع تلك الأشياء تقع خارج اهتمام هذا الكتاب، إلا أن

تصميم الأبواب، وعلى وجه الخصوص النوافذ مع وصلاتها ومثبِّتاتها ضمن الفتحة يتطلَّب التفكير به مليّاً، خاصة من نواحي الاستدامة التي استدعت إعادة النظر في مسألة استهلاك الطاقة واقتصادها على مستوى المنزل بأسره. ويتضمن ذلك النظر في توجيه واجهة المبنى، ومساحة أو نسبة المنطقة المزجَّجة منه، وإحكام سد الوصلات لمنع تسرب الهواء، وأشكال النوافذ، إضافة إلى مواصفات المواد المستعملة فيها. ففي حين أن لذلك تأثيراً كبيراً في مظهر المنزل وفي المَشاهد التي يُطِل عليها القاطنون، فإن له تأثيراً أيضاً في كفاءة استهلاك الطاقة في المنزل.

وفي ضوء هيمنة التدفئة في الشتاء على استهلاك الطاقة، فإن أي إسهام في تقليص فقد الطاقة من المبنى، أو في زيادة كسبه الحراري، جدير بالاهتمام. فالنوافذ مرشَّحة لفعل الشيئين. إذ يمكن استغلال حرارة أشعة الشمس الواردة عبر الواجهة المتَّجهة نحو الجنوب طوال أيام كثيرة حتى في الشتاء، حيث تدخل أشعة الشمس المباشرة عبر زجاج النوافذ وتُسخِّن الأشياء الموجودة في الغرفة، رافعة بذلك مقدار الكسب الحراري. إلا أن الزجاج ضعيف الاحتفاظ بحرارة هواء الغرفة، ولذا فإنه يزيد من الفقد الحراري. لكنْ يمكن تقليص الفقد الحراري كثيراً بالتزجِّيج المضاعف (أو الثلاثي)، وباختيار زجاج ذي غشاء أو فجوة مملوءة بالغاز، فذلك يخفِّض قيمة U في حالة الزجاج المضاعف إلى قيمته في حالة الزجاج الثلاثي من دون تكبُّد تكاليف أطر الزجاج الثلاثي وأطر النوافذ الخاصة به التي هي أكثر تعقيداً.

لا يكون استعمال التزجيج فعالاً للكسب الحراري إلا في الواجهات المتَّجهة نحو الجنوب. وفي هذه الواجهات، يمكن المساحات الكبيرة من الزجاج أن توفِّر كسباً حرارياً جيداً لا تستطيع الواجهات من دونها تحقيقه. وفي الواجهات غير المتَّجهة نحو الجنوب من المفضَّل الحد من المساحات المزجَّجة لانعدام الكسب الحراري من الخارج، في حين أن الجدران المعزولة تحدُّ من الفقد الحراري. إلا أن التزجيج المضاعف مع الزجاج المغشَّى يمكن أن يقلِّل من الفقد الحراري من هذه الواجهات.

لكنْ ثمة لخيارات تقليص استهلاك الطاقة في الشتاء تلك عواقب على كل من إضاءة الغرف والكسب الحراري في الصيف. يتصف الضوء الوارد من الجنوب بشدة السطوع ويؤدي إلى الإبهار، ولذا فإن النوافذ الكبيرة تسبب إزعاجاً في الصيف، وهذا ما يستدعي استعمال الستائر. ويصبح الربح الحراري كبيراً جداً

أيضاً، وهذا ما يقتضي استعمال التظليل. وفي المقابل، يتصف ضوء الشمال بالجودة والتجانس تقريبا، لكن النوافذ الصغيرة تجعل الغرف معتمة في الشتاء، وهذا يتطلَّب إضاءة صنعية حينئذ تزيد من استهلاك الطاقة. أما الكسب الحراري من الشمال فلا يمثِّل مشكلة.

واليوم، فإن الأيام التي يمثِّل فيها الكسب الحراري صيفاً أو ضعف الإضاءة شتاء مشكلة في بريطانيا أصبحت محدودة، لأن البقاء في كثير من البيوت نهاراً أصبح محدوداً (خلافاً للمباني التجارية حيث تفاقمت المشكلة خاصة في أوقات الكسب الحراري الكبير الناجم عن التجهيزات والإضاءة). أما في الأيام التي تكون فيها الظروف غير مريحة، فإن التهوية بفتح النوافذ تمثِّل الآلية الرئيسية للقاطنين للتحكُّم في درجة الحرارة الداخلية. لكنْ إذا حصل تغيُّر في المناخ أو في أنماط إشغال المنازل، وجبت إعادة النظر في ذلك، وقد يُلجأ إلى استعمال الجدران الفاتحة الألوان والستائر والشرفات، الشائعة في منازل مناطق المناخات الحارة، في بعض التصاميم في بريطانيا. ومن الممكن اعتماد البنى ذات السعة الحرارية الكبيرة ذات التصريف الحراري الليلي، المستعملة في المباني التجارية في المناطق المعتدلة المناخ، في تشييد المنازل.

بعد اختيار أشكال ومقاسات الفتحات، مع المكوِّنات الإضافية، مثل الستائر والمظلات، يجب النظر في اختيار المواد. لقد ذكرنا الزجاج، لكننا لم نقل شيئاً عن مادة إطار النافذة أو الباب. في ما يخص المباني المنزلية، يُعتبر الخشب الطري أو الخشب القاسي (hardwood) أو البلاستيك (uPVC) (كلوريد الفينيل المتعدِّد غير الملدَّن uPVC) من الخيارات الرئيسية. ويمكن استعمال الألمنيوم أيضاً، إلا أن تكاليفه أعلى من تكاليف الخشب والبلاستيك. وقد استُعمل الفولاذ في الماضي، لكن تكاليف صيانته من الصدأ والتأكُّل كانت عالية. إلا أن الفولاذ المضاد للصدأ والمغطى بالبوليستر تجاوز مشكلات الماضي، لكنه لا يُستعمل للمنازل بوجود خيارات الخشب والبلاستيك العملية. ويمكن الألمنيوم أن يحقِّق مقاطع نحيفة، وأن يُلوَّن بألوان مختلفة بالطلاء الكهربائي إذا كان ذلك مرغوباً فيه للمظهر. ويقوم اختيار إحدى تلك المواد على تحليل الحاجة إلى صيانتها وعمرها وسهولة استبدالها وتدويرها والتخلُّص منها. فيمكن أن يكون للخشب، (وخاصة القاسي)، تأثير في الحياة البرية ومناخ كوكب الأرض، في حين أن للبلاستيك مفاعيل تلوُّث واعتبارات ذات صلة باستهلاك الطاقة في تصنيعه.

وبعد تحديد أشكال ومقاسات ومواد النوافذ والأبواب وطلب تصنيعها بحيث تحقِّق المتانة والكتامة والأمن، من الضروري تحرِّي طريقة تركيبها في الفتحات وتثبيتها وحمايتها من العوامل الجوية.

يمكن تركيب النوافذ والأبواب في أثناء البناء وتثبيتها على لبنات الجدار الآجرية بواسطة ملاقط لأطرها أو بواسطة سدة الفجوة. ويمكن تركيبها أيضاً بعد اكتمال بناء الجدار وذلك بتثبيتها بواسطة براغٍ على العضائد. وإذا جرى تثبيتها بعد اكتمال تشييد الجدار، فقد البنَّاء السيطرة المباشرة على التسامحات اللازمة للحفاظ على فجوة بين الإطار ولبنات الجدار حيث يجب تحقيق المظهر والحماية من العوامل الجوية. لذا تجب الاستعاضة عن ذلك بالتحديد الدقيق لأبعاد الفتحة واستوائها والتحقُّق من زواياها القائمة، أو استعمال قوالب مؤقتة للإطار. وبعدئذ يجب استعمال حشوة بين الإطار واللبنات لضمان عدم تشوُّه عضادتي الإطار حين تثبيت النافذة.

ومهما كانت طريقة تثبيت الإطار، تتحقَّق الحماية من العوامل الجوية بالحقن بالصمغ اللُّباني، مع الانتباه إلى وضع النافذة عند مؤخرة الجنب لتحقيق حماية أكبر، خاصة في الظروف الجوية القاسية.

اللوحات المؤطَّرة

قامت البنية التي نوقشت حتى الآن على مقترح أولي لجدار فجوة مبني من لبنات آجر وخرسانة. وقد تبيَّن أن تلك البنية جيدة وتوفِّر الوظيفة المطلوبة ويمكن تحقيق الإنهاءات حول الفتحات فيها وعند الوصلات مع عناصر المبنى الأخرى. وفي سياق دراسة الحالة هذه، والتي جرى وصفها في الفصل 16، ثمة خيار عملي بديل للجدار الخرساني، هو الجدار المؤلف من لوحات مؤطَّرة، لاستعماله في طبقة الجدار الداخلية.

يمكن تصنيع اللوحات المؤطَّرة في الموقع، إلا أن الشائع هو تصنيعها في المعامل وتوريدها إلى الموقع على شكل لوحات منفردة. وجرى في بعض المشاريع بناء غرف من لوحات خشبية مؤطَّرة في المعمل وُرِّدت إلى الموقع بكميات كبيرة على شكل وحدات جاهزة. أما الصيغة الأساسية للوحة الحاملة المصنوعة من الخشب فهي مبيَّنة في الشكل 3.19. ويمكن صنع لوحات مشابهة باستعمال مقاطع فولاذية خفيفة. لكنْ في ما يلي، لن نتطرَّق إلا إلى اللوحات

الخشبية، إلا أن عملية التحليل يمكن أن تُطبَّق على الفولاذ الخفيف أيضاً.

جدار اللوحة الخشبية المؤطَّرة

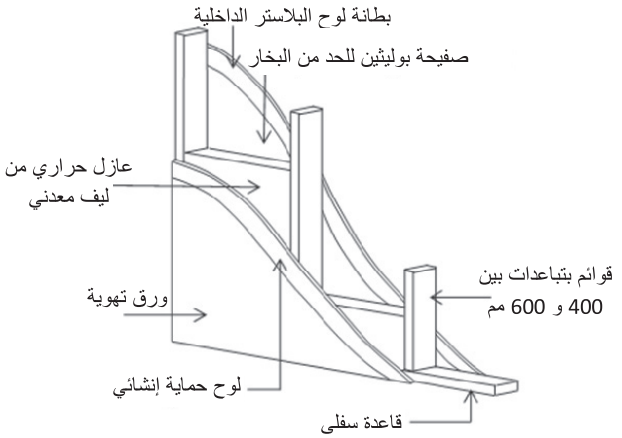
يؤثِّر استعمال اللوحة الخشبية المؤطَّرة، بدلاً من لبنات الخرسانة، لتشييد الطبقة الداخلية من جدار الفجوة، في جميع مواصفات وتفاصيل الجدار تقريباً. وقد أدى ذلك إلى مفاعيل جوهرية إلى حد تسمية الجدار الخارجي برمته بجدار اللوحة الخشبية المؤطرة، برغم أنها ليست سوى الطبقة الداخلية التي تغيَّرت من حيث المبدأ.

يعود أصل تلك المفاعيل الجوهرية بمعظمه إلى تغيُّرات حدَّدناها سابقاً في:

- الصيغة الأساسية (من صيغة مبنية إلى لوحة حرة الحركة)
- المواد (من الخرسانة إلى الخشب)
- عملية الإنتاج (من عمليات في الموقع إلى تصنيع مسبق في المعمل)

الصيغة الأساسية

يبين الشكل 13.19 الطبقات المكوِّنة لطبقة الجدار الداخلية المؤلفة من لوحة خشبية مؤطَّرة. تسمح هذه الصيغة الأساسية المكوَّنة من قوائم خشبية ولوح تقوية (sheathing board) من جهة واحدة من وضع العازل ضمن اللوحة. وحينئذ، يؤدي تدرُّج درجة الحرارة إلى تكاثف البخار على الجانب البارد من العازل، وهذا ما يتطلَّب طبقة تحدُّ من البخار خلف الإنهاءات الداخلية. ويمكن أن تكون طبقة الحد من البخار تلك صفيحة من البوليثين، لكن هذه الصفيحة، برغم لف حوافها وإحكام سدها، ليست حاجزاً للبخار برغم أنها تحدُّ منه. ولضمان فعالية الحدّ من البخار، من الضروري العمل بما يسمى قاعدة المرات الخَمس. يجب أن تكون مقاومة الجانب الدافئ من العازل (ومعه طبقة الحد من البخار) للبخار أكبر بخمس مرات على الأقل من مقاومة بقية الوحدة في الجانب البارد. لذا يجب اختيار مواد الجانب البارد بعناية لضمان أنها تتصف بنفوذية كبيرة للبخار بغية الحد من التكاثف. وعادة، تُختار مواد عازلة تستطيع التهوية، ومنها لُحُف الألياف المعدنية.



الشكل 13.19 الطبقة الداخلية من جدار فجوة ذي لوحة خشبية مؤطّرة.

ولأغراض إنشائية، عادةً يساوي مقاسا المقطع العرضاني لقوائم اللوحة العادية لمنزل من طابقين نحو 89 × 38 مم، وتساوي التباعدات بينها 600 مم، مع أن هذا المقطع العرضاني يحدُّ من سماكة العازل في حالة تركيبه بين القوائم. ولمزيد من المتانة أو العزل يمكن استعمال قوائم مقاسا مقطعها العرضاني يساويان 140 × 38 مم. ولمزيد من العزل يمكن استعمال مقاطع بعداها يساويان 180 × 47 مم، إلا أن استعمال قوائم ذات مقاطع I وشفاه خشبية ووترات من ألواح رقاقات موجَّهة، على غرار عوارض الأرضيات المبيَّنة في الشكل 6.17، يمكن أن يكون أقل تكلفة.

وتؤثِّر الطبيعة المفتوحة للقوائم أيضاً في إمكانات التثبيت. فالمكوِّنات التي تنقل الأحمال، ومنها شِدادات الجدران، يجب أن تُثبَّت على القوائم، ولذا يجب أن تكون ذات تباعدات كتباعدات القوائم. ويجب تحديد العناصر الثقيلة في المبنى لأنه إذا لم يمكن تثبيتها على القوائم وجب أن تكون ثمة عوارض أفقية صغيرة للتثبيت.

وتفرض تلك الطبيعة أيضاً نوع الإنهاء. لا توفِّر القوائم خلفية مستمرة، بل تكوِّن مسطحاً ذا تسامحات تسطُّح جيدة، ويوفِّر الخشب تثبيتاً سهلاً، ولذا يكون الإنهاء بلوح البلاستر ملائماً جداً. إن تثبيت لوح بلاستر على القوائم وحواف الألواح المدوَّرة بالبراغي يعني الاستغناء عن دهان الجدار، وهذا أفضل خيار.

تأثيرات المواد

ولعل لتغيير المواد تأثيراً لا يقل عن تأثير صيغة اللوحة المفتوحة. فتغيير

المواد يعني تغيير الخواص. وأهم الخواص لأداء الطبقة الداخلية من الجدار الخارجي، هي ما يتصل بالحركة ومقاومة الحريق وبعض أوجه الديمومة.

تنزع آجرات الطبقة الخارجية إلى التمدُّد، في حين أن الخرسانة والخشب ينكمشان. لكن هذه الحركة التفاضلية في الجدار المبني ليست ذات أهمية، فشدادات الجدار والعتبات الفوقية التي تمتد فوق كل من الطبقة الداخلية والخارجية تتصف بمرونة كافية لاستيعاب تلك الحركة ضمن المنزل المؤلف من طابقين. إلا أن هذا ليس صحيحاً في حالة الخشب مع لبنات الآجر، لأن الخشب ينكمش والآجر يتمدد. ولذا يجب أن تكون شدادات الجدار مرنة أو مصممة بطريقة ما لاستيعاب الحركة العمودية دون أن تسمح بالحركة الأفقية. ويجب أن تكون ثمة فجوة مقدارها 12 مم بين أعلى جدار الآجر وهيكل السقف المرتكز على الطبقة الداخلية من الجدار في حالة المنزل ذي الطابقين (بافتراض أن طبقة الجدار الداخلية مرتكزة على أرضية خرسانية). ويجب تثبيت أطر النوافذ والأبواب مع الطبقة الداخلية الخشبية، ويجب ترك فجوات بين الجدار الآجري والجانب السفلي من عتبات النوافذ السفلية ورؤوسها. ويجب ملء هذه الفجوات بحشوة قابلة للانضغاط ومانع تسرب مرن لحماية الوصلة من العوامل الجوية.

يتصف الخشب بمقاومة للحريق تقل كثيراً عن مقاومة طبقة لبنات الخرسانة الداخلية. وفي حين أن طبقة الآجر الخارجية توفِّر حماية من الحريق للمنزل برمته، إلا أنه يمكن أن تصل النار إلى الفجوة التي توفِّر مساراً سهلاً للنار لتصل إلى السقف والغرف الأخرى. وهذا يتطلب وجود عوارض خشبية أفقية توضع فوق الفجوة في أعلى الجدار لحماية السقف، وقد تكون ثمة حاجة إليها في كل طابق. وتختلف التشريعات والتوصيات الخاصة بهذه العوارض من مكان إلى آخر في بريطانيا. لكنها توضع عادة حول كل الفتحات، وتوضع عمودياً في الجدران المشتركة بين المنازل. ويجب أن تكون هذه العوارض الخشبية متماسة مع صفائح التغطية لتكون عائقاً أمام انتشار النار في الفجوة، إلا أن ذلك يَجْسُر الفجوة ويوفِّر مسلكاً لتغلغل الرطوبة. ويمكن لتلك العوارض أن تكون صلبة (خشبية بعرض يساوي 38 مم على حصيرة مانعة للرطوبة) أو مرنة (صوف معدني مقوى بالأسلاك وملبَّس بقميص من البوليثين بعرض 50 مم) أو صينية بوليثين وحصيرة مانعة للرطوبة فوق جميع العوارض الأفقية.

أما تدنِّي مواصفات الخشب فيؤثِّر في الإنهاءات. إذ يجب إبقاء نسبة الرطوبة

في الخشب تحت 20٪ لدرء نخره. لذا يجب عدم إكمال الإنهاءات إذا كانت سوف تؤدي إلى إغلاق الخشب على نسبة للرطوبة أعلى من تلك القيمة. ويجب أن تكون مواصفات الإنهاءات في ما بعد بحيث تُبقي نسبة الرطوبة تحت تلك القيمة طوال مدة حياة المبنى. وحيثما كان ثمة احتمال لتجاوز تلك النسبة، وجب استعمال أنواع من الخشب القادر على التحمُّل أو المشرَّب بمادة حافظة. ونظراً إلى أن الخشب الذي يجري اختياره يمكن ألا يكون من النوع المديد العمر، قد يكون من الضروري اللجوء إلى حمايته بمادة حافظة. لكن بوجود الإنهاءات الجيدة ليس من الضروري تشريب كل خشب المنزل بمادة حافظة، وإنْ كان بعض أنواع الخشب صعب الحماية بالإنهاءات وحدها. ومع ذلك، فإن المعالجة بمادة حافظة ضرورية لعتبات الأبواب السفلية في الطابق الأرضي وللخشب المتوضع على حصيرة مانعة للرطوبة، ولعوارض تغطية فجوة الجدار الأفقية. هذا علاوة على أنه يوصى بحماية خشب جميع أطر الفتحات في الجدار الخارجي، وذلك لأغراض ذات صلة بالتأمين.

ومع أن مقتضيات التشييد تتطلب عرض فجوة يساوي 50 مم، فإنه يجب تهوية الفجوة وتوفير مصارف ماء فيها إذا كانت الكسوة الخارجية من لبنات آجرية. فتراكم الرطوبة في الفجوة يمثِّل مشكلة للخشب، ولذا فإن جريان الهواء فيها يساعد على إبقاء مستوى الرطوبة فيها منخفض. يُضاف إلى ذلك أن ورق التهوية يحمي لوحة الجدار في أثناء بناء جدار الآجر الخارجي حتى اكتماله. يتصف ورق التهوية بأنه غير نفوذ للماء، وذلك لتقليص مشكلة امتصاص الخشب للرطوبة، لكنه ذو نفوذية جيدة للبخار لضمان تحقيق قاعدة المرات الخمس.

عملية الإنتاج

تتحدَّد عملية الإنتاج بالقرارات ذات الصلة بمقاسات اللوحات التي يمكن نقلها إلى الموقع وتداولها لوضعها في أمكنتها من المبنى. إن التصنيع المسبق لهياكل الأرضيات والأسقف القائمة على العوارض الخشبية والعوارض الشبكية المائلة ما زال قابلاً للتطبيق هنا، ومن المعقول أيضاً النظر في مستوى معين من التصنيع المسبق، أو على الأقل التحضير للتنسيق في ما بين تلك العناصر الخشبية والجدران. وفي بريطانيا، تثبَّت لوحات بارتفاع طابق واحد على الحصيرة المانعة للرطوبة في أرضية الطابق الأرضي، وتثبَّت قواعد عند أرضية الطابق الأول،

وانطلاقاً من تلك المنصة الجديدة تقام لوحات جدران الطابق الأول ويُشاد السقف مع مثبتاته. ومن الممكن أيضاً الصنع المسبق للجدران الداخلية ونصبها في الوقت نفسه. تسمى عملية بناء الطوابق المتتالية هذه، ذات اللوحات التي يساوي ارتفاعها ارتفاع طابق واحد، والتي ترتكز فيها الأرضيات على أعلى اللوحات، بعملية تشييد الطوابق كل على حدة. وفي مقابلها، جرى تطوير لوحات مؤطرة ارتفاع الواحدة منها يساوي ارتفاع طوابق المبنى مجتمعة، إلا أنها نادرة الاستعمال في بريطانيا.

ومن الممكن التفكير بطيف واسع من مستويات التصنيع المسبق لمنظومة هيكل المنصة لجميع عناصر المنزل. وفي بريطانيا تُورَّد جميع لوحات الجدران على شكل لوحات مفتوحة، حيث تُنتَج في المعمل اللوحة الأساسية المكوَّنة من القوائم ولوح تغطية واحد وورق التهوية. ويمكن تسمير اللوحات معاً بسهولة، ولف ورق التهوية في الموقع. ومن الممكن التفكير بالصنع المسبق للوحات المغلقة حيث يثبَّت العازل وتمديدات الخدمات وطبقة الحد من البخار وبطائن الجدار ضمن اللوحة جميعاً في المعمل. لكن هذا يعقِّد عملية وصل اللوحات في الموقع ويتطلب حماية أكثر إلحاحاً.

مهما كان مستوى التصنيع المسبق، فإنه يتطلب تنسيقاً بين الأبعاد يستفيد من مزايا عملية الإنتاج في المعمل، ويجب تطبيق ذلك على تصميم المنزل وعلى جدار الآجر الخارجي. لذا من الضروري إنشاء مخطط لشبكة التقسيمات الأفقية والارتفاعات العمودية ذات الصلة بالتصنيع المسبق للوحات. وقد نوقِشت فكرة الإطار المرجعي للأبعاد هذه في الفصل 4.

وتُبنى جميع تلك العناصر الإنشائية (الجدران، والأرضيات، والأسقف) بمجموعة واحدة من العمليات، وتُضاف طبقة الجدار الخارجية أو الإكساء لاحقاً. وهذه عملية موقع قصيرة مقارنة بإنجاز المبنى باستعمال جدران مبينة من لبنات، وهي تتطلَّب نصب سقالة حتى مستوى أفاريز السقف قبل بدء عملية البناء، إضافة إلى رافعة لاستعمالها في أثناء ذلك.

يعني تسلسل الأعمال هذا أنه يجب بناء الطبقة الآجرية من الجدار الخارجي بعد إنجاز كامل الطبقة الداخلية. وحينئذ يعتمد بناء الآجر كثيراً على دقة تركيب اللوحات. تساوي تسامحات جدار الآجر عادة نحو ±10 مم لكل 5 أمتار من الطول، و±20 مم لكل 6 أمتار من الارتفاع. لذا يجب تركيب اللوحات الخشبية

المؤطَّرة ضمن حدود هذه التفاوتات، وحينئذ يمكن البنَّاء الحفاظ على عرض الفجوة لضمان تركيب شدادات الجدار وعوارض تغطية أعلى الفجوة والعتبات السفلية ضمن حدود تسامحاتها. ومن المهم أيضاً تركيب اللوحات الخشبية المؤطَّرة ضمن حدود تسامحاتها للسماح بتنفيذ تراكب الآجرات من دون قص كثير منها أو إدخال تغييرات مفرطة في سماكة الطينة.

خيارات الإكساء المختلفة

يمكن استعمال أطر بلاستر خشبية أيضاً، لكنْ من غير المحتمل أن يُطبَّق على كتلة، مثل الجدار المبني من لبنات آجرية، بل على شرائط من صفائح معدنية مثبتة على عوارض خشبية مشرَّبة بمادة حافظة مثبتة مباشرة على قوائم وتدية. وإذا كانت ثمة فراغات خلف تلك الشرائط (بحيث يمكن البلاستر التغلغل فيها)، وجب أن يكون عرض الفجوة 50 مم للحفاظ عليها نظيفة، أما إذا كانت مستندة إلى شيء وراءها، أمكن تخفيض عرض الفجوة إلى 25 مم.

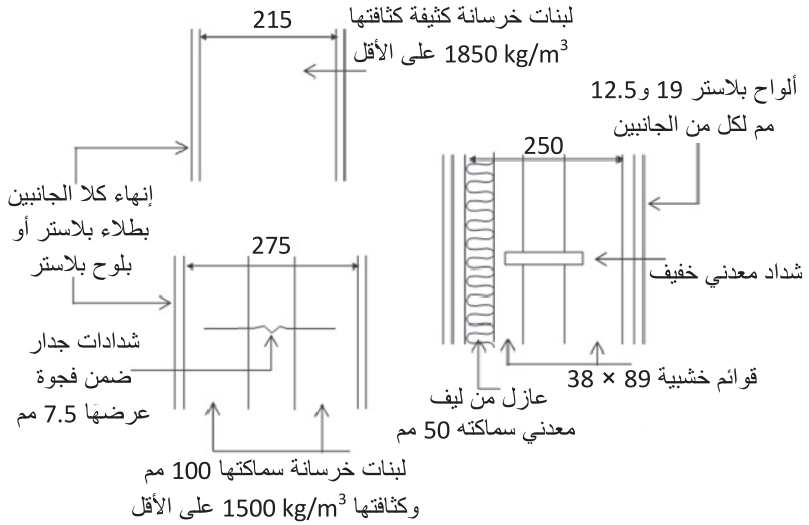
ويمكن اعتماد أنواع أخرى من الإكساء، منها تعليق بلاطات قرميدية أو التغطية بصفائح خشبية، وذلك بتثبيتها على عوارض خشبية معالَجة بمادة حافظة. وفي حالة التلبيس ببلاطات قرميدية تكون العوارض الخشبية أفقية، وبذلك لا تكون ثمة فجوات عمودية، بل تتراكب البلاطات بحيث يصرِّف كل منها الماء على حدة. أما مع الصفائح الخشبية، فلا تستطيع الوصلات تصريف الماء، ولذا يجب أن يكون عرض الفجوة 10 مم. وفي تلك الحالة لا تكون قمية عزل تلك الفجوات كبيرة جداً، إلا أنها تؤدي وظيفة منع تغلغل الرطوبة.

يجب توخِّي الحذر حين اتخاذ القرار بشأن هذه البدائل. فالآجر يوفِّر الجزء الرئيسي من مقاومة الجدار لانتشار النار والصوت. وتغيير نوع التغطية الخارجية يمكن أن يترك المبنى دون حماية خارجية. ويمكن بعضَ أنواع الإكساءات الخارجية أن تكون قابلة للاشتعال وأن تمثِّل سطحاً جيداً لانتشار للنار. ويعتمد العزل الصوتي على عناصر أخرى، مثل النوافذ والأبواب، إلا أن إسهام الجدار فيه يجب أن يُؤخذ في الحسبان.

الجدران المشترَكة (الفاصلة)

خلافاً للجدران الخارجية، لا توجد في هذه الجدران وظائف حماية من العوامل الجوية، وهي لا تحتوي على فتحات، وهذا ما يجعل تشييدها بسيطاً

عموماً. إلا أنها يمكن أن تكون عرضة للتحميل (ومن ضمنه التحميل الناجم عن قوى التخليع من الرياح) وتحتاج إلى أن تكون أعلى مقاومة لانتشار الحريق والصوت، وهذا ما يحدِّد معظم مواصفات الجدار وتفاصيله. يُري الشكل 14.19 خيارات البنية الأساسية للجدار المشترَك.



الشكل 14.19 خيارات مختلفة للجدار المشترَك.

وفي حالة الجدران المبنية من لبنات خرسانة، يمكن تحقيق عزل للنار والصوت بواسطة لبنات الخرسانة الكثيفة أفضل مما يمكن تحقيقه باللبنات المنخفضة الكثافة التي تُختار للجدران الخارجية بسبب خواصها الحرارية. والفجوة ليست ضرورية هنا للحماية من العوامل الجوية، إلا أنها توفِّر عزلاً صوتياً، ولذا يمكن استعمال كل من الجدار المصمت والجدار ذي الفجوة. ومن أجل مقاومة انتشار الحريق، يجب أن يمتد الجدار حتى فراغ السقف، وأن يمنع النار حتى الجانب السفلي من قرميدات السقف.

وفي حالة الجدار المشترَك المصمت، يجب أن تساوي الكتلة الكلية 415 kg/m^2 على الأقل، ويمكن تحقيق ذلك بواسطة لبنات خرسانة كثيفة سماكتها 215 مم، أو يمكن تكوين الجدار من لصق لبنات رقيقة مسطَّحة معاً لتحقيق السماكة المذكورة. ويمكن إنهاء كلا هذين النوعين من الجدران في كلا الجانبين ببلاستر

خفيف الوزن أو بلوح بلاستر واحد سماكته 12,5 مم، وفقاً لما ناقشناه للإنهاءات الداخلية للجدران الخارجية.

وإذا استُعمل جدار ذو فجوة، أمكن إقامة طبقتين من لبنات خرسانة خفيفة كثافتها تساوي 1500 kg/m^3، وتساوي سماكة كل منهما 100 مم، مع فجوة عرضها 75 مم (مع شدادات جدار)، وتُغطى الطبقتان ببلاستر خفيف الوزن أو ألواح بلاستر في كلا الجانبين. وفي كل من هذا الخيار والخيار السابق، من الضروري أن تملأ الطينة ما بين اللبنات تماماً لضمان تحقيق كامل وظائف الجدار.

ويمكن تشييد الجدران المشترَكة باستعمال لوحات خشبية مؤطَّرة على شكل جدران فجوة. إلا أنه من الصعب في هذه الحالة تحقيق كتلة كبيرة ومقاومة للنار. يُبنى الجدار في هذه الحالة من لوحتي قوائم مؤطَّرة مع فجوة بينهما. وحينئذ يجب أن يتألف الإنهاء من صفيحتين من ألواح البلاستر، سماكة إحداهما 19 مم وسماكة الأخرى 12,5 مم في كل من جانبي الجدار، مع عازل من ليف معدني سماكته 50 مم على الأقل (يوصى بـ 80 مم) وكثافته لا تقل عن 10 kg/m^3 في مقابل الفجوة. وعند مستوى الأرضية، يجب توفير حاجز نار للفجوة، مع شدادات فجوة معدنية خفيفة لتحقيق استقرار طبقتي الجدار في كل طابق. وثمة حاجة إلى حواجز نار عمودية أيضاً عند ملتقى الجدار المشترَك مع الجدران الخارجية، لكن مع الحفاظ على الانقطاع الصوتي لدرء المسارات الجانبية. تعتمد هذه البنية على الانقطاع (عدم الاستمرارية) والامتصاص في الفجوة لتحقيق العزل الصوتي، إضافة إلى أن لوح البلاستر يوفِّر بعض الكتلة ومقاومة انتشار الحريق بين المنازل المتجاورة.

لا يوجد لوح تقوية في بنية الجدار المشترَك هذه التي تمثِّل عنصراً رئيسياً في وظيفة اللوحة الإنشائية، خاصة إزاء التخليع. فلوح البلاستر يقوم الآن بهذه الوظيفة، لكنه قد لا يكون كافياً. فإذا كانت ثمة حاجة إلى جساءة إضافية، أمكن تحقيقها بالتربيط القطري ضمن الفجوة، أو بواسطة لوح تقوية يُضاف إلى لوحة الجدار.

جدران التقسيمات الداخلية

على غرار الجدران الخارجية والجدران المشترَكة، يمكن تشييد جدران التقسيمات الداخلية من لبنات خرسانية أو آجرية، أو من لوحات خشبية مؤطَّرة. والصيغة الأساسية لها هي نفس تلك المبيَّنة في الشكل 1.19 (مشابهة لطبقة لبنات

الخرسانة الداخلية) والشكل 3.19 (قوائم خشبية أو فولاذية)، وينطبق ذلك أيضاً على الإنهاءات بالبلاستر أو ألواح البلاستر، وفقاً لما هو مناسب. وثمة شركات متخصِّصة تورِّد لوحات جدران إلى الموقع ذات جوانب منهية وجاهزة للتزيين، إلا أنها غالية الثمن.

ليست المتطلبات من جدران التقسيمات الداخلية كتلك التي يجب أن تحقِّقها الجدران الخارجية أو المشتركة. فالجدران الموجودة تحت السقف مباشرة لا تتعرَّض للتحميل إذا بُني السقف من عوارض شبكية مائلة. أما الجدران في الطوابق الأدنى، فقد تتعرَّض للتحميل من عوارض الأرضية. وقد تكون ثمة حاجة إلى جدران داخلية تعمل دعائم لمنع الانقلاب الذي تُحدِثه أحمال الريح، وحينئذ يجب تثبيتها أو ربطها جيداً بالجدار الخارجي على كامل طولها. وإلاّ يمكن بناء جدار تقسيم حتى مستوى طبقة الجدار الخارجي الداخلية فقط. وإذا بُني جدار تقسيم متعامداً مع جدار مشترَك مكوَّن من لوحة خشبية مؤطَّرة، وجب تثبيت كلتا صفيحتي لوح البلاستر في الجدار المشترَك أولاً، وذلك لضمان عدم وجود نقص في أداء الجدار المشترَك من حيث منع انتشار النار والصوت.

صحيحٌ أنه ليس ثمة من وظيفة إنشائية لجدران التقسيمات الداخلية ضمن المنزل، إلا أن لها وظيفة رئيسية من حيث المظهر وتحقيق الخصوصية. ومن المطلوب منها أن تقاوم الحريق مدة نصف ساعة، ويتحقق ذلك في الجدران المبنية من لبنات مكسوة بالبلاستر أو ألواح البلاستر، وفي جدران اللوحات الخشبية المؤطرة المغطاة بألواح بلاستر سماكتها 12,5 مم على الجانبين.

وتقتصر متطلبات المظهر عادة على السطوح المستوية التي يمكن تحقيقها بالبلاستر أو ألواح البلاستر، في حين أن بنية الجدار الأساسية توفِّر حاجزاً ضوئياً وبصرياً تاماً. ولعلَّ العزل الصوتي هو المحدِّد الرئيسي لمواصفات جدران التقسيمات الداخلية. فالجدران ما بين غرف النوم والمراحيض وأي غرفة أخرى يجب أن تحقِّق قيمة للعزل الصوتي R_w تساوي 40 ديسيبل. وهذا ما لا يمكن تحقيقه بواسطة جدران اللوحات الخشبية المؤطَّرة من دون تزويدها بحشوة ماصة للصوت سماكتها لا تقل عن 25 مم بين قوائم 75 × 38 مم. أما الجدران المبنية من لبنات الخرسانة فيجب أن تساوي كتلتها 120 kg/m^2 أو أكثر لتحقيق قيمة العزل الصوتي تلك.

وتساوي سماكة جدران التقسيمات الداخلية في المنزل نحو 100 حتى 125 مم. وهذه السماكة تضمن استقرار جدران اللوحات المؤطَّرة، ذات الارتفاعات المعتادة بين الأرضيات والأسقف في المنازل، وفقاً لما ورد في الفصل 17. وليس ثمة من مشكلة في تثبيت الأشياء على الجدران الداخلية المبنية من لبنات خرسانية، أما في حالة جدران اللوحات المؤطَّرة، فثمة ضرورة لوجود عوارض ارتكاز للأشياء الثقيلة (مؤشرة على الجهة الخارجية للوح). وفي ما يخص التأثيرات المتبادلة بين جدران التقسيمات الداخلية والعناصر الأخرى، خاصة تمديدات الخدمات، فهي كتلك التي نوقشت في حالة الجدران الخارجية في المقطع السابق. ويمكن اختيار الإنهاءات نفسها لجميع سطوح الغرف الداخلية بغض النظر عن كون الجدار خارجياً أو مشترَكاً أو داخلياً.

الخلاصة

1. لكل من أنواع الجدران الثلاثة، الخارجية والمشترَكة والداخلية، مجموعة من الوظائف الخاصة به.

2. يمكن بناء كل من تلك الأنواع من الجدران من لبنات خرسانة أو آجر، أو لوحات مؤطَّرة من الخشب أو الفولاذ. ويمكن الجدار أن يكون كتلة واحدة من الخرسانة التي تُصب في الموقع. وثمة خيارات أخرى أيضاً.

3. يُعتبر الجدار ذو الفجوة، الذي يُستعمل للحماية من العوامل الجوية، أكثر الخيارت المتاحة لبناء الجدران المنزلية الخارجية. وغالباً ما تُبنى طبقته الخارجية من لبنات آجرية، أما طبقته الداخلية فتُبنى إما من لبنات خرسانية أو من لوحات خشبية مؤطَّرة.

4. تقع الفجوة، التي تؤدي وظيفة الحماية من العوامل الجوية، بين طبقة الجدار الخارجية التي تعطي المظهر، والطبقة الداخلية التي ترتكز عليها الأحمال عادة. وتوفِّر الفجوة مع الطبقة الداخلية التي تتكوَّن من لبنات خفيفة الوزن بعض العزل الحراري، إلا أن هذا العزل يجب أن يُعزَّز بطبقة عازلة للوصول إلى قيمة U مقبولة.

5. لتحقيق جميع وظائف الجدار الخارجي، يجب أن يتضمَّن نوافذ وأبواباً. ولتنفيذ هذه العناصر تُنشأ فتحات في الجدار، وحينئذ يجب أن تحافظ تلك

الفتحات على أداء الجدار الأساسي. وتُثبَّت النوافذ والأبواب في الفتحات وتُحمى من العوامل الجوية.

6. يُصمِّم النوافذ والأبواب اليوم ويُصنِّعها مختصون، ولا تحتاج إلا إلى تثبيت في الفتحات وحماية من العوامل الجوية. إلا أن مقاسات الفتحات ومتطلبات أداء الأبواب والنوافذ وموادها يجب أن تُختار بوصفها جزءاً من التصميم البيئي الشامل للمنزل.

7. يمكن أن تُشاد طبقة الجدار الخارجي الداخلية من لوحات خشبية مؤطَّرة بدلاً من لبنات الخرسانة. ولهذا التغيير في المواد وما يتبعه من تغييرات في عملية الإنتاج تأثير عميق في بقية تفاصيل الجدار، ويتطلب إعادة نظر في معظم جوانب بنية المنزل وغلافه الخارجي.

8. يجب أن تكون الجدران المشترَكة، التي تفصل بين المنازل المتجاورة، قادرة على منع انتشار النار والصوت، وهذا يفرض معظم خيارات وتفاصيل موادها.

9. يمكن بناء جدران التقسيمات الداخلية إما من لبنات خرسانة أو من لوحات خشبية مؤطَّرة. ويمكن أن تكون مرتكزات لأحمال فوقها، ويجب أن تكون عازلة للصوت، خاصة بين غرف النوم والغرف الأخرى. أما متطلبات مكاملة الخدمات والإنهاءات معها فهي مشابهة لتلك التي في الجدران الخارجية والمشترَكة.

الفصل العشرون

الأساسات

نهتم في هذا الفصل بتشييد الأساسات حتى الحصيرة المانعة للرطوبة، لكنْ من دون التطرُّق إلى أرضية الطابق الأرضي. ونقدِّم فيه تأثير التربة والموقع في تصميم وإنتاج طيف من الأساسات التي يمكن استعمالها للمنزل في دراسة الحالة هذه.

وظيفة الأساسات الرئيسية

تتمثَّل وظيفة الأساسات في الحفاظ على سلامة بنية المبنى الموجودة فوق الأرض. ونعتبر في هذا الفصل أن الأساس يضم البنية كلها التي تقع تحت حصيرة الجدار المانعة للرطوبة، لكنه لا يضم أي بنية ذات صلة بأرضية الطابق الأرضي التي ترتكز عليها أحمال الأنشطة الجارية فوق الأرضية (غُطِّيت في الفصل 17). لذا ليست ثمة وظائف بيئية للأساسات. فهي ذات وظائف إنشائية، وتنطوي على شيء من اعتبارات المظهر في الأمكنة التي تظهر فيها الأساسات فوق الأرض حتى الحصيرة المانعة للرطوبة. أما تحليل دورة حياة الأساسات فهو ضروري، لأن متطلبات الصيانة المستقبلية يجب أن تكون معدومة، إضافة إلى أن الأساسات تؤثِّر في إمكانات إعادة إعمار الموقع حين تعديل المبنى أو هدمه.

سلامة الأساسات الإنشائية

نظراً إلى أن الدور الإنشائي الرئيسي للأساسات هو الحفاظ على سلامة المبنى، تجب معرفة شيئين عن بنية المبنى فوق الأرض:

- توزُّع الأحمال ومقاديرها وتوجيهها ونقاط تطبيقها.
- صلابة البنية الموجودة فوق الأرض.

في حالة المنزل، تأتي جميع الأحمال من الجدران وتصل إلى الأساسات

موزَّعة بتجانس على شكل حمل مستمر. ويأتي من كل جدار حمل مختلف للمتر الطولي تبعاً لكون الجدار حاملاً لأرضية أو سقف. ويعتمد تحميل الجدران المنزلية على الوزن الذاتي للجدار الذي يمكن أن يكون جزءاً هاماً من الحمل، خصوصاً إذا كان مبنياً من لبنات وكانت فتحاته صغيرة أو قليلة. وفي حين أن الأحمال الآتية من الجدران الخارجية والمشترَكة تختلف عن بعضها، إلا أن الفوارق بينها لا تكون كبيرة عادة، لذا من المعتاد تصميم الأساسات لهذه الجدران مع تحميلها الأعظمي. وهذا يؤدي نظرياً إلى هبوطات مختلفة تحت الجدران، إلا أنه عملياً، في حال كانت التربة جيدة للارتكاز عليها، لا تؤدي اختلافات تلك الأحمال إلى هبوطات مختلفة كثيراً، يمكن أن تُجهد بنية المبنى العامة. أما الأحمال على جدران التقسيمات الداخلية فهي أقل كثيراً، والجدران رقيقة، لذا يمكن أن تكون أساساتها أصغر.

تُطبِّق بنية المنزل أحمالاً عمودية على الأساسات، وبرغم أن معظم الحمل يأتي نظرياً من الطبقات الداخلية للجدران الخارجية، إلا أنه يعتبر مطبَّقاً على الخط المحوري على طول الجدار.

وتمثِّل صلابة بنية المبنى الإنشائية معياراً لما يمكن أن تتحمَّله من هبوطات تفاضلية من دون أن تحصل فيها تشوُّهات أو تشقُّقات كثيرة يمكن أن تؤدي إلى إخفاقها في تحقيق وظائفها. في البداية، يمكن التشوُّهات أو التشقُّقات أن تؤثِّر في المظهر فقط، إلا أنها عندما تستفحل، فإن مقاومة البنية للعوامل الجوية وإمكان صيانتها واستقرارها الإنشائي سوف تكون عرضة للخطر. إن جميع المباني تتشوَّه وتتشقَّق إلى حد ما، وتُصمَّم معظم الإنهاءات بحيث تتقبَّل هذه الحركات. والمثبِّتات وتوابعها، فضلاً عن المواد المختارة، هي التي تحدِّد مقدار الحركة التي يمكن استيعابها دون التأثير في أداء بنية المبنى. ومن الاعتبارات الرئيسية في بنية المنزل صلابة الجدران المبنية من لبنات الآجر أو الخرسانة. فكلما ازدادت صلابة البنية، حصلت انفعالات حرجة (حركة تؤدي إلى إجهاد وتشقُّق) نتيجة إلى الهبوطات التفاضلية الصغيرة. واستعمال الطينة الإسمنتية لزيادة المتانة يجعل الجدار أكثر صلابة نسبياً وأقل قابلية لاستيعاب الهبوطات التفاضلية منه في حالة استعمال طينة الجير التي هي أضعف وأقل صلابة. وتسمح وصلات الأرضيات والأسقف المفصلية مع الجدران ببعض الدوران، إلا أنها عرضة للحركات العرضانية، وهذا ما يقلِّل من إمكان تحميلها.

التربة بوصفها جزءاً من البنية

تتعرَّض التربة تحت الأساسات للإجهاد، ولذا تُعتبر جزءاً من منظومة المبنى الإنشائية. لكن أساسات المبنى يجب أن تنقل الأحمال بطريقة لا تُفرط في إجهادها هي نفسها، وفي إجهاد التربة. وقد قدَّمنا في الفصل 11 تحليلاً لسلوك التربة تحت الحمل يتضمن أن قابلية التربة للانضغاط تحت الأساسات، حتى عمق يساوي نحو 1,5 مرة من عرض الأساس، تحدِّد مقدار الهبوط، في حين أن التربة على جانب الأساسات تُسهم في انهيار يعتمد على مقاومة القص في التربة. ويعتمد كل ذلك على استقرار كتلة التربة المضغوطة نتيجة للتغيُّرات الواسعة الناجمة عن حركة الرطوبة أو انهيار التربة بسبب الميول أو الفراغات التي تسبِّبها فعاليات طبيعية أو أعمال ذات صلة بالمناجم.

ويحدِّد ذلك التحليل أيضاً ما تجب معرفته عن التربة ومقدار الاستقصاء اللازم للحصول على معلومات جيدة يمكن أن يُقام عليها تصميم الأسس.

تجب معرفة مقاومة القص في التربة بغية تحديد مقدرتها الكلية على التحميل وقابليتها للانضغاط مع مرور الوقت. وإضافة إلى هاتين الخاصيتين المتعلقتين بمقدرة التربة على التحميل، من الضروري معرفة تغيُّراتها الحجمية مع تغيُّر محتواها من الرطوبة.

من خصائص الصلصال (والطمي الذي هو أكثر التصاقاً) أن تغيُّرات نسبة الرطوبة فيه تترافق بتغيُّرات في حجمه. ويؤدي نقص الماء من هذه الأنواع من التربة، الموجودة تحت الأساسات، إلى انكماشها ومن ثَمَّ إلى هبوط يُضاف إلى الهبوط الذي ينجم عن التحميل. وتؤدي زيادة الماء فيه إلى انتفاخه. حينئذ، تصبح قوى الامتصاص في بنية التربة الدقيقة جداً والقابلة للاتصاق كبيرة إلى درجة أنها تصبح أكبر من وزن المبنى، فترفع الأرض، وترفع المبنى معها. لذا عندما يتبيَّن أن التربة في الموقع عرضة لهذا التغيُّر الحجمي، يجب التساؤل عن العمق الذي يُتوقَّع أن تحصل عنده هذه التغيُّرات الناجمة عن الرطوبة.

ثمة سببان رئيسيان لتغيُّر نسبة الرطوبة في التربة: التغيُّرات الفصلية، والنباتات (الأشجار غالباً) التي تحيط بالمبنى. ففي الدورة السنوية للانتقال من الصيف إلى الشتاء، تجف التربة بالقرب من سطح الأرض بسبب أشعة الشمس، ثم تزداد رطوبتها ثانية مع هطول المطر. وفي بريطانيا، ليست هذه التغيُّرات الفصلية ثابتة. فقد بيَّنت السجلات أن من غير المحتمل لتلك التغيُّرات أن تؤثِّر في التربة على

عمق يزيد على 900 مم، ولذا فإن الأساسات التي تُبنى بعمق 1000 مم لا تُعاني من التغيُّرات الحجمية الفصلية في التربة في أثناء حياة المبنى. أما تأثير النباتات فيمكن أن يمتد إلى أعمق من ذلك المستوى. ويعتمد تأثيرها كثيراً على نوع الشجرة وعلى حاجتها إلى الماء، وعلى أقصى ارتفاع لها، وعلى بعدها عن المبنى. تستجر الأشجار الناضجة الماء من مناطق أعمق وأوسع في الصيف، وهذا ما يؤدي إلى انكماش التربة وهبوطها. وإذا أزيلت الأشجار الناضجة، توقَّفت عن استجرار الماء، وعادت نسبة الماء في التربة إلى الارتفاع مؤدية إلى انتفاخها وارتفاعها. لذا يجب تقدير حالة التربة في كل موقع ولكل تجمُّع للأشجار، ويمكن أن يصل هذا العمق إلى 3500 مم أو أكثر، وهذا ما يفوق كثيراً التأثيرات الفصلية.

وثمة تغيُّر حجمي موسمي آخر يختلف عن ذاك الناجم عن تغيُّر نسبة الرطوبة، وهو الناجم عن تجمُّد الماء في التربة. ومن أنواع التربة المعرَّضة لهذا النوع من الحركة في تلك الظروف، الطمي والجير (كربونات الكالسيوم) والرمال الطمييَّة الناعمة وبعض أنواع الصلصال القليل اللدونة. ويمكن التجمُّد أن يرفع المبنى إلى أعلى إذا حصل تحت الأساسات. وهذا تغيُّر فصلي يقترن بأيام الشتاء الباردة التي تطول فيها مدة انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر. وفي ما يخص بريطانيا، فإن الشتاء فيها شديد التغيُّر من هذه الناحية، إلا أن السجلات تُري أن هذا المفعول في المناطق القريبة من المباني المسكونة يصل حتى أعماق تساوي نحو 450 مم، ولذا فإن الأساسات التي توضع تحت 500 مم لا تتأثَّر به. أما في ما يخص المنشآت المتخصِّصة، ومنها المستودعات الباردة، فقد يكون من الضروري النزول إلى أعماق أكبر.

تحرِّي الموقع

من الممكن الآن تحديد ما تجب معرفته عن التربة حتى عمق تحصل فيه إجهادات وتغيُّرات في الرطوبة إذا كانت التربة صلصالية. ومن الضروري أيضاً معرفة كيفية حصول التغيُّرات تحت المبنى، ومن ضمنها منطقة إجهادات القص في التربة حول المبنى. وإذا كان موقع المبنى ليس معروفاً تماماً، وجب استقصاء الموقع برمته. وإضافة إلى ذلك، ثمة حاجة إلى معرفة معلومات أخرى لتحديد إمكان حصول تغوُّر أو انهيار أرضي آخر يمكن أن يؤدي إلى إخفاق على التصميم أن يأخذه في الحسبان.

وفي أثناء استقصاء الموقع من الضروري أيضاً جمع معلومات هامة لعملية الإنتاج. فالعمل في الأرض ينطوي على مشكلات ذات صلة مباشرة بظروف الأرض. وهذه المشكلات ليست تقنية فقط، فمنها مشكلات صحية ومالية، وأخرى تخص السلامة، وجميعها يزيد من تكلفة الأعمال تحت الأرض. واختيار نوع الأساس الذي يمكن أن يقلِّص تلك المشكلات هو جزء من عملية الاختيار الشاملة. فخواص التربة التي سوف يُبنى فوقها تعطي معلومات عن مخاطر انهيار جوانب الحفريات المكشوفة، وعن ضرورة تأمين حماية مؤقتة لها. وإضافة إلى تلك المعلومات، ثمة حاجة إلى معلومات عن وضعية الموقع، من مثل وجود مياه جوفية ساكنة في التربة وإمكانات الوصول إليها.

ويجب جمع معلومات لاستعمالها في التحليل البيئي أيضاً. ومن تلك المعلومات ما يخص موائل الحياة البرية والبيئة الحيوية المحلية في المواقع الخضراء النظيفة، وما يخص استعمالات الأرض السابقة وإمكان وجود تلوُّث في المواقع المهجورة بعد استعمالها. ويجب الحذر حين القيام بهذا التمييز بين المواقع النظيفة والمواقع المهجورة. فبعض المواقع في بريطانيا التي تُعتبر برية وغير مستغلة، يمكن أن تكون قد استُغلَّت صناعياً في الماضي في أيام الرومان أو في العصور الوسطى. ويمكن أن تشير الاستعمالات السابقة إلى وجود أساسات قديمة أو إنشاءات أخرى تحت الأرض، أو إلى وجود ملوِّثات. وقد تكشف أيضاً عن آثار ولُقى قديمة.

لا يمكن جمع هذه المعلومات بطريقة واحدة، ومعظم الاستقصاءات تُجرى وفقاً لواحدة من الطرائق التالية:

- دراسة مكتبية
- دراسة ميدانية سطحية
- استقصاء الأرض

تُستعمل في الدراسة المكتبية عادة المعلومات المنشورة، ومنها المعلومات المناخية المرتكزة على معلومات الخرائط الجيولوجية والطوبوغرافية والصور الجوية. وتنتُج من هذه الدراسة معلومات لتقدير إمكان حصول تغوُّر لأسباب طبيعية أو صنعية يمكن أن يجعل الموقع غير مستقر. ومن مصادر هذه المعلومات سجلات أو خرائط تبيِّن استعمالات الأرض السابقة، ومنها المناجم. وتوفِّر

السمات المميِّزة للموقع وأنماط استيطانه غالباً فكرة عن استعمالاته السابقة. ويمكن الدراسة المكتبية أن تتضمن أيضاً مسحاً لمرافق خدمات الموقع، مثل شبكات الماء والكهرباء والصرف الصحي وغيرها، والتي يمكن الحصول عليها من السلطات المختصة.

وتشير الدراسة المكتبية إلى ما يمكن أن يوجد في الموقع، وهي تساعد على توفير معلومات لطوْرَي الدراسة الآخرين اللذين يُجريان في الموقع. وتعطي الدراسة المكتبية، مع المعارف المحلية، بعض الأفكار عن سمات الأرض ونباتاتها الموجودة فوق الأرض، وعن نوع التربة والإنشاءات السابقة والتلوُّث الموجود تحت الأرض.

أما المخاوف من الملوِّثات فتكمن في شيئين: مفاعيلها الضارة بصحة الناس الذين سوف يقطنون المبنى (وصحة متعهِّدي البناء)، وتلك الضارة بالمواد التي سوف تُستعمل في البناء. إن معرفة أنواع الملوِّثات تمكِّن من تحديد مستويات التراكيز التي يمكن اعتبار التربة أو المياه الجوفية عندها ملوَّثة، ولذا تُجرى مسوحات التلوُّث في المواقع المهجورة غالباً مستقلة عن مسوحات التربة الهندسية.

في المسح الميداني السطحي، تُجمع معلومات عن سطح الأرض، وهي تتضمن الخصائص الطوبوغرافية والنباتية وظروف التجمعات العمرانية المجاورة. ومن الممكن وضع علامات عن تلك الخصائص على المخطط الذي يُعزَّز بسجلات تتضمن صوراً فوتوغرافية. وقد يتطلب ذلك مسحاً للأرض أكثر دقة إذا كانت مواضع السمات المميَّزة أو تفاصيلها الدقيقة هامة للمبنى وصيغته وموضعه.

أما استقصاء الأرض فيعتمد على نتائج الدراسة المكتبية والمسح الميداني السطحي، وعلى حجم المبنى وبنيته. وفي ما يخص أساسات المنزل، يكفي أخذ عينات بسيطة من التربة لاختبارها وتحديد بنيتها بفحصها بصرياً. فإذا كان الموقع يوفِّر ظروف تحميل جيدة، أمكن تصميم أسس شريطية مستمرة بسيطة باستعمال جداول القواعد الناظمة للبناء، حيث لا حاجة إلا إلى نوع التربة لتحديد عرض الأساسات. وتكفي المعاينة البصرية المباشرة أيضاً لتحديد وجود الصلصال القابل للانكماش، ومن ثمَّ تحديد العمق اللازم لضمان الاستقرار إزاء تغيُّرات التربة الحجمية. وتُعطي عينات الاختبار مؤشِّراً إلى الماء الجوفي الراكد، ويكفي أخذ عينات من الماء والتربة إلى المخبر لتحليلها كيميائياً لمعرفة إنْ كانت تحتوي على

الكبريتات، في حال الاشتباه بذلك. وعندما لا يكون تحديد نوع التربة بصرياً كافياً، قد تكون ثمة حاجة إلى إجراء اختبارات سبر لأعماق التربة في الموقع وأخذ عينات منها إلى المخبر لتحليلها.

ومن الضروري القيام باستمرار بطور رابع من الاستقصاء في أثناء التشييد بغية مقارنة نتائج التحرِّيات السابقة التي استُعملت في التصميم بالمعلومات التي تكشف عنها حفريات الأساسات. وهذا ما يمكِّن أيضاً من إجراء فحوصات قبل تنفيذ الأعمال الهامة التي من مثل صب خرسانة الأساسات.

تصميم الأساسات

سواء أُخذت معلومات الأساسات من الجداول أو كانت نتيجة لتصميم إنشائي، فإنه يجب تحقيق أربعة شروط:

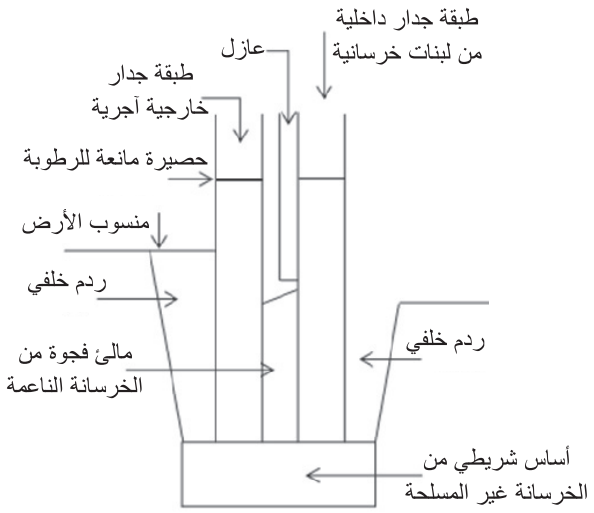
- يجب توزيع الحمل على مساحة كافية للحد من الهبوط ودرء الانهيار.
- يجب أن يقع مركز ثقل الحمل على مركز منطقة الأساسات.
- يجب أن تكون الأساسات صلبة بقدر كاف ليكون ضغطها على كامل منطقة الأساسات من الأرض متجانساً.
- يجب صب الأساسات بعمق في الأرض يصل إلى تربة صلبة مستقرة.

فيما يخص المنزل موضوع دراسة الحالة، تتصف الأحمال بأنها صغيرة نسبياً، وكثير من المواقع في بريطانيا تحتوي على تربة ذات خواص حمل جيدة وقابلية انضغاط منخفضة، إلا أنها تتكوَّن على الأرجح من صلصال قابل للانكماش، في إنكلترا خاصة في الجنوب والشرق. وإذا لم تكن ثمة مناطق عمرانية رئيسية سابقة أو صعوبات جيولوجية أو طوبوغرافية، كان الأساس الشريطي البسيط هو الخيار المفضَّل من حيث التكلفة.

الأساس الشريطي

يبين الشكل 1.20 الصيغة العامة للأساس الشريطي. ترتكز طبقة جدار الفجوة الخارجية على حصيرة مانعة للرطوبة الصاعدة. ويجب أن تكون حصيرة منع الرطوبة أعلى من منسوب الأرض بـ 150 مم على الأقل لدرء الرطوبة التي تنجم عن تبلُّل الجدار بماء المطر الذي يرتد عن الأرض. ويجب أن يبقى الجزء الأول

من الجدار الموجود تحت الحصيرة المانعة للرطوبة جداراً ذا فجوة لضمان تصريف مائها تحت الحصيرة. ويجب أن تُستعمل في بناء طبقة الجدار الخارجية لبنات آجر بمقدار مدماكين أو ثلاثة تحت منسوب الأرض للحفاظ على المظهر الخارجي، شريطة أن تكون لبنات الآجر قادرة على تحمُّل التشبُّع بالماء وتجمُّده. وتحت لبنات الآجر تلك، يمكن أن تكون طبقة الجدار الخارجية من لبنات خرسانية. إن جميع أنواع لبنات الخرسانة ملائمة للاستعمال تحت الأرض، ولذا فإنه يمكن استعمال لبنات غير اللبنات العازلة المستعملة في الطبقة الداخلية فوق الحصيرة المانعة للرطوبة، على ألاّ تؤدي إلى تكوُّن جسر بارد عند حافة البلاطة.



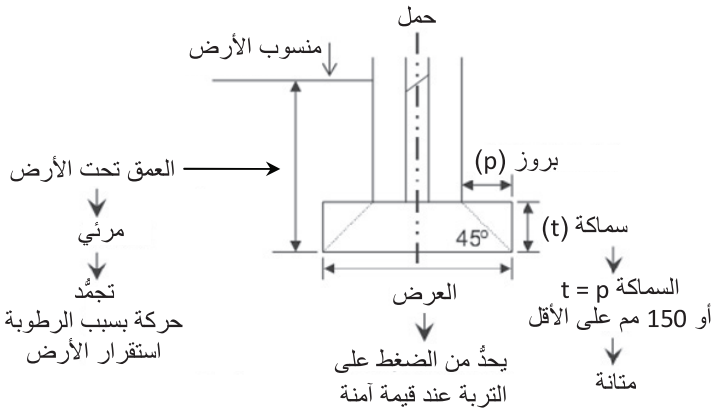
الشكل 1.20 أساس شريطي من الخرسانة غير المسلحة.

وبدءاً من 150 مم تحت الحصيرة المانعة للرطوبة ونزولاً إلى أسفل، يجب ملء الفجوة لأن الجدار يصبح عرضة لضغط من التربة يسعى إلى تطبيق طبقتي الجدار على بعضهما. ومن الممكن استعمال صف من لبنات خرسانية ذات شق طولاني على طول الجدار بدلاً من بناء طبقتين وملء الفجوة بينهما.

بعدئذ تجب تقسية أسفل الجدار، وقد يكون من الضروري جعله عريضاً كي ينقل الحمل المطبَّق عليه إلى التربة على نحو متجانس. وإذا لم يكن من الضروري أن يكون الأساس أعرض كثيراً من الجدار، أمكن استعمال شريط من الخرسانة غير المسلحة. وهذا هو حال كثير من المواقع في بريطانيا، حيث يُعتبر العرض بين 300 و600 مم كافياً للأساس. وليس ثمة من ضرورة لتكون هذه الخرسانة ذات

مقاومة كبيرة، لكنها يجب أن تكون متينة وقابلة للديمومة، ولذا يجب أن تنص مواصفتها على النسبة الأصغرية المسموح بها للإسمنت فيها (ونوع الإسمنت إذا كانت ثمة ضرورة لمقاومة الكبريتات)، وهذا ما يجري تحديده في مواصفات المتانة والديمومة.

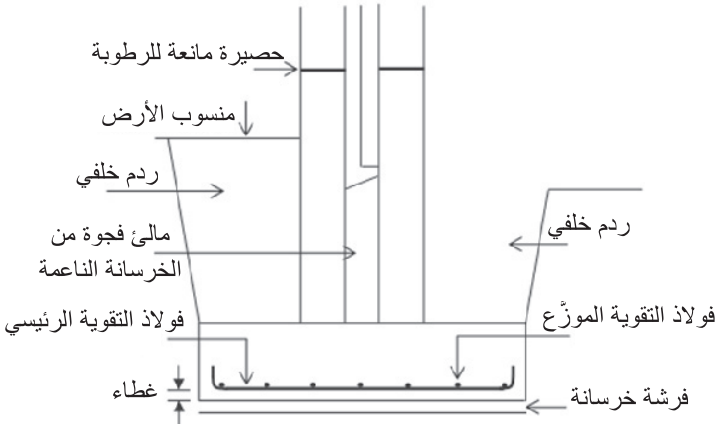
ويُري الشكل 2.20 طريقة تنفيذ مبادئ التصميم المذكورة آنفاً. أولاً، وتبعاً للحمل ونوع التربة، يُحدَّد عرض للأساس يوفِّر مساحة كافية له. بعدئذ يجب أن يُشاد الجدار على الخط المحوري لشريط الأساس. ولتوفير قاعدة صلبة للجدار على طوله الكامل، يجب أن تكون سماكة الأساس 150 مم على الأقل. لكن لضمان انتقال الحمل عبر عرض شريط الأساس بكامله، يجب أن تكون سماكة الشريط مساوية لبروزه عن وجه الجدار. وهذا ناجم عن كون الخرسانة غير مسلحة. وينقل الأساس الحمل إلى المنطقة التي تحته ما بقيت المادة مضغوطة ضمن دائرة القص بالثَّقب المحدَّدة بزاوية مقدارها 45 درجة.



الشكل 2.20 اعتبارات تصميمية لأساس شريطي من الخرسانة غير المسلحة.

يعني تَساوي سماكة الأساس وبروزه ازدياد سماكة الأساس حين ازدياد عرضه. لكن حين ازدياد السماكة، تجب الحماية من التغيُّر الممكن حصوله في سلوك الخرسانة الإنشائي ضمن دائرة زاوية القص الثاقب المساوية 45 درجة في الخرسانة غير المسلحة. وتتحقَّق تلك الحماية بتقوية الخرسانة بالفولاذ وبزيادة عرض الأساس الشريطي، وذلك وفقاً للمبيَّن في الشكل 3.20، حينئذ يمكن أن يتحمَّل الأساس إجهاد التقوُّس وأن يضمن توزُّع الحمل على كامل عرض الشريط.

لكن تقوية الخرسانة بالفولاذ تستوجب تغطيته، وتتحقَّق تلك التغطية بخرسانة تلتصق بالفولاذ بسماكة كافية لتكوين مقاومة للتقوُّس ولحماية الفولاذ من الصدأ (وتتحدَّد السماكة فوق الأرض أيضاً بمتطلبات مقاومة الحريق). وتساوي سماكة الخرسانة الكافية للحماية من الصدأ ما بين 40 و50 مم، تبعاً للظروف. ولضمان تحقيق هذه التغطية في عملية الصب ثمة حاجة إلى فرشة خرسانة ترتكز عليها فواصل مسافة تحمل قضبان الفولاذ. وبهذه الطريقة لا ينزلق الفولاذ إلى الأرض حين الدوس عليه في أثناء صب الخرسانة.



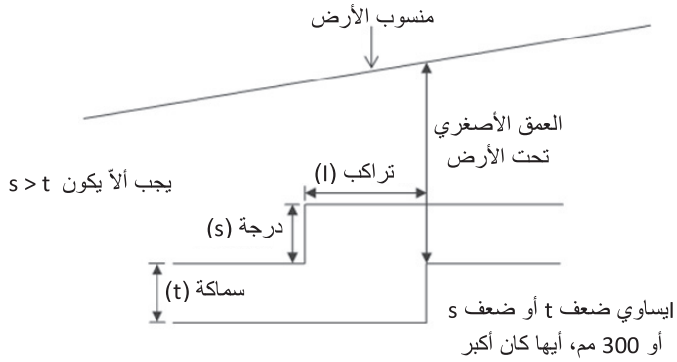
الشكل 3.20 أساس شريطي عريض من الخرسانة المسلحة.

بالعودة إلى الشكل 2.20، المتغيِّر الأخير الذي يجب النظر فيه هو عمق الأساس تحت الأرض الذي يضمن ارتكازه على على كتلة مستقرة من التربة. ونظراً إلى أن أعلى الشريط يجب أن يكون تحت الأرض بمقدار مدماكين أو ثلاثة من الآجر على الأقل، فإن من غير المحتمل أن يكون عمق الأساس (حتى الوجه السفلي من الشريط) أقل من 300 مم، ولذا يجب أن يكون تحت مستوى التربة السطحية (نحو 100 حتى 150 مم في بريطانيا). إلا أن هذا العمق ليس تحت مستوى التجمُّد الذي يتطلب عمقا يساوي 500 مم، أو مستوى تغيُّرات الرطوبة الفصلية في الصلصال الذي يساوي 1000 مم، فتلك القيم هي التي تحدِّد عمق التربة التي هي عرضة للحركة في تلك الظروف. وقد تكون ثمة حاجة إلى بناء أسس أعمق إذا كانت ثمة أشجار في التربة الصلصالية، أو كان من الضروري الأخذ في الحسبان للعوامل الجيولوجية أو الطوبوغرافية أو العمرانية السابقة.

أما أبسط سمات الموقع الطوبوغرافية فهو الميل. فحتى لو كان الميل غير كاف لجعل الموقع غير مستقر، فإنه يؤثِّر في عمق الأساسات. لذا، فإن المنسوب المرجعي لعمق الأساس تحت الأرض يجب أن يكون أحفض نقطة من الموقع. حينئذ، إذا وُضِع شريط الأساس برمته على المستوى عينه، فإن عمق الأساسات سوف يتزايد بمعدل تزايد ارتفاع سطح الأرض.

ومع ازدياد العمق، تزداد مشكلات الإنتاج. حينئذ سوف تكون ثمة حاجة أكبر إلى مكان للعمل وإلى مساعِدات حفر مؤقتة. وتتضمن تلك المساعِدات آليات كبيرة لإزالة مقادير كبيرة من التربة. وتزداد نتيجة لذلك مشكلات الصحة والأمان والبيئة، ومن ثمَّ تزداد التكاليف والمدد اللازمة للإنجاز. لكن هذه المشكلات لا تظهر إلا عندما يزيد العمق على 1200 مم تحت مستوى الأرض.

وللحدِّ من عمق الأساس في الموقع المنحدر، يمكن جعل الأساسات دَرَجيَّة وفق المبيَّن في الشكل 4.20 الذي أُعطيت الأبعاد فيه بافتراض أن الخرسانة غير مسلحة.



الشكل 4.20 أساس شريطي دَرَجي من خرسانة غير مسلحة.

الأساسات في حالة الظروف السطحية السيئة

إضافة إلى انحدار الموقع، ثمة ظروف تستوجب أعماقاً أكبر للأساسات، منها:

- التغيُّرات الحجمية المحتملة في الصلصالات القابلة للانكماش
- تغيُّرات التربة عبر الموقع

- التربة السطحية ذات المقدرة الضعيفة على الحمل

تُعتبر تكاليف البناء وصعوباته من المحدِّدات الرئيسية لاقتراح حلول تتطلب أساسات عميقة. وقد طُوِّرت معظم منظومات الأساسات العميقة بحيث تُبنى من مستوى الأرض بغية الحد من مشكلات الصحة والأمان وتكاليف البناء ومدته. إلا أن الجواب قد لا يكون توفير أساسات عميقة البتة، بل تدعيم المبنى عند السطح بطريقة تحدُّ من الضغط على الأرض وتقسِّي الأساسات للحدِّ من مفعول الهبوط التفاضلي في بنية المبنى.

تقع حلول الأساسات المتاحة ضمن ثلاث فئات:

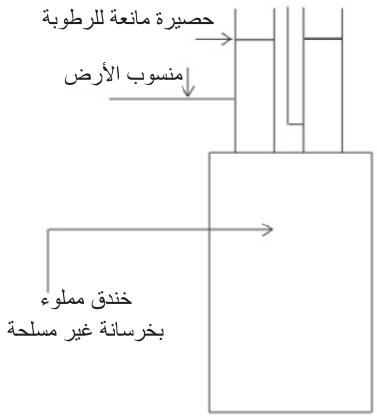
- أساسات أعماقها تصل حتى نحو 4500 مم
- أساسات أعمق من 4500 مم
- عوارض "عائمة" على السطح.

الأساسات العميقة

طُوِّرت حلول تصل أعماق الأساسات فيها حتى 4500 مم لمواقع ذات مشكلات على صلة بالصلصال القابل للانكماش، مع أنه يمكن اقتراحها لأي موقع ذي أرض جيدة القدرة على التحمل ضمن العمق المذكور.

في التربة الصلصالية، أو على نحو أعم التربة التي يمكن حفرها من دون الحاجة إلى تدعيم جانبي خلال الساعات الأولى من الحفر، نجد الحل في الأساسات المكوَّنة من الخنادق التي تُملأ بالخرسانة. يبيِّن الشكل 5.20 هذا النوع من الأساسات التي مهما كان عمقها، فإن الخندق يُملأ بالخرسانة حتى مستوى يسمح بإقامة جدار آمن ومنخفض التكلفة حتى مستوى الحصيرة المانعة للرطوبة. في هذا النوع من الأساسات، تعتبر ظروف الإنتاج هي مفتاح اختيار الحل. فيجب أن يكون من الممكن حفر الخندق بدقة (من حيث الاستقامة، والعرض والشاقولية) من دون حصول انهيار. ويجب إنجاز ذلك في مدة معقولة، بدءاً من الحفر لطول كاف من الأساسات والتيقُّن من عمقها، وانتهاء بصب الخرسانة والعودة إلى سطح الأرض وظروفه الآمنة. وعلى وجه العموم، يجب إنجاز دورة الأعمال هذه في يوم واحد. ويمكن تحقيق ذلك في معظم أنواع التربة الصلصالية، إلا أن عامل الزمن قد يحدُّ من العمق الذي يمكن الحصول عليه في هذا النوع من الأساسات، لأنه كلما طالت مدة بقاء الخندق مفتوحاً، ازداد إمكان حصول انهيار فيه بسبب تغيُّر نسبة الرطوبة في الصلصال. وإذا أمكن حفر الخندق بدقة ونظافة، أمكن الحدُّ من

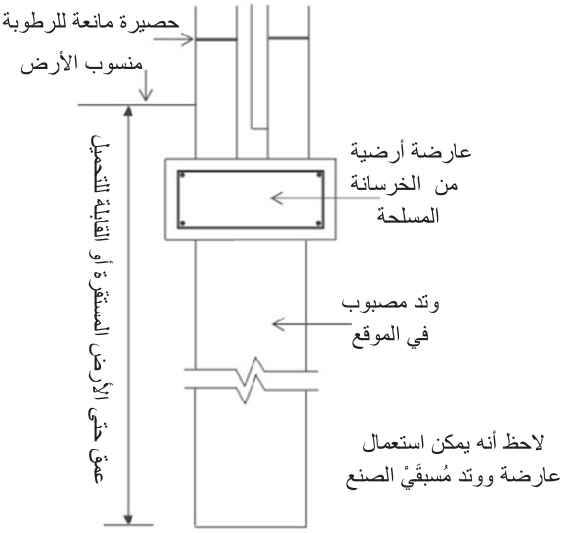
كمية الخرسانة المستعملة، وهذا ما يحدُّ من التكاليف، ومن مشكلات الصحة والسلامة.



الشكل 5.20 أساس شريطي مكوَّن من خندق مملوء بخرسانة غير مسلحة.

وإذا كان ثمة إمكان لتمدُّد كتلة التربة الموجودة تحت المبنى بين الأساسات، وجب وضع مادة قابلة للانضغاط عند وجه الأساس، إضافة إلى بناء الطابق الأول فوق فراغ، وذلك بجعل أرضيته معلقة.

أما بديل الخندق المملوء بالخرسانة فهي ركائز تنقل الحمل إلى التربة القابلة للتحميل مع عارضة في أعلاها لحمل الجدار. ويمكن تحقيق ذلك بأعماق تصل حتى 4500 مم بما يسمى بالأوتاد المحفورة (bored pile) القصيرة وفقاً للمبيَّن في الشكل 6.20. ويتحدَّد قطر حفرة الوتد وعمقها هنا بمتطلبات الإنتاج. تُكوَّن الأوتاد بحفر ثقوب في التربة وملئها بالخرسانة (أوتاد الاستبدال) أو بدق الوتد في التربة (أوتاد الإزاحة). ويمكن هذه الأوتاد أن تكون من خشب أو حديد أو خرسانة. وفي حالة أوتاد الاستبدال، يُجرى الحفر بواسطة حفَّارة آبار. وتُعطي هذه العملية ثقباً دائرياً يُحدِّد قطرُه وارتفاعُه مقاسَ عمود الحفر اللازم. وبقَصْر الارتفاع على 4500 مم والقطر على نحو 350 مم، يمكن تنفيذ الحفر بحفارات صغيرة نسبياً. أما إذا كانت الأعماق والأقطار أكبر، فثمة حاجة إلى حفَّارات كبيرة.



الشكل 6.20 أساس العارضة والأوتاد.

وحتى لو كان الثقب المحفور أسطوانياً وذا قطر صغير، فإن بعض أنواع التربة قد ينهار ويسقط في الثقب قبل أن تُتاح الفرصة لملئه بالخرسانة. في هذه الحالة، يجب تلبيس الثقب ببطانة أنبوبية تُزال عادة بعد صب الوتد. وقد طُوِّرت منظومات أوتاد وجوائز مسبقة الصنع أيضاً، وأدى ذلك إلى تقليص مشكلة الانهيار كثيراً إذا أُحسن تحديد عمق الأساس وتحقيق الشاقولية في أثناء غرز الوتد. ويمكن تحقيق كل من هذين الشرطين في المواقع الصلصالية.

يجب أن تمتد العارضة بين الأوتاد لتحمل الجدار. وتُوضَّع الأوتاد بتباعدات صغيرة نسبياً تساوي نحو 3 حتى 4 أمتار، وهذا ما يحدُّ من الحاجة إلى عارضة سميكة. وتُوضَّع الأوتاد عند زوايا المبنى وعند نهايات فتحات الأبواب والنوافذ العريضة. ويمكن تنفيذ عملية صب العارضة في خندق بالقرب من سطح الأرض. حينئذ، يجب أن تكون العارضة عريضةً بقدر يكفي لحمل الجدار، ولذا فإن الشكل المميِّز للعارضة هنا هو أن عرضه أكبر من سماكته، وهذا ليس من مواصفات العوارض المعتادة. وإذا وُضعت هذه الأساسات في تربة صلصالية قابلة للانكماش، وكان العارضة بالقرب من السطح، أمكن الانكماش والانتفاخ أن يحصلا تحت العارضة وحول رؤوس الأوتاد. لذا يجب صب العارضة فوق طبقة قابلة للانضغاط، وفي بعض الحالات، قد تكون ثمة حاجة إلى تلبيس رأس الوتد بقميص انزلاق.

وعندما يكون عمق الأساسات أكبر من 4500 مم، تتطلب الأوتاد الطويلة استعمال حفارات كبيرة، إلا أن المبادئ تبقى نفسها. لكنْ نظراً إلى خفة الأحمال في المباني المنزلية، فإن استعمال الأوتاد الطويلة نادر. وثمة عدد من الخيارات لمنظومات أوتاد الاستبدال والإزاحة مفصَّلة في الفصل 28.

ويمكن استعمال الأوتاد القصيرة أيضاً في الأساسات المكوَّنة من دعامات وجوائز. وهذا يتطلب حَفْر حُفَر في الأرض لأساسات وسائدية تُبنى عليها دعامات من لبنات خرسانة أو آجر تحمل العارضة التي يرتكز عليها الجدار. وهذا يتطلب بنَّائين يعملون في مستوى الأساسات، ويترتب على ذلك ضرورة توفير مكان للعمل مع إجراءات الصحة والسلامة.

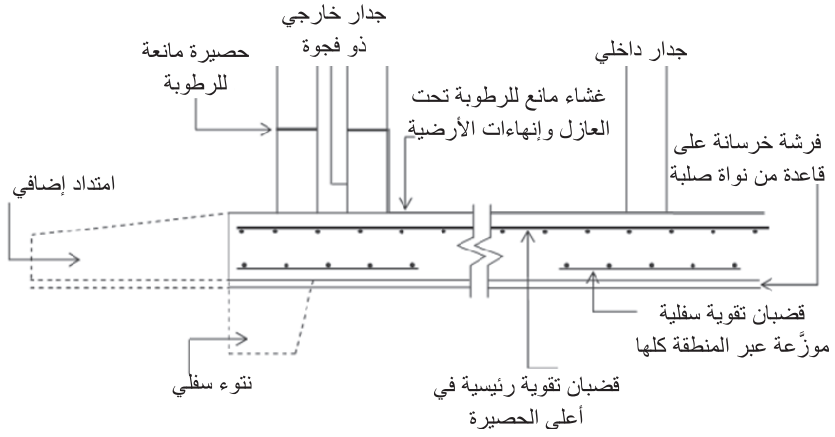
الأساسات الحَصيرية

ثمة بديل للأساسات العميقة هو أساس الحصيرة (raft foundation) السطحية. تُضمُّ هنا الأساسات مع أرضية الطابق الأرضي لتكوين وحدة إنشائية مستمرة. وتندمج كل الأحمال معاً وتتوزَّع على كامل المنطقة الحاملة للمبنى تحت الحصيرة. وتنجم عن ذلك ضغوط صغيرة جداً على نقاط التربة الموجودة تحت الحصيرة، ومع ذلك تُجهد التربة قليلاً. ويعطي هذا حلاً آمناً للتربة ذات المقدرة المحدودة على التحميل، وينطوي على إمكان استيعاب الهبوطات التفاضلية من دون نقل الانفعالات إلى البنية العامة للمنزل. وإذا كان ثمة احتمال لحصول هبوطات تفاضلية، تُصمَّم الحصيرة بحيث تميل بكاملها من دون حدوث انفعالات في البنية العامة للمبنى (يمكن استعمال هذه الحصيرة في المناطق المعرَّضة للتغوُّر الناجم عن المناجم). ويتحقَّق ذلك فقط إذا كانت أنماط التحميل متجانسة نسبياً بحيث تجعل مركز ثقل الأحمال في مركز منطقة الحصيرة، وإذا أمكن تشييد حصيرة صلبة بقدر كاف لتعمل بوصفها كتلة واحدة للأساسات.

وتُعتبر صلابة الحصيرة مفتاحية في المواقع التي تتغيَّر فيها مقاومة التربة وقابليتها للانضغاط، حيث يجعل ذلك التغيُّر المبنى عرضة للهبوطات التفاضلية. ونظراً إلى أن أساس المنزل يمتد على منطقة محدودة حيث نسبة المحيط إلى مساحة الأرضية كبيرة نسبياً، من الممكن تحقيق تلك الصلابة بتقوية الحواف التي ترتكز عليها الأحمال الرئيسية المطبَّقة من الجدران الخارجية. وقد يكون تسميك الأساسات ضرورياً أيضاً تحت الجدران الداخلية الحاملة. وكلما نقصت النسبة

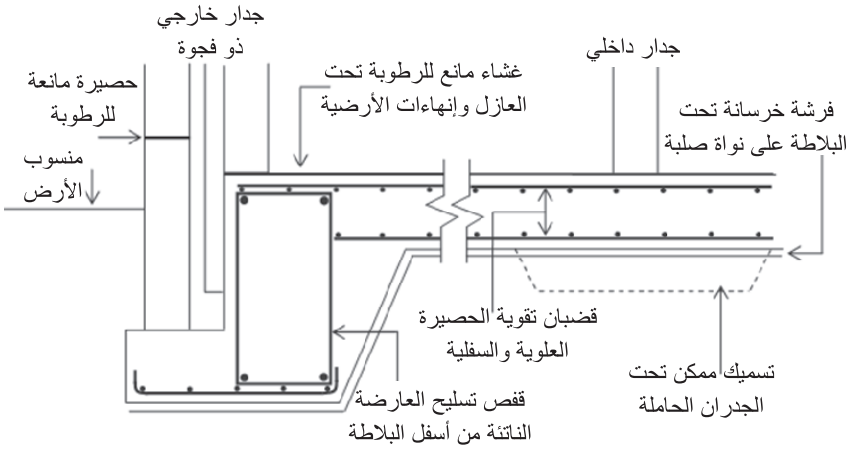
المذكورة، تصبح تقوية المنطقة الداخلية من البلاطة بواسطة جوائز أرخص من تقويتها بتسميكها.

في ما يخص المنازل، يمكن أن تكون سماكة الحصيرة، أو البلاطة، بين 150 و 300 مم، أما تفاصيل تقوية الحواف فتعتمد على نوع التربة. في حالة التربة ذات قابلية الانضغاط المنخفضة أو المتوسطة، والمتجانسة تحت الحصيرة بأسرها، يكفي أن تكون الحافة امتداداً مقوَّى منها إلى ما بعد الوجه الخارجي للجدار وفقاً للمبيَّن في الشكل 7.20. ولهذا الامتداد أهمية خاصة حين تشييد الحصيرة بالقرب من السطح. ويمكن الامتدادات الصغيرة نسبياً أن توفِّر حماية من الانتفاخ الناجم عن التجمُّد، وقد يكون من الضروري أن يكون الامتداد أكبر إذا كانت التربة تحت الحصيرة صلصالية حيث يمكن أن يحصل انكماش أو انعدام للارتكاز تحت حافة الحصيرة. أما في حالة التربة الحُبَيْبية، فيمكن أن يوفِّر نتوء سفلي صغير أفضل حماية لأن الحت يمكن أن يُؤذي حافة الحصيرة مع مرور الوقت.



الشكل 7.20 أساس حصيري مستوٍ.

وفي حالة التربة ذات قابلية الانضغاط الكبيرة، خاصة عندما تكون التربة متغيِّرة ضمن مكان المبنى، يمكن أن تنخفض مقدرتها على الحمل عند بعض مقاطع الأساسات، ولذا ثمة ضرورة لتوفير قدرة مقاومة إضافية للتقوُّس إضافة إلى الحماية. حينئذ يمكن استعمال العارضة الناتئة من أسفل البلاطة المبيَّن في الشكل 8.20.



الشكل 8.20 أساس حصيري مع عارضة عند الحافة.

وتقوَّى جميع الأساسات الحصيرية بشبكات قضبان فولاذية مسبقة التشكيل. وفي ما يخص الحافة السفلية الناتئة الخفيفة، يمكن استعمال قفص شبكي مسبق الثني. أما في حالة عارضة حافة الحصيرة، فإن قفص العارضة يجب أن يتضمن قضباناً ووصلات تُصنع في الموقع. وعلى غرار الأساس الشريطي العريض، يجب أن تكون ثمة تغطية خرسانية كافية لقضبان التقوية، ولضمان تحقيق ذلك في عملية الإنتاج يجب وضع فرشة خرسانة سماكتها 50 مم تحت الحصيرة مع فواصل مسافة ومساند للحفاظ على وضعية شبكة القضبان العلوية في البلاطة. ويجب تشكيل حافة الحصيرة باستعمال قوالب ودعائم مؤقتة تمسكها في أثناء صب الخرسانة. وهذا يحدِّد دقة استقامة ومستوى الخرسانة التي تمكِّن المعماري من تحقيق التسامحات في جدار الآجر الخارجي.

تكاليف الأساسات

يمكن تكاليف الأساسات وعوامل المخاطرة وتنوُّع ظروف الموقع أن تكون محدِّدات رئيسية لاختيار نوع الأساسات التي سوف تُعتمد. فالعمقُ ليس المحدِّد الوحيد لنوع الأساسات. وإذا كان من الممكن القيام بأعمال تنفيذ الأساسات العميقة من السطح من دون مخاطرة كبيرة، فإنها قد تكون أرخص من الحصيرة وما تتطلبه من القوالب والتقوية والخرسانة التي تمثِّل عناصر التكلفة الرئيسية. أما في ما يخص خيارات الأساس الشريطي من حيث استعمال الشريط العريض أو

الخندق بدلاً من الشريط البسيط، فهي تعتمد على ظروف الموقع وعلى مشكلاته ومخاطره.

يُضاف إلى ذلك إمكان استعمال تقنيات تقوية الأرض لزيادة مقدرة التربة على الحمل، خاصة في حالة التربة غير المتماسكة. ويمكن التقوية أن تجعل الأساسات البسيطة الرخيصة قابلة للاستعمال عملياً، وهذا ما يُعوِّض عن تكاليف عملية التقوية. إن تقنيات الرص بالصدم (dynamic consolidation or compaction) وبناء الأعمدة الحجرية والخلط بمواد إسمنتية يمكن أن تعزِّز مقدرة التربة على حمل أساسات شريطية منزلية بأعماق قليلة التكلفة. وثمة مناقشة أكثر تفصيلاً لهذه التقنيات في الفصل 28.

الأقبية

لم يلقَ العيش في الأقبية قبولاً لدى الناس في بريطانيا، ولذا تُخصَّص الغرف تحت الأرضية لأغراض الخزن، وخاصة خزن الفحم والنبيذ. تتأثَّر بنية القبو بقوى الأرض الأفقية وبالقوى الناجمة عن الأحمال التي في الأعلى. ويجب أن تكون تلك البنية ذات مقاومة كبيرة لتسرب الماء والرطوبة، وهذا ما لم يمكن تحقيقه بنجاح في الماضي. ثمة مناقشة تفصيلية للأقبية في الفصل 28، لكن في إطار المباني التجارية فقط. ومع أن المبادئ عينها تنطبق على المنازل، فإن المقاسات الصغيرة في الحالة الأخيرة يمكن أن تحقِّق أداء مماثلاً لكن بمواصفات وتفاصيل مختلفة. وثمة الآن طرائق بناء للمنازل تحقِّق مستويات عالية من الأداء، لكنها بعيدة من اهتمامنا في دراسة الحالة هذه.

الخلاصة

1. المهمة الرئيسية للأساسات هي الحفاظ على سلامة بنية المبنى الموجودة فوق الأرض.

2. يجب أن يأخذ تصميم الأساسات في الحسبان أنماط الأحمال ومقاديرها التي تنجم عن بنية المبنى العامة، فضلاً عن صلابة البنية فوق الأرض التي تحدِّد مقدرتها على تحمُّل الهبوطات التفاضلية.

3. تجب دراسة التربة لتحديد خواصها الإنشائية، واستقرارها من حيث تغيُّر

نسبة الرطوبة فيها، والملوِّثات التي يمكن أن توجد في المساحة والعمق اللذين يحدِّدهما اتساع المبنى، إضافة إلى أية مؤثِّرات طبيعية أو صنعية يُشتبه بوجودها ويمكن أن تؤثِّر في استقرار الأساسات.

4. يجب أن تتصف الأساسات بمساحة كافية، وأن تستند إليها الأحمال مركزياً، وأن تكون صلبة بقدر كاف لنقل الأحمال على نحو متجانس إلى الأرض، وأن تكون عميقة بقدر كاف للحدِّ من الهبوطات ودرء الانهيار.

5. يُعتبر الأساس الشريطي البسيط المكوَّن من خرسانة غير مسلحة كافيا لكثير من المنازل التي اشتملت عليها دراسة الحالة هذه.

6. في المواقع التي تنطوي فيها الأساسات الشريطية البسيطة على مشكلات وتكاليف بسبب الأعمال التي سوف تُجرى في الموقع، يمكن النظر في أساسات الخنادق والأوتاد والحصائر.

الفصل الحادي والعشرون

الخدمات

نستعرض في هذا الفصل التقانات النشطة وخدمات المبنى التي توفِّر لقاطني المنزل البيئة المريحة والاستعمال الناجح. ونتطرق إلى تحليل عدد من المنظومات المنزلية، مع الإشارة إلى طيف المنظومات المنبثقة لمواجهة المشكلات البيئية المتنامية، وتحقيق التنمية المستدامة.

مقدمة

ناقشنا في الفصل 10 المتطلبات اللازمة لتكوين بيئة المباني المريحة والحفاظ عليها. وقدمنا مجموعة من التقانات النشطة في هذا المجال والتي تمثِّل جزءاً من طيف من المنظومات تسمى عموماً بخدمات المبنى. وقد ازدادت أهمية تلك التقانات من حيث إسهاماتها في الحفاظ على البيئة على مدى السنوات المئة الأخيرة. وهي تخضع اليوم إلى تغييرات جديدة بسبب الحاجة المتزايدة إلى اعتبار التنمية المستدامة عاملاً من عوامل الاختيار. فهي تؤثِّر كثيراً في استهلاك الطاقة والموارد الأخرى، ومنها الماء، وتولِّد نفايات وملوثات في أثناء إشغال المنزل. وهذه عوامل شائعة في تقييم الحالة البيئية للمبنى.

يؤدي التقييم تبعاً لمعايير الاستدامة إلى تغييرات في جميع مستويات تحليل الخدمات. فهو انطوى على تغييرات في كفاءة أجزاء من المنظومة، ومن أمثلتها مراجل التدفئة المركزية، إضافة إلى استعمال منظومات جديدة كلياً، ومن أمثلتها منظومات التسخين الشمسية، ومنظومات معالجة مياه الصرف الصحي المنزلية التي سوف نناقشها لاحقاً في هذا الفصل. ولعل أكثر التغيُّرات عمقاً هو التغيُّر الذي أصاب تصميم المبنى برمته والذي يُكامِل الخدمات النشطة مع بنية المبنى غير النشطة، ومن أمثلة ذلك تصميم منظومات التهوية الطبيعية الواردة في الفصل 15.

لكن مع استعمال النوافذ والستائر ذات المحركات في المباني المكتبية أصبح التمييز بين الخدمات النشطة وغير النشطة وسمات المبنى نفسه ضبابياً.

يتضمن الجدول 1.21 أكثر الخدمات شيوعاً في المنزل موضوع دراسة الحالة هذه. وجميع تلك الخدمات يُسهم مباشرة، أو على نحو غير مباشر، في جودة البيئة الداخلية اللازمة لتحقيق سلامة قاطني المنزل وراحتهم وسلامة الأشياء والتجهيزات الموجودة فيه وفقاً لما ورد في الفصل 10. أما في ما يلي، فلن نناقش سوى أربع منظومات هي:

- منظومتا الماء البارد والساخن
- منظومة التدفئة
- منظومة الصرف الصحي (فوق الأرض وتحتها)
- منظومة الإضاءة والكهرباء

الجدول 1.21 منظومات الخدمات المنزلية الشائعة

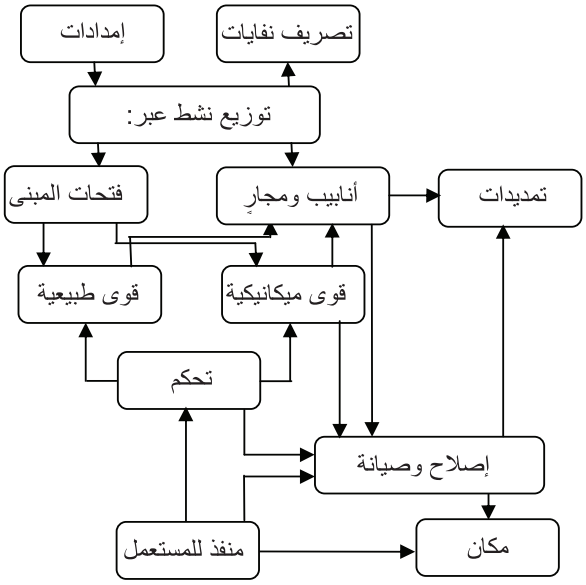
خدمات الإمداد (المرافق)	منظومات مدخلات الخدمات	خدمات التصريف
ماء	تدفئة	صرف صحي
كهرباء	ماء ساخن وبارد	تهوية
غاز	إضاءة	
اتصالات	طاقة كهربائية للتجهيزات	
	أمن	

تحليل منظومات الخدمات

بيَّنا في الفصل 10 أن النظر إلى الخدمات يجب أن يكون بطريقة تختلف عن طريقة النظر إلى البنية غير النشطة. يبين الشكل 1.21، وهو شكل مكرر من الفصل 10، الجوانب ذات الصلة بالخدمات النشطة. إن جوهر منظومة الخدمة هو الحركة النشطة. وفي الخدمات ذات الصلة بالبيئة، تتضمن تلك الحركة إمداداً أو تصريفاً بهدف تحقيق بيئة آمنة صحية ومريحة للقاطنين، وفقاً للمبيَّن في أعلى الشكل. ويجب أن توفِّر المنظومة توزيعاً فعالاً للإمدادات عبر منظومة احتواء (أنابيب، وأسلاك، ومجاري هواء)، أو عبر مجالات المبنى نفسه، وذلك باستعمال قوى

طبيعية أو صنعية. وبعد تحديد المنظومة الأساسية، يجب تحديد وسائل التحكُّم فيها، واتخاذ الإجراءات اللازمة لصيانتها وإصلاحها. وبعدئذ، يمكن التفكير في مواضع مكوِّنات منظومة الخدمة وتحديد مسارات منظومة الاحتواء، المتمثِّلة بالتمديدات، ضمن المبنى.

ووفقاً لما أشرنا إليه في بداية هذا الفصل، وفضلاً عن الجوانب المبيَّنة في الشكل 1.21، تُعتبر التكلفة والاستدامة على درجة عالية من الأهمية في جميع مستويات الاختيار، من حيث تأثيرهما في تفاصيل المنظومة وإدخال منظومات جديدة كلياً.



الشكل 1.21 مكوِّنات منظومات الخدمات النشطة.

الماء البارد والساخن

ثمة عاملان يهيمنان على تفاصيل ومواصفات منظومة الإمداد بالماء وتوزيعه، ابتداء بتقييم المنبع وانتهاء بعملية اختيار المنظومة، هما:

- جودة الماء
- كمية (معدل) الماء المتوافرة

تُجرى الاختيارات عموماً في إطار توافر الموارد ومقادير التكاليف والمتطلبات

البيئية، على أن تقيَّم تلك العوامل وفقاً لمعايير الجودة والكمية المتوافرة ومتطلبات الحفاظ على الصحة والنظافة. وفي حالة الماء، إذا لم يكن متوافراً بجودة ملائمة وكمية كافية، فإنه لا يمكن تحقيق التنمية المستدامة. وقد يتطلب ذلك تأهيل المستعملين وإعادة النظر في احتياجاتهم وأنماط سلوكهم من حيث استهلاك الماء، ومع ذلك يبقى الحصول على الماء النظيف جوهرياً للحفاظ على الصحة العامة.

في ما يخص المنازل، يمكن تحديد أربع فئات مختلفة من جودة الماء على الأقل، سواء أكان بارداً أم ساخناً:

- ماء الشرب وتحضير الطعام
- ماء التنظيف والصحة الشخصية
- الماء المستعمل الذي يجب تصريفه
- الماء المستعمل في منظومات الخدمات

يتصف ماء الشرب وتحضير الطعام (الماء العذب) بأعلى درجة جودة، وكذلك يجب أن يكون مصدره. لذا، فإن مصدر ماء المنازل موضوع دراسة الحالة هذه هو، في معظم الأحيان، شبكة المياه الرئيسية المكوَّنة من أنابيب ممدودة في الشارع خارج المنازل، إلا أنه يمكن أن تكون ثمة بعض الينابيع والآبار المحلية المستعملة في المناطق الريفية. وتخضع جميع مصادر المياه تلك لتشريعات ومعايير جودة ذات صلة بـ:

- محتواها من العوامل الحيوية
- محتواها من العوامل الكيميائية
- محتواها من الجسيمات
- مظهرها
- طعمها
- رائحتها

ويبيِّن التمعُّن في هذه العوامل، أن الأخذ بها يحتاج إلى سوية رفيعة في ماء الشرب، فإنها يمكن أن تكون من معايير أدنى في الحالات الأخرى، مثل التنظيف والاستعمال في منظومات الخدمات. إلا أن تحديد المعايير يتطلب الحذر لتجنب حصول حوادث من مثل تلك التي اقترنت بمرض حمى داء الليجيونير(*)

(*) هو داء خطير غير معدٍ يصيب الرئة وينتقل مع رذاذ الماء، وقد ظهر أول مرة بين أفراد كتيبة من الجيش الأمريكي كان اسمها أميركان ليجيون (American Legion) (المترجم).

(Ligionnaires Desease). لقد حُدِّد مصدران لهذا المرض الذي ينتشر ضمن قطيرات من الماء يحملها الهواء. ففي حالة منظومات تكييف الهواء، تُمكِن الحماية من تلك القطيرات باستعمال مطهِّر أو مبيد للجراثيم، على أساس أن هذا ليس ماء شرب بل يمكن أن يتماس مع الجلد. أما في حالة قطرات مرذاذ الحمام، فيجري القضاء على الجرثوم نفسه بتسخين الماء، لأن الأمر يتعلق بالصحة الشخصية لا بمنظومة الخدمة.

حتى إن المعايير الخاصة بجودة المصدر قد لا تحقِّق الجودة التي يحتاج إليها الناس. ولذا، فإن كثيراً من الأسر ترشِّح الماء قبل شربه (أو تشتري ماء معبَّأ بقوارير)، وتعمل على تقليص نسبة كربونات الكالسيوم في الماء القاسي الذي يمر في مسخِّنات الماء الفورية بغية الحدِّ من تراكم الكلس على المُبادل الحراري. والهدف من هذين الإجرائين هو تغيير المحتوى الكيميائي للماء في المقام الأول.

ويجب إيصال ماء الشرب وماء تحضير الطعام إلى مطبخ المنزل مباشرة من المصدر عبر أنابيب توزيع لا تلوِّث الماء ولا تسمح باختلاطه مع ماء أقل جودة في أنابيب أخرى. إن كثيراً من التشريعات والضوابط التي تحكم مواد ومواصفات تلك المنظومات يخص درء تلوُّث الماء واختلاطه مع مياه أخرى. وثمة كثير من المتطلبات التي يجب أن توفِّرها منظومة ماء الشرب، لكن سردها جميعاً هنا ليس من مقاصد هذا الكتاب. لكننا نشير إلى مثال لها وهو ضرورة استعمال لِحَام خال من الرصاص في وصلات الأنابيب التي تنقل هذا النوع من الماء. فالرصاص هو واحد من المواد الكيميائية التي تجري معالجتها في مصدر الماء الرئيسي لأنه ضار بالصحة، وأي استعمال له في منظومة توزيع ماء الشرب ينتهك الضوابط والتشريعات الخاصة به (الرصاص قابل للانحلال في الماء، وخاصة في الماء الطري).

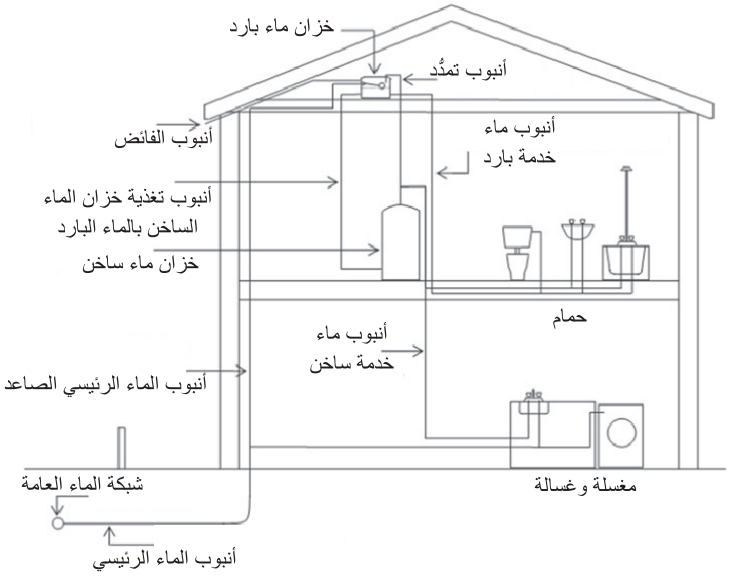
ومن الممارسات الشائعة خزن الماء في خزان يوضع عادة في فراغ السقف. لا يمكن اعتبار هذا الماء صالحاً للشرب الآن، لكنْ يمكن استعماله للأغراض المنزلية الأخرى. ومع ذلك يجب اتخاذ بعض الإجراءات، مثل تغطية الخزان والإبقاء على مسافة بين الأنبوب الذي يأتي الماء عبره ومستوى الماء في الخزان لمنع تلوُّث ماء الأنبوب بماء الخزان.

ثمة مفعول آخر لخزن الماء في خزان، لكن لا صلة له بالجودة، بل بالكمية المتاحة منه عند الحنفية أو غيرها من مخارج الماء. إن ما يهم المستعمل هو معدل خروج الماء من الحنفية، أو المدة التي يستغرقها الحصول على كمية معينة ماء الخزان. ويُعبَّر عن هذه الكمية التي تمر عبر الأنبوب بالليتر في الثانية، وهي تعتمد على مقاس قطر الأنبوب وعلى الضغط الذي يحرِّك الماء عبر أنابيب التوزيع. وفي

ما يخص مصدر الماء الرئيسي في المنزل، على سلطة إدارة المياه توفير الماء بضغط كاف لضمان معدَّل تزويد مناسب. وعندما يُخزن هذا الماء في الخزان، يأتي الضغط من الفرق بين منسوب الخزان ومنسوب مخرج الماء. وهذا هو سبب وضع الخزان في السقف، فذلك يولِّد ضغطاً معقولاً عند مخارج الماء في الطابق العلوي. إلا أن ضغط ماء الخزان يكون عادة أقل من ضغط ماء الشبكة الرئيسية. لذا تُسمى منظومة ماء الشبكة الرئيسية بمنظومة الضغط العالي، وتسمى منظومة الخزان بمنظومة الضغط المنخفض. إن من الضروري وصل الغسالات والجلايات مع المنظومة الرئيسية، لا بسبب الجودة، بل بسبب الضغط اللازم لعملها على نحو سليم.

منظومة الماء الأساسية

يُري الشكل 2.21 المنظومة التي أتينا على وصفها حتى الآن. وهي تحتوي على منظومتي ضغط وعلى ماء بدرجتَيْ جودة فقط. يأتي الماء الساخن من الخزان، مع أن وسيلة التسخين لم تُحدَّد بعد. يُستعمل الماء الساخن للتنظيف والصحة الشخصية فقط، ولذا يمكن أن يُؤخذ من الخزان عبر المنظومة المنخفضة الضغط.



الشكل 2.21 منظومتا الماء البارد والساخن - تمديدات الأنابيب.

يبين الشكل الأجزاء الرئيسية من:

- مصدر الماء الرئيسي
- مخارج الماء اللازمة: مغاسل، حمَّامات، مراحيض وغيرها
- خزَّانا الماء وشبكة أنابيب التوزيع
- أدوات التحكُّم في التدفق: حنفيات وصمامات

يبيِّن تحليل معدَّل غزارة الماء أن قيمته العظمى تحصل في المرحاض، لأن عملية الشطف تتطلب غزارة كبيرة نسبياً خلال مدة زمنية قصيرة. وهذا يتطلب أنبوباً كبير القطر، حتى في المنظومة العالية الضغط، لتحقيق تنظيف المرحاض وتصريف الفضلات منه. أما البديل المبيَّن في الشكل 2.21 فهو خزْن الماء في خزان صغير في المرحاض بمعدل منخفض نسبياً، وسكبه بغزارة خلال مدة قصيرة لتنظيف المرحاض.

أما مخرج الماء الثاني من حيث غزارة التدفق فهو صنبور الحمام. فنظراً إلى كِبَر كمية الماء اللازمة لملء حوض الحمام، يجب تحقيق غزارة تدفق ملائمة. ويمكن تحقيق ذلك حتى من منظومة الضغط المنخفض باستعمال أنبوب قطره يساوي 22 مم. أما جميع المخارج الأخرى، ومنها مخرج تعبئة خزان المرحاض، فيمكن أن تُغذَّى بأنابيب أقطارها تساوي 15 مم. ويمكن تكوين شبكة أنابيب من هذا النوع باستعمال الأنابيب النحاسية التي تُعتبر آمنة ومنخفضة التكلفة، والتي يوجد لها طيف واسع من الملحقات اللازمة لتكوين الشبكة.

يجب أن تُحقِّق هذه الشبكة معدل تدفق ثابت من المخارج حتى لو فُتِح أكثر من مخرج واحد في الوقت نفسه، أما عملياً، فإن ذلك المعدَّل يتراجع في تلك الحالة. ويجب تصميم جميع المنظومات لتحقيق معدَّل تدفق متعدد آني معين، إلا أنه من غير الضروري التصميم من أجل فتح جميع المخارج في الوقت نفسه، لأن احتمال حصول ذلك ضئيل جداً. ومع ذلك، فإن للمنظومات المختلفة قدرات مختلفة على تحقيق الاستجرار المتواقت، وهذا يجب أن يكون من معايير الاختيار.

تمثِّل الحنفية أداة يدوية جيدة للتحكُّم في تدفق الماء البارد والساخن، أما التحكُّم في ماء خزان المرحاض فيحصل بصمام ذي كرة طافية يقطع الماء حين وصول مستواه في الخزان إلى مستوى معين. وتُستعمل في الآلات الكهربائية، مثل الغسالات والجلايات، صمامات كهرميكانيكية لتمرير الماء أو إيقافه في أوقات معينة من دورة التنظيف.

ويجب توفير مصارف للماء الذي يمكن أن يفيض عن المغاسل والخزانات. ويحصل ذلك عندما تهترأ مانعات التسرب في صمامات الكرة الطافية في خزانات المراحيض، أو إذا تُركت الحنفية مفتوحة فوق المغسلة وبالوعتها مسدودة. ثمة مخرج للفائض مبني ضمن المغسلة أو حوض الحمام، أما خزان المرحاض فيحتاج إلى أنبوب تصريف خارجي يُصرِّف الماء بأمان ويقوم بالإنذار. وتوجد في بعض خزانات المراحيض أداة داخلية لتصريف الفائض في المرحاض. ومع أن ذلك يوفِّر تصريفاً جيداً للماء الفائض، فإنه يؤدي أيضاً إلى هدر الماء، ولذا يجب إصلاح الصمام بسرعة.

صيانة منظومة الماء وتوضُّع مخارجها وتمديدات أنابيبها

بعد تحديد المتطلبات الأساسية لمنظومة الماء في المنزل، أي مصدر الماء والمخارج والقوة المحركة للماء ومنظومة التوزيع ووسائل التحكُّم في تشغيلها، من الضروري النظر في ما يلي:

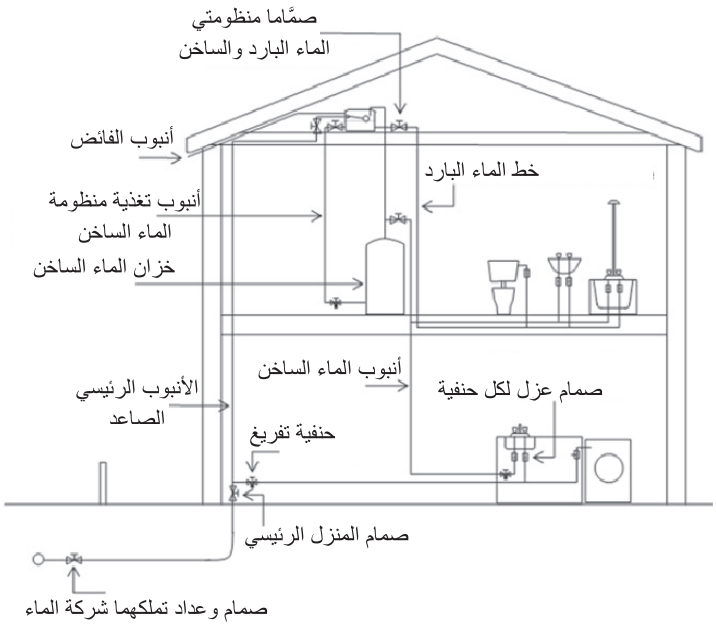
- كيفية إجراء الصيانة والإصلاح والأماكن اللازمة لهما
- مواضع المخارج ومسارات تمديدات أنابيب التوزيع

سوف تكون المنظومة التي ناقشناها حتى الآن، مع وسائل تشغيلها، صعبة الصيانة والإصلاح بعد امتلائها بالماء. إن من الضروري لأي منظومة ماء أن يكون من الممكن عزل أجزاء منها بقطع الماء عنها بغية القيام بالإصلاح. حينئذ من المفيد تفريغ الجزء المعني بالإصلاح من الماء بطريقة مسيطر عليها بحيث تكون الأنابيب فارغة قبل البدء بالعمل. والشيء الهام الآخر يخص مقاس الجزء الذي توجد ضرورة لعزله. عندما رُكِّبت منظومات الماء في البيوت أول مرة، كان من الشائع توفير نقطتي عزل فقط، وغالباً لم تكن ثمة وسائل لتفريغ الماء من الأنابيب بطريقة سهلة. وتألفت أدوات قطع الماء من صمام إيقاف يوضع على الرصيف خارج العقار وتملكه شركة التزويد بالماء، وصمام إيقاف على الأنبوب الرئيسي الداخل إلى المنزل والذي يملكه صاحب العقار. وفي حالة وجود خزان ماء، استُعمل صمام لعزل المنظومة المنخفضة الضغط. وما زالت تلك الصمامات الثلاثة هي النقاط الرئيسية لعزل منظومتي الماء البارد والساخن. ويُستعمل صمام شركة الماء الآن أيضاً لقياس كمية الماء التي يستجرها المنزل، أما صمام الأنبوب الرئيسي فهو مزود بحنفية لتفريغ المنظومة.

إلا أنه أصبح من الشائع اليوم توفير العديد من نقاط العزل. أما عدد هذه

النقاط ومواضعها فتأتي من تحليل الحاجة إلى الصيانة (وتكرارها) والحاجة إلى سرعة العزل في حالة حدوث أعطال طارئة، وذلك بغية التقليل من الأضرار التي يمكن أن تحصل قبل إجراء الصيانة. تُضاف إلى ذلك ضرورة الإبقاء على أكبر قدر ممكن من المنظومة عاملاً في أثناء صيانة وإصلاح الأجزاء المتعطِّلة.

يُري الشكل 3.21 تشكيلة شائعة لعزل أجزاء المنظومة وتفريغها مضافةً إلى الشبكة الأساسية. إن أكثر أنواع الصيانة شيوعاً هو تغيير جلدة حنفية أو صمام خزان المرحاض، ولذا يوضع صمام عزل قبل الحنفية وقبل الخزان. وهذا ما يمكِّن من إنجاز العمل بسرعة من دون أن يؤثِّر في أي جزء آخر من المنظومة أو يتطلَّب تفريغ أي ماء منها. وبعد اختيار صمامات عزل الحنفيات وخزان المرحاض، يمكن النظر في عزل أجزاء رئيسية من المنظومة. وإذا كان ثمة خزان ضمن المنظومة في السقف، فإنه سوف يحتوي على صمامين لمنظومتي الماء البارد والساخن المنخفضتي الضغط. بعدئذ يمكن النظر في عزل شبكة كل غرفة وتفريغها (المطبخ والحمام) بغية تنفيذ أعمال رئيسية فيها، ومنها أعمال التجديد.



الشكل 3.21 منظومتا الماء البارد والساخن – العزل والتفريغ.

يجب توفير حيِّز مناسب للوصول إلى نقاط العزل تلك وإلى المكوِّنات التي تحتاج إلى صيانة أو استبدال. وهذا ضروري لأي نقطة يجب الوصول إليها بسرعة في حالة الأعطال التي يمكن أضرارها أن تكون جسيمة. ويجب أخذ ذلك في الحسبان في أثناء قرارات التصميم الخاصة بمواضع مكوِّنات المنظومة ومسارات تمديداتها.

في مقابل هذه الحاجة إلى سهولة الوصول إلى المكوِّنات المختلفة، ثمة حاجة إلى إخفاء تلك المكوِّنات لتحسين المظهر. ومن الشائع اليوم أن يرغب القاطنون في عدم رؤية منظومات الخدمات، ولذا يُصبح الإخفاء عاملاً مفتاحياً في قرارات تحديد المواضع ومسارات التمديدات.

لا يمكن فصل تحقيق الإخفاء عن الحاجة إلى جميع أمكنة المنزل لأغراض أخرى، ولذا فإن أكثر الأمكنة ملاءمة لإخفاء التمديدات هي أجزاء البنية الإنشائية المستعملة لخدمات أخرى. وأي توزيع لا يمكن تحقيقه ضمن المناطق المتوافرة للخدمات سوف يكون على حساب أحياز من المبنى يمكن استعمالها في شؤون أخرى، وهذا ما يؤدي إلى تغيير في أشكال ومقاسات الغرف.

أما العنصران الكبيران في منظومة الماء فهما خزَّانا الماء البارد والساخن. وقد حدَّدنا سابقاً موقع خزَّان الماء البارد في السقف بغية توفير ارتفاع ملائم يولِّد ضغطاً كافياً ويؤدي إلى تدفق جيد للماء من المخارج. لذا فإن صمامَيْ منظومتي الماء البارد والساخن المنخفضتي الضغط الخارجتين من الخزَّان الرئيسي سوف يكونان في السقف أيضاً. أما صمام الماء الخارج من خزَّان الماء الساخن فيمكن أن يكون في أي مستوى لأن موضع خزان الماء البارد هو الذي يحدِّد الضغط في الشبكتين المنخفضتي الضغط (لكن يجب وضعه في مكان تنجم عنه مفاقيد أقل في الأنابيب، وإنْ كانت غير ذات أهمية في منظومة صغيرة كمنظومة المنزل). ويجب أن يكون خزان الماء الساخن في موقع مركزي تقريباً، وغالباً في خزانة في مكان ما من المنزل، وذلك لضمان عدم وجود مخارج على مسافات طويلة منه، ومن ثَمَّ درء التأخير الكبير في وصول الماء الساخن إلى تلك المخارج. وإذا لم يكن ثمة مكان لخزان الماء البارد في السقف، أو إذا لم تتوافر خزانة مركزية لخزان الماء الساخن (وهذا هو الشائع في الشقق السكنية)، أمكن تصميم المنظومة بحيث يُستغنى عن أحدهما أو كليهما. ومن هذه المنظومات المرجل المشترَك (combination boiler) الذي سوف نناقشه لاحقاً في هذا الفصل في سياق الحديث عن منظومة التدفئة.

أما أنابيب الماء التي تحتل أحيازاً أصغر مما تحتلُّه الخزَّانات، فإن توزيعها يتطلب شبكة أوسع. وحينئذ من الضروري الأخذ في الحسبان كفاءة التشغيل في التصميم. فتجميع المخارج لتقليص أطوال الأنابيب وعمليات ثنيها يُقلِّل الضياعات الحرارية فيها ويُقلِّص تكاليفها وتكاليف وصلاتها ومثبِّتاتها. ولهذا أهمية أكبر في منظومات المباني التجارية الكبيرة. وثمة لمنظومة تفريغ الشبكة المنزلية من الماء أهمية كبيرة في تجميع المناطق المبلولة معاً (المطابخ والحمامات)، إلا أن ذلك يؤدي إلى ازدحام منظومتي الماء البارد والساخن في تلك الأمكنة.

وحتى مع تجميع المناطق المبلولة، ثمة حاجة إلى بعض التمديدات الأفقية والعمودية. وقد نظرنا في خيارات التوزيع الأفقي في الفصل 17، حيث ناقشنا استعمال الفراغات الموجودة تحت الأرضيات. فثمة قيود على المواضع التي يمكن قص العوارض فيها لتمرير الأنابيب، وتحقيق وظيفة العازل الصوتي يحدُّ من الحيِّز الشاغر المتوافر لتمديد الأنابيب. وقد يكون من الضروري تغليف التمديدات العمودية ضمن مجارٍ في إحدى زوايا الغرفة، إضافة إلى إخفائها خلف الإنهاءات، لكن الوصول إليها حينئذ قد يؤدي تخريب، ويزيد من احتمال التلف العَرَضي.

دورة حياة منظومة الماء وديمومتها

نظراً إلى الطبيعة النشطة للخدمات، تُعتبر مسائل دورة الحياة، ومنها التكلفة والاستدامة، على درجة كبيرة من الأهمية. لذا فإن ثمة ضرورة لتحرِّي دورة حياة المنظومة في جميع المراحل التالية:

- التصميم
- التركيب (الإنتاج)
- التشغيل
- الاستبدال (الصيانة، والإصلاح، والتجديد)
- التخلُّص من البقايا في نهاية دورة الحياة

في ما يخص الماء البارد، يعني استعمال الضغط الطبيعي لدفع الماء تكلفة جارية منخفضة بسبب عدم الحاجة إلى وقود أو طاقة لفعل ذلك، إلا أن ثمة ضرورة للاقتصاد في استهلاك الماء، خاصة ماء الشرب العالي الجودة، لأنه مورد

غالٍ ونفيس. إن الاقتصاد في استهلاك الماء جدير بالاهتمام حتى لو ترتَّب عليه زيادة في متطلبات التركيب. أما الماء الساخن، فتترتَّب على تسخينه عواقب من حيث الوقود والطاقة الكهربائية.

وثمة قلق ناجم عن الاستهلاك المتزايد للماء، وعن الآثار المترتِّبة على التخلص منه بعد استعماله. فكلاهما يتطلب بنية تحتية تكاليفها في تزايد وعلى القاطنين تكبُّدها، إضافة إلى مفاعيلهما الكبيرة في البيئة. يُضاف إلى ذلك أن اختيار منظومة ماء المنزل وفقاً لاحتياجاته يمكن أن يؤثِّر كثيراً في التكاليف المستقبلية.

ويُسهم تصميم منظومة الماء، بحيث تؤدي الغرض نفسه باستهلاك أقل، في الاستدامة، ومن أمثلة ذلك مرذاذ الحمام (الذي يُغني عن حوض الحمام) وخزان المرحاض المزدوج الدفق (دفق قليل أو غزير وفقاً للحاجة). لكن مع أن كمية الماء المستعملة هنا تصبح أقل، إلا أن الماء يبقى ذا جودة عالية برغم أن ذلك ليس ضرورياً.

ومن المعروف أن كمية الماء المستعملة للتنظيف والصحة الشخصية في المنزل المتوسط تساوي كمية الماء التي تُستعمل لشطف المرحاض. لذا يمكن أن يُؤخذ ماء التنظيف والصحة الشخصية إلى وحدة معالجة قبل أن يصب في مجرى الصرف الصحي، ويُنظَّف من الجسيمات والمعلقات الأخرى التي تعكِّره ويُطهَّر ويُضخ إلى خزان منفصل في السقف. ويوصل هذا الخزان بخزان المرحاض، ويُستعمل ماؤه لشطف المرحاض. وهذه منظومة رديفة لمنظومة ماء شطف المرحاض العادية، لأنه لا يمكن ترك المرحاض دون شطف إذا لم يكن ثمة ماء مستعمل في أعمال التنظيف والعناية الشخصية. ويمكن استعمال منظومة ماء طبيعي مماثلة لجمع ماء المطر الذي يحتاج إلى تنظيف أقل، إلا أن هذه المنظومة يجب أن تتضمن خزاناً كبيراً للموافقة بين توفُّر ماء المطر والاستهلاك في شطف المرحاض. ومن الواضح أن منظومتي ماء شطف المرحاض هاتين تزيدان من تكاليف التركيب والصيانة، إلا أن قيمة الماء التي يجب دفعها إلى سلطة المياه تصبح أقل. يُضاف إلى ذلك المفعول البيئي الجيد الناجم عن تقليص استهلاك الماء العذب، وعن التخلُّص من الماء المستعمل.

وفي ما يخص الماء الساخن، فإن التسخين بالطاقة الشمسية، حتى في بريطانيا [البعيدة قليلاً نحو الشمال]، يمكن أن يُسهم إسهاماً كبيراً في توفيره. إلا

أن منظومة التسخين حينئذ يجب أن تكون مزدوجة بحيث تتضمن مصدر تسخين عادي أيضاً. وبرغم وجود هذا المصدر، فإن مردود المنظومة كبير من حيث التكلفة الجارية والمفاعيل البيئية.

تلك أمثلة لمنظومات تؤثِّر في الاستعمال اليومي للماء والطاقة، ولذا يمكن أن تُسهم إسهاماً كبيراً في التنمية المستدامة. فتقليص الكمية المستعملة، والتدوير واستعمال مصادر طاقة متجددة، تحقِّق ذلك جميعاً. وكلها تقلِّص التلوُّث وتساعد على الحفاظ على البيئة الحيوية بتقليصها للمتطلبات من البنية التحتية. ويمكن تحقيق بعضها من خلال إدخال منظومات جديدة يجب استيعابها في المبنى ودفع تكاليفها حين تركيبها وصيانتها والتخلُّص منها في نهاية حياتها. إلا أنه يمكن أن يُعوَّض عن تكاليفها الأولية مع مرور الوقت إذا لم يكن الماء مجانياً. أما المردود البيئي الهام للمجتمع وللإمداد المستقبلي بالماء، فهو أصعب حساباً لكل منزل منفرداً. لكن اختيار منظومة من هذا النوع هو التزامٌ بجميع أوجه الاستدامة، الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، ولا يقتصر على مسألة انخفاض تكلفة دورة الحياة.

هناك قضايا تخص الاستدامة في اختيار مواد ومكوِّنات المنظومات المستعملة ومتطلبات تصنيعها ونقلها والتخلُّص منها. فالأدوات الصحية، مثل المغاسل وكراسي المرحاض وغيرها، تتكوَّن من مواد صلصالية (بورسلين)، في حين أن أغلب التمديدات الصحية هي مكوِّنات معدنية، نحاسية غالباً، ويمكن بعضها أن يكون بلاستيكياً. وتحليل هذه الجوانب هام جداً، خاصة أن المنظومات التي تقتصد في استهلاك الماء والوقود وتتطلب مرافق صرف صحي عامة أقل، تُعتبر اليوم أكبر مساهم في التنمية المستدامة.

منظومات التدفئة

ثمة عدة طرائق لتوفير التدفئة المنزلية. ويمكن لها أن تقوم على مسخِّنات مستقلة في بعض أو جميع الغرف، ربما باستعمال مصادر تسخين ومُشعَّات مختلفة تتفق مع فرش الغرفة. لكن في ما يخص دراسة الحالة التي بين أيدينا، فإن ما يتوقَّعه المستعمل هو منظومة تدفئة مركزية كاملة، مع مستوى عال من العزل لتقليص حجوم مكوِّنات المنظومة وتكلفتها الجارية. وتشتمل منظومة التدفئة المركزية عادة على مشعَّات حرارية في كل غرفة يُضخ فيها ماء ساخن يرِد عبر أنابيب من مِرْجل يُسخَّن على الأرجح بالغاز إذا كان متوافراً.

ويقوم التحكُّم الرئيسي في منظومة التدفئة المركزية المنزلية على مؤقِّت زمني (لتحديد أوقات التسخين)، مع محساس لدرجة الحرارة في غرفة واحدة لتشغيل المرجل والمضخة وإيقافهما عندما تصل درجة الحرارة إلى الدرجة المطلوبة في أثناء فترة التدفئة. ويمكن تزويد المشعات بصمامات حرارية (thermostatic valve) للتحكُّم بدرجات حرارة الغرف في أثناء فترات التدفئة بحيث تتوافق مع احتياجات القاطنين. وحتى لو لم تكن ثمة صمامات حرارية، فإن ثمة صماماً يدوياً في مدخل كل مشع يمكن للمستعمل فتحه كلياً أو جزئياً لوقف تدفق للماء الساخن. وثمة صمام أيضاً في مخرج الماء من المشع، إلا أن وظيفته ليست التحكُّم في درجة الحرارة اليومية. يُعرف هذا الصمام بصمام الضبط والغرض منه تحقيق توزيع متجانس لدرجات حرارة الماء في جميع المشعات، ويجري ضبطه حين تركيب المنظومة وتشغيلها أول مرة. إن التحكُّم في منظومة التدفئة سمة من سمات كثير منظومات الخدمات الحديثة، للأغراض التشغيلية وغيرها.

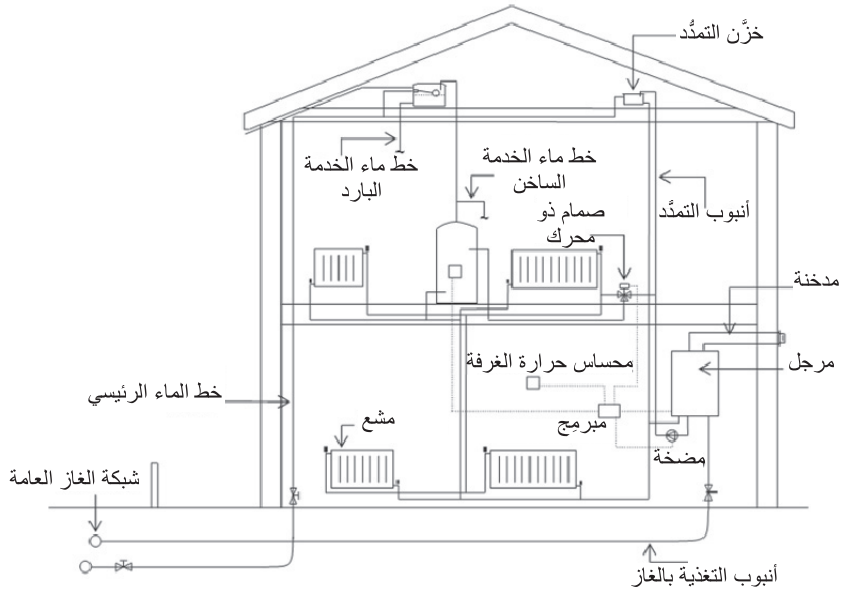
يشيع استعمال منظومة التدفئة المركزية التي استعرضناها في المنازل عموماً، إلا أن ثمة بدائل تقوم غالباً على حلول تخص الاستدامة بدأت بالظهور لاستعمالها في منازل لأصحابها اهتمامات خاصة.

يشير وصف منظومة التدفئة المركزية العادية إلى أنها تتكوَّن من خمسة أجزاء رئيسية، هي:

- مصدر تسخين هو مرجل يعمل بالغاز
- مشعات حرارة
- شبكة أنابيب لتوزيع الماء
- مضخة لتحريك الماء (الحرارة) في الشبكة
- منظومة تحكُّم تستعمل مؤقتات زمنية ومُحساسات وصمامات حرارية

يبيِّن الشكل 4.21 تشكيلة أساسية لمنظومة تدفئة مركزية تغذِّيها بالماء شبكة منخفضة الضغط، وتحتوي على خزان تمدد يوضع في السقف (يأخذ خزان التمدد الماء عند تسخينه). ويتبيَّن من الشكل أيضاً أن المرجل نفسه يُسخِّن ماء الاستعمالات المنزلية الذي يُؤخذ من خزان الماء الساخن. لذا، ونظراً إلى أن احتياجات المنزل من الماء الساخن تختلف عن احتياجات التدفئة، فإن ثمة حاجة

إلى تحكُّم منفصل في كل منهما (صمامات ذات محركات) وتحكُّم في درجة الحرارة (محساس حرارة للخزان)، وحتى قد تكون ثمة حاجة إلى مصدر تسخين بديل، مثل السخَّان الكهربائي الغاطس. ويزيد ذلك من تعقيد التحكُّم في المرجل الذي يحتاج حينئذ إلى مبرمِج. وتظهر أنابيب المنظومة على شكل مجموعات من أنبوبين، أنبوب يحمل الماء الساخن من المرجل إلى المشعات، وأنبوب يُعيد الماء إلى المرجل بعد بروده في المشعات. وتحافظ المضخة على تدفق مناسب للماء الساخن ضمن المنظومة. في المنظومة المنزلية المبيَّنة في الشكل 4.21، تساوي أقطار الأنابيب الواردة إلى المشعات والخارجة منها 15 مم، ويساوي قطرا أنبوبي الخروج من المرجل والعودة إليه 22 مم، وهما ينقلان الماء بين المشعات المتعددة والمرجل.



الشكل 4.21 منظومة التدفئة المركزية الشائعة.

مواضع منظومة التدفئة المركزية وتمديداتها وصيانتها

أكثر أجزاء المنظومة المبيَّنة في الشكل 4.21 حاجة إلى الصيانة والاستبدال هما المرجل والمضخة. وهذا يعني ضرورة توفُّر حيِّز للوصول إليهما، إضافة إلى وجوب وجود صمامي عزل على طرفي كل منهما لتجنب تفريغ المنظومة من الماء حين إزالتهما. وقد يكون من الضروري إزالة المشعات، سواء للصيانة أو لأغراض

تغيير ترتيب الغرفة وتزيينها. وحينئذ يمكن استعمال الصمامين الموجودين أصلاً على طرفي المشع لعزل المنظومة حين إزالته ومن ثَمَّ تجنب تفريغها من الماء.

حين تحديد موضع المرجل، يجب أخذ عدة عوامل في الحسبان. فثمة ضرورة لوصل المرجل مع كل من مصدر الوقود والمدخنة التي تتخلَّص من نواتج الاحتراق. ويمكن بعض أنواع المداخن أن يفرض قيوداً على موضع المرجل. لذا، فإن المراجل ذات المداخن المتوازنة (balanced flue) يجب أن توضع على جدار خارجي، في حين أن المداخن ذات المروحة فيمكن أن تستجر غازات أفقياً من مسافة محدودة، وهذا ما يسمح بتركيب المرجل داخلياً. وتحتاج الأنابيب المتجمعة حول المرجل وتوصيلاتها إلى أمكنة، ويُفضَّل إخفاء الأنابيب في بعض الغرف، ويمكن تركها مكشوفة في غرف أخرى. وتولِّد المراجل ضجيجاً منها مباشرة، ويمكن أن ينتقل هذا الضجيج عبر الأنابيب. وهذا شيء يجب أخذه في الحسبان حين تحديد موضع المرجل.

أما أجزاء المنظومة الأخرى التي تجب العناية بتحديد مواضعها فهي المشعات. فقد يكون لموضع المشع بعض التأثير في راحة الأشخاص الذين يستعملون الغرفة. تعمل المشعات غالبا بالحمل الحراري (convection)، إلا أنها تنطوي أيضاً على مكوِّن إشعاعي في المبادلة الحرارية. يُعزِّز مفعول الحمل الحراري تدوير الهواء في الغرفة، ومن ثمَّ تدفئة جوها. أما التسخين الإشعاعي فيعمل على مسافة محدودة لأن درجة حرارة سطح المشع محدودة بقيمة غير مؤذية. وفي الحالتين، فإن مفعول الإشعاع والحمل الحراريين اللذين يرفعان الهواء إلى ما فوق المشع معاكس لمفعول التبريد في النوافذ حيث يهبط الهواء البارد إلى الأسفل عندما يكون الخارج بارداً. ومع أن هذا قليل الأهمية في حالة التزجيج المضاعف أو الثلاثي، فإن وضع المشعات تحت النوافذ يوازن مفعول الزجاج البارد، وهذا هو سبب وضع المشعات تحت النوافذ. يُضاف إلى ذلك أن المكان تحت النوافذ عديم الفائدة عموماً للأغراض الأخرى مقارنة ببقية الجدران. لكن مع توافر مواد عازلة أفضل ومشعات أصغر حجماً، يصبح موضع المشع أقل إشكالاً شريطة حصول تيارات الحمل الحراري وعدم وجود أنشطة معيشية كثيرة بجانب المشع حيث تكون المكونات الإشعاعية مزعجة.

وبوضع مشع في كل غرفة، فإن أنابيب التدفئة المركزية سوف تكون واسعة الانتشار، خاصة إذا وُضعت المشعات تحت النوافذ. وعند المرجل، تكون

التمديدات عمودية على الأغلب، أما في الأرضيات فتكون أفقية طبعاً. ولا يُعتبر ذلك مشكلة في المنظومة ذات المضخة. وقد يكون من المفضَّل إخفاء الأنابيب، وفي بعض الأحيان يمكن بعض الأنابيب المنفردة المكشوفة أن تكون مقبولة. وفي ما يخص جميع الصمامات ومكوِّنات التحكُّم، فإنها يجب أن تكون سهلة الوصول إليها.

دورة حياة منظومة التدفئة المركزية والاستدامة

تطرَّقنا إلى أطوار دورة الحياة الرئيسية الخمسة (وهي التصميم والتركيب والتشغيل والصيانة والتخلُّص من البقايا) في المقطع السابق الخاص بمنظومتي الماء البارد والساخن. لكن، خلافاً لمنظومتي الماء، تُعتبر منظومة التدفئة مستهلكاً رئيسياً للطاقة في أثناء عملها. وهذا يؤثِّر في تكاليفها الجارية وفي مفاعيلها البيئية الكبيرة.

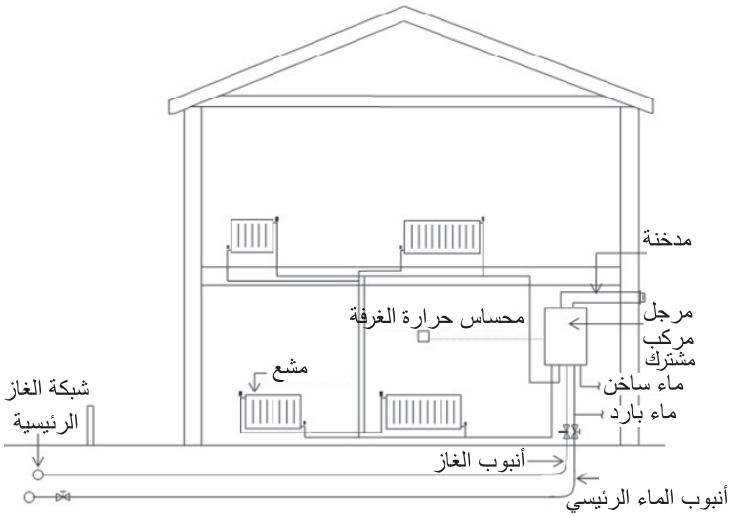
وحين النظر في جوانب دورة حياة المنظومة، يجب أن تُؤخذ في الحسبان مواصفات بنية المبنى غير النشطة، ومواصفات منظومة التدفئة النشطة. فثمة تكلفة أولية لكل من العزل الحراري ومنظومة التدفئة، وكلاهما يؤثِّر في التكاليف الجارية واستهلاك الطاقة. لكن الاهتمام الآن لا يقتصر على تكلفة الوقود فقط، بل بنوعه وتأثيره في البيئة، خاصة من حيث إصدار غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يُعتبر غاز احترار كوكب الأرض الرئيسي [الدفيئة]. لقد استُعمل الوقود الحيوي (biofuel) ومضخات الحرارة، التي ناقشناها في الفصل 15 (في فقرة موارد الطاقة المتجددة)، في منظومات تدفئة منازل ذات مواصفات خاصة، لكنها لم تنتشر في المنازل على نطاق واسع حتى الآن. ونظراً إلى محدودية موارد الطاقة غير القائمة على حرق الوقود الأحفوري، فقد تركَّز الاهتمام في تقليص ضياعات الطاقة في عمليات تحويل الوقود المحترق إلى طاقة قابلة للاستعمال.

ويُعتبر العزل الحراري أفضل وسائل الاقتصاد في استهلاك الطاقة. فالمنازل الجيدة العزل التي تأخذ طاقة أيضاً من أشعة الشمس ومن القاطنين في المبنى، ومن التجهيزات الموجودة فيه، تحتاج إلى التدفئة أياماً أقل في السنة، وساعات أقل في اليوم. وتساعد زيادة كفاءة منظومة التدفئة على التوجه نحو استهلاك أقل للطاقة حين عمل المنظومة. واستعمال الصمامات الحرارية في بعض الغرف القليلة الاستعمال أو التي لا تحتاج إلى درجة حرارة هواء عالية هي مثال لإجراءات الاقتصاد في استهلاك الطاقة. وكفاءة المرجل هي وجه آخر لتقليص استهلاك

الطاقة. ثمة تصنيف اليوم للمراجل من حيث الكفاءة في استهلاك الطاقة، وأفضل المراجل التي تعمل بالغاز حالياً تقوم على آليات تكاثف تستعيد حرارة غازات نواتج الاحتراق لزيادة التسخين الفعال الذي يمكن الحصول عليه من حرق متر مكعب واحد من الغاز. ويُعتبر تشغيل المنظومة عند درجات حرارة أعلى للماء الجاري في المنظومة أعلى كفاءة لأنه يزيد من نقل الحرارة إلى الغرف بالحمل الحراري والإشعاع، إلا أن ذلك يجعل درجة حرارة سطح المشع عالية، وهذا ما ينطوي على مشكلات تخص سلامة من يقترب من المشع وراحته.

خيارات أخرى للتدفئة المركزية

يمكن تخفيض التكاليف الأولية لمنظومة التدفئة المركزية (وربما التكاليف الجارية لتسخين الماء) باستعمال مرجل مركَّب مشترَك. توضع منظومة التدفئة الآن في طرف الضغط العالي من خط الماء الرئيسي الوارد إلى المنزل، ويصبح المرجل سخَّاناً آنياً. ويُري الشكل 5.21 تشكيلة تحتوي على مرجل من هذا النوع. لا تحتاج هذه المنظومة إلى تغذية من الشبكة المنخفضة الضغط أو إلى خزان تمدد أو خزان ماء ساخن. والتحكُّم فيها أبسط، لأن الماء الساخن يتوافر الآن فور فتح الصنبور، ولا ضرورة للتحكُّم بالتدفئة إلا بواسطة المؤقت الزمني والمحساسات الحرارية في الغرف، على نحو مستقل عن الماء الساخن.



الشكل 5.21 التدفئة المركزية – مرجل مركب مشترَك.

طُوِّرت المراجل المركَّبة المشترَكة ذات المضخات لاستعمالها في الشقق السكنية حيث كان من الصعب تركيب خزان تغذية وخزان تمدد لعدم توافر الأمكنة، وكانت المسافات إلى حنفيات الماء الساخن قصيرة. وفي حين أن هذه المنظومة توفِّر ماء ساخناً آنياً وباستمرار (لا يوجد هنا تأخير مماثل للمدة اللازمة لتسخين ماء الخزان)، إلا أنه ليس جيداً تماماً من حيث الكمية التي يوفِّرها، لأن المرجل لا يستطيع تقديم سوى كمية محدودة (تقدَّر بالليترات في الثانية) بدرجة الحرارة المطلوبة. وإذا لم يكن موقع المرجل مركزياً، فإن وصول الماء الساخن إلى الحنفيات يمكن أن يستغرق وقتاً، وهذا ما يؤدي إلى فقد للماء والطاقة بسبب بقاء ماء ساخن في الأنبوب وبرودته.

لتجاوز مشكلات الماء الساخن هذه في المنازل الكبيرة، يمكن استعمال مرجل ضغط عال (لا يوجد خزان تعبئة أو تمدُّد) لتسخين خزان للماء الساخن. وتحتاج منظومات المراجل تلك إلى وسائل التحكُّم والبرمجة المستعملة في منظومة الضغط المنخفض الأصلية، وتبقى منظومة الماء الساخن منظومة منخفضة الضغط لأنها تُغذى من خزان الماء البارد الرئيسي الموجود في السقف. إلا أن من الممكن استعمال أسطوانات ماء خالية من الهواء (مغلقة لا يدخلها إلا الماء) توصل بأنبوب الماء الرئيسي فتصبح منظومة الماء الساخن برمتها عالية الضغط، وتنتفي الحاجة حينئذ إلى خزان ماء بارد لتغذية منظومة الماء الساخن، أو إلى خزان تمدُّد.

الصرف الصحي

تقتصر وظيفة منظومة الصرف الصحي على تصريف الماء المستعمل من المنزل. وتتعامل المنظومة مع مصدرين للماء غير المرغوب فيه:

- ماء قذر ينجم عن التظيف والعناية الشخصية ويمكن أن يمثِّل تهديداً مباشراً للصحة ولبنية المبنى إذا لم يُصرَّف.

- الماء السطحي أو ماء المطر الذي يتجمَّع على السطوح الصلبة للأسقف والممرات، والذي يمكن أن يزيد من مستوى الرطوبة التي تهدِّد بنية المبنى وتؤدي إلى ظروف غير صحية إذا لم يُصرَّف.

وفي الحالتين توجد منظومتان، واحدة فوق سطح الأرض وأخرى تحته، ومع

أنهما تقومان على مبادئ التصميم نفسه، فإنهما تحتاجان إلى مواد ووصلات وإجراءات ثبيت وتوضيع للأنابيب وصيانة مختلفة.

في ما يلي سوف نقدِّم مبادئ منظومة صرف المياه القذرة. أما منظومة الماء السطحي وماء المطر فهي مماثلة تقريباً لتلك المنظومة لكن مشكلات تسرب الروائح الكريهة والانسداد فيها أقل.

منظومة الصرف الصحي الأساسية

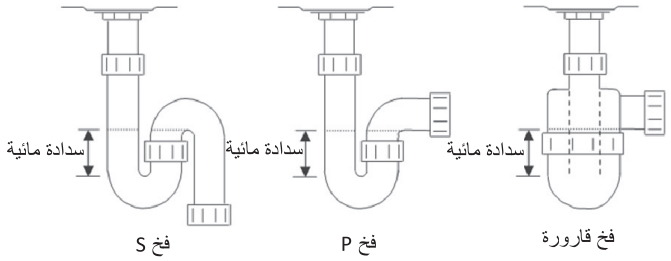
نظراً إلى أن منظومة الصرف الصحي تأخذ الماء من نقاط تجميع فوق الأرض إلى أنابيب تحت الأرض، فإن من الممكن استعمال قوة الثقالة لتصريف الماء من المبنى. وفي جميع الحالات تقريباً، تكون نقطة التصريف الأخيرة منخفضة بقدر كاف مقارنة بمناسيب الأرض حول المنزل بحيث يمكن جريان الماء من نقاط التجميع إلى نقطة التصريف دون الحاجة إلى استعمال مضخة. ولتحقيق هذا الجريان، يجب توضيع الأنابيب مائلة قليلاً لجعل الماء يتحرك على طولها حتى النهاية.

لا تمتلئ أنابيب الصرف الصحي بالماء، بل تعمل كالأقنية التي تحمل الماء وما فيه من مواد صلبة. ويصبح الهواء المتبقي في الأنبوب كريهاً بسبب الرائحة المتولِّدة من الفضلات، ويتراكم في الأنبوب على شكل غاز. لذا يجب ضمان تحرُّك الجسيمات الصلبة بعيداً، وعدم تسرب الغاز ذي الرائحة الكريهة إلى المنزل وجواره.

وكي يحمل الماء المواد الصلبة معه يجب أن يكتسب سرعة التنظيف الذاتي. وإذا لم يجرِ الحفاظ على تلك السرعة، فإن المواد الصلبة لا تُشطف لتذهب بعيداً، بل تبقى في الأنبوب وتتراكم مؤدية إلى الانسداد. وفي ما يخص منظومة الصرف الصحي الخاصة بمنزل واحد، والتي توجد تحت الأرض عادة، يكون معدل التدفق منخفضاً جداً، لذا يمكن أن يُساوي قطر أنبوب الماء القذر 100 مم، ويمكن أن يساوي ميله 1:40 (1 متر نزول لكل 40 متراً طولياً). ويمكن استعمال ميل أقل، إلا أن ذلك يتطلَّب دقة كبيرة في التركيب لضمان الحفاظ على الميل على طول امتداد الأنبوب. وعلى غرار هذه الأنابيب القليلة الميل من حيث كونها ذاتية التنظيف، فإن الأنابيب العمودية ذاتية التنظيف أيضاً. لذا تُبنى منظومة الصرف الصحي من أنابيب ذات ميل قليل مع أنابيب عمودية لوصل المغاسل والمراحيض وغيرها مع منظومة الصرف.

إذا وُصلت الأدوات الصحية، مثل المغاسل وغيرها، مباشرة مع منظومة

الصرف الصحي، فإن الغاز (الرائحة) سوف يخرج إلى الغرفة. إلا أنه يمكن درء ذلك باستعمال وسيلة بسيطة هي السدادة المائية (water seal). تتكوَّن السدادة المائية في مخارج الأدوات الصحية، ومنها المغسلة أو كرسي المرحاض، إلا أنها تحتاج إلى قطعة تسمى الفخ، مع ملحقات أخرى، من مثل خراطيم الغسالات والجلايات. يُري الشكل 6.21 تركيب الفخ وسدادة الماء فيه، حيث من الممكن إزالة الجزء السفلي من الفخ للتنظيف، لأن الأفخاخ عرضة لتراكم الأوساخ فيها.



الشكل 6.21 أفخاخ بلاستيكية وملحقاتها لمنظومة الصرف الصحي.

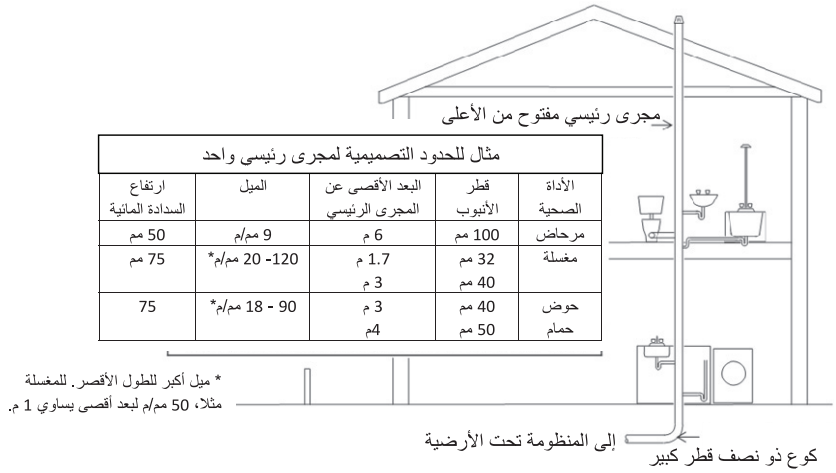
يولِّد انسداد المغسلة أو المرحاض بواسطة السدادة المائية فرق ضغط حين جريان الماء مبتعداً من الفخ. ويحاول فرق الضغط هذا إزالة السدادة المائية في أثناء تدفق الماء. ويمكن هذا أن يحصل للسداة عند الأداة الصحية التي في قيد الاستعمال (تفريغ سيفوني (siphonage) ذاتي) وللسدادات الأخرى حيث يعبر الماء المنظومة (تفريغ سيفوني محرَّض وضغط عكسي).

لذا من الضروري أن تكون المنظومة مفتوحة على الضغط الجوي الطبيعي بحيث تبقى تغيُّرات الضغط تلك أصغرية وتعود بسرعة إلى حالة تساوي الضغط على طرفي السدادة المائية. لكن فتح المنظومة للهواء يسمح للغازات الكريهة بالخروج منها، ولذلك يجب وضع الفتحة في مكان لا تكون فيه الرائحة مزعجة لأحد، سواء كان قاطناً في المنزل أو ماراً بالقرب منه.

جزء المنظومة الموجود فوق الأرض

يُظهر الشكل 7.21 الجزء فوق الأرضي من منظومة صرف صحي منزلية، تسمى منظومة ذات مجرى رئيسي فردي، مع أنابيبها وسداداتها وأنبوب تهويتها. توصل الأدوات الصحية، كل على حدة، بالمجرى العمودي الرئيسي، لكن ثمة

حدود للمسافات والميول تتعلق بأقطار الأنابيب وارتفاعات السدادات المائية في الفخ، وتقلِّص إمكان حصول التفريغ السيفوني. وثمة أمثلة لتلك المسافات والميول معطاة في جدول الشكل 7.21. ويؤدي ترك فتحة تهوية في أعلى المجرى الرئيسي إلى منع التفريغ السيفوني وإلى إعادة الضغط إلى التساوي بسرعة على طرفي السدادات المائية، شريطة أن تكون للمغاسل وأحواض الحمامات قعور مسطَّحة كي يجري الماء ببطء لملء أي نقص في السدادة ينجم عن التفريغ السيفوني. ليس من الضروري تهوية الأدوات الصحية فرادى في هذه المنظومات المنزلية.



مثال للحدود التصميمية لمجرى رئيسي واحد

الأداة الصحية	قطر الأنبوب	البعد الأقصى عن المجرى الرئيسي	الميل	ارتفاع السدادة المائية
مرحاض	100 مم	6 م	9 مم/م	50 مم
مغسلة	32 مم 40 مم	1.7 م 3 م	120- 20 مم/م*	75 مم
حوض حمام	40 مم 50 مم	3 م 4م	90 - 18 مم/م*	75

* ميل أكبر للطول الأقصر. للمغسلة مثلا، 50 مم/م لبعد أقصى يساوي 1 م.

الشكل 7.21 منظومة الصرف فوق الأرض – منظومة منزلية ذات مجرى رئيسي واحد.

تُصنع الأنابيب على الأرجح من كلوريد الفينيل المتعدِّد غير الملدَّن uPVC، ويمكن استعمال حديد الصب للمجرى العمودي في حالة احتمال تأذِّيه إذا كان موجوداً في مرآب مثلاً. يمكن قص البلاستيك بسهولة، ويوجد منه طيف من القطع، منها الأفخاخ والأكواع والوصلات مع المجرى الرئيسي. ويمكن تثبيت الوصلات إما باللحام بمذيب بارد، أو بواسطة حلقات إحكام مطاطية مع عزقات بلاستيكية تثبت باليد كتلك المبيَّنة على أفخاخ الشكل 6.21.

جزء المنظومة تحت الأرض

في حين أن المنظومات فوق الأرض ذات المجرى الرئيسي الوحيد متشابهة في جميع المنازل تقريباً، فإن المنظومة تحت الأرض محكومة بالموقع وبتوافر

نقطة للصرف الصحي في المنظومة العامة. ومع ذلك، فإن الأنابيب يجب أن تكون مائلة قليلاً أو عمودية كي تنظِّف نفسها، إضافة إلى أن من الضروري ضمان تدفق للماء في اتجاه واحد عند الأكواع والوصلات بحيث لا يوقف أو يُبطَّأ تدفقٌ وارد من أحد المنازل عند الأكواع حين وجود وصلة واردة من منزل آخر. ونظراً إلى وجود وصلات عمودية، وأكواع ووصلات في المستوى الأفقي، تصبح منظومة الأنابيب تحت الأرض منظومة ثلاثية الأبعاد. لذا يجب ألاّ تكون عميقة تحت الأرض، لأن للعمق تأثيراً كبيراً في التكلفة الأولية وفي سهولة وتكلفة أعمال الصيانة والإصلاح اللاحقة.

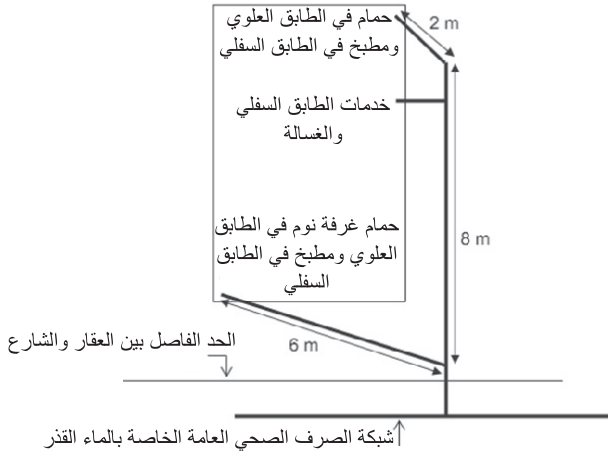
ومن الضروري تحديد كيفية وطريقة تصريف الفضلات بأمان في منظومة قائمة. في معظم التجمعات السكنية، تتمثَّل تلك المنظومة بمجاري الصرف الصحي العامة المتوضعة في الشارع خارج المنزل. أما إذا لم تكن تلك المنظومة العامة متوافرة على مسافة من المبنى تترتَّب عليها تكاليف عالية، وجب استعمال خزان فضلات (صهريج تحت أرض العقار يُفرَّغ عندما يمتلأ) أو حفرة صحية في المناطق الريفية (تُجرى فيها بعض المعالجة للسائل). ويمكن استعمال محطة معالجة صغيرة لمنزل أو لمجموعة من المنازل عندما لا يتوفر طريق لآليات تفريغ الحفرة أو الصهريج تحت الأرض.

وحتى عندما تكون شبكة الصرف الصحي العامة متوافرة، فإن المنظومة تحت الأرض ضمن العقار نفسه يمكن أن تختلف من مكان إلى آخر. لكن أكثرها شيوعاً هي منظومة مؤلفة من منظومتين جزئيتين، واحدة للماء القذر، وأخرى لماء المطر. وثمة منظومات قديمة مشترَكة يصب فيها كل من الماء القذر وماء المطر، أو منفصلة جزئياً حيث تُقام منظومتان مستقلتين للماء القذر والماء السطحي ضمن العقار، مع السماح لكمية محدودة من الماء السطحي بالصب في منظومة الماء القذر، وذلك بغرض تبسيط تمديدات المنظومتين.

يُري الشكل 8.21 مثالاً لمنظومة ماء قذر تحت الأرض لمنزل واحد. يظهر في هذا المسقط الأفقي للمنزل مجريان رئيسيان فوق الأرض يجمعان الماء الوارد من الحمام والمطبخ. ويُفترض في هذا الشكل وجود شبكتي صرف، لكن شبكة تصريف المياه السطحية غير مبيَّنة فيه.

يتحقَّق الجريان العديم الإعاقة عند الأكواع والوصلات، الذي يقلِّل من

احتمال انسدادها، بتوجيه جميع الأنابيب والوصلات نحو شبكة الصرف الصحي. ولا يأخذ أي كوع أو وصلة اتجاها معاكسا للجريان. وفي الواقع، توجد في جميع الوصلات، غير تلك القصيرة الخارجة من غرفة الغسيل، أكواع بزوايا منفرجة تسهِّل الجريان وتتحدَّد بالمثبتات المتوافرة.



الشكل 8.21 منظومة تحت الأرض – مسقط أفقي لتوضُّع شبكة الماء القذر.

ويُعتبر مكان وتكرار مرات الوصول إلى أجزاء المنظومة بغرض الصيانة جزءاً من قرار توضُّع الأنابيب. فبرغم أن الجريان العديم الإعاقة باتجاه واحد يقلِّل من حدوث الانسداد، يبقى ثمة إمكان للانسداد ينجم غالباً عن سوء الاستعمال (إلقاء أشياء في المنظومة يجب ألاّ تلقى فيها). وبرغم أن هذا نادر الحدوث، إلا أن عواقبه وخيمة وتنطوي على مشكلات صحية كبيرة. لذا يجب توفير منافذ إلى الشبكة لفتح الانسدادات سريعاً من دون إحداث تخريب في العقار.

ولمعرفة أماكن النفاذ إلى الشبكة والصيغ التي يمكن أن تأخذها، من الضروري معرفة الإجراءات المتبعة لفتح انسدادات المجاري. تتضمن تلك الإجراءات عادة إدخال قضيب في المجرى، إلا أن ثمة الآن وسائل أكثر مرونة من قبيل النفث المائي. فهذه الطرائق الجديدة تتطلب حيز عمل أصغر، خاصة عندما يكون المجرى قريباً من السطح نسبياً. أما أنواع النفاذ الرئيسية إلى الشبكة فهي مبيَّنة في الجدول 2.21. وثمة أيضاً حدود للمسافة بين نقاط النفاذ، وذلك لضمان عدم حصول انسداد لا يمكن الوصول إليه، إلا أن ذلك ضئيل الاحتمال في الشبكة المنزلية.

الجدول 2.21 نقاط النفاذ إلى منظومة الصرف الصحي المنزلية تحت الأرض

توصيات بخصوص أبعاد وأعماق نقاط النفاذ					
النوع	منسوب القعر	المقاس الداخلي		مقاس الغطاء	
		مستطيل	دائري	مستطيل	دائري
فتحة تسليك بالقضيب	≥ 2 م	-	100مم	-	100مم
نقطة نفاذ صغيرة♥	≥ 600 مم	100×150 مم	150 مم	100×150 مم	150 مم
نقطة نفاذ كبيرة♥	≥ 600 مم	100×225 مم	150 مم	100×225 مم	150 مم
حجرة تفتيش	≥ 600 مم	100×225 مم	190 مم♠	100×225 مم	190 مم♠
حجرة تفتيش قليلة العمق	≥ 1 م	450×450 مم	140 مم	450×450 مم	140 مم
حجرة تفتيش عميقة	≥ 1,5 م 1,5 م 1,5 م	1200×750 مم 1200×750 مم 1200×840مم	1050 مم 1200 مم 1200 مم	600×600 مم 600×600 مم 600×600 مم	600 مم 600 مم 600 مم

♥ الفتحة الكبيرة تعطي مسافات عظمى أكبر بين نقاط النفاذ

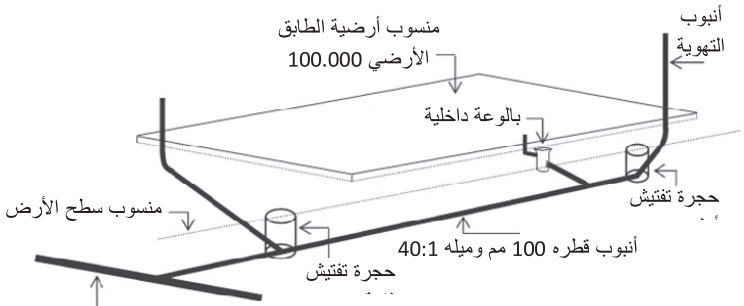
♠ لمصارف تصل أقطارها حتى 150 مم

إذا استُعملت مع عمود مستطيل المقطع بعداه 900 × 840 مم
أو دائري المقطع قطره 900 مم

ويُري الشكل 9.21 المنظومة المبيَّنة في الشكل 8.21، لكنْ بالأبعاد الثلاثة، مع أنواع النفاذ من حيث العمق تحت منسوب سطح الأرض. افتُرِض في الشكل أن الموقع مستوٍ نسبياً، وهو يُري مستوى الطابق الأرضي. وتقع أعلى نقطة من المنظومة عند الوصلة مع مجرى المطبخ والحمام، ولذا يجب أن يكون هذا المجرى هو أنبوب التهوية، أي يجب أن يكون مفتوحاً على الضغط الجوي مباشرة، وأن يمتد إلى الخارج عبر السقف. وقد افتُرض أن عمق شبكة التصريف قد حدَّد منسوب القعر (invert level) لآخر نقطة نفاذ ضمن العقار بـ 98,950 متراً (قعر القناة المتمثِّلة بالأنبوب)، وهذا يُحدِّد مناسيب نقاط المنظومة رجوعاً إلى داخل العقار. بتوضيع أنابيب بقطر 100 مم وميل يساوي 1:40، تنتُج مناسيب

وأعماق تحت الأرض مبيَّنة في الشكل 9.21 والجدول الموجود فيه.

تحدِّد هذه الأعماق أنواع نقاط النفاذ اللازمة. يمكن أن تذهب وصلة غرفة الغسيل إلى نقطة نفاذ داخلية متصلة مباشرة بمنظومة الصرف تحت الأرض. ويوصل أنبوب التهوية مع حجرة التفتيش الأولى IC1 التي تقع على عمق يساوي 600 مم تحت منسوب سطح الأرض، وهو أقل من عمق حجرة التفتيش الثانية IC2 التي تقع على عمق يساوي 800 مم، وفق المبيَّن في الشكل 9.21. فإذا كان عمق الأساس يساوي 1000 مم تحت الأرض، فإن جميع وصلات منظومة الصرف الصحي يمكن أن تخرج من الجدار فوق الأساسات. ونظراً إلى أن جميع الوصلات تتألف من أنابيب أقطارها تساوي 100 مم، يجب تزويد ثقب الأنبوب في الجدار بعتبة فوقية مع فجوة بينها وبين الأنبوب بحيث لا تؤدي هبوطات الأساسات إلى الضغط على الأنبوب.



حجرة التفتيش	منسوب القعر	منسوب سطح الأرض	العمق
IC1	99.150	99.750	0.600
IC2	98.950	99.750	0.800

الشكل 9.21 منظومة الصرف الصحي تحت الأرض – توضُّع نقاط النفاذ.

يوفِّر هذا التوضُّع تحت الأرض حلاً اقتصادياً من حيث محدودية الأعماق التي سوف تُحفر وعدم الحاجة إلى حجرات تفتيش عميقة بطول شخص عالية التكلفة. لكن هذه المنظومة تقع على عمق تحت الأرض كاف لدرء الأذى عنها وتقليل الضغط على الأنابيب من الأحمال فوق الأرضية، شريطة اختيار الأنابيب والفرشات التي تحتها بعناية وفقا لما سوف نناقشه في المقطع التالي.

في هذا المثال، حدَّد منسوب منظومة الصرف الصحي في الشارع مناسيب قعور المصارف ضمن العقار. وإذا كان ذلك المنسوب أعمق، أدى إلى جعل

مناسيب المنظومة أخفض، ومن ثَمَّ إلى عمق أكبر تحت الأرض. وهذا يقتضي إعادة النظر في نقاط النفاذ حيث ستكون حفرياتها أعمق. ولإبقاء تكلفة المنظومة ضمن العقار محدودة، قد يكون من الأفضل جعل آخر نقطة نفاذ (IC2 في المثال) حفرة عميقة. ويمكِّن هذا من إبقاء المناسيب وترتيبات النفاذ على حالها حتى الوصول إلى الحفرة العميقة، حيث يصب الماء فيها بواسطة أنبوب عمودي.

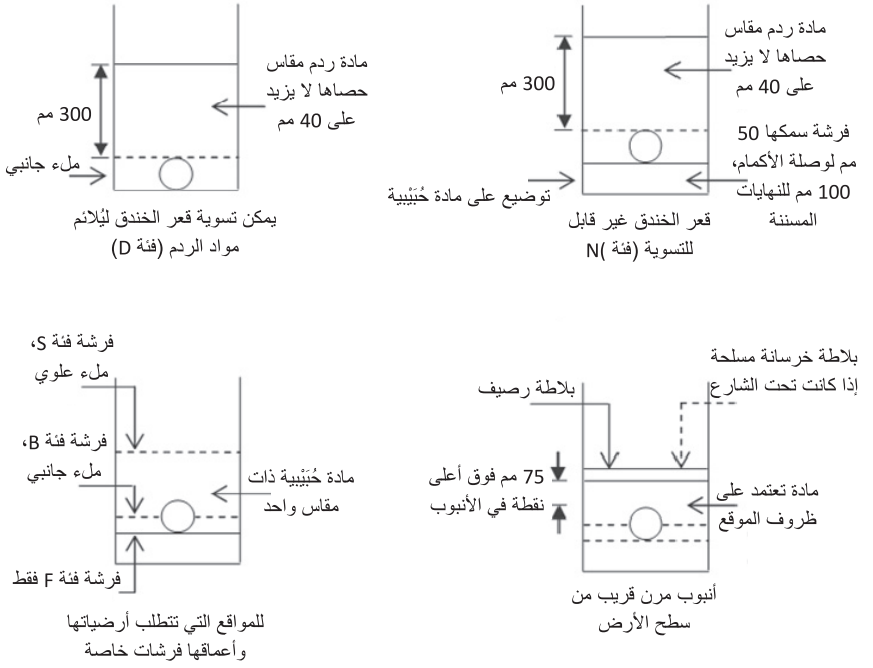
الأنابيب وخطوط الأنابيب تحت الأرض

المادتان الرئيسيتان المستعملتان في صنع مجاري الصرف الصحي المنزلي هما الصلصال والبلاستيك. يعطي الصلصال أنبوباً صلباً يمكن أن ينكسر بسهولة بسبب هشاشته، إلا أنه يعتمد على مقاومة الضغط لدرء تأذِّيه، ولذا تُصنع هذه الأنابيب بأطوال قصيرة لا تتجاوز 1,5 متر. أما البلاستيك (uPVC)، فيعطي أنابيب مرنة تتغيَّر أشكالها بسبب الحمل أو الحركة من دون أن تنكسر، ولذا تُستعمل في الوصلات لجعلها كتيمة للماء. وتُصنَع هذه الأنابيب بأطوال تصل حتى 6 أمتار (لأنها خفيفة بقدر كاف لتداولها).

وتُمكِن إقامة خط أنابيب مرن من كل من الأنابيب الصلبة والمرنة باستعمال وصلات ذات حلقات كتيمة تسمح ببعض الحركة الزاوية من دون أن تؤدي إلى التسرب. ويسمح هذا للأنبوب بالحركة مع الهبوطات الصغيرة وغيرها من الحركات في الأرض. إن الوصلات المعهودة القائمة على الطينة الإسمنتية المستعملة مع أنابيب الصلصال تجعل كل خط الأنابيب صلباً، ولذلك تُعتبر الوصلة أكثر الأمكنة قابلية للعطب. لقد كانت هذه الوصلات شائعة في الماضي، أما اليوم فهي غير مستعملة على الأغلب. ويمكن الحصول على كل من الأنابيب الصلصالية والبلاستيكية بنهايات مسدودة أو أكمام مسنَّنة لصنع الوصلات.

إن هذا التفريق بين الأنابيب الصلبة والمرنة هام لتحديد عمق الأنبوب ونوع الفرشة التي ستوضع تحته، بغية تدعيمه وحمايته. ويجب توضيع الأنبوب على سطح مستقر مستوٍ لتحقيق ميل منتظم وتدعيم جيد. وقد يكون الأنبوب عرضة لتحميل غير متجانس إذا لم يُحَط بمادة على نحو متجانس ولم يُملأ الخندق تماماً دون أن تبقى فيه فجوات. ولتحقيق ذلك جرى تطوير طيف من فئات الفرشات التي توفِّر مستويات مختلفة من التدعيم لأنواع التربة المختلفة عند مختلف الأعماق، وذلك تبعاً لنوع الأنبوب. ويُري الشكل 10.21 بعض أنواع الفرشات تلك.

يمكن وضع أنابيب صلبة، أقطارها تساوي 100 مم، تحت الأرض بحيث يكون أعلى الأنبوب على عمق يساوي 400 مم من السطح، وذلك باستعمال أي نوع من الفرشات، شريطة العناية بتركيبها وبرص المادة المالئة للخندق حتى السطح. أما إذا وجب وضع الأنابيب على أعماق كبيرة جداً (أعمق من 8 أمتار)، أصبحت متانة الأنبوب ومواصفات الفرشة هامة إنشائياً، ووجب استعمال فرشات ذات مادة حبَيْبية.



الشكل 10.21 منظومة صرف صحي تحت الأرض – فرشات الخندق

أما الأنبوب المرن، ذو القطر الذي يساوي 100 مم، فيجب أن يكون أعلاه على عمق يساوي 600 مم من السطح في الحقول والحدائق (900 مم في الشارع). ويتحدَّد أداؤه تحت الحمل بعرض الخندق الذي يجب أن يكون أضيق ما يمكن، والذي يجب أن يساوي قطر الأنبوب مضافاً إليه 300 مم لتحقيق ملء جانبي جيد بالمادة المالئة. وتوضع المصارف العميقة في حفر غالباً عند عمق يساوي نحو 100 مم من أعلى الأنبوب، مع أخدود ضيق يُحفر لاحتواء الأنبوب وفرشته. وإذا وضِّعت أنابيب بلاستيكية ضمن حدود 600 مم من السطح (900 مم تحت الشارع)، وجب وضع غطاء مكوَّن من بلاطة خرسانية على ارتفاع يساوي 75 مم

على الأقل من أعلى الأنبوب، وفق المبيَّن في الشكل 10.21.

ويمكن توضيع جميع الأنابيب بالقرب من السطح (أو بالقرب من أساسات المبنى)، حيث تكون الأحمال كبيرة وفرص الأذية كثيرة، لكنْ بوضع الأنبوب على فرشة وبإحاطته بالخرسانة. فذلك يجعل كامل خط الأنابيب صلباً بغض النظر عن مادتها وأنواع وصلاتها.

دورة حياة منظومة الصرف الصحي والاستدامة

عرضنا في ما تقدَّم معظم قضايا دورة حياة منظومة الصرف الصحي. لكنْ في ما يخص صيانتها، فإن المهمة الرئيسية هي فتح انسداداتها. ولدرء التكسير والتخريب وما ينجم عنهما من نفقات في المستقبل، يمكن إنفاق بعض المال على نقاط النفاذ لتسهيل عمليات الصيانة المذكورة. يُضاف إلى ذلك أن استعمال خط أنابيب مرن، باختيار وصلات مرنة بين الأنابيب، يقلِّص فرص عطب الوصلات بسبب حركات الأرض الضئيلة، مع أن تدهور المواد تحت الأرض قليل لأن الأنابيب والوصلات مصممة لنقل الماء أصلاً.

لا تُستعمل في مجاري الصرف الصحي طاقة لتحريك الماء، لذا فإن انسدادها ينطوي على إمكان حدوث فيضان وتلوُّث يؤثِّران في الوضع السكاني وفي البنية التحتية. واتخاذ إجراءات للحد من استعمال الماء في المنزل يقلِّل كثيراً من صب الماء القذر في منظومة الصرف الصحي، إلا أن معالجة المياه القذرة باستعمال خزانات تفكيك عضوي أو فرشات قصب (reed bed) يمكن أن تحد أيضاً من صب الماء القذر في منظومة الصرف الصحي.

وقد يضع فيضان منظومات المياه السطحية أعباء إضافية على البنية التحتية والبيئة، من حيث إنه يجب تصميمهما على نحو تتحمَّلان فيه معدلات التدفق العالية غير المتواصلة (الناجمة عن الأعاصير)، والتي تزيد من مخاطر الطوفان بسبب التدفق الغزير المفاجئ. لذا جرى تطوير منظومات نفوذة بطيئة التصريف من سطوح صلبة تسمى منظومات الصرف الحَضَرية المستدامة (sustainable urban drainage system SUDS)، تُستعمل في المباني التجارية، وخاصة في مواقف السيارات، وفي التجمعات السكانية على نطاق واسع.

المنظومات الكهربائية

توفِّر الكهرباء لقاطن المنزل طاقة لتشغيل الأدوات المنزلية (مثل نظم التسلية وأجهزة المطبخ)، وبالتالي تلبي احتياجات التشغيل. وهي أيضاً الطاقة للإضاءة ومرجل ومضخات التدفئة المركزية وتسخين الماء، إضافة إلى الخدمات البيئية.

وتتصف تلك الاستعمالات المختلفة باحتياجات مختلفة من الطاقة وبأنماط متنوعة من استهلاكها، لذا من المفيد تقديم عدد من الدارات(*) الكهربائية التي تُستعمل في المنزل لتحقيق تلك الأغراض:

- تستهلك الإضاءة طاقة قليلة نسبياً، إلا أن معظم المصابيح يمكن أن يكون مشتعلاً في الوقت نفسه (يُفترض أن استهلاكها حينئذ يساوي 66٪ من الاستهلاك الكلي).
- تشتمل التجهيزات العامة التي تستهلك طاقة على تجهيزات عالية الاستهلاك، ومن أمثلتها المدافئ الكهربائية ذات المراوح، وعلى تجهيزات منخفضة الاستهلاك، ومن أمثلتها أجهزة التلفاز والموسيقا وغيرها من وسائل الترفيه. أما أنماط استعمال هذه التجهيزات فشديدة الاختلاف، إلا أن ثمة حدّاً لعدد القطع المستعملة في أي لحظة في أي بقعة معينة من المنزل.
- وتشتمل التجهيزات ذات الاستهلاك العالي للطاقة على أفران وسخانات ماء غاطسة وسخانات ماء فورية من مثل تلك المستعملة في مرذاذ الحمام. وتحتاج هذه التجهيزات إلى دارات خاصة بها.
- ثمة وحدات يمكن تشغيلها في الليل عندما يكون الاستهلاك العام منخفضاً، وحينئذ تمكن الاستفادة من تعرفة الكهرباء المخفَّضة خارج أوقات الذروة. يمكن استعمال هذا النمط من التغذية الكهربائية لسخانات المخازن مثلاً. وفي هذه الحالة يُستعمل عداد كهرباء مستقل مع دارات منفصلة.

وتمثِّل الكهرباء خطراً على الحياة. وليس ذلك من التماس المباشر مع أسلاكها فقط، بل من حيث إمكان تسببها للحريق بواسطة تجهيزات عاطلة أيضاً. ويمكن الكهرباء أن تُتلف التجهيزات أيضاً. وللتقليل من هذه المخاطر، يجب تزويد دارات المنزل بما يلي:

- خطُّ أرضيٍّ يوفِّر مساراً بديلاً للتيار الكهربائي في حالة حصول تماس

(*) تُعرَّب عادة بدارة أو دائرة (المترجم).

لشخص أو جسم ناقل آخر مع خط كهربائي. وهذا يقلِّص مخاطر حصول أذية شديدة أو نشوب حريق بسبب ذلك التماس.

- فواصم (fuse) كهربائية تمثِّل الواحدة منها نقطة ضعيفة في الدارة وتنصهر حين مرور تيار كبير فيها نتيجة لخلل ما. وهذا يقلِّص مخاطر حصول أذية للأجهزة ونشوب حريق نتيجة لذلك.

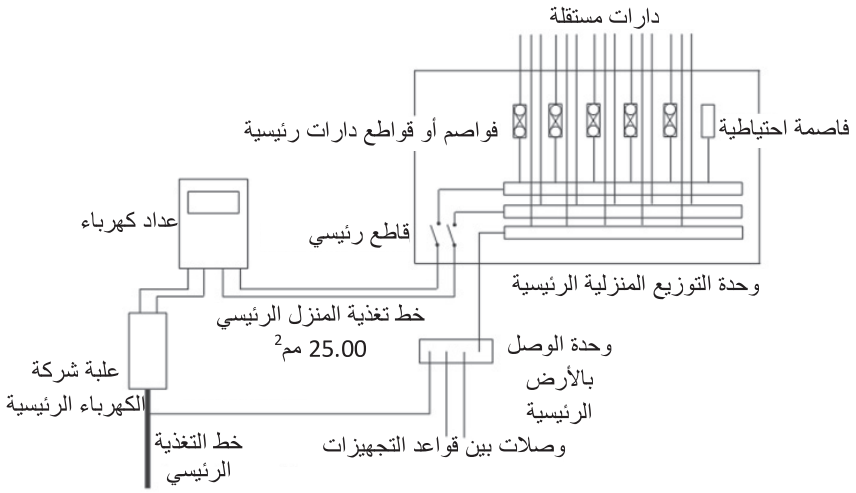
- عوازل كهربائية حول الأسلاك وعند الوصلات الكهربائية لضمان عدم حصول تماس بين مكوِّنات الدارة، ومن ثَمَّ درء حصول صدمة كهربائية أو دارة قصر (short circuit).

- مفاتيح فصل ووصل يوصل عبرها الخط الساخن، لا الحيادي، بحيث لا يبقى الخط الساخن موصولاً بالأجهزة حين إطفائها.

- أسلاك ذات مقاطع عرضانية كافية لعدم تسخينها ومن ثَمَّ تخريب عوازلها على نحو مبكر، أو التسبُّب في نشوب حريق، حين مرور التيار فيها.

تزويد المنزل بالكهرباء

يُزوَّد المنزل عادة بطور كهربائي واحد يحمل جهداً كهربائياً يساوي 230 فولط (في بريطانيا) على زوج من الأسلاك، يوصفان بالساخن والحيادي، مع سلك ثالث هو الأرضي الذي يوفِّر ممراً للتيار إلى الأرض عبر منظومة التغذية الكهربائية. يُري الشكل 11.21 ترتيبات التغذية الكهربائية والفصل بين الدارات المختلفة وفواصمها. وتحمي شركة الكهرباء منظومة توزيع الكهرباء من الاستجرار المفرط بتركيب فاصمة في كل منزل تقطع التيار إذا استجر طاقة من الشبكة تفوق الكمية المقدَّرة له في أي لحظة. وتوضع تلك الفاصمة في علبة محكمة الإغلاق، ويمكنها تمرير 80 أو 100 أمبير. بعدها تركِّب الشركة عداد الكهرباء الذي يوصل بالخطين الساخن والحيادي، ويُؤخَذ من العداد سلكان إلى علبة التوزيع في المنزل. ويوصل خط الأرضي بوحدة الوصل الأرضي الرئيسية.



الشكل 11.21 المنظومة الكهربائية – التغذية الرئيسية ودارات التوزيع.

يُمدُّ سلك الأرضي مستقلاً عن الخطين الساخن والحيادي ويوصل مع جميع المصادر التي يمكن أن تتعرض لصدمة كهربائية، ليس بالتماس المباشر مع الخط الساخن فحسب، بل بسبب أعطال في مكوِّنات يمكن أن تصبح ناقلة ساخنة غير مباشرة، منها علب التجهيزات وقواعدها المعدنية. وعلاوة على ذلك يمكن لأنابيب الخدمات، ومنها أنابيب الماء والتدفئة والغاز النحاسية أن تصبح ساخنة أيضاً. لذا يوصل خط الأرضي الذي في الكبل مع علب وقواعد التجهيزات لحماية تلك التجهيزات، إضافة إلى الوصل الكهربائي لجميع تلك القواعد والأنابيب معاً. وتُنفَّذ جميع تلك الوصلات في وحدة التأريض الرئيسية. ويُؤخذ خط الأرضي الرئيسي المباشر إلى وحدة التوزيع المنزلية الرئيسية لتوفير الوصل بالأرض لجميع الدارات الفرعية. وتُمدُّ أسلاك توصيلات قواعد التجهيزات والأنابيب إليها جميعاً.

ويوجد في وحدة التوزيع المنزلية الرئيسية قاطع رئيسي مزدوج (للخطين الساخن والحيادي)، وهو عادة قاطع يتحسَّس أي تيار يمر إلى الأرض ويفصل المنظومة برمتها سريعاً حتى لو كان التيار المتسرب إلى الأرض صغيراً. وبعد القاطع الرئيسي، تُحْدَث الدارات المختلفة مع حماياتها (فواصمها) الخاصة بها موصولة تسلسلياً مع الخط الساخن. سابقاً، كانت الفاصمة تتألف من سلك رفيع ضمن حامل خاص به، أما اليوم فهي تتألف من قاطع إلكتروني آلي صغير.

ويتحدَّد قطر سلك الفاصمة السلكية، أو التيار الذي يسمح القاطع الإلكتروني بتمريره، بالتيار الأعظمي المسموح بمرور في الدارة.

تُقاس الطاقة (power) التي يستجرُّها جهاز من دارة كهربائية بالواط (watt). فإذا كان جهد التغذية الكهربائية 230 فولط (volt)، فإن الجهاز الذي استطاعته 1000 واط (1 كيلو واط) يستجر تياراً شدته تساوي نحو 4,35 أمبير(ampere) (واط = فولط × أمبير). لا تُستعمل جميع التجهيزات التي في المنزل في الوقت نفسه، لذا يمكن تصميم الدارات على أساس عوامل التباين في الاستعمال التي تعطي شدات التيار التي يجب أن تسمح الفواصم بمرورها وفقاً لما يلي:

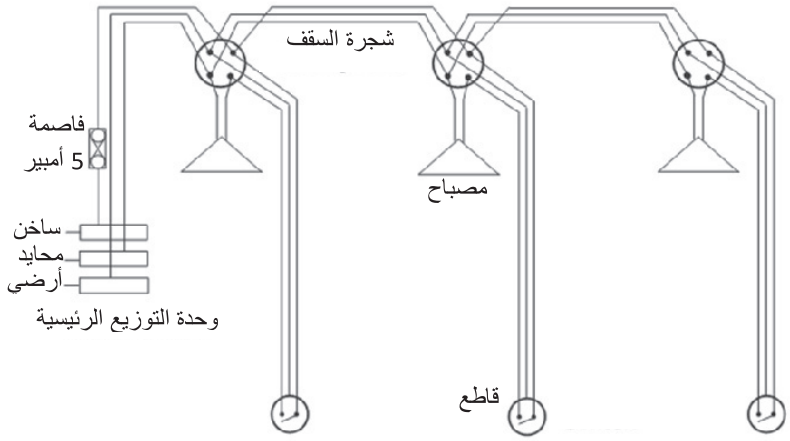
- دارات الإضاءة (فاصمة لكل طابق من المنزل): 5 أمبير
- دارات التجهيزات العامة المنتشرة ضمن رقعة لا تزيد مساحتها على 100 متر مربع: 30 أمبير (الدارات الشعاعية (radial circuit) ممكنة، وسوف ترد لاحقاً في النص).
- دارات تجهيزات منفردة (تعرفة عادية أو تعرفة خارج أوقات الذروة) تعتمد على استطاعة الجهاز: الطنجرة الكهربائية 30 أو 45 أمبير، سخَّان ماء غاطس 15 أمبير.

وفي حالة الدارات الحلقية (ring main circuit)، تحمي فاصمة كل جهاز من الأجهزة العامة الموصولة مع الدارة، وتسمح الفاصمة بتمرير 13 أمبير (في بريطانيا)، ويمكن استعمال فواصم 5 و 3 أمبير للأجهزة المنخفضة الاستطاعة. وتختلف ترتيبات فواصم وقواطع التجهيزات ذات الاستطاعات العالية (طنجرة كهربائية، سخان ماء، غاطس) تبعاً لاستطاعاتها الفعلية ومواضعها والمخاطر المقترنة باستعمالها في الأماكن المبلولة.

دارات الإضاءة

يبين الشكل 12.21 دارة إضاءة بسيطة مع قاطع (مفتاح) فصل ووصل وحيد الخط لكل مصباح. وهذه دارة شعاعية ينطلق فيها السلكان الساخن والحيادي من وحدة التوزيع المنزلية الرئيسية متفرِّعين إلى جميع المصابيح فيها. لا يُؤخذ الخط الساخن مباشرة إلى المصباح، بل عبر قاطع لإطفاء المصباح وإشعاله. ويوصل خط الأرضي بعلبة القاطع أيضاً للحماية من إمكان حصول تماس بينها وبين الخط

الساخن. وتُجمع هذه الوصلات معاً ضمن شجرة أسلاك السقف التي تثبت مع قاعدة المصباح. وتُستعمل في دارات الإضاءة فواصم 5 أمبير توضع في وحدة التوزيع الرئيسية مع أسلاك تساوي أقطارها 1 مم^2 مغلفة بعازل من الـ PVC.

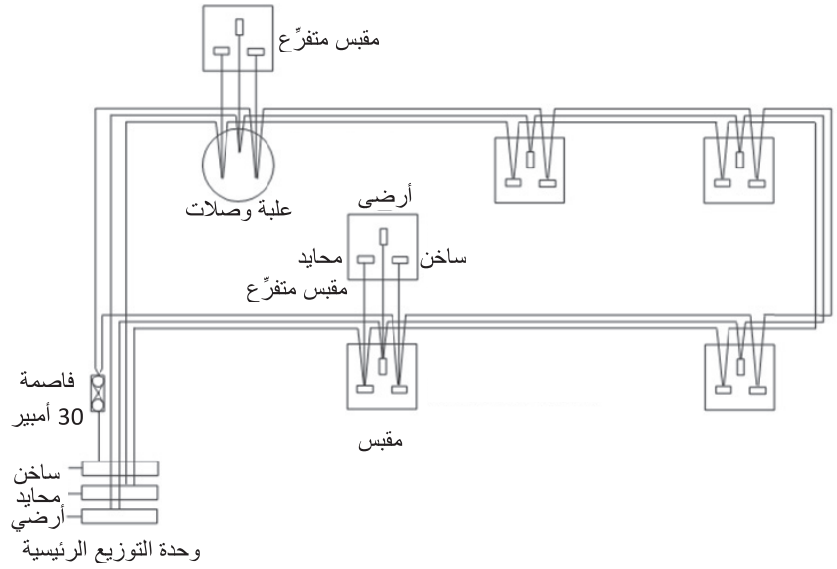


الشكل 12.21 دارة شعاعية للإضاءة.

الدارات الحلقية والشعاعية

يُري الشكل 13.21 دارة حلقية تعود فيها أسلاكها إلى وحدة التوزيع الرئيسية ثانية من آخر مصباح، وهذا هو سبب تسميتها بالحلقية. وهذا يعني أنه خلافاً للدارة الشعاعية، لا يحمل أول سلك منطلق من وحدة التوزيع الرئيسية كل التيار الذي تستجره التجهيزات الموصولة بهذه الدارة. فنظراً إلى أن التيار يمكن أن يجري في الاتجاهين، تُوازِن الاستطاعة نفسها في الدارة تبعاً لأنواع التجهيزات الموصولة مع أي مقبس (socket) في أي وقت. أما التيار الذي تسمح الفاصمة بتمريره (30 أمبير) ومقاسات أقطار الأسلاك (2,5 مم^2 مع عازل PVC) فهي غير تابعة لعدد المقابس، بل إلى احتمال استجرار التجهيزات للتيار ضمن منطقة مساحتها 100 م^2. لذا يمكن تركيب أي عدد من المقابس لتسهيل إيجاد مقبس لكل جهاز (أو مجموعة أجهزة مثل تلك الملحقة بالحاسوب) والحدّ من استعمال أسلاك متناثرة ضمن الغرفة. ومن الممكن تقليص كمية الأسلاك من خلال تفريع مقابس من علب الوصل، إلا أنه يجب ألاّ يُفرَّع سوى مقبس واحد من أي علبة وصل في الدارة الحلقية. ويمكن المقابس أن تكون مفردة أو مزدوجة، وهي تركَّب عادة مع قاطع لكل منها،

وتُجهَّز لاستقبال قابس من الجهاز (تيار الفاصمة الأعظمي يساوي 13 أمبير). ويمكن أن توصل بعض التجهيزات الثابتة مباشرة مع الدارة من دون مقبس، ومع ذلك يجب تزويدها بفاصمة. تسمى هذه المقابس بمقابس التفريعات ذات الفواصم.



الشكل 13.21 دارة حلقية.

تُعتبر الدارة الحلقية اقتصادية، وتتوزَّع فيها المقابس على نحو واسع، وتنطلق أسلاك أول مقبس من وحدة التوزيع الرئيسية، وتعود أسلاك آخر مقبس إلى الوحدة نفسها. أما الدارات الشعاعية التي لا تعود فيها الأسلاك إلى وحدة التوزيع الرئيسية، ومن أمثلتها دارات الإضاءة، فيمكن استعمالها إذ أمكن تقليص مجموع أطوال أسلاكها. ويمكن أن يكون عدد مقابس المصابيح فيها غير محدود باستعمال كبل أقطار أسلاكه تساوي 2,5 مم^2 معزولة بالـ PVC. إلا أن الدارة الشعاعية لا تستطيع تخديم سوى 20 م^2 من المساحة الطابقية، وتحتاج إلى فاصمة 20 أمبير فقط. أما تخديم مساحات تصل حتى 50 م^2 بدارة شعاعية، فهو ممكن بفاصمة 30 أمبير وأسلاك أقطارها تساوي 4 مم^2 معزولة بالـ PVC.

الأسلاك ومساراتها

تتحدَّد مسارات أسلاك الدارات الكهربائية باعتبارات الأمان عموماً، مع أن الصيانة والتكلفة يؤثِّران في الاختيار أيضاً. تُعزل الأسلاك بعوازل كهربائية لحماية

الأفراد من الصدمة الكهربائية ودرء حصول دارات قِصَر. وتُرمَّز بالألوان لتعريف وظائفها المختلفة، وتُصنع مقاطعها العرضانية بأقطار تمنع سخونتها في أثناء مرور تيار الفاصمة الأعظمي فيها. وتُعزل أسلاك الدارات المنزلية (دارات الإضاءة ودارات الاستطاعة العالية) بعازل PVC يحيط بناقل نحاسي. ويلوَّن عازلا السلكين الساخن والمحايد بلونين مختلفين. لقد خضع هذان اللونان للتغيير، لذا من الضروري معرفة اللونين المستعملين وقت تمديد شبكة تغذية كهربائية جديدة، والألوان التي كانت مستعملة سابقاً حين العمل بشبكة قائمة.

وتُعتبر وحدة التوزيع المنزلية الرئيسية والمقابس أكثر أجزاء الدارات الكهربائية حاجة إلى الصيانة، لأنها تحتوي على فواصم، وفيها تحصل التوصيلات. والوصول إلى مقابس الدارات سهل عادة، أما الوصول إلى وحدة التوزيع فغالباً ما يكون صعباً قليلاً بسبب وضعها في الأعلى بعيداً من المتناول لأسباب ذات صلة بالأمان. وفي ما يخص الأسلاك، فهي تُخفى بتمريرها أفقياً في الأرضيات والأسقف. أما الأسلاك العمودية فتُمرَّر عادة ضمن أخاديد في الجدار وتُغطى بالبلاستر أو توضع في فجوات جدران التقسيمات الداخلية المصنوعة من ألواح بلاستر مؤطَّرة. أما الأسلاك السطحية، فتمدَّد ضمن مجاري خاصة تُحافظ على أناقة المظهر. وبعد إخفاء الأسلاك، يجب النظر في نوع من الحماية الخارجية من الأحداث العرَضَية، إلا أن هذا غير موجود عادة في التمديدات الكهربائية المنزلية.

ومن الاعتبارات الأخرى في إخفاء الأسلاك في الأرضيات والأسقف مسألة توضيعها بالنسبة إلى العازل الحراري. فإذا مُرِّرت الأسلاك على جدران وغُطِّيَت بالعازل الحراري، فإن درجات حرارتها يمكن أن ترتفع حين مرور تيار كبير فيها. لذا من الضروري زيادة قطر مقطع السلك للحدِّ من أي إمكانية لسخونته وارتفاع درجة حرارته.

دورة حياة شبكة الكهرباء المنزلية والاستدامة

تقتضي اعتبارات الأمان والإخفاء وضع مكونات الشبكة الكهربائية في جو جاف مظلم، وهذا ما يقلِّل من إمكانات تدنِّي خواص موادها. يُضاف إلى ذلك أن السمات التصميمية التي تحدُّ من مخاطر نشوب حريق تقلِّص فرص سخونة المكوِّنات الكهربائية وتلفها بسبب الأعطال الكهربائية، إلى حدِّها الأدنى. وقد تكون ثمة حاجة إلى إعادة تمديد الأسلاك إذا انخفضت جودة العزل الحراري.

ويكون هذا عالي الاحتمال عند ثنيات الأسلاك النازلة إلى المصباح لأنها تكون عرضة لضوء النهار الذي يجعل الـ PVC هشاً.

ولا تُعتبر توسعة الشبكة بإضافة مقابس جديدة مشكلة، شريطة عدم تجاوز مساحة المنطقة المساحة التي يمكن الدارة أن تُخدِّمها. أما إنشاء دارات جديدة فهو محدود بسعة وحدة التوزيع الرئيسية في المنزل. إلا أن معظم وحدات التوزيع الرئيسية مزوَّدة بمواضع لدارات إضافية مع فواصمها.

صحيحٌ أن الشبكة التي ناقشناها هي واحدة من منظومات توزيع الطاقة الكهربائية الرئيسية، إلا أن داراتها لا تُعتبر مستهلكة للطاقة باستثناء الضياعات التي تحصل في الأسلاك والتي يمكن تقليلها بالحدِّ من أطوال تلك الأسلاك وزيادة أقطار مقاطعها. ولهذا تأثير في التكلفة والمواد المستعملة (النحاس والـ PVC).

أما الإسهامات الرئيسية لتغذية المنزل الكهربائية في الاستدامة فتكمن في إمكانات توليد الكهرباء من مصادر متجددة وفي كفاءة التجهيزات والأدوات الكهربائية المستعملة في المنازل. ولا تتجلى الكفاءة في تصميم التجهيزات فحسب، بل في التحكُّم في أنماط استعمالها أيضاً. إن استعمال مصابيح ذات استهلاك منخفض في الإضاءة يمثِّل خطوة نحو الاستدامة، إلا أن إطفاءها حين عدم الحاجة إلى ضوئها يمكن أن يكون ذا مفعول أكبر في استهلاك الطاقة الكلي. وفي المنشآت التجارية، يؤدي الكشف التلقائي للحاجة إلى الإضاءة، من خلال كشف الحركة وتحسُّس مستوى الإضاءة، إلى إشعال وإطفاء الأنوار تلقائياً، ولهذا مفعول كبير في تخفيض استهلاك الطاقة، لأن الإضاءة ضرورية فيها ليلاً ونهاراً غالباً. أما استهلاك الطاقة المنزلي في الإضاءة فهو أقل لعدم الحاجة إلى الإضاءة الكهربائية في النهار عموماً. ويستند الاقتصاد في استهلاك الطاقة إلى قيام القاطنين بإطفاء النور حين مغادرة الغرفة. وقد وُجِد هنا أن التوعية وتوفير المعلومات عن استعمال الطاقة استعمالاً صحيحاً تمثِّل حافزاً قوياً على تغيير السلوك في استهلاكها. ويمكن توفير المعلومات الآن عبر عداد الكهرباء الذكي الذي يعطي مؤشراً إلى مقدار الاستهلاك الحالي إضافة إلى معلومات عن أنماط الاستهلاك مقترنة بالوقت من الليل والنهار ونوع الأداة المنزلية المستعملة. ويجب توسيع توعية المستعملين لتشتمل على التوصية بشراء أدوات منخفضة الاستهلاك أيضاً، إضافة إلى اتصافها بخواص ودودة للبيئة. وإذا كانت التجهيزات الكهربائية على صلة

باختيار المبنى الأصلي، وجب الاهتمام بالاستهلاك المنخفض للطاقة بوصفه واحداً من العوامل المؤثِّرة في الاختيار.

وبعد النظر في تقليص استهلاك الطاقة والمفاعيل البيئية الأخرى إلى أدنى حد ممكن في اختيار التجهيزات ووسائل التحكُّم فيها، أصبح من الممكن التفكير بتوليد الكهرباء للمنازل إفرادياً.

يمكن توليد الكهرباء باستعمال مصفوفة من الخلايا الكهرضوئية التي يُفضَّل توجيهها نحو السماء الجنوبية. وفي حالة العقار الموجود في مدينة، سيكون سطح السقف هو المكان الذي يمكن وضعها عليه على الأغلب بسبب ضيق الأمكنة. تولِّد هذه الوحدات تياراً كهربائياً مستمراً، ولذا ثمة حاجة إلى قالب لتحويل التيار المستمر إلى التيار المتناوب اللازم للتجهيزات والأدوات الكهربائية المنزلية.

تولِّد الخلايا الكهرضوئية الكهرباء في الجو الغائم، لكن بخرج ضعيف، وفي الجو البارد أيضاً (حيث تزداد كفاءتها قليلاً)، لكن ليس في الليل. هذا يعني أن أنماط توفيرها للكهرباء لا تتوافق مع احتياجات المنزل، ولذا تبقى ثمة حاجة إلى التغذية من الشبكة الرئيسية. ثمة أوقات في النهار يفوق فيها التوليد الاستهلاك، وحينئذ يمكن بيع الفائض إلى شركة الكهرباء [في بعض الدول]. ويتحقَّق ذلك باستعمال عداد كهرباء يدور بالاتجاه المعاكس عندما تتدفق الكهرباء من المنزل إلى الشبكة العامة. ومن الضروري استعمال بطارية احتياطية لتغطية النقص الذي يحصل في أثناء الانتقال من المنظومة الكهرضوئية إلى الشبكة العامة والحماية من التغيُّرات الكبيرة التي تحصل في الجهد في أثناء الانتقال. ولزيادة عوامل استدامة الخلايا الكهرضوئية، تُصنع من السيليكا عموماً بصيغة غير ملوِّثة. وثمة من يقول إن هذه الخلايا تستطيع في ظروف التوليد الجيدة (ربما ليس في بريطانيا) أن تولِّد ما يكافئ طاقتها المضمَّنة في 4 حتى 5 سنوات، وأن تعيش 30 سنة على الأقل.

ويمكن توليد الكهرباء من طاقة الرياح، بوصفها مصدراً آخر للطاقة المتجددة، إذا كان الموقع ملائماً. ومن الممكن أيضاً النظر في استعمال طاقة دخان منظومات التدفئة في توليد الكهرباء من خلال استعمال منظومات التدفئة والطاقة المشترَكة. وقد جرى تطوير هذه المنظومات لتزويد التجمعات السكانية الكبيرة بالكهرباء، إلا أنها متوافرة أيضاً على شكل وحدات منزلية.

الخلاصة

1. الخدمات هي تقانات نشطة تتضمن حركة عبر منظومات توزيع يمكن التحكُّم فيها. ويجب مدُّ منظومة التوزيع عبر المبنى، مخفية غالباً، مع توفير نقاط نفاذ إليها لصيانتها وإصلاحها وتجديد قطعها التالفة.

2. يجب على منظومتي الماء الساخن والبارد توصيل الماء إلى مجموعة مختلفة من الأدوات الصحية في المنزل بالجودة المطلوبة وبمعدَّل تدفق كاف. وهذا يُحدِّد معظم أوجه تصميم المنظومة. ويجب الاهتمام في التصميم بالحاجة إلى فصل المنظومة عن أجزائها التي تحصل فيها أعمال صيانة وإصلاح. ومن منظومات الماء الجديدة التي تدعم الاستدامة أدوات منزلية قليلة الاستعمال ومنظومات تنقية الماء القذر.

3. الشيء المتوقَّع تضمينه في دراسة الحالة هذه هو وجود تدفئة مركزية في المنزل. ووفقاً لسياسة التزويد بالطاقة الحالية، يُتوقَّع أن تعمل منظومة التدفئة بالغاز الطبيعي، وأن يُسخِّن الماء الساخن مشعات في الغرف. ويُعتبر العزل الحراري للمنزل أكفأ طريقة لخفض استهلاك الطاقة فيه، إضافة إلى أن التحكُّم في تشغيل الأدوات الكهربائية وكفاءاتها يُسهم إسهاماً جيداً في الحد من استهلاك الطاقة.

4. إن التخلُّص من الماء القذر والماء السطحي هام جداً للصحة والحفاظ على بيئة جافة. ويقوم عمل منظومتي الصرف الصحي، فوق الأرض وتحتها، على تحريك الماء بقوة الثقالة، وذلك بتوضيع أنابيب الصرف الصحي مع قليل من الميل بغية تنظيف نفسها ذاتياً. وهذا يفرض قيوداً على طريقة تسيير الأنابيب وعلى أمكنة توضيعها. ويجب الاهتمام بإيجاد نقاط نفاذ لصيانة المنظومة وفتح الانسدادات التي يمكن أن تحصل فيها.

5. توفِّر الشبكة الكهربائية طاقة لتشغيل التجهيزات والأدوات الكهربائية في المنزل. ونظراً إلى أنها أحد أخطر منظومات الخدمة بسبب إمكان توليدها لصدمات كهربائية وإشعالها الحرائق، فإن اعتبارات الأمان تحدِّد معظم تفاصيلها ومواصفاتها. وإضافة إلى أن التحكُّم في أنماط عمل التجهيزات يمكن أن يقلِّل من استهلاك الطاقة، يمكن النظر في توليد الكهرباء محلياً من مصادر متجددة، مثل الخلايا الكهرضوئية.

القسم الثالث
الاختيار: المباني التجارية

الفصل الثاني والعشرون

تطبيق إطار عمل الاختيار على المباني التجارية

يوضح في هذا الفصل الصلة بين الجزء الأول من هذا الكتاب، الذي قدَّم إطار عمل للتحليل، وبين اختيار المبنى التجاري. وتُعتبر هذه العلاقة مختلفة عن النهج الذي اتُّبع في تشييد المنازل، خاصة بسبب التنوع الكبير في مقاسات واستعمالات المباني التجارية التي تتطلب طيفاً واسعاً من الحلول. وتختلف تلك الحلول ليس من حيث مجموعة التقانة المستعملة فيها فحسب، بل من حيث تنوُّع تفاصيلها ومواصفاتها. فالمنازل تتَّخذ عادة صيغاً عامة يظهر فيها طيف محدود من التفاصيل، وفقاً لما ورد في الجزء 2 من هذا الكتاب. وقد أدى التنوُّع الكبير للمباني التجارية إلى ضرورة النظر إلى الاختيار التقني على مرحلتين. ففي البداية، يجب تحديد الخيارات العامة في المراحل الأولى من التصميم، حيث يجب اختيار مجموعة التقانات الخاصة بالبنية الإنشائية وغلاف المبنى وخدماته. ويجب القيام بهذه الاختيارات ضمن إطار من الثقة التامة بأن التفاصيل والمواصفات المختارة قابلة للتنفيذ في المرحلة الثانية الخاصة بالتصميم التفصيلي، وأنه يمكن وضع تفاصيل كاملة للمبنى بحيث يمكن تشييده وتأدية الوظائف المطلوبة منه بتكلفة مقبولة وعلى نحو يُحقِّق رؤية المصمِّم.

نظرة إلى ما سبق

قدَّمنا في الجزء الأول من الكتاب منهجية عامة لإطار عمل اختيار المبنى. وبيَّنا أن العملية تبتدئ بمقترح للمواصفات والتفاصيل يُقيَّم بتطبيق سلسلة من التحليلات التي تقوم على سؤالين مفتاحيين هما: هل سوف يُخفق التصميم؟ وهل يمكن تنفيذه؟ أما مجالات التحليل فتشتمل على السلوك المادي للمبنى، وعلى اعتبارات المظهر والجوانب المتعلقة بالإنتاج، إضافة إلى العوامل الاقتصادية والاجتماعية بما يضمن حلاً آمناً في السياق الاجتماعي والبيئي. والسياق الذي يُبنى

المبنى ضمنه هام أيضاً، لأنه يحدِّد الحلول التي يمكن أن تُعتمَد لتشييده. وقد استعرضنا هذا النهج العام في الفصل 1، واستقصينا جوانبه ببعض التفصيل في الفصول اللاحقة من الجزء الأول. وسوف نحافظ في هذا الجزء على هذا النهج الذي أصبح مألوفاً للقارئ.

لقد بيَّنا في فصول الجزء الأول أنه يمكن النظر إلى الحل بعدد من الطرائق. في البداية، يمكن تمثيل المبنى بسلسلة من الجريانات والانتقالات عبره وعبر بنيته الإنشائية ومنظومات خدماته، وفقاً لما ورد في الفصل 7. بعدئذ من الضروري التحقُّق أن البنية الإنشائية والخدمات تؤدي وظائفها على نحو تُشتق فيه وظائف الأجزاء من وظيفة المبنى برمته. بعدئذ يجب تحديد مستوى الأداء في تحقيق كل وظيفة لتكوين معيار يجري الاختيار وفقاً له. وفي حين أن وظيفة المبنى بكليته تتحدَّد بالغرض منه، فإن وظائف أجزائه تتحدَّد بالتصميم. وهذا يؤدي إلى مجموعة من تقانات تنفيذ المبنى، أهمها تلك الناجمة عن دور بنيته الإنشائية وإسهامات خدماته في تحقيق وظائفه.

وبيَّنا في الفصل 3 أنه يمكن النظر إلى التقانات التي يمكن استعمالها على أنها خيارات عامة تقوم على صيغ عامة من الحلول. وتُعتبر تلك الصيغ طرائق ملائمة للتفكير ببنية المبنى في مرحلة مفهوم التصميم وفي المراحل المبكرة من تخطيط تنفيذ المبنى، لأن كل حل تقني يقترن بخيارات تنفيذية كثيرة.

ويجب انتقاء الخيارات العامة لتنفيذ بشيء من الثقة بأن الحلول المقترحة تقوم على مواد لن تُخفق في تحقيق وظيفتها ويمكن بناؤها، وأنه يمكن تحقيق جميع التفاصيل باحتمال ضئيل للإخفاق، وبطريقة اقتصادية وفي الوقت المحدَّد.

ومن الضروري في جميع مراحل تشييد المبنى التفكير فيه من حيث:

- معايشة الجريانات والانتقالات (الظروف المتغيرة التي سيتعرض لها المبنى)
- عدد الوظائف (ما هو النجاح المطلوب في الأداء) ومستويات جودة الأداء التي يحقِّقها
- الصيغ الإنشائية العامة (القابلة الاشتقاق) القائمة على الأنشطة والآليات المستعملة لتحقيق وظائفه
- الصيغ الشائعة التي تحدِّد المواد والمقاسات المطلوبة لتحقيق مستويات الأداء المطلوبة منها

- الحلول الخاصة بالمثبتات والوصلات من حيث المقاسات والمواد والتصنيع لتحقيق الأداء المطلوب

- عملية الإنتاج التي تلائم الحل العام المختار والتي سوف تُعتمد في النهاية في التصميم التفصيلي (كيف يمكن تحقيقه)

إن كل أساليب التفكير في المبنى تلك ذات أهمية في تصميم المباني التجارية.

صحيح أن المباني التجارية تُشاد ضمن نفس البيئة الاجتماعية والمادية المطروحة في الفصل 16 والخاصة ببناء المنازل، إلا أن المتطلبات منها، التي يحدِّدها الزبائن الذين يموِّلون عملية البناء، متنوِّعة كثيراً مقارنة بالمتطلبات من المنازل. فالاختلافات الواسعة النطاق في الأنشطة التي يمكن أن تحصل فيها، من أعمال صناعية أو مكتبية أو تجارية أو ترفيهية، ومنها أعمال السياحة، ولَّدت، بوصفها حوافز اقتصادية، الحاجة إلى مبان جديدة ذات وظائف جديدة. والتجديد القائم على الاستثمار في البنية التحتية والمباني النموذجية ولَّد طيفاً واسعاً من الأطر الحَضَرية (مركز المدينة، مدينة الأعمال، الضاحية الاقتصادية)، وما رافقها من فرص الابتكارات التصميمية. وأدى ذلك إلى تغيُّر في قاعدة الموارد من حيث استعمال مكوِّنات مسبقة الصنع في المعامل، وتقليص اعتماد أعمال التجميع في الموقع على المهارات اليدوية المعهودة، وتنمية التجارة العالمية.

وثمة فرق آخر بين المنازل والمباني التجارية يؤثِّر في طيف الحلول المختارة هو طريقة المتاجرة للمبنى [شراءه]. يُنظر إلى المنازل على أنها استثمار جيد طويل الأجل، والبريطانيون معتادون على شراء المنازل التي توفِّر مستوى عالياً من جودة المعيشة. حتى إن السكن الاجتماعي في بريطانيا (الذي توفِّره السلطات) يخضع لتشريعات صارمة، من حيث توفيره لجودة المعيشة، إلى درجة جعلت تلك التشريعات محفزات أساسية لاختيارات متشابهة للمباني، حتى في غياب المحفزات الاقتصادية. أما الضغط باتجاه تقليص التكلفة، أو أكثر تحديداً زيادة الفرق بين التكلفة وسعر المبيع، فيأتي من متعهِّدي البناء. وطريقة شراء المباني إفرادياً هذه، أي قيام المتعهدين بالبناء بغرض البيع الإفرادي، يضع الخيارات التقانية بأيدي المتعهدين، وبافتراض أن سوق البناء متجانس، فإن ذلك يؤدي إلى تشابه الحلول. وأي حافز باتجاه التغيير يأتي من مزايا انخفاض تكاليف الإنتاج فقط، لأن السوق

هي التي تحدِّد أسعار أراضي المنازل وأسعار بيعها. وهذا ما يجعل متعهدي بناء المنازل يفضلون المنظومات المسبقة الصنع، شريطة استرجاع تكاليف إنتاجها من البناء الواسع النطاق للمنازل. إن المتعهد جزء قوي من السوق إلى حد أنه يستطيع جعل وفرة الموارد تابعة لمقدار الطلب، ولذا فإن حتى الراغبين في منازل ذات مواصفات خاصة سوف يقومون على الأرجح بخيارات تقانية مشابهة لتلك المستعملة في المنظومات المسبقة الصنع بسبب توافر الموارد بتكلفة مقبولة.

أما طرائق شراء مبنى تجاري فهي أكثر تنوُّعاً، وهذا يؤثِّر في عملية الاختيار، ليس من الجوانب التقانية العامة فحسب، بل من ناحية المواصفات والتفاصيل النهائية أيضاً. وليس من مهام هذا الكتاب استقصاء تفاصيل تأثير هذا التنوُّع، لأن ذلك يتضمن تحليلاً لأنماط التعاقد وما تنطوي عليه من مجازفات، ولأنواع الهيئات التي تنغمس في اتخاذ القرارات التقنية. لكنْ يكفي القول أن كل طريقة لشراء مبنى تحدِّد الجهة التي تقع على عاتقها مسؤولية اتخاذ القرار التقني والمجازفات التي تترتَّب على ذلك القرار.

يتركَّز اهتمامنا في هذا الكتاب في تحليل الحلول مهما كان مصدرها لضمان أن المبنى لن يُخفق وأنه يمكن أن يُشاد وأن يحقِّق معايير الأداء المطلوب. ولعل استعمال المبنى ومقاسه هما أكبر محدِّدات الخيارات العامة التي يمكن الاختيار منها، إضافة إلى الرؤية التصميمية والبيئة التي سوف يُبنى فيها. وتؤدي جميع هذه العوامل إلى طيف واسع من الصيغ الشائعة والحلول المتوافرة التي يمكن استعمالها في تنفيذ المباني التجارية.

ولعل النهج المتكامل الذي استعرضناه في الفصل 16 في بداية الجزء 2 من هذا الكتاب على درجة من الأهمية لاختيار المباني التجارية أعلى منها لاختيار المنازل. وقد يكون من المفيد إعادة قراءة ذلك الجزء قبل متابعة هذا الفصل.

نظرة إلى المستقبل

نظراً إلى التنوُّع الكبير في استعمال وصيغ المباني التجارية، فإن دراستها بوصفها مجموعة مختلفة من المباني ذات الوظائف المختلفة قد تؤدي إلى السهو عن أنها تَستعمل كثيراً من الصيغ المشترَكة في ما بينها. وأهم من ذلك أنه يمكن النظر إلى عملية اختيار كل منها على أنها عملية شائعة، ولذا من المفضَّل الإبقاء على الأفكار العامة التي تنطوي عليها عبارة المباني التجارية.

صحيحٌ أن هذه المباني تتألف من أرضيات وأسقف وجدران وأسس ومنظومات خدمات، إلا أن هذه السمات قد لا تكون أفضل العوامل التي يمكن الاستناد إليها في اختيار حلول لمبانٍ بهذا المقاس وبهذا النوع. فثمة حاجة كبيرة جدا إلى حلول تقنية معينة لكل مبنى. وليس ثمة من تقارب في تفاصيلها ومواصفاتها كذاك الموجود في حالة المنازل. وتحليل واحدة أو اثنتين من تفاصيل ومواصفات العناصر إفرادياً الذي وفَّر الحلول المفتاحية لبناء المنازل على نطاق واسع في بريطانيا في بداية القرن الحادي والعشرين غير قابل للتكرار في حالة المباني التجارية. فالأخيرة تتطلَّب تحليل مئات من التفاصيل التي استُعملت بضعة منها لكن استعمالها بوصفها تفاصيل محدِّدة للمستقبل إذا بقيت وتيرة التغيُّر على حالها.

ومن تغيير ضئيل لطريقة استعمال المنزل أو حجمه ومظهره، انبثقت صيغة عامة للمبنى برمته لا تحتاج إلى تحليل، أو إلا إلى القليل منه لاعتمادها في مشروع الإسكان التالي. ويتركَّز الاختيار التقني حينئذ في تفاصيل ومواصفات المواد ومتطلبات عملية الإنتاج. وقد كان هذا موضوع التحليل الوارد في القسم 2 من هذا الكتاب.

أما في حالة المباني التجارية، فإن التنوُّع يعني أن عملية الاختيار يجب أن تبدأ بتحرِّي كل صيغ المباني العامة التي يمكن أن تكون ملائمة لجعل المبنى يعمل بكليته قبل المضي بعيداً في التصميم التفصيلي. فثمة ضرورة لاستقصاء بعض الخيارات العامة في مرحلة التصميم المفاهيمي التي يمكن تطويرها لتصبح تفاصيل ومواصفات في مرحلة التصميم التفصيلي.

وفي ما يخص معظم المباني التجارية، قد لا تكون ثمة صيغة عامة واضحة مباشرة للمبنى بأسره. فبالنسبة إلى أي موقع أو مذكرة طرح يخصان الزبون، لا توجد سوى مجموعة محدودة من الخيارات، وحتى إن تلك الخيارات يمكن أن تتحقَّق بعدد من المواد المختلفة، وهذا ما يجعل من عدد إمكانات التنفيذ كبيراً جداً. ولذا قد تكون ثمة ضرورة لمرحلة إضافية في عملية الاختيار مبكراً في عملية التصميم، ترتبط بتطوير المفهوم التصميمي. وسوف تكون لطبيعة هذه الخيارات العامة عواقب في عملية الإنتاج، لأن من المفضل تحليل تسلسل الأعمال وطرائق تنفيذها من البداية انطلاقاً من فهم شامل للنهج التقاني العام لتشييد المبنى. وهناك حاجة للقيام باختيارات شاملة من بين الحلول التقانية التي تلائم كل مبنى على حدة.

في النهاية سوف يعتمد نجاح المبنى على اختيار التفاصيل والمواصفات، ولذا يجب القيام بهذه المهمة بالدرجة نفسها من العناية، وبعملية التحليل نفسها المتبعتين في حالة المنازل. إلا أن الحاجة إلى تحديد الخيارات العامة لتشييد المبنى قبل الانغماس كلياً في التصميم التفصيلي تتطلَّب فهم الصيغ العامة الشائعة مع حدود إمكاناتها وتكاليفها.

ويمثِّل الربط بين وظيفة المبنى الشاملة والاختيار النهائي للحل التقني، المعبَّر عنه بالمواصفات والتفاصيل، مهمة كبيرة ما لم تكن الحلول قد ترسَّخت في الماضي على غرار حلول المباني المنزلية. ففي حالة المباني التجارية، يمكن لتصميم المبنى، أو لظهور عمليات إنتاج جديدة، أن يجعلا التفاصيل الخاصة بالمباني الموجودة، مهما كانت ناضجة، غير ملائمة للمباني الجديدة. ولذا ثمة حاجة إلى بعض الخطوات الوسيطة في عملية الاختيار لتطوير حلول معينة مع انبثاق الصيغ الجديدة.

الانطلاق من التصميم المفاهيمي

في ما يخص المباني التجارية، تحدِّد مذكرة الزبون طيف المستلزمات والحجرات والمحلات التي يجب أن يوفِّرها المبنى، إضافة إلى حجم المبنى المطلوب. وإذا كان الموقع معروفاً، عُرف السياق الذي سوف يبنى المبنى في إطاره، وأمكن وضع تصوُّر لصيغته ومقاسه. ويتم اشتقاق ذلك من خلال التصميم المفاهيمي للمبنى (الفصل 7) أو الصورة الموضوعة له التي تعطي مؤشراً مبكراً للقيم الجمالية التي سوف تحدِّد مظهره. وبعد وضع الزبون لمذكرته، وتحديده للبيئة التي سوف يُشاد فيها المبنى ولاستعمالاته، ومقاساته، وهيئته، يمكن البدء بوضع مقترحات للحلول التقنية.

لكن ليس من الممكن في هذه المرحلة سوى اقتراح خيارات عامة منسجمة مع مفهوم التصميم البازغ. وحينئذ، يجب أن تكون ثمة اقتناع بأن من الممكن وضع تفاصيل ومواصفات الحلول في مرحلة التصميم التفصيلي التي تحقِّق مفهوم التصميم. إن الحوار في ما بين مفهوم التصميم والاختيار التقني يجب أن يبدأ في هذه المرحلة المبكرة من عملية التصميم.

الخيارات العامة في مرحلة المفهوم

يبدأ تقييم الخيارات العامة للمبنى في أثناء تطوير التصميم المفاهيمي،

ويجري تنقيحها خلال عملية التصميم التفصيلي. وفي أثناء مرحلة التصميم المفاهيمي، تكون الخيارات مائعة، وتكون تغييرات التصميم في قيد الظهور، ويمكن تحقيق اقتصاد في التكلفة، وقد يمكن تبسيط التفاصيل. لكن يجب أن يكون ثمة فهم جيد لهذه الخيارات لتحقيق مستوى من الثقة حتى يكون بالإمكان المضي بالخيار قُدُماً إلى مرحلة التصميم التفصيلي من دون أن تترتَّب على ذلك مجازفات أو تكاليف زائدة.

ويتطلَّب النظر في الخيارات العامة معرفة وفهماً بطيف من الصيغ الشائعة، ليس للمبنى برمته، بل لأجزاء منه ولأنواع المواد والمقاسات الممكنة تقنياً، ولجوانبها الاقتصادية، وأهم من ذلك لكيفية عملها. ليس من الممكن البدء بوصف عام لصيغة شائعة للمبنى برمته على غرار ما هو ممكن في حالة المنازل. فتنوُّع المباني التجارية يتطلَّب استقصاء طيف من الصيغ العامة في مستوى العنصر للحصول على أفضل تركيب لكل مبنى، تبعاً لاستعماله ومقاسه ومظهره، وهي أمور يُحدِّدها السياق الذي سوف يعمل المبنى ضمنه.

ويتطلَّب اختيار المكوِّنات والوصلات والمثبِّتات التي تضمن عمل المبنى بكليته تحليلاً أوسع من ذاك الضروري للمكوِّنات إفرادياً، لكن ليس بنفس مستوى التحليل اللازم للمبنى برمته. وتؤدي هذه الرؤية إلى فكرة أن المشترَك في ما بين جميع المباني (ومنها المنازل إذا كانت ثمة تغييرات جوهرية في التصميم أو طرائق الإنتاج) هي ثلاثة أنواع من العناصر التي لكل منها مجموعتها الخاصة بها من الخيارات العامة. وتلك العناصر هي:

- البنية
- الغلاف
- الخدمات

وهناك لكل من هذه العناصر كتلة معرَّفة ونهج تصميم يخصانه، وثمة خشية من أنه إذا عولِج كل منها مستقلاً على حدة، فإن المبنى سوف يُخفق في العمل بكفاءة، وسوف تكون تكاليفه عالية، وقد لا يعمل بكفاءة واقتصاد ككيان متكامل. يجب ألاّ يغيب عن البال أبداً حين اختيار أجزاء المبنى أن جميعها يُسهم في مفاهيم التصميم برمتها. ولعل تحليل طريقة تفاعل تلك العناصر معاً، أي تصميم الملتقيات في ما بينها وحلولها التقنية، على الدرجة نفسها من الأهمية كدراستها منفردة. تلك الملتقيات هي:

- الملتقى بين الغلاف والبنية الإنشائية
- الملتقى بين الغلاف والخدمات
- الملتقى بين البنية الإنشائية والخدمات

لكل من هذه الملتقيات خصائص مختلفة، وسوف نستقصيها بمزيد من التفصيل في الفصل 24، إلا أن ملتقى الغلاف والبنية عموماً ليس سوى مسألة إنهاء لضمان استمرارية الأداء، في حين أن ملتقى الغلاف والخدمات يُحدَّد ضمن خطة تصميم بيئة المبنى الداخلية، ولذا يتصف بأنه مفهامي أكثر منه مادي. وهذا مثال واضح تماماً لكيفية أن وظيفة كل جزء يجب أن تتحدَّد بمفهوم التصميم الشامل للمبنى برمته. ويمكن تفصيل كل عنصر من الناحية المادية على حدة، إلا أنها جميعاً مرتبطة معاً بالخطة البيئية الشاملة التي تتحدَّد، ليس بجودة البيئة التي يجب تحقيقها ضمن المبنى فحسب، بل بتكلفة استعمال المبنى ومفعول القيود التي تفرضها تأثيرات البيئة الخارجية أيضاً، وهي ثلاثة أهداف مفتاحية يجب تحقيقها للحصول على مبنى مستدام.

يتميَّز الملتقى بين البنية والخدمات غالباً بتوافر المكان اللازم للتوزيع الأفقي للخدمات، خاصة في الأرضيات. أما حين النظر في التوزيع العمودي للخدمات (ومواقع غرف تجهيزات الخدمات)، وفي الحاجة إلى النقل العمودي للأحمال الإنشائية، فيتحدَّد المكان بمتطلَّبات المستعمل من الممرات وما شابهها. ومع أن ذلك يخص المكان المادي في المقام الأول، فإن التصميم الذي يقلِّص من المفاعيل البيئية يمكن أن يستفيد من البنية بوصفها كتلة حرارية، وهذا ما يوضِّح أن تلك الملتقيات يمكن أن تكون هامة في الاختيار كوظائف العناصر المختلفة نفسها.

وكي يؤدي المبنى وظيفته الشاملة، يجب البدء بتحديد مجموعة التقانات التي يجب استعمالها لتنفيذ كل من تلك العناصر الثلاثة في مرحلة التصميم المفاهيمي للمبنى.

مزيج الخيارات التقانية

يجب تحديد مزيج الخيارات التقانية في مرحلة مفهوم التصميم. ونظراً إلى أن مفهوم التصميم يُحدِّد الكيفية التي سوف يعمل بها المبنى بوصفه كياناً متكاملاً، يجب البدء بتحرِّي الكيفية التي يمكن بها لعناصر المبنى الإسهام في أدائه الشامل،

أي البدء بتعريف وظائف أجزائه. ففي النهاية، سوف تكون لكل جزء من المبنى وظيفة يجب أن تؤدى بمستوى معين من الأداء، وهذا ما يمكِّن من اختيار المواد والتفاصيل في مرحلة التصميم التفصيلي.

يتطلَّب تحديد مزيج الخيارات التقانية معرفة بالخيارات العامة الممكنة، وبكيفية عملها بوصفها صيغة عامة، وبصيغ البناء العامة التي يمكن أن تتَّخذها. والخيارات العملية هي التي تتحدَّد باستعمال المبنى وحجمه، وبالهيئة التي سوف يبدو عليها.

ولعل أوسع الخيارات التقانية هي تلك التي تخص العلاقة بين بنية المبنى الإنشائية وخدماته. ففي حين أن بعض البنية الإنشائية يمكن أن يُستعمل كثيراً (الفتحات والنوافذ)، فإن معظمها خامل من حيث استجابته للظروف المتغيِّرة في أثناء استعمال المبنى. فهو لا يسمح بالتدخُّل فيه (التحكُّم فيه)، ولا يحتاج إلى أي طاقة كي يؤدي وظيفته. وفي المقابل، فإن خدمات المبنى (والعناصر النشطة من البنية) تستهلك طاقة وتحتاج إلى تحكُّم فيها لأنها لا تعمل إلا حين الحاجة إلى إعادة ظروف المبنى إلى مستويات مريحة أو عملية. ويمكن تشغيل أو إيقاف العناصر النشطة، ورفعها وتنزيلها استجابة إلى الظروف المتغيِّرة. ويعني استهلاكها للطاقة أن تحقيق كثير من أغراض الاستدامة وتقليص المفاعيل البيئية السيئة يجب أن يتحدَّد بالقرار الأولي إزاء الخيارات التقانية.

بعد تحديد مزيج التقانات النشطة والخاملة التي سوف تُستعمل في المبنى، من الممكن البدء باتخاذ قرارات بشأن الأجزاء الخاملة لكل من البنية والغلاف، والتفكير بالملتقيات في ما بينها لضمان أن المبنى يؤدي وظائفه بصفته كينونة واحدة.

تحديد الخيارات العريضة

تُعرَّف الخيارات العريضة بأنها صيغ عامة تتحدَّد بطريقة عمل المبنى لتحقيق وظائفه. وتنطوي الصيغة العامة على الخواص التي يجب أن تتصف بها المواد لضمان الحجوم الاقتصادية التي تحقِّق الأداء المطلوب. ومن أمثلة الصيغة العامة الجدار الخارجي الذي يحمي المبنى من العوامل الجوية والذي يمكن أن يكون شبه نفوذ. ويمكن اعتبار الخيارات العريضة للجدار أيضاً على أنها صيغ بناء عامة. وتُطوَّر تلك الصيغ العامة لطيف من حجوم وأنواع المباني التي تتوافر موارد

تصميمها وتشييدها ضمن المجتمع الذي سوف تُبنى فيه. ومن أمثلة الصيغ العامة شبه النفوذة الجدار ذو الفجوة. إن صيغ البناء العامة تلك هي أساس الخيارات التي يجب تحديدها في مرحلة التصميم المفاهيمي.

تقترن بالخيارات العامة مواد ذات طيف من الحجوم الاقتصادية. وفي ما يخص الجدار ذا الفجوة، فإن مادة البناء المعتادة هي لبنات الآجر أو الخرسانة، ويمكن أن تكون طبقة الجدار الداخلية من اللوحات الخشبية المؤطَّرة أيضاً. وبالصيغة المنزلية، يمكن كلاً من سماكتي طبقتي الجدار وفجوته أن يساوي 100 مم. أما أنواع المواد ومقاساتها التقريبية فهي كافية في مرحلة التصميم المفاهيمي شريطة أن تمثِّل أساس الحل التقاني النهائي باعتبار أنه يمكن وضع كل مواصفات المواد وتفاصيلها في مرحلة التصميم التفصيلي.

وفي ما يخص العناصر الإنشائية، فإن خياراتها تقوم على سلوكها تحت الحمل بالدرجة الأولى. إلا أن لعناصر الغلاف عدداً كبيراً من الوظائف التي لكل منها عدد من الصيغ العامة. لذا فإن طيف وتشكيلات الخيارات العامة أكثر تنوُّعاً وتعقيداً من حيث التحليل. ويزداد تعقيد التحليل إذا أمكن لبعض أجزاء المبنى تحقيق عدد من الوظائف بغية الحصول على تخفيضات معينة في التكلفة من دون الإخلال بمتطلبات الزبون. فتلك التخفيضات ممكنة فقط حين النظر في الخيارات العامة، لأن تخفيض التكلفة في ما بعد في مرحلة التصميم ينطوي غالباً على تقليص في مستوى الأداء.

على سبيل المثال، توجد للجدار الخارجي بعض الوظائف الإنشائية. وهذا جلي في الحلول الإنشائية التي تتضمن استعمال جدران خارجية حاملة. لكن حتى لو كان الجدار جزءاً من غلاف مبنى قائم على بنى هيكلية، فإن عليه تحمُّل قوى الريح، وقد يحتاج إلى بعض الهياكل الجزئية لحمل المكوِّنات التي لا يمكن أن تصل مباشرة إلى عناصر الهيكل الرئيسي. وتوجد للجدار الخارجي، بوصفه عنصر غلاف، وظائف تقترن بالحفاظ على بيئة المبنى الداخلية. وتوجد لكل وظيفة صيغ عامة سبق أن عُرِضت في الفصل 11. وفي ما يخص منع الماء من التسرب، يمكن إقامة طبقة خارجية غير نفوذة، أو طبقة شبه نفوذة كتلك التي ذُكِرت آنفاً، أو ما يُعرف بالحاجز المطري (rainscreen). لكن كلاً من هذه الطبقات ينطوي على مشكلات خاصة به على التصميم التفصيلي أن يحلها. ففي حالة السطح غير النفوذ، تكمن المشكلة في مواد الوصلة التي يجب أن تقاوم تسرب الماء، وفي

حالة الفجوة تكمن في إلغاء الجَسْر الحراري وتوفير تصريف للماء، وفي حالة منظومات الحاجز المطري، تكمن في الحفاظ على فروق في الضغط بين الداخل والخارج. ويحدِّد فهم طريقة عمل كل صيغة عامة خواص المواد التي يمكن استعمالها، ويشير إلى الجوانب الهامة من مواصفاتها. وقد طُوِّرت تلك الصيغ عبر السنين لتعطي صيغ بناء عامة. فقد عُدِّل جدار الفجوة ليعمل مع البنى الهيكلية. وطُوِّرت الإكساءات والسواتر الجدارية والواجهات الملصقة باستعمال مواد متنوِّعة. ويمكن تسمية كل منها اليوم صيغة عامة للبناء لأن المكوِّنات والموارد اللازمة لها متوافرة صناعياً.

تقييم الخيار العام لحل معين

يعتمد المدى الذي يمكن عنده القبول بهذه الخيارات العامة من دون تردد في مرحلة التصميم المفاهيمي على مدى رسوخ الصيغ التقانية وتلبيتها لحجم واستعمالات المبنى موضوع الاهتمام.

وثمة لكل صيغة عامة طيف من الحلول التي يمكن أن تختلف من نواح عديدة من قبيل:

- المواد التي يمكن استعمالها
- مقاسات المكوِّنات وأشكالها
- طريقة وصل المكوِّنات معاً
- التأثير المتبادل مع الخيارات الأخرى المعتمَدة لأجزاء المبنى الأخرى
- خيارات عملية الإنتاج
- الموارد اللازمة لتحقيق حجم الإنتاج وتوقيته
- مستوى المجازفة الكامنة في اعتماد حل معيَّن

إن من الضروري الانتباه إلى جميع هذه العوامل حين استقصاء ما إذا كان هنالك كون خيار عام ما ملائم في مرحلة التصميم المفاهيمي. وبالفعل، قد يكون أحد هذه العوامل هو الذي يحدِّد الصيغة العامة التي هي أكثر ملاءمة للحل. فمثلاً، إذا كانت الواجهة الخارجية تحتاج إلى مادة معينة لمكوِّن ما، لأسباب جمالية، فإنها قد تفرض الصيغة العامة لكامل الجدار الخارجي. وإذا كان الزبون يتطلع إلى

استلام المبنى في وقت معين، فإن عملية الإنتاج والموارد اللازمة سوف يؤثِّران في الخيار العام الذي سوف يُعتمد.

ومن المهم إدراك أنه إذا اتُّخذت قرارات سيئة بخصوص الخيارات العامة في مرحلة التصميم، فإن فرص إنجاز التصميم في مرحلة التصميم التفصيلي ضئيلة. ولا يختلف الأمر هنا عن عملية تصميم المبنى ذاته، ولذا فإن من غير المفاجئ أن يكون من الضروري التمعن قليلاً في مزيج خيارات المبنى التقانية في مرحلة التصميم المفاهيمي.

الخلاصة

1. ينطبق السؤالان المفتاحيان: "هل سوف يُخفق التصميم؟ وهل يمكن تنفيذه؟" على المباني التجارية أيضاً.
2. أدى تنوُّع استعمال المباني التجارية ومقاساتها إلى طيف من الحلول التقانية تتطلَّب اتِّخاذ قرارات كبرى بخصوص مزيج الخيارات التقانية ذات الصيغ العامة لأي مبنى.
3. يجب القيام باختيار الحل العام في وقت مبكر من مرحلة التصميم على أساس الاقتناع بأنه يمكن وضع تفاصيله ومواصفاته في مرحلة التصميم التفصيلي.
4. ثمة حاجة إلى فهم الصيغ العامة للمباني وللتفاصيل المقترنة بها بغرض الحكم على إمكان تشييد المبنى موضوع الاهتمام.
5. يجب اختيار صيغ عامة لعناصر بنية وغلاف وخدمات المبنى.
6. يجب تحليل الملتقيات بين البنية والغلاف والخدمات لضمان عمل المبنى برمته.

الفصل الثالث والعشرون

الصيغ العامة والتقانات البازغة

نستقصي في هذا الفصل ضرورة فهم الطبيعة المتغيِّرة والمؤقتة للمعارف والخبرات العملية المتعلقة ببعض الحلول التقنية. وهذا ينطوي على أن أية معرفة ناجمة عن أعمال سابقة سوف تكون أيضاً غير مباشرة، لأن التفاصيل والمواصفات الفعلية لا تكون قد دخلت حيِّز الخدمة إلا لفترة محددة، بسبب تلك الطبيعة المتغيِّرة. إلا أن كثيراً من التقانات المستعملة في المباني التجارية راسخ جيداً، ولذا يمكن اقتراح التفاصيل والمواصفات مع الثقة بنجاح عملية الإنتاج والأداء. لكن من الضروري تمييز الحالات التي لا يكون ذلك فيها صحيحاً اقتراح [استخدام] تقانات جديدة. وقد استقصينا ذلك اعتماداً على التاريخ المختصر لتطوُّر التقانات في القرن العشرين والمتمثِّل بظهور الخرسانة، ثم حدَّدنا المحركات الرئيسية للتغيير في بداية القرن الحادي والعشرين.

تقديم

رأينا في الفصل السابق أن تقانة بناء المباني التجارية ومواصفاتها وتفاصيلها متنوِّعة نسبياً. ومن السمات الأخرى لتلك التقانة سرعة تغيُّرها. فما هي الصيغ اليي يمكن اعتبارها صيغاً عامة، وما هي التقانات التي يجب اعتبارها تقانات بازغة؟ وفقاً لما يوحي به الاسم، الصيغ العامة هي المستعملة على نطاق واسع حيث حقَّق استعمالها في عدد من المباني خبرة في كل من التنفيذ والإنتاج. وقد ولَّد ذلك معارف وخبرات عملية في كل من مراحل التصميم والإنتاج التي أدت إلى موارد قلَّصت المخاطر التقنية والمالية في اعتماد التقانة. قد لا تكون المباني قد وُضعت في الاستعمال مدة كافية للكشف عن أي إخفاق مبكر فيها، ولذا يجب الحذر حين استعمال تلك الحلول إلى أن تتكوَّن خبرة عن نسبة ملحوظة من دورة

حياة المبنى. فالتقانات البازغة تفتقر إلى المعرفة المستمدة من التجربة، ولذا تتطلَّب مزيداً من التحليل والتقييم، وهذا ينطوي على وجود مخاطر يجب تحديدها والقبول بها. ولعل أكثر الأشياء أهمية في أثناء عملية الاختيار المقدرة على رؤية الفرق بين صيغة شائعة وتقانة مبتكرة حين اقتراح أي منهما.

في بعض الأحيان تُستعمل الصيغ الشائعة على نطاق واسع، وتصبح الحلول الموجودة هي المعتمَدة. إلا أن ثمة أوقاتاً أيضاً تُعتمد فيها تقانات بازغة. أما محركات تغيير صيغ المباني وحلولها التقانية فتأتي من ثلاثة مصادر رئيسية:

- متطلبات الزبون والاتجاهات التصميمية العامة وطرائق تنظيم العقود
- معالجة المواد وتصنيعها وإجراءات الإنتاج في الموقع
- الضغوط الاجتماعية، وفي الآونة الأخيرة القلق على البيئة

تأتي تطلعات الزبون (بوصفه زبوناً مباشراً أو وكيلاً للمستعمل) نتيجة للتغيرات الاجتماعية والاقتصادية. فالتغيُّرات الاقتصادية تؤثِّر في أنشطة الزبون وفي نوع المبنى الذي يريده، وفي الموارد المتاحة لعمليتي تصنيع مكوِّناته وتجميعها أيضاً. وتُعتبر المنظومة الاقتصادية السائدة، مع تنظيم الأنشطة التجارية الخاصة بتصميم المباني وإنتاجها على درجة من الأهمية أيضاً في الاستجابة إلى التغيير وتعزيزه. ويُعبَّر عن ذلك في عمليات الشراء والترتيبات التعاقدية المتعلقة بتنفيذ المبنى. وأهم تلك الجوانب بالنسبة إلى اختيار التقانة هو الطرف الذي يقوم بالاختيار، والمخاطر التي قد تنجم عن ذلك الاختيار. وهذا يؤدي إلى تحفيز الأفراد على دعم التغيير سواء في طرائق التصميم أو الإنتاج التي تؤثِّر جميعاً في الحل التقني.

وتُضاف إلى تلك الضغوطات المستحثّة للتغيير الاعتبارات الاجتماعية التي استُعملت للتعبير عنها في الماضي، عبارة الصحة العامة، وفي ما بعد عبارة الصحة والسلامة. واستُعملت أيضاً عبارتا العدالة الاجتماعية، ثم الإشراك الاجتماعي، اللتان تطلَّبتا مستويات أداء عالية من المباني. وأصبح كثير من تلك الاعتبارات الاجتماعية موضوعاً للتشريعات والقوانين. أما أحدث مصادر القلق فكانت بخصوص التنمية المستدامة، وهذا من الاهتمامات الجديدة المتعلقة تحديداً بموضوع الاستدامة الذي يتطلب تقليص المفاعيل الضارة بالبيئة. وفي بداية القرن الحادي والعشرين، لم تكن معارفنا عن تضمين هذا المتطلَّب في حلول المباني

ناضجة، ولم تكن لدينا بخصوص ذلك سوى تقانات بازغة يجب تضمينها في التصميم.

المباني التجارية البريطانية في القرن العشرين

البنية والواجهة

ولَّد ظهور الشركات الكبرى، وخاصة في أميركا، حاجة إلى المباني التجارية الكبيرة. وسهَّل تطوير البنى الهيكلية (framed structure) في بداية القرن العشرين تلبية تلك الحاجة من حيث تحقيق ارتفاعات أعلى ومجازات أطول. وأدت هذه الإمكانات إلى تطورات في كل من التصميم والحلول التقانية. ووفَّرت الهياكل حرية في تغيير الغلاف الخارجي، وخاصة الجدران، التي لم يعُد عليها حمل الأحمال الثابتة والمفروضة الناجمة عن المبنى وقاطنيه. وأصبح من الممكن استعمال طيف واسع جداً من المواد وصيغ المكوِّنات لتشكيل واجهة المبنى. وأصبح استعمال البنى الهيكلية وطيف معالجات الواجهة شائعاً في المدن والضواحي الحَضَرية.

وعندما ظهرت تلك الصيغ في بدايات القرن العشرين، استمرت التصاميم في استعمال المواد الشائعة، مثل الآجر والحجر، مع تلك الهياكل. ومع أن الوصلات والمثبِّتات التي كانت شائعة قد استُعملت للجدران نفسها، فقد تطلَّب ربط الجدران مع الهيكل حلولاً جديدة. وتطلَّبت الجدران الواسعة المساحة والعالية الارتفاع أيضا التفكير بها ملياً من حيث المواد والحركة ومقاومة العوامل الجوية، وتكاليف منافذ الصيانة. أما في ما يخص الواجهات، فقد تطلَّبت التصاميم مواد جديدة. ولعل أفضل أمثلة للمواد التي استُعملت لتطوير واجهات ذات سمات جمالية جديدة هما الخرسانة والزجاج.

استُعملت الخرسانة في الواجهات على شكل لوحات مسبقة الصب، أو على شكل خرسانة مسلحة مكشوفة (من دون تغطية أو إكساء) مصبوبة محلياً. وأعطت عملية الصب المسبق مظهراً لوحياً منتظماً، وأدت حينئذ الخصوصيات الفردية والاستجابة إلى السياق إلى مقاسات لوحات ومعالَجات سطوح مختلفة. وكان على صناعة الصب المسبق أن تطوِّر معارف ومهارات جديدة، وحصل الشيء نفسه في تصميم تفاصيل الملتقى بين الغلاف والبنية. ووجب إيجاد حل لطيف جديد من

المثبِّتات والتسامحات عند وصلات الهيكل، وغدت الوصلات بين اللوحات موضع اهتمام من حيث التوافق ومقاومة العوامل الجوية. وأدى ذلك إلى تطوير كل من الوصلات الكتيمة والمُصرِّفة للماء التي احتاجت إلى مواد جديدة، مثل الصمغ اللباني. ووفَّر تطوير المواد وحلول الوصل والتثبيت بين الهيكل واللوحات الخرسانية فرصة لصنع لوحات من مواد غير الخرسانة المسلحة، ومن أمثلتها الإسمنت المقوَّى بالزجاج والبلاستيك المقوَّى بالزجاج، إلا أن هذه المواد انطوت على مشكلات تقنية، وبرغم تجاوز تلك المشكلات إلى حد بعيد، فقد تبيَّن أنها أغلى من الخرسانة المسلحة المعهودة.

وتطلَّب استعمال الخرسانة المسلحة في البنية الإنشائية والواجهات تطويرات تقانية في مساعِدات العمل المؤقتة الخاصة بصب الخرسانة محلياً، إضافة إلى تطوير مواصفات الجبلة الخرسانية نفسها. وتمثِّل تكاليف مساعِدات العمل المؤقتة نسبة رئيسية من تكلفة الخرسانة، وهذا ما تطلَّب من المصمِّم فهم عملية الإنتاج والمشاركة في التصميم لكثير من السمات التي كانت تُعتبر من مهام المهندس أو البنَّاء سابقاً. وقد غدا ذاك هو الحال حينما أصبحت الخرسانة المكشوفة جزءاً من التصميم. وكانت القرارات بشأن وصلات اليوم وارتفاع آلية الصب والفواصل بين شدادات القوالب ومقاسات لوحاتها تُتَّخذ حين الإنهاء. أما الآن فيجب تحديد كل تلك الأشياء في التصميم. واستعملت التصاميم التي تتضمن خرسانة مكشوفة مصبوبة محلياً أيضاً خرسانات ملونة وإنهاءات مزخرفة، مثل الألواح الخشبية التي تضع عبئاً إضافياً على عملية الإنتاج لتوفير الجودة العالية التي يتطلَّبها التصميم.

وقد تبيَّن أن اختيار الخرسانة مادة للواجهة، على أساس تحليل سلوكها مع الزمن، أمر على درجة من الأهمية. فنظراً إلى أنها مادة واجهة، يجب الاهتمام بخواصها المقاومة للعوامل الجوية. وهذا ما يزيد من أهمية تصميم وصلاتها ومثبِّتاتها وإنهاءاتها التي تضمن جودة المظهر مع تقدم الوقت من دون اللجوء إلى الصيانة والتنظيف.

وبعد ظهور بنى الأطر الهيكلية، زالت القيود المفروضة على مقاسات النوافذ في الجدران الحاملة. وأصبح من الممكن بناء الجدران من دون ظهور الفتحات، وأصبح من الممكن صنع واجهات من صفائح أو لوحات لتحقيق سطوح مستوية. لكن ذلك استوجب أن تكون تلك المواد غير نفوذة، وأدى إلى تطوير إنهاءات تجعل الوصلات كتيمة ومقاومة للعوامل الجوية، وإلى توفير موانع لتسرب الماء

كمواد الواجهة نفسها (برغم أن التطوُّرات في الجدران ذات الحواجز المطرية قد غيَّرت هذا المتطلَّب من الوصلات). ومع أن استعمال لوحات معدنية ممكن، فإن الزجاج هو الذي حقَّق أفضل تعبير عن تنفيذ الصيغة التقنية. وقد تطلَّب استعمال كثير من مواد الواجهات أطراً جزئية. وفي حالة الزجاج، تحقَّق ذلك في البداية بأطر تساوي ارتفاعاتها ارتفاع طابق، أو بسواتر جدارية لتدعيم وإحكام سد الزجاج (والمكوِّنات الأخرى). وأصبح من الممكن الآن بناء جدران من الزجاج يسمى بالزجاج الإنشائي.

يُعتبر كثير من حلول الهياكل والأغلفة تلك صيغاً عامة اليوم، وثمة مناقشة لمواصفاتها وتفاصيلها في الفصول اللاحقة. إلا أنها كانت قد طُوِّرت للمباني المستطيلة. لكنْ مع تغيُّر أشكال المباني، تغيَّرت أيضاً سمات الصيغ العامة، واقتضى ذلك حلولاً تقنية وتفاصيل ومواصفات مواد جديدة، ومن ثَمَّ مزيداً من التقييم لضمان عدم وجود مخاطر جديدة.

شكل المبنى وصيغته

يمكن أن يكون للتصاميم، التي تعتمد على المكوِّنات والمواد في تحقيق أشكال مختلفة للمبنى، تأثير عميق في إمكان استعمال صيغ عامة لتقانة راسخة من دون تعديلات أو حتى ابتكارات جديدة في المواد وصيغ المكوِّنات، وفي تفاصيل الوحدات المجمَّعة وطرائق إنتاجها.

تتصف المباني بأنها كانت تاريخياً مستطيلة في المستويين الأفقي والشاقولي وذات زوايا قائمة، إلا إذا فرض المكان غير ذلك. ويمكن تحقيق تلك الأشكال في الحلول التقنية عندما يكون التحميل الإنشائي منتظماً وعمودياً، حيث يتحدَّد توافق المكوِّنات والوصلات اعتماداً على شبكة من الخطوط المتعامدة. وقد نُقِّحت هذه الصيغة المستطيلة الأساسية في كثير من التصاميم لتكوين صيغ ذات جودة وقيمة جمالية كبيرتين، وأصبحت الحلول التقنية لهذه التصاميم ناضجة تماماً على الأغلب.

وبحلول القرن الحادي والعشرين، أصبحت المنحنيات في المستويين العمودي والأفقي مرغوباً فيها في عدد متزايد من المباني. وكانت بنى الأسقف، مثل القبب والقواقع، قد طُوِّرت عملياً لتغطية أحياز كبيرة، وشيِّدت مبانٍ ذات

شكل دائري في المستوي الأفقي، وكانت ذات جدران حاملة، لكنها لم تكن منحنية في المستوى العمودي. وقامت تصاميم المنحنيات على المباني التي تستعمل صيغ الهياكل الشائعة حالياً في البداية على تعدُّد الأوجه المستوية. وبقيت المكوِّنات مسطَّحة، لكن الوصلات في ما بينها أصبحت بزوايا غير قائمة. ومع أن هذا يعطي منحنيات ناعمة في حالة المكوِّنات الصغيرة على غرار ما تعطيه لبنات الآجر في البنى الحاملة، إلا أن المكوِّنات المسطَّحة الكبيرة لم تعطِ منحنيات ناعمة، خاصة حين النظر إليها من مكان قريب في محيط حضري. وتطلَّبت الوصلات إنهاءات تمكِّن من إخفاء عدم النعومة، ليس في الاتجاهات المستقيمة والمحدَّبة فقط، بل عند زاوية الوصلة أيضاً. وجرى توحيد أشكال المكوِّنات والمثبِّتات والوصلات المتكررة، وهذا ما جعل التصنيع والتجميع اقتصاديين.

ومن التقانات الناضجة الملائمة لتكوين الأشكال الأفقية المنحنية تقانة الخرسانة التي تصب محلياً. فقد أمكن حني القالب عند حواف البلاطة بسهولة، وأمكن تصميم البلاطات بحيث تتدلى على صف من الأعمدة، أو بترتيب الأعمدة وفقاً لهيئة منحنية مشابهة. قد أدت سلسلة من التطوُّرات الصناعية، القائمة على المنحني بوصفه عنصراً تصميمياً، إلى حني مكوِّنات البنى الفولاذية ولوحات الإكساء، ومنها الزجاج، معطية المصممين مقدرة أكبر على توسيع حدود الأشكال غير المستطيلة للمباني.

ومن الصيغ الأخرى الأشكال الزاويَّة، أو حتى المتكسِّرة، التي تتطلب حلولاً تقنية جديدة. وقد أصبح تحقيق تصاميم تحافظ على المزايا الاقتصادية للتكرار المنتظم تحدِّياً رئيسياً في التصميم. وأصبح من الممكن اقتراح بنى تصميمية ومنظومات إكساء لتكوين تلك الأشكال المعقدة، وتحقيق أداء جيد وتوفير إمكانات للإنتاج. إلا أن إنهاء الوصلات لتحقيق أداء، مثل مقاومة العوامل الجوية، ينطوي على صعوبات وتكاليف إضافية. لكن الزيادة لا تحصل في تكلفة المواد بالضرورة، بل في تكاليف التصميم والإنتاج التي قد يتطلب التفكير الابتكاري الجيد في تحقيق تصميم آمن وجودة في الإنتاج.

التصنيع والتجميع

عندما تكون ثمة حاجة إلى تعديل التصميم أو إلى حلول تقنية جديدة، تترتَب على ذلك عادة عواقب في الإنتاج والكلفة. لكن حتى بوجود متطلبات تصاميم مشابهة، فإن المنافسة في الصناعة تحفِّز إدخال تغييرات في الحلول التقنية لتحقيق

مكاسب من حيث سرعة التنفيذ وخفض التكلفة في عملية الإنتاج. ومن أمثلة ذلك في النصف الثاني من القرن العشرين تغيير صيغ البنى الهيكلية المؤطرة مع إنهاءاتها.

فما كان مطلوباً من ناحية مقاسات المباني هو زيادة عدد الطوابق مع مساحات مفتوحة كبيرة مغطاة بسقف واحد. وتجلى الابتكار التقاني الرئيسي الذي سمح بتصميم مبانً متعددة الطوابق بالمصعد الذي ظهر في بداية القرن العشرين، وهذا ما ولَّد حاجة إلى تطويرات إنشائية. وتطلَّب ذلك قاعدة من المعرفة بالمواد (الخرسانة والفولاذ) وبطرائق الإنتاج للتمكين من تحقيق تصاميم آمنة واقتصادية. وأُنجزت تطويرات التصاميم الإنشائية بحلول منتصف القرن العشرين إلى حد بعيد باستعمال للهياكل الإنشائية المؤطرة للمباني العالية، والجملونات والعوارض في البنى الواسعة المجاز. وأدت الضغوط الاقتصادية الجديدة، التي نجمت في النصف الثاني من القرن العشرين عن المنافسة التجارية المتزايدة بين الفولاذ والخرسانة بوصفهما مادتين للهياكل الإنشائية، إلى تطويرات تركَّزت في تقانات البلاطات الإنشائية الجديدة بشكل رئيسي.

وفي أثناء تلك الفترة، جُرِّب الكثير من أشكال العوارض والبلاطات المختلفة. وكانت ثمة مجموعة لافتة من من التطوُّرات حركتها حجج التكاليف ومدد التنفيذ بين الفولاذ والخرسانة. إن هذا الموضوع بعيد عن اهتمام هذا الكتاب، لكن نتيجته كانت انبثاق صيغ عامة جديدة للهياكل الفولاذية (أرضيات تركيبية) وهياكل خرسانة مسلحة مصبوبة محلياً (بلاطات مسطَّحة) لم تكن ملحوظة في منتصف القرن العشرين. ثمة عرض لهذه الصيغ التي أصبحت شائعة اليوم في نهاية الفصل 11 وشرح مع بعض التفصيل في الفصل 25.

تتصف هذه الحلول التي أصبحت شائعة اليوم بنفس مستويات أداء أسلافها، إلا أنها تشكَّلت وتطوَّرت بسبب الضغط المزدوج، الزمني والمالي، من خلال الاهتمام بتحليل عملية الإنتاج. وثمة أدلة على أن هذه الصيغ الإنشائية يمكن أن تخضع إلى مزيد من التطور بسبب الحاجة إلى توفير حلول مبانٍ صديقة للبيئة، خاصة من حيث استعمالها بوصفها كتل حرارية. ونظراً إلى أن هذه التغييرات ليست ناجمة عن تغيرات في الإنتاج، فإن لها تأثيراً في التكلفة ومدة التنفيذ يمكن أن يؤدي إلى تغيُّرات تحركها المنافسة بين الخرسانة والفولاذ بوصفهما مادتين إنشائيتين.

أما حكاية تطوير الهيكل المؤطر للسقف الواسع المجاز فقد كانت مختلفة. فنظراً إلى أن المادة المهيمنة في تلك البنى كانت الفولاذ، مع استخدام الألمنيوم وحتى الخشب الصفائحي اللذين لاقيا بعض النجاح في بعض الصيغ، فقد كان استعمال الخرسانة نادراً، ولذا لم يستمر الدافع لتقليص تكلفة تنفيذ تلك الصيغ الهيكلية ومدتها. إلا أن التقدُّم في التصنيع أدى إلى استغلال صيغ جديدة في بنى المجازات الطويلة.

والحل العام الذي انبثق ليحقِّق أحيازاً واسعة مغطاة بسقف واحد مع حلول القرن الحادي والعشرين هو الإطار المستوي المكوَّن في المقام الأول من جملون ذي وصلات مفصلية على أعمدة، مبني من فولاذ ذي زوايا مدرفلة على الساخن مع وصلات صفيحية مثبتة بالبراغي. وكانت هذه الصيغة البسيطة ملائمة للتصميم واقتصادية من حيث التصنيع. وهي تتصف ببعض السمات الجمالية التي لم يترتَّب عليها الكثير، في أثناء التصنيع والخزن في المستودعات، مما كان ضرورياً حتى منتصف القرن العشرين. ومن صيغ الإطار المستوي الأخرى، إطار العزم أو الإطار البابي الذي كان مفهوماً نظرياً، إلا أنه تطلَّب مقاطع كبيرة على ما يبدو، ولذا استُعمل للمجازات الصغيرة نسبياً فقط. فقد نجمت الحاجة إلى المقاطع الفولاذية الكبيرة عن تنبُّؤات نهج تصميم إنشائي قديم يُعرف بالتصميم المرن (elastic design). وكان هذا النهج هو طريقة التصميم السائدة التي استُعملت لإثبات أمان التصميم. إلا أن نهج تصميم إنشائي جديد، يُعرف بالتصميم اللدن (plastic design)، بيَّن أن المقاطع التي هي أصغر كثيراً لن تخفق، وثبت أن الأمر كان كذلك، وأصبحت الأطر البابية الفولاذية اقتصادية حين استعمالها لمجازات طويلة، ونافست حلول الجملونات والعوارض ذات الوصلات المفصلية.

ومكَّنت التغييرات في طرائق التصنيع من الإنتاج الاقتصادي لجملونات وجوائز ذات مقاطع ملحومة مصنوعة من مقاطع أنبوبية دائرية أو مربعة حسَّنت المظهر كثيرا. ومكَّنت تلك التطوُّرات في التصنيع أيضا من تطوير بنى أسقف ذات مجازات ثنائية الاتجاهات. فبتشييد سقف ذي مفعول إنشائي في الاتجاهين الأفقيين، تكون بنيته أصلب بطبيعتها، وهذا ما يقلِّص عمق البنية من دون انحرافات زائدة، ويوفِّر استقراراً أكبر تجاه أحمال الرياح. وسمحت هذه العوامل بتنوُّع أكبر في الصيغ من حيث الأشكال والمواد التي جرى تطويرها. ومع أن عمليات التصنيع تلك جعلت هذه الصيغ ممكنة، إلا أنها أدت غالباً إلى حلول

مكلفة، وإنْ اتصفت البنى الناتجة غالباً بصفات جمالية. سوف نناقش هذه الصيغ بمزيد من التفصيل في الفصل 26، إلا أن التطوُّرات العامة كانت في البنى الشبكية مثل الهياكل الفراغية والقبب المنحنية. وأدت فكرة حني (أو طي) الصيغة البلاطية لبنية المجاز إلى تطوير أسقف القواقع التي لم تجد مكاناً لها في تصاميم المباني في النصف الثاني من القرن العشرين، ربما بسبب عدم جمالها، برغم كونها منافسة من حيث السعر ومدة التنفيذ.

لقد ترسَّخت تقنيات التصميم والتصنيع والإنتاج الإنشائية والموارد لكل من الهياكل الإنشائية المؤطرة وبنى المجازات الطويلة المذكورة آنفاً، ويمكن تضمينها في مبانٍ ذات طيف واسع من المقاسات بقليل من المجازفة التقنية والمالية.

التصنيع المسبق

ثمة حركة إنتاج أخرى، تكررت خلال القرن الماضي مع تزايد القدرات التصنيعية وبنية النقل التحتية، هي الحركة باتجاه تصنيع المكوِّنات وتجميعها في معامل بعيدا عن الموقع. وأصبحت المكوِّنات المصنَّعة، التي تمثِّل أجزاء من المبنى، والتي تصل إلى الموقع دون توقُّع حصول تغيير في مقاساتها وأشكالها قبل تضمينها في بنيته، معرَّفة الآن على نطاق واسع [في التصميم]، وكذلك أصبحت الوصلات والمثبِّتات التي تضمن التوافق بينها في معظم الحالات. وتميَّز تاريخ التصنع المسبق، الذي يجمَّع فيه عدد من المكوِّنات بعيداً من الموقع لتكوين مقاطع من المبنى تُضم معاً في الموقع، على مدى القرن العشرين، بسلسلة من التقانات البازغة التي اتَّخذ القليل منها صفة الصيغة العامة. وثمة إمكانات لإنهاءات عالية الجودة في ظروف المصنع التي يمكن استغلالها للمباني العالية القيمة. إلا أن التكاليف العالية لإقامة مصنع والحاجة إلى سوق مضمونة، جعلتا الصنع المسبق غالياً، لأن التغيُّر في متطلبات المستعمل وفي توجهات التصميم أحبط إمكانات الإنتاج الاقتصادي على المدى البعيد. وفي أواخر القرن العشرين، تطوَّرت طرائق التصنيع في الصناعات الأخرى واعتمدت على التحكُّم الحاسوبي الذي مكَّن من الربط المباشر بين معلومات التصميم وآليات التحكُّم في الإنتاج، وأمكن استغلال هذه الإمكانات التصنيعية المرنة في صناعة البناء أيضاً. وقد اعتُمدت إمكانات التصنيع المرن هذه رسمياً في مطلع القرن الحادي والعشرين في مبادرة التشييد الصناعي الحديثة (mmc) لتشييد عدد كبير من المنازل المنخفضة التكلفة.

وهناك صيغة جديدة أخرى قائمة على التصنيع المسبق ظهرت في مطلع القرن الحادي والعشرين، هي الغرفة المسبقة الصنع أو ما يُعرف بالحاضن (pod) [الغرفة]، وهي نوع من حلول الإنتاج الكمي للغرف المتكررة، ومنها حمامات الفنادق وغرف النوم فيها. لا تقوم هذه الغرف دائماً على تقنيات التصنيع المرن، بل يمكن إنجازها باستعمال الطرائق المعتادة ضمن المصنع ذي البيئة المضبوطة.

وأصبحت الحلول التقنية القائمة على المكوِّنات الجاهزة شائعة اليوم، وأصبحت تفاصيل تركيبها وتحقيق توافقها مفهومة عموماً. ومكَّن هذا من تعريف طيف واسع من المكوِّنات المعيارية وذات التصميم المتخصص من دون كثير من االمجازفات المالية أو التقنية. إلا أن التصنيع المسبق ما زال يتطلَّب الكثير من التمعُّن في مكاملة التصميم والتصنيع لحل مسائل التكلفة والأداء، إضافة إلى استيعاب الانحرافات في الوصلات والمثبِّتات لضمان التوافق بين المكوِّنات.

تقليص المفاعيل البيئية

يُعتبر الحفاظ على البيئة جزءاً من خطة التنمية المستدامة التي ظهرت واكتسبت زخماً قوياً منذ نهاية القرن العشرين. ونظراً إلى أن الاستدامة تشتمل على التطوُّر الاقتصادي والاجتماعي، فإن من المستبعد أن تتغيَّر وتيرة البناء، ولذا سوف تزداد الحاجة إلى السلامة الإنشائية وإلى الحفاظ على ظروف المبنى الداخلية. وهذا يدل على أن من المرجَّح، في المستقبل القريب على الأقل، تحقيق مبانٍ ذات مفعول بيئي منخفض من خلال مفاهيم التصميم الخلاقة القائمة على استغلال صيغ البناء الحالية. وفي حين أن ثمة بعض الحلول الجذرية، من مثل المنازل المحمية بالتربة (earth sheltered house)، التي يجب أن تُستعمل حيثما أمكن، فإن من المستبعد تطوير هذا النوع من المنازل لتصبح صيغاً عامة واسعة الانتشار إذا استمرت وتيرة البناء الحالية في مواكبة التطوُّر الاجتماعي والاقتصادي المصاحب للتزايد السكاني. وثمة بعض التقانات البازغة الخاملة والنشطة، ومنها منظومات توليد الطاقة الصغيرة، التي يمكن تضمينها في المباني، إلا أنه يجب أخذ تلك التقانات في الحسبان باكراً في مرحلة التصميم المفاهيمي للمباني الجديدة والمجتمعات بغية تحقيق مزاياها الكاملة.

وقد استقصينا في الفصل 15 الاهتمامات البيئية وبعض نُهُج التصميم من أجل البيئة، وذلك انطلاقاً من المخاوف الأساسية من التلوُّث ونضوب الموارد. والهدف

هو حماية الكوكب الذي لا يوجد سواه للعيش عليه، حيث على الناس أن يعيشوا ضمن حدود مقدرة كوكب الأرض على دعم الحياة. ثم إن علينا تحقيق حياة جيدة ضمن القيود التي يفرضها الاقتصاد في استهلاك الطاقة، لأن المهدِّد الحالي هو الاحترار العالمي الناجم عن التلوُّث بنواتج احتراق الوقود الأحفوري (غاز ثاني أكسيد الكربون)، إضافة إلى نضوب مخزون الطاقة اللازم للأجيال القادمة. إن المطلوب هو حلول تستهلك طاقة أقل، إضافة إلى البحث عن صيغ بديلة لمصادر الطاقة. ويبدو أن تقليص استهلاك الطاقة هو أعظم إسهام يمكن أن تحقِّقه المباني في هذه الأيام المبكرة من القلق على البيئة. وإضافة إلى القلق من استهلاك الطاقة، ثمة مسائل عامة أخرى مثل استهلاك المباني للمواد وتوليدها للنفايات، وذلك من حيث الصلة المباشرة باستهلاك الطاقة وبنضوب الموارد وزيادة التلوُّث، وهذا ما يوسِّع بصمتنا البيئية، ضمن مبادرة عدم وجود سوى كوكب واحد للعيش عليه.

ولعل التحدي الذي يواجهنا مع انبثاق الحلول التقنية الجديدة هو الطبيعة المؤقتة للمعارف التي لدينا للتنبُّؤ بسلوك بنية المبنى الإنشائية من حيث تحقيق الوظائف المطلوبة منه. إذ ينطوي الكثير من حلول تقليص استهلاك الطاقة على استعمال البنية الإنشائية الخاملة فيما سُمِّي بالعمليات الطبيعية مقابل الخدمات الآلية والبيئية. وهذا يتطلَّب فهماً للتأثير المتبادل المتغير بين البيئة الداخلية للمبنى وبنيته الإنشائية، حيث تُستغل مفاعيل صغيرة جداً، لكنها ضرورية لتحقيق نجاح المنظومة برمتها. وعندما تصبح تلك المعرفة أكيدة، تنبثق الصيغ النهائية المواصفات والتفاصيل. وقد أصبح ذلك جلياً في كثير من وجهات النظر المتنافسة المتعلقة بالمواد الرئيسية المستعملة في البناء، والتي يُدَّعى أنها تتصف بأنها خضراء أو صديقة للبيئة.

حتى مع إن المعرفة التي لدينا عن المواصفات والتفاصيل الودودة للبيئة ما زالت مستجدة، لكنْ ثمة بعض المبادئ التي تُستعمل وتتطلَّب تغييراً في كل من التصميم والإنتاج. ولعل أوسع الصيغ البازغة انتشاراً هي تصاميم الدهاليز أو الطرق الواردة في الفصل 10. وللاستفادة الكاملة من هذا التصميم، فإنه لا يُستعمل لمجرد التهوية والإضاءة الطبيعيتين فقط، بل بوصفه آلية للتبريد في الصيف أيضاً، وفقاً لما ورد في الفصل 15. وكي تنجح هذه التصاميم، يجب تغيير كثير من التفاصيل. ومن أمثلة ذلك الدور غير النشط للكتلة الحرارية الخاصة بالبلاطة الإنشائية إلى جانب التحكُّم الآلي في فتح النوافذ ليلاً للتبريد في فصل الصيف.

وهناك تقانة بازغة أخرى هي التحكُّم الآلي في منظومات المبنى لرفع كفاءة تشغيلها. فالمنظومات السيئة التشغيل لا تستفيد من جميع إمكانات التصميم، وتزيد كثيراً من استهلاك المبنى للطاقة. لذا يجب أن يشتمل الحل التقني على خطة للتحكُّم تتضمن مستويات من الأتمتة، وتتكامل مع منظومة إدارة المبنى الشاملة. وطرائق الأتمتة تلك هي تقانات بازغة لا نظائر سابقة لها في المباني. وكثير منها يقوم على تكنولوجيا المعلومات (IT) التي يجب أن تُبنى الآن ضمن التصميم من البداية، والتي أصبحت واحدة من خدمات الاتصالات الجديدة في المبنى أو تعديلاً لها. إن منظومات التحكُّم تقوم على الاتصالات باستعمال الأسلاك، لكن أصبح من الممكن استخدام التقانات اللاسلكية التي هي أسهل إصلاحاً وصيانة وتوسعة.

لقد أصبح من الواضح الآن أنه يمكن خدمة برنامج الاستدامة والحفاظ على البيئة على أفضل وجه بالنظر إلى المباني جماعياً، لا إفرادياً، من حيث تزويدها بالخدمات المحلية. في الماضي، كانت توفَّر تلك الخدمات إما على مستوى الدولة، على غرار الطاقة الكهربائية، أو متضمنة في المباني إفرادياً، على غرار التدفئة. إلا أن تأثير هذا النهج الجماعي في الخيارات التقانية ليس واضحاً بعد، فمنظومات التدفئة ومحطات توليد الكهرباء المحلية الصغيرة يمكن أن تمثِّل مورداً هاماً، إضافة إلى إمكان تقليصها للتلوُّث. وهذه الحلول التقنية وغيرها هي الجيل الجديد من التقانات البازغة.

المباني القائمة والحفاظ على البيئة

ثمة تطبيقات لكثير من التقانات البازغة في المباني القائمة. وهذا مجال هام للتطبيقات إذا أردنا تقليص بصمتنا السيئة على البيئة خلال مدة قصيرة نسبياً. فمعظمنا يعيش ويعمل في مبانٍ قديمة أُنشئت قبل انتشار المخاوف من المفاعيل البيئية السيئة. إن هذا الكتاب يركِّز الاهتمام في المباني الجديدة، إلا أن إطار العمل الذي يقوم عليه التحليل وعملية الاختيار قابل للاستعمال أيضاً في طرائق تجديد المباني وإعادة تأهيلها. وعلى وجه الخصوص، إذا كان من المطلوب تقليص إصدارات غاز ثاني أكسيد الكربون، فإنه يجب الاهتمام بتحديث المباني القائمة، وهذا يشتمل على تطوير حلول تقنية جديدة وتقنيات بناء تلائم صيغ المباني السابقة.

إن فهم سلوك المبنى قبل التجديد وبعده على درجة من الأهمية لضمان تحقيق مستويات الأداء الجديدة في استهلاك الطاقة، إضافة إلى استمرار المبنى في أدائه وفقاً لما هو مطلوب منه في الأصل. وقد بيَّنت المحاولات المبكرة، لتزويد جدران فجوة قائمة بعوازل حرارية أدت إلى حصول مشاكل رطوبة فيها، أهمية فهم المواد وإجراءات التحكُّم في الموقع، وتُعتبر تلك المحاولات درساً عملياً عن الإخفاق في القيام بتقييم كامل للتقانات البازغة قبل استعمالها.

مخاطر استعمال التقانات البازغة

في أي وقت وأي مكان، سوف تكون ثمة مجموعة من الصيغ العامة وبعض التقانات البازغة. ولعل الجانب الجوهري في اختيار الحل التقني هو تحديد مدى رسوخه أو استعماله في تصاميم جديدة أو عند حواف طيف أدائه. وإذا كان الحل جديداً، فمن غير الممكن القول أنه حل عام مفهوم تماماً، وأن له سجلَّ تجارب واختبارات مرموق، أو أنه استُعمل بنجاح في ظروف جديدة، بل ستكون ثمة حاجة كبيرة إلى تحليله وتقييمه لتقليص المخاطر التي ينطوي عليها.

وعامل المخاطر التقنية هذا هو نوع من تدنِّي الأداء. وإذا لم يحصل التمعن بعمق في مواصفات الحل التقني أو تفاصيله، فإنه سوف يُخفق. وإذا لم تكن الموارد، وخاصة المعرفة والمهارة، غير متوافرة، فقد يكون هناك احتمال عال للإخفاق بسبب التصميم غير الصحيح أو إجراءات الإنتاج غير الملائمة.

وعلى غرار جميع أنواع تقييم المخاطر، يجب تحديد احتمال حصول الإخفاق وعواقبه. وينطبق مفهوم الحل التقني الآمن نفسه، المطبَّق على الصحة والسلامة، هنا أيضاً، حيث يجب تحديد الأخطار (الإخفاقات المحتملة) والأضرار التي تسببها، واحتمال حصولها. وبعدئذ يمكن تقدير إنْ كانت المخاطر عاليةً أو منخفضةً. وتجب معاملة الإخفاق في تحقيق الأداء، الذي ينطوي على عواقب وخيمة، بوصفه مخاطرة كبيرة، ولذا يجب اتخاذ إجراءات لتقليص حجم تلك المخاطرة. وإذا كانت العواقب ليست وخيمة، بل كان احتمال الإخفاق كبيراً، وجب السعي أيضاً إلى تغيير المواصفات أو التفاصيل أو الموارد.

وفي حين أن الضرر في مفهوم الصحة والسلامة (وحتى في تقدير المخاطر البيئية التي تنحو المنحى عينه) يكون واضحاً عادة، فإن عواقب الإخفاق التقني في

المبنى تنطوي على تأثيرات مختلفة على أولئك الذين هم على علاقة بالمبنى. فمن ناحية، يمكن الأذية نفسها أن تصيب الجميع: فالانهيار أو حتى بعض الإخفاقات في التخديم يمكن أن تهدِّد صحة القاطنين كلهم وحياتهم. وبعض الإخفاقات الأخرى يمكن أن يؤثِّر في كفاءة تشغيل المبنى فقط. ويمكن أن تكون لهذه الإخفاقات مفاعيل تراكمية في القاطنين، وفي تكاليف المبنى الجارية أو استهلاك الطاقة المتوقَّع في التصميم.

وثمة صلة أيضاً بالمجازفة المالية التي يقوم بها الزبون أو أولئك المنغمسين في تصميم أو إنتاج أو تشغيل المبنى. وإذا كانت التقانة بازغة، فإن عواقب المجازفة لا تقتصر على إخفاق يُرتِّب تكاليف مالية على الزبون فقط، بل تظهر بوصفها نوعاً من عدم اليقين بالنسبة إلى المصمم أو المتعهد من حيث تكلفة أو مدة تنفيذ حل آمن. أما من يتحمَّل أعباء المجازفة، فيتحدَّد في العقد. وعلى جميع الأطراف المتعاقدين أن يعرفوا جوانب الحلول التقانية ذات الصلة بالمعارف والخبرات التي يمكن الاعتماد عليها في تصميم وتنفيذ تفاصيل ومواصفات معينة. ويمكن الأطراف المتعاقدة أن يتفقوا على السعي بقوة إلى أفكار وموارد مبتكرة يمكن أن تقلِّص المخاطر، لكن ذلك لا يتحقق من دون ثمن.

وربما كان ثمة وجه آخر للمخاطر ذو صلة بجمال المبنى. يتَّخذ الحل التقني وتفاصيله صيغة معينة تحدِّد مظهر المبنى. وهذا لا ينطبق على المظهر العام للمبنى عندما يُنظر إليه من بُعد فقط، بل حينما يُنظر إلى تفاصيله أيضاً من قبل أولئك الذين يستعملونه أو يمرون بالقرب منه. لذا، فإن اختيار التقانة على درجة من الأهمية في تحقيق صورة المبنى المفترضة في التصميم.

الخلاصة

1. حين اقتراح استعمال تقانة معينة، من الضروري معرفة إنْ كانت راسخة جيداً أو جديدة أو بازغة.

2. أدت التطوُّرات التي حصلت خلال القرن المنصرم إلى ترسيخ كثير من الحلول التقنية التي نستعملها الآن، والتي تستطيع تحقيق المستويات المطلوبة من الصحة والراحة والأمان.

3. ما زالت ثمة حوافز للتغيير ناجمة عن تصميم صيغ وأشكال جديدة للمباني، وعن تنفيذها، وخاصة بالتصنيع المسبق.
4. لعل أقوى الدوافع نحو التغيير هي المتطلبات البيئية التي تثير تحديات تقنية يجب أخذها في الحسبان في مرحلة مبكرة من عملية التصميم، إضافة إلى مواصفات وتفاصيل المواد والمكوِّنات التي يجب تحديدها في التصميم التفصيلي.
5. يجب تقييم المخاطر التي تؤدي إلى الإخفاق التقني (في الأداء المادي والمظهر)، إضافة إلى عواقبها على الصحة والسلامة والبيئة والتكلفة ومدة تنفيذ العقد.

الفصل الرابع والعشرون
تصميم الملتقى

نهتم في هذا الفصل بطبيعة الملتقيات بين عناصر المبنى الرئيسية التي عرَّفناها سابقاً بأنها البنية والغلاف والخدمات. وقبل النظر في التقانات الرئيسية المتوافرة لتلك العناصر، من الضروري أن تكون لدينا فكرة عن طريقة تفاعل كل منها في العناصر الأخرى. وهذا جانب هام من القرار بشأن الخيارات التقانية في المراحل المبكرة من التصميم الذي يعطي الثقة بأنه يمكن تنفيذ عناصر المبنى بحيث تعمل مجتمعة معاً.

تقديم

من الضروري عملياً اختيار حلول تقنية لعناصر المبنى تحقِّق متطلبات الأداء، وقد عُرِّفت تلك العناصر في هذا الكتاب بأنها البنية والغلاف والخدمات. وتُختار تلك العناصر لمعظم المباني من صيغ عامة توفِّر أفضل فرص تحقيق الأداء، لكنها يجب أن تُفصَّل لكل مبنى على حدة. وأحد الأوجه التي يجب الاهتمام بها في عملية الاختيار تلك هو ضمان أن مجموعة التقانات البازغة التي يُنظر في استعمالها في المبنى متوافقة معاً وسوف تعمل معاً لتحقيق الأداء المطلوب من المبنى برمته. وهذا التوافق يجب أن يتحقَّق ليس في الأداء فقط، بل في وضع المواصفات والتفاصيل في مرحلة التصميم التفصيلي أيضاً.

وقد قدَّمنا في الفصل 22 فكرة ضرورة تركيز الاهتمام في تصميم الملتقيات والعناصر لضمان أن المبنى سوف يعمل بنجاح بكل مكوِّناته. إلا أن قضايا التصميم ذات الصلة بهذه الملتقيات تختلف باختلافها ويجب النظر فيها في المراحل المختلفة من التصميم الشامل للمبنى.

يتصف الملتقى بين الغلاف والخدمات بأنه مفاهيمي عموماً، ويجب النظر فيه في المراحل المبكرة جداً من التصميم حين وضع خطط التصميم البيئي غير النشط

في أثناء بلورة شكل المبنى واتجاهه ومظهره. لكن الاستفادة من عناصر التصميم الجوهرية تلك لتحقيق تصميم بيئي غير نشط يقتضي تحديدا مبكراً جداً للحلول التقنية للغلاف (والبنية) لأنها تؤثِّر في أنواع الخدمات الضرورية وحجومها لتوفير البيئة الداخلية المطلوبة. فقد تكون ثمة تفاعلات مادية متبادلة بين الخدمات والغلاف، حيث تمر تمديدات تلك الخدمات عبر عناصر الغلاف أو تثبَّت فيها، وهذه التفاعلات المتبادلة يجب أن تُعالَج في مرحلة التصميم التفصيلي.

أما الملتقى بين الغلاف والبنية فيتألف من وصلات مادية في المقام الرئيسي يجب تحديدها في مرحلة التصميم التفصيلي. وأعقد تلك الوصلات هي تلك التي تربط الجدران الخارجية مع البنية الهيكلية. ويجب إيلاء بعض العناية لمعالجة الوصلات الخاصة بالعناصر الأفقية، ومنها الأرضيات والأسقف.

وأما الملتقى بين البنية والخدمات، فيتعلق غالباً بالحيِّز وبالحاجة إلى التوزيع الأفقي والعمودي للتمديدات في المناور والفراغات. يُضاف إلى ذلك أن تجهيزات الخدمات يجب أن تُدخَل إلى المبنى عبر بنيته، ويجب أن تثبَّت فيها، وأن بعض عناصرها يمكن أن يكون كبيراً ويمثِّل حملاً. إلا أن تصميم الملتقى بين البنية والخدمات يدل على نحو متزايد في التصميم غير النشط، ومن أمثلة ذلك كتلة البنية الحرارية التي يمكن أن تُستعمل لخزن وإطلاق الطاقة الحرارية في أوقات معينة خلال دورة الليل والنهار اليومية.

ملتقى الغلاف والخدمات

لقد كانت ثمة حاجة إلى النظر في إسهام الغلاف والخدمات البيئية في تكوين جو المبنى الداخلي والحفاظ عليه. وفي بداية القرن الحادي والعشرين، أدت المخاوف على البيئة الكوكبية إلى إعادة تقدير لهذا التوازن بين التقانات النشطة والتقانات غير النشطة. ولم يعد من المقبول الاقتصار على جعل الغلاف كتيماً للماء، ثم تحقيق ظروف الراحة الداخلية باستعمال خدمات نشطة كثيرة استهلاك الطاقة. وأصبح للتحرُّك باتجاه إيقاف توليد ثاني أكسيد الكربون وتقليص المفاعيل الضارة بالبيئة تأثير ملحوظ في تطوير الحلول التقنية لكل من الغلاف الخارجي (الأسقف والجدران) والخدمات البيئية.

وقد أدى اعتبار المفعول البيئي واحداً من معايير القرارات التصميمية إلى تركيز الاهتمام في نهج التصميم غير النشط. والفكرة هي استعمال بنية المبنى

الخاملة (غير النشطة) إلى أقصى حد ممكن من حيث إنها لا تحتاج إلى طاقة لتلطيف جو المبنى الداخلي في أثناء استعماله. وهذا ينطوي على استعمال البنية غير النشطة لتلطيف الجريانات والانتقالات بين الداخل والخارج للحفاظ على جودة البيئة الداخلية على مدار السنة. وفي حين أن هذا النهج يسعى إلى الحدِّ من استهلاك الطاقة في أثناء استعمال المبنى، فإن العملية الإنشائية التي تحقِّق ذلك ليست خالية من المفاعيل البيئية، وهذا ما يجب أخذه في الحسبان. إن لكل ذلك تأثيراً ليس فقط في اختيار البنية الإنشائية وتفاصيلها، بل أيضاً في توفير الخدمات البيئية ضمن المبنى.

الغلاف والتصميم غير النشط

استعرضنا التصميم البيئي الذي يعتمد على الجريانات والانتقالات غير النشطة في الفصل 15 بوصفه جزءاً من الحاجة إلى تقليص مفعول المبنى البيئي. وكثير من الأفكار التي قُدِّمت في ذلك الفصل على صلة بانتقاء الغلاف وبعلاقته بالخدمات. ولفهم أداء حلول الغلاف التقنية وعملية انتقائها تجب العودة إلى تحديد ما الذي يجعل البيئة جيدة. إن الجوانب الهامة في البيئة الداخلية هي الحرارة والإضاءة وجودة الهواء، وتحقيقها على نحو جيد هو جزء من وظائف الخدمات التي يمكن أن تستهلك كثيراً من الطاقة مع إمكان إصدار غاز ثاني أكسيد الكربون إذا كان مصدر الطاقة يقوم على حرق الوقود الأحفوري. وتتضمن حلول الخدمات تلك منظومات تدفئة وإضاءة وتهوية وتكييف هواء. وتختلف تلك المنظومات في ما بينها من حيث اعتمادها على الطاقة، وأيُّ تقليص أو إلغاء لأي منها يُؤثِّر كثيراً في استهلاك الطاقة، ومن ثَمَّ في إصدارات غاز ثاني أكسيد الكربون. ويجب النظر في الحلول التقنية الملائمة للمبنى في مرحلة التصميم المفاهيمي حينما يجري تحديد تقانات البنية والخدمات وموافقتها معاً لتحقيق حلول اقتصادية كفوءة ومقبولة بيئياً.

وتختلف التصاميم غير النشطة للبيئات الحرارية تبعاً للكسب الحراري الذي يحصل في المبنى في أثناء النهار. في حالة المنازل، يتصف هذا الكسب بكونه صغيراً وذا إسهام ضعيف في تدفئة البيت في الشتاء، واحتمال تسببه لتسخين مفرط لجو المنزل في الصيف. لذا، يجب على الغلاف تقليص الضياعات الحرارية في الشتاء، ويتحقَّق ذلك عادة بالعزل والتهوية المتحكَّم فيها، مع تعظيم الكسب الحراري في أثناء نهارات الشتاء المشمسة. لكن إذا كان الغلاف فعالاً في التقاط

الأشعة الشمسية في الشتاء، فإنه يمكن أن يُحدِث فرطاً في التسخين في الصيف عندما يكون الكسب الحراري عالياً. لذا يجب أخذ ذلك في الحسبان حين اختيار الغلاف، وخاصة مواضع ومقاسات النوافذ وفتحات الإضاءة الموجودة في السقف والمتجهة نحو الجنوب (في نصف الكرة الأرضية الشمالي) حيث يكون الكسب الحراري أعظمياً. والنوافذ هي عناصر مفتاحية في توفير الإضاءة، ولذا فإن متطلبات الإضاءة والتدفئة بأشعة الشمس ودرء التسخين المفرط من خلالها يجعلها جانباً هاماً من جوانب التصميم. وقد يكون من الضروري استعمال نوع ما من التظليل في تصميم النوافذ، وخاصة تلك الموجودة في الجانب الجنوبي من المبنى. وقد يكون من المفيد في كل من الشتاء والصيف خزن الحرارة لتخفيف وطأة دورة النهار والليل اليومية حينما تتغيَّر درجات الحرارة الخارجية. لكن التقاط الحرارة في أثناء فترات الربح الحراري (في النهار عادة) ثم إطلاقها في الليل (ضمن المبنى في الشتاء وخارج المبنى في الصيف) يتطلَّب أن تكون البنية ذات سعة حرارية كبيرة. وهذا يتطلَّب النظر في حركة الهواء والتهوية أيضاً.

وفي ما يخص المباني ذات الربح الحراري الداخلي النهاري الكبير (المكاتب والمحلات التجارية والمرافق الترفيهية)، تُستغل الآليات الأساسية نفسها مع تركيز الاهتمام في الحد من ارتفاع الحرارة في الصيف لدرء الحاجة إلى تكييف الهواء (وهذا سهل تحقيقه عندما لا يتضمن المناخ الطبيعي رطوبة عالية). ويتطلب ذلك الحد من الكسب الحراري من خلال الغلاف، ربما باستعمال سعة حرارية مع تظليل للنوافذ المتجهة نحو الجنوب، وخزن حرارة النهار وإطلاقها في الليل عندما تكون درجات الحرارة منخفضة. والتهوية هامة الآن أيضاً. فأثناء النهار، تحدُّ من ارتفاع الحرارة، وفي الليل تُخرِج الحرارة من موضع خزنها إلى الخارج. لكن نمطيّ التهوية هذين قد لا يكونان متماثلين.

وعادة، يجب أن تكون التهوية النهارية حول الجسم وبارتفاع الرأس، في حين أن جريان الهواء في الليل يجب أن يكون عبر البنية الخازنة للحرارة، ويكون ذلك على الوجه السفلي لبلاطة السقف. يُضاف إلى ذلك أنه قد يكون من الممكن للقاطنين التحكُّم في التهوية شتاء (فتح النوافذ مثلاً)، أما تصريف الحرارة في ليالي الصيف فيجب أن يكون آلياً بحيث تُفتح النوافذ وتُغلق تبعاً للوقت من اليوم ولدرجة الحرارة. ويمكن تحقيق التهوية صنعياً بوصفها واحدة من خدمات المبنى النشطة، إلا أن ذلك يتطلَّب طاقة، ولذا يُفضَّل استعمال منظومة تهوية غير نشطة.

لقد ناقشنا تلك الآليات في الفصل 15 حيث رأينا أن التهوية العابرة المنخفضة والتهوية بمفعول المدخنة يعملان بضغط منخفض نسبياً، وهذا يتأثَّر كثيراً بعرض وارتفاع المبنى.

وفي الشتاء، قد لا يكون الكسب الحراري في أثناء النهار كافياً لتدفئة المبنى، لكن ذلك يعتمد على مستويات العزل التي تحقِّقها البنية. إلا أن الكسب الحراري من أشعة الشمس يمكن أن يدعم التدفئة. ويتحقَّق ذلك من خلال النوافذ، ولذا فإن التظليل الصيفي المصمم لإلغاء الكسب الحراري في الصيف يجب أن يكون غير فعال في الشتاء. ويتحقَّق هذا تبعاً لتغيُّرات ارتفاع الشمس بين الصيف والشتاء. فنظراً إلى أن الشمس تكون أخفض في الشتاء، تدخل أشعة الشمس إلى المبنى من بين ألواح التظليل التي تمنعها في الصيف نظراً لارتفاع الشمس في السماء.

تشتمل هذه النظرة إلى البيئة الحرارية على استعمال النوافذ التي تُعتبر طبعاً الجزء الرئيسي من البنية غير النشطة المنغمسة في إضاءة المبنى. والإضاءة هي أيضاً مستهلك رئيسي للطاقة، وخاصة في المباني التجارية، حيث يجب توفيرها بواسطة خدمات المبنى. والجانب الآخر ذو الصلة بالإضاءة هو عمق المبنى، أي المسافة من الجدار الخارجي حتى مؤخِّرة الغرفة التي تجب إضاءتها. إن العمق مفيد للأنشطة التي تجري في المبنى، ولذا فإن ثمة حاجة إلى النوافذ الكبيرة، وخاصة ذات الارتفاع العالي والمطلة على السماء، وذلك بغية الحد من الإضاءة الصنعية في النهار. وتختلف جودة الإضاءة بين التوجُّه نحو الشمال والتوجُّه نحو الجنوب. فضوء الشمال أكثر تجانساً، في حين أن مستويات الإضاءة القادمة من الجنوب تؤدي إلى مشكلات إبهار.

منظومات الخدمات

يجب على منظومات الخدمات التي تُختار لتكون ضمن الخليط التقاني لخدمات التصميم غير النشط أن تحقِّق معيار التصميم الخاص بانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون وغيره من معايير تقليص أضرار المفاعيل البيئية. ويمكن تحقيق ذلك باستعمال مصادر طاقة بديلة لا تُصدر الكربون، أو محايدة كربونياً، أو تُصدر قليلاً منه، وفقاً لما نوقش بتفصيل أكبر في الفصل 15. ويمكن لزيادة كفاءة تجهيزات الخدمات أن تمثِّل عاملاً مساعداً على ذلك، ويمكن للمحساسات الآلية ومنظومات الإدارة فعل ذلك أيضاً. ومن أمثلة المحساسات، تلك المستعملة في التحكُّم في

منظومات التدفئة والإضاءة، حتى هذه المنظومات يمكن أن تكون أعلى كفاءة بتشغيلها في المناطق المختلفة من المبنى تبعاً للحاجة. فتدفئة الأمكنة الشمالية من المبنى تختلف عن تدفئة الأماكن الجنوبية، والإضاءة الصنعية لأجزاء الغرفة البعيدة عن النوافذ تختلف عن إضاءة الأجزاء القريبة منها. وهذان مثالان للخدمات القائمة على أساس احتياجات الأماكن البيئية.

ملتقى الغلاف والبنية

تختلف طبيعة هذا الملتقى كثيراً تبعاً لصيغة البنية الإنشائية الأساسية. فإذا كانت البنية بنية حاملة، كان الغلاف جزءاً من العناصر الإنشائية، ووجب تحديدها جميعاً معاً. وفي حالة البنية الهيكلية، يتمثَّل الملتقى بوصلات مادية بين البنية والغلاف، ويقتصر كلياً تقريباً على المثبِّتات والوصلات، وعلى تشكيل المكوِّنات التي تستوعبها. ومن الممكن أن تُصنع العناصر من مكوِّنات ذات مواد مختلفة تعمل مجتمعة فقط إذا اعتُني بطريقة تثبيت كل منها، وبطريقة تكوين الوصلات التي تسهِّل التجميع والحركة في ما بينها، إضافة إلى تحقيق استمرارية الأداء.

من خصائص المباني ذات البنى الهيكلية، فصْل عناصر الغلاف والبنية بعضاً عن بعض من حيث التصميم والأداء، وخاصة جدران المبنى الخارجية. ويسمح هذا الفصل بالنظر في مجال واسع من طرائق معالَجة الواجهة، إلا أن كل تلك الطرائق تعتمد على مقدرتها على تعديل البيئة لتحقيق الجو الداخلي المناسب، وعلى وصلات الواجهة مع الهيكل. وهذا ما يجعل ملتقى الغلاف والبنية نوعاً من الوصلة، أو تركيباً من مثبِّتات ووصلات تسمح بالتجميع في الموقع وتضمن أداء المبنى لوظائفه جميعاً.

وحين فصل الغلاف عن البنية، تُعتبر الجدران الخارجية غالباً غير حاملة، إلا أن هذا تبسيط مفرط. صحيحٌ أن الجدران الخارجية لا تحمل الأحمال الساكنة والمفروضة ضمن المبنى، إلا أنها عرضة لقوى الريح التي يجب أن تُنقل بأمان إلى هيكل البنية. طبعاً، ثمة وظائف أخرى أكثر جلاء تخص الجدران الخارجية، منها المظهر الذي تعبِّر عنه كلمة "الواجهة" التي تُستعمل عادة للتعبير عن تلك الجدران، والأداء البيئي، حيث تُستعمل عبارة الطبقة الخارجية للتعبير عن طبيعة تلك الجدران من حيث حماية المبنى من العوامل الجوية وتعديل البيئة الخارجية لتكوين بيئة داخلية ملائمة. وجميع هذه العوامل، وعلى وجه الخصوص نقل

الأحمال، يجب أن تُؤخذ في الحسبان في الوصلة، أو الملتقى.

إن الجانب الرئيسي الهام في تحقيق تلك الوصلة بين الغلاف والهيكل في معظم الصيغ العامة للجدران الخارجية هو الأداء الإنشائي والبيئي. ويُضاف إلى ذلك اعتبارات الأداء الخاصة بالوصلات والمثبِّتات التي تسهِّل التجميع في مرحلة الإنتاج، واعتبارات سلوكها مع مرور الوقت، وخاصة من حيث استيعاب الحركة. وفي حالة بعض صيغ الجدران الخارجية، ومنها الزجاج الإنشائي، يمكن أن يصبح مظهر هذه الوصلة جانباً هاماً من جوانب التصميم.

من العوامل ذات الأهمية الكبيرة في تحقيق تلك الوصلات ما يلي:

- نقل الأحمال (ارتكازاً وتقييداً)
- استمرارية الأداء البيئي [العزل الحراري والإضاءة والتهوية...]
- استيعاب الحركة (الناجمة عن تفاوتات متأصِّلة في المادة)
- تسامحات التصنيع والتجميع (تفاوتات مستحثّة)
- أدوات التجميع وتسلسله وما ينطوي عليها من مخاطر على الصحة والسلامة

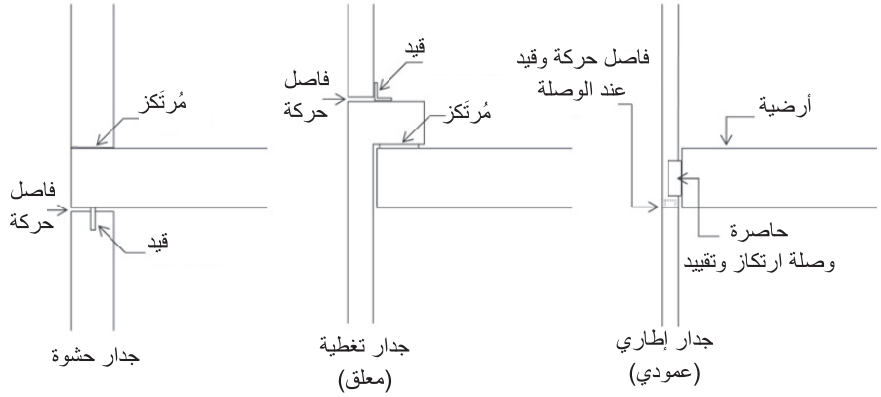
نورد في ما يلي مناقشة عامة لكل من هذه العوامل، وسوف نغطي تطبيقاتها في منظومات معينة في الفصل 29 عندما نناقش خيارات جدران الغلاف الخارجية.

نقل الأحمال (ارتكازاً وتقييداً)

يجب توفير الارتكاز لضمان أن وزن الجدار (الحمل الساكن) قد نُقل بأمان إلى الأساسات، وهذا شرط أساسي لاستقرار المبنى. أما التقييد فيتعلق بالقوى الأفقية، وخاصة أحمال الريح. وثمة أحمال عَرَضية أيضاً، من مثل تلك التي تنجم عن الانفجارات.

من الممكن تصوُّر الجدار الخارجي مرتكِزاً على أساسه مع تقييد أو تربيط يوفِّره الهيكل على فواصل ملائمة على كامل ارتفاع الجدار على مسافات مناسبة. وفي حين أن هذا الخيار يُستعمل غالباً لأي جدار ثقيل في المباني الصناعية الوحيدة الطابق، فإن جدران الطوابق المتعددة تنقل أحمالها الساكنة عادة إلى الهيكل في كل مستوى طابقي.

وإذا كان من الضروري توفير الارتكاز والتقييد عند كل مستوى طابقي، وجب أن تُصمَّم الوصلة بين عناصر الغلاف والبنية بحيث تنقل هذه القوى. ويجب أن تضمن الوصلات استقرار جدار الغلاف، وأن تنقل الأحمال إلى البنية. وتعتمد طبيعة هذه الوصلات على السلوك الإنشائي للجدار. فإذا كان الجدار مبنياً من لبنات أو كان كتلة واحدة، امتلك مقاومة كمقاومة لوحة تمتد بين العوارض والأعمدة، إلا أن ذلك يقتضي وجود تدعيم إضافي بأعمدة تُعرف أحياناً بأعمدة الريح وتعمل على نقل قوى الريح إلى البنية، لكنها لا تحمل الأحمال العمودية من المبنى كالأعمدة الحقيقية. يبين الشكل 1.24 مخططاً بيانياً لوصلة من هذا النوع لجدار حشوة (infill wall) مع البنية الإنشائية (الأرضية محشوة بين جزئي الجدار العلوي والسفلي). وتتبيَّن فيه أبسط تشكيلة لعنصر الجدار الإنشائي وهو مرتكِز على حافة عارضة هيكل المبنى [امتداد الأرضية]. ومن الممكن تصوُّر جدار الحشوة هذا بوصفه عنصر واجهة، إلا أنه يترك العارضة مكشوفةً للبصر. ومن الممكن إضافة مكوِّنات للارتكاز في مقدمة العارضة لجعل الطبقة الخارجية من الجدار تغطي العارضة وتجعل مادة الواجهة مستمرة. ومن الممكن أيضاً استعمال جدار الحشوة لتوفير تدعيم خلفي لصيغة ما من مادة الواجهة. وفي جميع هذه الحالات ثمة حاجة إلى قيد عند أعلى الجدار يوضع عادة على الجانب السفلي من العارضة أو الأرضية، ويُترك فاصل حركة للأسباب التي سوف نناقشها لاحقاً. وثمة حاجة إلى القيد أيضاً على مسافات على طول الجدار بين الأعمدة وأي أعمدة ريح متوافرة.



الشكل 1.24 خيارات نقل الأحمال من الغلاف الخارجي إلى البنية.

ويُري الشكل 1.24 أيضاً جداراً مبنياً مما يُعرف عادة بلوحات التغطية. تُعلَّق اللوحة المسبقة التشكيل عادة أو ترتكز على العارضة. وتُقيَّد اللوحات الكتفية (spandrel panel) (ليست كاملة الارتفاع) على الأعمدة أو أعمدة الريح القصيرة، في حين أن اللوحات التي يساوي ارتفاعها ارتفاع الطابق فتُقيَّد مع العوارض ومع اللوحات المجاورة لها. أما الخيار الثالث المبيَّن في الشكل 1.24 فهو إطار لتدعيم عناصر الجدار التي لا تمتد بين عناصر المبنى الإنشائية، ولذا تحتاج إلى تدعيم وسيط. في هذا النوع من الجدران، يوجد الملتقى بين البنية والإطار الذي لا يحتاج إلى ارتكاز مستمر كذاك الذي تحتاج إليه جدران الحشوة ولوحات التغطية. تأخذ هذه الوصلات النقطية على الأرجح شكل حاصرة تستطيع تثبيت الإطار ونقل الأحمال إلى البنية.

استمرارية الأداء البيئي

يؤدي جدار المبنى الخارجي كثيراً من الوظائف البيئية التي يمكن أن تتدهور عند الوصلات بين الغلاف والبنية الإنشائية. ومن تلك الوظائف مقاومة العوامل الجوية، خاصة حول مانعات تسرب الرطوبة إذا كان عنصر الجدار الأساسي مثبَّتاً على البنية على غرار تثبيت الجدار ذي الفجوة. في هذه الحالة يعتمد منع تسرب الرطوبة على وجود الفجوة، وإذا حصل خرق لها، وهذا ما يحصل غالباً، وجب استعمال صوانٍ للفجوة مع ثقوب للتصريف. وإذا كان منع تسرب الرطوبة معتمداً على منظومات جدارية، منها الجدران ذات الحاجز المطري، وجب الانتباه إلى إنهاءات الوصلات مع الجدار الحامل للحاجز المطري التي تصبح جزءاً من إنهاءات المنظومة الجدارية.

وحين تحليل وصلة الملتقى مع البنية، يجب النظر في جميع أوجه الأداء البيئي. في حالة الجدران ذات قيم العزل الحراري الكبيرة، إذا جعلت الوصلة الإنشائية الجدار والبنية قريبين جداً من بعضهما، كان ثمة احتمال لنشوء جسر حراري يؤدي إلى تخفيض مستوى الأداء الحراري الكلي. ولذا قد يكون من الضروري النظر في مثبِّتات تُبعِد الجدار عن البنية للسماح بوضع عازل في الفجوة بينهما. ومن الجوانب البيئية الأخرى التي يمكن أن تتدهور بالجساءة اللازمة للوصلات الإنشائية أو بالفجوة بين الجدار والبنية مسارات انعراج الصوت الجانبية. ويكون هذا واضحاً جداً حينما تنشأ فجوات في منظومات، مثل جدران الزجاج الإنشائي.

استيعاب الحركة (الناجمة عن التفاوتات المتأصِّلة)

تتطلَّب الوصلات الإنشائية بالتأكيد وجود بعض نقاط التثبيت التي تجعل الحركة النسبية غير ممكنة. وأي تغيُّر في الأبعاد أو الموضع ضمن البنية سوف يضغط على الجدار، فإذا كان الجدار مقيَّداً، ولَّد ذلك إجهادات في الجدار والبنية، وأهم من ذلك، في الوصلة نفسها.

تنجم التغيُّرات أو الحركات التي تحصل في البنية والجدار عن مصادر مختلفة، ويمكن أن تحصل في اتجاهات مختلفة مؤدية غالباً إلى تضخيم للحركات النسبية. وتنشأ الحركات والتشوُّهات الإنشائية في المقام الأول من التحميل. فالعارضات تتقوَّس، والأعمدة تصبح أقصر. ومع أن معظم هذه الحركات تحصل حين تطبيق الأحمال، وتمثِّل مشكلة فقط إذا طُبِّقت الأحمال بعد صنع الوصلات، فإن بعض الحركات تحصل على مرور الزمن. فكثير من هبوطات الأساسات يحصل بعد مدة، وتزحف الخرسانة مع الوقت حتى لو كان الحمل ثابتاً. وقد لا تحصل التشقُّقات أو الانكسارات في الوصلات فوراً، بل قد تظهر على شكل انهيارات في وقت ما من المستقبل بعد تشغيل المبنى.

وتحصل في أبعاد الجدار تغيُّرات بسبب العوامل البيئية بالدرجة الأولى، وقد تحصل تغيُّرات في بعض المواد أيضاً ترتبط بالزمن، مثل ما يحصل للبنات الآجر والخرسانة التي تستغرق مدة وهي تتمدد (في حالة الصلصال) أو تنكمش (في حالة الخرسانة)، ويمكن أن تستمر في ذلك بعد تركيبها إذا استُعملت بعد تصنيعها مباشرة وقبل جفافها جيداً. وهنالك مخاطر إضافية إذا غُطِّي إطار من الخرسانة بآجرات صلصالية. فالإطار ينكمش في حين أن الآجر يتمدد. ولذا ثمة حاجة إلى وصلات تمدُّد توضع مباشرة تحت الآجرات في كل مستوى طابقي.

وتشتمل التغيُّرات البيئية أيضاً على كل من تغيُّرات الرطوبة ودرجة الحرارة التي تؤثِّر في مواد الإكساء والتغطية بصورة خاصة. وتنجم تلك التغيُّرات من التعرُّض لأشعة الشمس، ويحصل أكبر ضرر في الجهة الجنوبية حيث تولِّد الأشعة الشمسية درجات حرارة سطحية أعلى كثيراً من درجة حرارة الهواء المحيط. وتتصف المواد المختلفة بخواص مختلفة من حيث تفاوتات الأبعاد المتأصلة فيها. فتمدد المعادن حرارياً، خاصة في المقاطع الرقيقة التي تسخن بسرعة، يحتاج إلى عناية في أثناء إنهاء الواجهات ذات المساحات الكبيرة. فالحركات التي تحصل

حينئذ نتيجة للتمدد يمكن أن تكون كبيرة على طول الجدار وفي ما بين وصلات الملتقى والأرضية.

تسامحات التصنيع والتجميع (تفاوتات مستحثّة)

تُعتبر الوصلة بين الجدار والبنية نقطة تجميع رئيسية في عملية البناء. وتُنتَج البنية غالباً بعملية مختلفة عن عملية إنتاج مكوِّنات الجدار، من الأطر التي تُصنع محلياً حتى الجدران اللوحية الكبيرة المسبقة الصنع. وتأثير تلك العمليات في إمكان تحقيق التسامحات المقرَّرة لأبعاد تلك المكوِّنات كبير، ولذا يجب استيعاب الفروقات الناجمة عن التصنيع في الوصلات. فيجب تثبيت الجدار مع الهيكل بطريقة تحافظ على استقامة وشاقولية وأفقية الجدار وتضمن توافق مكوِّنات الجدار معاً لتحقيق وظائفه المختلفة.

وثمة في الفصل 4 مناقشة لنهج تحديد التسامحات ومواصفات الوصلات، إضافة إلى أهمية إنهاءات المثبِّتات بحيث تسمح بتجميع المكوِّنات وضبطها.

موارد التجميع وتسلسله ومخاطره على الصحة والسلامة

تُعتبر الوصلات بين الجدار والبنية، بوصفها نقاط رئيسية في التجميع، جوهرية لكثير من الأعمال التي تُجرى في الموقع. وتوجد الوصلات أيضاً عند حواف المبنى، وغالباً على ارتفاعات عالية. وهي قد تشتمل على مكوِّنات كبيرة وثقيلة وصعبة التداول أحياناً، وقد تكون هشة وقابلة للكسر. وهذا يمكن أن يمثِّل تهديداً فعلياً لصحة العاملين وسلامتهم، ولذا يستدعي استعمال مساعِدات إنتاج مؤقتة وروافع كبيرة. وتُحدِّد تفاصيل الملتقى تسلسل العمليات، والأمكنة التي يجب أن يقف عليها العاملون لصنع الوصلات، والاتجاه الذي يجب أن تُجلب منه المكوِّنات إلى مواضعها بغية تثبيتها. وكل ذلك يؤثِّر في تكاليف إجراءات الأمان ومساعِدات العمل المؤقتة، وفي مدة إنجاز العمل والوصول به إلى مرحلة الوصلات الآمنة المستقرة، مع تقليص الحاجة إلى العودة لاستكمال الأعمال لاحقاً ما أمكن.

لا يمكن التعويض عن التفاصيل الضعيفة المتعلقة بالحاجة إلى الموارد بواسطة الإدارة الجيدة في مرحلة الإنتاج. إن تلك التفاصيل هي التي تحدِّد خيارات الموارد وتسلسل التنفيذ. لذا، فإن تحليل عملية التجميع في مرحلة التصميم

وتعديل تفاصيل هذا الملتقى يمكن أن يُسهما إسهاماً كبيراً في أمان عملية التجميع وتقليص تكلفتها.

ملتقى البنية والخدمات

اتصف ملتقى الخدمات والبنية الإنشائية دائماً بأنه مسألة أمكنة وتثبيت. وأكثر الأمكنة ملاءمة للتوزيع الأفقي لتمديدات منظومات الخدمات في الطابق هي تلك الموجودة تحت أرضيته وفي سقفه. ويؤدي ذلك إلى تأثيرات متبادلة بينها وبين بنية الطابق، وخاصة العوارض منها. فإذا مرت جميع تمديدات الخدمات تحت العوارض، وجب أن تكون منطقة الأرضية عميقة، خاصة إذا اشتملت التمديدات على مجاري هوائية. أما في حالة البلاطات المسطَّحة، حيث لا توجد جوائز تحت الوجه السفلي من البلاطة، فتكون منطقة تمديدات الخدمات ظاهرة. وحيثما وُجِدت جوائز فولاذية متدلِّية من السقف، أمكن استعمال ثقوب فيها مصنَّعة خصيصاً لهذا الغرض، مع أن ارتفاعات هذه العوارض أكبر من ارتفاعات العوارض الشائعة. أما في حالة تلك المقاطع العرضانية الشائعة، فيمكن فتح ثقوب فيها شريطة الانتباه إلى مواضعها ومقاسات أقطارها [انظر الشكل 5.17]، خاصة في أماكن إجهادات القص الشديدة حيث تكون ثمة حاجة إلى صلابة في الوَتَرة.

يحصل التوزيع العمودي لتمديدات الخدمات بعيداً من أمكنة المبنى التي يمكن استعمالها لأغراض أخرى. ويحتاج التوزيع العمودي أيضاً إلى ثقوب أو فتحات في الأرضيات، وتكون تلك الثقوب عادة قريبة من الأعمدة حيث يكون المكان غير قابل للاستعمال لأشياء أخرى. وقد يستدعي هذا إحداث فتحات في مناطق ذات إجهادات قص شديدة، ويؤدي إلى بعض الصعوبات في الإنهاء، ومن أمثلتها ما يحصل في بعض أنواع الأرضيات المسبقة الصب.

ومن الجوانب الهامة أيضاً في هذا الملتقى بين البنية والخدمات الحاجة إلى تثبيت مكوِّنات منظومات الخدمات، إضافة إلى مشكلات التحميل التي هي أكثر أهمية. فمعظم منظومات الخدمات يضيف إلى البنية قليلاً من الحمل، إلا أن بعض مكوِّناتها يمكن أن يكون كبيراً وثقيلاً، وفوق ذلك، يجب وضعه في السقف من وجهة النظر الخاصة بتصميم الخدمات.

وتشير مناقشة في مقطع سابق عن التصميم غير النشط إلى أنه يمكن استعمال البنية بفاعلية بوصفها سعة حرارية لتجميع الحرارة في أثناء النهار، وإطلاقها في

الليل. وهذا مثال آخر للتأثير المتبادل بين العناصر الرئيسية التي يجب النظر فيها في مراحل مبكرة من التصميم حين تحديد الخيارات التقانية العريضة.

الخلاصة

1. يتصف ملتقى الغلاف والخدمات بـأنه مفاهيمي من حيث الجوهر ويجب النظر فيه باكراً جداً في عملية التصميم.
2. يهتم هذا الملتقى بالكسب والفقد الحراريين اللذين يحصلان عبر الغلاف، ويجب أن يكون ثمة مصدر موازِن لهما من الخدمات للحفاظ على جو داخلي صحي ومريح.
3. وفي حين أن اجتماع البنية الإنشائية غير النشطة مع الخدمات النشطة يتطلب دائماً وجود توازن بينهما للحفاظ على البيئة الداخلية، فإن ظهور التصميم غير النشط جعل من تحليل التأثيرات المتبادلة بينها عالي الأهمية.
4. يتصف ملتقى الغلاف والبنية بأنه وصلة مادية يجب وضع تفاصيلها في مرحلة التصميم التفصيلي.
5. ليس ملتقى الغلاف والبنية هاماً للأداء، من حيث نقل الأحمال والسلوك البيئي واستيعاب الحركات، فحسب، بل هو وصلة رئيسية تُحلُّ بواسطتها مشاكل الإنتاج الخاصة بالموارد والصحة والسلامة والتسامحات.
6. يتجلى ملتقى البنية والخدمات بالحاجة إلى أمكنة لمنظومات الخدمات في الأرضيات في المقام الأول، وتبرز تحدِّياته حين استعمال بلاطات للأرضيات، وفي مواضع الأعمدة التي يمكن أن تؤثِّر في التوزيع العمودي لتمديدات الخدمات.
7. يهتم التصميم غير النشط الآن بالكتلة الحرارية التي يمكن أن تتحقَّق بمكوِّنات إنشائية.

الفصل الخامس والعشرون

الهياكل الإنشائية

نُقدِّم في هذا الفصل أداء الهياكل الإنشائية وتنفيذها وإنتاجها. يتكوَّن الهيكل من أعمدة وعوارض وبلاطات لحمل المبنى وشاغليه، وعناصر لمواجهة الريح وتحقيق استقرار البنية برمتها. لقد طُوِّر هذا النمط البسيط باستعمال مادتي الفولاذ والخرسانة اللتين يمكن التحكُّم في جودتيهما، واللتين تتصفان بمتانة عالية وتُستعملان في جميع أنواع الهياكل الكبيرة. وننظر في أداء الخرسانة المسلحة، وفي إنتاج الهياكل المسبقة الصب، وفي تلك التي تُصب في الموقع. وقد اعتمدنا هذا النهج أيضاً في تحرِّي طبيعة هياكل الفولاذ الإنشائي وصيغها وأدائها وعمليات إنتاجها. ونختتم الفصل باستقصاء صيغة إنشائية تقوم على التصميم الشامل للهياكل الإنشائية ومكاملتها مع عناصر المبنى الأخرى.

تطوير المواد والخيارات الإنشائية

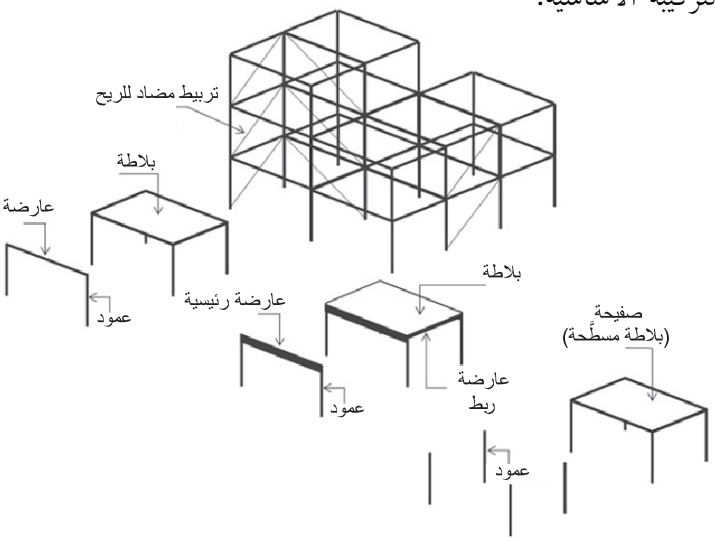
اعتمد نجاح بنى الهياكل الإنشائية في الحقبة الحديثة على تطوير مادتين عاليتي المتانة ويمكن التحكُّم في جودتهما، هما الفولاذ والخرسانة. وبالفعل، فإن معظم الجدل الدائر حول اختيار الهياكل الإنشائية ليس بخصوص كون الهيكل هو الخيار الإنشائي الصحيح للمبنى أم لا، بل بخصوص المادة التي يجب أن يُبنى منها. هل هي الخرسانة أم الفولاذ؟

وفي الواقع، فإن استعمال الكلمتين "فولاذ" و"خرسانة" للهياكل مضلِّل قليلاً، لأن كل الهياكل تقريباً تتكوَّن من خرسانة وفولاذ. تُستعمل هاتان الكلمتان غالباً بوصفهما اختصاراً لعبارتي هياكل الفولاذ الإنشائي والخرسانة المسلحة المصبوبة محلياً. إلا أن هاتين الكلمتين مفيدتان من حيث إنهما تعطيان دلالة واضحة على نوع عملية الإنتاج المستعملة. إن من المفضَّل رؤية الهياكل موصَّفة بعملية

الإنتاج، فهذا يعطي دلالة جيدة على العلاقة بين العناصر الإنشائية، ومن ثَمَّ على السلوك الإنشائي للهيكل، وعلى تجزئة التكلفة بينها أيضاً. وعلى هذا الأساس، توجد صلة قوية بين الفولاذ الإنشائي والخرسانة المسبقة الصب. ففي إنتاج الوصلات بين العوارض والأعمدة وسلوكها الإنشائي، تُعتبر الخرسانة المسبقة الصب شبيهة جداً بالفولاذ مقارنة بالخرسانة المصبوبة محلياً من حيث المواد (الفرق الوحيد هو مقاومة النار، فلكلا نوعي الخرسانة معيار التصميم نفسه من هذه الناحية).

مكوِّنات الهيكل ـ العوارض والبلاطات

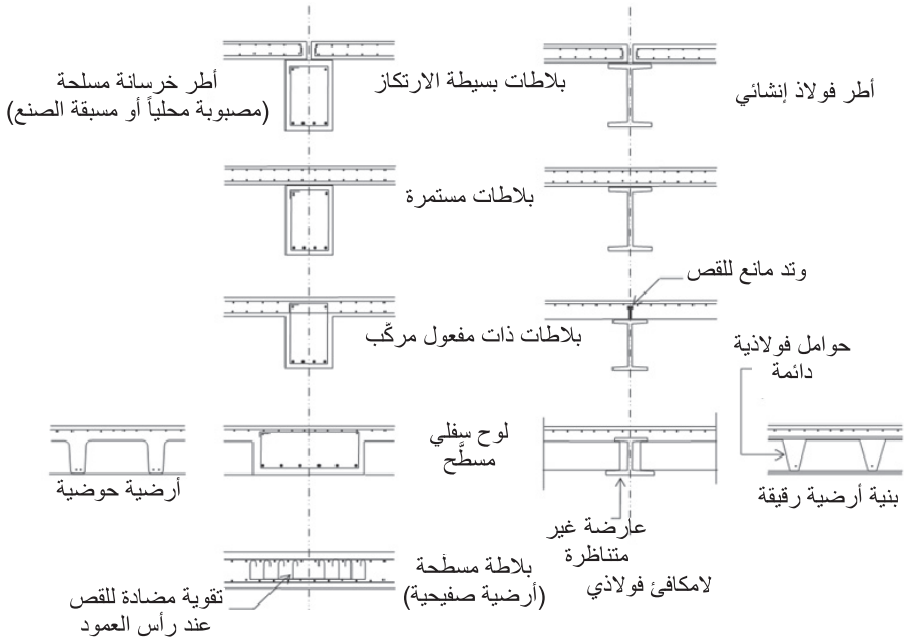
يقترن مفهوم الهيكل الإنشائي باستعمال عوارض وبلاطات لتكوين بنية ذات مجاز تمثِّل أرضية، ثم بأعمدة (وأحياناً جدران) تنقل الأحمال العمودية إلى الأساسات. وثمة ضرورة أيضاً لعنصر ما لتحقيق استقرار الهيكل في مواجهة الريح. وتمثِّل العوارض التي تمتد عادة بين الأعمدة هياكل يمكن تكرارها أفقياً عبر المبنى لتكوين مرتكزات لبلاطات الأرضيات، وعمودياً لتكوين العدد المطلوب من الطوابق في المبنى. وتكون تلك الهياكل المستطيلة (إذا كانت ذات وصلات مفصلية) غير مستقرة في مواجهة التخلُّع الناجم عن الريح، وفي مواجهة الانهيار الدوراني لكامل الهيكل، ولذا يجب تثبيت بعضها على طول ارتفاع المبنى، ويجب نقل قوى الريح الأفقية عبر الطوابق إلى تلك المناطق المستقرة. ويبين الشكل 1.25 هذه التركيبة الأساسية.



الشكل 1.25 الصيغة والمكوِّنات الأساسية للهيكل الإنشائي.

ما زالت الهياكل الإفرادية، التي تمثِّل الوحدات الأساسية للبنية الكلية، والتي تتكوَّن من عوارض وأعمدة، صالحة لوصف الهياكل الإنشائية المصنوعة من عناصر إنشائية مسبقة التشكيل من الفولاذ الإنشائي والخرسانة المسبقة الصب. أما الخرسانة المسلحة التي تُصب محلياً فيمكن الآن أن تُستعمل صفيحة لأرضية البنية. ووفقاً لما يوحي به الاسم، لا توجد الآن عوارض، بل بلاطة واحدة مسلَّحة تعمل على شكل صفيحة واحدة محمولة على الأعمدة. وحينئذ، تؤدي مساحة المقطع العرضاني الصغيرة نسبياً للعمود الحامل للبلاطة قوة قص ثاقب شديدة حول رأس العمود، إلا أن مكوِّنات مجمَّعة مقوَّاة متخصصة ومسبقة التشكيل تمكِّن من تحقيق تثبيت وإنهاء يعطي حول الرأس صفيحة مستوية فعلاً. ومع أن هذه الصيغة تسمى أرضية صفيحية في كثير من من أنحاء العالم، فإنها تُعرف في بريطانيا عادة بالبلاطة المسطَّحة، وهي مبينة في الشكل 1.25 أيضاً.

ومع أن الأرضية الصفيحية تُعتبر صيغة جديدة كلياً لتحقيق عنصر مجاز للمباني الهيكلية، يمكن أيضاً اعتبارها تطوُّراً منطقياً للتراكيب الممكنة للوصلات الإنشائية بين العوارض والبلاطات، وفقاً للمبيَّن في الشكل 2.25.



الشكل 2.25 وصلات إنشائية بين العوارض والبلاطات.

في الحالة الأولى، ترتكز بلاطتان ببساطة على العارضة. وتعمل هذه العناصر، التي هي من الخرسانة المسبقة الصب على الأرجح، كل على حدة. ولعل هذه التشكيلة أبسط التشكيلات من حيث التحليل والتصميم الإنشائيين، وهي تتطلب أبسط الوصلات والمثبِّتات في حالة تشييد البنية من عناصر مسبقة التشكيل. إلا أنها تتطلب عناصر إنشائية كبيرة نسبياً. لكن هذا لا يعني بالضرورة أنها أغلى الحلول، لأن بساطة الوصل والتثبيت والإنهاء تؤدي إلى تقليص في التكلفة يفوق الزيادة في ثمن مواد العناصر الإنشائية.

والمتطلَّب الثاني هو توفير استمرارية إنشائية في البلاطة. وهذا يقلِّص القوى في مركز مجاز البلاطة (التدلِّي) إلا أنه يستحث قوى فوق مرتكَز العارضة (تحدُّب) حيث توجد قوى شد حانية في أعلى البلاطة وقوى ضغط في أسفلها. وهذا يمكن أن يقلِّص سماكة البلاطة لكنه يتطلَّب تثبيتاً مع العارضة لضمان مفعول الاستمرارية ومقاومة قوى التقوُّس. وهذه الاستمرارية أسهل تحقيقاً في بعض الحلول منها في غيرها. ففي حالة الخرسانة المصبوبة محلياً، تتحقَّق الاستمرارية تلقائياً، إلا أنه يجب استعمال مثبِّتات خاصة إذا استُعملت بلاطات بسيطة الارتكاز. وفي حالة بلاطات الأرضية المسبقة الصب، يمكن تحقيق الاستمرارية بربط فولاذ التسليح في الطرفين معاً وتغطيته بالخرسانة بطريقة إنشائية.

وفي الحالة الثالثة، جرى ربط البلاطة المستمرة بالعارضة لتحقيق مفعول مركَّب. إن مجازَيْ العارضة والبلاطة الآن متعامدان، وعندما تتقوَّس البلاطة فوق العارضة، تتدلَّى العارضة تحت البلاطة. وإذا كانت البلاطة مرتبطة بالعارضة، أصبحت جزءاً من المنطقة المضغوطة في العارضة، وهذا ما يمكِّن من تقليص حجم العارضة تحت البلاطة. لكن كي ينجح هذا المفعول المركَّب، تجب مقاومة أي قوى قص محتملة بين الجزء السفلي الناتئ من العارضة والبلاطة. وفي حين أن هذا يتحقَّق طبيعياً، إلا أنه في حالة الخرسانة المصبوبة محلياً يجب تفصيله بعناية في حلول الفولاذ الإنشائية التي يشيع فيها استعمال الأوتاد المضادة للقص.

وطُوِّر الخيار الرابع لتشكيلة العارضة والبلاطة، الذي يضمن كلاً من الاستمرارية والمفعول المركَّب، للخرسانة المسلحة التي تُصب محلياً. فالتصميم الذي تكون فيه سماكة العارضة مساوية لسماكة البلاطة يوفِّر فرصة استعمال قوالب سفلية مسطَّحة، وهذا يخفض تكاليف قوالب الصب والمساعِدات المؤقتة ويُقلِّص

مدد التنفيذ. ويُعتبر عدم وجود عوارض ناتئة من الأسفل مزية أيضاً من ناحية توزيع تمديدات الخدمات وتقليص عمق الأرضية الكلي الذي يؤدي إلى تقليص ارتفاع المبنى. ولهذه الأسباب جرى تطوير بنية اللوح السفلي المسطَّح لهياكل الفولاذ الإنشائية التي تُعرف بالأرضيات الرقيقة. لكن يجب أن يكون ثمة حل وسط بين الخرسانة المسلحة المصبوبة محلياً وبين أرضية الفولاذ الرقيقة. فسماكة البلاطة يجب أن تزداد، وهذا يؤدي إلى زيادة وزنها الساكن، ويجب أن تقلَّص سماكة العارضة، فتقل مقاومة التقوُّس الفعالة فيه.

لكن يمكن تخفيض وزن البلاطة السميكة بإزالة خرسانة من المناطق التي تتعرض فيه البلاطة إلى قليل، أو إلى لا شيء، من الإجهاد. وهذا يكون في مركز البلاطة (المحور الحيادي) وفي أسفلها حيث يتحمل الفولاذ قوى الشد. ويجب الاهتمام بتوفير مقاومة للقص في أماكن ارتكاز البلاطة، وبزيادة سماكة التاج لتوفير مقاومة للنار. ومن الطرائق الشائعة لخفض الوزن الساكن، وفقاً للمبيَّن في الشكل 2.25، تكوين أضلاع (أعصاب) على الجانب السفلي من البلاطة. ويتحقَّق ذلك بوضع قوالب حوضية (trough or waffle floor) تحت القوالب المسطَّحة في حالة الخرسانة المسلحة التي تُصب محلياً، وباستعمال حوامل معدنية مسبقة التشكيل لأرضية الفولاذ الرقيقة.

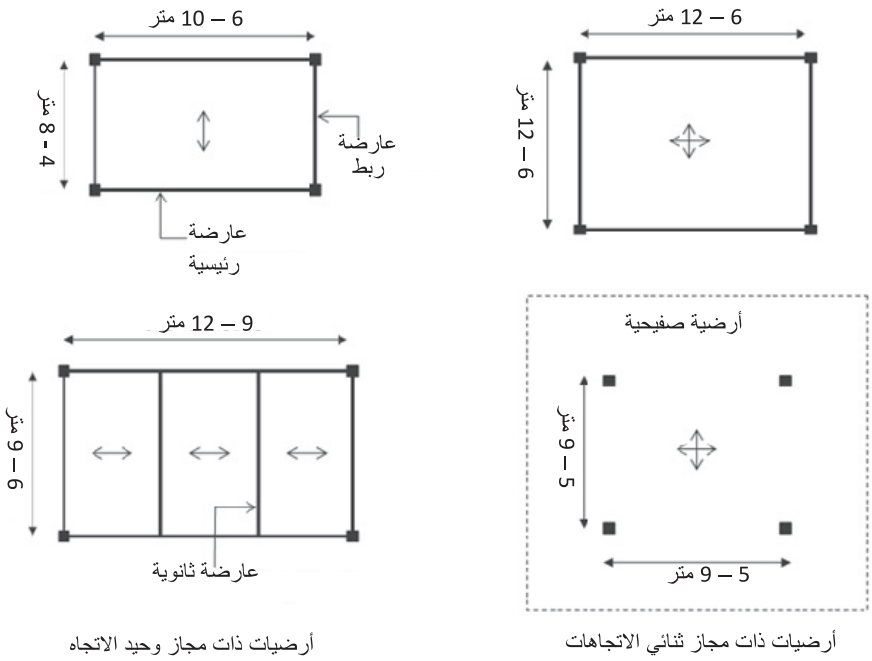
ويجب التعويض عن تقليص سماكة العارضة بزيادة عرضها. إلا أن عرض العارضة أقل كفاءة في مقاومة التقوُّس، ولذا فإن تقليصاً قليلاً للسماكة يتطلب زيادة كبيرة نسبياً في العرض لتوفير عارضة لها نفس خصائص المقاومة والانحراف. وهذا هو سبب كون عرض عارضة الخرسانة المسلحة في تلك التراكيب ذات الألواح السفلية المسطَّحة أكبر من سماكتها. ومع أن هذا ليس الشكل المميِّز للعوارض المستقلة، فإن القالب المسطَّح يقلِّص التكلفة الكلية في حالة الخرسانة التي تصب محلياً. وفي حالة أرضية الفولاذ الرقيقة، فإن الشفة السفلى التي تتعرَّض للشد فقط هي التي يجب أن تكون أعرض (تتحمَّل خرسانة البلاطة جزءاً من القوى الضاغطة في أعلى العارضة) ولذا يُستعمل العارضة غير المتناظر. ويتحقَّق هذا باستعمال مقاطع عادية مع صفائح تُلحَم مع الشفة السفلى، أو باستعمال عوارض مشكَّلة لهذا الغرض. وكلا هذين الحلين يزيد من تكلفة الهيكل الفولاذي.

ويمكن تكوين هذه الصيغة أيضاً من تركيبة العارضة والبلاطة لحالة الخرسانة المسلحة التي تصب محلياً بغية تحقيق مجاز ثنائي الاتجاهات تمتد فيه الأضلاع في الاتجاهين المتعامدين، وتشكِّل المناطق التي لا توجد فيها خرسانة نوعاً من الحوض على الجانب السفلي من البلاطة.

والرسم الأخير في الشكل 2.25 يخص الأرضية الصفيحية حيث لا توجد الآن عوارض في البلاطة. لكن لا يمكن تشييد هذه التركيبة إلا بالخرسانة التي تصب محلياً أو بهياكل خرسانية مركَّبة مسبقة أو محلية الصب. وفي التصميم الإنشائي، تخضع شرائط الأعمدة (column strip) الثنائية المجازات والشرائط الوسطى (middle strip) لإجهادات تقوُّس تشابه تلك التي تحصل في العوارض، إلا أنهما تُصمَّمان وتنفَّذان بوصفهما بلاطات. وتخضع البلاطة إلى قص ثاقب شديد في مكان ارتكازها على العمود، وهذا ما اقتضى في الماضي استعمال رؤوس أعمدة مخروطية أو تسميك البلاطة عند الوصلة مع العمود. وأدى ذلك إلى زيادة تكلفة القوالب. لكن تطوير تقنيات التسليح مكَّن من مقاومة القص باستعمال الفولاذ ضمن البلاطة، وهذا ما جعل قالب صب الخرسانة مسطَّحاً فعلاً. وظهر ذلك بوصفه تصميماً اقتصادياً لهياكل الخرسانة المسلحة التي تُصب محلياً، وسوف نناقشه بمزيد من التفصيل لاحقاً في هذا الفصل.

مخطط الهيكل ـ الأعمدة والجدران

ثمة حدود لتكاليف تحقيق مجازات بتشكيلات من العوارض والبلاطات والأرضيات الصفيحية تقتضي وجود أعمدة داخلية (أو جدران). وقد أدت عملية الإنتاج، ووصلات ومثبِّتات العناصر الإنشائية، إلى اعتماد عدد صغير من الطرائق العامة لتوضيع البلاطات والعوارض والأعمدة، منها تلك المبينة في الشكل 3,25. تقوم مجالات أبعاد المجازات في هذا الشكل على أساس تكاليف التحميل الطبيعي للأرضيات التجارية، وهي مؤشر إلى تلك التكاليف. وكل من المجازات الصغيرة والكبيرة ممكن إنشائياً وفقاً للحاجة.



الشكل 3.25 مخططات شبكات أعمدة تقريبية اقتصادية.

إن أبسط صيغة هي البلاطة ذات المجاز الوحيد الاتجاه التي ترتكز على عوارض رئيسية موصولة مع الأعمدة. لا تأخذ العوارض الموازية لمجاز الأرضية أحمالاً من الأرضية بل تربط الأطر معاً، وقد يكون عليها نقل أحمال الريح الأفقية إلى أجزاء الهيكل موفِّرةً عناصر الاستقرار في مواجهة الريح (يمكن لها أن تعمل عمل غشاء على طول البلاطة).

وتتحدَّد الأبعاد الاقتصادية لهذا التوضُّع بمجاز البلاطة والعارضة اللتين تُمرَّر الأحمال إليهما. وقد كان هذا التوضُّع البسيط أساس الهياكل في أيامها الأولى، عندما صُنعت البلاطات (وما زالت تُصنع) من الخرسانة المسلحة. واستُعمل الصب المسبق أو المحلي لهذه الأرضيات. ومن الممكن في أرضيات الخرسانة الحالية المسبقة الصب أن تكون مجازات الأرضيات أكبر من 10 أمتار بقدر ملحوظ، إلا أن ذلك يؤدي إلى وضع حمل كبير على العارضة التي يجب أن تصبح كبيرةً حينئذ. لكن ضرورة الحدِّ من مقاسات العوارض لأسباب اقتصادية ومكانية تعني عدم إمكان استغلال المجازات الكبيرة لهذه الأرضيات المسبقة الصنع في الهياكل

استغلالاً تاماً. فالحلول الاقتصادية لتشكيلات البلاطات والعوارض تتحقَّق عند مجازات بلاطات تقل عن 8 أمتار مع مجازات للعوارض تساوي نحو 10 أمتار، برغم أن المجازات التي هي أكبر ممكنة. وهذا يقود غالباً إلى توضُّع مستطيل للأعمدة حيث تشكِّل العوارض الرئيسية الجوانب الطويلة من المستطيل. وهذا المخطط شائع أيضاً في هياكل الخرسانة المسبقة الصب.

وتُستعمل في المخطط الثاني المبيَّن في الشكل 3.25 عوارض ثانوية. ما زال المجاز الوحيد الاتجاه مستعملاً في هذه التشكيلة، لكن أحمال البلاطة تذهب إلى عوارض ثانوية تمتد بين العوارض الرئيسية التي تنقل الأحمال إلى الأعمدة. وهذا ما يسمح بمجازات أرضيات أقصر ومجازات عوارض رئيسية أطول، ومن ثَمَّ بفواصل أوسع بين الأعمدة نتيجة لتقليص الأحمال الساكنة من بلاطة الأرضية، وتقليص التحميل النقطي على العوارض الرئيسية. ويحصل أفضل استغلال لهذا المخطط في حالة الأرضيات التي تُصب محلياً وتوفِّر استمرارية فوق العوارض، خاصة إذا أمكن تحقيق مفعول مركَّب مع العارضة أيضاً. وقد أصبحت هذه الصيغة شائعة في هياكل الفولاذ الإنشائية ذات الحوامل المعدنية التي تعمل بوصفها قوالب صب دائمة لبلاطات الأرضيات والأوتاد المضادة للقص لتحقيق المفعول المركَّب. وسوف نناقش ذلك بالتفصيل في ما بعد في هذا الفصل.

ويتضمَّن المخطط الثالث بلاطة ذات مجاز ثنائي الاتجاهات. بنقل الأحمال إلى الجوانب الأربعة حيث تصبح جميع العوارض الأربعة عوارض رئيسية، يمكن استعمال عوارض أصغر حيث يمكن تحقيق مخطط مربع للأعمدة. إن تحقيق بلاطات ذات مجازات ثنائية الاتجاهات سهل نسبياً باستعمال خرسانة تُصب محلياً مع تسليح رئيسي في الاتجاهين. وسوف نناقش لاحقاً في هذا الفصل استعمال الأضلاع في تصميم الأرضيات الحوضية التي تحقِّق مجازات تساوي 12 متراً.

ويبيِّن المخطط الرابع الأرضية الصفيحية المسطَّحة التي لا يمكن تحقيقها إلا بالخرسانة التي تُصب محلياً. وفي حالة الصفيحة ذات المجاز الثنائي الاتجاهات، تؤدي المجازات التي تساوي نحو 8 أمتار إلى سماكة بلاطة تساوي نحو 300 مم للتحميل المكتبي، مع تحمُّل للنار مدة ساعة كاملة، وتتطلب أعمدة داخلية ذات مقاطع مربعة طول ضلع الواحد منها يساوي 350 مم.

ومع أن تلك المخططات المبيَّنة في الشكل 3.25 تتَّخذ أشكالاً مستطيلة، إلا

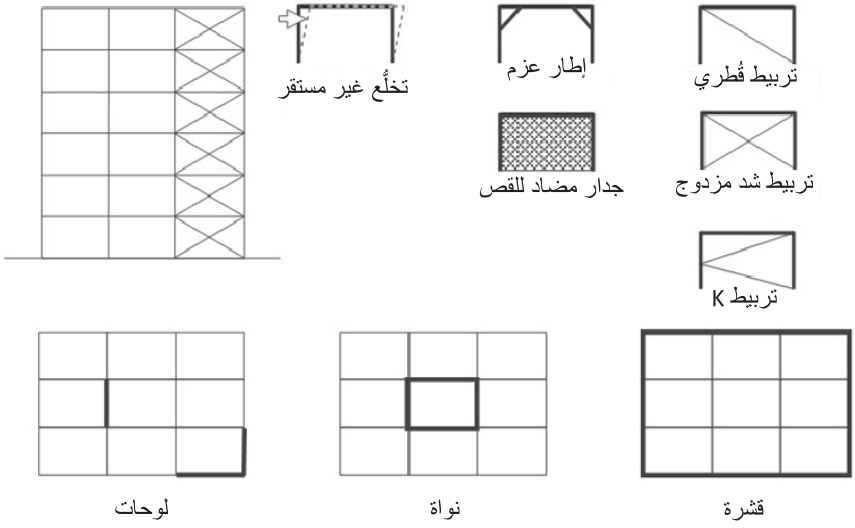
أن المخططات المنحنية وحتى غير المنتظمة ممكنة أيضاً. ويمكن استعمال أبعاد للشبكة غير المنتظمة كما لو كان المخطط الأساسي مربعاً. لكن انخفاض تكلفة الإنتاج الذي ينجم عن التكرار عادة محدود هنا، وقد يكون ثمة إمكان لظهور أخطاء. وتتطلب المخططات غير المستطيلة تحليلاً إنشائياً أعمق وتفاصيل غير قياسية تزيد من تكاليف التصنيع، إلا أنها قد تكون ضرورية في الأماكن المقيَّدة بأشكال غير منتظمة. أما الأشكال المنحنية فقد كانت دائماً ممكنة باستعمال الخرسانة التي تُصب محلياً، حيث من السهل نسبياً تشكيل الحواف المنحنية. وقد مكَّنت العمليات الحديثة لحني مقاطع الفولاذ الإنشائي من تحقيق هياكل فولاذية منحنية أيضاً.

ومن الصيغ الأخرى لتشكيلة الهيكل تضمينه أظفاراً (cantilever) [جسر كابول] عند حافة المبنى. وأفضل طريقة لتحقيق ذلك هي استمرارية العارضة والبلاطة بين المجازات الداخلية والظفر لدرء تكوُّن وصلة عزم (moment connection) مع العمود. وتعتمد تكلفة الظفر على نسبة المجاز الداخلي إلى طول الظفر. وتعطي الأظفار عند طرفي عارضة داخلية بطول يساوي نحو ثلث المجاز الداخلي مزية إنشائية بتقليصها لعزم الحني في مركز المجاز، لكنها تولِّد عزوم حني كبيرة فوق مناطق الارتكاز. يمكن استعمال الأظفار لتحقيق بروزات في أرضيات الطوابق التي تقع فوق الطابق الأرضي أو ربما لتكوين حافة ناتئة من أرضية ذات شبكة داخلية مستطيلة. وثمة خيارات تثبيت متنوعة متوافرة للأظفار المكوَّنة من الخرسانة التي تصب محلياً أو الفولاذ الإنشائي. وفي حالة الخرسانة المصبوبة محلياً، فإن انقطاع الاستمرارية الذي ينشأ طبيعياً يُعوَّض بالتسليح. أما مثبِّتات الفولاذ الإنشائي فتتطلب غالباً تصنيع قطع جديدة لأن الوصلات المعيارية هي في أفضل الأحوال وصلات شبه جاسئة. وهذا ما يزيد تكلفة الهيكل الفولاذي بالتأكيد.

مكوِّنات الهيكل ـ عناصر الاستقرار

ثمة عدم استقرار متأصِّل في الهيكل المصنوع من عوارض وأعمدة (أو صفائح وأعمدة). وفي المقطع السابق كان اهتمامنا بالتشكيلة الأفقية للأرضية الممتدة بين الأعمدة. لكن حين النظر إلى الارتفاع، فإن الشكل الرباعي الجوانب المربوط بأعمدة وعناصر مجازات يكشف عن إمكان حصول تخلُّع، وفقاً للمبيَّن في الشكل 4.25. تنجم القوى التي تولِّد هذا التخلُّع عن الريح، وعن عدم الاستقرار العرضاني الذي يسببه دوران الهيكل برمته نتيجة لأنماط التحميل العمودية

الكلية. وثمة عدد من الطرائق لدرء هذا التخلُّع، وأكثرها استعمالاً في هياكل المباني الإنشائية مبين في الشكل 4.25. وتُصنَّف تلك الطرائق في ثلاث فئات رئيسية.



الشكل 4.25 طرائق التربيط لمواجهة الريح.

الطريقة الأولى هي جعل وصلتين على الأقل جاسئتين، وذلك بتكوين ما يسمى إطار العزم (moment frame). والثانية هي تجزئة الشكل الرباعي الجوانب إلى مثلثات مستقرة، ويسمى هذا تربيطاً. ويمكن هذا التربيط أن يكون قطرياً منفرداً (وحيد القطر)، وحينئذ يعمل هذا التربيط في حالة شد إذا كان تخلُّع الإطار في اتجاه، وفي حالة ضغط إذا كان في الاتجاه الآخر. ونظراً إلى أن هذا العنصر هو عنصر نحيف، فإنه يجب أن يُصمَّم بحيث يتحمَّل الضغط لدرء تحنُّبه جانبياً. أما إذا جرى التربيط في القطرين، فيكفي أن يُصمَّ عنصرا التربيط للشد فقط. حينئذ، ونظراً إلى عدم وجود تحنُّب، يمكن لعنصر التربيط أن يكون نحيفاً جداً، وهذا يعني أنه برغم وجود عنصري تربيط، فإن الحل بكليته أقل تكلفة. يسمى هذا النوع من التربيط في القطرين بالتربيط القطري المضاعف. ومن صيغ التثليث الأخرى ما يسمى بتربيط K، ويتحقَّق ذلك بجعل الوصلة الوسطى مع منتصف العمود (وفق المبيَّن في الشكل)، وإنْ كان من الممكن أن تكون مع العارضة. في هذا التربيط، يكون أحد العنصرين في حالة ضغط، ويكون الثاني في حالة شد، حيث تُفني

القوتان بعضهما في الوصلة الوسطى من دون أن تؤديان إلى انحناء عناصر الإطار. في هذا النوع من التربيط يجب تصميم كلا عنصري التربيط للعمل في حالة الضغط. ومن الواضح أن كليهما أقصر من عنصر التربيط القطري المفرد.

أما في الطريقة الثالثة، فيُملأ الإطار الرباعي الجوانب بجدار مقاومته الطبيعية للتخلُّع تجعل الإطار مستقراً إذا تحقَّق تماس جيد بين الجدار وعناصر الإطار. وفي كثير من الحالات يُستعاض عن الإطار بجدار يتحمَّل قوى التخليع. وتسمى هذه الحلول بالجدران المضادة للتخلُّع.

وإلى جانب الخيار الأساسي لجعل الأطر مستقرة إفرادياً، ثمة حاجة إلى خطة شاملة لتحقيق استقرار هيكل المبنى برمته. فجعل إطار واحد مستقراً لا يجعل المبنى كله مستقراً، إلا أنه ليس من الضروري تزويد جميع الأطر بعناصر استقرار. ومن الضروري اختيار لوحات عمودية من الهيكل لتحقيق الاستقرار في مواجهة التخلُّع على كامل ارتفاع المبنى، حيث تدعِّم اللوحة الأطر المجاورة لها في المستوي نفسه. لذا يجب أن تكون ثمة لوحة أخرى في مسطح آخر معامد للأول لجعل المبنى مستقراً تجاه قوى الريح الواردة من الاتجاهات كلها. وحينئذ تظهر حاجة إلى لوحة إضافية واحدة على الأقل لمقاومة مفعول الدوران العرضاني في الهيكل برمته الناجم عن الوزن الثابت للمبنى وقوى الريح الفاعلة في اللوحة المستقرة التي لها مفعول دوراني أيضاً. لكن يجب ألاّ تكون اللوحة الثالثة على استقامة أي من اللوحتين الأخريين، وإلاّ فإن مفاعيلهما تجتمع معاً في نقطة يمكن أن يحصل دوران حولها. وفي كثير من المباني، لا تكفي ثلاث لوحات للاستقرار، لأن مفعول كل لوحة يقل مع الابتعاد عن المنطقة المستقرة. وفي المبنى ذي الشكل الطويل يجب تحقيق الاستقرار عند كل نهاية لضمان الاستقرار الشامل.

هذا النمط من اللوحات مبيَّن في الشكل 4.25 الذي يُري أيضاً كيفية تحقيق الاستقرار بوضع اللوحات معاً إما في وسط المبنى (نواة)، غالباً في بيت الدرج أو المصعد، أو على سطح المبنى (قشرة)، أي بجعل الجدران الخارجية هي عناصر تحقيق الاستقرار. أما في بريطانيا، فإن خيار النواة هو الشائع.

إن اختيار طريقة مقاومة تخلُّع الهيكل (إطار العزم أو التربيط أو الجدار المقاوم للقص) يعتمد على مادة الإطار وعلى طريقة تحقيق الاستقرار الشامل للمبنى (اللوحة أو النواة أو القشرة). ومن الخيارات الشائعة تربيط اللوحات

(القطري المزدوج) في الهياكل الفولاذية، والجدران الخرسانية المقاومة للقص لأطر الخرسانة المسلحة التي تُصب محلياً. ويمكن استعمال جدران النواة الخرسانية أو النوى المربَّطة بالفولاذ لجميع البنى الهيكلية. أما حلول القشرة التي يمكن أن تتضمن أطر عزم أو واجهة ذات تربيط مزدوج مكشوف، فليست شائعة في بريطانيا.

الحريق وبنية المبنى

من الأشياء الأخرى التي يجب الاهتمام بها حين اختيار الهيكل، مواصفاتُه وتفاصيلُه التي تحافظ على أدائه لوظائفه في أثناء الحريق. من هذه الناحية يختلف الفولاذ عن الخرسانة كثيراً. فمع أن مقاومة كل منهما تنخفض عند درجات الحرارة العالية، فإن الفولاذ يسخن على نحو أسرع ويمكن خلال فترة حدوث حريق في المبنى أن يفقد مقداراً كبيراً من المتانة ومقاومة الخضوع فيه في ظروف التحميل العادية. أما في الخرسانة المسلحة فالحالة مختلفة. فمعظم العناصر الإنشائية كبيرة وسميكة عادة بقدر لا يسمح لكتلة المادة بالسخونة في أثناء الحريق. أما الإخفاق الذي يمكن أن يحصل فهو على الأرجح تفتُّت سطح الخرسانة الذي يكشف عن الفولاذ ويؤدي إلى تفكُّك الرابط بينه وبينها، وإلى تسخينه، وكلا الأمرين يمكن أن يؤدي إلى الإخفاق. يحصل التفتُّت بسبب التغيُّرات الحرارية التفاضلية في حاضنة الخرسانة التي تنجم عن تصميمها. يُضاف إلى ذلك أنه يجب أن تكون سماكة الخرسانة التي تغطي التسليح الفولاذي (التي توصف بأنها الغطاء) كافية للحدِّ من درجة الحرارة العظمى التي يمكن أن يصل الفولاذ إليها في أثناء الحريق حتى لو لم يتفتَّت سطح الخرسانة.

لقد كان ضمان مستوى أداء الفولاذ الإنشائي في مواجهة النار مشكلة دائماً. فالفولاذ المكشوف غير منيع ضد النار، ولذا تكمن حمايته في تغليفه بمادة ماصة للحرارة أو عازلة حرارياً. وقد طُوِّر أخيراً طلاء رقيق يُسمى الغشاء الفقاعي يتمدد بالحرارة فيكوِّن طبقة عازلة حرارية. ويمكن تطبيق هذا الطلاء مباشرة على الفولاذ، أو حتى بخه به قبل توريده إلى الموقع. ومن طرائق التصميم الحديثة طريقة تصميم إنشائي تُعرَف بهندسة الحريق ومرذاذات الحريق تُستعمل لإطفاء الحرائق (كجزء من الخدمات) ضمن المباني والتي تستخدم لتوفير أداء آمن أثناء الحريق. وسوف نناقش هذه الأشياء بالتفصيل لاحقاً في هذا الفصل في سياق مناقشة الهياكل الفولاذية.

تطوُّر الهياكل الأطرية

اتسم تطوُّر الهياكل الأطرية الإنشائية، سواء المصنوعة من الفولاذ الإنشائي أو الخرسانة المسلحة، منذ بداية القرن العشرين بكونه رائعاً من حيث إظهاره للطبيعة المتغيِّرة للتطوُّر التقاني. ولم يقتصر هذا على تطوُّر المعرفة التقانية التي مكَّنت من التصميم والتنفيذ بثقة لتوفير بنية آمنة فحسب، بل اشتمل أيضاً على البيئات التجارية والاقتصادية، وحتى السياسية التي حصلت فيها التطوُّرات التقانية. لكن ذلك خارج إطار اهتمام هذا الكتاب الذي ينظر في عملية اختيار الحلول التقنية في بريطانيا في بداية القرن الحادي والعشرين.

ومن الواضح أن المبادئ الإنشائية الأساسية التي استُعملت لتصميم أولى الهياك الأطرية الإنشائية من الخرسانة والفولاذ بقيت نفسها برغم أن طرائق التصميم قد تغيَّرت. إلا أن ما نعرفه هو أن المواد والتغيُّرات في خبرات التصنيع والتجميع غيَّرت التفاصيل والمواصفات الفنية مع مرور السنين، وما زال ذلك التغيير مستمراً.

سوف نستعمل في هذا الكتاب خواص المواد ذات الصلة بالسلوك الإنشائي وطرائق الإنتاج لنبيِّن تطوُّر بعض الصيغ الأساسية للمكوِّنات وأشكال مقاطعها العرضانية ومجالات مقاسات بعض صيغ الهياكل العامة وفقاً لتوصيفاتها وتفاصيلها في بداية القرن الحادي والعشرين في بريطانيا.

الخرسانة المسلحة ـ الأداء

لا توجد في الخرسانة مقاومة شد ذات أهمية، وهذا يقتضي تزويدها بمادة مقوِّية بهدف استعمالها عنصراً ضمن هيكل. ومادة التقوية تلك يجب أن توفِّر مقاومة شد في العناصر الإنشائية التي تحصل فيها قوى حني أو قص تتضمن مركَّبات شد ملحوظة. لذا كانت الخرسانة المسلحة تركيباً من مادتين لهما خواص متتامة بحيث تحقِّقان خصائص أداء المكوِّن الإنشائي المطلوبة حين عملهما معاً. وكي تعملا معاً يجب أن يكون ثمة رابط بين المادتين بحيث إن أي انفعال يستحث بتطبيق حمل خارجي يولِّد إجهاداً في الخرسانة، فيستحث انفعالاً في مادة التقوية المحضونة فيها مكوِّناً إجهاداً يقاوم الحمل. وأكثر مواد التقوية شيوعاً في الخرسانة هو الفولاذ. في الأصل، كانت التقوية تُجرى بالحديد الطري الذي تُصنع منه قضبان دائرية المقطع ناعمة السطح، إلا أن تطوير الفولاذ ذي مقاومة الخضوع العالية وفَّر مقاطع أكثر اقتصادية، ولذا فإن جميع القضبان الإنشائية الرئيسية تُصنع

الآن على شكل قضبان فولاذية ذات مقاومة خضوع عالية وعلى سطوحها أضلاع صغيرة ناتئة. وتوفِّر الأضلاع الناتئة تماسكاً أقوى بين المادتين لمواجهة الإجهادات الشديدة. أما الحديد الطري فما زال مستعملاً للتسليح في مواجهة القص، وفي قضبان التسليح الثانوية.

ووفقاً لما أشرنا إليه سابقاً، الخرسانة والفولاذ هما الوحيدان اللذان يمكن أن يعملا معاً لتحقيق مقاطع ناجحة، شريطة أن يكون ثمة رابط بينهما. وخاصية الخرسانة الهامة هنا هي انكماشها حين تصلُّدها والتصاقها بالفولاذ، وهذا ما يقوِّي ارتباطهما. هذا يعني أن قضبان الفولاذ يجب ألا تكون قريبة جداً من سطح الخرسانة الخارجي، بل يجب أن تكون مغطاة بها، لذا يجب أن يكون ذلك جزءاً من المواصفات. وإذا حصل خلل في الارتباط بين الخرسانة والفولاذ، أدى ذلك إلى انسحاب قضبان الفولاذ من الخرسانة قبل بلوغ حالة إجهاد الشد الفعال، وينجم عن ذلك تقليص الحمل الأعظمي الذي يمكن أن يتحمله هذا العنصر الإنشائي قبل حصول انهيار فيه. ويحصل ذلك عند نهاية قضيب الفولاذ، لذا يتطلب تثبيتاً لضمان الالتصاق على كامل طوله.

يُحدِّد الآن نوع القضيب ومتانة الخرسانة مقاومة قوة الشد التي يحصل عندها انهيار الرابط، وهذه المقاومة تؤدي إلى ظهور متطلبات تثبيت معينة. يجب الاهتمام دائماً بأماكن انتهاء قضبان الفولاذ. فعند الحواف والمرتكزات، يجب مد قضبان الفولاذ حتى نهاية العنصر، وربما ثني نهايته. وإذا كانت استمرارية العناصر مطلوبة، وجبت مُراكبة قضبان الفولاذ فيها معاً لضمان قوة التصاق كاملة عبر العناصر الإنشائية. وإذا لم يكن تراكب القضبان مرغوباً فيه، وجب استعمال وصلة مادية لضمان ارتباط كامل بين العناصر. وثمة عواقب سيئة أيضاً إذا بُتِرت القضبان عند النقاط التي تتطلب الإجهادات المتناقصة فيها كميات أقل من الفولاذ في مقطع العنصر.

وثمة طريقة أخرى للتغلب على محدودية مقاومة الشد في الخرسانة هي إجهادها مسبقاً بقوة ضاغطة في مناطق الشد المحتملة بحيث إنه حين تطبيق الأحمال فإنها تأخذ هذا الإجهاد المسبق تاركة القوى الضاغطة فقط في الخرسانة. ويتحقَّق ذلك عادة بقوة شد تطبق على أسلاك فولاذية ضمن الخرسانة. حينئذ لا ضرورة لوجود رابط بين الفولاذ والخرسانة إلا إذا شُدَّ الفولاذ مسبقاً (يُطبَّق الشد على الفولاذ ثم تُصب الخراسانة حول الأسلاك، وبعد تصلُّد الخرسانة تُزال قوة

الشد عن الأسلاك). تُستعمل المنظومات المسبقة الشد عادة في المكوِّنات الخرسانية التي تُصنع في المعامل. أما الإجهاد المسبق في الخرسانة التي تُصب محلياً فيعتمد عادة على الشد المؤخَّر، حيث لا يُطبَّق الشد على الفولاذ إلا بعد تصلُّد الخرسانة، وذلك باستعمال خرسانة مقسَّاة لتعليق الأسلاك، وتوفير المقاومة اللازمة لتطبيق الإجهاد المسبق. في هذه الحالة يجب ألاّ يكون ثمة رابط بين الفولاذ والخرسانة، مع أن الأسلاك في بعض المنظومات تُطيَّن معاً بعد تطبيق الإجهاد المسبق لتحسين ديمومتها. ويمكن تطبيق الإجهاد المسبق على نحو مفيد على البلاطات في الصيغ العامة لهياكل المباني، لكننا لن نقدم مزيدا من التفاصيل عن ذلك في هذا الكتاب. والتحليل التالي يخص فقط تثبيت الخرسانة المسلحة.

تقوية المناطق ذات إجهاد الشد

يُستعمل التسليح بالفولاذ لمقاومة قوى الشد داخل العنصر الإنشائي. وتتحدَّد قوى الشد هذه بالتحليل الإنشائي الذي يأخذ في الحسبان التحميل والارتكاز وترتيبات وصل العناصر الإنشائية (انظر الفصل 11). ويتصف الفولاذ أيضاً بمقاومة جيدة لقوى الضغط إذا استُعمل في مناطق الضغط. إلا أن تحليل قوى الشد هو الذي يحدِّد أنماط التسليح في أقفاص الأعمدة والعوارض، وفي حصائر البلاطات والجدران، وهذا ما سوف نناقشه بمزيد من التفصيل في ما يلي.

وإضافة إلى قوى الشد التي تحصل في العناصر الإنشائية نتيجة للتحميل والارتكاز والوصل، تترافق عملية تصلُّد الخرسانة بانكماش يفيد في تكوين قوة التصاق، إلا أنه يستحث أيضاً قوى شد عبر العنصر يمكن أن تؤدي إلى تصدُّع. وفي معظم العناصر المستعملة في الهياكل، يحصل التصدُّع على الأغلب عند السطح لأن التسليح الإنشائي يقاوم قوى الانكماش في كامل العنصر. إلا أن ثمة متطلبات تصميمية لمناطق التسليح الأصغرية يجب أخذها في الحسبان، وهي تخص قوى الشد المستحثة بالانكماش. وأكثر العناصر حساسية لها هي البلاطات والجدران. ففي حالة الصبة الكبيرة، يمكن قوى الانكماش أن تكون كافية لإحداث صدوع عبر العنصر مباشرة. وهذه هي بالتأكيد حالة الأرضيات الصناعية الكبيرة الواسعة المساحة المرتكزة على الأرض مباشرة حيث لا يكون التقوُّس هو المفعول الإنشائي الرئيسي. وثمة مناقشة لهذه الأرضيات في الفصل 28.

ومن الظروف الأخرى التي تظهر فيها قوى شد هي الحريق. إذ يمكن لفروق

درجات الحرارة التي تنجم عن تسخين النار للسطح وبقاء جسم العنصر بارداً نسبياً أن تؤدي إلى تمددات مختلفة في خرسانة السطح والمناطق القريبة من السطح، وهذه تسبب قصاً يمكن أن يفتِّت الخرسانة ويعرِّض الفولاذ إلى تسخين شديد من النار.

المقاطع المتوازنة

تُصمَّم عناصر الخرسانة المسلَّحة بحيث تعطي مقاطع متوازنة. عندما تُطبَّق الأحمال يتغيَّر شكل المقطع وتترابط انفعالات الخرسانة والفولاذ بسبب التصاقهما معاً. وفي المقاطع المتوازنة، تصل المادتان إلى أعلى إجهاد عامل آمن تصميمياً. وهذا يعطي مقطعاً اقتصادياً تُستعمل المادتان فيه بأعلى إمكاناتهما. عملياً، ليس من المرغوب فيه تحقيق مقاطع تامة التوازن. فالمهم هو ضمان أنه إذا حصل إخفاق في المقطع، فإن عدم التوازن يؤدي إلى إخفاق في الفولاذ. ويكمن سبب ذلك في اختلاف نمطي الإخفاق في المادتين. فبالعودة إلى منحنيات الإجهاد والانفعال (انظر الفصل 11)، نجد أن الخرسانة تُخفق نتيجة للهشاشة، أما الفولاذ فيُخفق بالخضوع، وهذا يؤدي إلى إخفاق مرئي قبل حصول الانهيار الفعلي.

توافق المواد مع مرور الزمن

بعد تحرِّي أنماط الإخفاق الإنشائية الأساسية التي تنجم عن التحميل، يجب استقصاء توافق المواد المكوِّنة للعناصر المركَّبة، ويتحقَّق ذلك بتحليل سلوك البنية الإنشائية مع مرور الزمن. إن التحليل يجب أن يضمن عدم حصول أي تفاعل كيميائي بين مادتين يمكن أن يخفض خواص إحداهما أو يُخرِّب الرابط بينهما. وهذا التحليل ضروري بوصفه جزءاً من تقييم ديمومة ومتانة البنية.

يمكن الفولاذ أن يصدأ ويهترئ، والصدأ بوصفه ظاهرة سطحية، يمثِّل تهديداً للرابط بين الفولاذ والخرسانة. لكن عندما يغطَّى الفولاذ بالخرسانة، يكتسب حماية من البيئة القلوية التي تنجم عن الجير الحر الذي يتكوَّن في تفاعل هدرجة الإسمنت. وتتوقَّف أكسدة الفولاذ عند قيم عامل الحموضة (potential of Hydrogen pH) العالية التي تظهر في الخرسانة المصنوعة من إسمنت بورتلاند العادي. لكن قيم عامل الحموضة، التي تكون عالية في الخرسانة الحديثة التصلُّد، تتناقص مع مرور الوقت حين التعرض للهواء من خلال عملية الكربنة. ويحصل

ذلك في البداية عند سطح الخرسانة، ومع تغلغل الهواء فيها، يزداد حجم الطبقة المكربنة. وإذا وصلت هذه الطبقة إلى الفولاذ، اختفت الحماية من الأكسدة (الصدأ) وازداد احتمال تفكُّك الرابط بين الخرسانة والفولاذ. وتتحدَّد الحماية من الكربنة بالتحكُّم في بُعد الفولاذ عن سطح الخرسانة، الذي يسمى الغطاء، وبنفوذية الخرسانة للهواء. إن سماكة غطاء الخرسانة اللازمة لحماية الفولاذ أكبر عادة من تلك الضرورية لتحقيق قوة الربط، ولذا فإنها هي التي تحدِّد المواصفات من هذه الناحية. من ناحية أخرى، يُعتبر الغطاء هاماً أيضاً في مقاومة النار (وفقاً لما ورد آنفاً)، ولذا يمكن أن يكون هو محدِّد المواصفات في بعض الظروف.

وثمة تفاعل كيميائي آخر ذو صلة بعامل الحموضة العالي ويمثِّل تهديداً للخرسانة المسلحة، إلا أنه ليس تفاعلاً بين الخرسانة والفولاذ، بل يحصل ضمن ملاط الخرسانة نفسها. إنه تفاعل بين الإسمنت والحصويات. فكي تبقى الخرسانة مادة متجانسة، يجب أن يكون ثمة رابط آخر، هو الرابط بين الإسمنت والحصويات. ويتصف بعض الحصويات بتفاعل سطحي مع عامل حموضة الإسمنت العالي الذي يخرِّب الرابط ومن ثَمَّ يُضعف الخرسانة ويُقلِّص متانتها. وهذا هو تفاعل السليكا القلوي الذي يُعرف بسرطان الخرسانة. إن عامل الحموضة العالي الذي يمكن أن يحمي الفولاذ ورابطه مع الخرسانة يمكن أن يُتلف الرابط بين الإسمنت وبعض الحصويات.

ومن حالات عدم التوافق الأخرى التي يمكن أن تؤدي إلى إخفاق مبكر الحركة الحرارية التفاضلية بين المادتين، وهي حركة كافية لكسر الرابط والقضاء على المفعول المركَّب للفولاذ والخرسانة. لكن عاملَيْ التمدد الحراري للخرسانة والفولاذ قريبان من بعضهما إلى حد يسمح باستعمالهما معاً بوصفهما مادة مركَّبة آمنة.

التكلفة والاستدامة

تركَّزت مناقشة نجاح الخرسانة المسلحة حتى الآن في الجوانب التقنية لمادتيها. إلا أن النجاح يتعلق أيضاً بالتكلفة. ومن هذه الناحية، تُعتبر تركيبة الفولاذ والخرسانة جيدة. فالفولاذ، برغم كونه أغلى من الخرسانة، يتصف بأنه أقوى منها كثيراً. فخواص الإجهاد والانفعال فيه تسمح بأن تكون كميته في الخرسانة المسلحة أقل كثيراً من كمية الخرسانة، وهذا ما يحدُّ من تكلفة مواد حتى المقاطع الثقيلة

نسبياً. لكن تكلفة المواد ليست التكلفة الوحيدة لهيكل الخرسانة المسلحة الكامل. فثمة جزء هام من التكلفة يقترن بعملية الإنتاج، وثمة مناقشة لهذا الموضوع في المقطع التالي. ومع ذلك، فإن تكاليف المواد والإنتاج معاً، المنخفضة نسبياً، تجعل عنصر الخرسانة المسلحة منافساً تجارياً.

وثمة مخاوف أيضاً تخص استدامة هذه المواد. فهنالك مفعول بيئي للطاقة الكبيرة اللازمة لإنتاج الفولاذ والإسمنت واستخراجهما من الأرض، واستعمال الماء في أثناء تصنيع الخرسانة. هذا إضافة إلى نقل المواد من المقالع إلى معامل المعالجة، ومن ثَمَّ إلى موقع البناء.

والمادتان قابلتان للتدوير، فالفولاذ بعد إعادة معالجته يمكن أن يوفِّر مصدراً لفولاذ من درجة الجودة نفسها، أما الخرسانة فيمكن أن تُطحن لتوفِّر مادة مالئة أو حصويات لخرسانة جديدة. إلا أن هذا يعتمد على إمكان فصلهما حين الهدم، وقد طُوِّرت تقانات لفعل ذلك. ويمكن للخرسانة أن تقلِّل من استهلاك الطاقة في أثناء حياة المبنى إذا استُعملت كتلةً حراريةً ضمن خطة بيئية غير نشطة. ويمكن إنتاج الخرسانة أيضا باستعمال بدائل للإسمنت، منها خَبَث أفران التيار الهوائي المطحون (ground-granulated blast furnace slag (GGBS)) أو رماد الوقود المسحوق (pulverized fuel ash (PFA))، وهما نفساهما نفايات، لكنهما يحتاجان إلى بعض المعالجة لاستعمالهما في الخرسانة. إلا أن ذلك يتطلب توصيفاً جديداً للمواد وتفاصيل المكوِّنات.

هياكل الخرسانة المسلحة التي تصب محلياً ـ الإنتاج

قدَّمنا في المقاطع السابقة الخواص الرئيسية التي يجب الاهتمام بها حين انتقاء مواد هياكل الخرسانة المسلحة بحيث تؤدي وظائفها في ظروف التشغيل. ومن تلك الخواص المتانة والديمومة ومقاومة النيران، وجميعها يبيِّن أن تركيبة الخرسانة والفولاذ ذات مزايا كثيرة لاستعمالها في تشييد عناصر الهياكل الإنشائية. إلا أن خصائص إنتاج الخرسانة تختلف كلياً عن خصائص إنتاج الفولاذ.

إن الفهم الجيد لعملية الإنتاج على نفس القدر من الأهمية كفهم سلوك المواد والمكوِّنات من أجل تطوير صيغ اقتصادية. فكثير من تكاليف التشييد ومدة التنفيذ يتحدد في مواصفات وتفاصيل عناصر الهيكل لأنها تحدِّد إمكانات الإنتاج، وخاصة تلك المقترنة بالمساعِدات المؤقتة، مثل قوالب صب الخرسانة ومنصات الوقوف

والسقالات. ويمكن لمواصفات الخرسانة من حيث التداول وقابلية التصنيع ومقاومتها الأولية أن تؤثِّر أيضاً في اختيار الآلات والمعدات اللازمة لتنفيذ أعمال الصب.

تُنتَج الخرسانة عند درجات حرارة الجو العادية بمزج الحصويات مع الإسمنت والماء. ويمكِّن الماء المزيجَ برمته من الجريان بغية صبه وقولبته، وهذا ما يُسمى بقابلية التشيغل. ويتضمن تشغيل الخرسانة بدء تفاعل التصلُّد الذي يحد من المدة المتاحة للقولبة، إلا أنه يوفِّر في النهاية القوة اللازمة للعمل في ظروف التحميل العملية. أما نسبة الماء إلى الإسمنت فهي هامة لأن الماء ضروري لتشكيل الخرسانة، لكنه يجب أن يكون محدوداً كي تتكوَّن قوة الخرسانة النهائية والنفوذية التي تؤثِّر في ديمومتها. إن نِسَب الماء إلى الإسمنت، التي توفِّر إنشائية مفيدة، تعطي مزيجاً لزجاً نسبياً يجب رصه بالهز وتحريكه كي يملأ القالب ويطرد الهواء منه، وضمان الكثافة النهائية الضرورية لتحقيق الإمكانات التصميمية الكاملة لقوة الخرسانة. ومن الممكن زيادة قابلية الخرسانة للتشغيل من دون زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت (أو تقليل الماء لزيادة القوة من دون تقليص قابلية التشغيل) باستعمال مُضافات تُعرَف بالملدِّنات والملدِّنات الفائقة. إن هذه المواد تزيد من التكلفة، لكنها مفيدة إذا كان رص الخرسانة صعباً بسبب شكل القالب أو ازدحام الخرسانة عند قضبان التسليح.

إن عملية إنتاج الخرسانة الأساسية هذه، المتمثِّلة بمزجها وقولبتها عند درجات الحرارة المحيطة، يمكن أن تُجرى في الموقع حيث تُصب الخرسانة محلياً باستعمال القوالب. وفي هذه الحالة، يجب تثبيت القوالب في موضعها النهائي بواسطة عوارض وقوائم مؤقتة، وهذه تمثِّل، بوصفها مساعِدات مؤقتة، نسبة هامة من تكاليف إنتاج هياكل الخرسانة المسلحة.

ومن الممكن أيضاً الصب المسبق للعناصر الإنشائية ثم رفعها لتوضيعها في مواضعها. وهذا يغيِّر من الاحتياجات من القوالب ومساعِدات التثبيت المؤقتة. لكن برغم أن الصب المسبق يقلِّص الحاجة إلى تلك المساعِدات المؤقتة، فإنه يُرتِّب تكاليف نقل إذا حصل الصب في معمل بدلاً من الموقع، إضافة إلى تكاليف ترتيبات رفع المكوِّنات إلى مواضعها في المبنى. وسوف نقدِّم الهياكل المسبقة الصنع لاحقاً في هذا الفصل.

لا يختلف الإنتاج المحلي للخرسانة عن صنعها المسبق من حيث المساعِدات المؤقتة وترتيبات النقل فحسب، بل ثمة فارق جوهري بينهما من حيث طبيعة الوصلات الإنشائية أيضاً، وفقاً لما بيَّناه في مطلع هذا الفصل. تُعرف وصلات الخرسانة المسلحة التي تصب محلياً بوصلات اليوم. وفي حين أن ثمة مبررات إنشائية تخص مواضع هذه الوصلات (الابتعاد من حيث المبدأ عن مناطق إجهادات القص الشديدة)، فإن ثمة حاجة جوهرية إليها لأسباب إنتاجية أيضاً. ففي حين أن هناك عمليات مستمرة لصب الخرسانة (مثلاً التشكيل الانزلاقي (slip forming) لجدران النوى)، فإن معظم تلك العمليات لها دورة حيث يجب أن ينتهي من صب المقطع قبل نهاية اليوم (ومن هنا أتى اسم وصلة اليوم). وهذا يتطلب اتخاذ قرارات بخصوص الأمكنة التي تشكَّل فيها تلك الوصلات من حيث تكلفة الإنتاج والرغبة فيها من الناحية الإنشائية. أما ما يخص التكلفة فيقوم على موازَنة الموارد مع الحفاظ على متطلبات التصميم التي تنطوي على وجوب كون العناصر الإنشائية مستمرة. أما حين استعمال عناصر مسبقة الصنع، فمن المعتاد صب كل مكوِّن دفعة واحدة وذلك لإلغاء الحاجة إلى وصلات اليوم ضمن العنصر. حينئذ، تكون الوصلات بين المكوِّنات المسبقة الصب هي الوصلات المادية بين العناصر المختلفة (بلاطة مع عارضة، عارضة مع عمود. . . إلخ) التي تُشكَّل حين تجميع المكوِّنات في الموقع. وعلى تلك الوصلات نقل الأحمال إضافة إلى توفير أساس لعملية التجميع. لكن عملية الوصل العملية البسيطة هذه لا تحقِّق الاستمرارية على الأرجح ما لم تُجرَ بعض أعمال الصب محلياً حول الوصلة لتحقيق ذلك المفعول.

ومن العواقب الأخرى للعمليات التي تستعمل قوالب الصب أنها هي التي تفرض اقتصاد أشكال المقاطع العرضانية للعناصر الإنشائية. فعموماً، تُعتبر الأشكال المستطيلة البسيطة أسهل الصيغ من حيث التكلفة والتشكيل. تكون مقاطع الأعمدة مربعة عادة، وثمة أيضا قوالب لأعمدة دائرية المقطع متوفرة بتكاليف مقبولة. أما العوارض الخرسانية، فهي عادة ذات مقاطع عرضانية مستطيلة. ويمكن تشكيل بلاطات مسطحة أفقياً، لكن سماكاتها يجب أن تكون ثابتة على كامل الأرضية. ويمكِّن ذلك من تبسيط القوالب والمساعِدات المؤقتة، ومن ثَمَّ زيادة فرص إعادة استعمالها من دون تعديل، وهذا ما يؤدي إلى خفض في التكاليف وسرعة في التنفيذ. وكلما كانت صيغة الهيكل أبسط، كانت فرص إعادة استعمال المساعِدات المؤقتة عينها أكبر في كثير من المواقع، وهذا ما يشجِّع المصنِّعين على توفير

منظومات سريعة وسهلة النصب وإعادة الاستعمال، ومن ثَمَّ يقلِّص تكلفة الصبة الواحدة، برغم كون تكلفة المنظومة الأولية كبيرة. ومن الممكن أيضاً صنع قوالب لأشكال خاصة، في حالة الصب المسبق خاصة، لكن يجب استعمال القالب عدداً كبيراً من المرات كي يكون مجدياً من حيث التكلفة.

تسلسل الأعمال، والأنشطة والعمليات

ثمة مجموعة أساسية من العمليات التي تقترن بأنشطة صب الخرسانة الثلاثة: القولبة، والتسليح والصب، يجب إجراؤها بتسلسل معين لإنتاج جميع المكوِّنات والعناصر الخرسانية. وتلك العمليات مبينة في الشكل 5.25.

النشاط	العملية	التسلسل						
قولبة	صنع القوالب	■						
	نصب القوالب		■					
	فك القوالب			■				
تسليح	قص القضبان وحنيها	■						
	تجميع القضبان		■					
	تثبيت القضبان			■				
صب	خلط الخرسانة ونقلها وتوضيعها ورصها				■			
	تصليد الخرسانة					■	■	■

الشكل 5.25 عمليات إنتاج الخرسانة المسلحة

القولبة

كلما كانت أبعاد وتفاصيل القوالب والمساعِدات المؤقتة أكثر تكراراً، كانت أكثر اقتصادية، شأنها في ذلك شأن جميع أنواع المكوِّنات، أكانت دائمة أم مؤقتة. من ناحية أخرى، تنعكس بساطة الوصلات بين المكوِّنات على المساعِدات المؤقتة من حيث تركيبها وفكها. فهاتان العمليتان يجب أن تكونا سريعتين، وأن تُحقَّقا بأدوات بسيطة. يُضاف إلى ذلك أن تلك المساعِدات سوف تخضع للاستعمال عدة مرات، وأن عملية الفك يجب أن تحصل بعد صب الخرسانة وتصلُّدها، وهذا ما

يتطلب غالباً بعض القوة لفصل القوالب عن الخرسانة. أي إن مكوِّنات القوالب والمساعِدات يجب أن تكون متينة كي لا تتلف بسرعة. تُصنع هذه المكوِّنات من الخشب عادة، وهي اليوم غالباً ما تُصنع من صفائح خشبية أو تغطى بطلاء واقٍ. وتُستعمل اليوم أيضاً مكوِّنات معدنية للوصلات والمثبِّتات، وللمكوِّنات الإنشائية الرئيسية أيضاً، وغالباً ما يكون المعدن المستعمل هو الألمنيوم بسبب خفته وسهولة تداوله. وتتضمن المساعِدات المؤقتة الآن منصات عمل أيضاً (كانت سقالات سابقاً) وغيرها من وسائل الحماية، مثل نقاط تعليق أحزمة الأمان.

من الضروري استعمال قوالب الصب والمساعِدات المؤقتة عدة مرات لتخفيض التكلفة، ولذا فإن فك القوالب والمساعِدات يجب أن يكون ممكناً بأقل أذية لها. وهذا مبرِّر آخر لأهمية تصميم أشكال بسيطة لمقاطع العناصر الإنشائية العرضانية. ومن الضروري أيضاً الانتباه إلى تسلسل تركيب القوالب والمساعِدات لضمان تسلسل فكها بعد تصلُّد الخرسانة. لكن حتى لو كان تسلسل الفك سهلاً، فإن الخرسانة يمكن أن تلتصق بسطوح القوالب. لذا من الضروري طلاء تلك السطوح بمواد تمنع الالتصاق قبل كل صبة. تسمى تلك المواد بزيوت القالب أحياناً، مع أن معظمها ليس زيتاً بل مستحلباً أو مانع التصاق كيميائي. وفي ما يخص بعض قوالب التشكيل البلاستيكية، مثل تلك المستعملة في الأرضيات الحوضية، ثمة ترتيبات لفصل القالب عن الخرسانة بواسطة الهواء المضغوط.

ثمة قراران مفتاحيان آخران على صلة بتكلفة وإعادة استعمال قوالب الصب، هما مدة فك القوالب، والإبقاء على أكبر قدر ممكن منها مجمَّعاً في قطعة واحدة بغرض التركيب والفك. والمقصود بمدة الفك المدة التي تنقضي بعد انتهاء الصب وقبل إمكان إزالة القوالب والدعامات المؤقتة، إضافة إلى المدة التي تستغرقها عملية الفك. وهاتان المدتان ليستا متساويتين بالضرورة. وسوف نناقش ذلك في ما بعد حين النظر في تصلُّد الخرسانة والتحكُّم المبكر في قوتها. إن الحفاظ على كتل مجمعة من القوالب والمساعِدات يقلِّص مدد التركيب والفك، ويُقلِّص الأحداث التي يمكن أن تؤدي إلى أذيتها ومن ثَمَّ إلى ضرورة إصلاحها، خاصة مع ازدياد عدد مرات إعادة الاستعمال.

في السابق، كانت قوالب الصب والمساعِدات المؤقتة تُصنع من الخشب، أما الآن فغالباً ما تصنع من الخشب الصفائحي مع مساند حاملة (prop) معدنية قابلة للضبط، وذلك لأغراض التثبيت والارتكاز. وفي الآونة الأخيرة، تُصنع منظومات

متخصِّصة من مكوِّنات قياسية، وهذا ما يوفِّر وحدات متينة سهلة التركيب والفك، مع إمكان إعادة الاستعمال عدداً كبيراً من المرات.

في المقاطع التالية سوف نقدِّم عملية إنتاج العناصر الإنشائية الأساسية في البنى الفائقة وتنفيذها، مع شرح لجوانب الأداء وقضايا الإنتاج في كل منها.

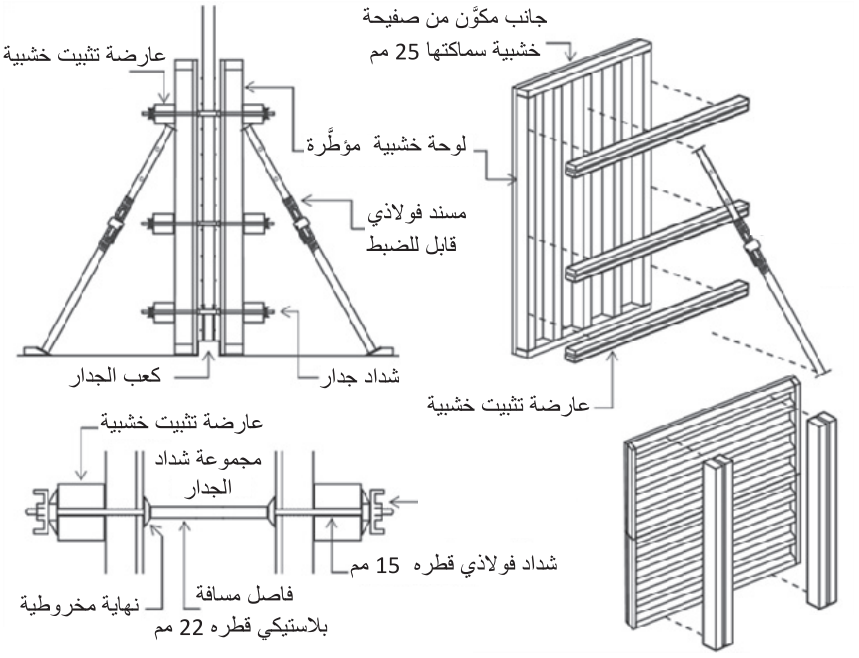
الجدران ذات قوالب اللوحات الشائعة

يبدأ بناء الجدار عادة بتشكيل كعب (kicker) من خرسانة لها مواصفات خرسانة الجدار نفسها. والغرض من الكعب هو توضيع القالب على الاستقامة عينها والإمساك به في موضعه في أثناء الصب. وله دور رئيسي في ضبط الأبعاد والتسامحات.

ومن المعتاد تثبيت فولاذ التسليح قبل نصب القالب، لكن في بعض الحالات التي يكون فيها الوصول إلى أحد جانبي الجدار صعباً، ومن أمثلتها جدران الأقبية أو جدران بيت الدرج، يُنصَب جانب واحد من القالب أولاً. أما قضبان التسليح فتكون ناتئة من الأساس أو البلاطة اللذين سوف يُبنى الجدار على أحدهما. وتلك القضبان البادئة (starter bar) ضرورية لتحقيق استمرارية متانة الربط بين عناصر الهيكل. وتُربط قضبان التسليح الرئيسية، وهي القضبان العمودية عادة، مع القضبان البادئة، ثم تُربط القضبان الموزَّعة أفقياً مع القضبان العمودية لإبقائها في مواضعها، ولمقاومة الانكماش وتلقِّي قوى القص التي تنشأ في الجدار. وتنتُج من ذلك حصيرة فولاذ على كل من وجهي الجدار.

يتألف القالب من لوحات. ويُري الشكل 6.25 الطريقة المعتادة لصنع هذه اللوحات في الموقع من الخشب والصفائح الخشبية. يجب أن يكون تباعد العوارض الخشبية الحاصرة للقالب صغيراً لضمان عدم تقوُّس الصفائح نتيجة لضغط الخرسانة المبلولة، وهو يساوي عادة 400 مم في حالة الصفائح الخشبية التي تساوي سماكاتها 25 مم. أما مقاسات العوارض الخشبية الحاصرة للوحات فتساوي عادة 100 × 50 مم، وهذا يُحدِّد التباعد الأفقي للمثبتات، لأن تلك العوارض الخشبية يجب أن تمتد بين المثبتات. وتُصنع المثبِّتات من زوج من القطع الخشبية ذات المقاس 100 × 75 مم، وتوضع بحيث تفصل بينها مسافات تساوي 900 مم. ويوضع زوج المثبِّتات الخشبية على طرفي شداد الجدار من الجانبين، وتتوزَّع الشدادات بتباعدات تساوي نحو 900 مم. ويؤدي ضغط الخرسانة إلى وضع

الشدادات في حالة شد، إلا أنه يجب أن تكون ثمة وسيلة للفصل بين لوحات القالب. يُري الشكل 6.25 حلاً للشداد مع فاصل بلاستيكي بين لوحتي القالب، ويبين أيضاً استعمال قوائم عمودية بوصفها بديلاً للتثبيت الأفقي. هنا، تكون شرائح اللوحة الخشبية أفقية. وتُستعمل القوائم العمودية لقوالب الصب العالية الارتفاع لأنها تقسِّي الوصلات الأفقية بين اللوحات. أما مقاسات الخشب والتباعدات المعطاة في الشكل فهي لمعدَّل صب يقل عن متر واحد في الساعة. إنها تُعطي الخرسانة وقتاً لتجف من حالتها البدائية بحيث يقل الضغط عن القالب. أما معدلات الصب التي هي أسرع فتتطلَّب مقاطع أكبر وتباعدات مثبِّتات أصغر، خاصة عند أسفل القالب.



للشكل 6.25 قالب صب مكوَّن من لوحات خشبية.

ومن الضروري الانتباه إلى أن توضيع قالب الصب يُحدِّد دقة أبعاد الهيكل. فالمساند الفولاذية الحاملة يجب أن تكون قابلة للضبط لتحقيق التوضيع ضمن حدود التسامحات، وأن تكون قادرة على تثبيت القالب في وضعيته في أثناء صب

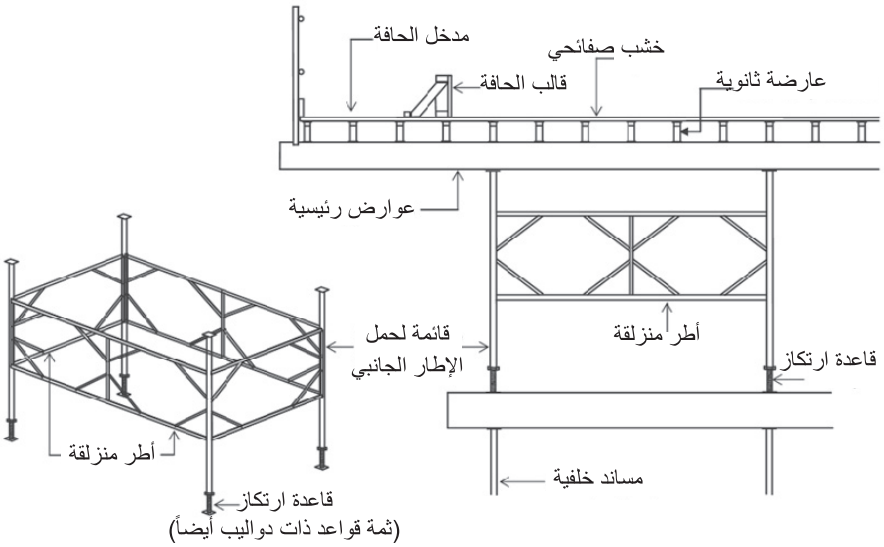
الخرسانة. أما الأحمال التي تظهر في أثناء الصب فهي متغيِّرة لأن الخرسانة المبلولة تضغط على جوانب القالب العمودية الداخلية. وإضافة إلى الاعتبارات الإنشائية وضبط الأبعاد ثمة أيضاً متطلبات تخص الصحة والسلامة. فتثبيت قضبان التسليح الفولاذية وصب الخرسانة يتطلبان العمل في أماكن مرتفعة، ولذا ثمة حاجة إلى منصات آمنة.

إن استمرار وجود القالب بعد الصب يُعزِّز التصلُّد ويحمي من التجمُّد، وإنْ كان من الضروري عزله حرارياً في الظروف الجوية الشديدة البرودة. لكن لأسباب اقتصادية يجب نزع القالب بغية إعادة استعماله، وهذا يجعل النظر في وقت فك القالب على درجة من الأهمية. طبعاً لا يمكن فك القالب قبل أن تحقِّق الخرسانة متانة كافية لحمل نفسها ودرء أذية سطحها في أثناء إزالة القالب. وفي حالة الجدران، يتمثَّل الحمل الرئيسي بقوة الريح، إلا أنه في أثناء فك القالب يجب الانتباه أيضاً إلى عدم تحريك الجدار.

وتُعتبر أحوال الطقس واحدة من العوامل الأساسية في تحديد أوقات فك القالب، لأن درجة الحرارة الوسطى ذات تأثير كبير في ذلك. لا تحدِّد درجة حرارة الهواء ظروف التجمُّد فحسب، بل إن لها مفعولاً كبيراً في التفاعل الكيميائي الذي يحدِّد معدل تطوُّر متانة الخرسانة. وإضافة إلى درجة حرارة الهواء، تؤثِّر الريح في عملية التصلُّد وتضع أحمالاً على الجدران التي تكون ضعيفة في الأيام القليلة بعد الصب، ولذا لا تُزال القوالب إلا بعد تصلُّد الخرسانة بقدر كاف. هذا يعني أن الأحوال الجوية تجعل وقت فك القالب متغيراً جداً. في ما يخص خرسانة الـ 28 يوماً (28-day concrete strength)، فإن المحتوى العالي من الإسمنت يمكن أن يُكسِب الخرسانة قوة كافية تسمح بفك القالب في وقت أبكر. ولتوضيح ذلك فإنه يمكن فك القوالب العمودية، التي تُستعمل لصب عناصر خرسانية إنشائية، من مثل الجدران والأعمدة وجوانب العوارض، بعد الصب بـ 18 ساعة عند درجة حرارة وسطية تساوي 15 درجة مئوية، أما عند درجة حرارة هواء وسطية تساوي 5 درجات مئوية، فلا يحصل الفك إلا بعد 36 ساعة بعد الصب، وقد يكون من الضروري أن تكون تلك المدة أطوال إذا كانت رياح شديدة متوقعة خلال 24 ساعة بعد الفك، إلاّ إذا استُعمل نوع ما من التسنيد. وتحتاج الإنهاءات العالية الجودة إلى تأخير الفك مدداً أطول أيضاً.

منظومات قياسية لقوالب صب البلاطات الخاصة

في الهياكل ذات البلاطات التحتية (soffit slab) المسطَّحة، مثل الأرضيات الصفائحية (البلاطات المسطَّحة)، على الأرجح أن يكون قالب الصب والمساعِدات المؤقتة منظومة خاصة جاهزة متوافرة تجارياً. ومع أنه يمكن أن تتطلَّب بعض أجزاء الهيكل صنع قالب بالطرائق المعتادة، فإن المكوِّنات الأساسية للقالب تُصنَّع متكاملة مع المساعِدات المؤقتة في منظومة واحدة وتُجمَّع في الموقع. وتُصمَّم هذه المنظومات لتقليص المدة اللازمة لنصب القالب وفكه، وذلك بالحدِّ من مقدار أعمال الفك والتركيب بين عمليات الصب. فبعد أول تجميع لأول عملية صب، تُرفع الكتلة المجمَّعة برمتها، أو جزء رئيسي منها، بواسطة رافعة إلى موضع الصب الجديد. يُري الشكل 7.25 مثالاً لهذا النوع من القوالب الخاصة الجاهزة. ويمكن هذا النهج أن يُستعمل للبلاطات المسطَّحة والبلاطات الحوضية حيث تكون العوارض التحتية هي الأضلاع نفسها. وخلافاً للجدران، فإن قضبان تسليح هذه البلاطات توضع في أمكنتها بعد نصب المساعِدات المؤقتة والبلاطة التحتية الأساسية. وتصبح البلاطة التحتية منصة عمل تُجرى عليها أعمال تثبيت قضبان التسليح وصب الخرسانة.



الشكل 7.25 مجموعة جاهزة لقالب ومساعِدات مؤقتة لصب البلاطات.

يتَّخذ التسليح في الأرضية الصفيحية شكل حصيرتين في أعلى وأسفل البلاطة، مع تركيز أكبر للفولاذ في شرائط مسايرة للأعمدة في الاتجاهين. ويوضع تسليح إضافي عند رؤوس الأعمدة لمقاومة القص الثاقب الذي ينشأ في البلاطة عند أعلى العمود. ونظراً إلى أن تكثيف التسليح يحصل باستعمال فولاذ قابل للحني، فإن التسليح المقاوم للقص غالباً ما يُصنع مسبقاً على شكل رؤوس أو درجات أو شرائط من الأوتاد. وفي هذه البنية الصفيحية، التي يمكن نصب القالب الخاص الجاهز فيها وإعادة توضيعه سريعاً نسبياً، يمثِّل تثبيت الفولاذ نسبة كبيرة من المدة التي تستغرقها دورة صب الخرسانة. وقد أدى هذا إلى النظر في التصنيع المسبق لحصائر التسليح بدلاً من تثبيت القضبان إفرادياً على القالب وفقاً للمعتاد.

وفي حالة الأرضيات الحوضية، يحصل التسليح الرئيسي في العوارض والأضلاع. وتوجد حصيرة من الفولاذ في أعلى البلاطة، لكنها حصيرة خفيفة نسبياً لأن وجودها هو لمنع التصدُّع الناجم عن الانكماش، ولمقاومة النار. وتوجد قضبان فولاذ رئيسية في أقفاص العوارض، وتوجد قضبان فولاذية في أسفل الأضلاع. وثمة حاجة إلى قالب لتكوين الأحواض. ويمكن هذا القالب أن يكون مالئ فراغات، من مثل لبنات الخرسانة الخفيفة أو قالباً قابلاً للإزالة وإعادة الاستعمال في الصبة التالية.

ويجب أن تحتوي المساعِدات المؤقتة على وسائل لضبط أفقية القالب (يُجعل القالب محدَّباً قليلاً إلى أعلى بحيث يُصبح أفقياً بعد صب البلاطة)، ويجب أن تكون مستقرة في أثناء تثبيت الفولاذ وعملية الصب. ويجب أن تكون سهلة الفك بأقل أذية لها. ومن المفيد الإبقاء على المقاطع مجمَّعة لرفعها إلى الطابق التالي. وهذا هو أساس ما يسمى القوالب الطيارة (flying form) حيث تبقى المساند الحاملة والأطر الجانبية والقوالب مجمَّعة، وتسمح دواليب القاعدة بنقل الوحدة إلى الحافة، حيث يمكن لرافعة نقل الوحدة كاملة من تحت البلاطة التي جرى صبها إلى مكان البلاطة الجديدة التي سوف يجري صبها.

إن المدة ما بين صب الخرسانة وفك القالب ذات أهمية كبيرة في دورة الصب من حيث إمكان إعادة الاستعمال للمساعِدات المؤقتة، والحدِّ من عدد مكوِّناتها في الموقع. ويعتمد فك القالب على متانة الخرسانة في أثناء تصلُّدها الذي يتأثَّر بعدد من العوامل، منها نوع الإسمنت ودرجة حرارة الهواء وفقاً لما ذُكِر سابقاً في معرض الحديث عن الجدران. وحين فك القالب من تحت البلاطة، على البلاطة أن تحمل نفسها مع الأحمال الإنشائية الناتجة من العمليات اللاحقة، ومنها وزن القالب في الطابق التالي. ولتسهيل فك القالب ومعظم مكوِّنات المساعِدات

المؤقتة بأسرع ما يمكن، من المعتاد ترك المساند الحاملة تحت البلاطة في أثناء استمرار العمل في الأعلى. وقد يكون من الضروري ترك المساند الحاملة تحت البلاطة المصبوبة حتى صب ثلاث بلاطات أخرى في الأعلى. ويسمى هذا بالتسنيد المؤخَّر(back propping). وفي حالة المبنى المتعدد الطوابق، تنتقل أحمال بضعة الطوابق الأولى إلى الأرض من خلال المساند المؤخَّرة (التي لا تنحرف على نحو ملحوظ). أما في ما يخص الطوابق التي هي أعلى، فتتشارك المساند المؤخَّرة في أحمال البلاطة الجديدة مع ما يصل إلى البلاطات الثلاث التي تحت، والتي توافرت لها مدة طويلة للتصلُّد، ولذا يمكن أن تأخذ مزيداً من الأحمال بأمان.

وتساوي المدد التي يجب أن تنقضي بعد الصب حتى البدء بفك قوالب البلاطات (والعوارض) مع ترك المساند الحاملة تحتها، في حالة الخرسانة المصنوعة من إسمنت إنشائي عادي، نحو أربعة أيام عندما تكون درجة حرارة الهواء الوسطية نحو 15 درجة مئوية، وتصل تلك المدة حتى ثمانية أيام عندما تكون درجة حرارة الهواء الوسطية نحو 5 درجات مئوية. وفي بعض المشاريع، يمكن لتقليص هذه المدد أن يكون اقتصادياً، ويمكن تحقيق ذلك بالعزل الحراري للبلاطات في الطقس البارد، وبزيادة نسبة الإسمنت في الخرسانة، أو باستعمال إسمنت سريع التصلُّد. وقد يكون من المفيد مراقبة تطوُّر المتانة الفعلية للخرسانة في أثناء تصلُّدها بحيث تُمكِن إزالة القالب تبعاً للمتانة الفعلية الحاصلة، وبذلك يمكن الفك في أقرب فرصة ممكنة.

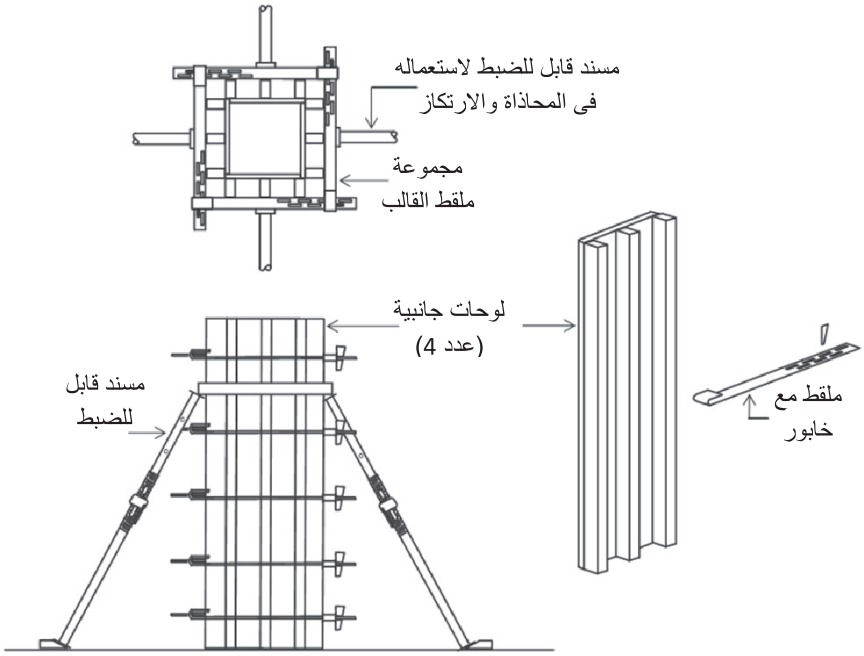
ويمكن أن تشتمل مساعِدات العمل المؤقتة على منصة نفاذ ووسائل حماية وأمان شخصية، مثل حواف الحماية من السقوط، والستائر التي تحمي من الطقس السيِّئ. ولا يقتصر ذلك في صب الخرسانة على حالة الطقس البارد والممطر، بل على الطقس الحار والجاف أيضاً، وخاصة الريح الجافة التي تستوجب حماية العمال والخرسانة التي في طور التصلُّد.

الأعمدة والعوارض

استعملنا الجدران لتقديم منظومات قوالب الصب والمساعِدات المؤقتة العادية، واستعملنا البلاطات لتقديم المنظومات الخاصة الجاهزة والمتوافرة تجارياً. إلا أن ثمة منظومات متوافرة تجارياً لصب الجدران، ويمكن صب البلاطات باستعمال القوالب الصفيحية العادية التي ترتكز على خشب تحمله مساند معدنية قابلة للضبط، مع تربيط باستعمال سقالة مكونة من أنابيب معدنية. ويمكن أيضاً صب العوارض والأعمدة باستعمال منظومات عادية أو خاصة متوافرة تجارياً. وثمة

تشابه كبير بين الأعمدة والجدران، وتُشابه العوارض البلاطات أيضاً.

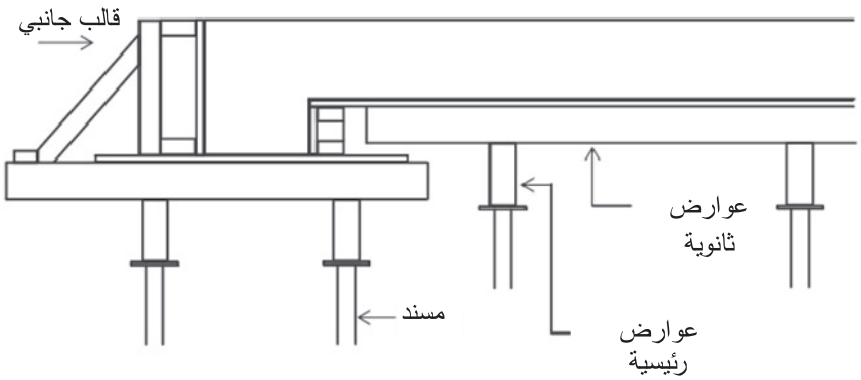
تخضع الأعمدة لضغط عمودي يستحث قوى قص تتطلَّب وجود تسليح عبر مقطع العمود. ويُصنع قفص التسليح هذا غالباً في الموقع مسبقاً (على منصة أفقية بارتفاع الخصر) ثم يُرفع لوضعه في مكانه حيث يرتكز على الكعب ويُربط مع قضبان بادئة على غرار الجدران. وبجعل طول القفص بارتفاع طابق، فإن القضبان البارزة من أعلاه تمثِّل القضبان البادئة للعمود الذي سيُقام فوقه. بعدئذ توضع ألواح القالب وتثبت معاً بملاقط تحيط بها وتُمسكها بحيث تقاوم ضغط الخرسانة وفقاً للمبيَّن في الشكل 8.25. وتُستعمل مساند قابلة للضبط لحمل القالب وضبط موضعه. ويَجعل الكعبُ القالبَ أفقياً ومستقيماً، وتُستعمل المساند لضبط شاقوليته. أما مستوى الخرسانة في القالب فيتحدَّد بملء القالب حتى المستوى المطلوب في أثناء الصب، لذا يكون القالب عادة أطول قليلاً من العمود كي لا تنسكب الخرسانة خارجه. ويجب تصميم قوالب الأعمدة (على غرار قوالب الجدران) بحيث لا يزيد معدَّل الصب على حد معين. أما المدة التي يجب أن تنقضي قبل فك القالب فهي مشابهة للمدة حالة الجدران أيضاً.



الشكل 8.25 قالب عمود عادي من لوحات خشبية.

وفي ما يخص العوارض، فهي بالتعريف تعمل في نمط التقوُّس، ولذا يجب أن تحتوي على تسليح رئيسي يتحمَّل الشد الناجم عن قوى التقوُّس، وعلى تسليح يتحمَّل مكون الشد في قوى القص. ومن هذا تنتُج صيغة قفص العارضة المميَّزة التي تحتوي على تسليح رئيسي في الأسفل على طول الجزء الأوسط من امتداد العارضة، وفي الأعلى عند مرتكَز العارضة على الحامل، وهو عمود عادة. وغالباً ما تُصنع هذه الأقفاص مسبقاً، أحياناً على حوامل مؤقتة تمثِّل منصة عمل تحمل الجانب السفلي من القالب فوق موقعه النهائي مباشرة، لكن بارتفاع الخصر بحيث يستطيع عامل تثبيت القضبان الفولاذية الوقوف والعمل بوضعية جيدة. وحين اكتمال القفص، يُرفع بواسطة رافعة وتُزاح المنصة من تحته ثم يُخفَّض ليستقر في مكانه. ويمكن صنع القفص في الموقع، لكن ليس في موضعه نفسه، ثم يُنقل بواسطة رافعة إلى مكانه حيث تتشابك قضبانه الناتئة مع القضبان الناتئة من العناصر الإنشائية الأخرى.

يجب تدعيم القالب السفلي الخاص بالعارضة تماماً كتدعيم قالب البلاطة. وإذا كانت العارضة نتوءاً سفلياً من بلاطة، وجب خفض أسفل القالب. ونظراً إلى أنه ضيق، فإن استقرار المثبِّتات المؤقتة يتطلب إيلاءه اهتماماً إضافياً. وثمة حاجة إلى تشكيل جانب العارضة إما تحت البلاطة إذا كان العارضة داخلياً أو فوقها إذا كانت العارضة عند حافة المبنى. وهذا موضَّح في تفاصيل عارضة الحافة في الشكل 9.25.



الشكل 9.25 قالب عارضة حافة.

وفي ما يخص العوارض الناتئة من أعلى البلاطة (أي الجدران القصيرة)، يمكن القالب السفلي أن يكون مسطَّحاً وفقاً لما ذكرناه في حالة أرضيات البلاطة المسطَّحة، ويمكن صب جزء العارضة الموجود فوق البلاطة (أو الجدار) على نحو مستقل، كالجدران، وبالشروط الإنشائية عينها. ومع أن العوارض الناتئة إلى أعلى أقل تكلفة من الناحية الإنتاجية، إلا أن ثمة خسارة من ناحية الكفاءة الإنشائية، لأنه لا يمكن استعمال البلاطة بوصفها جزءاً من مقاومة الضغط في المنطقة الوسطى من المجاز. يُضاف إلى ذلك أن العوارض الناتئة إلى أعلى هي الخيار الوحيد عملياً لعوارض الحافة، لأنه يجب بناء أرضية الطابق الأخير على النتوء العلوي إذا استُعمل هذا الخيار ضمن المبنى. أما أوقات فك قوالب العوارض الجانبية والسفلية فهي مشابهة لتلك الخاصة بالجدران والبلاطات المذكورة سابقاً.

التسليح

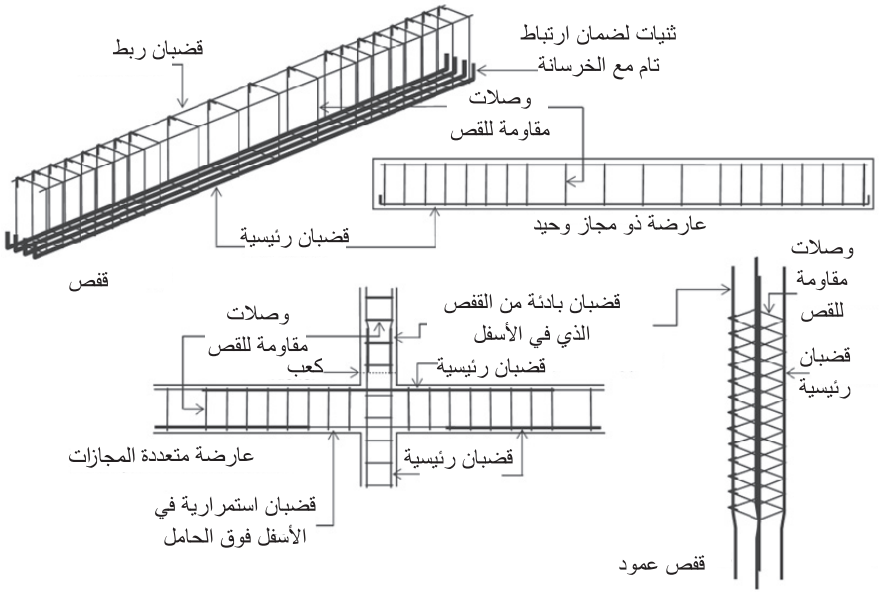
إن أكثر الطرائق شيوعاً لتنفيذ التسليح المذكور آنفاً هي استعمال قضبان من الفولاذ المقطَّع والمحني وفقاً للمقاسات والأشكال المطلوبة، والذي يُثبَّت على شكل حصائر للجدران والبلاطات، وعلى شكل أقفاص للأعمدة والعوارض. ويأخذ التصميم التفصيلي للتسليح هذه العملية في الحسبان، إذ تُقطَّع القضبان وتُحنى عادة في المعمل وفقاً لأشكال

معيارية(*) متفق عليها مع المصممين ونُشِرت بوصفها توصيات ومعايير. وهذا يمكِّن المصممين والمورِّدين لفولاذ التسليح (وعمال تثبيته) من التواصل بطريقة منهجية، وتمكِّن المورِّدين من تنظيم هذه العملية المتزايدة الأتمتة على نحو كفوء واقتصادي. إلا أنه من الممكن قطع وحني قضبان الفولاذ يدوياً بواسطة أدوات بسيطة أيضاً على طاولات في موقع البناء. وهذا يمكِّن من إنتاج بضعة قضبان في الموقع حين الحاجة إلى تعديلات أو إضافات دون الحاجة إلى طلبها من المورِّد وانتظار التوريد.

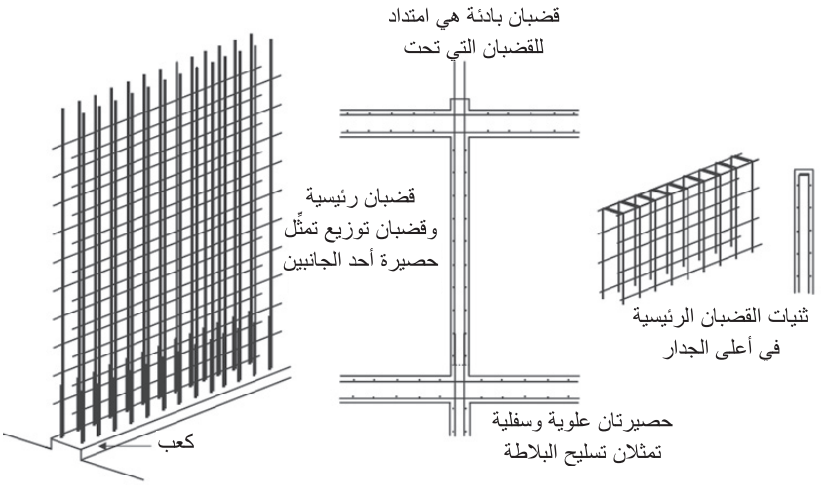
تُربَّط القضبان معاً لتكوين الحصائر والأقفاص. وفي ما يخص حصائر البلاطات والجدران، يُجرى ذلك عادة في مكان صب العنصر. ويمكن في بعض الحالات صنع تلك الحصائر مسبقاً، برغم أن ذلك يمكن أن يزيد التكلفة، لكنه

(*) وهذه العملية أقل انتشاراً في البلدان العربية لغياب المقاييس المعيارية في البناء (المترجم).

يقلِّص مدة العمل، لكن ذلك يجعل من التسليح عملية أكثر تعقيداً. وهذه طريقة مفيدة جداً في تصاميم البلاطات المسطَّحة حيث يمكن لتثبيت قضبان التسليح أن يصبح جزءاً رئيسياً من دورة صب الخرسانة. أما الأقفاص، فغالباً ما تُجمَّع في الموقع بالقرب من موضع الصب النهائي، ثم ترفع بواسطة رافعة إلى مواضعها. أما عدد القضبان التي يجب تثبيتها في الأقفاص، فهو محدود، وهي عادة تلك التي تؤمن الاستمرارية مع القضبان البادئة. ويُري الشكل 10.25 طبيعة قضبان أقفاص الأعمدة والعوارض، في حين أن الشكل 11.25 يبين طبيعة حصائر الجدران التي تبدو مشابهة لحصائر تسليح البلاطات. في الحصائر، تكون قضبان الفولاذ الرئيسية في الاتجاهات التي تحصل فيها إجهادات تقوُّس. فمثلاً، في البلاطات ذات المجازات الثنائية الاتجاهات المستعملة في بناء البلاطات المسطَّحة، توجد قضبان فولاذ رئيسية في كلا الاتجاهين. وعندما يكون التقوُّس باتجاه واحد فقط، تُعرف قضبان الفولاذ الموجودة في الاتجاه الآخر بقضبان التوزيع، وتكون أخف من قضبان الفولاذ الرئيسية.

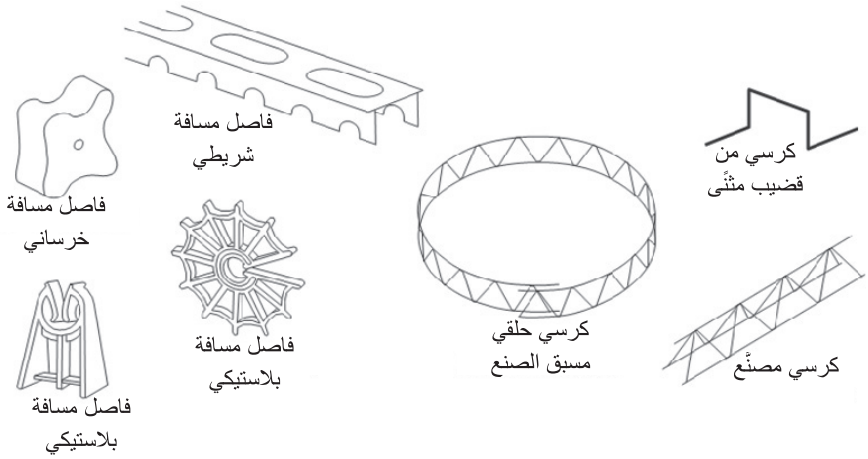


الشكل 10.25 أقفاص تسليح العوارض والأعمدة.



الشكل 11.25 حصائر تسليح الجدران والبلاطات.

وتُعتبر سماكة الغطاء المتمثِّلة بالمسافة بين فولاذ التسليح وسطح الخرسانة جزءاً هاماً من مواصفات الخرسانة المسلحة. فهي ضرورية لتحقيق ارتباط جيد بين الفولاذ والخرسانة، ودرء صدأ الفولاذ، وتحقيق مقاومة جيدة للنار وفقاً لما ناقشناه سابقاً. وضبط تلك المسافة في عملية صب الخرسانة أمر بالغ الأهمية. ويتحقَّق ذلك باستعمال فواصل مسافة، وهي مكوِّنات بلاستيكية مسبقة التشكيل تَعضُّ على القضيب وتستقر على وجه القالب. ويُري الشكل 12.25 أمثلة لفواصل المسافة. ومن المهم أن تكون الفواصل قريبة من بعضها بقدر كاف للحد من انحراف القضبان، وأن تتصف بمتانة تستطيع مواجهة التحميل الناجم عن عملية الإنتاج (خاصة في حالة البلاطات حيث يمشي العمال على حصيرة التسليح في أثناء الصب). ومن المهم أيضاً ألاّ تظهر تلك الفواصل على سطح الخرسانة، وألاّ تشكِّل مسالك للهواء والماء إلى الفولاذ لدرء صدئه. ومن الضروري انتقاء فاصل المسافة المناسب لكل حالة.



الشكل 12.25 أمثلة فواصل المسافة والكراسي.

وتقاس سماكة الغطاء في البلاطات حتى سطح الخرسانة، إلا أنه لا يوجد الآن قالب في الأعلى، ولذا لا يكون فاصل المسافة ملائماً. في هذه الحالة من المعتاد الحفاظ على البعد بين الحصيرتين العلوية والسفلية باستعمال كراسٍ مصنوعة من قضبان فولاذ خفيفة، أو فواصل فولاذية خفيفة مسبقة الصنع. وثمة أمثلة من هذه الكراسي في الشكل 12.25 أيضاً. على هذه الكراسي أن تحمل أيضاً أوزان العمال الذين يقومون بصب الخرسانة دون أن تنهار أو أن يحصل انحراف زائد في حصيرة التسليح العليا.

وفي حين أن بعض الحفرات السطحية في قضبان التسليح الناجمة عن الصدأ ليست ضارة بالرابط بين القضبان والخرسانة، فإن قشور الصدأ الحرة تمنع التصاقهما. ويجب أيضاً الانتباه إلى عدم وجود زيت أو شحم على قضبان التسليح قبل الصب، لأنهما يمنعان الالتصاق. وحين اكتمال تثبيت قضبان التسليح والقالب، يجب تنظيف القالب من بقايا الصب السابقة، ويتحقَّق ذلك عادة بالنفخ بالهواء المضغوط.

صب الخرسانة

تتضمن عملية صب الخرسانة عدة عمليات هي الجَبْل والنقل والصب والرص، ويجب إكمال جميع هذه العمليات ضمن المدة التي تبقى ضمنها

الخرسانة لدنة. وتعتمد تلك المدة على أشياء كثيرة، لكن في ما يخص جبلات الخرسانة الإنشائية العادية عند درجة حرارة المحيط (نحو 20 درجة مئوية عادة)، فإن ما يُوصى به هو ساعة واحدة من دون تحريك بعد الجَبْل، وساعتان إذا أُجري تحريك مستمر حتى لحظة الصب في القالب. وهذه هي حالة الخرسانة المسبقة الجبْل والتي تورَّد إلى الموقع بواسطة شاحنة تحمل جبَّالة دوَّارة في أثناء النقل على الطريق حتى بداية عملية الصب. وتتطلب المدد القصيرة التي من هذا القبيل مستوى عالياً من التنظيم والاحتياطات تحسُّباً من حصول أعطال في المعمل أو الآليات.

وتختلف عملية النقل والصب كثيراً تبعاً لتشكيلة الموقع. ولعل مقدار الحركة الأفقية والعمودية وكمية ومعدَّل توريد الخرسانة هي المحدِّدات الكبرى لاختيار المعدات، وفقاً لما ناقشناه في الفصل 13. ورص الخرسانة عملية هامة لأنها تزيل الهواء من الجبلة وتزيد من الكثافة النهائية للخرسانة ذات الصلة المباشرة بالمتانة النهائية. وهي تضمن أيضاً أن القالب قد امتلأ تماماً لتحقيق زاوايا ممتلئة وسطحاً ناعماً. ونعومة السطح هامة ليس للمظهر فحسب، بل هي التي تُحدِّد نفوذية السطح لكل من الماء والهواء، التي تحدِّد بدورها ديمومة التسليح وإمكان صدئه. وتزيد عملية الرص أيضاً من مخاطر فقد المونة (إسمنت وماء، وفي بعض الحالات، حصويات دقيقة جداً) عبر وصلات القالب في أثناء عملية الصب وبعدها مباشرة. إن هذا الفقد يترك سطح الخرسانة فقيراً بالمونة الرابطة ويجعله مخرَّشاً بأنماط تشابه خلية النحل. ومن الواضح أن هذه المناطق من سطح الخرسانة تمثِّل تهديداً ينطوي على حدوث صدأ مبكر في فولاذ الخرسانة. إلا أن اللافت هو أن خروج الماء وحده من دون الإسمنت والحصويات الناعمة يقلِّص كثيراً من نفوذية السطح ويزيد من ديمومة التسليح، خاصة في الظروف القاسية. ويتحقَّق ذلك بتقنية تسمى قالب النفوذية المتحكَّم فيها. وكل ذلك يشير إلى أهمية تصميم القالب بحيث تكون الوصلات محكمة السد بحيث تسمح بالرص التام. وفي حين أن عواقب الرص الضعيف السيئة معروفة تماماً، فإن الرص الشديد لا يمثل خطراً عادة في حالة الخرسانة الجيدة التصميم.

وبعد اكتمال الرص والإنهاء، تُترك الخرسانة لتجف. وتستغرق الخرسانة مدة للوصول إلى متانتها الفعلية، وتُعرف تلك المدة بمدة التصلُّد. تكون الخرسانة ضعيفة جداً في بضعة الأيام الأولى بعد صبها، وتؤثِّر ظروف التصلُّد خلال هذه

المدة الأولى في كل من المدة اللازمة للوصول إلى المتانة النهائية، بل وحتى في إمكان الوصول إلى تلك المتانة المتوقعة. ولعل التجمُّد الجليدي هو أسوأ الظروف الضارة، فبرغم الحرارة التي تنتشر في الخرسانة بعد صبها بسبب الهدرجة، فإن بلورات الجليد التي تتكوَّن ضمن الخرسانة الحديثة الصب تقلِّص من متانتها، وحتى إنها تسبب تلفا تاما لها، وخاصة بالقرب من السطح. وحتى لو لم يحصل التجمُّد، فإن درجة الحرارة المنخفضة تبطِّئ التفاعلات الكيميائية، فتؤخِّر الوصول إلى المتانة الفعلية النهائية وتزيد من المدة اللازمة للتصلُّد.

أما المهدِّد الأكبر للوصول إلى المتانة الفعلية فهو الجفاف السريع للخرسانة الذي يمكن أن يحصل عند أي درجة حرارة، والذي يتفاقم بوجود الريح حيث يزداد البخر من السطح. يعني الجفاف المبكِّر زوال كثير من الماء من الخرسانة في أثناء الهدرجة وبقاء كمية منه غير كافية لاكتمال التفاعل الكيميائي الذي يعطي المتانة النهائية. وهذه مشكلة حقيقية تظهر بعد الصب مباشرة في حالة السطوح الكبيرة المفتوحة في الفترة الأولى بعد الصب، مثل سطوح البلاطات، وفي حالة الجدران بعد إزالة القالب. لذا كانت الخرسانة تُغطى عادة بخيْش مبلول أو بالبوليثين لتكوين جو ساكن شديد الرطوبة عند سطحها. أما الشائع الآن فهو رش سطح الخرسانة بمادة تحدُّ من معدَّل البخر.

وفي حين أن ثمة تصلُّداً أولياً يحصل خلال بضع الساعات الأولى يؤثِّر في قابلية الخرسانة للرص، فإن تحقيق المتانة النهائية يستغرق أياماً. وتتحدَّد متانة الخرسانة النهائية بمتانتها بعد 28 يوماً، إلا أن هذا لا يعني أنه يجب إبقاء القالب على الخرسانة 28 يوماً. إن معرفة معدَّل تطوُّر متانة الخرسانة هامة لمعرفة وقت فك القالب وكامل المساعِدات المؤقتة الأخرى. وثمة طرائق كثيرة لتسريع تكوُّن متانة مبكرة في الخرسانة، إلا أنها تتطلب إجراءات مراقبة للجودة تعطي تقديرات لهذه المتانة تمكِّن من إزالة القالب على نحو آمن في أبكر وقت ممكن. وهذا هام لأنه يقلِّص دورة صب الخرسانة الكلية ويوفِّر القالب لعملية الصب التالية ومن ثَمَّ يقلِّل من كمية القوالب والمساعِدات المؤقتة في الموقع ويزيد من وتيرة إعادة استعمالها. أما أوقات فك القوالب لمختلف العناصر الإنشائية فقد نوقشت سابقاً.

إلا أن ثمة خطراً من اعتبار إزالة القالب نهاية عملية صب الخرسانة. إن تحقيق الصب وإزالة القالب يمكن أن يحصلا خلال أيام حتى في حالة البلاطات، أي قبل انقضاء الـ 28 يوماً اللازمة للتصلُّد التام بمدة طويلة. لذا يجب الاهتمام

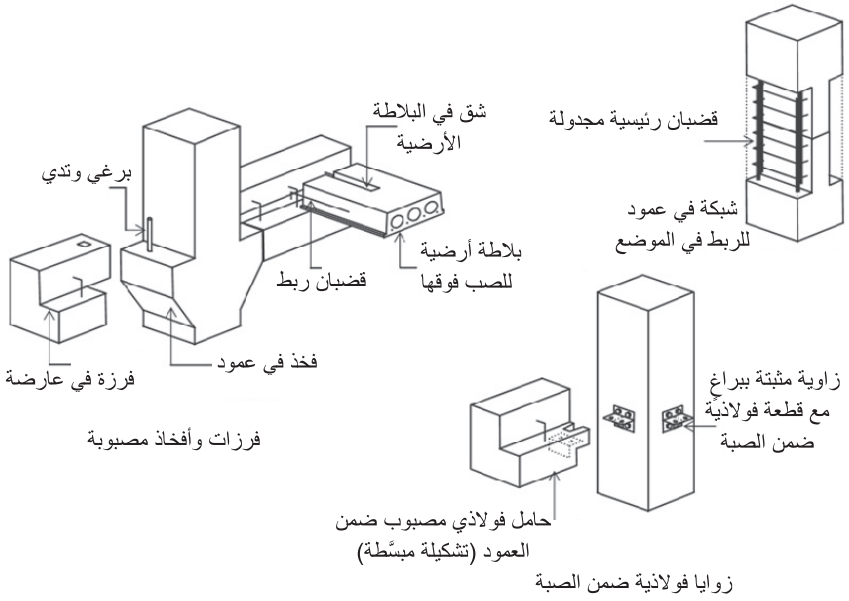
بالعناصر الخرسانية حتى انقضاء الـ 28 يوماً. ووفقاً لإجراءات مراقبة الجودة، لا يمكن اعتبار الخرسانة مقبولة نهائياً حتى يجري التحقُّق من وصول متانتها إلى المتانة المحدَّدة بانقضاء 28 يوماً على الصب. لذا من الشائع صنع مكعبات خرسانة في أثناء الصب لاختبار مقاومتها للضغط بعد 7 أيام و28 يوماً. إذ يعطي اختبار الـ 7 أيام دلالة على أن جبْلة الخرسانة سوف تصل إلى متانة الـ 28 يوماً. وهذا يولِّد بدوره ثقة بأن الاستمرار في عملية البناء سوف تؤدي على الأرجح إلى تحقيق متانة الـ 28 يوماً إذا كانت ظروف وطريقة العمل في الموقع صحيحة. حينئذ، يُعتبر الحصول على شهادة متانة الـ 28 يوماً نهاية عملية صب الخرسانة للعناصر الإنشائية بتلك الجبلة.

الهياكل المؤطرة المسبقة الصب ـ الإنتاج

تختلف الهياكل المؤطرة المسبقة الصب عن تلك التي تُصب محلياً من حيث عملية الإنتاج وسلوك الوصلات الإنشائي. فالأعمدة والعوارض والبلاطات وشدادات الريح (تُصنع الشدادات غالباً من قضبان الفولاذ) تُصب جميعاً عند مستوى سطح الأرض في معامل غالباً، مع كل ما يتضمن ذلك من ضبط جيد للأبعاد وجودة للإنهاء. ويفتح الصب المسبق الباب أمام صب المكوِّنات الخارجية متكاملة مع إكساءاتها، ومن ضمنها الإنهاءات. أما التسليح فيتكوَّن من حصائر وأقفاص مشابهة لتلك المستعملة في الصب المحلي، لكنها موجودة الآن ضمن العناصر، ربما مع نهايات قصيرة مكشوفة لتكوين الوصلات. وتتركَّز عملية العمل في الموقع حينئذ في رفع العناصر إلى مواضعها ووصلها معاً. والآن، يعتمد ضبط أبعاد الهيكل النهائية على التسامحات الموجودة في تصميم الوصلات، وهذا يحدِّد أيضاً السلوك الإنشائي للهيكل بكليته.

ويمكن تحقيق الوصلات بعدة طرائق وفقاً للمبيَّن في الشكل 13.25. فعملية الصب يمكن أن تُنتِج أفخاذاً وفرزات لتوفير مرتكَزات لمكوِّنات أخرى. وتتضمن الوصلة أيضاً دبابيس لتحديد الموضع تلصق أو تصب بعد قبول الهيكل النهائي في المستويات المتعامدة الثلاثة. ونظراً إلى أن سطوح الارتكاز هي سطوح خرسانية، فإن تلك الوصلات تحتاج غالباً إلى نتوءات أو إضافات إلى العوارض والأعمدة، وهذا ما قد يجعل المقاطع أكبر من اللازم للأغراض الإنشائية ويزيد من تعقيد قوالب الصب. إلا أنه يمكن تبسيط ذلك بتصميم الوصلة بحيث تتضمن سطوح

ارتكاز فولاذية على شكل زوايا ضمن الصبة أو مثبتة بالبراغي على العنصر المسبق الصب. ويمكن تحقيق بعض الاستمرارية إما بصب العنصر مع فولاذ مكشوف يمكن وصله مع العناصر الأخرى وتغطيته بالخرسانة في الموضع النهائي، أو باستعمال وصلات فولاذية مثبتة معاً بالبراغي تصب خرسانة فوقها لتحقيق وصلة كاملة.



الشكل 13.25 هياكل خرسانة مسبقة الصب.

الفولاذ الإنشائي ـ الأداء

تُصنع بلاطات هياكل الفولاذ الإنشائي من الخرسانة المسلحة، وخواصها مشابهة لما قدَّمناه آنفاً، إلا أن طرائق تثبيتها مختلفة. ففي حالة الصب محلياً، ليس ثمة من حاجة للمساعِدات المؤقتة، لأنه يمكن استعمال عوارض فولاذية لحمل القالب على شكل حوامل دائمة، ويمكن استعمال وصلات مقاومة للقص (بغرض زيادة الكفاءة الإنشائية) لتوفير مفعول مركَّب بين العارضة والبلاطة. وسوف نقدِّم لاحقاً في هذا الفصل تفاصيل ذلك حين عرضنا لبلاطة خرسانة مسلحة مسبقة الصب.

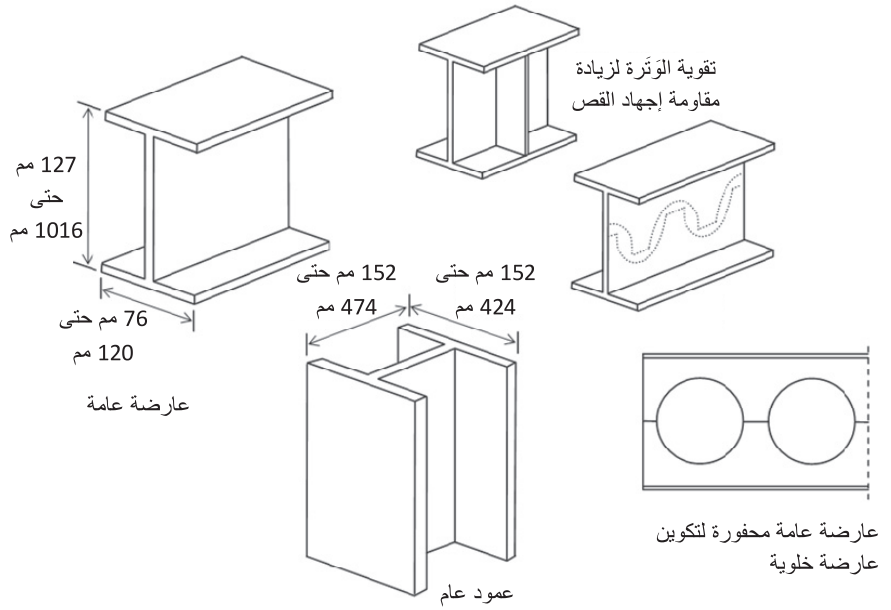
والمكوِّنات الرئيسية التي تعطي هذا النوع من الهياكل اسمه هي العوارض والأعمدة. وخلافاً للخرسانة المسلحة، فإن مكوِّنات هيكل الفولاذ الإنشائي تُصنع من مادة واحدة هي الفولاذ ذو المقاومة الجيدة لكل من الضغط والشد. إنه فعلاً أقوى بكثير من الخرسانة، فمقاومته للضغط أكبر بنحو عشر مرات، وهذا يعني كمية أقل من المادة لمواجهة قوى التقوُّس والقص. وهو أثقل أيضاً (أكثف) وأغلى كثيراً من الخرسانة. ويتحدَّد المقاس الكلي للمقطع الإنشائي بالسلوك الإنشائي للعنصر وبالمادة المستعملة. وفي ما يخص العوارض، تعتمد مقاومة التقوُّس إلى حد بعيد على ارتفاع العارضة، لأنه يحدِّد مسافة (ذراع العتلة) المادة المقاوِمة لقوى الضغط والمادة المقاوِمة لقوى الشد التي تعطي عزم المقاومة. ويُعتبر ارتفاع العارضة أيضاً عاملاً رئيسياً في الحد من الانحراف. وفي ما يخص الأعمدة، فإن نسبة العرض إلى الارتفاع (النحافة) تحدِّد سلوك التحنُّب فيها.

إن هذه المادة القوية الثقيلة والغالية تجعل المقطع العرضاني المستطيل المصمت غير ملائم لتلك العناصر الإنشائية. لكن المادة الموجودة عند المحور الحيادي في العارضة ذات المقطع العرضاني المستطيل تخضع لإجهاد تقوُّس قليل، إلا أنها تعاني من قوى قص شديدة. وفي حالة التركيبة المعهودة للحمل والمجاز في المباني التجارية، تكون قوى القص أصغر من قوى التقوُّس عادة. لذا ثمة شكلان للمقطع العرضاني يمكن أن يقلِّصا مقدار المادة في العنصر بتركيزها في الأمكنة التي تتولَّد فيها أكبر إجهادات التقوُّس. وهذان الشكلان هما الشكل الصندوقي والشكل I. أما أيُّهما هو الملائم لتطبيق معين فيعتمد على عمليات التشكيل والتصنيع المتوافرة.

يمكن تشكيل الفولاذ حينما يكون ساخناً، ويمكن قصه ووصله بطرائق مختلفة وهو بارد. وعندما يكون ساخناً، يمكن صنع أسلاك منه وقضبان وصفائح وأنابيب وزوايا وقنوات ومقاطع I. وعندما يكون بارداً، يمكن قص أيٍّ من تلك الأنواع وحنيه وثقبه وتشغيله وتثبيته بالبراغي بمختلف أنواعها ولحامه لتكوين عناصر وكتل مجمَّعة. إلا أن ثمة حدوداً لمقاسات المقاطع التي يمكن إنتاجها بالعمليات الساخنة، في حين أنه لا توجد حدود في عمليات التصنيع البارد للمكوِّنات والوحدات المجمَّعة إلا تلك التي تفرضها اعتبارات التداول والنقل والتركيب.

ويبين تحليل لتراكيب من أحمال ومجازات شائعة في المباني أنه يمكن مواجهة قوة التقوُّس والقص في العارضة على نحو اقتصادي باستعمال مقطع I،

وهذه المقاطع اليوم هي الحلول الشائعة في هياكل الفولاذ الإنشائية. ويتحقَّق جزء من اختصار التكلفة ذاك بتحديد طيف المقاسات المتاحة تجارياً، لأن ذلك المقطع يُشكَّل بالدلفنة الساخنة. لذا ليس من الممكن اختيار مقاس المقطع اختياراً حراً، بل يجب الاختيار مما هو مصنَّع ومتوافر تجارياً. في البداية، كانت عملية الدلفنة مقتصرة على المقاطع الصغيرة التي لم تكن كافية لصنع هياكل مبان كاملة، لكنها كانت مفيدة لتشييد أرضيات ذات عوارض في المباني التجارية التي يحصل فيها تحميل ثقيل. وعُرفت تلك المقاطع بعوارض الفولاذ المدلفنة. أما اليوم، فتُمكِن دلفنة مقاطع كبيرة تُعرف بالمقاطع العامة، وهذه المقاطع هي التي تُستعمل في الهياكل الإنشائية. يُري الشكل 14.25 أشكال ومجال مقاسات تلك المقاطع. هنا، يتركَّز الفولاذ في شفتَيْ العارضة العليا والسفلى حيث تكون إجهادات التقوُّس أعظمية، وحيث تتحقَّق مقاومة المادة الأعظمية. من الواضح أن ثمة مقداراً أقل من الفولاذ الثقيل الغالي عند المحور الحيادي حيث تكون قوى التقوُّس ضعيفة.



الشكل 14.25 مقاطع فولاذ إنشائي.

أما قوى القص فتكون على أشدها عند المحور الحيادي، ولذا يجب أن تكون ثمة مادة كافية في الوَتَرة لمواجهة تلك القوى. تولِّد قوى القص قوى ضغط

وشد في الوَتَرة، وتنحو قوى الشد إلى تمزيق الفولاذ، إلا أن الإخفاق الأرجح هو أن قوى الضغط تؤدي إلى تحنُّب الوَتَرة الرقيقة.

ومع أن استعمال عملية الدلفنة التي يُصنع بها طيف من المقاطع المعيارية يمثِّل جزءاً من تخفيض التكاليف، فإنه ما زال من الممكن تحقيق تخفيض في كمية الفولاذ المستعملة في كل مقطع. لذا تُبرمج عملية الدلفنة بحيث تعطي مقاطع ذات شفاه ووتَرات ذات سماكات مختلفة. وهذا يغيِّر من مقاومة المقطع وتكلفته، ووزن العارضة التي تُصنع منه أيضاً، وهذه حقيقة تُؤخذ في المواصفات في الحسبان. تتضمن المواصفة الكاملة لمقطع العارضة عرضها وارتفاعها، وعدداً ثالثاً هو وزن المتر منها بالكيلوغرام. وثمة لكل مقاس سلسلة من الأوزان.

طُوِّرت تلك المقاسات المتسلسلة لظروف التحميل والمجاز العادية في المباني التجارية الشائعة بغرض مواجهة التقوُّس والقص والانحراف. وتظهر في العوارض القصيرة ذات التحميل الثقيل قوى قص شديد نسبياً، وتظهر في العوارض الخفيفة التحميل نسبياً انحرافات كبيرة. وضمن هذه الظروف، قد يكون من الضروري تعديل المقاطع العامة بتقوية الوَتَرة تجاه القص وتكوين عوارض خلوية (بتكوين حفر في الوَتَرة) لتحقيق ارتفاع أكبر مع الوزن لمواجهة الانحراف نفسها. وهذه العوارض مبينة في الشكل 14.25 أيضاً.

وثمة حاجة إلى تحليل مشابه بحثاً عن مقاطع اقتصادية للأعمدة، لكن سلوك الأعمدة الإنشائي مختلف. في الأعمدة، يصبح التقوُّس الناجم عن التحنُّب بدلاً من التقوُّس المباشر هو المحدِّد لأبعاد المقطع الكلية. والمساحات الصغيرة نسبياً من مادة الفولاذ القوية يمكن أن تقاوم الأحمال المطبَّقة على الأعمدة. وإذا وُفِّرت تلك المساحات بمقطع عرضاني مربع مشابه لعمود من الخرسانة المسلحة، كان العرض الكلي للعمود صغيراً جداً مقارنة بارتفاعه في حالة مبنى عادي مؤلف من طابق واحد. إلا أن التحنُّب في العمود النحيف يحد من الحمل الذي يمكن للعمود حمله، وبذلك لا يُستفاد من كامل قوة الفولاذ. يُضاف إلى ذلك أن التكلفة العالية للفولاذ يجعل من المقاطع ذات المقاسات المتسلسلة التي تُدلفن وهي ساخنة جديرة بالإنتاج، خاصة أن الشكل المربع عالي الكفاءة في مواجهة التحنُّب باتجاه أيٍّ من المحورين. وهذا يؤدي إلى المقطع H حيث تتوزَّع المادة على نحو أكثر تجانساً عبر الوَتَرة والشفتَيْن. يُعرف هذا المقطع بالعمود العام وهو مبيَّن في الشكل 14.25.

ويمكن توفير عناصر الاستقرار في مواجهة الريح على شكل جدران أو عناصر تربيط. ويمكن استعمال وصلات عزم، إلا أنها تغيِّر وصلات ومثبِّتات العوارض مع الأعمدة، إضافة إلى أنها غالية مقارنة بالجدران أو عناصر التربيط في معظم الحالات. ويمكن الجدران أن تكون من الخرسانة المسلحة، أو في بعض الحالات من لبنات خرسانية. وتُستعمل الجدران عادة في الأدراج الدائرية (circulation core)، إلا أن الأدراج المربَّطة بالفولاذ ممكنة أيضاً. وفي حين أن جدران الخرسانة المسلحة تتصف بالاستمرارية الذاتية، فإن اللبنات الخرسانية تُستعمل حشوات بين أعمدة وعوارض الفولاذ. إن الاستمرارية عند الوصلة بينها وبين الفولاذ هامة جداً وتتطلب تثبيتاً بعناية، إضافة إلى ضبط في أثناء الإنتاج. ولذا لا تُستعمل لبنات الخرسانة اليوم كثيراً.

أما التربيط بعناصر فولاذية فيجعل الوصلات وعملية الإنتاج عامتين ويمكن تنفيذه بحيث تتكوَّن استمرارية إنشائية جيدة. لكن صيغ التربيط الثلاث (القطري، والمتصالب وذات الشكل K) تتطلب مقاطع مختلفة تبعاً للحاجة إلى مواجهة قوى الضغط في المقام الرئيسي. يجب تصميم كل من التربيط القطري المفرد والتربيط K لمقاومة قوى الضغط، ولذا فإنهما عنصر عرضة للتحنُّب. ونظراً إلى أن عناصر التربيط يمكن أن تكون طويلة، ولذا تكون نحيفة، يجب أن تكون مقاطعها العرضانية كبيرة، وفقاً لما ذُكر سابقاً. لقد استُعمل في الماضي مقطع زاوية، وهو نوع من المقطع I، لهذا الغرض، أما الآن فإن الأنبوب، وهو نوع من المقطع الصندوقي، فهو الذي يُستعمل على الأرجح. أما التربيط المتصالب، فيمكن تحقيقه بواسطة قضبان فولاذية، أو شرائط منبسطة حيث يمكن استعمال وصلات قماشية بسيطة.

توفِّر العناصر الإنشائية التي قدَّمناها المتانة والاستقرار اللازمين لهيكل المبنى. ثمة قضيتان تخصان الأداء مع مرور الزمن هما الديمومة وسلوك المبنى في حال حدوث حريق، وقد ناقشناهما في فصول سابقة. إلا أن ثمة اعتبارات إضافية لتوفير الحماية أو أعمال هندسية أخرى سوف نناقشها لاحقاً في هذا الفصل.

الفولاذ الإنشائي ـ التصنيع والتشييد

استقصينا حتى الآن أداء الفولاذ، وحدَّدنا المقاطع الإنشائية الأساسية التي تُصنع منها مكوِّنات الهيكل. وبيَّنا أن المقاطع الإنشائية الأساسية يجب أن تُشكَّل

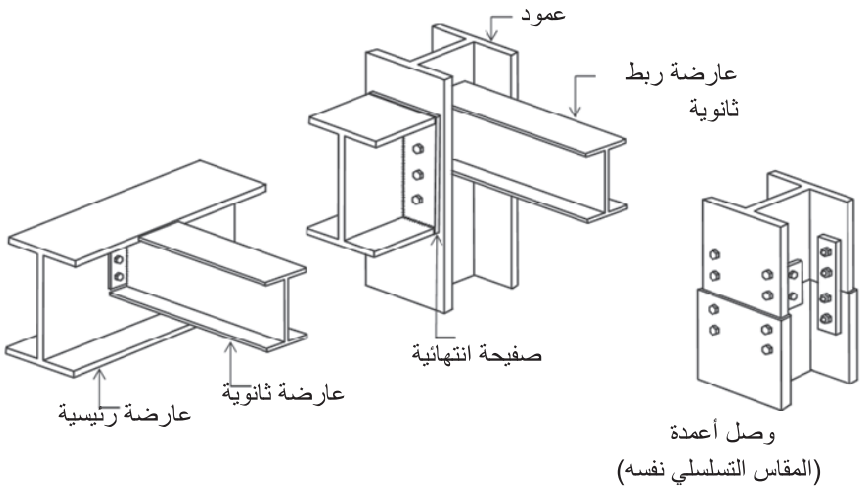
بالدلفنة الساخنة، وهي عملية صناعية مستعملة في صناعة الفولاذ. وأشرنا إلى أن هذه العملية غالية من حيث التكلفة المالية واستهلاك الطاقة، ولذا كان ثمة اهتمام كبير بطبيعة المقاطع وأشكالها. والمرحلة التالية هي الشغل على المقاطع وهي باردة: القص بحسب الطول، والطلاء والتثقيب لصنع الوصلات. وهذه ليست عمليات تُجرى في الموقع، والتجهيزات والآلات اللازمة لها جعلت منها ما يُعرف بتصنيع الفولاذ. وهذا يفتح الباب أمام إمكانات الأتمتة العالية المستوى، ومنها التحكُّم الحاسوبي الرقمي CNC مع إمكان الوصل المباشر مع وسائل التصميم بمساعدة الحاسوب (computer aided design CAD) والتصنيع بمساعدة الحاسوب (computer aided manufacturing CAM) لنقل معلومات مخططات التصميم مباشرة إلى آلات التصنيع.

يحتاج الفولاذ إلى حماية من الصدأ والنار. وتتضمن بعض المواصفات طلاء الفولاذ بطبقة واقية قبل توريده إلى الموقع. وفي حالة استعماله في أجواء مفتوحة، قد تتطلب حمايته من الصدأ غلفنته. ومع أن ثمة منظومات كثيرة لحماية الموقع من الحريق، يمكن في المعمل تطبيق غشاء ينتفخ بالحرارة على الفولاذ، برغم أن هذا يتطلَّب عناية كبيرة في أثناء تداول مقاطع الفولاذ ونقلها لدرء إيذاء الغشاء، وخاصة في أثناء التجميع.

أما التجميع فهو عملية تُجرى كلياً في الموقع، إذ ليس من المعقول نقل جميع مكوِّنات الهيكل الرئيسي إلى الموضع مجمَّعة معاً، مع أن ذلك ممكن في حالة الوحدات المربَّطة. وتتضمن عمليات الموقع رفع المكونات إلى مواضعها وصنع وصلات باستعمال البراغي أو اللحام. لكن اللحام غير مألوف في الهياكل الإنشائية التجارية البسيطة.

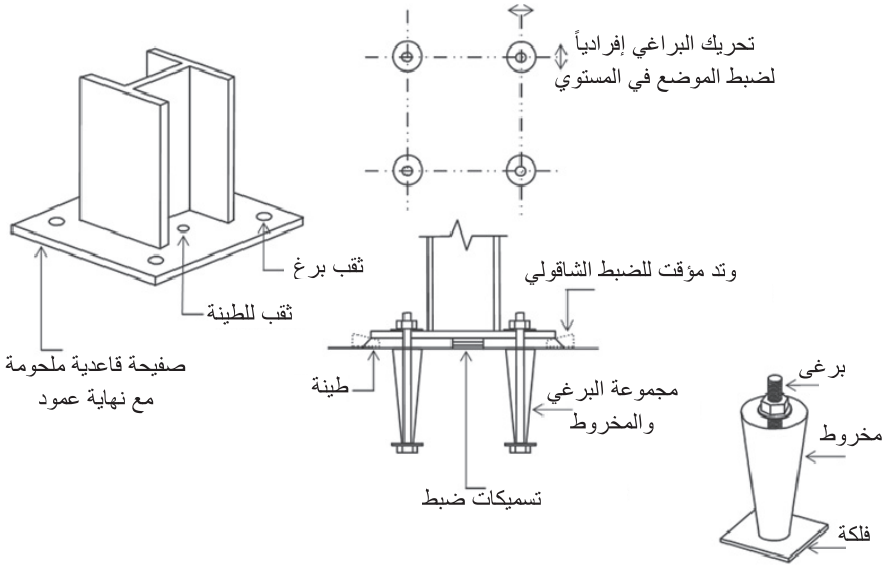
أدت الحاجة إلى فصل التصنيع في المعمل عن التشييد في الموقع، وما يتطلبه من نقل وتداول وإجراءات تنفيذ آمنة، إلى ظهور طرائق عامة لتنفيذ الوصلات. ومن تلك الطرائق تصفيح نهايات المقاطع لتوفير سطح مستوٍ يُثبَّت بالبراغي مع المكوِّنات الأخرى. ويبين الشكل 15.25 تشكيلة من هذا النوع في حالة وصلة عارضة ثانوية مع عارضة رئيسية، ووصلة عمود مع عارضة رئيسية، ووصلة عارضة ربط ثانوية مع عارضة رئيسية. تتصف تلك الوصلات بدرجة ما من الثبات، إلا أنه لا يمكن اعتبارها وصلات جاسئة، ولذا يبقى التربيط المقاوم للريح ضرورياً. ويبيِّن الشكل 15.25 أيضاً وصلة عمود مع عمود، وفيها يوصل عمودان

لهما المقاس المتسلسل نفسه. وغالباً ما يجري تصفيح الأعمدة ذات المقاسات المتماثلة خارج الشفة، أما في حالة الأعمدة ذات المقاسات المختلفة، فتوضع صفيحة تسميك للمقطع الأصغر بحيث يمكن تثبيت صفيحة الوصل خارج الشفة.



الشكل 15.25 وصلات ذات براغ لفولاذ إنشائي.

يُحدِّد التصنيع في المعمل معظم عمليات الضبط الممكنة لأبعاد الهيكل. إلا أن الوضعيات النهائية للأعمدة أفقياً وعمودياً تتحدَّد بالوصلة مع الأساسات. وتُصنع الأساسات من الخرسانة على الأرجح، إما على شكل وسائد أو أساسات قليلة العمق، أو على شكل ركائز تعلوها حصائر في حالة الأساسات العميقة. لكن مهما كان نوع الأساسات، فإن تفاوتات الأبعاد التي يمكن حصولها في صب الأساسات الخرسانية سوف تكون أكبر من تلك المسموح بها في تشييد الهيكل. يُري الشكل 16.25 وصلة الخرسانة مع الفولاذ. فلتوفير وسيلة ضبط تضمن دقة أبعاد الهيكل بكليته، يجب أن يكون من الممكن تحريك براغي التثبيت السفلية لتحقيق الضبط الأفقي، ويجب أن تكون صبة الخرسانة منخفضة للسماح بوضع تسميكات للضبط الأفقي، إضافة إلى خوابير للضبط العمودي. وبعد التوضيع النهائي، تغطى الوصلة بطينة لتثبيتها في مكانها.

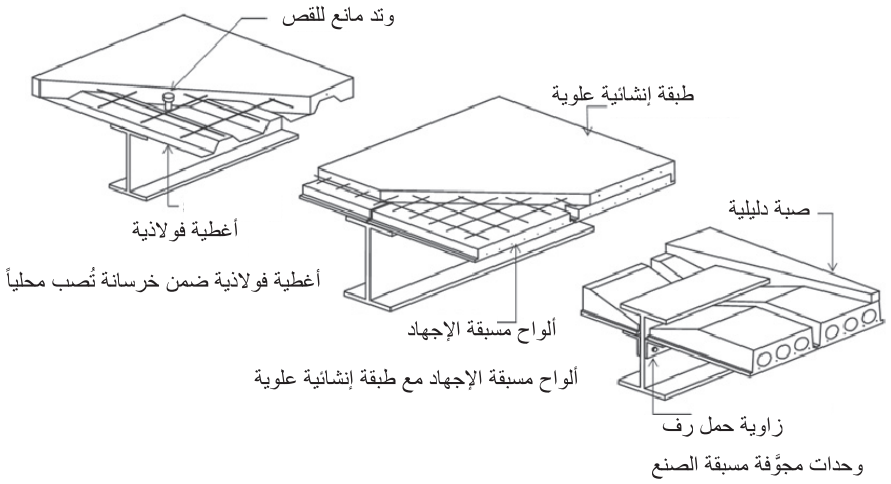


الشكل 16.25 وصلات قاعدة عمود.

إن من الطبيعي أن تُركَّب جميع المكوِّنات الفولاذية انطلاقاً من الأساسات حتى السقف بعملية واحدة. لكن يجب بناء المقاطع ذات التربيط المقاوم للريح أولاً، أو سوف يكون التربيط المؤقت ضرورياً. ويوفِّر استعمال الوحدات المربَّطة في الموزِّعات المركزية، ومنها الأدراج، سلسلة تشييد آمنة من هذا النوع، إضافة إلى التمكين من الوصول إلى الطوابق العليا مع تقدُّم عملية البناء.

لقد انبثقت صيغتان عامتان لتحقيق أرضيات وهياكل فولاذ إنشائية، واحدة تستعمل خرسانة تُصب محلياً، وأخرى تستعمل ألواح خرسانة مسبقة الصب، وهما مبيَّنتان في الشكل 17.25. تُستعمل في خيار الخرسانة التي تُصب محلياً أغطية معدنية تأخذ قوى الشد الموجودة في الأرضية وتعمل بوصفها قالباً دائماً. وإذا كانت المجازات محدودة بنحو 3 أمتار، كانت تلك الأغطية قوية بقدر كاف لأخذ أحمال البناء، وأمكن البلاطة أن تكون رقيقة نسبياً، بسماكة تساوي نحو 130 مم، وهذه سماكة كافية للتحميل المكتبي العادي ومقاومة النار. وتتطلب هذه المجازات المحدودة عوارض ثانوية، إلا أنه يمكن استعمالها مع أوتاد مقاومة للقص لتكتسب مفعولاً مركَّباً بين العارضة والبلاطة، وهذا ما يحقِّق خفضاً للتكلفة نتيجة لتقليص مقاس العارضة. ويمكن تحقيق مجازات أكبر بهذه الطريقة، وهذا يقلِّص عدد العوارض، لكنه قد يتطلب تسنيداً مؤقتا للأغطية المعدنية، إضافة إلى بلاطات

أسمك، ومع ذلك يمكن أن يكون حلاً اقتصادياً لبعض المباني.

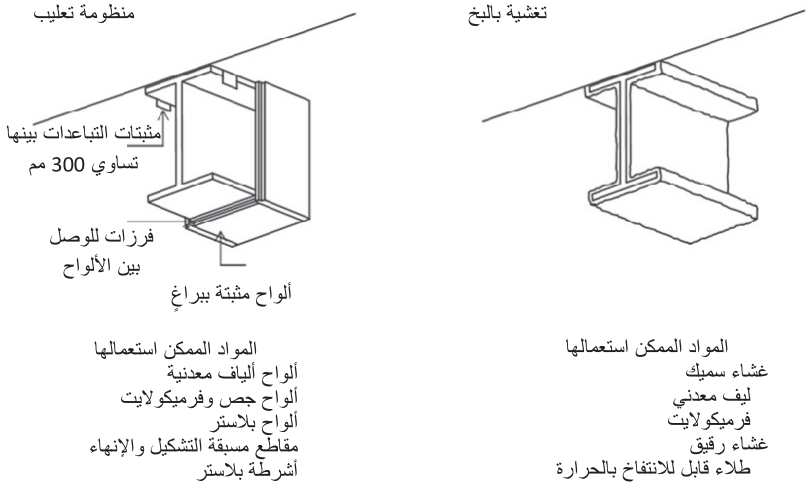


الشكل 17.25 بلاطات أرضيات هيكل فولاذي.

تكون تراكيب العوارض والألواح المسبقة الصب اقتصادية عندما تساوي المجازات 6 ـ 8 أمتار. ونظراً إلى أن هذا يتطلب عارضاً رئيسياً كبيراً، فإنه ليس ثمة من حاجة إلى عوارض ثانوية. وتعطي تلك المجازات تباعداً للأعمدة يمكن القبول به في معظم المباني التجارية. أما أبسط وصلة فهي ارتكاز الألواح على الشفة العليا للعارضة، إلا أن ذلك يمكن أن يؤدي إلى أرضية عميقة. ويمكن تقليص ذلك العمق باستعمال زوايا رفوف مثبتة ببراغ على وَتَرة العارضة لتوفير ارتكاز للألواح بحيث يتطابق أعلى اللوح مع أعلى العارضة. ويمكن للوصل باستعمال قضبان التسليح البارزة من نهايات العناصر التي تحقِّق الاستمرارية، مع تغطية الوصلة بطبقة إنشائية علوية، أن يعطي استمرارية في البلاطة، وأن يُحقِّق بعض المفعول الإنشائي بين البلاطات والعارضة.

أصبح الهيكل الآن مستقراً تماماً وذا أرضيات، لكن ما لم تكن إجراءات هندسية قد اتُّخذت، أو طُبِّقت طلاءات على الفولاذ في المعمل لمواجهة النار، فإنه لن يكون منيعاً من الحريق. في الأصل، كان الحل الشائع هو تغليف الفولاذ بالخرسانة، إلا أن هذا لا يُستعمل حالياً إلا في الحالات التي يمكن للأذية أن تحصل للمواد التي هي أقل مناعة والتي تُستعمل في الحماية من النار. يمكن استعمال لبنات الخرسانة والآجر للحماية، وقد يكون هذا اقتصادياً للأعمدة حيث يمكن تضمين الفولاذ في الجدران.

أما أكثر أنواع الحماية شيوعاً الآن فهي تعليب الفولاذ أو رشه مباشرة بمواد عازلة حرارية وماصة للحرارة. ويبين الشكل 18.25 صيغ الحماية تلك مع موادها المختلفة، حيث يعطي التعليب هيئة مستطيلة للعارضة، لكن ألواح الألياف المعدنية ليست متينة لاستعمالها في التعليب، وهي عرضة للتلف. إلا أنه يمكن طلاؤها بالبلاستر، وهي تُستعمل غالباً فوق الأسقف المعلقة، حيث لا يمثِّل التلف والمظهر مشكلة. وتُعتبر ألواح البلاستر والفرميكولايت أكثر متانة، ويمكن طلاؤها بالبلاستر لتحقيق إنهاء أكثر أناقة. وأما الوصلات بين الألواح فيجب أن تكوَّن مع فرزات أو شرائط تغطية داخلية لضمان استمرارية الألواح واختفاء الوصلة. وتُصنع العلب المسبقة الصنع لمجال من مقاسات المقاطع الفولاذية على شكل ألواح أو صفائح معدنية معزولة مضغوطة مع وصلات متراكبة تُثبَّت ببراغٍ وشرائط معدنية. ويوفِّر البلاستر على اللواصق المعدنية سطحاً جيداً جاهزاً للديكورً. أما الغشاء السميك المبخوخ فيعطي سطحاً غير منتظم سريع العطب. ومع أنه أقل تكلفة من الحمايات المجوَّفة، ويمثِّل سيرورة مبلولة تُجرى في الموقع، إلا أنه يجب أن يُخفى لأنه غير ملائم للإنهاء، ولذا يُعتبر أكثر ملاءمة للعوارض منه للأعمدة. أما الأغشية الرقيقة فهي نفسها إنهاء بالدهان، ولذا يمكن استعمالها للمقاطع المكشوفة في كل من العوارض والأعمدة. ووفقاً لما أُشير إليه آنفاً، يمكن بخ تلك الأغشية على المقاطع قبل التوريد إلى الموقع، وحينئذ، يجب الانتباه إلى عدم إتلاف الطلاء في أثناء النقل والتداول. ويجب أيضاً اتخاذ إجراءات تسمح بلمسه باليد في أثناء التشييد.



الشكل 18.25 حماية هياكل الفولاذ من النار.

بعد أن اكتمل عرض إجراءات حماية الهيكل، أصبح من الممكن إجراء مقارنة فعلية بين تكلفة ومدة تنفيذ كل من هياكل الفولاذ الإنشائي وهياكل الخرسانة المسلحة المسبقة الصب أو التي تصب محلياً. إذ يُفترض أن تشييد الفولاذ أسرع دائما من حيث تركيب الأعمدة والعوارض، لكن الهيكل لا يكتمل حتى اكتمال تركيب البلاطات والحمايات من الحريق والأدراج. وهذه العمليات تحدِّد وقت ابتداء العمليات التالية التي تخص عادة الواجهات والخدمات. وحين أخذ هذه العوامل في الحسبان، فإن التكلفة ومدة التنفيذ لا تختلفان كثيراً بين الخيارين في كثير من المباني. إلا أن بعض التصاميم تفضِّل واحداً من الخيارين، لأن توزُّع الأعمدة والمجازات وأشكال صفائح الأرضيات تؤثِّر مباشرة في التكلفة. لذا يجب أخذ عوامل السوق والمخاطر في الحسبان، إضافة إلى مكاملة عناصر المبنى بأسره ضمن إطار الحلول التقنية المقترحة.

اختيار البنية الإنشائية والتصميم الشامل

حين النظر في اختيار حل إنشائي معين للمبنى، من الضروري النظر إليه بوصفه جزءاً من تصميم المبنى بكليته. وإضافة إلى مكاملة حل البنية الإنشائية مع الخطط التقنية الشاملة، ومع حلول عناصر المبنى التقنية الأخرى، فإن تطوير حل الهيكل يجب أن يكون متوافقاً مع التصميم الشامل للمبنى. ومن الناحية العملية، فإن مواضع الأعمدة يجب أن تكون متوافقة مع توزُّع الغرف. فهي تحدِّد الشبكة الإنشائية الأفقية في كل طابق، وتلك الشبكة تقوم عادة على مراكز الأعمدة (أو الجدران) التي يؤدي تكرارها غالباً إلى تحقيق أفضل استعمال اقتصادي للهيكل.

ويمكن اعتبار تغيير بعض الأمكنة في المبنى في أثناء مدة حياته ضئيل الاحتمال، ومن تلك الأمكنة التي لا يحصل فيها تغيير الممرات الرئيسية حول الأدراج وبيوت المصاعد وغيرها من الممرات العمودية التي تُستعمل لتمديدات الخدمات. حتى إن أماكن المراحيض والمناطق المبلولة الأخرى ضئيلة احتمال التغيير أيضاً. أما ديمومة الأمكنة الأخرى فتعتمد على الاستعمال والمتطلبات الواردة في مذكرة الزبون التي تحدِّد أيضاً مواضع الأعمدة المقبولة، وحتى عناصر مقاومة الريح في الهيكل.

وثمة تأثير متبادل بين ارتفاع المبنى وتوزُّعه الإنشائي. فانتظام شبكته الإنشائية يجب أن يُؤخذ في الحسبان في أي تشكيلة ذات صلة بتحديد ارتفاع النوافذ، أو

بتغيير المواد أو تفاصيل واجهة المبنى. فتحديد تلك الارتفاعات يؤثِّر في مواضع لوحات الاستقرار في مواجهة الريح، وهو أمر صعب التحقيق إذا وُجدت فتحات في الجدار الخارجي.

ومباشرة بعد انبثاق مفهوم التصميم الشامل، من الممكن البدء بتحديد نوع الشبكة الإنشائية التي تسهِّل التصميم. وهذا يدل بدوره على الحل الممكن للهيكل.

إن هذا التحديد والتحليل المبكرين للحلول الإنشائية الممكنة يتطلَّب فهماً شاملاً لأداء المبنى وتقانات الإنتاج المستعملة في تشييده، مع شيء من المقدرة على وضع مقاسات تقريبية للحكم على قابلية التصميم التفصيلي النهائي لتحقيق مفهوم التصميم. ومن هذه الناحية، فإن اختيار البنية الإنشائية ليس مختلفاً عن اختيار أي جزء آخر من المبنى.

مكاملة الهيكل مع عناصر المبنى الأخرى

تكمن العلاقة الأساسية بين هيكل المبنى وعناصر غلافه الخارجي، وخاصة الجدران، في أنها مسألة تنفيذ لوصلات مادية في المقام الأول. ولا يقتصر نقل الأحمال هنا على مرتكَزات الجدران فقط، وهي في كثير من الأحيان أحمال لامركزية تطبَّق على الحواف، بل على نقل أحمال الريح أيضاً. ويجب ترك مجال للتفاوتات المتأصِّلة في العناصر أيضاً، وللحركات النسبية المحتملة التي تنجم عنها، وللتفاوتات التي تنشأ في عملية الإنتاج، والتي يجب ألا تزيد على التسامحات المقررة في عمليتي إنتاج وتشييد الهيكل. ومن الاعتبارات الأخرى التي يجب الاهتمام بها في تنفيذ الوصلات الجوانب البيئية، مثل الجَسْر الحراري البارد الذي قد يتبيَّن أنه صعب التحقيق في مرحلة الإنهاءات.

يمكن البلاطات الإنشائية أن توفِّر كثيراً من المتطلبات البيئية للأرضيات، ومنها العزل الصوتي ومقاومة النار بين الشقق، مع قدر صغير جداً من الإنهاءات الإضافية. ويمكن الأرضية أيضاً أن توفِّر كتلة حرارية لتصريف الحرارة ليلاً من المباني القائمة على التصميم الحراري غير النشط. وتمثِّل العناصر الداخلية، مثل جدران التقسيمات الداخلية، أحمالاً يمكن أن تؤثِّر في اختيار الهيكل والإنهاءات تبعاً لأنماط توزُّع الأحمال.

وغالباً ما يكون ثمة تضارب في الاحتياجات المكانية لمنظومات توزيع

الخدمات في المنطقة الموجودة تحت الأرضيات، خاصة حيث توجد عوارض. وينطبق الشيء نفسه على إنهاءات أعلى الأرضية وأسفل السقف. وتوجد غالباً حاجة لارتكاز مكوِّنات الخدمات على الهيكل، إلا أن هذه المكوِّنات خفيفة عادة، إلا أن بعض الآلات يمكن أن تكون ثقيلة أحياناً.

لقد كان للاعتبارات البيئية المقترنة بالتنمية المستدامة تأثير كبير في خطط تحقيق بيئات صحية ومريحة داخل المباني. وقد أمكن تحقيق بيئات من هذا القبيل في الماضي القريب بواسطة خدمات شديدة استهلاك الطاقة التي تأتي من حرق الوقود الأحفوري الذي يُعتبر اليوم المسهم الرئيسي في التغيُّر المناخي. أما طرائق التصميم غير النشط لتحقيق تلك البيئات الداخلية، فتقوم على استعمال كتلة المبنى، ومن ضمنها بنيته الإنشائية، إلى جانب منظومات الخدمات في المبنى. ولعل خير مثال على ذلك هو استعمال كتلة الأرضيات الحرارية الذي نوقش في الفصل 15.

الخلاصة

1. مكَّن الفولاذ والخرسانة، بوصفهما مادتين قويتين يمكن التحكُّم في جودتيهما، من تطوير هياكل إنشائية بمقاسات مفيدة للمباني التجارية.
2. تتألف الهياكل الإنشائية من أعمدة وعوارض وبلاطات وعناصر استقرار في مواجهة الريح. وقد مكَّنت الخرسانة المسلحة التي تُصب محلياً من تطوير أرضيات مسطَّحة تُستعمل عناصر مجازات أفقية من دون الحاجة إلى عوارض.
3. ثمة حدود للمجازات التي يمكن أن تغطيها العوارض والبلاطات بتكلفة مقبولة، والتي تعطي تباعدات في ما بين الأعمدة مع تشكيلات هيكلية تُمكِن الاستفادة منها في صيغ متنوعة من المباني، ومنها المباني الشاهقة.
4. إضافة إلى المتطلبات الإنشائية التي يجب أن يحققها الهيكل، تُعتبر ديمومته ومقاومته للنار عاملين رئيسيين من عوامل أدائه.
5. الخرسانة المسلحة هي مركَّب يتكوَّن عادة من قضبان تسليح فولاذية تتحمَّل قوى الشد، وخرسانة تتحمَّل قوى الضغط.
6. يسمح التوافق بين خواص الخرسانة والفولاذ بتصاميم اقتصادية تستغل إمكانات المادتين استغلالاً تاماً، وهذه الإمكانات تحدِّد التصميم الإنشائي وعملية الإنتاج.

7. تشتمل عملية الإنتاج على قوالب ومساعِدات مؤقتة يوضع فيها فولاذ التسليح على شكل حصائر وأقفاص قبل صب الخرسانة فيها. وتُزال القوالب والمساعِدات المؤقتة بعد تصلُّد الخرسانة ووصولها إلى متانتها الكاملة.

8. من عوامل التكلفة الرئيسية تكلفة القوالب والمساعِدات المؤقتة، خاصة في حالات الصب المحلي. لذا فإن تبسيط أشكال المقاطع العرضانية للعناصر يبسِّط القوالب والمساعدات ويقلِّص مدة التشييد والتكلفة الكلية.

9. يتصف الفولاذ بقوة كبيرة في كل من حالتي الضغط والشد، ولذا يمكن استعماله وحده للعوارض والأعمدة. لكنه باهظ الثمن. من ناحية أخرى، يمكن تركيز مادة الفولاذ ضمن المقطع الإنشائي بحيث تكون في في مناطق الإجهادات الأعظمية. ولذا جرى تطوير المقطعين I و H.

10. تُصنع مقاطع الفولاذ الإنشائي بالدلفنة الساخنة في المعمل، وتُصنع العناصر الإنشائية في الورش قبل إرسالها إلى الموقع حيث يجري تشييدها وتثبيتها معاً بالبراغي لتكوين الهيكل. أما التكلفة الرئيسية فتأتي من ثمن مقاطع الفولاذ ومن تكلفة تصنيعها.

11. تتكوَّن بلاطات الهياكل الإنشائية على الأرجح من خرسانة مسلحة تصب محلياً أو تورَّد على شكل ألواح مسبقة الصب.

12. يعتمد اختيار مادة الهيكل على التشكيلة الإنشائية الشاملة التي تتحدَّد بتصميم المبنى، وعلى الخيارات الخاصة بعناصر المبنى الأخرى.

الفصل السادس والعشرون

بنى الأسقف

نهتم في هذا الفصل بخيارات بنى الأسقف التي تغطي مساحات واسعة من دون أي عائق. كانت تلك البنى قد طُوِّرت أصلاً للمنشآت الصناعية، إلا أنها أصبحت الآن مطلباً لكثير من التطبيقات التجارية الأخرى. وثمة تنوُّع كبير من صيغ هذه البنى، والأطر المستوية هي أكثرها اقتصادية وقبولاً. أما البنى المسطَّحة والمنحنية الثنائية المجازات، فتُستعمل لأسقف خاصة، وتُترك غالباً مكشوفة للناظرين من الأسفل. نقدِّم في هذا الفصل تلك الصيغ بوصفها خيارات عامة أولاً، ثم نُتبِعها ببعض التفاصيل الإنشائية لأكثر الصيغ استعمالاً، وهي العوارض الشبكية والأطر البابية والأطر الفراغية المسطَّحة الثنائية المجازات.

تقديم

يتطلَّب كثير من الأنشطة التجارية اليوم تغطية مساحات واسعة من دون عوائق تقطعها وبوجود أقل عدد ممكن من الأعمدة في الداخل. والهيكل الإنشائي لا يحقِّق ذلك على نحو جيد، لأن تقليل عدد الأعمدة الداخلية يتطلب أن تكون تلك البنى ذات مجازات طويلة. إلا أن من الممكن تحقيق ذلك عملياً إذا أمكن تقليص أحمال الأسقف. وبالفعل، فإن الأحمال المفروضة على الأسقف صغيرة نسبياً، ومن الممكن تقليص الأحمال الساكنة باستعمال أغطية أسقف خفيفة الوزن.

تاريخياً، أولى التطبيقات التي تطلبت هذا النوع من البنى هي المنشآت الصناعية والمستودعات. وفي الأيام الأولى من الثورة الصناعية، كانت المنشآت التي تحقِّق هذا المتطلب متعددة الطوابق وذات جدران خارجية حاملة مع عوارض وأعمدة خشبية ضخمة. وقَصَرت صيغة البناء هذه عرض المبنى على 12 متراً. وتألَّف الداخل من حيز كبير واحد فقط، مع إضاءة تأتي من نوافذ في الجانبين.

وبُنيَت تلك المباني الطويلة الضيقة بالقرب من الأنهار بوصفها مصدراً للطاقة. واستمر تطوُّر هذه الصيغة العامة مع ظهور الطاقة البخارية واستعمال حديد الصب، ومن بعده، الحديد القابل للتطريق للبنى الداخلية. وتطوَّرت تلك الصيغ في النهاية لتعطي الهياكل الإنشائية في نهاية القرن التاسع عشر مع ظهور الخرسانة والفولاذ، مع أنه قد استُعملت في النماذج الأولية للهياكل الإنشائية أعمدة من حديد الصب، وعوارض من حديد التطريق.

ومع استمرار تطوير المباني الصناعية المتعددة الطوابق خلال القرن التاسع عشر، اعتُبر أن المبنى الوحيد الطابق الذي يغطي مساحة كبيرة يوفِّر ظروف عمل أفضل مع إضاءة في السقف (في الأصل ضوء شمالي، وفي ما بعد إضاءة صنعية). ومنذ نحو منتصف القرن التاسع عشر، وعلى غرار المباني المتعددة الطوابق، تضمنت تلك المباني الوحيدة الطابق جدراناً خارجية حاملة وأعمدة داخلية. واتصفت العوارض الشبكية فيها، التي صُنعت أولاً من الخشب ثم من الفولاذ، بمجازات لم تَزِد على 15 متراً. وبقيت الأعمدة موجودة في الأحياز الداخلية، ولم يُمثِّل ذلك مشكلة لطرائق التصنيع التي كانت سائدة في تلك الأيام. وكان ظهور التصنيع الكمي، الذي تميَّز بخطوط إنتاج السيارات في أواخر عشرينيات القرن العشرين، وتجميع الآلات الضخمة التي من مثل الطائرات، هو الذي تطلب الحيز الداخلي الكبير الخالي من العوائق الذي يُعتبر مطلباً رئيسياً اليوم (ثمة تاريخ أطول للأسقف الواسعة المجاز في مرافق صناعة السفن).

وقد تحقَّقت الاستجابة لهذا المتطلَّب الحقيقي، الذي تجلى بالأسقف الواسعة المجاز فوق مساحات كبيرة خالية من العوائق، نتيجة للتوافر المتزايد للفولاذ، ولتراكم الخبرة المكتسبة من إنشاء الجسور. وقد صُمِّمت أولى مصانع السيارات الأمريكية باستعمال عوارض شبكية ذات مجازات زادت على 100 متر.

وفي أوقات لاحقة، تراجعت الصناعة في بريطانيا، وتراجعت حاجتها إلى البنى ذات المجازات الواسعة. ومع ذلك استمرت الحاجة إلى المستودعات في مراكز التوزيع، وبدأت مجالات أخرى، مثل تجارة المفرَّق والتسلية والترفيه، باستعمال البنى الواسعة المجاز. وأدى هذا التحوُّل، من الاستعمال الصناعي لتلك البنى إلى الاستعمال المباشر من قبل الجمهور، إلى متطلبات جمالية جديدة ذات قيم فنية أكثر تنوُّعاً. وتعزَّز ذلك بالموازنات الضخمة التي رُصدت خاصة للإنهاءات التي غالباً ما تكاملت مع صيغة المبنى وتفاصيلها المعبِّرة.

وثمة الآن تنوُّع هائل من صيغ الأسقف تلك التي تقوم على بنى تعمل في أنماط إجهادات التقوُّس والضغط والشد، على شكل بلاطات وشبكات. وقد جُرِّب كثير منها، وأصبح بعضها صيغاً عامة. وسوف نقدِّم في هذا الفصل طيف تلك الصيغ، لكننا لن نناقش سوى تفاصيل الصيغ التي هي أكثر شيوعاً.

تنوُّع الصيغ الإنشائية

ثمة كثير من الطرائق لتقديم هذه الصيغ الإنشائية، والنهج الأساسي المتبَّع في هذا الكتاب مبيَّن في الجدول 1.26. أولى تلك الأنواع هي الأطر المستوية، وتليها البنى المسطَّحة الثنائية المجازات، ثم البنى المنحنية (والمثنية) الثنائية المجازات. وقد أشرنا إلى الصيغ الرئيسية من كل منها، وإلى المواد الأساسية التي يمكن أن تُصنع منها.

الجدول 1.26 أنواع البنى الواسعة المجازات

نوع البنية	الصيغة الرئيسية	المواد
إطار مستوٍ	عوارض شبكية، أطر بابية أضلاع مقوَّسة	فولاذ وخشب، فولاذ وخشب وخرسانة، فولاذ وخشب
بنية مسطَّحة ثنائية المجازات	شبكات مسطَّحة، هياكل فراغية	فولاذ وخشب، فولاذ وألمنيوم
بنية منحنية ثنائية المجازات	قواقع مصمتة الغلاف، قواقع شبكية الغلاف، شبكات معلقة، بنى نسيجية	خرسانة وخشب، فولاذ وخشب فولاذ متعدد رباعي فلور الإيثلين PTFE أو كلوريد الفينيل المتعدد PVC

يحتاج معظم هذه البنى ذات المجازات الواسعة إلى عمود أو صارٍ أو إلى منظومة رئيسية لحملها فوق الحيِّز المستخدم الذي تغطيه. ويمكن بناء أقواس أو قواقع أو قبب ترتكز على الأرض مباشرة وتُكوِّن تحتها الحيِّز الواسع المجاز معتمِدة في حمل نفسها على المفعول الإنشائي لتقوُّس بنيتها.

لقد استعرضنا العمود، بوصفه أحد مكوِّنات المبنى، في أثناء تحليل الهيكل الإنشائي. أما بوصفه صاري ارتكاز، فهو خاص بالبنى الواسعة المجاز. ترتفع الصواري إلى ما فوق مستوى السقف لحمل كِبال تعليق تحمل السقف ذا المجاز

الواسع. وتُستعمل الصواري عموماً مع الشبكات والبنى النسيجية، ويمكن استعمالها أيضاً لحمل عوارض وجسور، وحتى شبكات وهياكل فراغية خارجية للحد من المجازات من دون الحاجة إلى أعمدة داخلية. ومن الصيغ الأخرى التي تحد من المجازات منظومة الشجرة، أو المظلة الحاملة، التي يمكن أن تُستعمل أيضاً لتوزيع إجهادات القص حيث تتصل البنية ذات المجازات بالأعمدة.

وتُستعمل بنى الأسقف هذه عادة في المباني الوحيدة الطابق، ويمكن استعمالها أيضاً على سطح الطابق العلوي لتحقيق بنية متعددة الطوابق. ومن أمثلة تلك البنى قاعات المسافرين في كثير من المطارات.

لقد قدَّمنا في الفصل 11 هذه البنى الواسعة المجازات، وعرَّفنا المجاز الطويل بأنه ذاك الذي يزيد على 35 متراً، وعرَّفنا المجاز المتوسِّط بأنه يقع بين 15 و 35 متراً، ولذا يكون طول المجاز الصغير أقل من 15 متراً. ومع أنه لا يوجد إجماع على هذا التعريف وأنه لا يصلح لجميع الصيغ، إلا أنه يعطي فكرة عن تكلفة البنية ونوعها، وعن المنشأة التي يمكن إشادتها باستعمالها. وسوف يتضمن هذا الفصل بنى أسقف يمكن استعمالها لمجازات متوسِّطة ومجازات تزيد على 35 متراً، وتصل في بعض الحالات إلى 100 متر أو أكثر، إلا أن تلك المجازات غالية جداً. إن المجازات المحدودة، حتى لو كان ذلك يعني وجود بعض الحوامل الداخلية، سوف تكون دائماً أقل تكلفة.

ومن بين تلك البنى، تُعتبر الأطر المستوية أقل البنى تكلفة، خاصة بأكثر صيغها بساطة، ولذا كانت أكثر الصيغ شيوعاً. أما في ما يخص الصيغ ذات المجازات الطويلة المستخدمة في المسارح، فتُعتبر التكاليف الإضافية مبررة، ولذا تصمَّم تلك البنى بحيث تكون غالباً مرئية من الأسفل، حيث تصبح جزءاً من قيم المبنى الجمالية.

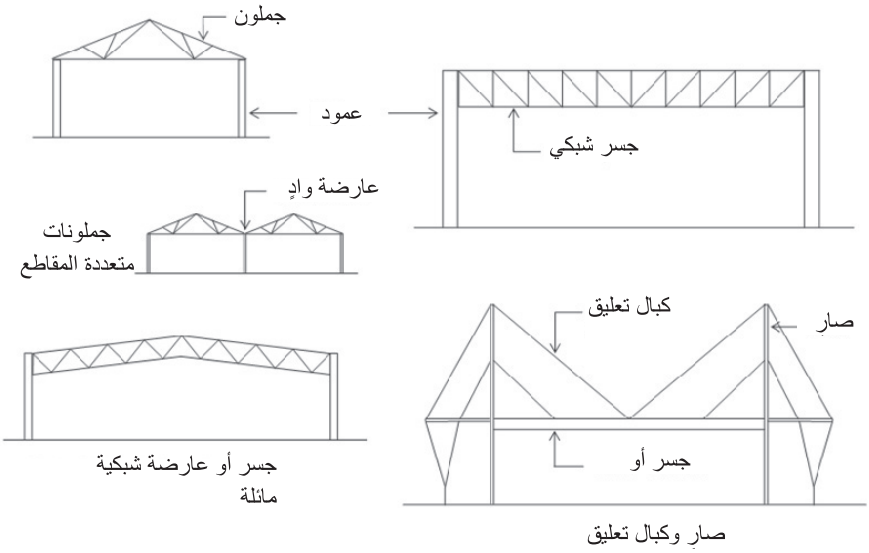
الخيارات العامة

الأطر المستوية

يعطي الإطار المستوي بنية ثنائية الأبعاد توفِّر حين تكرارها على طول المبنى بفواصل منتظمة حاملاً للسقف وغطائه.

والجسور الشبكية هي هياكل ذات وصلات مفصلية كالجملونات، إلا أنها

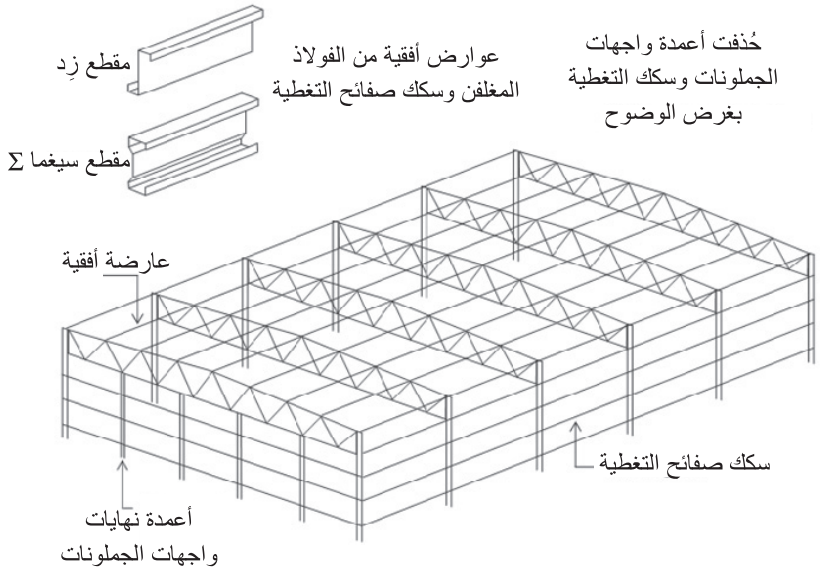
تتَّخذ صيغة العارضة ذي السماكة المتساوية على طول المقطع وفقاً للمبين في الشكل 1.26. وفي حين أن الجملونات تحتوي على شِدادات وعوارض مائلة تحدِّد ميل السقف، يوجد في العوارض الشبكية وَتَران، علوي وسفلي، مهمتهما التربيط. ويسمح الجسر الشبكي بمجازات أطول كثيراً مما تسمح به الجملونات حيث تكون المجازات محدودة بنحو 15 متراً. لذا لا تُعتبر الجملونات عادة بنى واسعة المجازات، برغم أنها يمكن أن تعطي مساحات واسعة بمجازات متعددة. ويمكن أن يكون في الوتر العلوي من الجسر الشبكي ميلاً قليلاً لتوفير مصرف لماء المطر في السقف. وترتكز هذه البنى ذات المجازات عادة على أعمدة، إلا أنها يمكن أن تُصمَّم بحيث تُعلَّق على صوارٍ أيضاً.



الشكل 1.26 صيغ أطر مستوية مفصلية الوصلات مع حواملها.

ما يميِّز جميع هذه البنى الأسقف والتغطية الخفيفة الوزن التي تحد من الأحمال الساكنة، فضلاً عن أن الأجزاء السفلى من الجدران غالباً ما تكون مبنية من لبنات ومرتكِزة مباشرة على عارضة أرضية. وتوضَّع الأطر المستوية عادة بتباعدات تقع ما بين 4 و 8 أمتار، وهي تحتاج إلى تدعيم إنشائي إضافي خاص بالسقف والغطاء الخفيف الوزن. ويتحقَّق ذلك عادة بعوارض أفقية للسقف وسكك لصفائح تغطية الجدران، مع أن النوعين يمكن أن يكونا مقاطع إنشائية متشابهة.

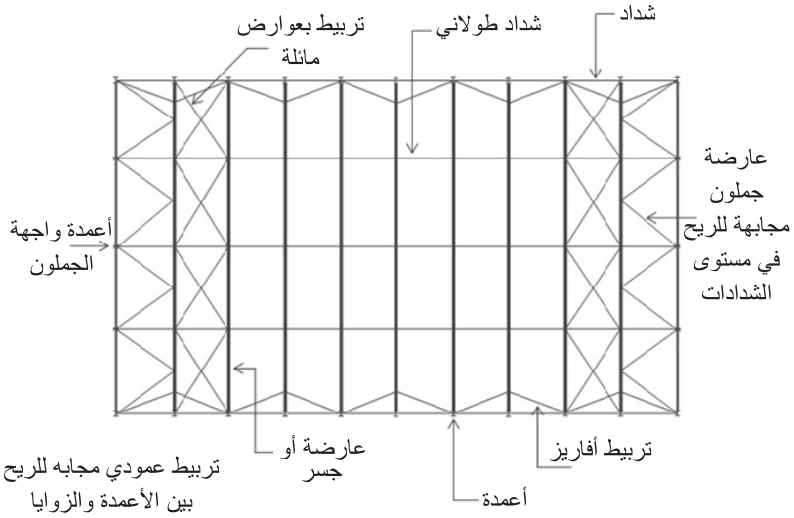
يبين الشكل 2.26 تشكيلة حامل الغلاف تلك مع بعض المقاطع الشائعة. وعندما تصبح المجازات أطول، قد يكون توضيع الأطر بتباعدات بين 8 و 12 متراً أكثر اقتصادية، وحينئذ تُستعمل عوارض أفقية خفيفة. وتحتاج الجدران الخارجية حينئذ إلى أعمدة وسيطة لحمل سكك صفائح التغطية. ومن الممارسات المعتادة في جميع المباني تزويد إطار نهاية واجهة الجملون بأعمدة وسيطة لتوفير حامل لسكك صفائح التغطية.



الشكل 2.26 العوارض الأفقية وسكك صفائح التغطية.

ليست هذه البنى مستقرة تجاه قوى الريح، فهي تحتاج إلى تربيط. والنمط الطبيعي للتربيط مبيَّن في الشكل 3.26. هناك حاجة إلى التربيط بين الأطر لتحقيق الاستقرار الشامل. ويُنفَّذ هذا التربيط عادة عند زوايا نهايات واجهات الجملونات، أما في المباني الطويلة، فقد يكون من الضروري تربيط بعض الأطر الداخلية أيضاً. ولضمان أن هذه المناطق المربَّطة تجعل كامل المبنى مستقراً، تجب تقوية الأفاريز وواجهة الجملون عند مستوى الشداد أو عند الوتر السفلي بواسطة عارضة، وذلك بغية نقل أحمال الريح إلى الأطر المربَّطة. وتُعتبر العوارض الشبكية غالباً بنى سميكة، وهي ذات نسبة سماكة إلى مجاز تساوي عادة نحو 1:25، ولذلك تكون عرضة للتحنُّب العزمي العرضاني. ويعتمد معظم التصاميم على العوارض الأفقية التي تحمل غطاء السقف، وذلك بغية أخذ الأحمال المحورية ومقاومة تقوُّس الوتر

العلوي. حينئذ تظهر حاجة إلى التربيط بين الأطر النهائية لتكوين مفعول جسر بواسطة العارضة المائلة أو الأوتار العلوية.

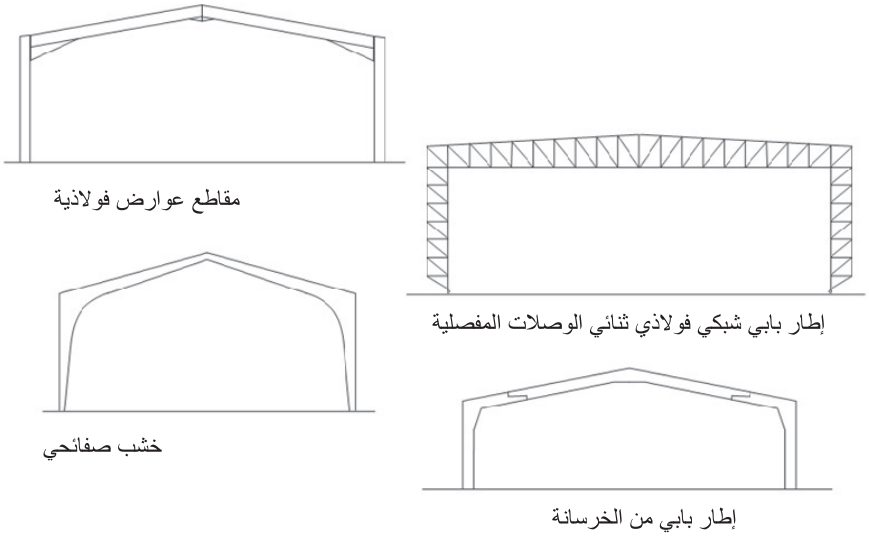


الشكل 3.26 تربيط عوارض وجملونات الأطر المستوية.

وثمة أنماط للريح يمكن أن تسبِّب إخفاقاً لكل العوارض المربَّطة. إذا كانت ثمة أي إمكانية لتوليد الريح لقوى رافعة تفوق وزن الهيكل وغطائه، انعكست مفاعيل التقوُّس في العوارض من تقوُّس إلى الأسفل إلى تقوُّس إلى الأعلى. لذا يجب بناء الجملون أو الجسور بأوتار وعناصر تربيط تستطيع مقاومة كل من قوى الضغط والشد، ومن ثَمَّ تستطيع العمل في ظروف انعكاس مفاعيل الريح. إلا أن الوتر السفلي في حالة انعكاس التقوُّس يُصبح عرضة للتحنُّب العزمي العرضاني، ولا يتلقَّى دعماً من التربيط بالعوارض الأفقية والمائلة. لكن تُمكِن مواجهة عدم الاستقرار العرضاني هذا بشدادات طولانية عند مستوى الشداد أو أسفل الوتر السفلي الذي يعمل مع عارضة نهاية واجهة الجملون المعاكس للريح.

والنوع الثاني من الإطار المستوي هو إطار العزم أو الإطار البابي. تقلِّص وصلة العزم بين عنصر المجاز (العارضة المائلة) والعمود قوى التقوُّس في مركز المجاز. ويُري الشكل 4.26 هذه الصيغة العامة باستعمال المواد الإنشائية الرئيسية الثلاث. تنقل وصلة العزم بعض قوى التقوُّس إلى العمود، ويجب أن تبقى هذه الوصلة الزاويَّة وصلة عزم ثابتة تماماً، ويمكن إدخال مزيد من التعديل في قوى

التقوُّس بتكوين وصلتين مفصليتين عند أسفل العمودين الجانبيين (إطار ثنائي الوصلات المفصلية)، أو بتكوين تينك الوصلتين مع وصلة مفصلية ثالثة في مركز المجاز (عند التاج، فيصبح الإطار ثلاثي الوصلات المفصلية). إلا أن وجود الوصلات المفصلية يزيد من القيم العظمى لقوى التقوُّس، لكن ذلك يمكن أن يكون مفيداً في بعض الظروف. ويُزيل الإطار البابي الثنائي الوصلة المفصلية الدفع الأفقي عن أسفل الإطار الذي يجب لولا ذلك أن تقاومه الأساسات. وهذا مفيد في بعض أنواع الأراضي الضعيفة، إلا أن وضع شِداد بين الجانبين السفليين من الإطار يلغي الحاجة إلى تكوين وصلات مفصلية فيهما. أما تحرير التاج لتكوين إطار بابي ثلاثي الوصلات المفصلية فيجعل البنية محدَّدة سكونياً [محصِّلات جميع القوى والعزوم فيها تساوي الصفر]، وهذا ما ساعد في الماضي على إجراء التحليل الإنشائي اللازم لتصميم بنى آمنة.



الشكل 4.26 أطر بابية مصنوعة من مواد مختلفة.

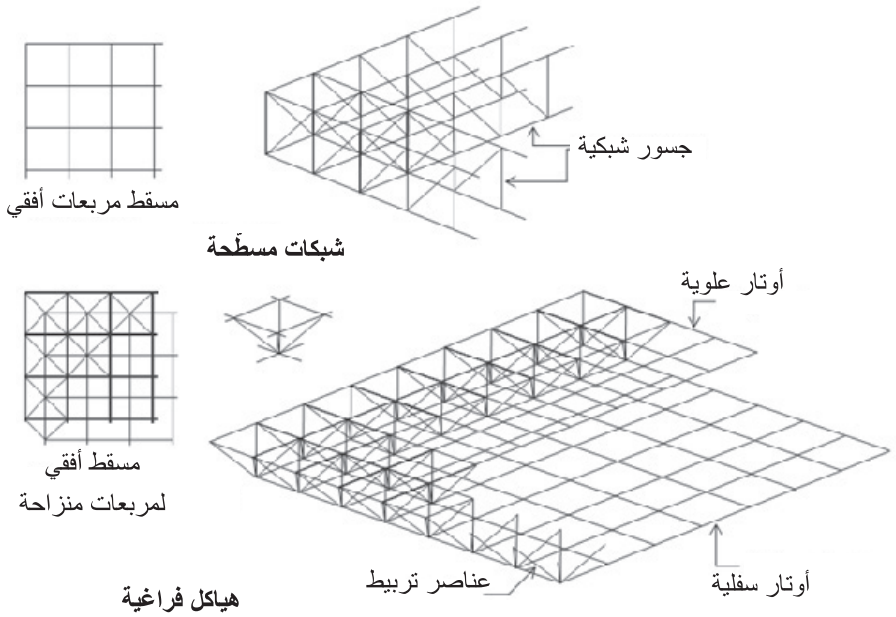
وتحتاج صفائح تغطية السقف والجدار إلى عوارض أفقية وسكك ترتكِز عليها. أما الحاجة إلى التربيط في مواجهة الريح في الأطر البابية فهي قليلة لأن الوصلة بين العمود والعارضة هي وصلة عزم توفِّر استقراراً في مواجهة الريح في موازاة مستوى الإطار. إلا أن هذه الأطر غير مستقرة تجاه الريح المتعامدة معها، ولذا يجب تربيط أعمدة المقاطع المتجاورة من تلك الأطر. ويمكن أن يحصل في

العوارض المائلة في هذه الأطر تحنُّب عزمي عرضاني، ولذا تعتمد على العوارض الأفقية وعلى تربيط ملائم لنهايات واجهة الجملون بغية مقاومة هذا التحنُّب. وعلى غرار حالة العوارض الشبكية، إذا كان انعكاس مفعول الريح ممكناً، وجب اتخاذ إجراءات لتثبيت أسفل العوارض المائلة.

ومن أنواع العناصر الإنشائية المستوية الضلع المقنطر (arched rip). فعلى غرار جميع البنى القوسية، يُحنَى الضلع بحيث يحتوي مستويه على جميع أشعة القوى، ويبقى في حالة ضغط من القوى العمودية الساكنة والمفروضة، وهذا ما يمكِّنه من تحقيق مجازات كبيرة أو بنى أكثر نحافة. إلا أن هذه الصيغة تولِّد دفعاً أفقياً للدعامات الحاملة للضلع، إضافة إلى تحميلها عمودياً. وإذا ارتكز القوس على بنية فوق الأرض، وجب تسنيدها أو تربيط القوس بين نقطتي ارتكازه. ويمكن القوس أن يرتكز على الأرض مباشرة، ولذا يجب استيعاب الدفع الأفقي في الأساسات. وعلى غرار الأطر البابية، يمكن تكوين الأضلاع القوسية بوصفها بنى ثنائية الوصلات المفصلية، حيث تكون الوصلتان في القاعدة، أو ثلاثية الوصلات المفصلية، حيث تكوَّن وصلة مفصلية عند التاج.

البنى المسطَّحة الثنائية المجازات

تعمل هذه البنى المسطَّحة في نمط إجهاد التقوُّس، على غرار الجسور الشبكية. وبربط منظومتي الأوتار العلوية والسفلية الممتدة في كلا الاتجاهين معاً، فإنها تعمل بوصفها بنية واحدة ثنائية المجازات. وتبقى الجسور في الشبكة المسطَّحة بنى مستوية تتقاطع مع الأوتار العلوية والسفلية، مع بقاء تربيط العوارض عمودياً بين منظومات أوتارها وفقاً للمبيَّن في الشكل 5.26. ويمتد التربيط في الهيكل الفراغي بين منظومات الأوتار المتجاورة ليكوِّن بنية أعلى كفاءة وأكثر صلابة. وبغية جعل زاوية التربيط فعالة، يجب أن تكون الأوتار قريبة من بعضها نسبياً، وإلاّ أصبحت سماكة الهيكل كبيرة جداً. وهذا يقلِّصُ أيضاً أطوال عناصر التربيط، ولذا يصبح إمكان تحنُّب النحيفة منها أصغرياً. ويتحقَّق هذا عملياً بتباعدات في ما بين الأوتار تساوي ما بين 1,2 و 2 مترين. ولتحقيق مزيد من تقليص أطوال عناصر التربيط، مع الحفاظ على الزاوية الفعالة والحد من سماكة البنية، من المفيد أيضاً إزاحة منظومتي الأوتار العلوية والسفلية [بحيث لا تتوضَّع الأوتار العلوية فوق الأوتار السفلية تماماً]. وثمة عدد من هذه التشكيلات، إلا أن أكثرها شيوعاً هو التشكيلة المعروفة بانزياح المربع عن المربع، وهذه هي التشكيلة المبيَّنة في الشكل 5.26.



الشكل 5.26 بنى مسطّحة ثنائية المجازات.

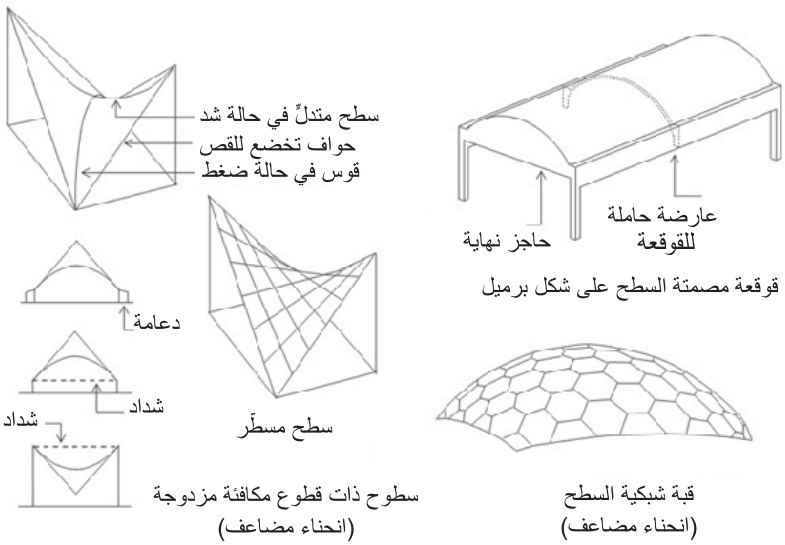
وتُعطي الوصلات الداخلية في ما بين عناصر الهيكل الفراغي، مع شكله الهندسي، بنية صلبة مستقرة في مواجهة قوى الريح. لكن إذا ارتكزت تلك البنية على أعمدة أو صوارٍ، كانت غير مستقرة عرضانياً، وكانت ثمة حاجة إلى تربيط المقاطع في ما بين الأعمدة لجعل منظومة الارتكاز مستقرة. وتجعل صلابة هذه البنية الانحرافات المتأصلة فيها صغيرة، وتوفِّر توزُّعاً فعالاً للأحمال النقطية والمتحركة، وتمكِّن من استعمال الألمنيوم في صنعها. إن استعمال الألمنيوم في البناء محدود بسبب خواصه الانفعالية. فمعدلات الانفعال العالية فيه تؤدي إلى انحرافات كبيرة عند الإجهادات التي تظهر في الحالات العملية. لكن في حالة الهياكل الفراغية، يمكن الانحرافات التي تحصل في البنى المصنوعة من الألمنيوم أن تكون مقبولة، ويمكن أن تكون خفة وزن البنى المصنوعة منه مفيدة في تقليصها للأحمال الساكنة كثيراً.

البنى المنحنية

تُشكَّل هذه البنى من سطوح منحنية ذات أشكال هندسية تضمن بقاء جميع القوى الفاعلة فيها إما قوى ضغط، أو قوى شد، في أحد الاتجاهين على الأقل،

أو في كليهما عادة. وتكون السطوح مصمتة أو شبكية. وعلى غرار جميع البنى التي تعمل بالشد أو الضغط، فإنها تستحث قوى أفقية عند نقاط الارتكاز، إضافة إلى تحميلها عمودياً. وفي البنى التي تولِّد فيها المنحنيات المعقدة قوى ضغط في اتجاه، وقوى شد في الاتجاه الآخر، تظهر قوى قص عند الحواف تجب مواجهتها بمثبِّتات الحواف.

والقواقع هي سطوح صلبة جاسئة تُصنع من الخرسانة المسلحة، أو من الخشب في حالة المجازات الصغيرة. وتكون القواقع ذات الانحناءة الوحيدة الاتجاه التي تشابه البرميل، والمبيَّنة في الشكل 6.26، في حالة ضغط بسبب الانحناء، ولذا يجب تدعيمها بعنصر يتحمَّل إجهادات التقوُّس، وهذا ما يحد من المجاز الذي تحقِّقه هذه الصيغة في اتجاه التقوُّس. أما القواقع المنحنية بالاتجاهين فتشكِّل سروجاً أو قطوعاً مكافئة مزدوجة أو قبباً تكون فيها الأجزاء المتدلية في حالة شد، وتلك المرتفعة في الوسط في حالة ضغط. وتجعل تلك القوى مقاطع تلك البنى رقيقة جداً باستثناء المناطق التي تنشأ فيها إجهادات قص عند الحواف. وهذا مبيَّن في بنية القطع المكافئ المزدوج في الشكل 6.26. وتُمكِن مواجهة القوى الأفقية في القوقعة بعدد من الطرائق. فيمكن ارتكاز أطراف القوس على دعامة، إلا أن ما هو أكثر شيوعاً هو تربيطها بشداد. وكل تلك الخيارات مبيَّنة في الشكل 6.26.



الشكل 6.26 بنى منحنية ثنائية المجازات.

قد يبدو أول وهلة أن من الصعب تشكيل هذه السطوح المنحنية المعقدة من مواد، مثل الخرسانة. يُري الشكل 6.26 أن هذه الأشكال يمكن أن تُصنع باستعمال سطوح مسطَّرة بخطوط مستقيمة تسهِّل صنع قوالب صب لها أشكال القطوع المكافئة.

ليست القواقع ذات السطوح المصمتة شائعة اليوم، وذلك خلافاً لمكافئاتها من القبب الشبكية، التي تُصنع من عناصر موصولة في ما بينها تتحمل قوى ضغط وشد، مع غطاء يوضع فوق الشبكة ليكون حاملاً لإكساءات كتيمة للماء، أو بوصفه مجرد قشرة. ومن تلك البنى القبب القائمة على الفولاذ والألمنيوم، والقواقع الشبكية القائمة على الخشب. ويبين الشكل 6.26 الصيغة الأساسية للقبة.

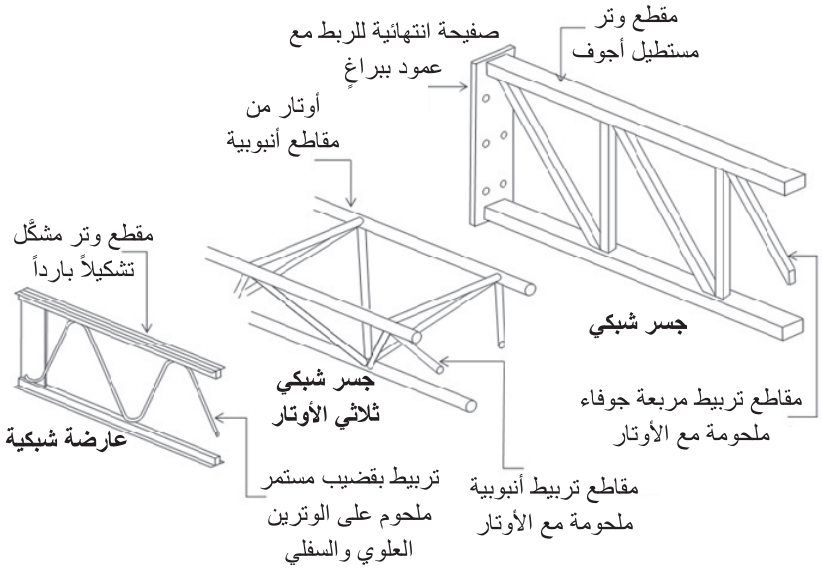
توجد في القواقع بعض قوى الضغط عادة، وذلك خلافاً لبنى الشد النسيجية التي تعمل في حالة الشد كلياً، وفقاً لما ينطوي عليه اسمها. تتصف هذه البنى عادة بأنها قابلة للطي والثني إلى حد ما لأنها ضعيفة الصلابة. وغياب قوى الضغط منها يعني عدم حصول تحنُّب فيها. وهذه الطبيعة شبه المرنة تجعل إكساءها بالصفائح وحمايتها من العوامل الجوية شديد الصعوبة، ولذا يجب أن تكون هي نفسها منيعة على العوامل الجوية، وهذا ما تحقِّقه البنى النسيجية. وهي تحتاج أيضاً إلى كبال تعليق على صوارٍ، أو ربما إلى حبال تثبيت مع الأرض مباشرة. ومن البنى الفولاذية التي من هذا القبيل البنى الشبكية التي لا يوجد منها سوى بضعة أمثلة. أما الصيغ التي هي أكثر استعمالاً فهي البنى النسيجية والشبكية. لقد استُعملت تلك البنى في بعض المباني بصفتها سمات جمالية فنية، إلا أنها ليست ذات مجازات طويلة عادة. أما القبب فيمكن أن تكون ذات مجازات خالية من العوائق تضعها ضمن فئة المجازات الطويلة.

تفاصيل مكوِّنات الأسقف

الجسور والعوارض الشبكية

تُصنع الجسور والعوارض الشبكية غالباً من الفولاذ، أما المقاطع التي تُستعمل في الأوتار والشدادات فهي مختلفة. ومن الخيارات العديدة المتوافرة ثمة ثلاثة مبيَّنة في الشكل 7.26. في حالة المجازات المتوسِّطة، توفِّر العوارض الشبكية حلاً اقتصادياً. وتُستعمل في النوع المبيَّن في الشكل مقاطع أوتار وقضبان تربيط مشكَّلة

وهي باردة. وهذه بنى خفيفة نسبياً تساعد على تقليص الأحمال الساكنة الناجمة عنها، وعلى نقلها وتداولها.



الشكل 7.26 جسور وعوارض شبكية.

أما الجسور المبيَّنة في الشكل فتُصنع من مقاطع فولاذ تُشكَّل وهي ساخنة، وتسمح بتحقيق مجازات طويلة. استُعملت في الجسور الأولى زوايا ومجاري تُربط معاً ببراغٍ وصفائح تقوية، أما الجسور الحديثة فتُصنع على الأغلب من مقاطع جوفاء أنبوبية، أو مربعة، أو مستطيلة، وفقاً للمبيَّن في الشكل 7.26. تُلحم وصلات هذه المقاطع الجوفاء في المعمل مع صفائح انتهائية لتوفير وصلات براغٍ تُستعمل للتثبيت في الموقع. وقد يكون من الضروري نقل الجسور الكبيرة إلى الموقع مجزَّأة، ولذا يُزوَّد كل جزء بصفيحة انتهائية لإعادة تجميع الجسر بالبراغي في الموقع. ويمكن لحام تلك الأجزاء في الموقع إذا كان مظهر الجسر هاماً.

ونظراً إلى احتمال تعرُّض الجسور للتحنُّب العزمي العرضاني، يمكن صنعها باستعمال زوج من الأوتار العليا ليعطي مقطعاً عرضانياً مثلثياً وفقاً للمبيَّن في الشكل 7.26. وهذا يجعل الجسر مستقراً ويوفِّر مرتكَزاً متقارباً للغطاء، ويقلِّص مجازات العوارض الأفقية، لكن على الوصلة مع العمود أن تضمن أن الجسر لن ينقلب.

ويمكن صنع الجسر من الخشب أيضاً، وحينئذ توصل المقاطع الخشبية معاً ببراغ ووصلات منيعة على إجهادات القص، وذلك لزيادة مقاومة الوصلة لتمزُّق الخشَب على طول أليافه. وفي حالة المجازات الطويلة، يمكن تصفيح المقاطع الخشبية، وهي عملية تُلصَق فيها مقاطع خشبية معاً على طولها لتكوين مقاطع أكبر. ويمكن لعملية التصفيح هذه أن تُنتِج مقاطع كبيرة لاستعمالها في العوارض، وحتى يمكن توضيعها بحيث تكوِّن قناطر لأطر بابية وفقاً للمبيَّن في الشكل 4.26.

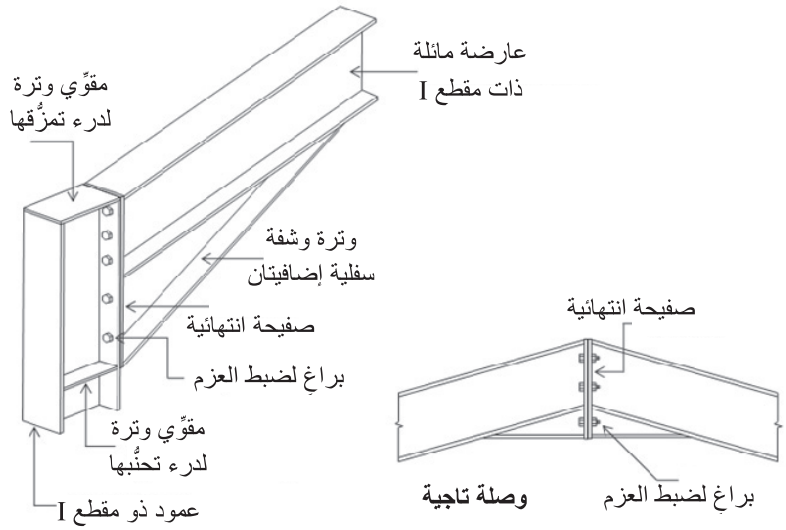
الأطر البابية

لتكوين مفعول الإطار البابي يجب أن تكون الوصلة بين عمود الإطار والعارضة المائلة في السقف وصلة عزم كلياً. ويمكن تحقيق ذلك بسهولة نسبياً باستعمال الخرسانة المسلحة، إلا أن مقاطع الإطار تصبح كبيرة مع ازدياد المجاز، ولذا اقتصرت تطبيقات الخرسانة المسلحة في الماضي على مباني المعامل الصغيرة، وعلى المباني الزراعية على وجه الخصوص. أما أكثر المواد نجاحاً في الأطر البابية التي تحقِّق طيفاً من الاستعمالات والمجازات فهي الفولاذ. ويعطي الخشب، الذي يُصفَّح لجعل العمود والعارضة المائلة عنصراً واحداً، بنية فعالة أيضاً يمكن تركها مكشوفة (حتى في الخارج) لتكون جزءاً من سمات المبنى الجمالية.

ويُصنع عمود الإطار البابي الفولاذي وعارضته المائلة من مقاطع I لأن كلاً منهما عرضة للتقوُّس. لكنْ على الأرجح، لن تكون ثمة مقاومة كافية للتقوُّس عند الركبة، حيث تتكوَّن الوصلة في ما بينهما من سماكة العارضة فقط. يُري الشكل 8.26 وصلة ركبة شائعة، حيث زيدت سماكة العارضة عند الوصلة بواسطة صفيحة انتهائية تمتد تحت الشفة السفلية للمقطع I لتكوين مساحة أكبر تتوزَّع عليها مقاومة القص عند الوصلة. وهذا يعطي وترة وشفة سفلية إضافيتين تحت العارضة تزيدان من المقدرة على تحمُّل إجهاد التقوُّس مع ازدياد العزوم عند الوصلة. يُسبِّب العزم دوراناً في أعلى العمود يمكن أن يمزِّق الوترة التي في أعلى الوصلة أو يُحنِّب الوترة التي في أسفلها. ويمكن مجابهة ذلك بواسطة صفائح تقوية للوترة في أعلى الوصلة وأسفلها (وفي وسطها في بعض الحالات). إن هذه الوصلة تعتمد على الاحتكاك بين الصفيحة الانتهائية التي على العارضة عند أعلى العمود. وهذا يقتضي وجود سطحين غير مطليين وبراغ قابلة للضبط بعزم معين لضمان التصاق السطحين ببعضهما بقوة محدَّدة بوصفها جزءاً من إجراءات التركيب. وتتضمن الوصلة لحاماً

في المعمل وتثبيتاً ببراغٍ في الموقع، (وذلك بوصفهما جزءاً من عملية تصنيع هذه الأطر وتجميعها). وتُستعمل إجراءات مماثلة في الوصلة التاجية المبيَّنة في الشكل 8.26 أيضاً.

وتشابه الوصلة في أسفل عمود الإطار البابي الوصلة في أسفل أي عمود (انظر الفصل 25)، إلا أنها قد تحتاج إلى عدد أكبر من البراغي مع صفيحة قاعدة سميكة بغية نقل العزم إلى الأساسات. وإذا كانت وصلة أسفل العمود مفصلية، وجب تثبيتها بطريقة تحرِّرها من العزم.



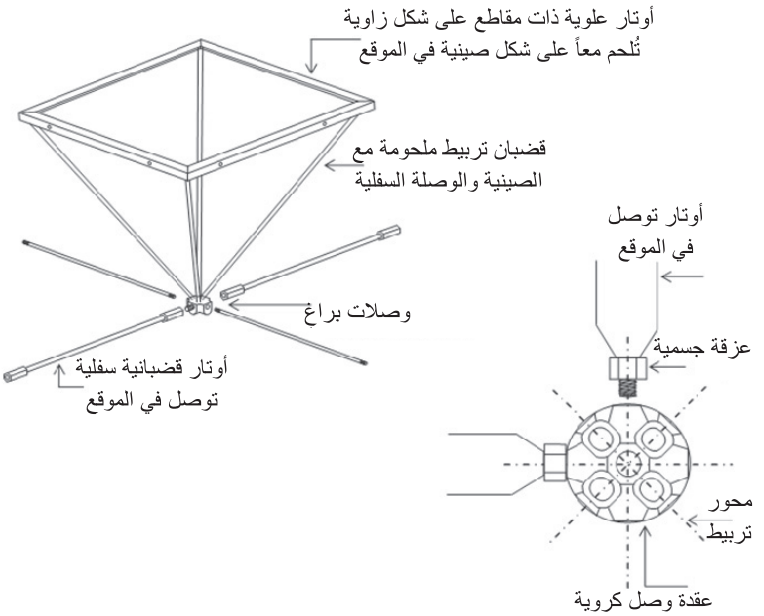
الشكل 8.26 ركبة إطار بابي فولاذي ووصلة تاجية.

الأقواس المضلَّعة

كي يعمل عنصر المجاز عمل قوس في حالة ضغط، يجب أن يبقى شعاع القوة ضمن مستوي القوس. وعندما يصبح العنصر في حالة ضغط، يمكن تحقيق مجازات كبيرة بمقاطع صغيرة نسبياً. وقد استُعمل هذا المبدأ في كثير من أسقف الحديد الصب الخاصة بمحطات السكك الحديدية الرئيسية في عهد الملكة فيكتوريا في بريطانيا، ويمكن الآن إنتاج العناصر نفسها باستعمال الفولاذ والخرسانة والخشب. ويُواجَه الدفع الأفقي غالباً بواسطة شِداد عند مستوى السقف، إلا أنه يمكن ارتكاز أضلاع القوس على الأرض مباشرة.

الهياكل الفراغية

وفقاً لما ذُكر آنفاً، يمكن تكوين الهيكل الفراغي بتشكيلات كثيرة من الأوتار العلوية والسفلية، إلا أن أكثرها شيوعاً هي تشكيلة انزياح المربعات المبينة في الشكل 5.26. وباستعمال الفولاذ، والألمنيوم أيضاً، صُنِعت هذه التشكيلة البسيطة بعدد من الصيغ المختلفة لتعطي مكوِّنات وعناصر ذات مقاطع عرضانية متنوِّعة. وثمة صيغتان من تلك الصيغ في الشكل 9.26.



الشكل 9.26 منظومتا هيكل فراغي.

تتكوَّن الأولى من وحدة مصنَّعة مسبقاً من مربع من الزوايا، وهي تمثِّل منظومة الأوتار العليا التي تُلحم مع قضبان تربيط تلتقي في عقدة مركزية جاهزة للربط مع قضبان ذات نهايات مكونة من براغ وتمثِّل منظومة الأوتار السفلية. ويمكن تشييد السقف برمته من هذه المكوِّناتً ذات الشكل الهرمي المعكوس. وتُصنع هذه الوحدات بعدد من المقاسات. وتعطي صيغة المربع الذي يساوي طول ضلعه 1,2 متر، في حين يساوي عمق هذه الوصلات 1,2 متر، مجازات تصل حتى 45 متراً عندما يكون ارتكازها على جوانبها الأربعة. وتُربط الأعمدة فيها مع الوتر العلوي بواسطة حاصرات تدعيم مسبقة التشكيل.

أما الصيغة الثانية لهذا النوع من البنى فيقوم على عقدة تحتوي على عزقات مبنية ضمنها لربط عناصر شبكية لكل من مجموعات الأوتار والتربيط. وهذه عناصر مستقلة نهايات كل منها محضَّرة للربط مع العقدة المجاورة. وتُصنع أنابيب العناصر من الفولاذ لتحقيق أطول المجازات في هذا النوع من الأسقف، لكن على غرار جميع البنى الأخرى، تكون هذه البنى أكثر اقتصادية على المجازات القصيرة. وتُصنع العقد وتُحضَّر نهايات الأوتار وعناصر التربيط في المعمل، وتُجمَّع في الموقع.

يجب أن تأخذ عملية تجميع الهياكل الفراغية في الحسبان أن هذه البنية، بكل صيغها، لا تحمل نفسها في أثناء التجميع، وأنها لا تعمل بوصفها بنية كاملة إلا بعد اكتمال تجميعها. وهنا يمكن تمييز نهجين للعمل. يمكن بناء مقاطع من الهيكل على الأرض ثم تُرفع إلى مواضعها، أو تُنصب منصات عمل مؤقتة لتركيب الهيكل في موضعه، حيث يُحمل على حوامل مؤقتة حتى اكتمال ربط مقاطعه مع الأعمدة. وإذا جرى تجميعها على الأرض، فإن مكان الرفع قد يكون بعيداً إلى حد ما من أي موضع يمكن لرافعة واحدة أن تقف فيه. وقد أدى ذلك إلى استعمال الرفع المتعدد الروافع (يُنقل الهيكل من رافعة إلى أخرى)، أو يُعلَّق الهيكل في أثناء تجميعه من رؤوس أعمدته (أو عوارضه) فوق موضعه، ثم يُنزَّل إلى مكانه بعد اكتمال تجميعه.

ويجب استعمال غطاء كتيم للماء مع مصارف لماء المطر في هذا النوع من الأسقف الواسعة المسطَّحة. وتُمكِن إمالة السقف قليلاً، لكن نظراً إلى بقاء هذه البنى مكشوفة من الأسفل غالباً، فقد لا يكون الميل مقبولاً للناظرين من الأسفل. ومن الحلول الأخرى جعل منظومة الأوتار السفلية أقصر قليلاً من العليا، فيتكوَّن تحدُّب في السقف يؤدي إلى سيلان الماء نحو الحواف. أما ما توفِّره هذه البنية الإنشائية فهو منظومة ارتكاز جيدة للغطاء. فبوجود الأوتار العليا، حتى بتباعدات تساوي 2 مترين، فإنه ليس ثمة من حاجة إلى العوارض الأفقية، لأن الغطاء المعدني يمكن أن يُثبَّت مباشرة على الأوتار العلوية وأن يمتد بينها من دون تدعيم إضافي. ويتطلَّب الغطاء الكتيم للماء لسقف مسطَّح واسع المساحة إنهاءات جيدة لأن تعرُّضه المباشر إلى السماء يؤدي إلى حركات كبيرة تنجم عن التغيُّرات الحرارية. لذا تُستعمل أغطية مكوَّنة من منظومات كتيمة للماء وحيدة الطبقة ذات قيم مرونة عالية. وثمة مزيد من المناقشة لهذا الموضوع في الفصل 29.

ومن الأمور الأخرى التي تخص الأسقف المسطَّحة الواسعة توفير إضاءة داخلية للمبنى. ويوفِّر الهيكل الفراغي، بمنظومة أوتاره العليا، إمكانات جيدة لتزجيج مساحات واسعة في أي مكان من السقف.

بنى أخرى

وفقاً لما ذُكِر سابقاً في هذا الفصل، ثمة صيغ إنشائية أخرى يمكن أن تُحقِّق الأسقف الواسعة المجاز. وحتى ضمن بضع الصيغ التي نوقشت في هذا الفصل، ثمة كثير من الاختلافات في التشكيلات والتفاصيل. وفي حين أننا عرضنا هنا أكثر تلك الصيغ شيوعاً، فإن ثمة ضرورة للقيام بمزيد من البحوث لاستقصاء خيارات الأسقف المختلفة حيث يمكن المجاز والمظهر أن يفرضا صيغاً أكثر تخصُّصاً.

الخلاصة

1. تُعتبر بنى الأسقف التي تغطي مساحات واسعة من دون عوائق مطلباً عاماً اليوم، ليس للمنشآت الصناعية فحسب، بل للمباني التجارية والترفيهية والمستودعات، ولمشاريع من مثل قاعات المطارات أيضاً.

2. تُصنع الأطر المستوية، التي تأخذ صيغ الجسور الشبكية والأطر البابية، من الفولاذ عادة، ويمكن أن تكون من الخشب المصفَّح أيضاً. وتُعتبر هذه البنى أكثر البنى اقتصادية، ولذا كانت واسعة الانتشار.

3. توفِّر البنى الثنائية المجازات كثيراً من الصيغ المتنوعة، المسطَّحة والمنحنية، والتي يمكن أن تكون شبكية أو مصمتة.

4. تُستعمل الصيغ الثنائية المجازات، ذات المظهر المثير، غالباً أسقفاً لمبانٍ حيث تبقى مكشوفة من الأسفل لإبراز قيمة مشهد تلك الصيغة الإنشائية.

الفصل السابع والعشرون

الجدران الإنشائية الحاملة

نهتم في هذا الفصل بصيغ الجدران الحاملة التي يمكن استعمالها في المباني التجارية. وسوف نقدِّم إمكانات استعمالها في المباني المنخفضة (التي لا يزيد ارتفاعها على أربعة طوابق) والمباني العالية والمباني الوحيدة الطابق لحمل السقف الواسع. وسوف نتحرَّى استعمالها في المباني المتعددة الطوابق، بصيغتها المبنية من لبنات آجر وخرسانة وخشب، مع بنى الأرضيات المفضلة لتكوين مبنى كامل. ونقدِّم خيارات تحميلها بأسقف مبانٍ صناعية وحيدة الطابق حيث يجب الأخذ في الحسبان لارتفاعاتها وأطوالها في المواصفات والتفاصيل.

الخيارات العامة

مع أن الحلول الإنشائية لمعظم المباني الصناعية والتجارية تقوم على بنى هيكلية، فإن استعمال الجدران الإنشائية الحاملة لارتكاز الأحمال العمودية عليها، قد يكون بديلاً عملياً في بعض الحالات. ويمكن تحقيق المباني المتعددة الطوابق بنجاح باستعمال الجدران الإنشائية، شريطة أن تكون الأحياز الداخلية (التي تحدِّد مجازات الأرضيات) صغيرة نسبياً، ومتكررة على ارتفاع المبنى بكامله، أو على الأقل حتى مستوى سقف الطابق الأول حيث يمكن استعمال بنية هيكلية لنقل الحمل. وبغية تحقيق الاستقرار في مواجهة الريح ودرء الانهيار الدوراني للمباني العالية، فإن نسبة عرض المبنى إلى ارتفاعه يجب أن تُختار بحيث تحد من نحافته، ويجب أن تكون الجدران الداخلية بحيث تعطي تشكيلة خلوية أو جدراناً مستعرضة. (cross wall) وتوجد في التشكيلة الخلوية جدران خارجية وداخلية تعمل عمل نوى ضمن المبنى. أما الجدران المستعرضة فتعمل بوصفها جدران تقوية في مواجهة إجهادات القص، لذا يُفضَّل استعمالها في كلا الاتجاهين. أما الطوابق التي

تهيمن فيها الجدران المستعرضة على اتجاه واحد فيمكن جعلها مستقرة بواسطة مساند جدارية للجدران المستعرضة أو بوصلات بين الجدار والأرضية، على غرار بنية الهيكل الصندوقي المبينة لاحقاً.

لا يمكن تغيير هذه الترتيبات الداخلية بسهولة بعد تنفيذها. يُضاف إلى ذلك أن ثمة متطلبات أخرى على الجدار تحقيقها، ومنها العزل الصوتي ومقاومة الحريق، قد تتطلب الكثير من عمليات البناء حتى لو كانت هيكلاً. ومن المباني التي من هذا النوع مباني الشقق السكنية والفنادق وسكن الطلبة.

ويمكن التصاميم القائمة على الجدران الخارجية ذات الفجوة والمبنية من لبنات آجر أو خرسانة، وعلى جدران داخلية مبنية أيضاً من لبنات خرسانة، وفقاً لما ورد في الفصل 19، أن تحقِّق مباني تزيد ارتفاعاتها على عشرة طوابق (أقل من ذلك في حالة جدران اللوحات الخشبية المؤطَّرة). ومن الممكن أيضاً استعمال جدران مبنية من الخرسانة المسلحة، مسبقة أو محلية الصب، في المباني المتعددة الطوابق، وسوف نناقش ذلك لاحقاً.

يمكن بعضَ تصاميم المباني المنخفضة أن تَستعمل الجدران الإنشائية (structural wall) [الجدران الحاملة] أيضاً. ومع أن تعميم قيود التوضُّع أقل سهولة هنا منها في المباني المتعددة الطوابق، إلا أنه يمكن اقتراح بعض الأفكار لتحديد إمكانات خفض التكاليف في تلك التصاميم. فالتصاميم المفتوحة والخفيفة أقل قابلية لاستعمال حلول الجدران الإنشائية فيها. وإذا أمكن الجدران أن تكون أسمك وأثقل ومحدودة عدد الفتحات فيها، أمكن تحقيق مجازات الطوابق التجارية الشائعة. ويمكن النظر في بنى مختلطة يُحمل فيها بعض الأرضيات والأسقف على جدران، ويُحمل بعضها الآخر على هياكل باستعمال أعمدة.

ويمكن حمل سقف طابق واحد واسع المجاز على الجدران بدلاً من الأعمدة. وعلى غرار جميع خيارات البنى الحاملة، تصبح وظيفة الغطاء والبنية مضمَّنة في عنصر واحد، ويمكن أن يتأثَّر مظهر المبنى كثيراً باختيار هذه الصيغة الإنشائية.

الأرضيات والأسقف

إن من غير المحتمل أن تكون ثمة عوارض في بنى الأرضيات في حالة الجدران الحاملة، بل سوف تكون بلاطات أرضيات مشابهة لتلك المستعملة في البنى الهيكلية المؤطرة المتعددة الطوابق. ومع أن الأرضيات ذات العوارض تحقِّق

غالباً المجازات الإنشائية المقترنة بكثير من مشاريع الجدران الحاملة باستثناء المباني المنزلية المنفردة، فإنها لا توفِّر على الأرجح متطلبات العزل الصوتي ومقاومة الحريق بين الغرف في المباني المتعددة الطوابق من دون إدخال تعديلات ملحوظة في تلك المستعملة في أرضية المنزل ذات العوارض الشائعة. إن ما يُستعمل هو في غالب الأحيان بلاطات خراسانة مسلحة، ومن المحتمل أن تكون من مكوِّنات مسبقة الصنع. وتُختار بنية الأرضية على الأرجح، بحيث تتوافق مع بنية الجدار. فمع الجدران المبنية من لبنات، تُستعمل أرضيات من ألواح خشبية أو عوارض مع لبنات، في حين أنه تُستعمل في حالة الجدران المسبقة الصب وحدات أرضيات مسبقة الصنع، وفي حالة الجدران التي تُصب محلياً تُستعمل أرضيات تصب محلياً. وهذه خيارات لا تتوافق مع خبرات متعددة للعاملين في الموقع، وتحقِّق استمرارية عملية الإنتاج [لعدم تنوُّع طبيعة المكوِّنات المستعملة].

ويمكن أن تكون عناصر السقف الواسع المجاز مشابهة لتلك التي وردت في الفصل السابق أيضاً. ومع أنه لا يمكن تحقيق مفعول العزم الموجود في الإطار البابي في الجدران الإنشائية، فإنه يمكن استعمال دعائم وهياكل فراغية، وحلول من مثل وحدات قواقع الأسقف المنحنية المسبقة الصب، بنجاح مع الجدران. وفي هذه المباني الوحيدة الطابق، ليس توافق عمليتي إنتاج الجدران والسقف مهماً كأهمية توافقهما في المبنى المتعدد الطوابق. فدورة الجدار والسقف لا تتكرر في المباني الوحيدة الطابق. أما في المباني المتعددة الطوابق، فيمكن تحقيق تقليص التكلفة جيداً بالاختيار الصحيح لبنيتي الجدار والسقف. وحينئذ، تُصبح تفاصيل وصلة الجدار والسقف على درجة من الأهمية، لا لتحقيق الأداء الإنشائي فحسب، بل لتسهيل عملية الإنتاج أيضاً.

المباني المتعددة الطوابق

الجدران المبنية من لبنات في الطوابق المتعددة

من المرغوب فيه استعمال جدار خارجي ذي فجوة للاستفادة من إمكانات العزل والحماية من العوامل الجوية التي يتصف بها، إلا أنه تجب إعادة النظر حينئذ في تفاصيل ومواصفات الأداء الإنشائي للمباني المتعددة الطوابق. ويجب التوسع في إعادة النظر هذه لتشتمل على الجدران الحاملة الداخلية. في بناء المنازل، من غير المتوقَّع أن تكون خواص متانة لبنات الآجر والخرسانة والطينة

هي العوامل المهيمنة. بل إن الحماية من العوامل الجوية والاستقرار الشامل، وحتى العزل الصوتي والحراري، هي على الأرجح عوامل الاختيار التي تحكم سماكة الجدار وخيارات لبنات الخرسانة والآجر والطينة. أما في المباني المتعددة الطوابق، فيجب أن تخضع اللبنات إلى التصميم الإنشائي لتحقيق تقليص التكلفة الذي يمكن أن ينجم عن تقليص سماكة الجدار نتيجة لزيادة كفاءتها.

وعند التصميم، تتشارك خواص متانة لبنات الآجر والخرسانة والطينة في تحديد متانة الجدار المبني منها بأسره. لذا يجب أن يتجلى ذلك في مواصفاتها وفي إجراءات مراقبة الجودة في الموقع لكل من المواد واليد العاملة. ومع أن الطينة المسبقة الجبْل يمكن أن تقلِّص الاختلافات التي تحصل في عمليات الجبْل في الموقع، فإن توضيع اللبنات على فرشة طينة كاملة وتصليدها جوهريان لتحقيق متانة الجدار الشاملة. واستعمال الطينة الإسمنتية ضروري، إلا أنه يمكن أن تُستعمل فيها نسبة ملحوظة من الجير من دون تدنٍّ ملحوظ في متانتها. فيمكن مثلاً لنِسَب خلط مع الجير تساوي 1: 1: 1 أن تُنتج طينة متانتها تساوي 95٪ من متانة طينة الإسمنت الصافية التي تساوي نسبة المزج فيها 3:1. وفي حالة الجدران ذات اللبنات المصمَّمة إنشائياً، من الممكن تشييد بنى تصل ارتفاعاتها إلى 14 طابقاً باستعمال جدار خارجي آجري ذي فجوة سماكته تساوي 300 مم، مع جدران داخلية مبنية من لبنات خرسانية سماكتها تساوي 175 مم.

تشتمل أوجه الاستقرار على استقرار عناصر الجدران إفرادياً، وعلى الاستقرار الشامل للمبنى في مواجهة أحمال الريح والانهيار الدوراني. ويتحقَّق هذا الاستقرار بلصق لبنات الآجر والخرسانة معاً لتكوين لوحات الجدران، ثم باستعمال مساند جدارية للحد من أطوال تلك اللوحات، وتقوية البنية بأسرها. وحينئذ يمكن وصلات الأرضيات أن تقيِّد الجدران، وهذا ما يؤثِّر في الطول الفعال للوحة الجدار. وعلى غرار جميع البنى المبنية من لبنات، من الضروري ضمان عدم وجود إجهادات شد في العناصر الإنشائية.

تتعرَّض لوحات الجدران للتحنُّب، وتمثِّل نحافتها المعرَّفة بنسبة ارتفاعها إلى سماكتها عاملاً رئيسياً في تحديد مقدار الحمل الأعظمي، الذي يمكن أن يطبَّق عليها قبل أن يظهر التحنُّب فيها. بافتراض سماكة اقتصادية تضمن متانة اللوحة، فإن تحديد نحافتها يستدعي النظر في أبعادها، وخصوصاً في ارتفاعها. وإذا أمكن الأرضية تقييد أسفل اللوحة، أمكن اعتبار الارتفاع الفعال للجدار أقل من ارتفاعه

الفعلي. يُضاف إلى ذلك أن التدعيم الذي توفِّره المساند الجدارية يؤثِّر في الطول الفعال. ولا يُعتبر تحقيق هذا الاستقرار مشكلة كبيرة في مباني الشقق وغرف الفنادق ذات ارتفاعات الطوابق المحدودة والجدران الداخلية المتكررة، إلا أنه يجب الانتباه إلى توفير تقييد عرضاني في وصلة الجدار مع الأرضية. إن هذه القيود على الطول والارتفاع الفعالين، والتقييد العرضاني بالمساند الجدارية والأرضيات، تقوِّي المبنى من ناحية مقاومة الانهيار الدوراني. ويجب أن تُحشر الأرضيات ضمن الجدار ذي الفجوة كل ثاني أو ثالث طابق. لكن مع أن هذا يوزِّع الحمل على طبقتي الجدار الداخلية والخارجية، فإنه يولِّد جسراً بارداً، ويتطلب إنهاء خارجياً إذا كانت استمرارية مظهر لبنات الآجر مطلوبة على كامل واجهة المبنى.

وسوف يكون المبنى بأسره عرضة لأحمال الريح. إلا أن البنية الخلوية الأساسية أو الجدران المستعرضة، ومقاومة وصلات الأرضية المحسَّنة تضمن نقل أحمال الريح من الجدران الداخلية إلى البنية الإنشائية الشاملة للمبنى. وبافتراض نسبة معقولة لعرض المبنى عند القاعدة إلى ارتفاعه بحيث تقلِّل من نحافته، فإن تقوية بنيته تحدُّ من انحرافه. يُضاف إلى ذلك أن الضغط المسبق للآجر، بالتحميل من الطوابق التي فوقه، يحدُّ من قوى الشد التي تنشأ في اللبنات من جميع الطوابق باستثناء التي في الأعلى.

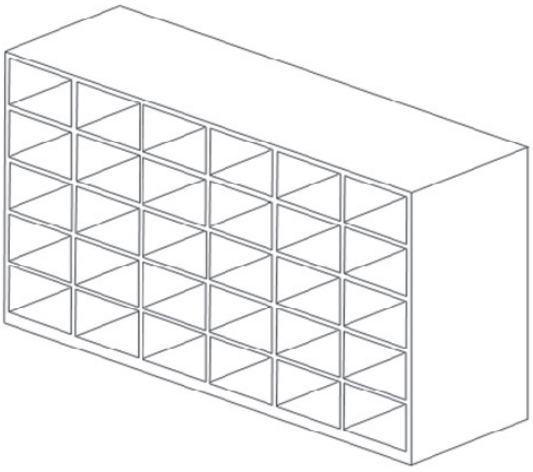
وتقلِّص الفتحات التي تُكوَّن في الجدران مساحة المناطق المبنية من لبنات الآجر أو الخرسانة التي ترتكز عليها الأحمال العمودية، وتقلِّص أيضاً جساءة اللوحات. ولهذا السبب قد يكون من الضروري تحديد الفتحات من حيث مقاساتها ومن حيث قربها من بعضها. وعندما تصبح الفتحات أطول وأكثر قرباً من بعضها، تتَّخذ اللبنات خواص العمود (دعامة) بدلاً من خواص الجدار، ومع ازدياد عرض الفتحة تنخفض متانة الجدار برمته. ومع أن تسميك الجدار موضعياً يمكن أن يقوِّيه، وأنه يمكن تسليح اللبنات، أو حتى إجهادها مسبقاً لتجاوز تلك الحالات، فإن من المفضل أن تُستعمل بنية هيكلية في التصاميم التي تتطلب فتحات كبيرة.

الجدران الخرسانية في المباني المتعددة الطوابق

يمكن تشييد بنى ذات جدران خرسانية باستعمال الصب المسبق أو الصب المحلي في الموقع. ومع أن من الممكن بناء جدران لا تنشأ فيها قوى شد في الخرسانة غير المسلحة، فإن جميع التصاميم تستعمل خرسانة مسلحة.

تعتمد الخرسانة المسلحة المصبوبة في الموقع في انخفاض تكلفتها على

بساطة وتكرارية القوالب والمساعِدات المؤقتة، وتتحقَّق تلك التكرارية إذا كانت ثمة أحياز ذات أبعاد متكررة عمودياً في جميع طوابق المبنى. يُضاف إلى ذلك أن تشكيلة الأحياز الخلوية (الجدران المستعرضة) يمكن أن توفِّر فرصة لعدم فك القوالب والمساعِدات المؤقتة بين الصبات المتتالية، ولرفعها مجمَّعة من طابق إلى الطابق الذي يليه. وهذا يتطلب بنى مفتوحة من أحد جوانبها تسمح بفك ورفع مقاطع كبيرة من القوالب والمساعِدات المؤقتة. والصيغة الإنشائية التي توفِّر هذه الإمكانات هي الهيكل الصندوقي المبيَّن في الشكل 1.27. ويتحقَّق استقرار هذا الهيكل إزاء التخلُّع بالوصلة بين الأرضية وبلاطة الجدار. ويُري الشكل الجدران المستعرضة عبر المبنى باعتبار أن ذلك هو الاتجاه الطبيعي الذي تنص عليه مواصفات العزل الصوتي عالية الأداء، ومقاومة النار في هذه الجدران. وإذا كانت الجدران الداخلية الرئيسية تمتد على طول المبنى، أمكن النظر في استعمال قوالب صب لها شكل المقطع العرضاني للبنية نفسها، حيث تُصب الخرسانة فيها لتكوين جدران الطابق، ثم تُرفع إلى المستوى الأعلى.



الشكل 1.27 جدران مستعرضة (بنية خلوية) في بنية هيكل صندوقي تُصب محلياً في الموقع.

ويجري صب الجدران والأرضية في المباني الصندوقية بعملية واحدة باستعمال قالب يسمى القالب النفقي (tunnel form). تُصب كِعاب على بلاطة الأرضية المشكَّلة حديثاً ليتوضع القالب على جوانبها، ويُبنى القالب من الأسفل بعد تثبيت حصيرة التسليح. وبعد تثبيت الحصيرة يمكن صب جدران الطابق وسقفه. وتساوي سماكة كل من الجدران والأرضيات نحو 150 مم. ويمكن تشكيل

الفتحات في الجدران المستعرضة في أثناء الصب، وهذا يترك الجوانب الأمامية والخلفية لمعالجتها كما تعالج في أي بنية هيكلية. أما عدد الفتحات في الجوانب الخلفية، إنْ وُجدت أصلاً، فهو صغير عادة، وحينئذ يجب عزلها وإنهاؤها بحيث ينتُج جدار كامل الوظائف.

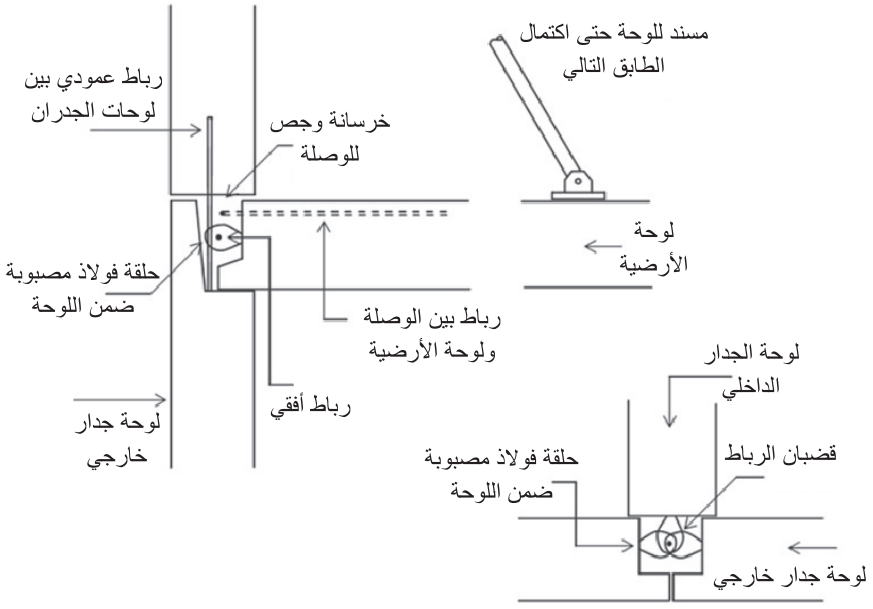
من الخيارات الأخرى للتشكيلات الخلوية، أو تشكيلات الجدران المستعرضة التي تتطلب جدراناً إنشائية داخلية وخارجية، اللوحات المسبقة الصب. يحدُّ صب الجدران الإنشائية مسبقاً، بدلاً من صبها محلياً، من الحاجة إلى القوالب والمساعِدات المؤقتة في الموقع، ويوفِّر مزايا في جودة الإنهاء ودقة التنفيذ، إلا أنه يزيد من تكاليف النقل ويغيِّر من سلوك الوصلات. فالوصلات بين اللوحات المسبقة الصب أقل مقاومة لقوى التخلُّع، وهذا ما يجعل المبنى أقل مقدرة على مقاومة قوى الريح ويتطلب تزويده بعناصر استقرار في مواجهتها، باستعمال النوى على الأرجح. وتجعل هذه الوصلات المبنى أيضاً أكثر عرضة للانهيار المنتشر غير المتجانس (progressive collapse or disproportionate collapse). وهذا نوع من الإخفاق تؤدي فيه الإزالة العَرَضية لعنصر (في هذه الحالة لوحة الجدار) إلى جعل المبنى يعاني من انهيار غير متناسب مع السبب. وهذا يتطلب ربط اللوحات معاً ومع الأرضيات والوصلات بغية مواجهة أحمال المبنى الطبيعية وأحمال الريح.

تُجعل مقاسات لوحات الجدران المسبقة الصب مساوية لمقاسات بلاطات الأرضيات المسبقة الصنع، وزناً وحجماً عادة، بغية تحقيق الاستمرارية في عملية الإنتاج (العملية نفسها في الحالتين) واستعمال الموارد بمردود عال. في النصف الثاني من القرن العشرين، استُعملت طرائق البناء تلك لتشييد الشقق بالاستفادة من إمكان توفير إنهاءات خارجية بالخرسانة، إضافة إلى إنهاءات داخلية ناعمة بقدر كاف لجعلها جاهزة للديكور. وفي تلك الحقبة، التي كانت فيها متطلبات العزل الحراري أصغرية، وفَّرت الخرسانة عزلاً صوتياً ومقاومة للنار جيدين، وأمكن إنتاجها بحيث كانت منيعة على العوامل الجوية. وكان على الوصلات الخارجية بين اللوحات حينئذ أن تكون كتيمة للماء والريح من أجل تكوين جدار محكم السد تجاه العوامل الجوية. إلا أنه من غير المرجَّح أن يكون هذا الحل قابلاً للتطبيق في بداية القرن الحادي والعشرين، لا لأن متطلبات العزل الحراري قد ازدادت، بل أيضاً لأن مظهر لوحات الخرسانة أصبح غير مرغوب فيه بوصفه إنهاءً خارجياً، مهما كان جيداً.

ويمكن استعمال اللوحات الخرسانية المسبقة الصنع بوصفها عنصراً إنشائياً

للجدار الخارجي. وحينئذ، سوف توفِّر مقاومة جيدة لانتشار النار والصوت، إلا أن مظهرها الخارجي، ووظائف العزل الحراري ومقاومة العوامل الجوية، فيجب أن تُوفَّر بعناصر أخرى من الجدار الخارجي. أما استعمالها جدراناً داخلية، فلا يحتاج إلى هذه الوظائف، لكنه يتطلب إنهاءات جيدة من أجل الديكور.

ولأغراض إنشائية، تساوي سماكات لوحات الجدران تلك نحو 125 حتى 175 مم. ويمكن تكوين فتحات فيها لكل من النوافذ والأبواب، إلا أنه من الصعب أن تمتد الفتحة نفسها على أكثر من لوحة واحدة. وتُكوَّن الوصلات بين اللوحات عادة وفق المبيَّن في الشكل 2.27. توفِّر التشكيلات والجيوب في حواف اللوحات إمكان ربط حلقات فولاذية من لوحات متجاورة معاً بقضبان أو أسلاك، إضافة إلى حشوها بحشوات تُكمِّل الوصلات عندما توضع اللوحات في مواضعها النهائية. وتحتاج لوحات الجدران إلى تسنيد حتى استكمال وصلات أرضية الطابق الذي في الأعلى. ويجب حفر أخاديد متقابلة بين لوحات الأرضية لتوضع فيها قضبان تسليح تحقِّق ربطاً أفقياً حينما تُملأ بالخرسانة.



الشكل 2.27 لوحات خرسانة مسبقة الصب.

وتحقِّق هذه الوصلات نقل الأحمال ومقاومة الانهيار المنتشر غير المتجانس. وإذا كانت الجدران ذات تشكيلة خلوية، كانت تلك الوصلات كافية لتحقيق الاستقرار الشامل لكامل البنية، وإلاّ وجب بناء نواة مركزية [موزِّع ممرات ودرج] من الخرسانة أو الفولاذ الإنشائي قبل البدء بتركيب اللوحات المسبقة الصب. ويمكن أيضاً تشييد مناور (مجرى عمودي كالمدخنة يمتد على طول ارتفاع المبنى) من وحدات مسبقة الصنع لتوفير الاستقرار في أثناء تقدم العمل. ويمكن لتلك الوحدات أن تكون موزِّعاً مركزياً أيضاً، ويمكن أن تكون غرفاً كاملة مع أرضيات. وأكثر أنواع الغرف التي تُستعمل لهذا الغرض هي الحمامات التي تبنى بعضاً فوق بعض لتوفير الخدمات. ويوفِّر هذا الحل المتعدد الوحدات أيضاً إمكان التصنيع المسبق لأجزاء من خدمات الغرفة أو كلها مع إنهاءاتها، ملغياً الحاجة إلى إجراءات العمل الطويلة في الموقع اللازمة لتركيبها.

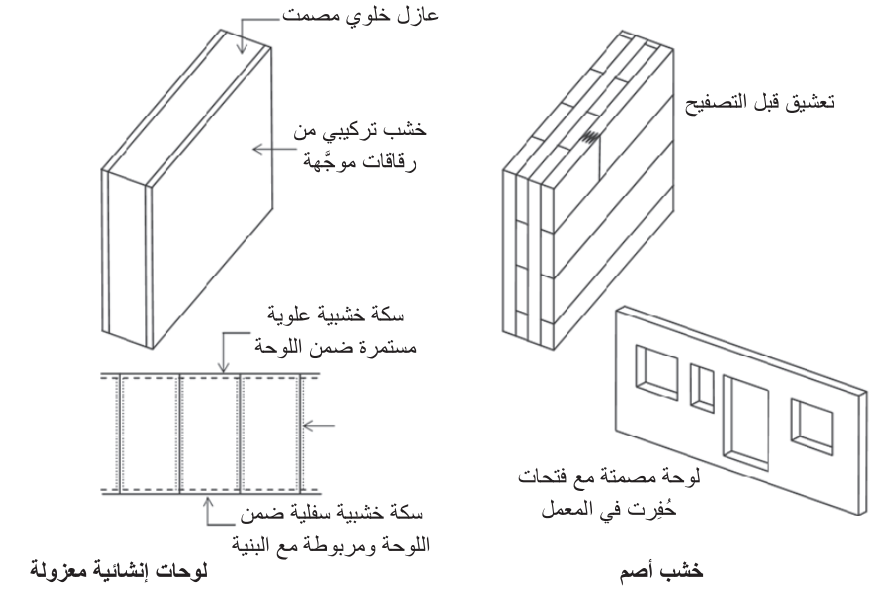
اللوحات الخشبية في الطوابق المتعددة

يمكن تحقيق بنى اللوحات الكبيرة باستعمال الخشب أيضاً. ومع أنه من غير الممكن حالياً الوصول بعدد الطوابق إلى ما يمكن تحقيقه بالآجر والخرسانة، فإنه يمكن الاعتماد عليها في بناء مباني الشقق السكنية ذات مجازات الأرضيات المحدودة، حيث يمكن بناء الأرضيات من لوحات خشبية. ويمكن أن يقوم تحقيق بنى اللوحات على لوحات مؤطرة كتلك الواردة في الفصل 19. ويمكن تحقيق لوحات مشابهة أيضاً باستعمال قوائم فولاذية في اللوحات بدلاً من القوائم الخشبية.

ويمكن اللوحات الإنشائية المصمتة (solid structural panel)، القائمة على ألواح تركيبية (من اللوحات الإنشائية المعزولة (structural insulated panel))، وعلى البنى الخشبية المصمتة المبيَّنة في الشكل 3.27، أن توفِّر بديلاً للوحات المؤطَّرة. وكلاهما يمكن أن يُستعمل في صنع لوحات تقع سماكاتها بين 70 و 250 مم، إلا أن السماكات التي تساوي 100 مم أكثر شيوعاً لهذا النوع من البناء.

تتكوَّن اللوحات الإنشائية المعزولة من لوحين تركيبيين ملصوقين على جانبي نواة من عازل خلوي (cellular insulation) مصمت. ويمكن اللوحين التركيبيين أن يكونا من ألواح الرقاقات الموجَّهة OSB بسماكة 8 أو 15 مم، أو ما شابهها. ويمكن العازل الخلوي أن يكون من البوليأوريثان أو البوليسوسيانورات الذاتيَّيْ الالتصاق، أو ألواح البوليستيرين أو الألياف المعدنية التي يجب أن تُلصق باللوح الأمامي. وتُنتَج اللوحات عادة على شكل صفائح عرضها 1,2 متر، وبارتفاع

معياري يساوي 2,4 مترين، أو بارتفاع طابق واحد. ثمة كثير من هذه المنظومات متوافر تجارياً، إلا أن طبيعة الوصلات التي تُستعمل في الموقع تختلف تبعاً للمصنِّع. وقبل تركيب اللوحات، يجب القيام ببعض التحضيرات التي تخص توضُّعها وتعشيقاتها، إضافة إلى تجهيز حوافها الذي يحصل في المعمل. ويشتمل تجهيز الحواف عادة على بعض التشغيل الميكانيكي لتفريغ العازل وتكوين حيز لإدخال مقاطع خشبية فيه لتكوين الوصلة اللازمة بين اللوحات وعناصر البنية الأخرى. وتُحقِّق هذه اللوحات عزلاً حرارياً جيداً حتى بسماكة 100 مم فقط، إلا أنها تحتاج إلى إنهاء داخلي وإلى كسوة خارجية مقاومة للعوامل الجوية. أما إنشائياً، فيمكن هذه اللوحات أن تأخذ أحمالاً عمودية بوصفها جدراناً داخلية أو خارجية، إلا أنها لا تستطيع العمل في نمط إجهاد التقوُّس. أما الأرضيات فيجب أن ترتكز على عوارض وألواح مشابهة للوحات الخشبية المؤطَّرة. ويمكن استغلال العزل الجيد لهذه المواد التركيبية في لوحات توضع على عوارض عند مستوى السقف.



الشكل 3.27 لوحات إنشائية معزولة وجدران خشبية مصمتة.

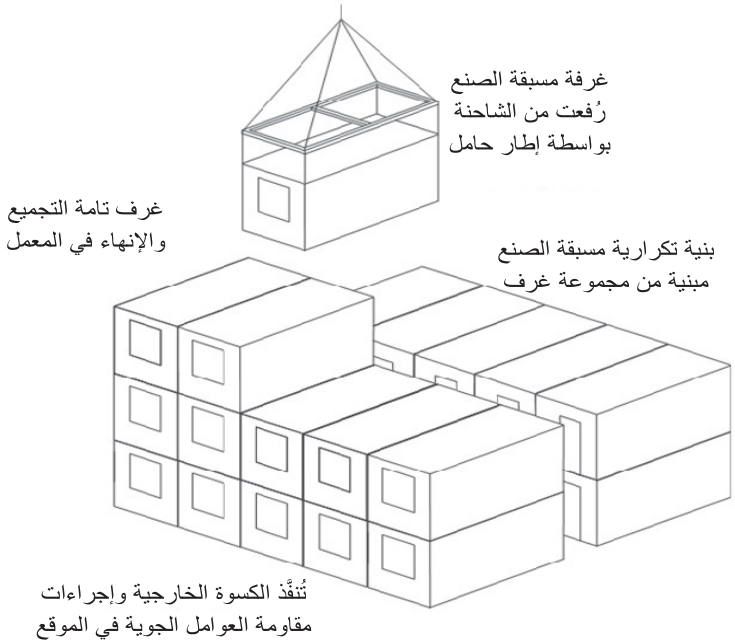
وتُصنع لوحات الخشب المصمتة من بقايا وقطع خشبية قصيرة تُعشَّق معاً وتُلصق على شكل طبقات متصالبة. ويمكن عملية التصفيح أن تُنتِج ألواحاً يصل

عرضها إلى 4 أمتار، ويصل طولها إلى 18 متراً، تبعاً للإمكانات المتوافرة في المعمل. وتتصف هذه المادة بخواص جيدة في مواجهة إجهاد التقوُّس، ولذا يمكن رفعها وهي أفقية واستعمالها بلاطات للأرضيات. ويمكن حفر فتحات فيها قبل نقلها إلى الموقع. وتتصف جميع هذه اللوحات بحواف قائمة، أي إنها توفِّر تثبيتاً سهلاً بين لوحات الجدران والأرضيات. حينئذ، يجب استعمال شرائط لاصقة لإحكام السد ومنع دخول الهواء. ويُنفَّذ عزل الجوانب الأمامية وإكساؤها من اللوحات في الموقع. ويمكن استعمال هذه المادة مباشرة بوصفها إنهاء داخلياً.

ويمكِّن وزن اللوحات الخشبية المنخفض، مقارنة بوزن اللوحات الخرسانية، من نقل عدد كبير منها في الشحنة الواحدة، ولذا يمكن نقل لوحات كامل المبنى بعدد محدود من الشحنات.

الوحدات التكرارية للمباني المتعددة الطوابق

يمكن المضي بالتصنيع المسبق خطوة أخرى إلى الأمام لصنع وحدات تكرارية (volumetric unit) [أو نسائقية]. فعندما تكون الغرف متكررة في مقاساتها وأشكالها وتوضعاتها، ومحدودة المقاس بحيث يمكن نقلها مجمَّعة إلى الموقع (لا يزيد عرض الواحدة منها على نحو 3 أمتار)، يمكن تكديسها بعضاً فوق بعض لتكوين المنظومة الإنشائية للمبنى بأسره. وإذا كان توضُّع الغرف تكرارياً بقدر كاف، ليس أفقياً فقط، بل عمودياً على طول ارتفاع المبنى كله، فإن من الممكن تشييد مقاطع كاملة من المبنى من وحدات تكرارية تمثِّل أيضاً منظومة إنشائية. يبين الشكل 4.27 واحدة من تشكيلات الغرف المسبقة الصنع تلك. ومن التشكيلات الأخرى التشكيلة المختلطة، وفيها يمكن للطوابق المنخفضة أن تكون بنية هيكلية مؤطرة تحمل الغرف المتكررة في الطوابق العليا. لقد اتُّبع هذا النهج بنجاح في بناء الفنادق والشقق السكنية وسكن الطلبة. وهذا يوفِّر فرصاً للتصنيع العالي المستوى ويقلِّص مدة التشييد في الموقع، مع أن مدة المشروع الكلية، التي تتضمن مدد التصميم والإنتاج في المعمل، لا تشهد انخفاضاً ملحوظاً بالنسبة إلى الزبون باعتبار أن مدة التنفيذ تمتد من لحظة التعهيد حتى لحظة الاستلام.



الشكل 4.27 تشييد بالوحدات التكرارية.

ويُعتبر استعمال الخرسانة في البناء ذي الوحدات التكرارية واحداً من خيارات التشييد، إلا أن وزن الخرسانة يحد من حجوم الوحدات، ولذا يجب الالتفات إلى خيارات أخرى، ومنها اللوحات المؤطرة ذات القوائم الخشبية أو الفولاذية. وحينئذ قد تكون ثمة حاجة إلى ارتكاز الغرف على مقاطع من الزوايا المقوَّاة. ويُحدِّد مقاس ووزن الوحدات متطلبات نقلها ورفعها، إلا أن جساءة الغرفة المسبقة الصنع يسمح باختيار أحياز داخلية كبيرة، للمباني المتوسطة الارتفاع على الأقل. ويمكن توريد الوحدات إلى الموقع مفتوحة الجوانب بحيث توفِّر تلك المجازات الكبيرة حين وصلها معاً. وهذا يتطلب إدخال عوارض في البنية مع تربيط مؤقت في أثناء النقل. ويمكن القول أن هذه لم تعُد جدراناً حاملة، بل بنية هجينة. ويمكن الخدمات والإنهاءات التي يشتمل عليها التصنيع المسبق أن تُضيف وزناً يزيد من إمكان حدوث أضرار في أثناء التداول، ولذا تجب العناية بتحديد تسلسل أنشطة التداول اللاحقة في الموقع.

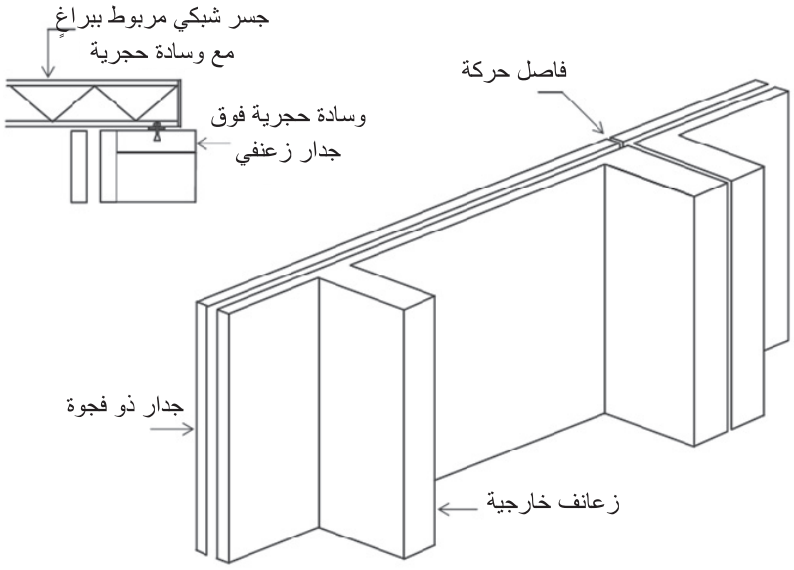
لا يقتصر الاختيار على مستوى التصنيع المسبق للخدمات الداخلية والإنهاءات

والملحقات فقط، بل يجب الاهتمام أيضاً بمعالجة الجدران الخارجية. إذ يمكن إنتاج وحدات بإنهاء خارجي، ووصلات مقاومة للعوامل الجوية مفصَّلة لجعل المبنى كتيماً للماء والهواء، إلا أنه قد يكون من الأفضل إضافة واجهة إلى الغرف المسبقة الصنع لتحقيق مظهر مشابه للمظهر الذي تعطيه حلول الإكساءات الخارجية الأخرى الواردة في الفصل 29، إلا أن هذا يزيد من مدة العمل في الموقع.

المباني الصناعية الوحيدة الطابق

يجب أن تكون جدران المباني الصناعية عالية وطويلة، ومن دون تدعيم عرضاني أو تقوية بالجدران الداخلية أو الأرضيات. وهذا يجعل من تحنُّب الجدران وعدم استقرارها في مواجهة الريح مشكلتين رئيسيتين في المباني الصناعية المفتوحة. لذا يجب توفير تقييد عرضاني عند أعلى الجدار بواسطة بنية السقف التي إذا كانت مربَّطة جيداً حمت الجدار من الانقلاب. وتتطلَّب الامتدادات الطويلة غير المنقطعة لهذه الجدران وجود فواصل حركة (movement joint) لاستيعاب الانحرافات المتأصلة التي تحصل بسبب تغيُّرات الرطوبة والحرارة. وقد جرى تطوير حلول للجدران المبنية من لبنات آجر أو خرسانة، أو من خرسانة مسلَّحة.

وفي حالة الجدران المبنية من لبنات آجر أو خرسانة، حيث من غير الممكن مقاومة قوى الشد، تجب زيادة سماكة الجدار بغية زيادة مقاومة التحنُّب والحد من مفاعيل التقوُّس الناجمة عن قوى الريح المطبَّقة على الجدار. ويتحقَّق ذلك عادة بواسطة مساند جدارية توضع بفواصل منتظمة. ويمكن اعتماد هذا النهج للجدران الصناعية، إلا أن المساند تصبح أكثر من مجرد تسميك للجدار، وقد يصل عرض الواحد منها إلى ما بين 1 و 2 مترين، متَّخذة أشكال الزعانف. وقد أدى ذلك إلى ما يُعرف بالجدار الزعنفي (fin wall). ويُري الشكل 5.27 هذا النهج.



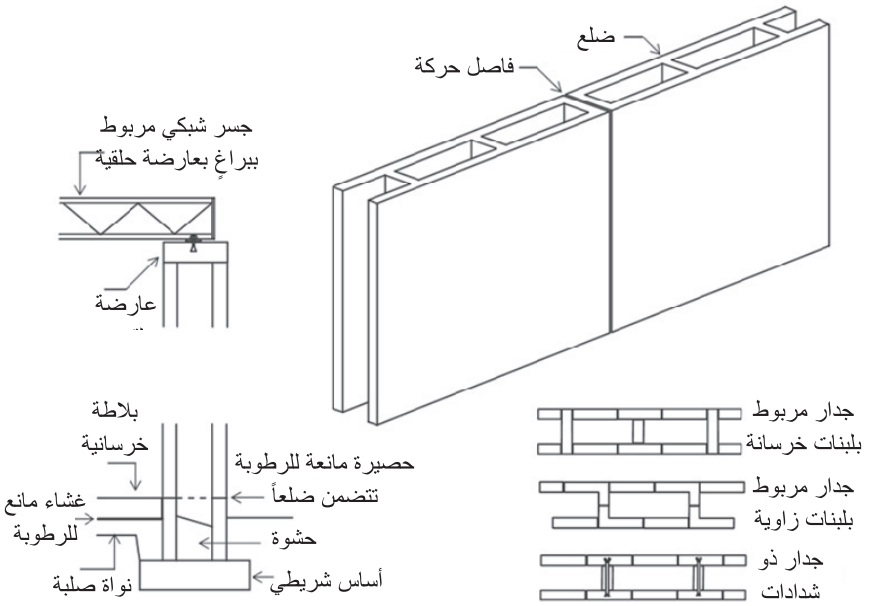
الشكل 5.27 جدار زعنفي.

تُبنى الزعانف على الجانب الخارجي من المبنى عادة بوصفها جزءاً من الطبقة الخارجية للجدار ذي الفجوة، وتُستعمل فيها الوصلات والعوازل المعيارية المعتمَدة. وفي حين أنه يمكن تكوين فتحات صغيرة في الجدار ذي الفجوة بالطريقة المعيارية المعتادة، فإنه يمكن تكوين الفتحات الكبيرة التي تحتاج إليها المباني الصناعية غالباً بإزالة مقطع كامل من الجدار بين زعنفتين. وإذا مثَّلت الزعنفتان عضادتي الفتحة، وجب أن تكونا سميكين لتقوية حافة الجدار عند الفتحة.

وتتطابق التباعدات بين الزعانف عادة مع التباعدات بين عناصر السقف الإنشائية التي ترتكز عليها (وسائد حجرية). وثمة حاجة أيضاً إلى وصلات ربط لنقل الحمل وتحقيق مقاومة عرضانية. ويجب أن تتضمن هذه الوصلات عارضة حلقية من الخرسانة المسلحة. ويجب أن تتطابق مواضع فواصل الحركة مع مواضع الزعانف وفقاً للمبيَّن في الشكل 5.27.

أما بديل الجدار الزعنفي فهو جدار الحاجز (diaphragm wall) المبيَّن في الشكل 6.27. تزيد هذه الصيغة من سماكة الجدار بسبب زيادة عرض الفجوة فيه. وتربط بين طبقتيه الداخلية والخارجية ضلوع من لبنات الخرسانة أو الآجر لتحقيق

مفعول إنشائي متكامل في مواجهة التحنُّب وقوى الريح. وتعتمد مقاسات الجدار على مقاس الآجرة النسائقي الذي ناقشناه في الفصل 19. وتصبح حينئذ سماكة الجدار الكلية بين 1,5 و 2,5 من طول الآجرة النظامي (نحو 550 مم). وقد تكون ثمة حاجة إلى جدران أسمك تبعاً لارتفاع الجدار. أما التباعدات في ما بين الضلوع فيجب أن تكون متناسقة مع طول الآجرة النظامي، وتساوي عادة 4,5 أو 5,5 مرة منه، وذلك كي تتوضَّع آجرات كاملة بين رؤوس ربط الضلوع بالطبقتين الداخلية والخارجية. ويُري الشكل 6.27 ترتيبات الربط في حالة لبنات الخرسانة أيضاً. وحينئذ يجب تنسيق الفتحات وفواصل الحركة بين الضلوع. ويحتاج هذا الجدار إلى عارضة حلقية من الخرسانة المسلحة تُثبَّت في أعلى الجدار لتوفير مرتكَزاً وتقييداً عرضانياً لبنية السقف التي فوقه.

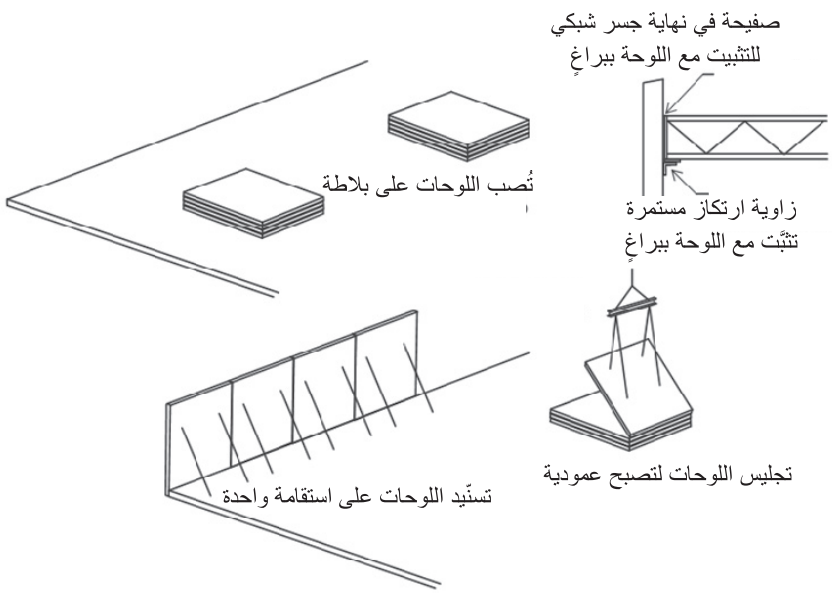


الشكل 6.27 جدار الحاجز.

وإذا بُني الجدار من الخرسانة المسلحة، فلا حاجة إلى أن تكون سماكته كسماكته حين بنائه من لبنات آجر أو خرسانة، لأن الخرسانة المسلحة تقاوم قوى الشد. ولذا يمكن استعمال جدران إنشائية رقيقة نسبياً بسماكة تساوي نحو 150 ـ

200 مم شريطة أن يوفِّر السقف والأرضية مقاومة عرضانية للانقلاب في الأعلى، وللانزلاق في الأسفل. ويُوفِّر الجدار الإنشائي مقاومة جيدة لانتشار النار والصوت، وحتى بعض الحماية من العوامل الجوية، إلا أنه يحتاج إلى إنهاءات تضمن حماية كاملة من العوامل الجوية. وتُضاف إلى ذلك متطلبات العزل الحراري والمظهر التي يجب تحقيقها باستعمال مكوِّنات ومواد أخرى لتكوين جدار يؤدي وظائفه على أكمل وجه.

وفي حالة صب الجدار محلياً، ثمة حاجة إلى مقدار كبير من القوالب والمساعِدات المؤقتة. وإذا كان من الضروري صب الجدار بارتفاعه الكامل دفعة واحدة، وجب الاهتمام بمواصفات الخرسانة من حيث قابلية فرشها ورصها ورجِّها كي تتغلغل جيداً في الفجوات الضيقة. وإذا استُعملت خرسانة مسبقة الصب، أمكن متطلباتِ النقل أن تحدَّ من عرض اللوحات، لأنه يجب صب الجدار على شكل وحدات كاملة لتحقيق التحمُّل الإنشائي الذي من الصعب تحقيقه بوصلات أفقية بين لوحات جزئية. وإحدى المنظومات التي تتجاوز صعوبات النقل تلك هي عملية تُعرَف بعملية الإشادة بالتجليس العامودي (tilt up construction) المبيَّنة في الشكل 7.27.



الشكل 7.27 الإشادة بتجليس اللوحات.

تُصب لوحات كبيرة مستلقيةً على بلاطة إنشائية بجوار المواضع التي سوف تُبنى فيها. وتمثِّل البلاطة قالب وجه اللوحة، وثمة قالب آخر لتكوين أشكال حواف اللوحة. ويمكن إجراء الصب مع العازل الحراري والإنهاءات. ويمكن صب اللوحات واحدة تلو أخرى وتكديسها بعضاً فوق بعض، حيث تصبح السفلى قالباً للتي فوقها. ويمكن أيضاً صبها بوصفها جدراناً مستمرة ثم تقطَّع إلى لوحات في وقت مبكر قبل تصلُّدها تماماً. ويجب تضمين الصبة نقاط تعليق لرفع اللوحات. وحينئذ لا تحتاج اللوحات المصبوبة إلا إلى تجليسها لتأخذ وضعية عمودية، ثم إزاحتها بضعة أمتار لتوضيعها على الأساسات. وبغية ضمان التثبيت والتقييد مع قاعدة الجدار، تُستعمل حشوة شريطية عند حافة البلاطة للربط مع الجدار، أو يمكن خفض اللوحة لتنزل في أخدود في حافة البلاطة، أو في مقابل مثبِّت معدني مجهَّز لهذا الغرض. ثم تُضبط الوصلة العمودية بين اللوحتين المتجاورتين ضمن حدود تسامحاتها قبل التثبيت النهائي، ويجري تسنيد اللوحات في وضعيتها العمودية حتى اكتمال تشييد بنية السقف التي تتضمن عادة كل أنواع التربيط، ومنها التدعيم العرضاني الدائم للوحات. لتوفير هذا التدعيم، تُثبَّت بنية السقف عادة مع وجه اللوحة التي تمتد إلى ما فوق مستوى السقف مكوِّنة حاجزاً. وتثبَّت نهايات الجسور ببراغ مع اللوحات ومع زاوايا ارتكاز مستمرة تصل بين جميع اللوحات تحت مستوىً الأوتار السفلية من الجسور الشبكية.

تؤدي الوتيرة السريعة لعملية إنتاج هذه المنظومة إلى تشييد اللوحات وتثبيتها قبل انتهاء حدوث جميع الانكماشات الناجمة عن جفاف الخرسانة. وفي حين أن تسليح الخرسانة ضمن اللوحة مصمَّم لمقاومة قوى الشد التي تحرِّضها تلك الانكماشات في اللوحات الكبيرة، فإنه يجب تصميم وصلات ومثبِّتات بحيث تمتص جزءاً من تلك الانكماشات المبكرة أيضاً.

الخلاصة

1. يمكن استعمال بنى الجدران الحاملة في كثير من المباني، وقد جرى تطويرها للمباني الصناعية الوحيدة الطابق والمتعددة الطوابق.

2. عندما يكون عدد الطوابق محدوداً، يمكن أن تأخذ الجدران أحمال الأرضيات والأسقف ذات المجازات التجارية العادية، إلا أنه لا يمكن تغيير تلك المجازات في أثناء حياة المبنى.

3. يمكن استعمال بنى الجدران الحاملة في المباني المتعددة الطوابق ذات التشكيلات الداخلية التي تتضمن مجازات محدودة وترتيبات خلوية أو جدراناً مستعرضة للجدران الخارجية والداخلية.

4. يجب أن تتوافق طريقة تشييد الأرضيات مع طريقة تشييد الجدران بغية توحيد عملية الإنتاج. وفي حين أنه يمكن استعمال أرضيات وجدران تُصب محلياً، فإن أرضيات الخرسانة المسبقة الصب تتوافق مع كل من الجدران المسبقة الصب وتلك التي تُبنى من لبنات. وللسبب عينه تُستعمل الأرضيات الخشبية مع جدران خشبية.

5. يمكن تحقيق الاستقرار الشامل في الترتيبات الخلوية وتشكيلات الجدران المستعرضة بوصلات ملائمة بين الأرضيات والجدران، ويمكن أيضاً استعمال النوى المشابهة للمباني الهيكلية لتحقيق ذلك. وتتصف البنى النسائقية (التكرارية) باستقرار شامل متأصل فيها.

6. يُعتبر الانهيار المنتشر غير المتجانس من الأمور الأساسية التي يجب أخذها في الحسبان في تشييد الجدران وفي تصميم وتنفيذ الوصلات في ما بين لوحات الجدران، وبين اللوحات والأرضيات.

7. تكون جدران المباني الصناعية الوحيدة الطابق عالية وطويلة عادة، وهذا يجعل الحركة والتحنُّب سمة تجب معالجتها في التصميم. إن زيادة العرض الفعال للجدار وتوفير وصلات حركة فيه يُعتبران على درجة من الأهمية في التصميم.

8. هناك خيارات ممكنة يمكن استعمالها في لوحات الخرسانة المسبقة الصب، لكن حجوم تلك اللوحات يجعل نقلها صعباً. وقد أدى ذلك إلى اتباع التجليس العمودي للوحات على بلاطة مجاورة لموقع الجدار النهائي.

الفصل الثامن والعشرون

البنى تحت الأرض

نستعرض في هذا الفصل ثلاث مجموعات من البنى التي تُشاد تحت الأرض، هي الأساسات والأقبية وبلاطات الأرضيات الصناعية الواسعة المساحة. وفي كل من هذه الحالات الثلاث، يقوم الاختيار على هندسة وعمليات إنتاج، تعزِّز إجراءات الأمان وتحقِّق سرعة التنفيذ. وسوف نقدِّم الأساسات الضحلة والعميقة، وعلى وجه الخصوص الإجراءات التي تمكِّن من تشييد أساسات عميقة تحت مستوى سطح الأرض. ونقدِّم أيضاً تقنيات تحسين التربة، ونناقش بنى الأقبية وجعلها كتيمة للماء، إضافة إلى تقنيات تشكيل البنية قبل الحفر للجمع بين بعض مهام العمل المؤقتة والدائمة. وسوف نتحرَّى في حالة بلاطات الأرضيات الواسعة المساحة أهمية الوصلات والطريقة التي يمكن بها تضمينها في عملية الإنتاج.

تقديم

صحيحٌ أن عنوان هذا الفصل هو" البنى تحت الأرض"، إلا أننا سوف نتطرق فيه إلى الأساسات والأقبية إضافة إلى الطوابق الأرضية، وخاصة الأرضيات الواسعة التي تخص المباني الصناعية. وتقوم الطوابق الأرضية الخاصة بالمباني التجارية على نفس تفاصيل البلاطة المرتكزة على الأرض التي تُستعمل في المباني المنزلية. ومن الواضح أن عناصر البناء هذه تشترك في أنها تتشكَّل تحت الأرض أو فوقها، ولذا يجب أن تؤثِّر في التربة وتتأثَّر بها في تحقيقها لخصائص أدائها الكاملة. وهذا يعني أن الحلول تُختار وفقاً للاعتبارات الهندسية والإنتاجية في المقام الأول. إن العمل في الأرض خطِر ويمكن أن يكون عالي التكلفة، لذا تُختار الحلول ذات عمليات الإنتاج التي تلائم الموقع وتحقِّق الأغراض الهندسية. واختيار الطرائق التي يمكن تنفيذها من مستوى سطح الأرض ينطوي على مزايا أمان

وتكلفة كبيرة، إلا أنه يجب تحرّي مسألتي الجودة والأداء لأقسام البناء غير المنظورة حينئذ. ويمكن الحلول التي تشتمل على أعمال مؤقتة لتدعيم الحفريات الأرضية أن تكون مفيدة من حيث الأمان، وأن تقلِّل المجازفات التقنية والتعاقدية. ويُعتبر فهم جوانب الهندسة والإنتاج جوهرياً لكل من المصمِّم والمتعهد. وليس من غير المألوف في الأعمال الأرضية المعقدة رسم مخططات لتسلسل الأعمال وتنفيذاتها الهندسية. إن اعتبارات التصميم المعمارية والبيئية محدودة هنا، ومع ذلك، حيثما كانت تلك الاعتبارات ذات أهمية في عملية الاختيار النهائي للحل، فإننا سوف نناقشها مع جوانبها الإنشائية.

سوف نشرح عمليات الإنتاج الأساسية، وسوف نقول شيئاً عن الجوانب الهندسية. وسوف نقدِّم الخيارات المتاحة عموماً مع علاقاتها بنوع المبنى وسياق الموقع. وهذا يجعل من بعض الخيارات الأولية العامة ممكناً، إلا أنه لا يمكِّن من أي تحليل تفصيلي. وهذا ليس ممكناً إلا بتوافر الخبرة الهندسية والإنتاجية.

تصميم الأساسات

قدَّمنا العلاقة التفاعلية في ما بين البنية والأساسات والتربة في الفصل 20، حيث تطلَّب تحليل البنية فهماً واضحاً لتوزُّع الأحمال ومقاديرها واتجاهاتها، ولصلابة البنية الموجودة فوق الأرض. وفي ما يخص المباني التجارية التي يقوم معظمها على البنى الهيكلية، هذا يؤدي إلى مجموعة من الاعتبارات التي تختلف عن تلك الخاصة بأساسات المباني المنزلية. فالأحمال العمودية التي ترتكز على أعمدة في البنى الهيكلية تتَّخذ خصائص التحميل النقطي على الأرض. ونظراً إلى قابلية البنى الهيكلية لتكوين مبان كبيرة، فإن الأحمال سوف تكون على الأرجح أكبر من تلك التي تظهر في المباني المنزلية. وتتصف البنى الهيكلية أيضاً بسلوك جساءة مختلف عن سلوك الجدران الحاملة.

تعتمد جساءة البنية الهيكلية اعتماداً كبيراً على الوصلات بين العناصر الإنشائية. فالوصلات الصلبة تعطي بنى جاسئة، وإذا أُخضِعت تلك البنى إلى هبوطات تفاضلية بين الأعمدة، أعادت توزيع الإجهادات في عناصر الهيكل. وتستوعب البنى الهيكلية ذات الوصلات المفصلية، والتي تتعرض لهبوط تفاضلي، الدورانات الضئيلة من دون تغيير الإجهادات فيها. وتقوِّي عناصر الاستقرار الخاصة

بالريح البنية محلياً، ولذا يجب الانتباه إلى عدم افتراض أنه لا توجد إجهادات إضافية في تلك المناطق. ونظراً إلى أنه من غير المعتاد السماح بحصول هبوط تفاضلي كبير ـ وهذا ما يحصل في مناطق التغوُّر الناجم عن المناجم على سبيل المثال ـ يجب اللجوء في تلك الأماكن إلى بنى خفيفة الوزن مع تربيط نابضي للحصول على بنية تامة التمفصل. في هذه المباني، يجب تفصيل وصلات عناصر الغلاف أيضاً بحيث تستوعب الحركة التي تنجم عن الهبوط التفاضلي.

ومن تشكيلات المباني الأخرى التي يمكن أن تتعرض إلى هبوطات مختلفة المبنى العالي المنبثق من ضمن مجمع بناء منخفض نسبياً [برج مثلاً]. لكن هذا الهبوط لا يرتبط مباشرة بجساءة البنيتين، لأن كليهما، العالية والمنخفضة، تتصفان بخواص مرونة متشابهة، إلا أن الفرق في المقدار الكلي للأحمال في ما بينهما، واحتمال استعمال حلول أساسات مختلفة، يجعلان من التوافق مع الهبوطات المتنبَّأ بها صعب التحقيق. لذا، ولتقليص مخاطر الحركة الناجمة عن الهبوط، يجب تصميم الوصلة بين هاتين البنيتين المختلفتي المقاس بوصفها وصلة حركة تسمح ببعض الحركة العمودية النسبية بينهما.

والفكرة الثانية التي طُرِحت في الفصل 20 هي اعتبار التربة جزءاً من البنية. وهذا يتطلَّب معرفة بمتانة التربة وقابليتها للانضغاط التي يُعبَّر عنها عادة بقابليتها للتحميل. ومن المهم أيضاً كشف أي توجُّه للتغيُّر الحجمي في التربة نتيجة لتغيُّر نسبة الرطوبة أو لحصول تجمُّد فيها، مع أي مخاطر لحدوث تغوُّر في الموقع. ومن الضروري أيضاً معرفة توزُّع الإجهادات في التربة، وقد قدَّمنا ذلك في الفصل 11. وثمة حاجة إلى المعلومات نفسها أيضاً لتصميم أساسات المباني التجارية. لكنْ نظراً إلى التنوُّع الكبير للتحميل وصيغ البناء في البنى الهيكلية، فإن نطاق استقصاء الموقع يجب أن يكون أوسع، مع بقائه ضمن النهج الأساسي الذي قدَّمناه في الفصل 20.

والفكرة المفتاحية الثالثة التي استُقصيت في الفصل 20 أيضاً على صلة بتصميم الأساسات. فقد نصت على أربعة شروط يجب تحقيقها هي:

- يجب أن يكون الحمل موزَّعاً على مساحة كافية للحدِّ من الهبوط ودرء الانهيار.

- يجب أن يقع مركز ثقل الحمل فوق مركز منطقة الأساسات.

- يجب أن تكون الأساسات جاسئة بقدر كاف لتضغط ضغطاً متجانساً على كامل المساحة التي تحتها.

- يجب أن تُبنى الأساسات عميقاً تحت الأرض بحيث ترتكز على كتلة من التربة جيدة الاستقرار.

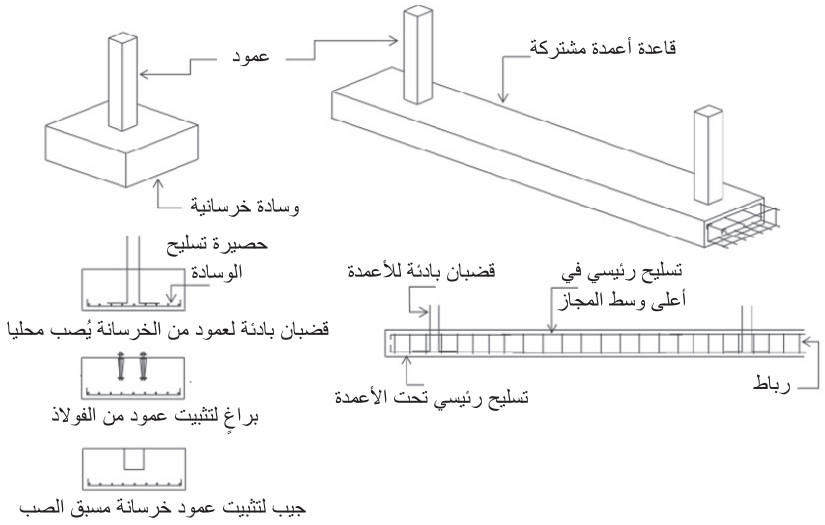
تنطبق هذه المتطلبات الأساسية أيضاً على المباني التجارية التي تُشاد من بنى هيكلية، وتحكُم مقاسات وتفاصيل أساساتها، كما تحكُم الأساس الشريطي البسيط.

والمقطع الأخير من الفصل 20 الذي تجدُر الإشارة إليه هنا هو المقطع الخاص بأغراض وعملية استقصاء الموقع. فهي أكثر أهمية للمباني التجارية حيث يؤدي حجم المبنى والتحميل فيه إلى ظهور إجهادات أكبر في الأرض، إضافة إلى أنه قد يكون من الضروري القيام بأنشطة إنتاج تحت الأرض تقتضي استعمال تدعيم مؤقت. وهذا يولِّد حاجة إلى معلومات عن الموقع والتربة أكثر تفصيلاً بغية تقليص المجازفات التقنية والمالية والمخاطر ذات الصلة بالصحة والسلامة.

أنواع الأساسات

الأساسات الضحلة

يُعتبر أساس الوسادة المبيَّن في الشكل 1.28 أبسط أساسات الأعمدة إذا سمحت مقاومة التربة وظروف تحميلها به. يتَّخذ هذا الأساس شكلا مُربعاً عادة، وإذا كانت سماكته كافية، أمكن أن يكون من الخرسانة غير المسلحة على غرار الأساس الشريطي البسيط، حيث يُحدَّد عمق الوسادة بإجهاد القص المائل بـ 45 درجة. إلا أنه ليس من غير المعتاد تقليص سماكة الوسادة وزيادة مساحتها الأفقية، على أن توضع حصيرة تسليح في الأسفل لمقاومة إجهادات التقوُّس. ويمكِّن هذا التسليح أيضاً من تكوين وسائد مستطيلة إذا كانت أكثر ملاءمة لتوضعات الأساسات.

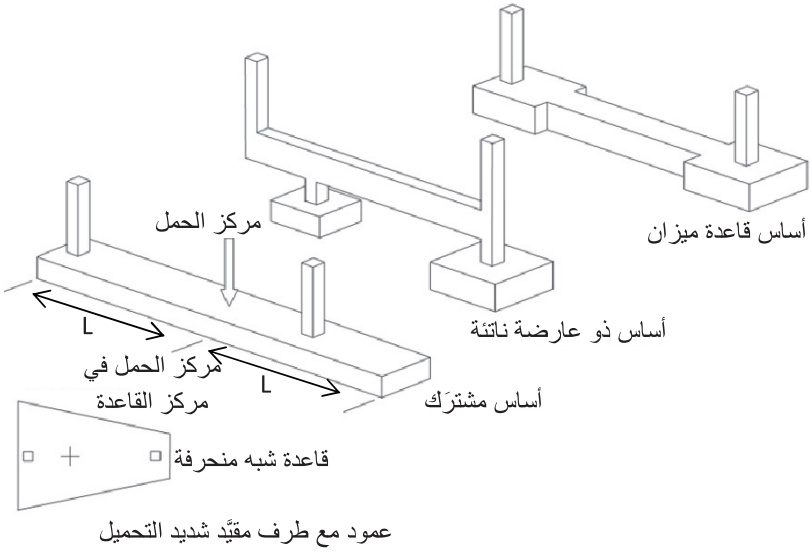


الشكل 1.28 أساس ضحل على شكل وسادة وآخر على شكل قاعدة مشتركة.

ومع ازدياد المساحة التي يجب أن تكون تحت الأساسات، من المفضَّل وضع صف من الأعمدة على قاعدة مشتركة تمثِّل أساساً مستمراً وفق المبيَّن في الشكل 1.28. ومع أن هذه القاعدة تبدو كالأساس الشريطي، فإن التحميل النقطي يعني أنها سوف تتقوَّس على طولها وعلى عرضها. ومفعول العارضة هذا يتطلب تسلحيا يقاوم إجهاد التقوُّس، ولذا توضع قضبان التسليح الرئيسية على طول القاعدة وعرضها. وهذا مبين في الشكل 1.28 أيضاً.

وعندما تكون ثمة حاجة إلى أعمدة محيطية بجوار أماكن مقيَّدة، قد لا يكون من الممكن وضع العمود فوق مركز الأساسات من دون التعدي على المبنى المجاور أو الخروج عن الحدود المسموح بها. في هذه الحالة من الممكن تجميع الأحمال من الأعمدة الأخرى. يُري الشكل 2.28 ثلاث تشكيلات مختلفة لهذا النوع من الأساسات: القاعدة المشترَكة، وأساس العارضة البارزة وقاعدة الميزان. ومع أن القاعدة المشترَكة تمثِّل أبسط هذه التشكيلات، فإنها تحتاج إلى مد القاعدة قليلاً إلى ما بعد العمود باتجاه منطقة التقييد. فضرورة جعل مركز الحمل في مركز منطقة الأساس تتطلب الامتداد إلى ما بعد العمود الأكثر تحميلاً. وهذا مبيَّن في الشكل 2.28 الذي يُري أيضاً بديلاً على شكل شبه منحرف للإبقاء على القاعدة ضمن الحدود. ويمكِّن أساس العارضة الناتئة من بناء العمود على حدود المبنى

المجاور مباشرة مع بقاء الوسائد ضمن حدود المبنى الذي تخصه. إلا أن العمق المشترك للعارضة الناتئة والقاعدة يمكن أن يجعل مستوى قعر الأساس عميقاً نسبياً. أما قاعدة الميزان فتمكِّن من وضع العمود قريباً جداً من المكان المقيَّد من دون عمق إضافي للأساس، إلا أنها لا تحقِّق المزايا الكاملة التي يحقِّقها أساس العارضة الناتئة.



الشكل 2.28 أساس ضحل لأعمدة بالقرب من منطقة مقيَّدة.

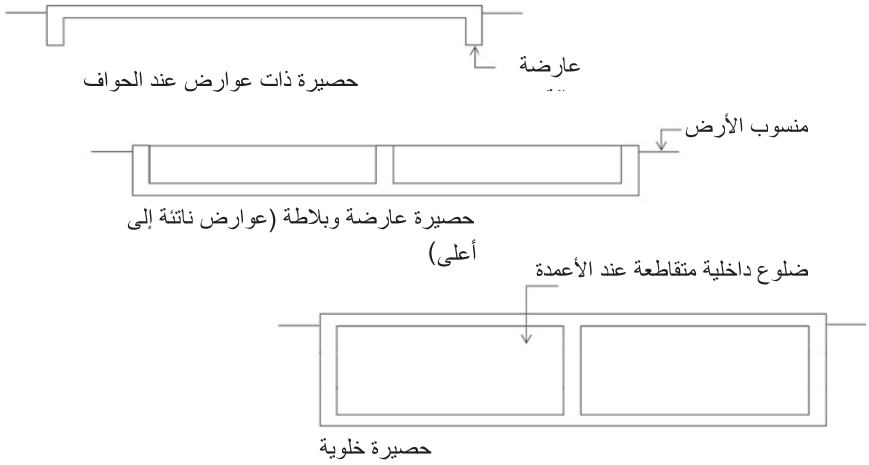
وفي حين أن من الممكن إقامة أساسات ضحلة من دون الحاجة إلى تدعيم الحفريات في معظم أنواع التربة، فإن من غير المعتاد بناء أساسات من دون استعمال قوالب. والاستثناء من ذلك قد يكون الأساس الخرساني البسيط ذو الكتلة الكبيرة حيث تُحفر التربة بدقة قريبة من التسامحات نسبياً (لتقليص الاستعمال المفرط للخرسانة)، ولا تفصل سوى بضع ساعات بين الحفر والتحقُّق من ظروف الأساس وصب الخرسانة. إلا أن حتى الأساسات الكبيرة الكتلة قد تحتاج إلى قضبان بادئة أو براغ للوصل مع الأعمدة التي سوف تُصب فوقها، وتحتاج تلك القضبان والبراغي إلَى ما يُمسكها في موضعها. ويتحقق هذا غالباً بواسطة القالب. أما في ما يخص المخاطر على الصحة والسلامة من انهيار التربة، فإنها تبقى قليلة ما بقيت الأساسات ضحلة نسبياً، مع أن مخاطر السقوط والاصطدام بمعدات الحفر تبقى قائمة.

وفي ما يخص القوالب والمساعِدات المؤقتة، فهي مشابهة لتلك التي ذُكِرت في الفصل 25، إلا أن المساعِدات المؤقتة قد تكون ارتجالية تبعاً لظروف الموقع الفعلية. وقد يكون من الضروري استعمال قوالب دائمة من لبنات خرسانية أو صفائح بلاستيكية خاصة، والأخيرة متوافرة تجارياً وهي تحتوي على تسليح شبكي. وتتغيَّر أشكال الصفائح البلاستيكية تحت ضغط الخرسانة المبلولة، إلا أنه لا مشكلة في هذا التشوُّه لأن الصفائح تُطمر تحت الأرض.

الأساس الحصيري

وفقاً لما ورد في الفصل 20، من خيارات الأساسات التي تبنى بالقرب من سطح الأرض فوق تربة ذات مقدرة محدودة على الحمل الأساس الحصيري. فعند تصميم كامل أرضية الطابق الأرضي لتكون أساساً، تتوزَّع الأحمال على كامل المساحة المخصصة للمبنى، وهذا ما يحدُّ من الضغط على التربة الواقعة تحت الحصيرة مباشرة، مع أنه يُولِّد إجهادات في التربة حتى أعماق أكبر (لكن الإجهادات تكون صغيرة نسبياً عادة). أما حصائر البنى الهيكلية ذات التحميل النقطي الشديد فهي تحتاج في جميع الحالات، باستثناء الهياكل الخفيفة، إلى صيغة تشييد تتصف بصلابة طبيعية أكبر من صلابة الحصائر غير المسلحة أو حصائر عارضة الحافة التي وردت في الفصل 20، وذلك لتحقيق نقل متجانس للحمل المفترض في تصميم الحصيرة.

وتتحقَّق تلك الصلابة عادة ببنية عارضة وبلاطة تصمَّم بعوارض عابرة للمبنى وحول الحافة لتكوين شبكة توصل فيها الأعمدة مع العوارض عند تقاطعاتها. ونظراً إلى أن التربة توفِّر ارتكازاً مستمراً، وتولِّد عند الأعمدة تحميلاً نقطياً، يكون التقوُّس في هذه البلاطة معاكساً للتقوُّس الذي يحصل في بلاطة أرضية معلقة. فالانحرافات في العوارض بين الأعمدة تكون نحو الأعلى. ولتحقيق الكفاءة الإنشائية، يمكن استعمال بلاطة خرسانية مع عوارض ناتئة إلى الأعلى في مناطق الضغط. إلا أن هذا يتطلب ارتكاز الأرضية على العوارض. وهذا مبيَّن في الشكل 3.28. وحينئذ يكون التسليح مشابهاً تماماً لتسليح البلاطة المعلقة، إلا أن القوالب والمساعِدات هنا أبسط كثيراً.



الشكل 3.28 أساسات حصيرية للمباني ذات البنى الهيكلية.

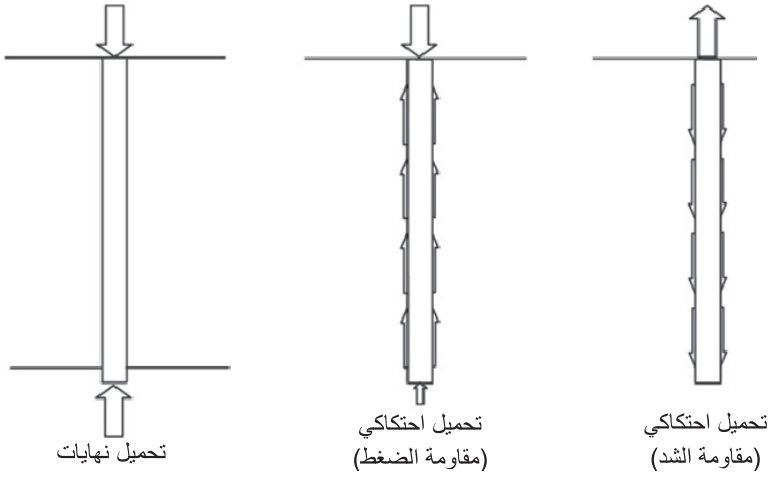
ومع ازدياد الحاجة إلى الصلابة، يمكن أن تأخذ الحصيرة الصيغة الخلوية (المبيَّنة أيضاً في الشكل 3.28). وهذه تتطلب أعماقاً أكبر، ولذا تزداد الحاجة إلى العمل تحت الأرض. وتحتاج هذه الطريقة أيضاً إلى ترتيبات عمل أقرب إلى تلك الخاصة بالأقبية منها إلى تلك الخاصة بالأساسات الضحلة. وبالفعل، قد يكون من الأفضل، من حيث التكلفة، جعل الحصيرة أرضية لقبو، واعتبار الحيز المتكوِّن طابقاً من المبنى. وسوف نناقش بناء الأقبية لاحقاً في هذا الفصل.

وإذا أُقيمت الحصيرة (أو القبو) على تربة أعمق من سطح الأرض، فإن وزن التربة المزالة، الذي يكافئ جزءاً من وزن المبنى، ينطوي على أن الضغط الإضافي على التربة سوف يكون الآن أقل منه لو بُني المبنى عند منسوب سطح الأرض. وهذا يعني، في حالة بعض المباني الخفيفة ذات الأقبية، أن التربة لا تخضع لإجهاد إضافي البتة، ولذا تختفي الهبوطات. إلا أن بعض أنواع التربة الصلصالية يرتفع حين زوال الإجهادات عنها، وهذا يؤدي إلى ضياع بعض مفاعيل الرص المسبق.

الأساسات العميقة

إذا لم يكن من الممكن تحقيق مرتكز قادر على حمل أساس اقتصادي ضحل بالقرب من السطح، قد يصبح من الضروري النظر في إقامة أساسات عميقة. وحينئذ سوف تتخِّذ الأساسات بالتأكيد أشكال أوتاد من الخرسانة المسلحة على الأرجح، أو أوتاد فولاذية مملوءة بالخرسانة. ويمكن لنقل الأحمال من الأوتاد أن

يكون بالتحميل على النهايات أو بالاحتكاك بين الأوتاد والتربة وفقاً للمبيَّن في الشكل 4,28. يمكن استعمال أوتاد الاحتكاك لنقل قوى الشد من خلال مقاومتها للسحب إلى أعلى، وقوى الضغط من خلال مقاومة المزيد من الحشر في التربة. ومن الممكن أيضاً تشييد بعض الأوتاد المائلة بزاوية لمقاومة عزوم الفتل أو القوى الناجمة عن البنى المعقدة. وتسمى هذه الأوتاد بالأوتاد المقاومة للتخلُّع.



الشكل 4.28 نقل الأحمال من الأوتاد.

وتحصل عملية تشكيل الأوتاد انطلاقاً من مستوى سطح الأرض، وهذا يدرأ المخاطر على الصحة والسلامة التي تنجم عن العمل تحت الأرض. لذا يجب أن تضمن العملية سلامة الإنشاءات غير المرئية، ويجب أن تكون ثمة طريقة ما للدلالة على الوصول إلى عمق ملائم للتحميل. وفي بعض المواقع، يمكن أن تكون أحوال التربة قد حُدِّدت جيداً من خلال سبرها، وأن يكون ذلك قد أوضح أنها ملائمة على امتداد الموقع لتحديد أطوال الأوتاد في كامل الموقع. وقد تكون ثمة حاجة إلى التحقُّق من قابلية التحميل باستعمال بعض المؤشرات التي من مثل عدد الضربات لاختراق مسافة معينة (set)، التي سوف نناقشها لاحقاً. وقد يكون من الضروري أيضاً إجراء اختبار تحميل على وتد اختباري (أو مجموعة من الأوتاد) في الموقع بغية التيقُّن من حسابات التصميم. وقد تُتَّخذ إجراءات أيضاً لاختبار الاستمرارية في كل وتد بعد تثبيته. إن هذا لا يُؤكِّد قابلية التحميل، إلا أنه يمكِّن من التيقُّن من سلامة الوتد على كامل طوله التي إذا لم تكن محقَّقة قلَّصت من قابلية تحميله.

لقد جرى تطوير عدد من عملية الإنتاج لتشييد الأوتاد، وتُصنَّف تلك العمليات عموماً في فئتين:

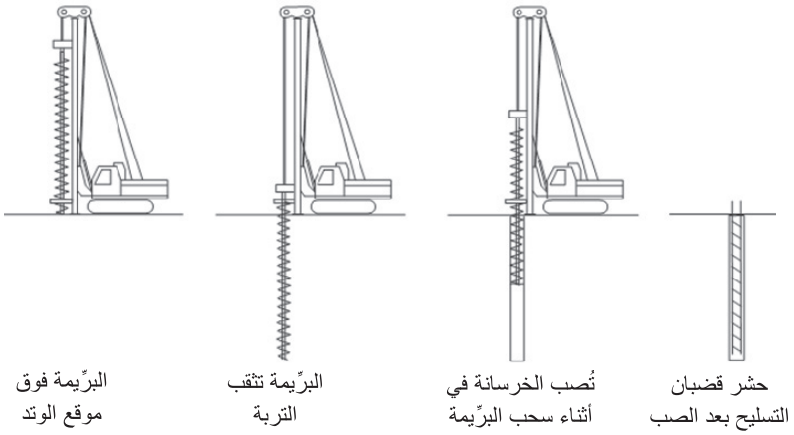
- عملية أوتاد الإزاحة (displacement pile)، وفيها يُحشر الوتد في التربة التي تنزاح إلى جوانبه مع دخوله فيها، ولذا لا تُزال تربة من مكان غرز الوتد.
- عملية أوتاد الاستبدال (replacement pile)، وفيها تُحفَر التربة لتكوين ثقب تُصب فيه الخرسانة.

تُصب أوتاد الإزاحة عادة في الخارج ثم تُغرز في الأرض، وقد تكون جوفاء وتُملأ بالخرسانة بعد غرزها. يمكن هذه الأوتاد أن تنزاح عن مواضعها بسبب العوائق الموجودة في الأرض، إلا أنها تتصف بمقطع عرضاني كامل. ويمكن استعمال عدد الضربات اللازمة لاختراقها مسافة معينة معياراً لقابليتها للتحميل. ويمكن استعمال أوتاد مسبقة التشكيل كليا بأطوال محدَّدة وغرزها في الموقع حيث يكون عمق التحميل الملائم قد حُدِّد تماماً. وإذا لم يكن عمق التحميل معروفاً على نحو يقيني، أو كان متغيِّراً، أمكن استعمال أوتاد مجزَّأة حيث تُضاف الأجزاء واحداً تلو آخر حتى تحقيق عدد الضربات المفترض لاختراق المسافة المطلوبة.

أما في عملية أوتاد الاستبدال، فيجب حفر ثقب الوتد حتى العمق المطلوب. وقد تحتاج بعض الأوتاد إلى بطائن (قمصان) في أثناء الحفر، وذلك لتقليص إمكانات الانهيار. وتُسحب البطائن في أثناء صب الخرسانة. وقد تكون بضعة الأمتار العليا من سطح التربة هي غير المستقرة، وفي تلك الحالات توضع البطانة لحماية هذه الطبقة غير المستقرة. ومع ذلك فإن البطائن ضرورية لكثير من أنواع التربة لضمان تكوين مقطع عرضاني كامل على طول الوتد.

وتتجاوز برِّيمة (auger) الحفر اللولبية المستمرة مشكلة الحاجة إلى البطائن في حالة أوتاد الاستبدال، وذلك بإمساكها للتربة على كامل طول البرِّيمة وفق المبيَّن في الشكل 5.28. يتوضَّع حلزون الحفر في البرِّيمة حول جذع أجوف، وبعد إدخالها بالدوارن في الأرض حتى العمق المطلوب، تُصب الخرسانة عبر الجذع الأجوف في أثناء سحبها، وتُدفع التربة المحفورة إلى السطح،. وهذا يدرأ الحاجة إلى البطانة ويُشكِّل الوتد بعملية واحدة. وحينئذ يجب إبعاد التربة المحفورة من الموقع. أما مجال أقطار الأوتاد فتقع بين 300 مم و 1200 مم، ويمكن لأطوالها أن تصل حتى 30 متراً. ويمكن استعمال برِّيمات أكبر لأوتاد تصل أقطارها حتى 3000

مم، إلا أن حلزونات هذه البرِّيمات ليست مستمرة، ويجب رفع التربة إلى السطح على دفعات. وهذا يعرِّض الثقب المحفور للانهيار، ولذا يجب تبطين ثقوب هذه الأوتاد. ويُصب الوتد بعملية واحدة مع سحب البطانة. وتبدأ أقطار البرِّيمات الدوارة بـ 600 مم، ويمكن أن تصل إلى أعماق تساوي نحو 70 متراً (ليست هذه المنظومة مبيَّنة في الشكل).



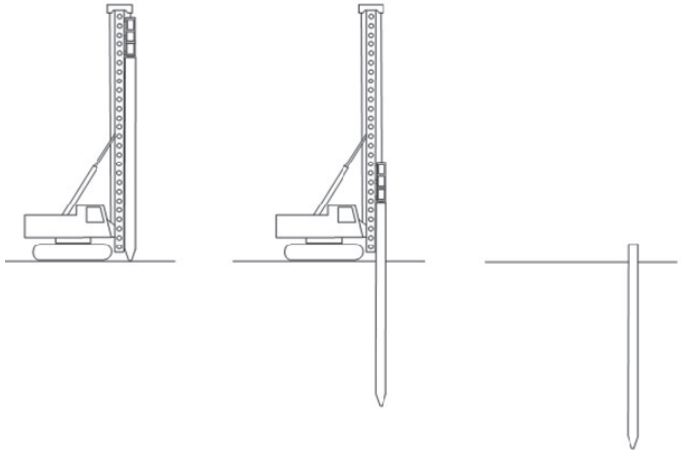
الشكل 5.28 صب أوتاد ببرّيمة مستمرة.

يحتاج تشييد أوتاد الإزاحة وأوتاد الاستبدال إلى حفَّارة أوتاد (piling rig). أما آلية الإزاحة فهي الطرق أو الدق عادة، وهذا يولّد ضجيجاً واهتزازاً. أما آلية الاستبدال فتقوم على مفعول الدفع الدوراني الحلزوني للبرِّيمة في الأرض. إلا أن ثمة حفَّارات دوارة لمنظومات الإزاحة الغرض منها منع الضجيج والاهتزاز، ومنها منظومات تصب الخرسانة عبر جذع أجوف في أثناء سحبه، تماماً كما في حالة أوتاد البرِّيمة الحلزونية المستمرة.

ومن أوتاد الإزاحة الأخرى التي لا تُدقُّ في الأرض، بل تُحشر فيها على غرار البرغي، وتد البرغي الفولاذي، حيث يُحشر وتد فولاذي أجوف في نهايته برِّيمة في الأرض ثم يُملأ بالخرسانة. والنهاية الحاملة الآن هي رأس البرِّيمة. من الممكن إزالة الوتد في ما بعد بمفعول البرغي العكسي.

يبين الشكل 6.28 طريقة شائعة لغرز الأوتاد، مع عمليات الموقع المقترنة بأوتاد الإزاحة المسبقة الصب. تُصنع أوتاد الإزاحة بأطوال معيارية تصل حتى 18

متراً، ويمكن تشييد أوتاد أطول بالتجزئة. وبعد غرز الوتد في الأرض يُكسَّر رأسه لإظهار قضبان التسليح. ويمكن أيضاً غرز أوتاد فولاذية ذات مقطع H بواسطة آلة مشابهة.

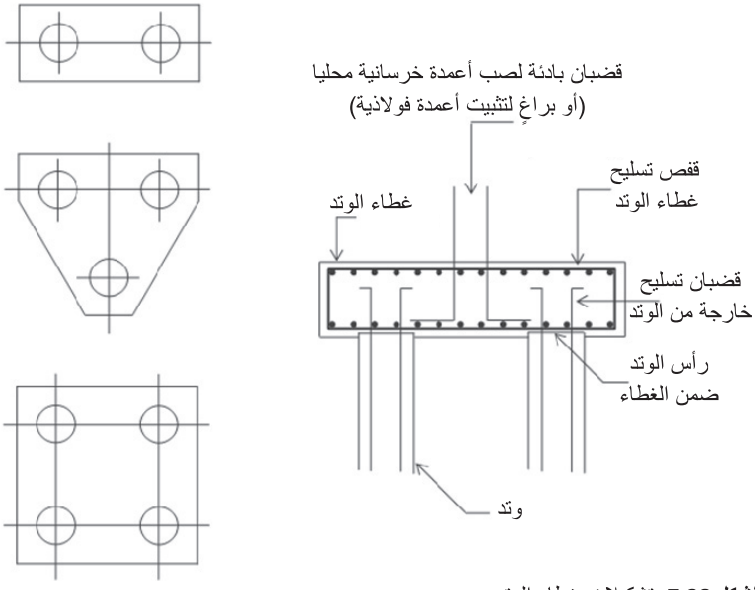


الشكل 6.28 أوتاد مغروزة مسبقة الصنع.

وفي حين أنه يمكن غرز أوتاد تصل أقطارها حتى 1200 مم على شكل وتد واحد (من دون تجزئة)، فإن أقطار معظم الأوتاد تقع بين 400 و 800 مم. وتُرتَّب الأوتاد معاً في مجموعات، ويغطي رؤوسها غطاء يصل بينها لربط العمود به.

تُحقِّق مجموعات الأوتاد تلك مع أغطيتها، ومع منظومة العوارض الأرضية التي تصل بين الأغطية، بعض الاستقرار لرؤوس الأوتاد بحيث تبقى في مواضعها. وتوفِّر مجموعة الأوتاد أيضاً هامشاً للأمان إذا كانت قابلية التحميل لبعض الأوتاد أقل مما هو متوقَّع. يبين الشكل 7.28 بعض تشكيلات مجموعات الأوتاد الشائعة التي تُعتبر المسافة فيها بين الأوتاد هامة كي يحقِّق كل منها قابليته الكاملة للتحميل. وفي ما يخص الأوتاد ذات التحميل على النهايات، يجب أن تكون المسافة الفاصلة بين مركزي وتدين ضعف قطر الوتد على الأقل. وفي ما يخص أوتاد الاحتكاك، يجب أن تساوي تلك المسافة طول محيط الوتد على الأقل. وتُصنع الوصلة مع أغطية الأوتاد بإدخال قضبان تسليح الأوتاد في الأغطية. ويُزال المتر

العلوي من خرسانة الوتد لإظهار قضبان التسليح وضمان جودة الخرسانة عند رأسه. يُضاف إلى ذلك أن الغطاء يُصب مغطياً نحو 50 مم من رأس الوتد بغية تقييده. وهذا مبيَّن في الشكل 7.28. ومن الشائع وصل أغطية الأوتاد مع عوارض أرضية تجعل الأوتاد مستقرة في الأعلى.



الشكل 7.28 تشكيلات غطاء الوتد.

تحسين التربة

الغرض من تحسين التربة هو زيادة قابليتها للتحميل. وهذا يكون له قيمة حيثما أمكن للتحسين أن يؤدي إلى حل أرخص للأساسات. ويُستعمل تحسين التربة أيضاً في مواقع المِكبَّات الجديدة حيث تتطلب قابليتها الشديدة للانضغاط أساسات أعمق لحمل الأعمدة. وثمة أيضاً قيمة لتحسين التربة في تحسين قابلية التحميل لبلاطة أرضية الطابق الأرضي. إن دور تحسين التربة في الأساسات هو التمكين من حلول الأساسات الضحلة، بدلاً من العميقة، أو حل الأساسات الحصيري البسيط. إلا أن التحسين ليس مجانياً، فهو يستغرق وقتاً لتنفيذه، لذا فإن اللجوء إليه يجب أن يخضع إلى مفاضلة بينه وبين حلول الأساسات والبلاطات الأخرى البسيطة والرخيصة.

تقع تقنيات تحسين التربة في ثلاث فئات واسعة:

- الرص
- بناء أعمدة حجرية
- خلط التربة بمادة إسمنتية

يمكن تحسين كثير من أنواع التربة بتكثيفها بإزالة الهواء منها (رصها)، أو في بعض الأحيان إزالة الماء من مساماتها (تصليدها)، وهذا ما يجعل جسيماتها تتقارب في ما بينها لتحسين قابليتها للتحميل. ويمكن تحقيق ذلك بتحميل منطقة التربة بطبقة من الأحمال، إلا أن ذلك يستغرق وقتاً لحصول التكثيف، ولذا يُلجَأ إلى عملية الرص بالدق المباشر، أي بإسقاط أوزان ثقيلة على سطح الأرض. ويُعتبر الانبعاج الناجم عن الدق مؤشراً لمقدار التكثيف، حيث إن كتلة الجسم الذي يُسقَط (7 ـ 11 طن عادة) وشكله (مخروطي عادة) يُحدِّدان عمق التكثيف الحاصل الذي تحتاج إليه أعمال الأساسات اللاحقة. ويتحقَّق التكثيف بجولتين أو ثلاث جولات من إسقاط الجسم بأنماط متقاطعة، ونتيجة لذلك يحصل انخفاض في مستوى السطح في الموقع بأسره.

ويتطلب بناء الأعمدة الحجرية أو الخرسانية حفر ثقوب بالدق لرص التربة المجاورة للثقب. ويتحقَّق ذلك بواسطة حفَّارة رجَّاجة تُقحَم في التربة. ثم توضع الحجارة (قطع خرسانة مستعملة سابقاً وأُعيد تدويرها عادة) في الثقب وتُرص بالدق، وتُكرَّر العملية في المناطق المجاورة. ثم يُعاد ملء الثقب بالحجارة لاستعادة استمرارية التربة المحسَّنة. تسمى هذه التقنية بالإزاحة الارتجاجية والرص(vibro-displacement and compaction) وتُستعمل لتكوين شبكة من الأعمدة الحجرية عبر كامل الموقع.

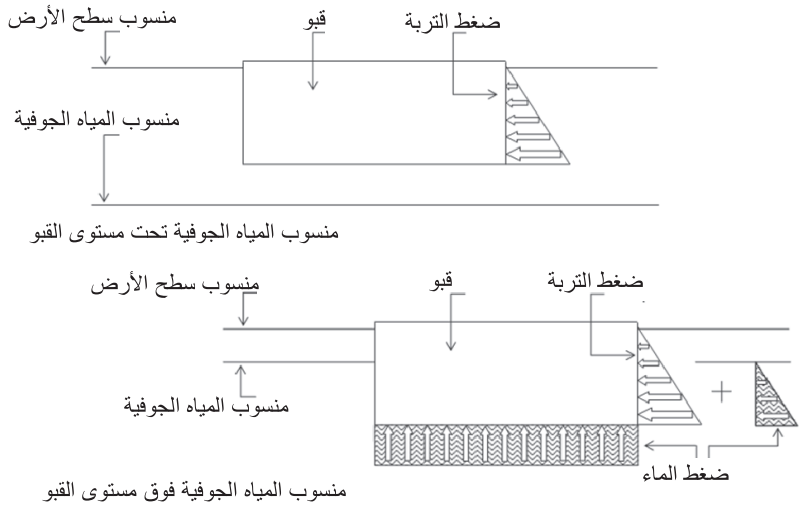
ويمكن تزويد التربة بالمواد الإسمنتية بإحدى طريقتين، تبعاً لعمق التحسين المطلوب. لتحسين السطح، تُزال التربة وتُخلط بالإسمنت والماء بحيث تتحقَّق نسبة الرطوبة الأمثلية ثم تُعاد إلى مكانها وترصّ فيه. أما في حالة العمق الأكبر فتُستعمل تقنيات الملاط، وفيها يجري حقن إسمنت وماء (ملاط) في شقوق التربة وفراغاتها التي تحد من قابليتها للتحميل.

يجب اختيار تقنية التحسين بعناية بحيث تتلاءم مع ظروف الموقع والتربة، مع الأخذ بالاعتبار الأعمال الهندسية اللاحقة التي يُجرى التحسين من أجلها. ليست هذه المناقشة من اهتمامات هذا الفصل الذي يُعنى بتقديم خيارات الهندسة والإنتاج العامة المقترنة بالأعمال التي تُجرى تحت الأرض.

الأقبية

خلافاً للأساسات، يقتضي بناء الأقبية النظر في الجوانب البيئية (وخاصة الكتامة إزاء الماء) إضافة إلى قضايا التحميل، ويجب أن تُجرى أعمال البناء تحت منسوب سطح الأرض، وهذا ينطوي على مخاطر تتعلق بالصحة والأمان. ويتطلب أيضاً تنفيذ أعمال مؤقتة للوصول إلى مكان العمل، إضافة إلى وسائل تدعيم للحفريات. وقد أدى هذان العاملان إلى تطوير تقنيات تتضمن تشييد جزء من جدار القبو الدائم يمكن إنجازه من مستوى سطح الأرض ويُوفِّر تدعيماً إنشائياً للتربة في أثناء عملية البناء. وهذا مثال للكيفية التي يمكن بها للمتطلبات الهندسية والإنتاجية أن تُكامَل معاً في مرحلة التصميم من خلال انتقاء الحلول التقنية لتوفير بيئة إنتاج أكثر أماناً وأقل تكلفة.

تتعرَّض بنى الأقبية إلى تحميل من التربة الجانبية، ومن المياه الجوفية أيضاً، وهذا مبيَّن في الشكل 8.28. يكون منسوب المياه الجوفية في كثير من المواقع عادة تحت منسوب بلاطة أرضية القبو، لذا على الجدران مقاومة ضغط التربة فقط. إلا أن التربة تكون حينئذ مبلولة أيضاً وتؤدي إلى مشكلات الرطوبة في القبو، دون أن يكون ثمة ضغط مائي سكوني على البنية. أما في المواقع التي يكون فيها منسوب المياه الجوفية أعلى من مستوى بلاطة أرضية القبو، فإن كلاً من الجدران والبلاطة تكون عرضة للضغوط المائية السكونية.



الشكل 8.28 القوى الأرضية الفاعلة في القبو.

يضع منسوب الماء العالي قوى تقوُّس على جدران القبو وبلاطته، وعلاوة على ذلك يؤدي إلى ضغط تعويمه. ويحصل التغلب على هذا التعويم بوزن المبنى بعد اكتماله، أما في حالة المبنى غير المكتمل، فقد يكون وزنه غير كاف، وقد يعوم القبو إلى الأعلى. لذا يُضخ الماء الجوفي مؤقتا من الموقع لتخفيض مستواه في أثناء البناء. وهذا يمكِّن من العمل ضمن حفريات جافة، إضافة إلى تجاوز مشكلة التعويم إذا استمر الضخ حتى إنجاز مقدار كاف من المبنى يستطيع إيقافها. والحل البديل هو ملء القبو بالماء حتى منسوب المياه الجوفية حين توقُّف الضخ، ثم تركه يمتلأ مع عودة المياه إلى منسوبها الطبيعي.

طرائق تحقيق الكتامة إزاء الماء

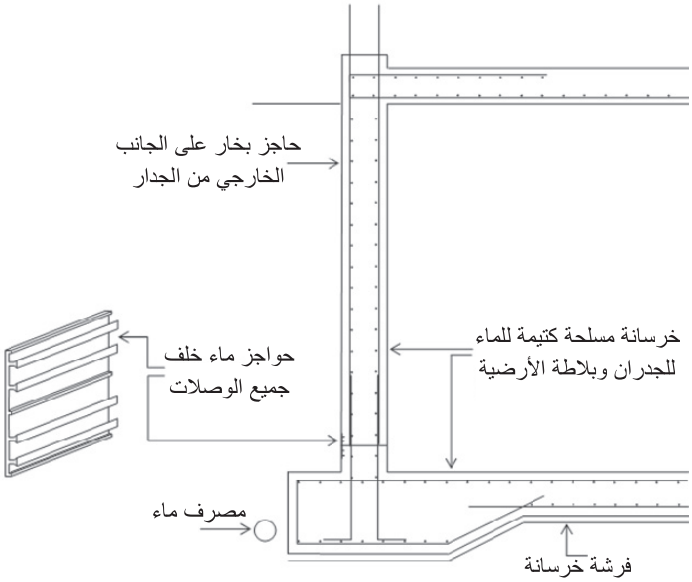
تُصنَّف طرائق تحقيق كتامة الأقبية من الماء في ثلاث فئات عامة هي:

- حماية سدِّية
- حماية متكاملة مع البنية إنشائياً
- حماية تصريفية

ويعتمد اختيار الطريقة على المخاطر التي يمكن أن تنجم عن استعمال القبو. ومع أنه يمكن الحصول على قبو تام الجفاف بأيٍّ من تلك الطرائق، إلا أن أكثرها محدودية في الأداء هي الحماية المتكاملة مع البنية إنشائياً. لذا، إذا كان استعمال القبو يتطلَّب مستويات عالية من الكتامة، وجب النظر في الحلين الآخرين، أي الحل السدِّي والحل التصريفي برغم كونهما أعلى تكلفة.

تقوم الحماية المتكاملة مع البنية إنشائياً على النفوذية الطبيعية الضعيفة للخرسانة الإنشائية العالية الجودة. إلا أن كتامة القبو إزاء الماء تزول إذا حدثت شقوق في الخرسانة، إضافة إلى أن وصلات اليوم تمثِّل نقاط ضعف من حيث كتامة الجدران إذا لم تُنفَّذ بعناية. يُري الشكل 9.28 الحماية المتكاملة إنشائياً. فسماكة الجدران يجب ألاّ تقل عن 250 مم، ويجب أن تكون مسلحة لدرء التشقُّق. ويجب منع تكوُّن العيوب في الخرسانة، مثل تلك التي تحصل نتيجة لتسرب المونة من القالب وتؤدي إلى تكوُّن بقع وفجوات على سطحها. ويجب تنظيف وصلات اليوم وتحضيرها للصبة التالية، ويجب أن تتضمن حواجز للماء كتلك المبيَّنة في الشكل 9.28. ويُضاف إلى ذلك أنه يمكن جعل هذه البنى

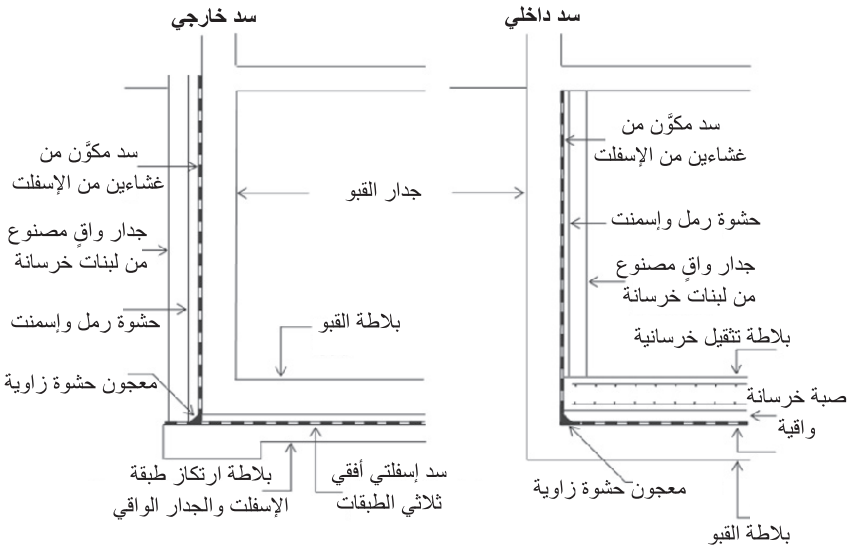
الخرسانية كتيمة للماء، لكن ليس للبخار، ولذا يمكن للرطوبة أن تتكوَّن ضمن القبو. وهذا يقتضي استعمال حاجز داخلي أو خارجي للبخار.



الشكل 9.28 قبو من خرسانة مسلحة مصبوبة محلياً.

أما الحماية السدِّية فتتضمن وضع طبقة مستمرة كتيمة للماء على كل من بلاطة أرضية القبو وجدرانه. وتجب حماية الطبقة من العطب المادي، وقد يكون من الضروري تدعيمها لمنع الضغط المائي السكوني من كسر الرابط بين مادة السد والبنية. لكن هذه الإمكانية لا تحصل إلا إذا انخفض مستوى القبو إلى ما دون منسوب المياه الجوفية. يُري الشكل 10.28 تنفيذاً خارجياً وداخلياً للحماية السدِّية. لا يتطلب السد الخارجي إلا بعض الحماية، لأن جميع قوى التربة تضغط طبقة السد على البنية، إلا أنه ينطوي على صعوبات إنتاجية. فبلاطة القبو يجب أن تُبنى فوق مادة السد التي تجب حمايتها بصبة خرسانية، إضافة إلى ضرورة توفُّر حيِّز للعمل لتطبيق مادة السد وبناء الجدار القشري الواقي قبل ملء الخلفية. أما السد الداخلي فيُطبَّق على القبو المكتمل حيث يمكن توفير البيئة وحيِّز العمل الآمنين بسهولة أكبر. حينئذ ثمة حاجة إلى جدران وفرشات خرسانية واقية لتوفير سطح لإنهاء الجدار. إلا أن إمكان انفصال طبقة السد في الحماية السدية الداخلية بسبب ضغط الماء أعلى احتمالاً، ولذا يجب اتخاذ احتياطات، من مثل استعمال بلاطات

تثقيل. ويجب تطبيق الحماية السدِّية الداخلية أيضاً على الأعمدة الداخلية التي يمكن أن توفِّر مسلكاً للرطوبة، لأنه لا يمكن وضع طبقة السد تحت الأعمدة عند مستوى البلاطة.



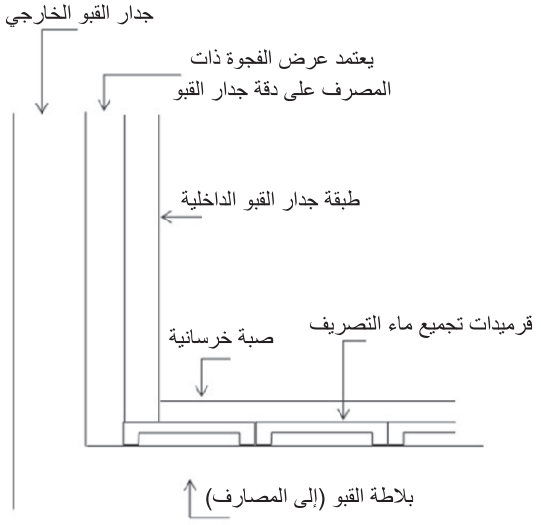
الشكل 10.28 قبو ذو حماية سدِّية بالإسفلت.

يتكوَّن الحاجز المانع للماء عادة من الإسفلت. وهذه مادة تطبَّق وهي حارة على شكل ثلاث طبقات معطية سماكة تساوي 30 مم في الوضعية الأفقية و 20 مم في الوضعية العمودية. وتُوضَّع كل طبقة على شكل شرائط، وتكون الوصلات بين الشرائط في كل طبقة منزاحة عن نظيراتها في الطبقة الأخرى. وعند تلاقي طبقات أفقية مع طبقات عمودية، يجب استعمال معجون حشوة زاوية بسماكة 50 مم لضمان إحكام السد في ما بينها. وفي أماكن اختراق تمديدات الخدمات للجدران، يجب تغليف الأنابيب بقميص من الإسفلت ووضع وسادة إسفلتية ضمن الجدار حول الأنابيب مع حشوة زاوية لسد الوصلة بين الوسادة وقميص الأنبوب.

أما بديل طبقات الإسفلت فهو أغشية القار التي تُطبَّق باردة. تتوفَّر هذه الأغشية تجارياً على شكل صفائح ملفوفة مع سطح لاصق محمي بطبقة من الورق قابلة للإزالة. ويساوي عرض اللُّفافة منها 1 متر، ويصل طولها حتى 18 متراً. ويجب أن تكون الوصلات متراكبة، ويجب تطبيق شرائط تقوية في أماكن تلاقي

السطوح الأفقية والعمودية قبل توضيع الصفائح التي يجب ثنيها لسد الوصلة. ويجب أن تكون سطوح جدران وأرضية القبو نظيفة وجافة وخالية من العيوب الصغيرة التي يمكن أن تثقب الغشاء. ويجب تحضير السطوح العمودية لضمان الالتصاق الذي لا يتحقَّق إلا بضغط الجانب اللاصق من الغشاء على سطح الجدار جيداً. وتتصف المواد القائمة على القار بأنها أكثر مرونة من تلك القائمة على الإسفلت، ولذا يمكنها استيعاب الحركات الصغيرة.

والطريقة الثالثة لحماية الأقبية من الماء هي توفير فجوة تصريف بين جدران وبلاطة القبو، وبين الأرضية والجدران التي تمثِّل السطوح الداخلية. يبين الشكل 11.28 هذا الأسلوب. يمكن استعمال هذا الحل عندما يتطلب استعمال القبو مستوى عالياً من انعدام الرطوبة، أو عندما يجب افتراض أن جدران القبو تُسرِّب الماء في عدد صغير من الأماكن، ولذا يجب افتراض أنه لا مناص من تكوُّن الرطوبة. وهذا هي حالة حلول الجدران المركَّبة المؤقتة والدائمة الواردة لاحقاً.



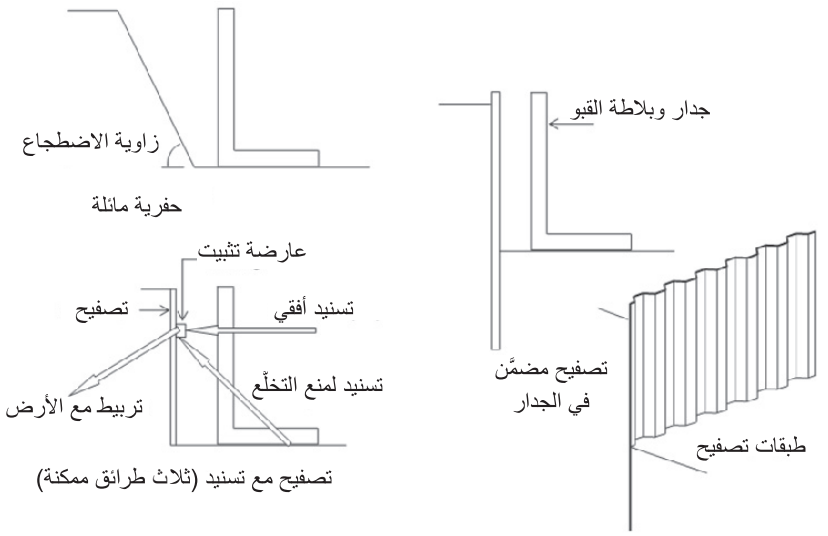
الشكل 11.28 حماية القبو بتصريف الماء.

صحيحٌ أن طريقة الفجوة لتحقيق الكتامة من الماء هي منظومة غير نشطة موثوقة جداً، وقد ثبت ذلك مع مرور السنين، إلا أن آلية تصريف المياه من الجدار الخارجي ذي الفجوة يعتمد غالباً على الضخ الذي يُزيل الماء المتراكم من المجمِّعات المتكوِّنة في بلاطة القبو الإنشائية. والتصريف الحر بمفعول الثقالة

ممكن أيضاً، إلا أن انخفاض مناسيب الأقبية لا يسمح به دائماً.

حلول الجدران المؤقتة/ الدائمة

توضِّح مكاملة الأعمال المؤقتة والدائمة في بناء جدران الأقبية المدى الذي تتداخل به قضايا الهندسة والإنتاج في العمل تحت الأرض. فالحاجة إلى حيِّز عمل تحت مستوى الأرض يتطلب كثيراً من الأعمال المؤقتة. ومع أن النظر في تفاصيلها ليس من اهتمامات هذا الكتاب، فقد أوردنا طرائقها العامة مع بعض أفكار الحلول في الشكل 12.28. إن لجميع تلك الطرائق عواقب من حيث التكلفة والأمان ومدة التنفيذ، تبعاً لحالة الأرض والقرب من التجمُّعات السكنية القائمة أو التي يجري تشييدها. وفي ما يخص الطرائق المبيَّنة في الشكل 12.28، فإن الأعمال المؤقتة لا تُسهم، وفقاً لما توحي بها تسميتها، بشيء من الأداء النهائي للجدار، وتُزال عندما يصبح الجدار الدائم قادراً على مواجهة ضغوط التربة وأي ضغوط مائية سكونية. وقد لا يُزال بعض أجزاء جدران التدعيم، بل يضيع مع تقدم البناء دون أن يُسهم في أداء الجدار الدائم. وتُستثنى من ذلك طبقات التصفيح التي يمكن أن تُستعمل بوصفها قوالب دائمة لجدران الأقبية الخرسانية، وحينئذ يجب أن تُؤخذ مقاومتها في الحسبان في تصميم الجدار الدائم.



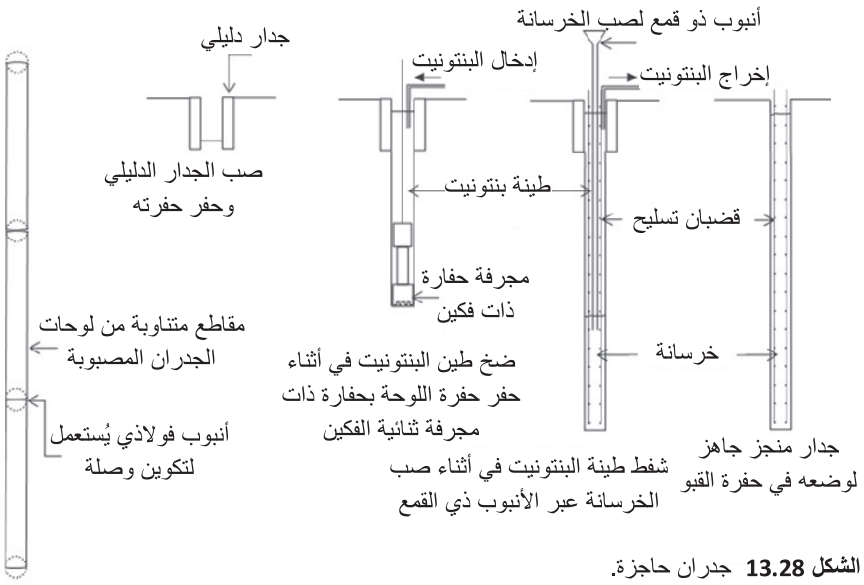
الشكل 12.28 طرائق عامة لتسنيد الحفريات.

لا تحتاج الأعمال المؤقتة إلى دقة في التوضُّع الأفقي والعمودي كالأعمال الدائمة، أو إلى مستوى عالٍ من الديمومة والكتامة من الماء. حتى إن تحقيق الأداء العالي في هذه الأعمال يمكن أن يكون مشكلة. إلا أن فكرة أنه يمكن تضمين الأعمال المؤقتة في الأعمال الدائمة توفِّر فرصة لتقليص مخاطر الصحة والأمان، وربما مدة تنفيذ العمل الكلية. فنصب وفك المساعِدات المؤقتة يمكن أن يمثِّل إضاعة للوقت وأن يعيق سرعة تقدُّم الأعمال الدائمة. وعلى غرار جميع الأعمال المؤقتة، يمكن لوسائل تدعيم الحفريات أن تكون اقتصادية لأنه يمكن إعادة استعمال المكوِّنات مرات عديدة في البناء. والطرائق التي تمكِّن من تقسيم العمل بحيث يُعاد استعمال مكوِّنات الأعمال المؤقتة تقلِّص الكاليف. وتُعزِّز المقدرة على إنجاز الحفريات كاملة في وقت واحد فرص تقدُّم العمل إلى حد بعيد، وهذا يقلِّص مدة تنفيذ العمل الكلية.

إضافة إلى تضمين طبقات التصفيح في الجدران الدائمة، جرى تطوير عدد من المنظومات لتكوين الجدار الخرساني نفسه من فوق الأرض قبل حفر القبو، وذلك لتوفير الأعمال المؤقتة مع عنصر من الأعمال الدائمة. إلا أنها لا تحقِّق الدقة الأفقية والشاقولية التي تتطلبها الأعمال الدائمة، ولا تحقِّق الكتامة إزاء الماء، لكنها تحقِّق الديمومة المتوقعة منها. وتُستعمل هذه الحلول غالباً مع حل الحماية السدية بالفجوة لتحقيق كل من التسامحات والكتامة للماء في الأحياز الداخلية من القبو.

ثمة طريقتان رئيسيتان لنصب جدران من فوق مستوى سطح الأرض قبل حفر القبو هما الجدران الحاجزة والأوتاد ذات المحيطات المتماسة والمتقاطعة. ففي حالة الجدران الحاجزة، يُبنى الجدار من لوحات تقع سماكاتها بين 600 مم و 1500 مم، وتساوي أطوالها 5 أمتار، وتُحفر حفرها بواسطة حفَّارة ذات مجرفة مزدوجة الفكين مصممة خصيصاً للحفر بالعمق المطلوب. ويُري الشكل 13.28 تسلسل العمليات. يبدأ العمل ببناء جدران دليلية. وتُدعَّم جوانب الحفرة بطينة البنتونيت (bentonite) التي توضع في الخندق في أثناء الحفر، ثم تُزال بعد وضع الخرسانة كي يُعاد استعمالها. وتُعطي لوحات البناء المتناوبة، في أكثر صيغها بساطة، وصلات مستقيمة بين اللوحات، ومن المؤكد أن هذه الوصلات تسمح للماء بالنزيز بين اللوحات. إلا أن وضع أنابيب فولاذية في نهايات اللوحات بحيث تُزال بعد اكتمال نصبها ويُملأ مكانها بالمونة يساعد على سد الوصلات ومنعها من

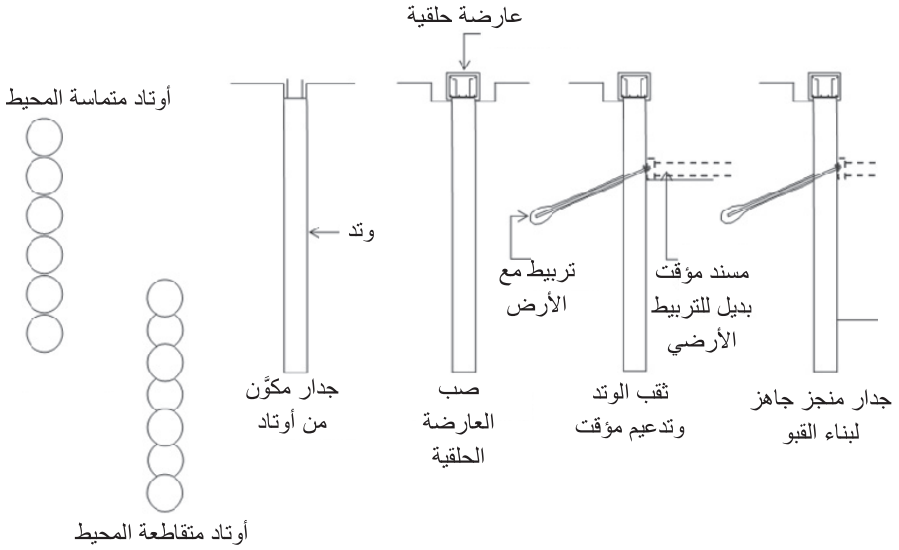
النزيز. ومن الممكن أيضاً إنتاج وصلات ذات أشكال متنوعة لتحقيق تشابك بين اللوحات، ومن ثَمَّ تحسين سلامة الجدار الإنشائية ومنعه من النزيز.



الشكل 13.28 جدران حاجزة.

وفي طريقة الأوتاد ذات المحيطات المتماسة والمتقاطعة، يحصل الحفر وصب الخرسانة للجدار بواسطة برِّيمة أوتاد عادية (انظر الشكل 5.28). وتختلف الوصلات المستعملة في المنظومات المتماسة المحيط عن تلك المستعملة في المنظومات المتقاطعة المحيط، وفقاً للمبيَّن في الشكل 14.28. في المنظومة المتماسة، لا تتشابك الأوتاد، ويمكن أن توجد فجوة صغيرة بين الأوتاد المتجاورة. أما في جدران الأوتاد المتقاطعة، فتُوضَّع الأوتاد بتشكيلة متناوبة حيث تخترق المجموعة الثانية من الأوتاد المجموعة الأولى وتتشابك معها. وهذا يحسِّن السلامة الإنشائية للجدار، إضافة إلى الحد من إمكان حصول النزيز. وكلتا هاتين الصفتين مهم في بعض حالات التربة لكل من طور الأعمال المؤقتة وطور عمل الجدار بوصفه جزءاً من جدار قبو دائم. تُشاد مجموعة الأوتاد الأولى أولاً، ثم تُحفر ثقوب المجموعة الثانية بحيث تخترق أوتاد المجموعة الأولى. ويمكن تحقيق ذلك بطريقتين. في الأولى، تُحفر ثقوب مجموعة الأوتاد الثانية قبل تصلُّد خرسانة مجموعة الأوتاد الأولى. يُضاف إلى الخرسانة مبطِّئ تصليد بحيث تكون قوتها محدودة حين حفر ثقوب المجموعة الثانية من الأوتاد. أما في الثانية، فتُترك

مجموعة الأوتاد الأولى حتى تتصلَّد تماماً وتصل إلى قوتها الكاملة، ثم تُحفر فيها ثقوب المجموعة الثانية بآلة ذات عزم دوراني قوي. وتحتاج الأوتاد، المتماسة والمتقاطعة، إلى عارضة حلقية تُصب فوق رؤوسها لربطها معاً وجعلها تعمل كالجدار.



الشكل 14.28 جدار مبني من أوتاد متماسة أو متقاطعة المحيط.

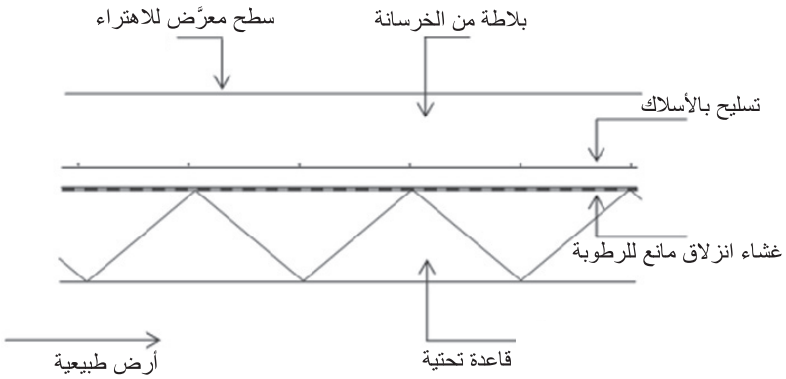
تُصمَّم الجدران الحاجزة وجدران الأوتاد عادة بحيث تسندها الأرضيات الداخلية. لكن إذا حُفر القبو وبُنيَت الأوتاد قبل تشييد الأرضيات، احتاجت الأوتاد إلى التدعيم في أثناء البناء. يُري الشكل 14.28 تسلسلاً شائعاً لحفر وإقامة جدران الأوتاد. وإذا لم تكن الجدران مقيَّدة ضمن التربة بقدر كاف للإمساك بها، وجب تدعيمها بالتربيط مع الأرض أو بمساند داخلية مؤقتة في أثناء حفر القبو.

وثمة بديل لذلك هو صب الأرضيات قبل حفر ثقوب الأوتاد، وذلك للاستغناء عن هذا التدعيم المؤقَّت. حينئذ يجب ترك ثقب في الأرضية للسماح بحفر ثقب الوتد تحتها. وتسمى هذه الطريقة بالطريقة النزولية، وهي ليست ممكنة إلا إذا أمكن تشييد الأساسات والتدعيم الداخلي للأرضية (جدران وأعمدة) قبل حفر ثقوب الأوتاد. تكمن فائدة هذه الطريقة في التمكين من الشروع في تشييد هيكل المبنى في الوقت نفسه مع تقدُّم الحفر، وهي عملية تُعرف بالبناء المتزامن، وفيه تُشاد البنى الدنيا والبنية العليا معاً في الوقت نفسه. لكن عملياً، يُعتبر تنظيم

أعمال الحفريات، بحيث تكون التأثيرات المتبادلة في ما بينها وبين تشييد البنية العليا، صعباً في جميع المواقع باستثناء الكبيرة منها.

الأرضيات الصناعية الخرسانية الواسعة المساحة

يُري الشكل 15.28 البنية الأساسية لهذه الأرضيات الواسعة المساحة، وهي تبدو مشابهة جداً لبنية بلاطة المنزل المرتكِزة على الأرض الواردة في الفصل 17. إلا أن مقاس هذه الأرضية يعني أن تصميمها الهندسي وعملية إنتاجها مختلفان كلياً. ومع أن العمل بها لا يحصل تحت الأرض بالتأكيد، إلا أننا نقدِّمها في هذا الفصل لأن تفاصيلها ومواصفاتها محكومة كلياً بنفس الاعتبارات الهندسية والإنتاجية التي تخص الأساسات والأقبية. وهي تنطوي أيضاً على متطلبات غير تلك الخاصة بالمتانة الإنشائية والديمومة. فثمة متطلبات تخص مظهر السطح، وعلى وجه الخصوص ما يتعلق بخواص الاهتراء والتسامحات في استوائها. وتأتي هذه المتطلبات من احتياجات الأنشطة العملياتية التي تُجرى في المبنى. فالاحتياجات العملياتية تقتضي غالباً وجود أحمال كبيرة، ليس من التجهيزات الساكنة فحسب، بل من الآليات المتحركة أيضاً. فقد ولَّد تطوير منظومات رفوف المستودعات العالية المقاطع، متطلبات جديدة من حيث استواء الأرضية. يُضاف إلى ذلك أن أتمتة حركة التجهيزات ذات الدواليب وتلك الموجَّهة سلكياً، والتي تكون أسلاك توجيهها مطمورة في الأرضية، قد حدَّت من مواضع قضبان تسليح الخرسانة كي لا تتداخل مع الإشارات التي تُشغِّل التجهيزات.



الشكل 15.28 مقطع عرضاني لأرضية صناعية خرسانية مرتكزة على الأرض.

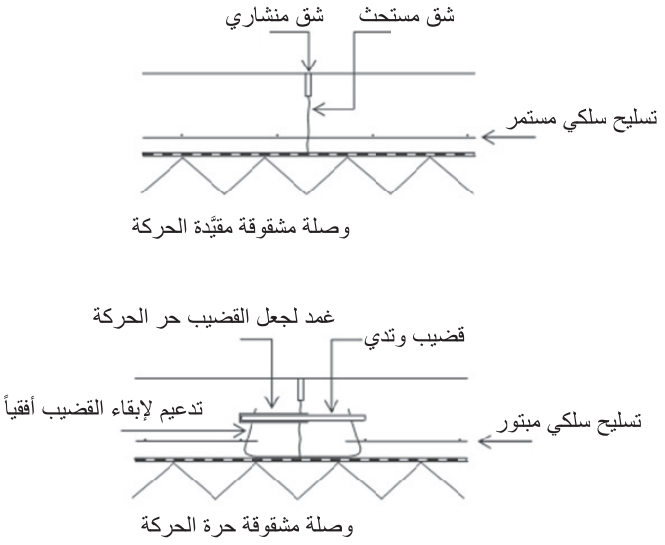
ويُصبح انكماش خرسانة البلاطة على درجة من الأهمية في مواصفات التصميم وفي قرارات التنفيذ والإنتاج مع ازدياد مساحة الأرضية المستمرة. فهو يستحث تشققات إذا لم يُسيطر عليها ولم تُستوعَب ضمن وصلات مصممة خصيصاً لها، أدت إلى تدنِّي خواص سطح البلاطة ومتانتها الإنشائية. لذا تصبح طريقة التشييد، وخاصة مواصفات وتباعدات الوصلات، محط اهتمام التصميم الهندسي وطرائق الإنتاج.

يجب النظر في جانبي التصميم والإنتاج هذين معاً. ففي النصف الأخير من القرن العشرين، تغيَّرت طرائق التصميم والإنتاج جذرياً، وتطوَّرت معاً لتحقيق أرضيات ذات أداء عال خلال مدد تشييد قصيرة جداً. لكن ذلك لم يؤثِّر كثيراً في المقطع العرضاني الأساسي للأرضية المبيَّن في الشكل 15.28، بل في حجم الصبة وإنهاء السطح وتصميم الوصلات.

وحين تصميم الوصلات، تُميَّز الحركات الحرة من تلك المقيَّدة بغية تحديد مقاسات التشققات التي يمكن أن تحصل. لكن في الحالتين يجب تقييد الحركة العمودية حين حصول التشقُّق. فبتقييد الحركة العمودية يبقى عرض الشق محدوداً، ويمكن تحقيق التقييد العمودي بتسليح البلاطة وبتشابك حصويات الخرسانة. وإذا كانت ثمة حاجة إلى استيعاب حركات أكبر، وجب أن تكون الوصلة حرة الحركة، ولذا يجب استعمال قضبان وتدية (حرة في إحدى النهايتين) لمقاومة الحركة العمودية النسبية التي يمكن أن تكوِّن درجة عند الوصلة (هبوطاً في أحد جانبيها).

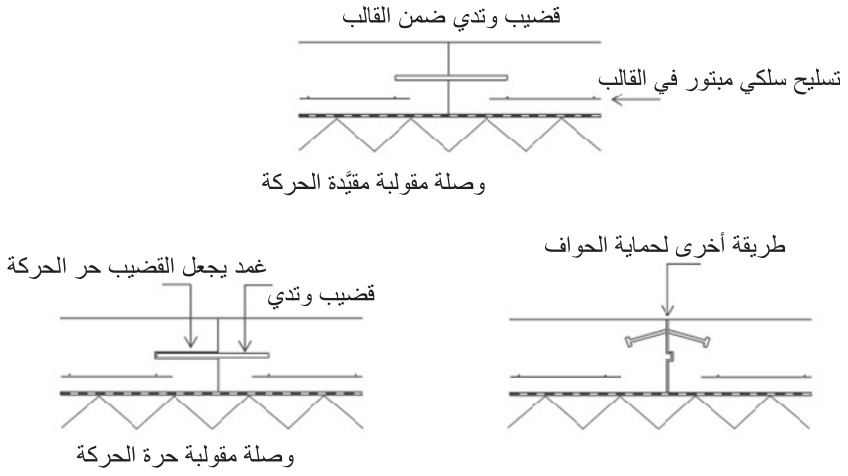
يمكن لفكرة الوصلات هنا أن تكون مضللة قليلاً. توضع مكوِّنات مستحثة للتشقُّق في البلاطة في أثناء صبها، وتصبح تلك المكوِّنات وصلات فقط حينما تنكمش البلاطة وتتشقَّق. وهذا يمكِّن من التحكُّم في مواضع التشقُّقات بوضع تلك المكوِّنات في خطوط تقسيمات محدَّدة. وتُعرف تلك الوصلات اليوم بالوصلات المشقوقة (sawn joint) وهي مبيَّنة في الشكل 16.28. أما ما يستحث التشقُّق عند الوصلة فهو شق منشاري عرضه يساوي نحو 3 ـ 4 مم، وعمقه يساوي نحو ربع سماكة البلاطة. ويجب ملأ الشق المنشاري بمادة تستوعب الحركة مع تدعيم حواف الخرسانة القائمة على طرفي الشق. وغالباً ما تكون تلك المادة مانعة للتسرب، وهي تُختار بدقة تبعاً لعامل استيعاب الحركة (movement accommodation factor) فيها ولصلابتها في تدعيم حواف الخرسانة. وهذا ينطوي على مقايضة، لأن قيم عامل استيعاب الحركة الكبيرة تتعارض مع قيم الصلابة

العالية. وقد جرى أيضاً تطوير مواد مالئة (حشوات) من مثل شرائط الرغوة العالية الضغط وشرائط البلاستيك المبثوقة.

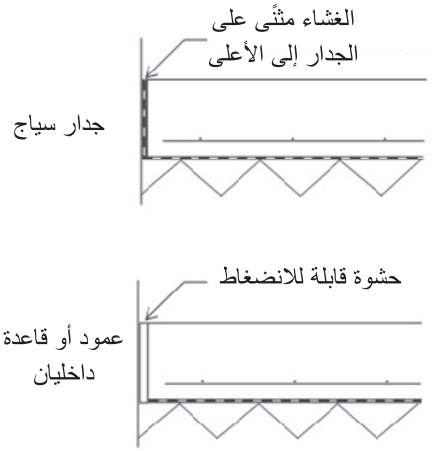


الشكل 16.28 وصلات مشقوقة.

يتطلَّب صب الخرسانة فواصل حركة مع قالب للحواف، وتُسمى الوصلات عند تلك الفواصل الوصلات المقولبة. لكن عملية إنتاجها محدودة بكمية الخرسانة التي يمكن صبها في يوم واحد، وذلك من حيث المساحة التي يمكن تسويتها وإنهاؤها. ويمكن تصميم الوصلات المقولبة في البلاطة بحيث تكون حرة أو مقيَّدة الحركة، ومن أمثلتها تلك المبيَّنة في الشكل 17.28. وثمة نوعان آخران من الوصلات هما الوصلة المربوطة التي تبدو كالوصلة المقولبة المقيَّدة الحركة، والوصلة العازلة. فثمة حاجة إلى الوصلات العازلة عند ملتقى البلاطة مع عناصر أخرى من البنية، من مثل الجدران والأعمدة. ويجب تجنب تقييد الحركة العمودية في هذه الوصلات، ولذا لا بد من استعمال وسائل عزل من مثل تلك المبيَّنة في الشكل 18.28.



الشكل 17.28 وصلات مقولبة.



الشكل 18.28 وصلات عازلة.

تحتاج كل البلاطات إلى وصلات (باستثناء طريقة تشييد مذكورة أدناه على أنها "البلاطات العديمة الوصلات")، إلا أن اختيار الوصلات وتوزُّعها يعتمدان على طريقة التشييد الأساسية المختارة. وتُميَّز طرائق التشييد تبعاً لمساحة البلاطة التي تُشاد في كل صبة. لقد طُوِّرت الشرائط الطويلة من طريقة تشييد طرقات السرعات العالية، وكثير من مواصفات تلك الشرائط ما زال يرتكز على تصاميم تلك الطرقات. يساوي عرض الشريط الواحد ما بين 4 و 6 أمتار، وتصب متناوبة

للسماح بحصول بعض الانكماش في الشريط قبل صب الشرائط في ما بين الشرائط التي سبق صبها. وتقولَب حواف مجموعة الشرائط الأولى بواسطة قالب مؤقت (قالب صب حواف الشارع)، أو بواسطة قِدَد دائمة مسبقة الصب يمكن توضيعها بدقة للمساعدة على تحقيق مواصفات استواء عالية. أما عرض الشريط فهو محدود بتجهيزات الإنتاج. وتبدأ عملية رص الخرسانة وتسويتها انطلاقاً من القوالب الجانبية. لذا تُعتبر هذه العملية من الاعتبارات الرئيسية في صب الشرائط العريضة التي تتطلب قدة على شكل عارضة للحد من الانحرافات، وهزاً ميكانيكياً لضمان رص جيد. ويُصقل السطح بالجلّاية الآلية (power trowel) عادة انطلاقاً من جانب الشريط، وهذا ما يحد من المسافة للوصول إلى الوسط. ويجب استعمال أغشية تصليد لضمان سلامة السطح وجودة الخرسانة.

يفرض عرض الشريط الطويل في هذه الطريقة للتشييد عدد الصبات اللازمة لصب أرضية كاملة، ومن ثَمَّ مدة التشييد الكلية. تُستعمل في صب الأرضيات الواسعة المساحة، أكانت ذات وصلات أو عديمة الوصلات، تجهيزات لتوضيع الخرسانة ورصها وتسويتها وإنهاء سطحها من دون القيود التي يفرضها عرض الشريط. وهذا يمكِّن من تشييد مساحات كبيرة في اليوم الواحد، ولذا يقلِّص المدة الكلية اللازمة لإنجاز صب الأرضية. إن تقديم وصف كامل لتلك التجهيزات ليس من اهتمام هذا الكتاب، إلا أننا نشير إلى أن عمليات الصب مُمَكْنَنة جداً وتنطوي على استثمارات مالية كبيرة، وهذا ما يحد من عدد الشركات التي تقدِّم هذه الخدمة.

ويسمح تشييد المساحات الواسعة من صب عدة آلاف من الأمتار المربعة بعملية واحدة في اليوم الواحد. وتُستعمل قوالب ثابتة لحواف الصبات، بفواصل تساوي 50 متراً تقريباً. ويجب أن تكون هذه الحواف وصلات مقولبة. وفي الأرضيات ذات الوصلات تُستعمل وصلات مشقوقة ضمن الصبة. طبعاً، تلك الوصلات ليست موجودة في الصبات العديمة الوصلات. وتأتي المقدرة على إلغاء الوصلات المشقوقة من استعمال ألياف فولاذية تُضمَّن في جبلة الخرسانة بوصفها تسليحاً يحل محل التسليح الشبكي. ومع أن هذا يعطي سطحاً مستمراً قابلاً للإجهاد (wearing surface)، ومن ثَمَّ يلغي إمكان تدهور الحواف الحادة عند الوصلات المشقوقة، إلا أنه يزيد من إمكان ظهور شقوق مرئية على سطح الأرضية، ولذا يجب على وصلات الحواف المقولبة أن تستوعب كل شقوق الانكماش التي يصل عرضها إلى 20 مم.

إنه لمن الصعب تحقيق أعلى مواصفات الاستواء المرغوب فيها على كامل مساحة الصب الكبيرة. وإحدى طرائق تجاوز ذلك هي اعتماد التشييد العريض المقاطع الذي تصل فيه عروض المقاطع حتى 15 متراً وتُستعمل فيه تقنيات تجهيزات الصب الكبيرة. وبعد الصب يُفحص استواء الخرسانة وهي في طور التصلُّد، وتُزال البقع العالية أو الناتئة قبل التصلُّد التام. ويسمح العرض المحدود بدخول التجهيزات إلى أماكن التسوية التي تقوم بهذه العملية المسماة بعملية قص النتواءات.

ويتطلب الاستواء، أو أكثر تحديداً انتظام السطح، مواصفات وتقنيات قياس مصمَّمة خصيصاً لهذه الأرضيات الواسعة المساحة. وتُعرِّف تلك التقنيات عدداً من الموسطات التي يجب أن تُحدَّد تماماً للسطح المطلوب، وأن تُفحص لضمان الأداء العملياتي السليم لتلك الأرضيات. ومن مواصفات انتظام السطح تلك التي يجب تحديدها، ثمة مواصفتان اثنتان متمايزتان هما مواصفة الحركة الحرة ومواصفة الحركة المعرَّفة، وهما تعبِّران عن نمط حركة التجهيزات ذات الدواليب المتوقع حصولها في المبنى.

لقد غطت المناقشة حتى الآن خواص البلاطة وسطحها. لكن الشكل 15.28 يُري طبقات أخرى في بنية الأرضية. يُصنع الغشاء عادة من صفائح بوليثين ـ 1200 متراكبة بمقدار 300 مم عند الحواف. وهذه مواصفة مشابهة لمواصفة غشاء أرضية المنزل المانع للرطوبة، إلا أنه يجب الانتباه إلى أن له وظيفة أخرى في أداء هذه الأرضيات. فهو يُعرَّف بأنه غشاء انزلاق والغرض منه السماح للخرسانة المنكمشة أن تنزلق على القاعدة التحتية لإرخاء قوى الشد وتركيز التشقُّق في الوصلات حين حصول الحركة. والغشاء الذي يحقِّق هذه المواصفات يحقِّق طبعاً متطلبات منع الرطوبة والبخار أيضاً. وإذا كانت ثم حاجة إلى منع تسرب الغاز أيضاً، قد يكون من الضروري تغيير مواصفات الغشاء مع الإبقاء على وظيفته المتمثِّلة بالسماح بانزلاق البلاطة.

وتؤدي وظيفة الانزلاق تلك إلى متطلب إضافي في مواصفات القاعدة التحتية. فعلى القاعدة التحتية، التي تتكوَّن عادة من مادة مالئة تُستعمل فرشة مضغوطة تحت الإسفلت في الشوارع من النوع 1 أو 2، أن تكون ناعمة بقدر يسمح بالانزلاق. أما تسامحات استواء سطح البلاطة العلوي فيجب ألا تسمح بأي نتوء أعلى من

المعطى في المواصفات لأن ذلك يقلِّل من سماكة البلاطة [حين تسوية سطحها وإزالة النتوءات].

أما الأرضية الطبيعية أو التربة التي سوف تُشاد البلاطة عليها، فلها تأثير كبير في سماكة البلاطة المطلوبة. في حالة التربة السيئة جداً، قد يكون من الأرخص القيام بتحسين التربة (وفقاً لما نوقش سابقاً) قبل صب البلاطة. وفي حالة التربة الجيدة جداً من الممكن أيضاً تشييد البلاطة من دون طبقة القاعدة التحتية، لكن ذلك غير شائع.

يُري الشكل 15.28 مقطعاً عرضانياً لبلاطة مسلحة تسليحاً مبدئياً على شكل شبكة موضوعة في أسفل البلاطة. وفي البلاطات ذات الوصلات المشقوقة تنخفض وظيفة مقاومة شبكة التسليح الفولاذية للتشقُّق، إلا أنها تبقى محقِّقة للاستمرارية عبر الوصلة. لذا اعتُبِر أن موضع الشبكة (في الأعلى عادة حيث تكون التشققات غير مقبولة) قليل الأهمية. لقد نوقشت الاستعاضة عن هذه الشبكة بألياف فولاذية في ما سبق، إلا أن ثمة وجهين آخرين يخصان التسليح تجدر الإشارة إليهما. فمن الممكن تصميم بلاطات غير مسلحة، إلا أنها غير شائعة في بريطانيا. أما البلاطات ذات التحميل المحلي العالي، أو تلك المرتكِزة على أوتاد، فيجب أن تكون كاملة التسليح (وحتى مسبقة الإجهاد).

ثمة ملاحظة أخيرة تخص متطلبات إنتاج هذه الأرضيات هي أن التجهيزات والتقنيات التي جرى تطويرها من أجلها تقوم على افتراض أن الأرضية سوف تُصب بعد إنجاز بناء السقف والجدران. فهي تُصب في الداخل محمية من العوامل الجوية. وإذا لم يكن الحال كذلك، قد يجب اختيار طريقة أخرى للحماية. فحتى الظروف الحارة الجافة لا تؤدي إلى إنتاج خرسانة جيدة في المناطق الواسعة المكشوفة من دون حماية خاصة غير ضرورية للصب في الداخل.

الخلاصة

1. تعتمد الأساسات والأقبية والأرضيات الواسعة المساحة جميعاً على فهم سلوك التربة والمضامين الهندسية والإنتاجية التي غالباً ما تهيمن على اختيار الطرائق التي يجب اعتمادها في تنفيذها.

2. تتألف الأساسات الضحلة عادة من خرسانة مسلحة، وكثير منها يحتاج إلى تدعيم الحفريات، وإلى قوالب صب بالتأكيد.

3. تُمكِن إقامة الأساسات الضحلة الخاصة بمباني البنى الهيكلية في التربة الجيدة التحميل على وسائد مع خيارات لضم أحمال الأعمدة، خاصة عندما تأتي الأحمال إلى الأرض بالقرب من مناطق من غير المسموح تجاوز حدودها.

4. في حالة التربة السيئة، يمكن النظر في الأساسات الحصيرية المقوَّاة بعوارض تتقاطع عند مواضع الأعمدة، أو أساسات البنى الخلوية التي إذا كانت عميقة بقدر كاف أمكن استعمالها أقبية.

5. تقوم الأساسات العميقة عادة على أوتاد تُزرع من مستوى سطح الأرض، إما بحشر وتد مسبق التشكيل يُزيح التربة، أو بحفر ثقوب في التربة وملئها بالخرسانة.

6. يكون تحميل الأوتاد إما تحميلاً على النهايات، أو تحميلاً احتكاكياً. وتصمَّم الأوتاد على شكل مجموعات مع غطاء يصل بين رؤوسها، وعوارض تصل بين الأغطية. ويمكن أوتاداً كبيرة القطر (أكبر من 1200 مم) أن تمثِّل وتداً واحداً لكل عمود موصول بعوارض الأرضية التي فوق الأوتاد.

7. قد يكون من المفيد النظر في تحسين التربة بالرص أو بتثبيت أعمدة حجرية فيها أو خلطها بمادة إسمنيتة إذا مكَّن ذلك من استعمال أساسات ضحلة أو حسَّن ارتكاز البلاطات التي ترتكز على الأرض.

8. تخضع جدران الأقبية إلى ضغط التربة. وإذا كانت الأقبية تحت منسوب المياه الجوفية، تعرَّضت لضغوط مائية سكونية وإلى قوى تعويم.

9. يمكن تصميم كتامة القبو من الماء إما متكاملة مع الجدران الإنشائية، أو سدِّية (خارجية أو داخلية) أو تصريفية.

10. يمكن استعمال الجدران الحاجزة أو الأوتاد المتماسة أو المتقاطعة المحيط لتشييد جدران تحت الأرض من مستوى الأرض، وذلك لتوفير بيئة عمل آمنة، وربما تقليص مدة البناء.

11. تخضع بلاطات أرضيات الخرسانة الصناعية الواسعة المساحة لقوى شد مع تصلُّد الخرسانة وانكماشها، وهذا ما يؤدي إلى تشقُّقها. لذا يجب ترتيب

الوصلات بحيث تَقْصِر التشقُّق على مقاطع محدَّدة حيث يمكن التحكُّم في الشقوق وتنفيذ وصلات تستوعب الحركة.

12. في حالة القيام بصبات كبيرة، يجب تكوين كثير من تلك الوصلات من مكوِّنات توضع ضمن الخرسانة لتوليد التشققات ومن ثمَّ التمكين من السيطرة على مواضع تكوُّنها وعلى الحركة. تُعرف تلك الوصلات بالوصلات المشقوقة.

13. يُعتبر الاستواء جانباً هاماً من مواصفات الأرضية، وقد أثَّر ذلك في عملية الإنتاج وفي تطوير تجهيزات متخصِّصة لتحقيق صبات لمساحات واسعة.

الفصل التاسع والعشرون
الغلاف الخارجي للهياكل الإنشائية

نهتم في الجزء الأكبر من هذا الفصل بخيارات بناء الجدران الخارجية للمباني ذات البنى الهيكلية. نقدِّم أولاً بعض الاعتبارات العامة التي تؤثِّر في اختيار المواد والمكوِّنات ومواصفاتها وتفاصيلها. ونناقش جوانب المظهر والأداء والتشييد والمتانة الإنشائية (structural integrity)، إضافة إلى قضايا تخص عمليات التجميع في الموقع. وننظر أيضاً في مسائل تخص تشييد السقف، لكننا لا نتطرق بالتفصيل إلا إلى الأسقف الخضراء.

تقديم

يمثِّل إجراء تحليل كامل لغلاف المبنى، بغية اختيار بنية تحقِّق الوظائف المطلوبة منها ويمكن تنفيذها، واحداً من التحديات الكبرى في تصميم وتنفيذ المبنى. يتألف الغلاف الخارجي عادة من عنصرين، هما الجدران والأسقف. وفي حين أن ثمة كثيراً من المتطلبات البيئية المشتركة بينها، فإن تأثيرها في المظهر وصيغة البناء الفعلية يمكن أن يكونا مختلفين جداً. إلا أن الفارق بينهما قد يكون قليلاً في الإكساءات الخفيفة الوزن للمباني الصناعية التي سوف نناقشها في نهاية هذا الفصل.

الجدران الخارجية

ثمة عدد من الكلمات الشائعة لوصف الجدار والتي تعطي شيئاً من الدلالة على الطيف الواسع من التحليل اللازم لاختيار عناصر الغلاف:

- " الواجهة " تشير إلى مظهر المبنى، أي وجهه الذي يمكن أن يُرى. وهي تتحدَّد بالسياق وبالرؤية التصميمية الجمالية والفنية للمبنى.

- "القشرة" تحدِّد سلوك كامل الجدار من حيث تلطيفه لبيئة المبنى الداخلية. وهي تتحدَّد بالجريانات والانتقالات التي تعرِّف وظائف الجدار تبعاً للظروف الداخلية والخارجية.

- "الجدار" تشير إلى البنية المادية. وهي تتحدَّد بمتطلبات أن يكون الجدار واجهة وقشرة، إلا أنها تتأثَّر أيضا بحاجتها إلى المتانة الإنشائية وإلى الموارد الإنتاجية الضرورية لتنفيذها بتكلفة منخفضة وفي الوقت المحدد وعلى نحو آمن.

إن من الضروري النظر في جميع عناصر الغلاف لضمان الأداء الكامل للمبنى النهائي.

يجب أن تعمل الجدران الخارجية والأسقف في بيئات مادية متغيرة، وأحياناً قاسية، لأنها معرَّضة للعوامل الجوية الخارجية. فالاختلافات في ما بين الظروف الداخلية والخارجية تؤدي إلى جريانات عبر الجدران. والحاجة إلى تخفيض استهلاك الطاقة، وإلى حلول تقلِّص مفاعيل البيئة الخارجية في الجو الداخلي للمبنى، لا تتطلب عمل الجدران بوصفها قشرة فقط، بل تتطلب تحديد موادها في مواصفات الجدار أيضاً. ويتمثَّل جزء من العوامل الخارجية في قوى الريح التي تضغط على الجدار الخارجي، ومن ثَمَّ تنتقل إلى هيكل المبنى.

الواجهة والمواد والزمن

على الأرجح، تتضمن نقطة البداية في اختيار الواجهة تحديد المواد التي سوف تُستعمل خارجياً. ويُحدِّد نوع كل مادة صيغة معينة لشكل وقياس مكونات أداء الجدار الخارجي: خرسانة على شكل لوحات، خشب على شكل ألواح، فولاذ على شكل صفائح، لبنات آجر على شكل سطح خارجي مستمر. إلا أن هذه الصلة بين المادة وشكل المكوِّن ليست ثابتة. فعلى سبيل المثال، يمكن تصميم مواد من مثل لوحات الآجر والخرسانة ذات وجه حجري يبدو مشابهة للبنات الآجر أو الحجارة. لذا فإن اختيار مواد الواجهة وأشكال المكوِّنات التي تُصنع منها يؤثِّر كثيراً في إكساءات الجدار، لأن بعضها يحتاج إلى تدعيم كامل أو وسيط لضمان المتانة الإنشائية، في حين أنه يمكن تصميم بعضها الآخر بحيث يُثبَّت مباشرة على هيكل المبنى. وتلك المكوِّنات التي لا تسهم في المتانة الإنشائية للجدار تحتاج إلى بنية حاملة أو إلى هيكل جزئي يُثبَّتان على هيكل المبنى لحمل الإكساءات. وسوف نناقش ذلك بالتفصيل لاحقاً في المقطع الخاص بأنواع الجدران.

ويتغيَّر الجدار، بوصفه واجهة، مع مرور الوقت. فالواجهة تتغيَّر بتأثير العوامل الجوية. والظروف المحيطة، أكانت طبيعية أم صنعية، تغيِّر كلاً من مظهر وأداء المواد التي يتكوَّن منها وجه الجدار. ويتعرض الجدار للاتِّساخ ولقوى إتلافية من العوامل الجوية. وهذا يتطلب عناية في اختيار مواد إكساءاته وإنهاءاته. ويمكن اعتبار هذا التلطّخ في بعض المواد مزية من حيث التجميل والتعتيق مع مرور الوقت. ويمكن تغيُّرات أخرى من مثل التصبُّغ وشحوب الألوان، إضافة إلى تدنِّي الخواص، أن تخرِّب المظهر وتحط من جودة المبنى ومن قدر المقاصد التصميمية فيه. لذا من الضروري فهم مجالات التحليل الرئيسية للحل المقترح في أثناء وضع المواصفات والتفاصيل.

وتحدِّد تأثيرات العوامل الجوية في الواجهة احتياجاتها من الصيانة والإصلاح. فالتلطخ وشحوب الألوان قد يختفيان بالتنظيف، في حين أن تدنِّي خواص المواد قد يتطلب إعادة الزخرفة والتزيين، وحتى الإصلاح أو الاستبدال. ويجب التنبُّؤ بتلك الحالات وتقديرها حين اعتماد الحل لتحقيق المتطلبات الواردة في مذكرة الزبون، إضافة إلى جودة التصميم المنشودة ضمن السياق المفترض للمبنى.

وفي ما يخص نهاية عمر المبنى، غالباً ما يُفترض أنه سوف يُهدم، وحينئذ يجب النظر في الاعتبارات الخاصة بتدوير مواده. إلا أنه قد يكون من الأفضل الإعداد لاحتمال تفكيك الواجهة بغية استبدالها إعادة استعمالها أو استعمال بعض أجزائها. والقرارات التي من هذا النوع تتضمن افتراضات عن الاحتياجات المستقبلية من المواد وصيغ المباني. فإذا كانت إعادة الاستعمال ممكنة مع شيء من الاعتناء بالتنفيذ من حيث تسلسل الفك والتركيب والتثبيت، وجب استقصاء تلك الإمكانية.

القشرة وطبقاتها ووظائفها البيئية

ثمة كثير من الوظائف البيئية التي على الجدار الخارجي تأديتها بوصفه قشرة. فالجدار يمثِّل وسيطاً في جميع تدفقات الطاقة الحرارية والضوئية والصوتية، والانتقالات المادية للرطوبة والهواء التي تحافظ على الجو الداخلي جافاً ودافئاً ونظيفاً، وتوفِّر مستويات من الإضاءة والهدوء الضرورية لراحتنا وصحتنا. يُضاف إلى ذلك أن الجدار يوفِّر كثيراً من جوانب الخصوصية والأمن الضرورية لصحتنا الاجتماعية والنفسية.

ولتحقيق تلك الوظائف يجب أن يتصف الجدار بالكتامة للماء، وأن يوفِّر التهوية والإضاءة والعزل الحراري والصوتي التي تؤثِّر جميعاً في الظروف الداخلية. ويتحقَّق الإحساس بالتواصل مع العالم الخارجي، مع الإبقاء على مستويات من الخصوصية، بالرؤية من الداخل والخارج عبر المناطق المزجَّجة. ويُسهم الجدار أيضاً في الأمن والحماية من المهدِّدات التي تنجم عن المجتمع أو الحريق.

لكنْ من غير المرجَّح أن تحقِّق مواد الواجهة وأشكال مكوِّناتها جميع متطلبات الأداء البيئي تلك. فمتطلبات أداء الجدار تزداد مع اعتماد التصاميم غير النشطة الخاصة بتكوين الظروف الداخلية والتحكُّم فيها. وإقحام البنية النشطة في التحكُّم بالظروف الداخلية يفرض مزيداً من القيود على مواضع ومقاسات الفتحات، مثل النوافذ، وهذا يؤثِّر في مظهر الواجهة ويتأثَّر باختيار موادها.

لذا تصبح الحاجة إلى طبقات أخرى في الجدار غير الواجهة حتمية، ومن أمثلتها الطبقات العازلة، وطبقات الحماية من النار، والإنهاءات الداخلية خلف الواجهة، والتظليل والتستير في جانب الواجهة الخارجي اللذان يؤثِّران في مظهر المبنى. ويجب تثبيت ووصل تلك الطبقات مع الجدار مع الحفاظ على المتانة الإنشائية الأساسية من حيث نقل الأحمال إلى هيكل المبنى.

ويجب القيام بتحليل الحل المقترح من ناحية مستويات الأداء المطلوبة. وتتحدَّد تلك المستويات بالظروف المرغوب فيها في المبنى وبالظروف الاجتماعية والمناخية والخارجية ذات الصلة بالسياق المفترض للمبنى موضوع الاهتمام. وقد استُقصيت الأفكار الخاصة بتحديد الظروف ونُهُج تحقيق الأداء البيئي والتحليلات التي يجب إجراؤها في الجزء الأول من هذا الكتاب.

بنية الجدار وفتحاته وتجميعه

يُحرِّر اختيار بنية هيكلية للمبنى، بدلاً من بنية الجدران الحاملة، الجدران الخارجية من حمل الأحمال الساكنة والأحمال المفروضة، إلا أن تلك الجدران تبقى عرضة لقوى الريح التي يجب الاهتمام بها. وهذا التحرُّر من دور إنشائي رئيسي يوفِّر طيفاً واسعاً جداً من صيغ بناء الجدران. وهذا واضح في مشاهد المدن الحديثة، إلا أن التحليل الدقيق يُري انبثاق بضع صيغ عامة جديدة. ويوحي تحليل خواص هذه الصيغ العامة في مرحلة التصميم المفاهيمي بطرائق متنوِّعة من النظر في الخيارات المتاحة.

يُحدِّد اعتبار الجدار واجهة مادة وجه الجدار وصيغ المكوِّنات التي تعبِّر أفضل تعبير عن مظهر المبنى وعن السياق الذي يمثِّله. وحين اعتبار الجدار قشرة، يجب النظر إلى عناصر التزجيج فيه، وإلى الطبقات ضمنه، من حيث مقاساتها ومواضعها بغية تحقيق مستوى الأداء المطلوب. لكنها في هذه الحالة ليست سوى أجزاء ضرورية لتحقيق وظائف الجدار. ولذا يجب اعتبار الجدار مجرَّد وحدة مجمَّعة. وهذا يُثير مسألة المتانة الإنشائية: ما هو العنصر الذي يمثِّل البنية الإنشائية، والذي يمكن تثبيت الأجزاء الأخرى عليه؟ ما هو العنصر الذي يسمح بنقل الأحمال (ومنها قوى الريح) إلى هيكل المبنى؟ إذاً لم يتَّصف أيٌّ من العناصر المقترحة لتحقيق وظيفة الواجهة أو القشرة بالمقدرة الإنشائية تلك، وجب تشييد وحدة جزئية إنشائية مستقلة لهذا الغرض.

ويجب أن يتضمن هذا التحليل للمتانة الإنشائية أيضاً الاعتبارات الخاصة بالربط الإنشائي للجدار مع هيكل المبنى. فهذه الوصلات تؤثِّر في مقدرة الجدار على استيعاب الحركة وتحقيق توافق المقاسات في عملية التجميع. وحينئذ يجب الأخذ في الحسبان لكل من الانحرافات المتأصِّلة والمستحثة.

الحاجة إلى المتانة الإنشائية

ينطوي اعتبار الجدار وحدة تجميعية على أنه مجموعة من المكوِّنات المصنوعة من مواد مختلفة، وبمقاسات مختلفة، والموصولة معا لتحقيق وظائف الواجهة والقشرة. ويحصل الترتيب المكاني لتلك المكوِّنات وتنفيذ وصلاتها ومثبِّتاتها اعتماداً على متانة الجدار الإنشائية. وفكرة أن الجدار يقوم على مكونات من مواد ومقاسات مختلفة، ولكنه يشكل وحدة متكاملة، تقود إلى تحديد عنصر فيه يحقق المتانة الإنشائية.

يجب نقل الوزن الذاتي للجدار الخارجي وقوى الريح المطبَّقة عليه إلى هيكل المبنى وإلى أعمدته في كل طابق. وهذا يتطلب شبكة من نقاط ارتكاز أبعادها تعتمد على شكل الهيكل الإنشائي. في حالة المباني ذات البنى الهيكلية، من المرجَّح أن يكون ارتفاع الطابق نحو 3,5 أمتار، وأن تقع تباعدات الأعمدة بين 4,5 و 9 أمتار. وإذا كان المبنى هيكلاً ذا سقف طويل المجاز، كانت ارتفاعات أفاريزه بين 4 و 14 متراً، وكانت تباعدات الأعمدة فيه بين 6 و 12 متراً. والفارق الآخر بين البنى الهيكلية وبنية السقف الطويل المجاز هو ضرورة الحد من الأحمال

الساكنة في غلاف المبنى ذي السقف الطويل المجاز، وخاصة غطاء السقف. وهذا يقود إلى استعمال منظومات خفيفة الوزن في جزء من الجدار على الأقل، خاصة حيثما كانت في المبنى أفاريز عالية.

يجب أن يحقق أحد عناصر الجدار المتانة الإنشائية بغية تلقِّي جميع الأحمال ونقلها إلى هيكل المبنى. ويمكن تحقيق وظيفة المتانة هذه بواسطة إكساءات الواجهة نفسها، أو بواسطة طبقة أخرى توفِّر وظائف القشرة، أو بواسطة عنصر مخصَّص للمتانة الإنشائية حصراً.

ويمكن التفكير بحلول للجدار تحقِّق المتانة الإنشائية بإحدى طرائق ثلاث:

- بواسطة مكوِّنات الواجهة نفسها التي يمكن أن ترتكز على حواف الطوابق (في الأعلى والأسفل) أو على الأعمدة (في الجانبين)
- بواسطة واحدة من طبقات القشرة الوظيفية الأخرى التي يمكن أن تُستعمل لارتكاز مكوِّنات الواجهة عليها
- بواسطة منظومة جزئية مصممة خصيصاً لأداء وظيفة التحمُّل

فإذا اختيرت لوحات من الخرسانة المسلحة غلافاً، كانت ثمة إمكانية لتصميمها بحيث تمتد بين الركائز الإنشائية المتوافرة من دون الحاجة إلى منظومات إنشائية جزئية لترتكز عليها. وإذا اختيرت لبنات آجرية، أمكن تكوين لوحات جدران محلياً في الموقع تستطيع أيضاً الامتداد بين الركائز الإنشائية التي توفِّرها عوارض وأعمدة الهيكل. وهذان المثالان يُثيران جانباً رئيسياً آخر يؤثِّر في اختيار المبنى، هما عمليتا التصنيع والتجميع. فمن المرجَّح أن تكون لوحات الخرسانة مسبقة الصنع خارج الموقع، وأن تحصل عملية تشييد الجدار من لبنات الآجر محلياً في الموقع. وهاتان الطريقتان هما أكثر خيارات الإنتاج أرجحية، إلا أنهما ليستا الوحيدتين. فمن الممكن صب الخرسانة محلياً وتشكيل لوحات لبنات الآجر مسبقاً. ومن ثَمَّ فإن لعمليات الإنتاج هذه تأثيراً كبيراً في الوصل مع الهيكل.

ومن منظومات الواجهة الأخرى التي تحتوي على مكوِّنات يمكن أن تمتد بين الطوابق السواتر الجدارية. توصل في هذه المنظومة قوائم عمودية، تحاكي العوارض التي تحمل زجاج النافذة، مع هيكل المبنى لتوفير ارتكاز للزجاج أو للوحات من مواد متنوِّعة.

وتستمد البنى المذكورة في الأمثلة الثلاثة السابقة ارتكازها وتقييدها من عناصر هيكل المبنى الرئيسية. إلا أن كثيراً من مواد الواجهة وأشكال مكوِّناتها لا تمتد بين عناصر الهيكل مباشرة، ولذا تحتاج إلى تثبيت على منظومات جزئية تحقق المتانة الإنشائية وتنقل الأحمال إلى الهيكل.

ومن المفضل أن تُثبَّت مواد الواجهة عموماً على لوحات ارتكاز مصمتة (مبنية من لبنات) أو مؤطرة (خشبية أو فولاذية)، لأن مكوِّنات التغطية والإكساء لا تستطيع حمل نفسها. ومن تلك المكوِّنات البلاستر والصفائح المسطَّحة وبلاطات القرميد. ومن المرجَّح أن يتأثَّر اختيار لوحات الارتكاز المصمتة أو المؤطرة بعوامل أخرى تتحدَّد في تحليل الجدار من حيث كونه قشرة، ومن تلك العوامل العزل الحراري والصوتي. ويمكن أن يتأثَّر الاختيار أيضاً بمسائل من مثل الاستدامة والتكلفة ومتطلبات الإنتاج.

وتتَّصف بعض مواد الواجهة، المصنَّعة لتعطي مكوِّنات ذات مقاسات وأشكال اقتصادية أو محددة بالتصميم، بالمقدرة على الامتداد على مجازات، إلا أن تلك المقدرة ليست كافية للاستفادة من الهيكل الإنشائي مباشرة. ففي حين أنها يمكن أن تُثبَّت على جدار ظهير (backing wall)، فإن مكوِّنات من مثل الصفائح أو لوحات الطبقة البينية المعزولة يمكن أن تُثبَّت على هيكل إنشائي جزئي من مثل سكك الإكساءات الخارجية. وتوفِّر المقاطع المشكَّلة من صفائح معدنية أو لوحات الطبقات البينية حلا خفيف الوزن يُختار غالباً للمباني التي يمكن أن تُستعمل فيها أطر أسقف واسعة المجاز. تحتاج هذه المقاطع إلى ارتكاز منتظم بتباعدات تساوي نحو مترين. أما اللوحات الخفيفة الوزن التي تُصنع من معدن أو إسمنت مقوَّى بالزجاج أو البلاستيك، والتي يمكن صنعها لتمتد مباشرة على مجازات هيكل المبنى، فيمكن أن تُصمَّم على شكل لوحات أصغر بمقاسات وأشكال محدَّدة. وفي هذه الحالة، تتوضَّع سكك الإكساءات على ارتفاعات محدَّدة، وعلى الأرجح على ارتفاع عتبة النافذة السفلية ورأسها. وتُصمَّم هذه الهياكل الإنشائية الجزئية عادة باعتبارها جزءاً من هيكل المبنى، لا الجدار، وتصنع غالباً من الفولاذ. ولعل أكثر أنواع الهياكل الجزئية شيوعاً هي تلك الخاصة بالزجاج الإنشائي، حيث يكون الزجاج هو طبقة القشرة الوحيدة في حين أنه لا يمتلك المتانة الكافية ليمتد بين عناصر الهيكل، ولذا يستدعي وجود هيكل جزئي مكشوف (مرئي عبر الزجاج).

سوف نناقش جميع هذه المنظومات بمزيد من التفصيل في المقاطع التالية التي تتطرَّق إلى تفاصيل ومواصفات كل من الخيارات العامة المتاحة.

الإضاءة والتهوية من خلال الجدار

من الوظائف التي على معظم الجدران الخارجية في المبنى تحقيقها، بوصفها قشرة، الإضاءة والتهوية بواسطة النوافذ عادة. وفي كثير من خيارات الإكساء الخارجي، يُنفَّذ ذلك بإنشاء فتحات في الجدار يمكن أن تُثبَّت فيها أطر ذات لوحات مزجَّجة متحركة أو ثابتة. وفي حين أن هذا الوصف العام هو جيد للكثير من الحلول المستخدمة إلا أنه ليس وصفاً دقيقاً دائماً. من ناحية أخرى، تُعتبر النوافذ في حالة السواتر الجدارية من خيارات اللوحات التي تثبَّت بين القوائم الإنشائية. ومن الممكن أيضاً صنع إطار النافذة بمقاس متوافق مع داخل الهيكل الإنشائي بحيث تصبح النافذة نفسها لوحة إكساء. وهذا ما تُمكِن مشاهدته في واجهات الدكاكين ومداخل الأبهاء. حينئذ يصبح من الممكن تصوُّر استعمال أطر من هذا النوع بارتفاع طابق لإكساء المبنى، حيث تثبَّت اللوحات والنوافذ في الأطر بنفس طريقة تثبيتها في السواتر الجدارية.

وتُلغي تقانة الزجاج الإنشائي الجدار المصمت وإطار الزجاج أيضا مكوِّنة مناطق مستمرة غير منقطعة من الزجاج، غالباً عبر أكثر من طابق واحد من المبنى. وفي هذا مضامين بيئية هامة لتصميم القشرة، منها محدودية إمكان فتح أي من الصفائح الزجاجية مقارنة بالنوافذ المعهودة، لأن ذلك يمثِّل تحدِّياً كبيراً لتصميم المتانة الإنشائية. وصفائح الزجاج غير المؤطرة لا يمكن أن تمتد على المجازات الموجودة في الهيكل الإنشائي، ولذا ثمة حاجة إلى منظومات إنشائية جزئية وفقاً لما أشرنا إليه في المقطع السابق.

تصنيع الجدار وتجميعه

يمثِّل تصنيع وتجميع مكوِّنات الجدار الخارجي تحديات خاصة لتشييد المباني. فالجدار نفسه هو وحدة تجميعية رئيسية تُصنع من كثير من المكوِّنات التي عليها أن تكون متوافقة من حيث المقاسات، برغم أنها غالباً ما تكون مصنوعة من كثير من المواد المختلفة وفي كثير من المواقع المختلفة. أما عملية التجميع فتحصل عند حافة المبنى، غالباً في الأعلى، ولذا تنطوي على مخاوف تخص

الأمان والسلامة. وينطوي توضُّع الجدار عند حافة المبنى أيضاً على متطلبات تخص تداول المكوِّنات الكبيرة، والثقيلة أحياناً.

ويمكن لاختيار المكوِّنات ومستويات التصنيع المسبق وتفاصيل الوصلات والمثبِّتات، وعلى وجه الخصوص عند أي وصلة مع الهيكل، أن يؤثِّر تأثيراً كبيراً في الحاجة إلى الأعمال المؤقتة، وأن يؤدي إلى مخاطر على الصحة والسلامة. وهذا يؤثِّر بدوره في تكلفة البناء ومدة تنفيذه وجودته، ويزيد من المخاطر التقنية التي تنجم عن حصول إخفاقات مبكرة فيه.

ويجب تضمين استيعاب الحركة وتوافق المكوِّنات في تفاصيل الوصلات والمثبِّتات. فاختلاف المواد المستعملة في الجدار وبين الجدار والهيكل، إضافة إلى تنوُّع التحميل والظروف البيئية، كلها تزيد من إمكان حصول حركات تفاضلية. وتحليل مقادير تلك الحركات (الانحرافات الذاتية) يجب أن يكون جزءاً من تصميم الوصلات والمثبِّتات.

ويجب أن تستوعب الوصلات والمثبِّتات أيضاً تسامحات التصنيع والتجميع (الانحرافات المستحثة). وفيها يجب أن تتوافر إمكانات الضبط أفقياً وعمودياً ومكانياً، لضمان توضُّع كل مكوِّن في موضعه ضمن حدود التسامحات المُقرَّة له. وهذا التحليل يجب أن يكون جزءاً من اختيار تفاصيل عملية التجميع.

وفي ما يخص الإنتاج، تحدِّد تلك التفاصيل أيضاً الحاجة إلى المساعِدات المؤقتة وإلى تحديد تسلسل نصبها، خاصة تلك ذات الصلة بمنصات العمل التي توفِّر للعمال حركة وظروف عمل آمنة. وقد تكون العملية العكسية، أي فك المساعِدات المؤقتة، جزءاً من تحليل التفاصيل بغرض زيادة وتيرة إعادة الاستعمال والتدوير.

خيارات الجدار

عرَّفنا العوامل الرئيسية التي تدخل في اختيار الجدار بأنها:

- وظيفة الواجهة
- وظيفة القشرة
- تحديد العناصر التي توفِّر المتانة الإنشائية

- توفير الإضاءة والتهوية للمبنى
- قضايا الإنتاج والتجميع

ثمة كثير من الصيغ العامة للجدار الخارجي (مع مثبِّتاتها على الهياكل المتنوِّعة) التي يمكنها أن توفِّر حلولاً لهذه القضايا. إلا أن تلك الخيارات تؤدي إلى تفاصيل هائلة متنوِّعة كتنوُّع المباني في الأزمان المختلفة. ومحاولة تحرِّي جميع الخيارات المتاحة في كتاب كهذا ليست ملائمة لأنها لن تكون شاملة وتتقادم بسرعة كبيرة. إلا أن ثمة عدداً من الخيارات العامة التي تُمكِن مناقشتها من حيث صيغها وتفاصيلها الشائعة. من تلك الخيارات:

- جدار الفجوة المبني من لبنات آجرية
- لوحات تغطية وإكساء
- سواتر جدارية
- مواد واجهات (بما في ذلك سواتر المطر)
- إكساءات خفيفة الوزن
- زجاج إنشائي

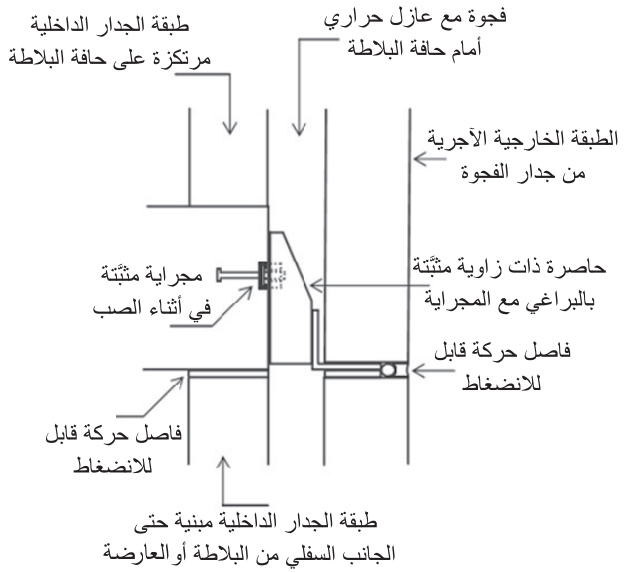
جدار الفجوة المبني من لبنات آجرية

نُقِلت صيغة الجدار وتفاصيلها التي استُعملت في الجدران الحاملة في المنازل بنجاح لاستعمالها في التغطية الخارجية للبنى الهيكلية. فحين استعمال جدار الفجوة المبني من لبنات آجرية لتغليف هياكل متعددة الطوابق، تُنقل أحماله إلى الهيكل في كل طابق (وأحياناً كل ثاني طابق)، لا إلى أساس خاص به. ويكتسب الجدار استقراره من الهيكل، لا من المساند الجدارية للبنية التي ترتكز عليها الأحمال.

ويُحدِّد خيار الآجر أشكال مكوِّنات الواجهة ومقاساتها وطيف ألوانها وأنماط الربط التي يمكن تحقيقها حين استعمال الآجرات الصلصالية المعروفة، مع أن من الممكن تصوُّر تراكيب أخرى من لبنات خرسانة ومواد أخرى يمكن أن تُصنَع منها مكوِّنات من هذا النوع. يضمن الجدار ذو الفجوة المناعة من العوامل الجوية، على أن تُطبَّق فيه إجراءات منع الرطوبة التي تُستعمل حول الفتحات عند الوصلات مع

الهيكل. أما إنهاءات ومواد العزل الصوتي والحراري فهي كتلك المستعملة في المباني المنزلية.

أما الفرق الرئيسي بين جدار الفجوة المبني من الآجر المستعمل في المنازل ونظيره المستعمل غلافاً للمباني الهيكلية فيكمن في الوصل مع هيكل المبنى. يُري الشكل 1.29 تفاصيل وصلة توفِّر ارتكازاً لطبقة الجدار الخارجية على زاوية مثبَّتة على حافة عارضة أو بلاطة. وترتكز طبقة الجدار الداخلية على حافة البلاطة مكتسبة تدعيماً كاملاً مباشراً من الهيكل. ويُري الشكل الفجوة مارة أمام حافة العارضة أو البلاطة لتوفِّر استمرارية للعازل الحراري، ومن ثَمَّ منع تكوُّن جسر بارد عبر الهيكل.

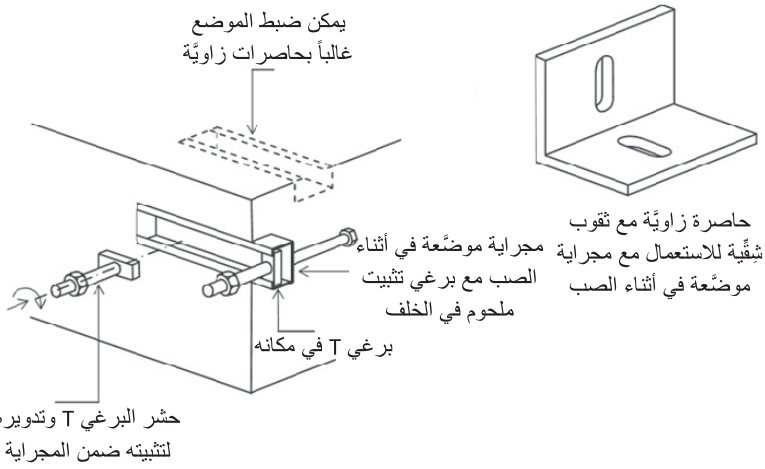


الشكل 1.29 وصلة ارتكاز جدار فجوة على الهيكل.

يُري الشكل 1.29 الحاصرة ذات الزاوية مثبَّتة مع البلاطة بواسطة مجراية توضع [ضمن البلاطة] في أثناء الصب. وهذه طريقة تثبيت مستعملة في كثير من أنواع الجدران الخارجية، وهي تقوم غالباً على الزوايا والحاصرات. ويُري الشكل 2.29 مبدأ عملية التثبيت هذه، حيث يسمح الشق الموجود في المجراية بضبط التوضُّع باتجاه واحد. أما الحاصرات ذات الثقوب الشقِّية فهي وسيلة جيدة للضبط

في الاتجاهين الآخرين، وهذا ما يسمح بضبط توضُّع المكوِّن مكانياً وعمودياً وأفقياً. وتتوافر المجراية والبراغي ذات الشكل T بدرجات جودة مختلفة ومواد متنوِّعة.

يعني توفير ارتكاز لجدار مبني من لبنات آجر على زاوية أن أي حركة في الهيكل سوف تحرِّك الجدار المرتكِز على الزاوية، على ارتفاع طابق واحد بكامله عادة. وأي حركة في الجدار سوف تكون مقيَّدة بحامل اللوحة التي في الأعلى. ولذا يجب تقدير احتمال حصول الحركة في الهيكل والجدار. وتصبح الأعمدة أقصر حين تحميلها، لكن إذا طُبِّق معظم التحميل عليها قبل تركيب الغلاف، فإن معظم تلك الحركات يكون قد حصل. وإذا كانت الأعمدة المستعملة من الخرسانة المسلحة، فإنه سوف يحصل انكماش فيها أيضاً مع تصلُّد الخرسانة، وهذا يؤدي إلى تقصيرها أيضاً. إلا أن معظم ذلك يكون قد حصل فعلاً إذا انقضت مدة كافية بين صب الأعمدة وبناء اللوحات الآجرية. إلا أن ثمة ظاهرة أخرى في الخرسانة المسلحة هي الزحف الإنشائي التي تجعل العمود يستمر بالقصر مع مرور الوقت حتى مع بقاء الحمل ثابتاً. وتؤدي جميع الانحرافات المتأصِّلة في العمود إلى قِصَره، في حين أن الانحرافات المتأصِّلة في لبنات الآجر الصلصالي تؤدي إلى زيادة أبعادها. وتؤثِّر تغيُّرات الرطوبة ودرجة الحرارة مباشرة في الطبقة الخارجية من الجدار الآجري، مقلِّصة وممدِّدة أبعاده. وتجعل عملية المجانَسة الأولية الآجر يتمدَّد، خلافاً للخرسانة التي تنكمش.



الشكل 2.29 التثبيت بواسطة مجراية مثبَّتة في أثناء الصب.

إن تغيُّرات الأبعاد تلك في كل من الهيكل وجدار الآجر تتطلب حتماً وجود فواصل حركة في أعلى اللوحة تحت زاوية تثبيتها. وربما يجب أن يكون الفاصل أكبر من 10 مم، أي أكبر من سماكة الطينة. ويجب أن يكون كتيماً للماء، ويتحقَّق ذلك بحشوة المطاط اللُّباني القابل للانضغاط الذي يختلف لونه عن لون الطينة.

وإضافة إلى فواصل الحركة الأفقية تلك، تحتاج الجدران الآجرية الطويلة إلى فواصل حركة عمودية لاستيعاب التمدد والحركات الناجمة عن العوامل البيئية ضمن الجدار نفسه.

وتنقل الحاصرة الزاويَّة حِمل الجدار نفسه إلى الهيكل، إلا أنها لا تنقل أحمال الريح. لذا يجب تقييد الجدار لمنعه من الابتعاد عن الهيكل بقوى الريح، لأن ارتكازه على الحامل الضيق قلق من هذه الناحية، خاصة مع وجود فاصل حركة في أعلى اللوحة، برغم وجود شِدادات تربطها بطبقة الجدار الداخلية. ويمكن أن يُقيَّد الجدار بالعارضة التي في الأعلى وبالأعمدة (غير مبيَّنة في الشكل) بواسطة شِدادات توضع ضمن الطينة. وإذا كانت تباعدات الأعمدة كبيرة، وجب استعمال أعمدة مضادة للريح بين الأعمدة الأصلية لتدعيم اللوحة الآجرية.

ويمكن تكوين فتحات في اللوحات الآجرية بنفس الطريقة المستعملة في المباني المنزلية. وينطبق الشيء نفسه على العازل الحراري (المفصَّل في الفصل 19).

يُعتبر بناء جدار الفجوة الآجري عملية حرفية تُجرى في الموقع. تُشاد لوحات الجدران الآجرية في الموقع بين زوايا الارتكاز (الطبقة الداخلية من الجدار بين الطوابق داخل الهيكل). ويتطلب ذلك سقالة عادية مع وسيلة لإيصال المواد التي من مثل لبنات الآجر والطينة والشِّدادات والعازل الحراري، إلى البنَّاء. إلا أن تداول المواد عمودياً هنا أوسع نطاقا بكثير من ذاك الذي يحصل في المباني المنزلية، ولذا يجب استعمال الروافع اليدوية والآلية. ويجب تأمين وصول العمال إلى أمكنة العمل مع تزايد عدد طوابق المبنى. ويجب توفير وسائل الحماية والأمان للعمال بواسطة منصات العمل وتجهيزات الحماية الشخصية.

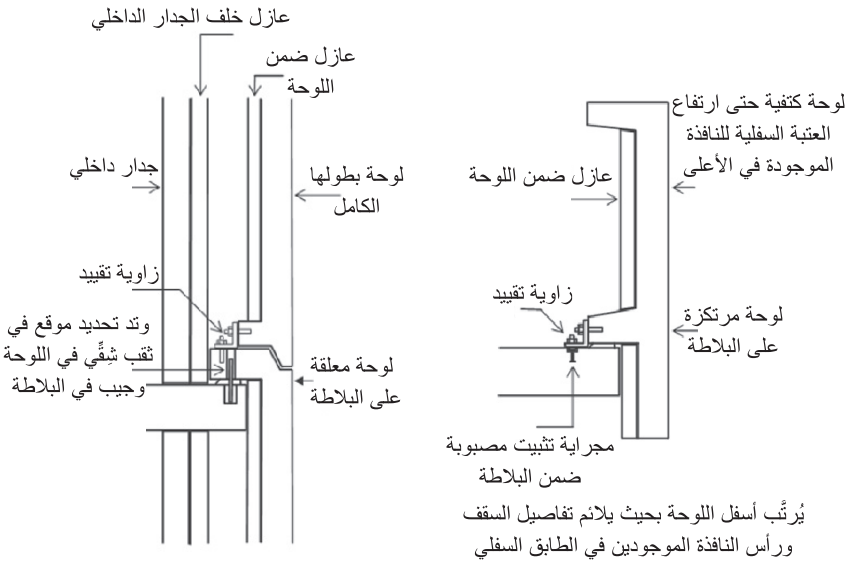
وإضافة إلى عملية بناء لبنات الآجر، يجب تثبيت زوايا الارتكاز. تُفصَّل

الزوايا عادة بحيث يجري تثبيتها بالبراغي مع صفائح مصبوبة ضمن البلاطة أو مع لوحات أو مرابط مثبتة على هيكل المبنى، ويمكن القيام بعملية التثبيت هذه من السقالة باستعمال وسيلة رفع مناسبة.

لوحات التغطية

وفقاً لما ورد آنفاً، يُعتبر بناء لوحات أو جدران اللبنات الآجرية عملية حرفية تُجرى على أساس أن الجدار يُبنى في الموقع. أما لوحات التغطية فتُشكَّل مسبقاً خارج الموقع عادة، وتُنقل بعدئذ إليه حيث تُرفع إلى مواضعها على الهيكل وتُثبَّت فيها. إلا أن كلتا الصيغتين تتصف بالمتانة الإنشائية الذاتية، ولذا لا تحتاجان إلا إلى تثبيتهما على عوارض الهيكل وأعمدته وتقييدهما بها.

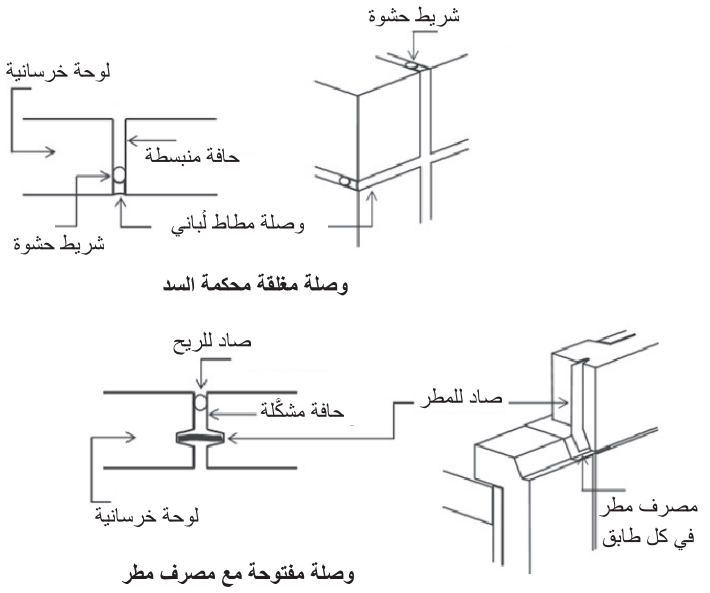
تُصنع لوحات التغطية غالباً من خرسانة مسلحة بقضبان أو حصيرة فولاذية، ويُصمَّم مزيج الخرسانة ليعطي خواص متانة وديمومة وقابلية للتشغيل ملائمة لصب المقاطع الرقيقة نسبياً التي تساوي سماكاتها نحو 75 مم، والتي تتصف بالنعومة والمناعة من العوامل الجوية. ويمكن للوحات أن تتدلَّى من الهيكل أو أن تتوضَّع عليه. ويعتمد هذا الخيار غالباً على ارتفاع اللوحة. فإذا كان ارتفاعها يساوي المجاز بين طابقين، من العارضة إلى العارضة، كانت أكثر استقراراً إذا عُلِّقت من الأعلى وثُبِّتت من الأسفل بغية أخذها الموقع الصحيح وتقييدها. وإذا صُمِّمت لتغطي حافة عارضة أرضية الطابق، ممتدة من رأس النافذة التي تحت إلى أسفل النافذة التي فوق (تُعرف هذه المنطقة أحياناً بلوحة الكتف)، وجب أن ترتكز على العارضة. أما عرض اللوحة فهو عادة أصغر من التباعد بين الأعمدة. لذا تقيَّد اللوحات الموجودة عند الأعمدة بالأعمدة، أما اللوحة التي ليست بجانب عمود فتُقيَّد باللوحات المجاورة لها. يُري الشكل 3.29 مقاطع عرضانية شائعة للوحات مع ترتيبات ارتكازها وتقييدها. إن على نقاط الارتكاز والتقييد نقل الأحمال إلى الهيكل إضافة إلى السماح بالضبط المكاني والأفقي والشاقولي لكل لوحة مع جاراتها عبر الواجهة بأسرها. ويجب أخذ ذلك في الحسبان في تفاصيل زاوية التقييد المبيَّنة في الشكل 3.29 أيضاً.



الشكل 3.29 وصلة لوحة تغطية خرسانية مع الهيكل.

وتتحدَّد خيارات الارتكاز والتقييد بمقاسات وأشكال وتكرار أنماط لوحات الواجهة. فهي تُضفي على الواجهة السمات الجمالية والفنية التي يُحدِّدها التصميم والتي تتجلى في لون ونسيج وشكل وإنهاء اللوحة. ومن هذه الناحية، ثمة تنوُّع كبير. فيمكن تكوين حصى مكشوفة وإنهاءات نافرة على سطح الخرسانة نفسها. ويمكن صب مواد أخرى على الواجهة تحاكي لبنات الآجر في جدار الفجوة مثلاً، أو تغطيتها بحجارة لتكون بديلة للواجهات الحجرية المستعملة في المباني القديمة.

ويجب تصميم الوصلات بين اللوحات بحيث تستوعب الانحرافات المستحثة بغية ضمان توافق المقاسات، وحركات اللوحة والهيكل (المتأصِّلة) طوال مدة حياة المبنى، مع الحفاظ على مناعته إزاء العوامل الجوية. ويمكن هذه الوصلات أن تكون مغلقة ومحكمة السد أو مفتوحة مع مصرف للماء، وفقاً لما هو مبين في الشكل 4.29. وكل هذه العوامل تؤثِّر في عرض الوصلة.



الشكل 4.29 وصلات بين لوحات خرسانية.

تُملأ الوصلة المغلقة أو المحكمة السد بمطاط لُباني يلتصق باللوحة ويبقى مرناً طوال مدة حياتها مكوِّناً وصلة مانعة لتسرب الماء. أما في الوصلة المفتوحة المصرِّفة للماء، فيوجِّه صادٌّ مطري الماء الداخل إلى الوصلة نحو الخلف والأسفل إلى سطح اللوحة. لكن الصاد المطري لا يوقف الريح، ولذا يجب وضع صاد للريح ضمن الوصلة أيضاً. وكلتا هاتين الوصلتين، المغلقة والمفتوحة، تحتاج إلى عرض يساوي 15 ـ 25 مم.

وتُحدِّد طريقة الارتكاز والمظهر وترتيبات الوصلات مقاس وشكل مقطع اللوحة العرضاني. ليست سماكات اللوحات ثابتة، إلا أنها تساوي نحو 75 مم، وهي تزوَّد بضلوع وتسميكات لضمان جساءتها وتثبيتها، ولمقاومة إجهادات القص عند نقاط الارتكاز. وهذا يحدِّد وزن اللوحة الذي يمكن أن يكون كبيراً وأن يؤثِّر في الطريقة التي يمكن بها حملها ونقلها من مكان صبها إلى موضعها النهائي في المبنى. لذا يجب تضمين اللوحة حلقات تعليق، إضافة إلى تحديد ترتيبات نقلها ورفعها بحيث تضمن سلامة الاقتراب من حواف المبنى. أما تفاصيل التثبيت، فتحدِّد الأمكنة التي يجب أن توضع فيها مثبتات اللوحات بحيث يمكن توجيهها وتثبيتها وتقييدها قبل تحريرها من الرافعة. فهذه التفاصيل تؤثِّر كثيراً في إجراءات

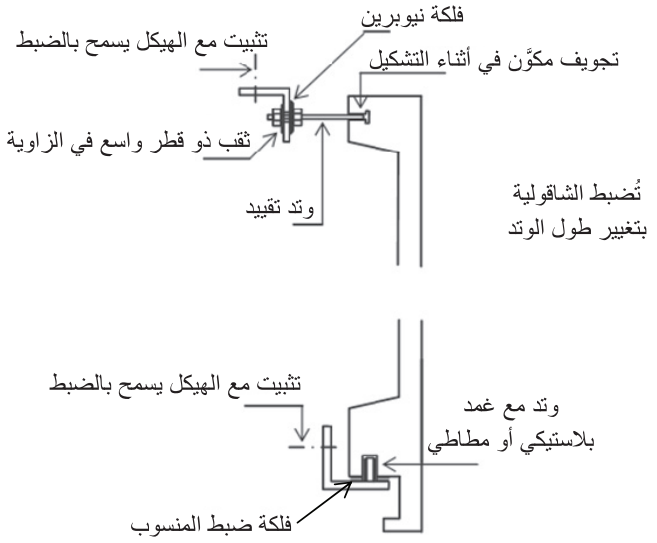
الأمان والسلامة، وتقتضي وجود منصات عمل مؤقتة ووسائل حماية. ومن الممكن تصميم أعمال التثبيت هذه من دون استعمال سقالات، وهذا يوفِّر مسلكاً حراً للوحات للوصول إلى حافة المبنى، إلا أن ذلك يتطلَّب سياج حماية عند الحافة الأخرى أو أحزمة أمان للعمال في أثناء أعمال التثبيت.

ويمكن إنشاء فتحات في الجدار، إما بإنشاء الفتحة ضمن لوحة واحدة على كامل طولها، أو تُستعمل لوحات أكتاف لتكوين الفتحات في ما بينها، مع لوحات كاملة الطول على جوانبها لتغطية الأعمدة. ويمكن صب حافة اللوحة بحيث تتَّخذ شكلاً يستوعب إطار نافذة أو باب يُثبَّت على خرسانة اللوحة، ويتصف بالمناعة من العوامل الجوية.

وتوفِّر اللوحة نفسها عزلاً صوتياً ومقاومة للنار، إلا أن الأداء الكلي للجدار يعتمد على عملية الوصل التي يمكن أن تؤدي إلى إخفاق أو أن تمثِّل نقطة ضعف. وتمتلك اللوحة أيضاً بعض الكتلة الحرارية التي تخمِّد الربح الحراري الشمسي، لكنها تتصف بقيمة عزل منخفضة. وتتخذ مقاطع اللوحات أشكالاً مختلفة، ولذا توفِّر فرصاً للعزل، إلا أن الضلوع والحواف التي تكوِّن الوصلات ومواضع الارتكاز تؤدي إلى ضعف في العزل الحراري، لأنها تمثِّل جسوراً حرارية. ويجب أن تكون ثمة طبقة داخلية لتوفير قاعدة للإنهاء الداخلي، وحينئذ يجب أن تتغلب تلك الطبقة على جميع نقاط الضعف في أداء اللوحات. يجب أن يتضمن تصميم الطبقة الداخلية مقاومة النار والعزل الصوتي والحراري، خاصة عن الوصلات ونقاط الارتكاز. ويمكن الطبقة الداخلية تلك أن تكون من لبنات خرسانة أو لوحات مؤطرة كتلك المستعملة في جدار الفجوة الآجري الذي ناقشناه في المقطع السابق.

والمادتان الأخريان اللتان تُستعملان في صنع لوحات التغطية هما الإسمنت المقوَّى بالزجاج والبلاستيك المقوَّى بالزجاج. وتتميز هاتان المادتان بقابلية تصنيعهما بمقاطع أرق كثيراً من مقاطع الخرسانة المسلحة العادية، ولذا تحقِّقان تقليصاً كبيراً في الوزن للوحات التي من نفس المقاس. وتوفِّر هذه اللوحات أيضاً سطحاً أنعم كثيراً وحواف أدق، إضافة إلى أشكال مقاطع عرضانية أكثر تنوُّعاً، لأن عملية التصنيع تحقن المادة في القالب عادة وتضغطها بدلاً من الصب والهز اللذين يُستعملان في صنع لوحات الخرسانة. إلا أنها تتصف بحركات كبيرة متأصلة فيها، ويمكن أن تحصل فيها تشقُّقات سطحية، وأن تتغيَّر ألوانها في أثناء التصنيع، وأن تتعرَّض لاهتراء سطحي بالعوامل الجوية إذا لم يجرِ اختيار الإنهاءات والألوان بعناية.

وتُستعمل في الإسمنت المقوَّى بالزجاج حاضنة غنية بالإسمنت ومسلحة بألياف زجاج مقطعة مقاومة للقلويات. ونظراً إلى عدم الحاجة إلى تغطية الألياف الزجاجية، يمكن لسماكة اللوحات أن تكون بين 10 و 15 مم فقط. لكن اللوحات لا تكون جاسئة بقدر كاف بهذه السماكة، ولذا تحتاج إلى ضلوع حول حوافها وحول أي فتحة فيها، وحتى عبر وسطها إذا كانت كبيرة. وحينئذ يمكن تضمين تسميكات الحواف تلك مثبِّتات تقييد. أما ارتكاز اللوحة الدائم فيكون في الأسفل مع تقييد أعلاها. ويجب أن تسمح المثبِّتات بالتوضح الدقيق لأن الإنهاءات الدقيقة للوحات تحتاج إلى توافق مع دقة التوضع للوحة بمحاذاة اللوحات في ما بينها. ويُري الشكل 5.29 وصلة شائعة في هذا النوع من اللوحات. ومن متطلبات الربط الأخرى مع الهيكل السماح بحركة اللوحة نتيجة للعوامل الجوية، فهذه الحركة أكبر عادة من تلك التي تحصل في اللوحات الخرسانية. ولا يتحقَّق ذلك بواسطة الثقوب الشِّقِّية أو ذات القطر الأوسع فقط، بل يجب تزويد الوصلة بفلكات نيوبرين(neoprene) إضافة إلى الفلكات المعدنية لضمان أن الحركة لا تُجهِد زاوية اللوحة لأنها يمكن أن تتشقَّق. وقد لا تتصف اللوحات الكبيرة بالجساءة الكافية لاستعمال مثبِّتات الحواف تلك وحدها، ولذا قد تحتاج إلى وتد فولاذي يوضع في خلف اللوحة في أثناء قولبتها لتقويتها ولتوفير تثبيت لها مع الهيكل.



الشكل 5.29 مثبِّتات لوحات الإسمنت المقوَّى بالزجاج.

ويؤثِّر إمكان حصول الحركة في خيارات الوصل أيضاً. وحينئذ يمكن استعمال حلقات مانعة للتسرب في الوصلات المغلقة، ويمكن تفصيل الوصلات المفتوحة في حالة وجود عمق كاف في ضلع الحافة لتوفير مرتكز لصاد المطر.

وتتصف لوحات البلاستيك المقوَّى بالزجاج بأنها قد تكون أخف وذات أشكال مقاطع أكثر تعقيداً. يوضع زجاج التسليح على شكل حصيرة في الراتنج الذي يكون من البوليستر عادة، فيعطي مقاطع رقيقة جداً تقع سماكاتها بين 3 و 6 مم. وهذا ما يجعل اللوحة مرنة جداً، ولذا تحتاج إلى حواف وضلوع توضع مع الراتنج في أثناء القولبة بغية جعلها جاسئة. وتجب أيضاً قولبة شكل الحافة بحيث يلائم متطلبات الوصل والتثبيت في كل زاوية في أثناء تشكيل الراتنج. وهنا أيضاً يمكن أن تكون الانحرافات المتأصلة كبيرة، ولذا يجب استيعابها في الوصلات والمثبِّتات.

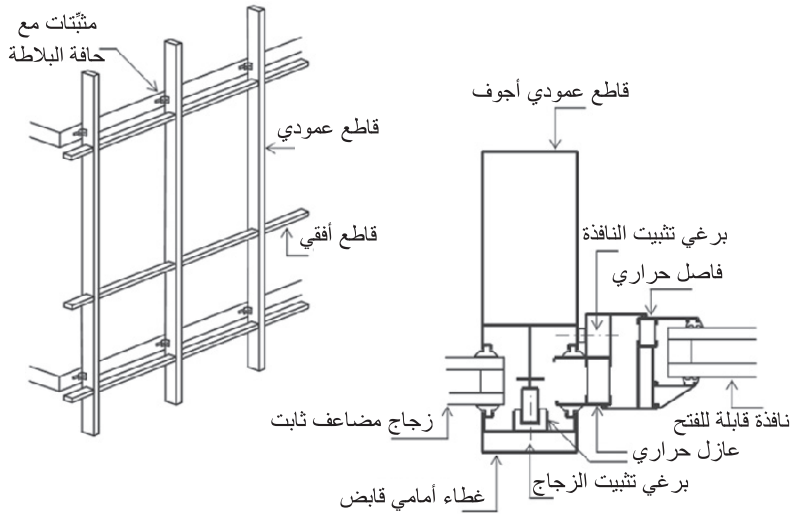
ولا يؤدي أيٌّ من نوعي اللوحات تلك دوراً بيئياً مهماً، برغم وجود الحاضنة الغنية بالإسمنت في الأولى أو القاعدة الراتنجية في الثانية، وذلك بسبب مقاطعها الرقيقة نسبياً. وثمة أيضاً مخاوف تحيط بكيفية التخلُّص من تلك المواد في نهاية عمرها.

ونظراً إلى انعدام دور تلك اللوحات في الحد من مفاعيل العوامل الجوية، فإن ثمة حاجة إلى جدران داخلية لتحقيق وظائف الغلاف الرئيسية. يمكن تحقيق عزل حراري محدود بمادة مالئة خلفها بين الضلوع، إلا أن الضلوع تمثِّل حينئذ جسوراً باردة. لقد صُمِّمت لوحات على شكل طبقات بينية حيث يُلصق العازل بين لوحتين، وهذا ما يوفِّر جساءة إضافية ويمكن أن يعطي سماكة عزل من دون تكوُّن جسور باردة. إلا هذه اللوحات يمكن أن تتقوَّس، لأن الظروف البيئية التي تؤثِّر في وجهي اللوحة الداخلي والخارجي يمكن أن تكون مختلفة جداً، ولذا تنشأ حركة تفاضلية في ما بينهما تؤدي إلى تشوُّه اللوحة بكاملها.

السواتر الجدارية

السواتر الجدارية (Curtain walling) هي منظومة ترتكز على الهياكل الإنشائية، وتتكوَّن عادة من قواطع عمودية (mullion) توصل بهيكل المبنى عند عارضة حافة أو حافة بلاطة وتمتد على ارتفاع طابق كامل. وتتوضَّع القواطع العمودية عادة بتباعدات في ما بينها تساوي نحو 1800 مم، ويمكن تحقيق تباعدات

أكبر في بعض المنظومات. وتثبَّت على تلك القواطع العمودية قواطع أفقية (transom) مشابهة لها، لكنها ليست بعمقها عادة، وذلك بغرض تقويتها في مواجهة أحمال الريح وتكوين سلسلة من الفتحات القابلة للتزجيج. وهذه التشكيلة مبيَّنة في الشكل 6.29. أو يمكن جعل القواطع الأفقية هي العناصر الرئيسية التي توفِّر مرتكزاً أفقياً عند حافة البلاطة وبارتفاع العتبة السفلية (غير مبينة في الشكل). ويمكن تثبيت القواطع الأفقية، التي على ارتفاع العتبة السفلية، مع الأعمدة، إلا أنها تحتاج حينئذ إلى تدعيم وسيط بأعمدة جذعية (stub column) أو بمساند مضادة للريح.



الشكل 6.29 ساتر جداري.

ومع أنه يمكن صنع السواتر الجدارية من مواد مختلفة، فإن أكثر المواد استعمالاً فيها هو الألمنيوم. يمكن بثق المقاطع الإنشائية بأشكال معقدة يقوم معظمها على المقطع الصندوقي [مربع أجوف] ويتضمن أشكالاً لاستيعاب المثبتات والإنهاءات المقاومة للعوامل الجوية. ويُنتَج المقطع عادة على شكل نصفين، أحدهما إنشائي والثاني يستوعب الزجاج بواسطة غطاء قابض يمثِّل إنهاء خارجياً ويخفي المثبِّت، وفقاً للمبيَّن في الشكل 6.29. وفي ما يخص المقاطع الإنشائية المصنوعة من الألمنيوم، فهي جزء من منظومات متوافرة تجارياً وتُستعمل لتحديد تباعدات القواطع العمودية. وهذا يختلف عن خيارَيْ لوحات الخرسانة ولبنات الآجر اللذين نوقشا سابقاً، حيث يمكن فيهما تحديد مقاس اللوحة وشكلها

بالتصميم. أما في السواتر الجدارية، فمنظومة الأبعاد أكثر صرامة، وتوضع القواطع العمودية عادة بتباعدات متماثلة عبر كامل الواجهة.

يُري الشكل 6.29 أيضاً أنه يمكن تصميم القواطع العمودية والأفقية ليثبَّت الزجاج عليها مباشرة. وليس من الضروري أن يكون الزجاج شفافاً، بل يمكن أن يكون أي مادة حوافها تشابه حواف الزجاج. ويُري الشكل 6.29 نافذة مصنوعة من مقاطع ألمنيوم مصممة خصيصاً لتعمل بوصفها قواطع عمودية وأفقية قابلة للتزجيج.

وإذا استُعملت لوحات مصمتة، من الممكن تحقيق بعض وظائف القشرة، منها العزل الحراري ومقاومة النار. إلا أن هذا سوف يكون محدوداً على الأرجح، لأنه يمكن تحقيق أداء أفضل بتشييد جدار خلف تلك اللوحات، ضمن المبنى، لتثبيتها من الأعلى والأسفل.

ويمكن أشكال مقاطع القواطع العمودية والأفقية أن تؤثِّر كثيراً في مظهر الواجهة. يساوي عرض الوجه الأمامي من المقطع الأجوف نحو 50 مم غالباً، أما سماكته فتقع بين 100 و 200 مم، تبعاً للمجاز وأحمال الريح. وعادة، يكون جزء من المقطع على الأقل بارزاً عن الزجاج، ولذا تؤثِّر إنهاءاته على الألومنيوم وتغطيته في مظهر الجدار. ويمكن الإنهاءات، ومنها الأكسدة الكهركيميائية، أن تعطي الألمنيوم لوناً، ولذا فإن هذه المنظومة ليست محدودة بلون المعدن الطبيعي. وقد طُوِّرت المنظومة بحيث لا يظهر أي مقطع أمام الزجاج. وتكوَّن حافة وحدة التزجيج من دون إطار، وتوصل مع القواطع العمودية والأفقية الإنشائية باستعمال تقانة الزجاج الإنشائي.

ويجب الاهتمام بربط اللوحات مع هيكل المبنى، وبالسماح بحصول الحركة فيها، وبضبطها لتحقيق الدقة المطلوبة في محاذاتها بعضا مع بعض. إن الوصلات بسيطة نسبياً، حيث تثبَّت صفائح وحاصرات مع الهيكل لترتكز عليها القواطع العمودية عند كل منسوب طابقي. ويمكن تحقيق ذلك باستعمال حاصرات ومرتكزات مصبوبة ضمن اللوحة وفقاً للمبيَّن في الشكل 2.29.

مواد التلبيس

توفِّر الخيارات الثلاثة السابقة معالجات للواجهة شديدة التباين، إلا أنها جميعاً تشترك في العنصر الإنشائي المتمثِّل بالجدار الذي توفِّره مكوِّنات الواجهة نفسها.

إلا أنه في كثير من طرائق معالجة الواجهة لا تتصف المواد أو المكوِّنات بالمقدرة الإنشائية على الربط المباشر مع هيكل المبنى. وتسمى الطرائق التي تستعمل تلك المواد غالباً بطرائق التلبيس، لأن المتانة الإنشائية للجدار تتوفَّر حينئذ بعنصر آخر منه.

ويمكن توفير المتانة الإنشائية غالباً بواسطة جدار ظهير يحقِّق أيضاً الأداء البيئي الذي من مثل العزل الحراري والصوتي ومقاومة النار. وسوف نشير إلى خيارات الواجهة هذه في هذا المقطع بالتلبيس.

ويمكن الجدار الظهير أن يكون مصمتاً من لبنات خرسانة عادة، أو من لوحات مؤطَّرة ذات قوائم خشبية أو فولاذية. وقد نوقشت هذه الخيارات في الفصل 19 في سياق جدران المنازل. أما في هذه الحالة، فسوف تكون الجدران حشوة في هيكل المبنى. وتقتصر الحاجة إلى جدار الحشوة على حَمْل وزن مواد التلبيس ونقل أحمال الريح إلى الهيكل. لذا يحتاج جدار الحشوة إلى ارتكاز وتقييد مشابهين لما هو مستعمل في الطبقة الداخلية من جدار الفجوة، وفقاً لما ذُكِر سابقاً.

لقد أدت الحاجة إلى مستوى عالٍ من العزل الحراري في الجدار إلى حل جيد تُستعمل فيه ألواح أو بلاطات عازلة لتغطية الهيكل، مع ألواح حشوة داعمة (يمكن أن تكون عازلة أيضاً) لإلغاء الجسور الباردة. ويفصل هذا العزل الكامل مواد التلبيس عن جدار الحشوة الذي يجب أن يوفِّر المتانة الإنشائية لمكوِّنات التلبيس. وهذا ما يحد من خيارات مواد العزل وصيغ المكوِّنات. ويمكن العازل أن يكون ألواحاً تحتفظ بأشكالها، إلا أن هذه الألواح يمكن أن تنكسر تحت وطأة التحميل المباشر للمثبِّتات. ويجب تحقيق تثبيت العازل بصفائح كبيرة أو بفلكات مستمرة شريطية عريضة خلف المثبِّت بحيث تتوزع قوة شد المثبِّت فوق مساحة كافية من وجه اللوح العازل. بذلك يصبح العازل مستقراً، ويمكن الآن استعمال الفلكة الكبيرة أو الشريط لتثبيت أي عارضة خشبية أو سكة ارتكاز لازمة للتلبيس. وإذا استُعملت طلاءات بوليمرية أمكن تطبيقها مباشرة على اللوح العازل شريطة الانتباه إلى توافق المواصفات.

ويمكن طريقة التلبيس هذه أن توفِّر ارتكازاً لطيف واسع من المواد، منها:

- الحصى الطبيعية وحصى الخرسانة المدوَّرة

- الألواح الخشبية والألواح القائمة على الخشب
- لبنات القرميد
- الجص
- المعدن

ومهما كانت مادة التلبيس المختارة، يجب تحديد مقاسات وأشكال صيغ المكوِّنات وأنواعها وتكرار مثبِّتاتها. فهذه العوامل جميعاً تؤثِّر في اختيار الجدار الظهير.

ويؤثِّر هذا الاختيار للمواد وصيغ المكوِّنات أيضاً في كيفية تحقيق الجدار لوظيفة الكتامة للماء. وفي حالة البلاطات واللوحات والألواح، ثمة تساؤلات عن الوصلات بين مكوِّنات التلبيس وعن أدائها تجاه العوامل الجوية. يمكن تصميم بعض الوصلات لتوفير التصريف السطحي الذي يجعل كل الماء يسيل على سطح مادة التلبيس، ويمكن تصميم وصلات أخرى تسمح للماء بالدخول في الوصلة والجريان في مجرى تصريف متحكَّم فيه عائداً إلى وجه الجدار لينزل إلى الأسفل. ويمكن مسلك التصريف هذا أن يكون ضمن الوصلة، أو يمكن الوصلة أن تكون مفتوحة كلياً سامحة لجزء من الماء بالدخول إلى الفراغ خلف مادة التلبيس. يُعرف كلا هذين النهجين بطريقة الحاجز المطري.

الحاجز المطري

وفقاً لما أشرنا إليه آنفاً، لا يتعلق الحاجز المطري بأي مادة من مواد الواجهة، بل يُعتبر طريقة لمقاومة العوامل الجوية. ويمكن استعماله مع عدد من مواد الواجهة على شكل لوحات أو ألواح عادة، لكن في جميع الحالات يجب الانتباه إلى تنفيذ الوصلات بين اللوحات.

تعتمد هذه المنظومة على جدار فجوة، لكن خلافاً لجدار الفجوة المبني من لبنات، توجد في مكوِّنات الواجهة الخارجية وصلات مفتوحة تحجز المطر وتسمح للهواء بالدخول. لكن الجدار الظهير يوفِّر حاجزاً للهواء. وفي حالة اللوحات أو الألواح المسبقة التشكيل، يجب أن يساوي عرض الفجوة نحو 25 مم. وتُمكِّن الحماية التي يوفِّرها الحاجز المطري من تثبيت العازل على الجانب الخارجي من الجدار الظهير، وهذا ما يلغي جميع الجسور الباردة. ويجب أن يكون العازل نفوذاً

للبخار، وبذلك يُزال البخار من الفجوة المهوَّاة، ويتبخَّر كل الماء المتكاثف على الوجه البارد من العازل. وهذا يمكِّن المبنى كله من التنفس.

ثمة نهجين إلى تحقيق الحاجز المطري هما:

- تصريف وتهوية راجعة
- تسوية الضغط

توجد في الحالتين وصلات مفتوحة بعرض 10 ـ 20 مم بين الوصلات، إضافة إلى الفجوة. وفي طريقة التصريف والتهوية الراجعة، تُستعمل مقاطع حواف وصادات مطر بسيطة فقط على اللوحات والألواح، وهذا ما يترك بعض الرطوبة يدخل إلى الفجوة. لذا من الضروري أن تكون المادة الموجودة على الوجه الآخر من الفجوة مقاومة للرطوبة، وأن تبقى مرتكزات اللوحات متينة في ظروف البلل. إلا أنه يمكن الحد من هذه الظروف بواسطة مجرى تصريف من الفجوة خال من العوائق في أسفل الحافة (ومن ضمنها الفتحة)، وفجوات هواء في الأعلى لضمان معدل جيد للتهوية وإزالة الرطوبة بالتبخير لجعل الفجوة جافة.

وتهدف منظومة التسوية بالضغط إلى إبقاء الفجوة جافة بمنع دخول المطر إليها. صحيحٌ أن الوصلة مفتوحة هنا، إلا أن شكل مقطع حافة اللوحة على درجة من التعقيد لتغطية الوصلة المفتوحة وحمايتها من دخول المطر المدفوع بالريح إليها. ويجب أن تكون مقاطع الحواف بذلك التعقيد أو أكثر، كي لا يصبح الضغط في الفجوة أخفض من الضغط الخارجي. لذا يجب الانتباه إلى أغطية الفجوة بغية تكوين مناطق فيها لا تتأثَّر بتغيُّرات ضغوط الريح حول المبنى التي تخفِّض الضغط في الفجوة الموجودة في جانب المبنى ذي الضغط الموجب حيث تُدفع الريح باتجاه مكوِّنات التلبيس.

تُعتبر منظومة التصريف الراجع والحاجز المطري المهوَّى أبسط المنظومات من حيث التنفيذ، وأكثرها قابلية للتطبيق في كثير من خيارات التلبيس. وهذا هو الخيار الذي سوف نناقشه في المقاطع التالية الخاصة بخيارات المواد.

الحصى الطبيعية وحصى الخرسانة المدوَّرة

من الممكن بناء جدار حجري تقليدي ضمن الهيكل بنفس طريقة بناء جدار الفجوة الآجري، ومن الممكن تلبيس لوحات الخرسانة المسلحة بالحصى لتكوين

مظهر مشابه لمظهر الجدار الحجري. ومن الممكن أيضاً تثبيت حصى في بلاطات رقيقة على نحو مشابه لتلبيس جدار ظهير.

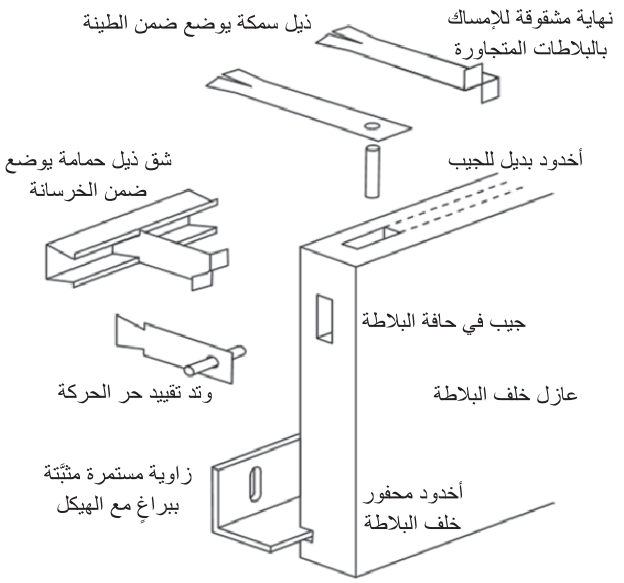
في حالة الحصى الطبيعية، تختلف مقاسات وسماكات البلاطات باختلاف نوع الحصاة. ويعتمد مقاس البلاطات على منشأ الحصى وعلى تقنيات قصها ووزن اللوحة القابل للتداول، إضافة إلى نوع الحجر الذي يمثِّل أصل الحصى. وتكون الحجارة عموماً من منشأ بركاني (نار)، ومن أمثلتها الغرانيت، أو استحالية، ومنها الرخام والأردواز، أو رسوبية، ومنها حجر الجير والحجر الرملي. وهذا التصنيف العام ذو الأصل الجيولوجي مفيد من حيث إنه يدل على متانة الحجر وكثافته وقابليته للصقل، وعلى خواص سطحه ذات الصلة بالعوامل الجوية. وتؤثِّر تلك الصفات في مقاسات الحصى التي تسمح لها بالتماسك معاً لتشكيل بلاطة، وفي إمكان تحضير الحواف للتثبيت من دون أن تنكسر في أثناء التثبيت. وتتحدَّد السماكة بتوصية من مقلع الحجارة الذي تُقطع الحجارة منه. لكن بوجه عام، تقع مقاسات الحصى في حالة الغرانيت بين 25 و 38 مم، وفي حالة الأردواز والرخام بين 15 و 36 مم، وفي حالة حجر الجير بين 25 و 75 مم، وفي حالة الحجر الرملي بين 50 و 75 مم. وقد يكون من الضروري أن تكون سماكة الحجارة الرسوبية نحو 100 مم.

وقد مكَّنت التحسينات في تقنيات قص الحجارة من تشكيل حصى لبلاطات أرق، إلا أنه لا يمكن تثبيت تلك البلاطات بواسطة حوافها، وهي ليست متينة بقدر كاف للبقاء على واجهة مبنى. يُضاف إلا ذلك أن الحجر غالٍ، إلا أن انخفاض التكلفة الناجم عن استعمال تلك القطع الرقيقة مكَّن من تطوير مقاطع تركيبية مكوَّنة من حصى مقاسها يساوي 5 مم تُلصق على لوحة ألمنيوم ذات سطح محفور كخلية النحل، معطية لوحة سماكتها الكلية تساوي نحو 25 مم. وهذه لوحات خفيفة جداً، وحتى إنها يمكن أن تُستعمل في لوحات السواتر الجدارية.

والطريقة الأخرى التي تحقِّق حلاً أقل تكلفة هي الطريقة التي تستعمل حصى الخرسانة المدوَّرة. وهذه الحصى هي مادة خرسانية مكوَّنة من حجارة مطحونة وإسمنت أبيض. تساوي سماكة البلاطة هنا بين 40 و 60 مم، وذلك تبعاً لمقاسات الحصى، ولذا يجري تسليحها تسليحاً خفيفاً، وقد تحتوي على مثبِّتات تُصب ضمنها برغم أنه يمكن تثبيتها كالحصى الطبيعية.

وعلى غرار معظم أنواع اللوحات أو البلاطات الأخرى، يجب توفير ارتكاز

وتقييد لهذه اللوحات أيضاً. أما الارتكاز فهو ضروري عند مناسيب الطوابق وفوق كل فتحة فقط، شريطة أن تكون كل بلاطة مرتكزة على البلاطة التي تحتها، وأن تُقيَّد كل بلاطة في الأعلى وفي الأسفل بالجدار الظهير (أحياناً في أعلى وأسفل الجانبين). ونادراً ما يكون ارتفاع اللوحة أكبر من 900 مم، ولذا يمكن أن يكون ثمة ما بين 4 و 6 بلاطات بين المرتكزات. ومن المرجَّح أن تكون المرتكزات مقاطع زاويَّة معدنية قصيرة ترتكز زوايا البلاطات عليها. ويمكن أن تكون مثبِّتات التقييد معدنية أيضاً، لكن أقرب إلى السطح. لكن الحركات الصغيرة المزمنة ضمن البلاطة يمكن على المدى البعيد أن تكسرها مع وصلاتها الجانبية، مؤدية إلى إمكان حصول رطوبة عالية في المثبِّتات. لذا يجب أن تكون المثبِّتات فولاذاً مقاوماً للصدأ أو معدناً غير حديدي، من مثل البرونز الفوسفوري. يُري الشكل 7.29 بعض المرتكزات المعدنية الممكنة مع مثبِّتات التقييد وكيفية تحضير حافة البلاطة وتثبيت المثبِّتات على الجدار. ويجب على هذه المثبِّتات أن تستوعب حركات التسامحات التي تحصل في الجدار الظهير وفي البلاطة نفسها، مع إمكان تحقيقها لمحاذاة اللوحات وضبط وضعيتها الشاقولية. وعلى غرار حالة جدار الفجوة الآجري، يجب الأخذ في الحسبان لحركة الهيكل وحركة الوصلة المتكوِّنة تحت البلاطة عند كل منسوب طابقي.



الشكل 7.29 تثبيت بلاطة حصى.

أما مادة ربط البلاطات فهي طينة تُصنع عادة من غبار حجري وجير وإسمنت. ويمكن استعمال الرمل مع الحجر الرملي والغرانيت أيضاً. ويمكن الطينة أن تكون على الأرجح أرق من تلك التي تُستعمل مع لبنات الآجر، لكنها تساوي هنا نحو 5 مم لاحتضان المثبِّتات. ويمكن استعمال وصلات مع موانع تسرب، إلا أن ثمة حاجة إلى مطاط لُباني مرن في فواصل الحركة التي يجب أن يكون عرضها بين 10 و 15 مم لاستيعاب الحركة في مانع التسرب.

الألواح الخشبية والألواح القائمة على الخشب

استُعمل الخشب في التلبيس الخارجي طويلاً على شكل ألواح ذات أشكال متنوِّعة وإنهاءات وصل وتثبيت مختلفة. وكان التثبيت يحصل عادة بتسمير العوارض الخشبية على خلفيات مختلفة. وكانت تلك الخلفيات تحدِّد نوع التثبيت الذي يعتمد على دقة أبعاد الجدار الظهير. أما مقاومة العوامل الجوية فكانت تحصل عادة بمراكبة أو مشابكة الألواح معاً، حيث كان يُؤخذ في الحسبان ترك مجال لانتفاخ الخشب وانكماشه. واستُعملت شرائط لاصقة كتيمة للماء للحماية من العوامل الجوية عند الزوايا والفتحات.

لقد حدَّت مشكلات الديمومة وإجراءات وقاية وصيانة المنتجات الخشبية وصقلها من استعمالاتها في المباني الكبيرة والطويلة. إلا أن ظهور ألواح الألياف القائمة على النفايات الخشبية، مع تنوع في مواد تماسكها، وفَّر خياراً عملياً لاستعمالها، كألواح أو لوحات، في طيف واسع من حجوم الأبنية. تتصف مواد الألواح تلك بخواص جيدة لمقاومة العوامل الجوية، مع متطلبات صيانة أقل، إضافة إلى توفيرها لتنوع كبير في المظهر. وما زالت طريقة التشييد الأساسية لمكوِّنات التلبيس، باستعمال العوارض الخشبية والجدار الظهير، هي الطريقة المتَّبعة في هذا النوع من الإكساء الخارجي، مع أنه يمكن جعل إنهاءات الوصلات تعمل كالحاجز المطري الذي نوقش آنفاً.

أما أداء هذه الألواح واللوحات مع وصلاتها، بوصفها قشرة للهيكل، فيتحدَّد باختيار الجدار الظهير الذي يحدِّد نوع المثبِّتات التي سوف تُستعمل لتثبيت العوارض الخشبية والتي يجب أن تستوعب الحركات الناجمة عن تغيُّرات الانحرافات المستحثة في الإنتاج.

يجب الأخذ في الحسبان في المواصفات الأصلية، وفي اختيار الوصلات

والمثبِّتات، لجميع الجوانب المتعلقة بالإنهاءات الواقية للإكساءات الخشبية الخارجية وصيانتها واستبدالها في أثناء حياة المبنى، والتي تؤثِّر في تكلفة دورة حياته. فهنا أيضاً ثمة تنوُّع في طول عمر المادة وعمر الطلاءات الواقية اللذين تترتب عليهما تكاليف إضافية، أولية وجارية. وتؤثِّر تشكيلة المواد والإنهاءات الواقية في مقاومة العوامل الجوية من ناحية تغيُّر الألوان والتلطخ. إن الخشب يتميَّز بأداء بيئي جيد شريطة أن يكون من مصدر جيد، ويُفضَّل أن يكون المصدر محلياً. ويتصف الخشب بأداء جيد من ناحية الكربون المضمَّن وخطط التخلُّص منه، لأنه يمكن أن يُحرق لتوليد طاقة في نهاية عمره.

ومع أن طرائق التثبيت الأساسية لمادة التلبيس هذه بسيطة نسبياً، إلا أن ديمومتها تتطلب التحقُّق من أن تثبيتها يقاوم العوامل الجوية جيداً، وأنها تؤدي وظائفها كاملة طوال حياتها.

بلاطات القرميد

استُعملت بلاطات السيراميك والصلصال سابقاً موادَ تلبيس. وفي المباني المنزلية، كانت بلاطات قرميد السقف البسيطة، التي تثبَّت بالمسامير على عوارض خشبية، شائعة شيوع شرائح الأردواز العمودية في تلبيس الواجهات. وحينما بُنيت مجمَّعات سكنية حَضَرية كبيرة في العهد الفيكتوري، استُعملت مواد تلبيس تُعرف بالزخارف. والزخارف تلك هي بلاطات من الصلصال المشوي مقولبة لتتوافق معاً شكلاً ومقاساً، وكانت تُثبَّت على جدار ظهير لتعطي واجهة جميلة الزخرفة مزيَّنة بالقرميد.

وفي حين أنه قد تكون ثمة عودة إلى هذه المواد التي كانت شائعة، على غرار العودة إلى الخشب، فإن استعمال أيٍّ منهما لأغراض واسعة النطاق غير محتمل في ضوء مقاسات المباني الكبيرة والتوجُّه نحو عمليات التصنيع الحديثة.

أما صيغتا القرميد اللتان استُعملتا في المباني التجارية فهما بلاطات الجدران الخارجية، التي استُعملت على نحو مشابه لبلاطات جدران الحمامات، والمنظومات الحاملة التي ترتكز عليها بلاطات قرميدية والتي اتَّخذت شكل التلبيس بالحاجز المطري غالباً.

وفي ما يخص تلبيس الجدار الخارجي، ثمة حاجة إلى ارتكاز مستمر

لاحتضان البلاطات. ويمكن تحقيق ديمومة التلبيس في الظروف الخارجية وتوفير سطح مقاوم للعوامل الجوية باستعمال بلاطات سيراميك عالية الجودة، إلا أن مواصفات مادة السيراميك الحاضنة تستدعي تمحيصاً جيداً. ذلك لأنه إذا كانت المساحات المرغوب في تبليطها كبيرة، فإن الحركة تمثِّل مصدراً للقلق لأنها يمكن أن تؤدي إلى إجهاد في المادة الظهيرة وتلف للاصق. لذا، وفي الحد الأدنى، يجب أن يتجلى السماح بالحركة بين الهيكل والجدار الظهير في إنهاءات البلاطات. أما حركات البلاطات أفقياً على المدى الطويل فيتطلَّب أيضاً تجزئة تلك المساحات إلى لوحات صغيرة.

في حالة منظومة البلاطات المشكَّلة [غير البسيطة] يجب تثبيت إطار ارتكاز مشابه لأطر العوارض الخشبية على الجدار الظهير. وتُمسِك مجموعة ملاقط بحافة البلاطة المشكَّلة المتوضعة على سكة الارتكاز، وذلك لتحقيق تلبيس جاف برغم كون الوصلات مفتوحة ومن دون طينة لاصقة ضمنها. أما الحركة بين البلاطات فتُستوعب بواسطة الملاقط والوصلات المفتوحة بين تلك البلاطات.

الطلاءات

الطلاء هو مادة أخرى شائعة في تلبيس المباني التجارية. ونظراً إلى أن الطلاء هو مادة تكون مبلولة حين تطبيقها، فإنه يحتاج إلى جدار ظهير مستمر ليتوضع عليه، وهو يعتمد على الالتصاق أو التثبيت بمثبِّت للبقاء مستقراً وخالياً من التشقُّقات. ويجب أن تكون لكل طبقة من الطلاء سماكة معينة، ويجب أن تكون الطبقة الأولى متوافقة مع الجدار الظهير الذي يُعرف هنا بالركيزة، وذلك لضمان التصاق مستقر. ويمكن الركيزة أن تكون مصمتة أو على شكل شرائط بينها فواصل. ويمكن أن تتَّخذ الركائز المصمتة طيفاً واسعاً من الصيغ، من لبنات الخرسانة والآجر حتى الألواح التي تتضمن عوازل حرارية. أما الشرائط فهي عادة صفائح معدنية منفصلة توضع على الجدار مكوِّنة سطحاً فسيحاً. وتُثبَّت تلك الصفائح على عوارض خشبية مكوِّنة فراغات خلفها. وحين تطبيق الطلاء عليها ينعصر متغلغلاً عبر السطح المفتوح إلى الفراغات الخلفية، وعندما يتصلَّد يكوِّن ما يُشبه المفتاح الميكانيكي مع الصفائح (انظر الشكل 7.4 ـ d).

ويجب أن تكون طبقات الطلاء النهائية ملائمة للتعرُّض إلى العوامل الجوية. لقد تكوَّنت الإنهاءات القديمة من طينة من الرمل والإسمنت، وكانت مقاومتها

للعوامل الجوية في بريطانيا جيدة. أما الطينة الناعمة منها، التي كانت تلوَّن بالدهان، فقد كانت تتَّسخ وتشحب ألوانها، خاصة إذا استُعملت فيها ألوان فاتحة. وأدى ذلك إلى تطوير طلاءات بوليمرية ذات حصى ملونة غالباً. تحقِّق البوليمرات، ومنها السليكون والأكريليك، والتي غالباً ما تكون على شكل مزائج من الإسمنت المعدَّل بالبوليمر، التصاقاً جيداً مع مرونة تجاوزت جميع العيوب السابقة في طلاءات التجاويف والتشقُّقات. ويمكن هذا الطلاء أن يكون أرق من طينة الإسمنت أيضاً.

وأدت الحاجة إلى مستويات عالية من العزل الحراري، إضافة إلى الرغبة في تغطية البنية وملء الجدار الظهير لإلغاء الجسور الباردة، إلى تطوير منظومات عزل وطلاء متكاملة. من عيوب هذه الطلاءات البوليميرية أنها غالية، لكنها ذات مقاومة ممتازة للعوامل الجوية، وهي تتصف بخواص حركة جيدة، ولذا تحتفظ بمظهرها مع مرور الوقت.

التلبيس المعدني

يمكن استعمال الفولاذ والألمنيوم والنحاس والزنك، وحتى الذهب، في تلبيس الواجهات. وجميع تلك المعادن غالية نسبياً، ولتغطية مساحات كبيرة من الواجهة بها يجب أن تكون على شكل صفائح ذات سطوح مشكَّلة للحد من سماكتها، وهذا ما يحدِّد مقدار المعدن المستعمل فيها، ومن ثمَّ تكلفتها.

يمكن ثني الفولاذ والألمنيوم لتشكيل مكوِّنات جاسئة نسبياً ذات مقاطع رقيقة وإنتاج صفائح مشكَّلة أو صوانٍ منبسطة (ناعمة أو ذات أنماط نافرة صغيرة مشكَّلة على سطوحها بالكبس). وتعني الجساءة المتأصلة في المقاطع المشكَّلة بالثني أن تلك المقاطع تحتاج إلى ارتكاز متقطع فقط، لا مستمر. ويمكن أن تكون لهذه الصفائح أو الصواني حواف مشكَّلة بحيث تكون كتيمة للعوامل الجوية، ويمكن أن تُستعمل أيضاً في تصاميم الحاجز المطري. وبدلاً من أن يكون العازل الحراري على شكل صفيحة منبسطة، أو بدلاً من وضعه ضمن لوحة مفتوحة، يمكن وضعه بين صفيحتين معدنيتين وإحكام سدهما عند الحواف بحيث يمكن تكوين وصلات كتيمة للماء بين الصفائح لتثبيتها.

أما النحاس والزنك، فهما أطرى ولا يتصفان بجساءة متأصلة تمكِّن من ثنيهما لتكوين لوحات جاسئة، ولذا يُستعملان لتلبيس لوحات قائمة على الخشب، أو

يُثبَّتان على خلفية مستمرة على غرار الأسقف الداخلية. وأما الذهب، وهو أغلاها، فيُطبَّق على شكل رقاقة، بسماكة بضعة مكرونات، على خلفية حيث يمكن اعتباره حينئذ إنهاء، لا تلبيساً.

وفي ضوء تنوُّع المعادن وترتيبات ارتكازها، ظهر طيف واسع من أشكالها، وكثير من هذه الأشكال هو منظومات متوافرة تجارياً بمقاسات معينة. إلا أننا لن نعطي مزيداً من التفاصيل عنها في هذا الكتاب.

إن استعمال تلك المعادن في التلبيس يجعل من خواصها في مقاومة العوامل الجوية على درجة عالية من الأهمية حين اختيارها. ومن الجوانب المتعلقة بالعوامل الجوية والتي يجب النظر فيها في التحليل إمكان تغيُّر لون المعدن وتلطخه، إضافة إلى آليات تدنِّي خواصه. وتختلف المعادن عن بعضها كثيراً في هذه الخصائص. فالذهب لا تتدنَّى خصائصه، ولا يتغيَّر لونه مع مرور الزمن. واتصافه بهاتين الخاصتين يمثِّل جزءاً من قيمته. وفي المقابل، يصدأ الفولاذ ويتأكَّل بسهولة، وهذا يغيِّر من مظهره وأدائه تغييراً جذرياً. وتتأكسد المعادن اللاحديدية أيضاً، وهذا يغيِّر من مظهرها، إلا أن نواتج الأكسدة تحميها وتبطِّئ كثيراً من تأكُّلها ومن تدنِّي أدائها. والنحاس معروف تماماً بزنجاره الأخضر، أي أكسيد النحاس، ويُختار غالباً بسبب مظهره هذا الناجم عن العوامل الجوية. لذا فإن فهم هذه التغيُّرات مع تأثيرها في عمر المعدن يُعتبر جزءاً أساسياً من أي تحليل لإمكان استعمال المعدن في تلبيس الواجهة.

ويُستعمل معظم المعادن غير الحديدية من دون تغشية سطحية عادة، وذلك لتوفير لون طبيعي وأنماط تعتيق ناجمة عن العوامل الجوية. وهذه ليست حال الفولاذ والألمنيوم. ومع أن نواتج أكسدة الألمنيوم مستقرة، إلا أن لونها رمادي داكن. ويحتاج الفولاذ إلى نوع ما من الحماية إلا إذا كان من نوع مضاد للصدأ من مثل فولاذ الشركة كورتن corten. وتُمكِن حماية الفولاذ من الصدأ بطلاء من الزنك بواسطة عملية تغطيس غلفانية حارة، إلا أنه تبقى ثمة حاجة إلى طلاء ملوَّن يساعد أيضاً على الحماية من الصدأ. وتُصنع طلاءات تلوين الفولاذ عادة من البلاستيك المعروف بالطلاء العضوي. وأكثر أنواع هذا الطلاء استعمالاً هو كلوريد الفينيل المتعدد غير الملدَّن، إلا أن لون هذا الطلاء يمكن أن يتغيَّر إذا كان غامقاً. أما الطلاءات التي من مثل أكريليك متعدد الميثيل ميثاكريليت (acrylic polymethylmethacrylate (PMMA)) أو متعدد فينيل الفلوريد ((polyvinyl (PVF)

فهي أغلى، إلا أنها أمتن وأكثر مقاومة لشحوب الألوان. والألمنيوم، وهو أغلى من الفولاذ، أكثر ديمومة بطبيعته، ويمكن دهانه بدهانات الأكريليك أيضاً، أو يمكن تلوينه بالأكسدة الكهركيميائية بطيف من الألوان.

لقد أشرنا في هذا المقطع الخاص بالتلبيس إلى معادن تُطبَّق على جدار ظهير. ويمكن أن يتَّخذ هذا التلبيس أيضاً أنماطاً من صفائح مشكَّلة، إلا أن تلك الصفائح أكثر شيوعاً في ما يُعرف بالتغطية الخفيفة الوزن التي تُستعمل عادة مع هياكل البنى الواسعة المجاز حيث تُثبَّت على منظومة إنشائية جزئية تُصمَّم عادة بوصفها جزءاً من هيكل المبنى. وهذا الخيار هو موضوع المقطع التالي.

التغطية الخفيفة الوزن

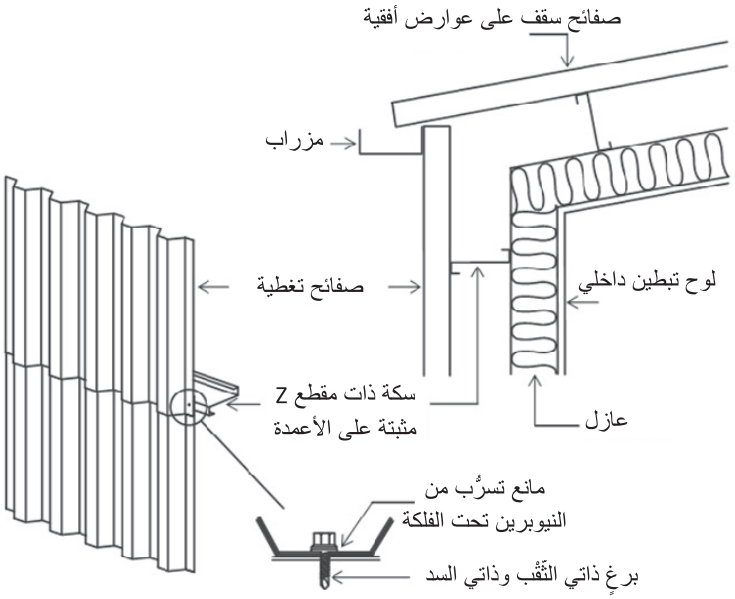
مع أن الحمل الساكن الناجم عن جدار الغلاف يمثِّل دائماً مصدراً للاهتمام، إلا أن طبيعة الهيكل الإنشائي غالباً ما لا تعطيه أفضلية على المظهر والأداء البيئي. أكثر من هذا أن احتياجات الزبون من المبنى، وموقع المبنى واستعماله وصيغته وتقسيماته التي تؤدي طبيعياً إلى انتقاء الهيكل الإنشائي، تتطلب معالجة معينة للواجهة، ومن المحتمل أن يكون لتلك العوامل دور هام في القرار بشأن تزجيجها. ويضاف إلى ذلك أن ارتفاعات الطوابق في الهيكل الإنشائي محدودة في معظم المباني عادة، وهذا ما يوفِّر فرصة للربط مع الهيكل بفواصل تساوي نحو 3,5 متر. وقد أدى ذلك إلى الحلول المتنوعة التي ناقشناها آنفاً.

إلا أن ذلك يختلف عادة في الهياكل ذات الأسقف الواسعة المجاز. فثمة ضرورة للحد من الحمل الساكن، خاصة وزن عناصر السقف الموجودة في الغلاف. لذا يمكن لمتطلبات المظهر والتزجيج، خاصة في الجدران، أن تكون محدودة. ومن غير المحتمل أن يكون الارتكاز على حواف الأرضية متاحاً، لأن هذه المباني هي مبانٍ وحيدة الطابق عادة، ويمكن ارتفاعات الأفاريز أن تصل إلى 14 متراً. أما أكثر المنظومات الخفيفة الوزن شيوعاً، فتقوم على صفائح معدنية مشكَّلة توصل مع بنية هيكلية جزئية تصمَّم عادة بوصفها جزءاً من الهيكل. وتُعرف هذه الهياكل الجزئية بسكك الإكساءات الجدارية. وليس من غير المألوف أن تكون تغطية الجدار مشابهة لمنظومة السقف حيث تُعرف عناصر الهياكل الجزئية بالعوارض الأفقية.

وتُصنع الصفائح المعدنية من الفولاذ أو الألمنيوم مع طلاءات وإنهاءات، مثل

تلك التي ذُكِرت في المقطع السابق. وتُشكَّل الصفائح وهي باردة لتكوين مقاطع مضلَّعة أو ذات شكل شبه منحرف لتقويتها وجعلها قادرة على الامتداد بين سكك الإكساء. وتُصنع سكك الإكساء (والعوارض الأفقية) عادة من مقاطع فولاذ ذات شكل Z مشكَّلة وهي باردة وتستطيع الامتداد على مجازات بين الأعمدة (أو العوارض المائلة). وتثبَّت الصفائح مباشرة على سكك الإكساء بتباعدات بين المثبِّتات تتحدَّد بقوى الريح التي تطبق ضغطاً سالباً على عناصر التغطية، ولذا يكون هذا أكثر أنماط الإخفاق احتمالاً.

يُري الشكل 8.29 تفاصيل تغطية خفيفة مع عازل خلف لوح التبطين الداخلي. يُثبَّت لوح التبطين في حالة الجدار داخل سكك التغطية، أما في حالة السقف، فيمكن للوح أن يرتكز على قضبان شكل مقطعها T مشابهة لتلك المستعملة في الأسقف المعلقة المبيَّنة في الفصل القادم. ويمكن تحقيق العزل ضمن صفائح التغطية نفسها حيث يوضع العازل بين صفيحتين معدنيتين حوافهما مشكَّلة بحيث تكوِّن وصلة كتيمة للماء.



الشكل 8.29 تغطية خفيفة الوزن.

ومع أنه يمكن فتح نوافذ في هذا الجدار، فإن فتحات الإضاءة في السقف أكثر شيوعاً لأنها توفِّر إضاءة أكثر تجانساً في هذه المباني العميقة الوحيدة الطابق. إلا أن ثمة حاجة إلى أبواب كبيرة فيها. تُستعمل التغطية الخفيفة الوزن في المباني التي تحصل فيها وحولها أنشطة تتطلب ارتفاعات تزيد على نحو 6 أمتار من الأرض غالباً، على أن يتكوَّن الجزء الأسفل من الغلاف من جدار فجوة يُبنى من لبنات الآجر أو الخرسانة. ويرتكز هذا الجدار على أساس خاص به، ربما على شكل عارضة أرضية، ويُقيَّد بالأعمدة. وإذا كانت الفواصل بين الأعمدة كبيرة، كانت ثمة حاجة إلى أعمدة لمواجهة الريح.

الزجاج الإنشائي

من الممكن تشييد جدار زجاجي كامل باستعمال أطر بارتفاع طابق، إلا أن الزجاج الإنشائي يمكِّن من تشييد جدران زجاجية بلا أطر وغير محدودة العرض، وتزيد ارتفاعاتها على 20 متراً. وفي حالة الجدران التي يزيد ارتفاعها على طابق واحد، يحتاج الزجاج إلى هياكل جزئية ليرتكز عليها. لكن نظراً إلى أن تلك الهياكل تكون مرئية، فإنها تُصنع من مكوِّنات إنشائية عالية الجودة وحسنة المظهر. ويجب على الجدار الزجاجي نقل أحمال الريح إلى تلك الهياكل الجزئية وأن يستوعب الانحرافات والحركات البيئية.

في أثناء عملية صنع الزجاج، تُترك الصفائح لتبرد ببطء (تطرية حرارية)، وهذا يمكِّن من تثقيب الزجاج وقصه. إلا أن متانة الزجاج تبقى محدودة، وحين انكساره يتجزَّأ إلى قطع لها شكل الخنجر المميَّز الذي يمكن أن يسبب جروحاً خطيرة. لذا فإن محدودية متانته ومخاطره تمنع استعماله في التغطية. أما الزجاج المقوَّى، فيكمن أمانه في أنه حين ينكسر يتفتَّت إلى مربعات صغيرة تقلِّل من إمكان حدوث الجروح. ولمزيد من الأمان، يمكن استعمال الزجاج الصفائحي الذي يبقى متماسكا حين انكساره. لكن لا يمكن قص صفائح الزجاج المقوَّى أو ثقبها بعد تقويتها، إلا أنها تتصف بمتانة كافية لتشييد معظم الجدران الزجاجية الإنشائية بسماكة 12 أو 15 مم.

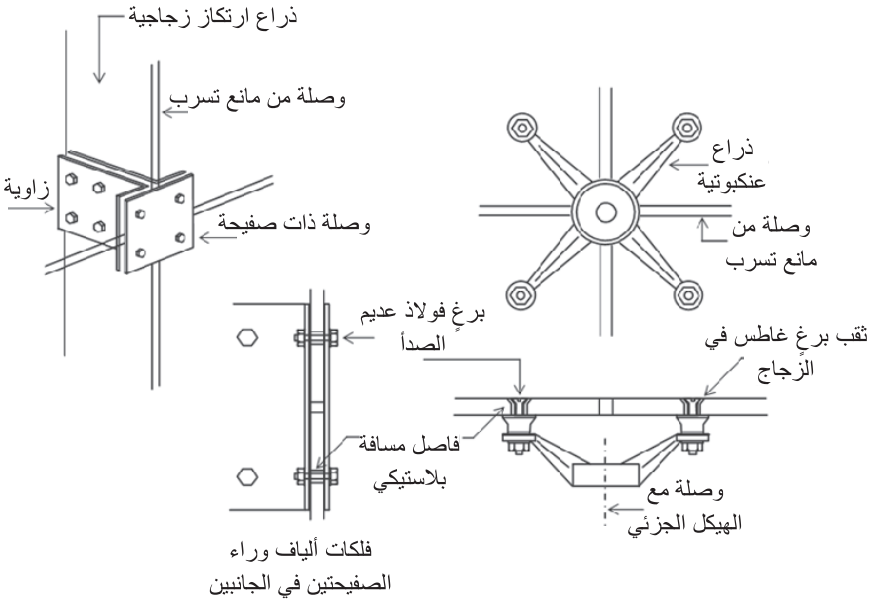
أما المادة الهامة الأخرى التي جرى تطويرها والتي تسمح بتشييد هذا النوع من الجدران فهي مادة الوصلات. تتصف مادة السليكون المرنة المانعة للتسرب

بالقابلية الشديد للمد والالتصاق بكل من المواد العضوية وغير العضوية، وهي تحافظ على تلك الخصائص عشرات السنين، حتى وهي معرَّضة للظروف الخارجية. وباستعمال موانع التسرب السليكونية الصافية تلك، يمكن تكوين وصلات بين ألواح الزجاج بعرض يقع بين 10 و 12 مم، وعند الحواف حيث يمكن استعمالها مباشرة في تفريزات الأخاديد. وفي ضوء القيود المفروضة على مقاسات صفائح الزجاج (مقاس فرن التقوية عادة)، توفِّر الوصلات ذات التباعد المنتظم المرونة اللازمة لامتصاص الحركات، بعد أن يكون تثبيت الزجاج على الهياكل الجزئية قد أولِيَ العناية الكافية.

قبل مناقشة خيارات الهياكل الجزئية تلك، تجب الإشارة إلى أن من الممكن، في حالة جدران المبنى الوحيد الطابق، استعمال السليكون الإنشائي لتثبيت الزجاج مباشرة على الهيكل إذا أمكن تجاوز مشكلات الحركة وتوافق المقاسات. إلا أن هذا ليس من الأشياء التي طُوِّر الزجاج الإنشائي من أجلها. إن ثمة نوعين لوصلات للهياكل الجزئية التي تُستعمل مع الزجاج الإنشائي يُعرفان عادة بـ:

- الوصلة ذات الصفيحة
- الوصلة الزجاجية السطحية

يُري الشكل 9.29 حل الصفيحة الذي يتضمن منظومة ذراع ارتكاز زجاجية. تُصنع الوصلة من صفيحتين معدنيتين تُطْبِقان على الزجاج وتُثبَّتان باستعمال براغٍ من الفولاذ العديم الصدأ تمر عبر ثقوب واسعة قليلاً في الزجاج، مع مانعات تسرب من الألياف وفاصل مسافة بلاستيكي لدرء تماس الزجاج والمعدن والسماح بالحركة الناجمة عن تغيُّرات الحرارة. ويمكن تعديل الصفيحتين لتكوين مفاصل للأبواب، وحتى حوامل تعليق يمكن استعمالها لتعليق اللوحات الزجاجية على الهيكل بغية توزيع وزن الجدار.



الشكل 9.29 وصلات الزجاج الإنشائي.

أما الوصلة السطحية فتقلِّص أثر الوصلة المرئي على الزجاج. تتَّخذ الوصلة شكل العنكبوت أو النجمة التي تُمسِك بزوايا ألواح الزجاج (وبحوافها إذا كانت كبيرة) وتبقيها بعيدة من الهيكل الجزئي الحامل. وثمة في الشكل 9.29 مثالاً لهذه الوصلة. حينئذ يمكن أن يكون شكل الهيكل الجزئي مختلفاً كلياً. فيمكن أن يرتكز على ذراع زجاجية أو على بنية فولاذية أنبوبية معيارية دائرية أو مربعة المقطع، أو على هيكل شبكي عمودي خفيف الوزن. إلا أن استعمال الحاصرة العنكبوتية يتطلب استيعاب الحركة في نقطة التثبيت. أما الثقوب فهي مخروطية الفوهة (للبراغي ذات الرأس الغاطس). وتدرأ فواصل مسافة من النايلون الاحتكاك بين معدن البرغي والزجاج وتسمح ببعض الدوران في المثبِّت حين انحناء الجدار بفعل الريح. ويجب أن يوفِّر هذا المثبِّت أيضاً إمكان الضبط لمحاذاة ألواح الزجاج معاً، وأن يحقِّق تجانس سماكة الوصلة التي سيوضع فيها مانع التسرب السليكوني. وقد أدت التطوُّرات في الزجاج الإنشائي إلى ظهور صفائح منحنية، ووحدات مضاعفة التزجيج، وفتحات في الزجاج، وسطوح زاويَّة الشكل، وحتى وحدات تزجيج أفقية للأسقف.

بنى الأسقف [الأسطح]

قدَّمنا في الفصل 18 وظائف الأسقف وخيارات التغطية الكتيمة للماء. إن تلك البنى تركِّز الاهتمام في الأسقف المائلة في المباني المنزلية، إلا أنها توفِّر أيضاً خيارات للمباني التجارية. وثمة في الفصل 18 تفاصيل لسقف من بلاطات الخرسانة الشائعة الاستعمال في المباني المنزلية أيضا، لكنْ ليس من مقاصد هذا الفصل تقديم تفاصيل مشابهة لتغطية أسقف المباني التجارية. بل سوف يتركَّز اهتمام هذا المقطع في تحديد خيارات عامة للسقف بوصفه عنصرا من غلاف المبنى.

الأسقف المائلة والمسطَّحة

تتطلب المباني التجارية أسقفاً ذات مساحات واسعة مقارنة بالمباني المنزلية. ويمكن لتلك الأسقف أن تكون مائلة، إلا أن السياق والمظهر قد يؤثِّران في التصميم ويتطلبان أن يكون السقف أفقياً. وتشيع في البنيان العمراني في بريطانيا أسقف ذات زاوية ميل كبيرة نسبياً، تقع ما بين 20 و 40 درجة، وتُستعمل فيها بلاطات القرميد وشرائح الأردواز لتكوين غطاء مانع لتسرب الماء إلى الداخل، مع مزاريب عند الأفاريز لتجميع ماء المطر وتصريفه. ومن الممكن أيضاً استعمال إنهاءات كتيمة للماء، منها الصفائح أو اللبَّادات المشرَّبة بالقار، وحتى الزجاج، باستخدام الزجاج المعياري ذي الماركة المسجلة، في هذه الأسقف ذات الميل الكبير لتحقيق مظهر حسن وإضاءة للداخل. ويمكن أن تنتشر هذه الأسقف ذات الميل الكبير نسبياً في الأسقف الكبيرة أيضاً، إما بزيادة ارتفاع المتن أو باستعمال مجازات متعددة مع مزاريب داخلية لجمع ماء المطر، ويمكن تشييدها بنجاح إذا اقتضى التصميم ذلك.

ومن الممكن تشييد أسقف قليلة الميل، لكن إنهاءات منع تسرب الماء تحتاج إلى إحكام سد الوصلات بحيث تصبح غطاء مستمراً كتيماً للماء. وهذا ليس ممكناً حين استعمال القرميد والأردواز، إلا أنه يمكن استعمال صفائح ذات مقاطع مجعَّدة تمتد بين العوارض الأفقية على نحو مشابه للتغطية الخفيفة الوزن التي ناقشناها آنفاً وفقاً للمبيَّن في الشكل 8.29. ويُستعمل هذا الحل غالباً في البنى ذات الأسقف الواسعة المجاز حيث يجب أن تكون الأسقف أخف، والأحمال الساكنة قليلة في بنية كل من السقف والجدار.

وفي ما يخص الأسقف المسطَّحة، يجب أن يكون الغطاء المانع لتسرب الماء

مستمراً، ويتحقَّق ذلك باستعمال بوليمرات وحيدة الطبقة أو صفائح معدنية أو طبقة من الإسفلت، وجميعها يحتاج إلى ارتكاز كامل مستمر إما على أرضية (خشبية أو معدنية) أو على بلاطة. ويجب أن تكون قابلة للتثبيت مع المزاريب ومجاري ماء المطر، وذلك لتجميع الماء الذي يعتمد حالياً على مسيلات مائلة يجب أن تُبنى ضمن بنية السقف. وتساوي ميول هذه المسيلات عادة نحو 1:40، وهي تأخذ الماء مباشرة إلى مجاري ماء المطر أو إلى مزاريب مشكَّلة في عمق السقف يمكن أن تأخذ الماء إلى تلك المجاري. ويجب تشكيل هذه المسيلات والمزاريب في عمق بنية السقف.

يمكن تكوين المسيلات المائلة في السقف الأفقي بواحدة من ثلاث طرائق هي:

- ضمن البنية
- ضمن الصبة
- ضمن العازل

في حالة السقف الواسع المجاز الذي يُبنى على بنية شبكية، من مثل الجسور الشبكية أو الهياكل الفراغية، يمكن جعل ميل الوتر العلوي من البنية بحيث يؤدي إلى تكوين مسيل مائل في الأرضية التي سوف يرتكز العازل والغطاء عليها. لكن تكوين المسيل ضمن البنية يُعتبر خياراً غير مفضل حينما يتألَّف السقف من بلاطة مشابهة للبلاطات التي تُستعمل للأرضيات، وخاصة حينما تكون ثمة حاجة إلى أنماط معقدة من المسيلات.

أما عندما توفِّر الارتكاز بلاطات خرسانية، فإن إنهائها لن يكون على الأرجح ناعماً بقدر كاف لوضع الغطاء عليها، ولا دقيقاً بقدر يكفي لدرء تكوُّن برك الماء على السطح. ولا تتيح تسامحات استواء السطح العادية للسقف بتصريف الماء تصريفاً جيداً. لذا، ولتوفير سطح للتثبيت الجيد ويتصف بميل في حدود التسامحات، يمكن وضع صبة خرسانية فوق السقف لتكوين المسيلات المطلوبة. ويمكن هذه الصبات أن تكون خفيفة الوزن وأن توفِّر عزلاً، لكن ذلك لا ينفي الحاجة إلى عازل إضافي معها. وهذا ما أدى إلى الخيار الثالث لتحقيق المسيل المائل، وهو تكوينه ضمن ألواح العازل نفسها. فإذا كانت التسامحات في الأرضية أو البلاطة كافية، أمكن توريد ألواح العازل، والمسيلات محفورة عليها، إلى

الموقع حيث توضع مباشرة على البلاطة. بعدئذ تُثبَّت لتوفِّر سطحاً يوضع الغطاء عليه بحيث يبقى مستقراً تجاه قوى الريح والتغيُّرات الحرارية.

ويُعتبر السقف أكثر أجزاء غلاف المبنى الخارجي تعرُّضاً للظروف الجوية القاسية. فأحمال الريح تولِّد قوى رفع شديدة (سوف نناقشها لاحقاً). ونظراً إلى أن غطاء السقف يواجه السماء مباشرة، فإنه يخضع للمبادلة الحرارية الإشعاعية التي تجعل درجة حرارة السطح مختلفة كلياً عن درجة حرارة الهواء. وتكون تلك الظروف في أقسى حالاتها في ليالي الشتاء الصافية عندما تنخفض درجة حرارة السطوح الغامقة اللون إلى 25 درجة مئوية تحت الصفر، وترتفع في نهارات الصيف الصافية إلى ما يزيد على 65 درجة مئوية فوق الصفر بسبب أشعة الشمس المباشرة (أو إلى 80 درجة في بعض الأسقف المزجَّجة والأغطية الخفيفة الوزن فوق العازل)، حتى في بريطانيا. يمكن أن تحدّ السطوح الفاتحة والطبقات الواقية مَن درجات الحرارة المتطرِّفة تلك، إلا أنه من الضروري اختيار المواد والمثبِّتات بحيث تستوعب تغيُّرات الأبعاد التي تنجم عن درجات الحرارة تلك.

استعمالات الأسقف ومنافذ الدخول إليها

برغم استعمال الأسقف المائلة في الماضي للإضاءة الطبيعية، لم يُنظر إليها على أنها تمثِّل حيِّزاً قابلاً للاستعمال. والآن أصبح من الممكن وضع مجمِّعات الطاقة الشمسية والخلايا الكهرضوئية على الأسقف المائلة، لكن هذه التجهيزات تتطلب وجود منافذ إلى السقف لصيانتها. أما الصعود إلى السقف فغير مسموح به إلا للمخوَّلين المدربين والمجهَّزين بوسائل حماية وأمان تمكِّنهم من التحرُّك فوقه من دون أن يُصابوا بأذى أو أن يُتلفوا الغطاء.

ومن متطلبات استعمال السقف للإضاءة الطبيعية، ولوضع منظومات جمع الطاقة الشمسية عليه، التوجيه. ففي حالة الإضاءة الطبيعية، تعطي النوافذ الزجاجية الموجَّهة نحو الشمال أفضل إضاءة متجانسة. وفي حالة منظومات التقاط الطاقة الشمسية، يجب توجيهها نحو الجنوب، برغم أن الخلايا الكهرضوئية تولِّد بعض الطاقة حتى من السماء المغطاة بالغيوم. ومع ذلك تُعتبر الأسقف المائلة ملائمة لتحقيق الإضاءة الطبيعية الجيدة ولتركيب مجمِّعات الطاقة الشمسية عليها أيضاً. أما في حالة الأسقف المسطَّحة، فيجب بناء نوافذ الإضاءة الطبيعية فوق مستوى سطح السقف بغية تغطية حوافها كي تقاوم العوامل الجوية، ولإعطائها عمقاً كافياً لحجب

أشعة الشمس المباشرة ومنعها من الدخول إلى المبنى، لأنها يمكن أن تكون مزعجة. ويجب تركيب منظومات جمع الطاقة الشمسية مائلة حتى على الأسقف المسطَّحة، ولذا من الضروري استعمال حامل لترتكز عليه. لكن هذا الحامل سوف يخترق الغطاء المانع لتسرب الماء في السقف، ولذا يجب إحكام سد مواضع الاختراق.

وتوفِّر الأسقف المسطَّحة فرصاً أكبر للاستعمال. فالفرق الأساسي بينها وبين الأسقف المائلة هو اقتصار الوصول إلى السطح المائل على عمال الصيانة فقط، في حين أن الوصول إلى السقف المسطَّح يمكن أن يكون متاحاً لجميع مستعملي المبنى. وحتى لو اقتصر الوصول إلى السطح على أعمال الصيانة فقط، فإن استعمالات السقف المسطَّح كثيرة، ومنها، على سبيل المثال، توفير إمكانات التعليق لتنظيف النوافذ. إلا أن الوصول العالي التكرار إلى السقف يزيد من مخاطر حدوث أضرار فيه، ولذا يجب تخصيص مسالك لهذا الغرض. وفي بعض المباني، يمكن السقف أن يُستعمل لأغراض أخرى منها الحدائق وأنشطة خارجية أخرى، وحينئذ يجب الاهتمام بسلامة الأشخاص بتوفير حمايات عند الحواف، وبخواص اهتراء إنهاءات السطح للحفاظ على مقاومته للعوامل الجوية.

التحميل

يؤدي الدخول إلى سطح المبنى واستعماله إلى تحميله، خاصة إذا تضمن الاستعمال أحمالاً ساكنة إضافية، من مثل تجهيزات الخدمات أو بعض حدائق الأسقف. يُضاف إلى ذلك أن جميع الأسقف عرضة لتراكم الثلج عليها، ولقوى الريح أيضاً. ويمكن أن ينجرف الثلج ويولِّد أحمالاً كبيرة خلف الحواجز، ويمكن أن تعمل قوى الريح على رفع السقف إلى أعلى، وهذه سمتها الرئيسية. ويؤدي ذلك إلى رفع الغطاء إذا لم يكن تثبيته جيداً. وإذا كان الغطاء جيد التثبيت، انتقل فعل الرفع إلى بنية السقف نفسها. وإذا لم يكن وزن الغطاء كافياً، وجب تثبيته مع هيكل المبنى.

ثمة طيف واسع من بنى الأسقف، من تلك الواسعة المجاز، حيث تكون الأحمال الساكنة صغيرة، حتى الأسقف ذات الحدائق، حيث يمكن التحميل أن يكون أكبر من تحميل أرضيات الطوابق ضمن المبنى. ويمكن الأسقف الخفيفة الوزن أن تعاني من انعكاس تام لقوى الريح، حيث تتغلب قوى الرفع على الوزن

الساكن لبنية السقف. ويمكن هذا أن يحصل لجميع الأسقف، بدءاً من الأسقف البسيطة المسطَّحة القائمة على العوارض الخشبية في المباني المنزلية، حتى الأسقف الواسعة المجاز في المجمَّعات الصناعية الضخمة. إلا أن ذلك ضئيل الاحتمال في المباني التجارية حيث تُستعمل بلاطات الخرسانة ليرتكز غطاء السقف عليها.

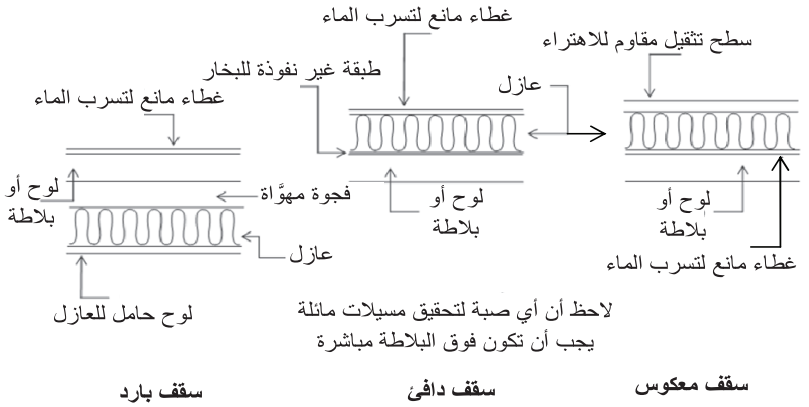
العزل الحراري ومنع التكاثف

ثمة مجموعة من الظروف ذات الصلة بأداء السقف الحراري والتي تؤثِّر كثيراً في مواصفات وتفاصيل السقف. وتنشأ تلك الظروف خلال موسم التدفئة في الشتاء وتتجلى في حصول تكاثف ضمن البنية تحت غطاء السقف. وهذا قد يكون شديداً بشكل خاص في الأسقف التي يكون فيها الغطاء غشاء مستمراً، لأن هذا الغطاء يكون كتيماً للبخار والماء معاً. وعندما تبرد بنية السقف تحت الغشاء، يُصبح احتمال حدوث التكاثف أعلى.

وقد أدى هذا إلى ثلاث صيغ مميَّزة لبنى الأسقف، وفقاً للمبين في الشكل 10.29:

- السقف البارد
- السقف الدافئ
- السقف الدافئ المعكوس

تختلف هذه الصيغ عن بعضها بمكان توضُّع العازل بالنسبة إلى البنية الحاملة للغطاء المانع لتسرب الماء. ففي السقف البارد، الذي يسمى أحياناً بسقف الغطاء البارد، يوضع العازل تحت الغطاء (أو البلاطة)، وهذا يترك الجانب السفلي من الغطاء بارداً، ومن ثَمَّ عرضة لتكاثف البخار عليه. لذا، وللحد من البخار القادم من الغرفة ثمة حاجة إلى طبقة مانعة للبخار أو إلى تهوية تُبعِد البخار من أسفل الغطاء. وفي ضوء صعوبات توفير طبقة كفوءة في الحد من البخار، يجب توفير تهوية فوق العازل وتحت الغطاء لضمان انخفاض نقطة تكوُّن الندى إلى ما دون درجة حرارة الجانب السفلي من الغطاء.



الشكل 10.29 خيارات عزل السقف.

وخلافاً للسقف البارد، يتوضَّع العازل في السقف الدافئ فوق البلاطة أو اللوح. وهذا يضمن أن هذا اللوح يبقى دافئاً وخالياً من التكاثف، إلا أنه يترك الغطاء المانع لتسرب الماء بارداً، ويحصل التكاثف على الجانب السفلي من ذلك الغطاء. ومن الممكن في هذا الحل استعمال اللوح لحمل طبقة الحد من البخار لمنع الجانب البارد من العازل من نقل البخار، وبذلك تُلغى فرصة التكاثف.

وفي السقف المعكوس، يعمل الغطاء المانع لتسرب الماء عمل طبقة الحد من البخار، لأن العازل يوضع فوق الغطاء، وهذا يضمن بقاء [الأخير] في الجانب الدافئ من العازل. وتوفِّر بنية السقف هذه أدنى احتمالات حدوث التكاثف، إلا أن من الواضح أن ثمة متطلبات فيها تخص طبيعة مادة العازل، وأكثرها جلاء هي أنها الآن خارجية وعرضة للعوامل الجوية، وأن مصارف المطر يجب أن تكون تحت العازل. ويجب ألاّ يمتص العازل الماء، ويجب ألاّ تتدنَّى خواصه نتيجة للبلل. يُضاف إلى ذلك أنه معرَّض مباشرة للرفع بقوى الريح. ونظراً إلى كونه خفيف الوزن، فإنه يحتاج إلى تثبيت، أو إلى سطح تثقيل لإبقائه في مكانه. وإذا كان السقف مفتوحاً لوصول الأشخاص إليه، كان العازل عرضة للدوس عليه، والتلف نتيجة لسقوط أشياء فوقه. وهذا يتطلب إما إنشاء ممرات على السقف، أو إلى تبليط كامل السقف للتمكين من السير عليه. حينئذ يوفِّر البلاط الثقل اللازم لتثبيت العازل في مكانه. ثمة منظومات متوافرة تشتمل على العازل وبلاط السقف معاً، وهذا ما يجعل السقف المعكوس خياراً عملياً حتى في حالة الأسقف التي تشهد حركة استعمال كثيرة. ومن اللافت ملاحظة أنه برغم أن السقف المعكوس يتطلب

عناية خاصة بمادة العازل، فإن العازل يحمي الغطاء ويُطيل عمر السقف من حيث الكتامة لتسرب الماء.

الحماية من الحريق

من مهام السقف حماية المبنى من الحريق الذي ينشب خارجه. فهذا المهدِّد يمكن أن يُعرِّض المبنى للخطر إذا اخترقت النيران السقف، ولذا يجب أن يُؤخذ ذلك في الحسبان في بنى جميع عناصر السقف من الغطاء إلى العازل حتى ألواح السقف الداخلية. وثمة مخاوف أخرى من انتشار اللهب على السطح المكشوف من السقف، ولذا يجب الحد منه. ويتحقَّق ذلك في معظم الأسقف بواسطة غطاء السقف، أما في الأسقف المعكوسة، فذلك من مهمة السطح المبلَّط أو سطح التثقيل.

تُصنَّف الأسقف بمنظومة تصنيف مكوَّنة من حرفين، كل منهما يمكن أن يكون واحداً من الأحرف A حتى D. يدل الحرف الأول على التصنيف من حيث الاختراق، ويدل الثاني على مدى انتشار اللهب. ونظراً إلى أن التهديد يأتي من مصدر خارجي، فإن التسميات المسموح بها وحدود مناطق تلك التسميات تعتمد على المسافة الافتراضية الفاصلة في ما بين المباني المتجاورة.

دورة حياة السقف واهتراؤه بفعل العوامل الجوية

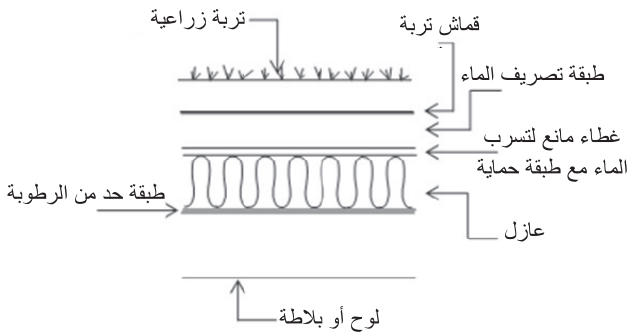
يتغيَّر مظهر السقف مع مرور الوقت، شأنه في ذلك شأن جميع عناصر الغلاف الخارجي. وقد ناقشنا ذلك في مستهل هذا الفصل بالنسبة إلى الجدران الخارجية، وذلك في مقطع "الواجهة والمواد والزمن". وعوامل الاتساخ والاهتراء نفسها التي تؤثِّر في الجدار تؤثِّر في مواد السقف. إلا أن الملاحَظ هو أن تعرُّض السقف للعوامل الجوية أشد من تعرُّض الجدار عموماً، ولذا فإن العوامل الإتلافية فيه تتصف بكونها أشد قسوة.

وفي ضوء توافر طيف واسع من مواد الأغطية، فقد لا يكون مفاجئاً أن تكون أعمارها المتوقَّعة شديدة الاختلاف. فتلك الأعمار تختلف في ما بين 15 و 20 سنة في حالة الأسقف ذات اللبَّادة المشرَّبة بالقار الثلاثية الطبقات، وتزيد على 100 سنة في حالة الأغطية المعدنية. وهي تختلف أيضاً من حيث تكلفتها الأولية التي تتناسب تقريباً مع عمرها. وتُمثِّل التكلفة الأولية وتكاليف الصيانة عاملاً مهماً في

اختيار نوع السقف وفي عمره المتوقع. وعلى وجه العموم، فإن تلف السقف بسبب العوامل الجوية يؤدي إلى اضطراب في استعمال المبنى، ويهدِّد بنية المبنى بالتدهور السريع. ومع ازدياد احتمال تلف غطاء السقف وانخفاض وثوقيته، تزداد تكاليف إصلاحه. وفي ما يخص كثيراً من أغطية الأسقف، فإن توقُّعات ديمومتها تقل كثيراً عن توقُّعات ديمومة بقية بنية المبنى، ويجب استبدالها للحفاظ على استمرارية حياة المبنى.

الأسقف الخضراء

مع أنه ليس من مقاصد هذا الكتاب تقديم تفاصيل عن تشكيلات ألواح وبلاطات السقف والأغطية المانعة لتسرب الماء، إلا أن الأسقف الخضراء تستحق الذكر لأنها توفِّر بعض خصائص الأداء لا يمكن أن توفِّرها الخيارات الأخرى. ويبين الشكل 11.29 مقطعاً عرضانياً شائعاً لسقف أخضر.



الشكل 11.29 مقطع عرضاني شائع لسقف أخضر.

تماثل بنية السقف الأخضر بنية السقف العادي حتى الغطاء المانع لتسرب الماء، ومن ضمنها مسيلات ماء المطر. يُري الشكل سقفاً دافئاً مع عازل فوق اللوح، إلا أنه يمكن استعمال سقف بارد أيضاً. أما الغطاء المانع لتسرب الماء فيجب أن يكون طبقة منيعة متينة ذات جودة عالية، من الإسفلت المطاطي أو البلاستيك الحراري، على شكل غشاء وحيد الطبقة. وتوضع فوق الغطاء المانع لتسرب الماء طبقة تصريف للماء من الحصى، تأخذ الماء إلى المزاريب، وتوضع فوقها حجرة تفتيش للتمكين من تنظيف مصرف الماء. ويوضع فوق طبقة التصريف مرشِّح من قماش تربة حيوية (geotextile) يسمح بتصريف الماء ويحتفظ بالتربة

الزراعية وبجذور النباتات، بذلك تبقى طبقة التصريف خالية من العوائق. أما وسط الزراعة فيعتمد على نوع النبات الذي سوف يُزرع. تُعتبر بيئة أعلى السقف بيئة قاسية على النباتات، ولذا يجب انتقاء النباتات التي سوف تُزرع على نحو يلائم تلك البيئة. يمكن تمييز ثلاثة أنواع من الأسقف المزروعة هنا هي:

- أسقف خضراء ذات وسط زراعة منتشر قليل العمق
- أسقف خضراء ذات وسط زراعة متوسط العمق
- أسقف خضراء ذات وسط زراعة كثيف وعميق

تُغطى الأسقف ذات الزراعات المنتشرة والعمق القليل بنباتات قصيرة لا تحتاج إلى رعاية كثيرة، وهي تُصمَّم بغرض الوصول إليها لزراعتها فقط. وهي غالباً ما تُعرَف بأسقف البابونج، إلا أن من نباتاتها أيضاً الطحالب والريان والأعشاب العطرية وحشيش المرعى. وتساوي سماكة تربة الزراعة فيها ما بين 25 و 125 مم. ويمكن استعمال هذا النوع من الزراعة على الأسقف المائلة، إذا كان الميل نحو 3:1 لتقليص إمكان انزلاق التربة وحتها، وإلا وجب التدقيق في نوع الزراعة [القادرة على منع انزلاق التربة].

أما الأسقف ذات العمق الكبير والزراعات الكثيفة فتوفِّر بيئة أكثر طبيعية. ومن نباتات الأسقف المتوسطة الكثافة والعمق المرج والنباتات القصيرة التي تتطلب تربة سماكتها تصل حتى 250 مم. وهذه النباتات تحتاج إلى رعاية. لذا يجب أن تكون ثمة ترتيبات لحركة أوسع، إلا أن الأرجح هو تصميم السقف بحيث يسهل الإطلالة على النباتات فقط. أما الأسقف ذات الزراعات الكثيفة والعمق الكبير فتُصمَّم بحيث تكون مكاناً للراحة وسهلة الوصول إليها لاستعمالها حدائق. وبسبب سماكة وسط الزراعة التي تصل حتى 450 مم، ونظراً إلى حاجة نباتاتها إلى الري المستمر، فإنها تضع أحمالاً كبيرة على المبنى.

توفِّر جميع هذه الخيارات مزايا من حيث استجابة المبنى الحرارية، والجريان البطيء لماء المطر، والتصريف المؤخَّر في معظم الحالات عدا في حالات العواصف الشديدة. ويعتمد تصنيف السقف في ما يخص الحريق على سماكة التربة الزراعية وعلى توافر حواجز النار حول محيط السقف وفي إطار يبعد 40م في الأسقف واسعة المساحة. وعموماً، تزيد الأسقف الخضراء من خضار البيئة الحَضَرية وتساعد على الحفاظ على التنوُّع الحيوي حيثما وُجِدت.

الخلاصة

1. يُعتبر اختيار عناصر غلاف المبنى وتفاصيلها من التحديات الرئيسية في تصميم المبنى وتشييده.

2. يجب النظر إلى الجدار الخارجي على أنه واجهة من حيث المظهر، وقشرة من حيث الأداء البيئي، وجدار من حيث التشييد المادي.

3. يجب استقصاء خيارات مواد الواجهة ومكوِّناتها من ناحية مظهرها، ومن ناحية تغيُّرها مع مرور الوقت بسبب اتساخها وتدنِّي خواصها.

4. حين النظر إلى الجدار على أنه قشرة، فإن أداءه البيئي يشتمل على تدفق الطاقة الحرارية عبره، وعلى خواص انتشار الضوء والصوت خلاله، إضافة إلى انتقال الرطوبة والهواء بحيث يجري الحفاظ على الجو الداخلي الذي يحقِّق راحة القاطنين وسلامتهم.

5. يجب تحديد جزء الجدار الذي يحقِّق المتانة الإنشائية وينقل الحمل إلى الهيكل ويوفِّر ارتكازاً وتثبيتاً لجميع مكوِّنات الجدار الأخرى.

6. يحصل تجميع الجدار عند حافة المبنى وفي الأعلى، وهذا يتطلَّب أعمالاً مؤقتة تسهِّل الدخول إلى مكان العمل وتحقِّق بيئة عمل آمنة.

7. تُعتبر التسامحات التي تمكِّن من ضبط التحاذي والمنسوب والشاقولية على درجة من الأهمية خاصة في الوصلات مع الهيكل.

8. برغم اختلاف منظومات جدران الأجر ذات الفجوة، ولوحات التغطية، والسواتر الجدارية، كلياً في ما بينها من حيث المظهر، فإنها توفِّر المتانة الإنشائية التي تمكِّنها من الامتداد على المجازات بين عناصر الهيكل الإنشائية الخاصة بالواجهة الرئيسية.

9. تتمثل عناصر التلبيس بطيف من المواد والمكوِّنات المختلفة التي يتطلَّب جميعها تثبيتاً مع جدار ظهير (جدار حشوة عادة) يرتكز على الهيكل ويُقيَّد به.

10. تثبَّت عناصر التغطية الخفيفة الوزن، التي تُستعمل في المباني الصناعية الوحيدة الطابق غالباً، على سكك تُعتبر جزءاً من الهيكل.

11. يوفِّر التزجيج الإنشائي جدراناً زجاجية مستمرة من دون أطر، ولذا تتطلَّب هيكلاً جزئياً لحمل الغلاف الزجاجي.

12. يمكن الأسقف أن تكون مائلة أو مسطَّحة. ويجب تزويد الأسقف المسطَّحة بمسيلات مائلة لتصريف ماء المطر، ويمكن بناء تلك المسيلات ضمن بنية السقف، أو ضمن صبة من الرمل والإسمنت فوقها، أو ضمن العازل. ويجب تزويد جميع أنواع الأسقف بمصارف لماء المطر.

13. يمكن أن يكون ثمة طيف من موجبات الوصول إلى السقف، ابتداء بصيانة الغطاء من قبل عمال مدرَّبين، وانتهاء بالدخول الكامل للجميع كما، مثلاً، في حالة حدائق الأسقف. لكن استعمال السقف لوضع تجهيزات الخدمات عليه، أو للقيام بأنشطة أخرى، يُحمِّل بنيته ويقتضي توفير ممرات وحماية للأفراد عند الحواف.

14. تؤثِّر طريقة وضع العازل في السقف في تكاثف البخار فيه. يمكن تمييز ثلاثة أنواع من الأسقف وفقاً لتوضع العازل فيها هي السقف البارد والسقف الدافئ والسطح المعكوس، التي لكل منها تفاصيلها وموادها.

15. ثمة خيارات لأغطية الأسقف تختلف كثيراً في أطوال أعمارها المتوقَّعة، وفي تكاليفها.

الفصل الثلاثون

الغلاف الداخلي

نهتم في هذا الفصل بعناصر الغلاف الداخلي المكوَّن من الجدران والأرضيات والإنهاءات المحمولة عليها. ونعرِّف طيف الوظائف ومستويات الأداء التي يجب أن تتحقَّق بعناصر الغلاف الداخلي تلك في المباني التجارية. وثمة تقديم مختصر للإنهاءات مع إيلاء اهتمام أكبر لمكوِّنات السقف الداخلي المعلق والأرضيات المرتفعة (raised floor) والتقسيمات التي يمكن اختيارها للمباني التجارية.

الأداء

على غرار عناصر الغلاف الخارجي، تختلف الظروف البيئية على جانبي عناصر الغلاف الداخلي، ولذا تكون وظيفتها الحفاظ على الظروف الداخلية للمبنى. إلا أن الأحياز على جانبي التقسيمات الداخلية في المبنى تكون مشغولة، ولذا يجب أن يتضمن تصميمه آليات للتحكُّم في الظروف في كلا الجانبين والحفاظ عليها وصيانتها. يُضاف إلى ذلك أن تلك الظروف، على الجانبين، أقل قسوة من الظروف الخارجية، مع أن بعض العمليات الصناعية قد تقتضي بعض الإجراءات الخاصة بها.

ويمكن أن يكون عدد الوظائف ومتطلبات الأداء في الغلاف الداخلي أقل من تلك التي في الغلاف الخارجي، إلا أن الجوانب المفتاحية الثلاثة المستعملة في الغلاف الخارجي تبقى مفيدة هنا أيضاً، وهي: الواجهة التي تعطي المظهر، والقشرة التي تمثِّل الاستجابة المتوافقة مع الحمل والظروف البيئية، والجدار والأرضية بوصفهما البنية المادية التي يحصل فيهما الوصل والتثبيت.

وتُوصف أوجه الجدار والأرضية والأسقف الداخلية عادة بأنها الإنهاءات، ويقتصر الاهتمام بها عموماً على اختيار المواد وأدائها مع مرور الوقت، شأنها في

ذلك شأن الواجهة. فالمواد تعطي للإنهاءات ألوانها ونسيجها وجودتها، إضافة إلى توفيرها لسطح اهترائي، إلا أنها تخضع للتغيُّر مع مرور الوقت. لذا قد تكون ثمة ضرورة لإعادة التزيين أو حتى التجديد في المستقبل. أما دور الجدار والأرضية، بوصفهما قشرة، فلا يقتصر على وظيفة السطح فقط، بل يشتمل على إسهاماتهما في طيف كامل من الوظائف التي تحقِّق المتانة الإنشائية وملاءمة البيئة الداخلية للعيش فيها. ويشتمل توصيف الجدار والأرضية، بوصفهما بنيتين إنشائيتين أيضاً، على تفاصيل ومواصفات المكوِّنات والمواد، وذلك اعتماداً على بضع خيارات عامة.

وحين استقصاء أداء الجدران والأرضيات، يجب في البداية الاهتمام بمتانتها الإنشائية. قد لا تكون الجدران حاملة، إلا أن من المؤكَّد أن الأرضيات تمثِّل جزءاً من المنظومة الإنشائية الحاملة. لذا يمكن الأرضيات الإنشائية أن تحمل الإنهاءات، أما الجدران غير الحاملة فتتطلب الاهتمام بمتطلبات متانتها الإنشائية حين بنائها. وعلى غرار حالة الجدران الخارجية، تعني صفة غير الحامل عدم حمل أحمال ساكنة ومفروضة من عناصر إنشائية أخرى، إلا أن هذا لا يعني أنها لا تحمل نفسها. ويمكن بعض الجدران الداخلية أن تكون عناصر استقرار للبنية في مواجهة الريح. وإضافة إلى الأحمال المعلقة المباشرة الناجمة عن الأشياء التي توضع على جدران التقسيمات الداخلية، يجب تحري الأحمال الجانبية العَرَضية التي تحصل في الممرات نتيجة اصطدام التجهيزات والأشياء الأخرى بالجدران. وحينئذ، يشتمل الاستقرار على منع الانحرافات والانزياحات والأضرار الموضعية والانهيار الناجمة عن ذلك. ومن الممكن تحقيق المتانة الإنشائية للجدار بالطريقة المتَّبعة نفسها في المباني المنزلية، إما باستعمال لبِنات مصمتة أو لوحات مؤطَّرة. ويمكن اللوحات أن تكون ذات قوائم خشبية أو قوائم من الفولاذ الخفيف، وفقاً لما ورد في الفصل 19. أما اللوحات المصمتة أو المزجَّجة فهي شائعة أيضاً في المباني التجارية، وثمة مزيد من التفاصيل عنها في ما يلي.

إلى جانب المتانة الإنشائية، يجب الاهتمام بوظائف الخصوصية والأمن. وتوجد للخصوصية جوانب مرئية وسمعية تؤثِّر في متطلبات التزجيج والعزل الصوتي. وقد نوقشت الآليات ذات الصلة بانتشار الصوت في الفصل 10. فكتلة الجدار وجساءته وإنهاءات حوافه والفجوات الداخلية فيها وما تحتويه من بطائن ماصة للصوت، تُحدِّد جميعاً تخميد شدة الصوت. لكن تحقيق هذه الخصائص في كثير من الجدران الداخلية التي تُجمَّع في الموقع أمر صعب. ولا يقتصر ذلك على

بنية الجدار نفسها، بل يشتمل على الوصلات والمثبتات بين اللوحات وبينها وبين الحواف المحيطة بها أيضاً. وتُضاف إلى ذلك مشكلات انتقال الضجيج عبر مسارات فوق وتحت جدران التقسيمات الداخلية عبر الفراغات في الأسقف المعلقة والأرضيات المرتفعة التي سوف نناقشها في ما بعد. إن قيم التخميد الصوتي الفعلية التي يمكن تحقيقها في التجميع في الموقع تقل كثيراً عن تلك التي يمكن تحقيقها في ظروف الاختبارات. أما انتشار الضجيج عبر الأرضيات التي تُصنع من الخرسانة، فلا يمثِّل مشكلة على الأرجح في حالة الصوت الوارد ضمن الهواء، أما ذاك الناجم عن الطرق والصدم فيمثِّل مشكلة حقيقية.

أما الأمن فيشتمل على الحماية من مهددات الحريق والاعتداء من قبل متسللين. لقد جرت مناقشة التصميم المضاد للحريق في الفصل 10، حيث قُصِد بالبطائن (أو الإنهاءات) ومقاومة النار التي يوفِّرها العنصر نفسه تلك المخصَّصة للجدران والأرضيات الداخلية. ويعتمد الأمن الذي نوقش في الفصل 10 أيضاً على طبيعة المهدِّد. ففي ما يخص السرقة، تتركَّز الحماية عادة في الأبواب وأقفالها، لكن إذا كان المتوقَّع استعمال قوة كبيرة، وجب النظر في متانة الجدار برمته بوصفها جزءاً من المتانة الإنشائية.

الإنهاءات المطبَّقة

يُعتبر اختيار إنهاءات عناصر الغلاف الداخلي مهمة رئيسية في تحقيق المظهر وسطح الاهتراء. ويجب تطبيق الإنهاءات على خلفية أو ركيزة تتصف بالمتانة الإنشائية، إلا أن تلك الركيزة غالباً ما لا تتضمن تسامحات (في الاستواء عادة) أو استمرارية في أماكن الوصلات والأوتاد لتطبيق الإنهاء التزييني الأخير المتمثِّل بسطح الاهتراء. ويجب أن توفر فرشة (أرضيات) وخلفيات دعم (جدران وأسقف). في الأصل، كانت هذه العملية عملية مبلولة تُستعمل فيها صبات للأرضية وطلاءات وبلاستر (للجدران والأسقف). وما زالت تلك العمليات المبلولة مستعملة، خاصة وأن المواد الحديثة تجف بسرعة، مع أنه جرى تطوير عمليات جافة أيضاً. وتقوم العمليات الجافة عادة على ألواح خشبية وألواح خشب مضغوط وألواح رقائق موجَّهة (للأرضيات)، وعلى ألواح بلاستر (للجدران والأسقف الداخلية).

ويتطلب توضيع إنهاءات السطح التزيينية هذه انطلاقاً من الركيزة الإنشائية عناية خاصة بالتفاصيل. فأعداد الطبقات وسماكاتها وموادها جميعاً تعتمد على عدة عوامل.

فثمة لكل مادة سماكة دنيا تحافظ على متانتها، تبعاً لنوع الارتكاز الذي توفِّره الركيزة. ففي حالة الأرضيات، تساوي سماكة صبة الرمل والإسمنت نحو 50 مم، ويمكن هذه السماكة أن تكون أقل إذا أمكن لصق الصبة بالأرضية الإسمنتية. ويجب أن تساوي سماكة ألواح الخشب المضغوط وألواح الرقائق الموجَّهة التي تُستعمل للأرضيات 22 مم في حالة ارتكازها على حوامل تباعدها يساوي 600 مم، و 18 مم عندما تساوي تلك التباعدات 450 مم، إذا كانت الألواح ممتدة في اتجاه واحد، وكان الارتكاز مستمراً في الاتجاه الآخر. ويُعتبر وصل حواف الصفائح وتباعد المثبِّتات على درجة من الأهمية في هذه المواصفة. في حالة الجدران، تساوي سماكة طبقتي طلاء من البلاستر مع لوح بلاستر نحو 12 مم. ويمكن تطبيق البلاستر على لبنات أو على صفائح معدنية، ويمكن تثبيت ألواح البلاستر بالبراغي على قوائم أو باللصق على خلفية من اللبنات الخرسانية. ويمكن أن يكون لوح البلاستر ذا حواف تعشيق لأغراض الوصل الجاف، أو ذا حواف قائمة بغرض تطبيق طبقة رقيقة من البلاستر عليها.

وتُعدُّ هذه السماكات ومواصفات التثبيت في معظم الحالات كافية لتحقيق سطح مستقر ضمن حدود التسامحات المحدَّدة لتطبيق السطوح التزينية والقابلة للإجهاد. وهي ضرورية أيضاً لاستيعاب الحركة ولضمان عدم وجود تفاعلات كيميائية مع الركيزة أو الإنهاءات التزيينية التي يمكن أن تؤثِّر في الأداء على المدى الطويل.

ثمة طيف واسع من الركائز، وربما طيف أوسع من الإنهاءات السطحية، لذا فإن كل تشكيلة من الطيفين تتطلب فرشة أو بنية ظهيرة تُختار تبعاً للظروف مع الأخذ في الحسبان لمساحة السطح الكلية والاهتراء والتمزق المتوقع حصولهما في الإنهاءات نفسها. ويجب الاهتمام أيضاً بتوزُّع الخدمات وبمنظومات التدفئة (ومنها منظومة التدفئة التي توضع تحت الأرضيات). ليس من اهتمام هذا الكتاب مناقشة جميع تلك التشكيلات، ولا حتى مجالات الإنهاءات نفسها. فالمعلومات التقنية والتصنيعية الخاصة بها متوافرة على نطاق واسع.

منظومات المكوِّنات

لقد جرى تطوير منظومات جدران وأرضيات وأسقف داخلية. وقد استُعملت في منظومات الأرضيات والأسقف بلاطات إنشائية للتثبيت والارتكاز، مع ترك

فراعات فيها لاستعمالها لتمرير الخدمات. ولذا يجب الاهتمام بتوفير إمكان الوصول إلى تلك الفراغات بهدف الصيانة والإصلاح. تُعرف هذه المنظومات بالأسقف المعلقة والأرضيات المرتفعة، ويمكن استعمالها لتكوين حيِّز ما بين الأرضية والسقف ملائم ليكون حيِّزاً داخلياً. وتتضمن منظومات الجدران، التي تُعرَف عادة بجدران التقسيمات الداخلية، عناصر ذات متانة إنشائية خاصة بها، إلا أنها لا تستطيع عادة أن تحمل غيرها.

ومن الصفات، التي يتشارك بها معظم منظومات المكوِّنات، صفة النسائقية، أو المقاس التنسيقي المتكرِّر، وهو مفهوم قدَّمناه في الفصل 4. تُنتَج المكوِّنات عادة بطيف محدود من الأبعاد القائمة على المقاس المتكرر الذي يسمح، مع تفاصيل التثبيت المشترَكة، بتغليف أحياز يُفترض أنها نسائقية. يساوي البعد النسائقي الأساسي 300 مم. لذا، على سبيل المثال، يسمح المقاس النسائقي للوحات السقف الداخلي الذي يساوي 600 × 600 مم أو 600 × 1200 مم، والتي تمثِّل وحدات الإضاءة، بالتنسيق في ما بين الإنهاءات والخدمات في أي منظومة سقف معلقة. طبعاً، المقاس الفعلي للوحات أصغر قليلاً من المقاس النسائقي، وذلك لترك فراغ للوصلات والتسامحات.

ويساوي العرض الأعظمي للوحات المعيارية المستعملة في منظومات جدران التقسيمات الخارجية 1200 مم، وذلك لتسهيل تداولها، إلا أنه يمكن أن يساوي 600 أو حتى 300 مم لتكوين قطع ذات أطوال محدودة. وتتطلب جدران التقسيمات الداخلية بعض التنسيق في ارتفاعات اللوحات. ولا يقتصر ذلك على الارتفاع الكلي بين الأرضية والسقف فقط، بل على الأبواب واللوحات المصمتة والمزجَّجة التي تمثِّل أطوالها الارتفاع الكلي. ومع أن الارتفاع الكلي يتفق عادة مع الارتفاع النسائقي، فإن ارتفاعات اللوحات الجزئية يمكن أن تساوي 100 مم.

الأسقف المعلقة

تُختار الأسقف المعلقة لتقليص ارتفاع الغرفة وتوفير سطح للتزيين، إضافة إلى أنها تُستعمل غالباً أيضاً لتكوين أحياز فوقها للخدمات، ومنظومةَ ارتكاز لوسائل الإضاءة والتهوية. ويتطلب استعمال الحيِّز الذي فوق السقف المعلق للخدمات توفير منفذ للوصول إليه. ويسمح كثير من منظومات الأسقف بالدخول إلى ذلك الحيِّز من أي نقطة في السقف برفع لوحة واحدة، إلا أن هذه الطريقة

تؤدي غالباً إلى تلف اللوحات مع مرور الوقت، ومن ثَمَّ إلى الإساءة إلى المظهر. لذا من الضروري إيجاد بعض التوازن بين الوصول الكامل المفتوح إلى ذلك الحيِّز والدخول من أماكن محدَّدة. طبعاً الدخول لأغراض تركيب تجهيزات جديدة يجب أن يكون مسموحاً به، وحينئذ يمكن استبدال اللوحات التي تتعرض للتلف، لكن من الأفضل الحد من الحاجة إلى الأعمال الطارئة والإصلاح في المستقبل. وإذا كان تحديث خدمات الاتصالات السلكية متوقعاً أيضاً، وجب تخصيص أمكنة للوصول إليها أيضاً.

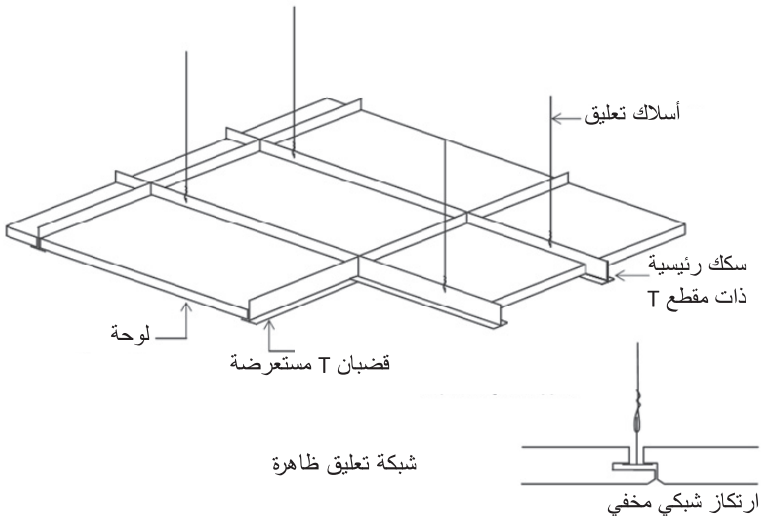
وتُستعمل الأسقف المعلقة غالباً لتحسين الخواص الصوتية للغرفة، وذلك بانتقاء لوحات ماصة للصوت. لكن تلك اللوحات لا تضيف عادة الكثير في ما يخص تخميد انتشار الصوت، إضافة إلى أنها يمكن أن توفِّر مسارات لانتقال الضجيج في أعلى جدران التقسيمات الداخلية إذا لم تصل تلك الجدران إلا إلى السقف المعلق تماماً.

ومن الجوانب الأخرى التي تقتضي الاهتمام بها في الاختيار، ومواصفات السقف المعلق، هناك جانب التصميم المقاوم للحريق. لكن يمكن الافتراض أن معظم هذه المنظومات لا تضيف شيئاً إلى عناصر الأرضيات المقاومة للنار. وإذا كانت ثمة حاجة إلى منع الحريق من الامتداد إلى السقف المعلق الذي تحت الأرضية، وجب استعمال عناصر في الأسقف المعلقة عديمة الوصلات تقوم على البلاستر أو ألواح البلاستر. لكنْ حينئذ يصبح الوصول إلى تمديدات الخدمات الموجودة تحت الأرضية شديد الصعوبة، ويحد عملياً من استعمال الحيِّز لتمرير تمديدات الخدمات. وإذا لم تكن مقاومة بنية السقف للنار فعالة، فإن الحيِّز فوق السقف يصبح ممراً رئيسياً للدخان والحرارة والغازات المتطايرة. لذا إذا امتد ذلك الحيز فوق جدران التقسيمات الداخلية (لا يمكن أن يمتد فوق جدران الحجرات)، وجب تقسيمه بواسطة حواجز نار. ومن اعتبارات الأسقف الأخرى الخاصة بالحريق انتشار اللهب السطحي. وهذا يمكن أن يُسهم أيضاً في تكوُّن الغازات المتطايرة وتساقط مواد حارة يمكن أن تساعد على زيادة انتشار الحريق وأن تحد من المدة المتوافرة للخروج والنجاة. يُضاف إلى ذلك أن منظومة التثبيت يجب أن تتصف بالمتانة لتحمُّل النار لدرء الانهيار المبكِّر للسقف عند الحريق.

ومع ازدياد اعتماد التصميم غير النشط الذي تُستعمل فيه كتلة البلاطة الحرارية للتحكُّم في الظروف الحرارية، يصبح استعمال السقف المعلق غير ممكن. لذا

يجب إيجاد طرائق لإنهاءات البلاطة واستيعاب الخدمات وتوفير ارتكاز لوسائل الإضاءة من دون وجود سقف معلق. وهذا ما يقلِّص أيضاً من إمكانات العزل الصوتي لأن الجانب السفلي من البلاطة قاسٍ ويعكس الأصوات. من ناحية أخرى يحد سطح البلاطة طبيعياً من انتشار النار.

وتقوم أكثر صيغ السقف المعلق شيوعاً على الإطار واللوحات وفقاً للمبيَّن في الشكل 1.30. يُثبَّت إطار معدني خفيف على الجانب السفلي من البلاطة، وتوضَّع اللوحات، المقاومة للنار والخفيفة الوزن غالباً في أبسط صيغها ذات الألياف، ضمن الإطار. وهذا ما يمكِّن من الوصول إلى الحيِّز فوق الإطار بمجرد رفع اللوحات، وفق ما ذُكر سابقاً، إلا أن اللوحات هشة وسهلة التلف. وإذا كان من الممكن حصول فروقات في الضغط، على غرار ما يحصل في بيت المصعد ومداخل المباني، من الضروري تثبيت اللوحات على الأطر. وفي المنظومة المبيَّنة في الشكل، من الممكن رؤية معدن الإطار. فإذا كان ذلك غير مقبول، أمكن استعمال لوحات ذات أخاديد وألسنة عند حوافه، مع مثبتات مخفية، أو سكك ذات مقطع Z. وهذا يجعل الوصول إلى الحيِّز العلوي أكثر صعوبة أيضاً. أما البديل الذي يوفِّر إطاراً مخفياً فهو استعمال صوانٍ معدنية مطلية، مثقبة غالباً، مع خوابير من الألياف تقمط سكك النوابض الفولاذية.



الشكل 1.30 سقف معلّق.

ومن الممكن إلغاء السكك من خلال جعل الصينية المعدنية على شكل شريط، وحينئذ تمكِّن مقاومة التقوُّس المتكوِّنة في الصينية المعدنية من امتدادها بين الحوامل. ومن الواضح أن هذا يعطي مظهراً للسقف مختلفاً كلياً، ويُعرف غالباً بمنظومة الشرائط الخطية بسبب مظهره العام.

ومن صيغ الأسقف المعلقة الأخرى سقف الشبكة المفتوحة حيث تتكوَّن اللوحات من مقاطع صندوقية عميقة لا توجد فيها حوامل مرئية حين النظر إليها من الأسفل.

الأرضيات المرتفعة

أدت الحاجة المتزايدة إلى خدمات الاتصالات السلكية التي تتوزَّع أسلاكها عبر الأرضيات، خاصة في مكاتب محطات الحواسيب حيث يُحتمل حصول تغييرات في توزُّع التجهيزات، إلى تطوير الأرضيات المرتفعة. وحينئذ استُغِّلت الأرضية المرتفعة في استيعاب خدمات أخرى بدلاً من السقف، خاصة إذا كان جانبه السفلي المكشوف ضرورياً للتصميم الحراري غير النشط. إن من الممكن وضع مجاري هواء وأنابيب ماء وغاز تحت الأرضية المرتفعة إذا كان عمقها كافياً. وبالفعل، فإن استعمال هواء التدفئة والتبريد عند مسستوى الأرضية في منظومات الإزاحة (انظر الفصل 31) يتصف ببعض المزايا من ناحية توفيره لجو حراري مريح. وإذا كان الحيِّز تحت الأرضية محكم السد، أمكن استعماله مجرى للهواء الراجع. لكن مع تزايد سرعات نقل المعلومات بواسطة منظومات الاتصالات اللاسلكية، تناقصت الحاجة إلى الأسلاك. وأدى تناقص الحاجة إلى تحديث الاتصالات الحاسوبية السلكية في أثناء حياة المبنى إلى تناقص الحاجة إلى الأسقف المعلقة والأرضيات المرتفعة.

وعلى غرار الأسقف المعلقة، تعتمد الأرضيات في ارتكازها على بلاطات إنشائية وتوفِّر حيِّزاً تحتها لاستيعاب الخدمات، ولذا ثمة ضرورة لوجود منفذ إلى ذلك الحيِّز. وخلافاً للسقف، تتلقى الأرضية أحمالاً مفروضة كبيرة، وهذا يتطلب تحمُّلاً إنشائياً في بنيتها. وتختلف منظومات الأرضيات تبعاً للأحمال المفروضة المقدَّرة في التصميم، وهذا يؤثِّر في تكاليفها. وتختلف التكلفة أيضاً باختلاف إمكانات الوصول إلى الحيِّز وعمقه تحت الأرضية المرتفعة. ولذا يجب أن يُجرى تحليل مفصَّل لمتطلبات ومزايا الأرضية المرتفعة، وللحاجة إليها من حيث المبدأ.

إذا كان المطلوب هو مجرد توصيلات سلكية لمحطات عمل حاسوبية في مناطق مفتوحة واسعة، فإن من الممكن استعمال مجارٍ ضمن صبة فوق الأرضية. ويمكن شبكة المجاري تلك أن تكون متباعدة بنحو 1500 مم مع وصلات وحفر تسحيب للكبال عند التقاطعات. صحيحٌ أن هذه ليست أرضية مرتفعة بالمعنى الحرفي، إلا أنها توفِّر وظائف الأرضية المرتفعة بتكلفة أقل كثيراً.

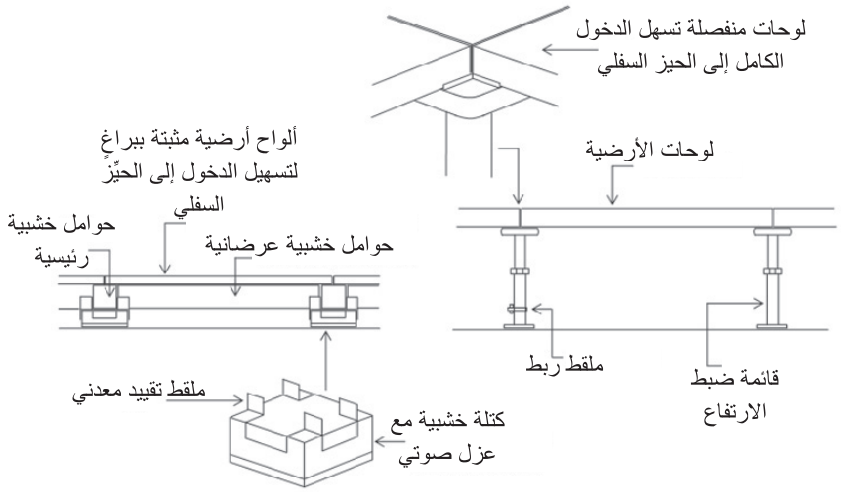
وإذا كانت الأرضيات المرتفعة مرغوب فيها، كان الخيار بين حيِّز ضحل تحتها، يقل عمقه عن 100 مم، أو حيِّز عميق يصل عمقه إلى 300 مم. ويعتمد تحليل الحاجة إلى الدخول إلى الحيِّز على المعدَّل المتوقَّع لتحديث أو تعديل التوصيلات السلكية وللإصلاح الطارئ. وفي كلتا الحالتين سوف يحصل اضطراب في أنشطة المبنى، وتنجم عن ذلك تكلفة تقع على كاهل مستعمل المبنى. لذا، إذا أمكن تخطيط عملية الدخول والحد منها، أمكن الحد من التكلفة.

ومع أن اختيار منظومات الأرضيات يعتمد في المقام الأول على الخدمات التي سوف توضع فيها وعلى الحاجة إلى الوصول إلى تلك الخدمات، فإن ثمة اعتبارات أخرى يجب النظر فيها. فعلى غرار حالة السقف المعلق، ثمة متطلبات ذات صلة بالعزل الصوتي ومقاومة الحريق. فالمشي على الأرضية فوق الفراغ يؤدي إلى توليد وانتقال الضجيج ضمن الغرفة. وهذا يتطلب مستوى معيناً من الجساءة والثقل في الأرضية مع تثبيت ملائم لإبقاء الضجيج عند مستويات مقبولة. وقد يتطلب أيضاً ماصاً للصوت ضمن الحيِّز، وعازلاً له تحت الجدران الفاصلة بين المناطق الحساسة. وإذا كانت بنية الأرضية مرتكزة على وسائد مرنة، أمكن تخفيض انتقال الضجيج عبر البلاطة إلى الحيِّز الذي تحتها. أما في ما يخص مقاومة النار، فيجب أن تُصنع الأرضية من مواد غير قابلة للاشتعال. وعلى غرار الأسقف المعلقة، لا تُسهم الأرضية المعلقة في مقاومة الحريق، بل إن الحيِّز تحتها يمكن أن يوفِّر ممرا للدخان والحرارة والغازات الطيارة، ولذا ثمة حاجة إلى حواجز ضمنه للحد من المنطقة المفتوحة التي يمكن أن توجد فيه.

وثمة تأثير لعملية الإنتاج في اختيار الأرضيات والخدمات. إذ يجب أن تتوافق انحرافات استواء البلاطة الإنشائية مع المنظومة المختارة. فالأرضيات العميقة يمكن أن تتقبل انحرافات أكبر لأن ارتكازها قابل للضبط، أما الأرضيات الضحلة فيمكنها فقط أن تأخذ شكل سطح البلاطة، ولذا قد تتطلب تسميكات تحت نقاط الارتكاز. ويمكن لاختيار المنظومة أن يؤثِّر في تسلسل أعمال التشييد، وفي إمكان عمل

الحرفيين معاً في الآن عينه، بخاصة حين العمل عند مستوى السقف حيث يجب توفير مساعِدات مؤقتة ترتكز على الأرضية.

وتتوافر منظومات ضحلة قائمة على صفائح معدنية ترتكز على عوارض خشبية أفقية، مع خيارات دخول إلى الحيز السفلي، جزئية أو كاملة. وهذه المنظومات مصممة من حيث الجوهر لتمديد الأسلاك، وهي تحتوي على مقابس تغذية كهربائية وعلب لمخارج خطوط البيانات توضع ضمن فتحات في ألواح الأرضية مجهزة لمد السجاد عليها أو أي إنهاء آخر. وتوفِّر الصفائح المعدنية ارتكازاً لألواح أرضيات سماكاتها تساوي 22 مم وتقص وتركَّب بحيث توفِّر المنفذ اللازم للدخول إلى الحيِّز السفلي. وتوفِّر المنظومة الخشبية أرضية عائمة على عوارض أفقية ذات تباعدات تساوي 600 مم وتحمل ألواحاً سماكاتها تساوي 22 مم لتحقيق تحميل خفيف في الأماكن التي لا ضرورة فيها لمقاومة النار. يُري الشكل 2.30 التفاصيل الشائعة لأرضية مرتفعة ذات عوارض أفقية خشبية.



الشكل 2.30 أرضية مرتفعة.

وتُصنع منظومات الأرضيات العميقة التي توضع فيها تمديدات الخدمات من قوائم ارتكاز ولوحات وفق المبيَّن في الشكل 2.30. وهذه منظومات نسائقية يساوي بُعدا اللوحة فيها 600 × 600 مم، وهي توفِّر الدخول التام إلى الحيز السفلي برفع أي لوحة. وتُفتح علب المقابس الكهربائية ومخارج خطوط الاتصالات وفوهات

التهوية في اللوحات. ويمكن استعمال لوحات للتحميل الخفيف أو المتوسط أو الثقيل، ويمكن لسماكة الألواح التركيبية في الإطار المعدني أن تصل حتى 40 مم. وفي حالة الأرضيات التي هي أعمق، يمكن أن تكون ثمة ضرورة لاستعمال ضلوع تشكّل شبكة ارتكاز مستمرة للوحات. والضلوع ضرورية أيضاً لتكوين مجرى للهواء محكم السد في الحيِّز السفلي. وتحتاج المكوِّنات المعدنية إلى وصل مع منظومة الأرضي الكهربائية لحماية القاطنين وعمال الصيانة في حالة حصول تماس بينها وبين خطوط التغذية الكهربائية الساخنة.

جدران التقسيمات الداخلية

تتصف جدران التقسيمات الداخلية بتنوُّع كبير مقارنة بالأسقف والأرضيات، لأنها تشتمل على طيف واسع من الاستعمالات، ومن ظروف الأداء. فيمكن جدران التقسيمات الداخلية أن توفِّر وظائف الجدار كاملة بين الغرف الداخلية ذات الاستعمالات المختلفة، أو أن تكون جدران محدودة الارتفاع ضمن غرف من مثل المراحيض. ويمكن أن تكون قابلة للتحريك والفتح والإغلاق والامتداد على طول خط معين لتكوين غرفة أو أكثر، أو قابلة للنقل إلى أماكن مختلفة لتحقيق تقسيمات مؤقتة. ويمكن أن تكون مختلفة بمظهرها، بوجود تزجيج أو عدمه. وهي تختلف في بنيتها، من جدران لبنات خرسانة أو لوحات بسيطة ذات إنهاءات مطبَّقة عليها محليا، إلى منظومات ألواح تركيبية مسبقة الصنع والإنهاء، أو لوحات مزجَّجة خشبية الوصلات مصنوعة لأغراض خاصة.

وتُعرَّف جدران التقسيمات الداخلية أحياناً بأنها قابلة للفك والتركيب أو قابلة لتغيير موضعها. ففي كثير من المباني التجارية من الضروري أحياناً تغيير ترتيب التقسيمات الداخلية لاستيعاب احتياجات العمل الجديدة وتحقيق متطلبات تشغيلية معينة ورفع كفاءة العمل. وهذه التغييرات ليست قابلة للتنبُّؤ بها إلى حد ما في وقت وضع المواصفات لأنها تعتمد على تغيُّر استعمالات المبنى استجابة للظروف المستقبلية، وحتى لأنماط إشغال أحياز المبنى. أما درجة قابلية الفك والتركيب فتعتمد على معدلات التغيير والتوقُّف عن العمل المقبولة من قبل صاحب العمل في وقت التغيير. يجب أن تسمح منظومات التقسيمات الداخلية القابلة للفك والتركيب بإعادة ترتيب التقسيمات الداخلية من دون الإضرار بمكوِّناتها في أثناء الفك، وبعدم ظهور كثير من الغبار والضجيج في أثناء التركيب، وذلك بغية

تقليص تعطيل أعمال شاغل المبنى. إن عمليات الفك والتركيب غالباً ما تحصل على حساب المظهر ومستويات الأداء، وفي أغلب الأحيان على حساب العزل الصوتي. صحيحٌ أن من الممكن إعادة استعمال جدران التقسيمات الداخلية وفقاً لإجراءات فك وتركيب بسيطة، إلا أن الخدمات والإنهاءات يجب أن تُزال على الأرجح، وأن يجري إصلاحها أو استبدالها، وهذا ما يزيد من مدد التوقُّف عن العمل الناجم عن التغيير مقارنة بحالة تحريك الجدران وحدها.

وعندما تكون أوقات التغيير صعبة التنبُّؤ بها، أو أقل تكراراً، وعندما يمكن تعهيد إعادة التقسيم لمتعهد مستقل مع تمكينه من الوصول إلى المناطق المعنية دون عائق، تصبح الحاجة إلى قابلية الفك وإعادة التركيب أقل، ويصبح من الأفضل استعمال منظومات أرخص يمكن التخلُّص منها في وقت التغيير وتركيب منظومات جديدة عوضاً منها. لكن هذه العملية يمكن أن تسبِّب كثيراً من الغبار والضجيج، وأن تؤدي إلى توقُّف الأعمال في المنطقة المعنية. وهذا يتطلب اتخاذ قرارت هامة من قبل الزبائن من حيث استبدال الجدران أو إعادة استعمالها. ومن الحكمة أيضاً النظر في إمكانات تدوير بعض مواد الجدران المستعملة إذا كانت إعادة استعمال المكوِّنات كاملة غير ممكنة.

لقد أثارت المناقشة السابقة لقابلية الفك وإعادة التركيب مسألة مكاملة الخدمات مع منظومات التقسيمات الداخلية. وهذه مزية هامة أخرى في تلك المنظومات. فقد تكون ثمة ضرورة لاحتواء الخدمات ضمن الجدران أو توضيعها وتثبيتها على سطوحها. من الخدمات الرئيسية التي توضع ضمن الجدران أسلاك الكهرباء التي تصل بين مفاتيح الكهرباء والمصابيح، ومقابس الكهرباء والاتصالات التي تثبَّت على سطوح الجدران. ويمكن استعمال مجاري أسلاك بارتفاع الخصر في المناطق ذات الخدمات الكثيفة، وبذلك لا تبقى أسلاك أو مقابس ضمن الجدران نفسها. وإذا كانت كمية الأسلاك اللازمة قليلة، أمكن تخصيص مجارٍ في الأرضية وأطر الأبواب مع أغطية تسمح بتغيير الأسلاك وتعديلها حين الحاجة. وتختلف منظومات جدران التقسيمات الداخلية من حيث قابليتها للتثبيت عليها ووضع أحمال على تلك المثبِّتات. وإذا كان ذلك غير ممكن، من الضروري وضع قضبان تقوية في مواضع معينة من الجدار، إلا أن ذلك يحد من إمكان إعادة استعمال مكوِّنات الجدار.

لقد ذكرنا سابقاً أن جدران التقسيمات الداخلية تختلف من حيث خواص

مظهرها اختلافاً شديداً. فكثير منها يُصنع من لوحات تُعطيه مظهره. لذا يجب النظر إلى مكوِّنات وصل اللوحات أو شرائط التغطية بوصفها جزءاً من الإنهاء والمظهر المرئي العام. وتوفِّر مستويات التصنيع المسبق المختلفة لمنظومات جدران التقسيمات الداخلية إمكانات استعمال الإنهاءات المسبقة التطبيق في المعمل، لأن هذه المكوِّنات هي من آخر العناصر التي يجب تركيبها في ظروف نظيفة ومحمية نسبياً.

وتختلف منظومات التقسيمات الداخلية في قابليتها لتحقيق مستويات مختلفة من الخصوصية والأمن. يمكن انتهاك الخصوصية أن يحصل بالسمع والرؤية، وهذا ما يتطلب تشكيلات مختلفة من التزجيج ومن قيم التخميد الصوتي. ووفقاً لما أشرنا إليه سابقاً، يعتمد التخميد الصوتي على الإنهاءات في أعلى جدران التقسيمات الداخلية وأسفلها، وعلى الوصلات في ما بين لوحاتها، وعلى خواصها أيضاً. أما وظائف الأمن فتتضمن مقاومة الحريق والاختراق من قبل اللصوص والمجرمين، وهنا ثمة دور هام للإنهاءات الموجودة فوق جدران التقسيمات الداخلية وتحتها، في الأحياز التي تكوِّنها الأسقف المعلقة والأرضيات المرتفعة، في تحقيق تلك الوظائف.

فقد سلطت اعتبارات الأمن والخصوصية الضوء على مسألة ارتفاع جدار التقسيمات الداخلية. ومن الممكن بناء الجدار من البلاطة الإنشائية إلى البلاطة الإنشائية أو من إنهاء الأرضية إلى إنهاء السقف الداخلي. وهذا الخيار على درجة من الأهمية في حالة وجود السقف المعلق والأرضية المرتفعة. فتأثيره لا يقتصر على أداء الجدار الوظيفي فقط، بل يمتد إلى إمكان تثبيته وتحقيق استقراره، وإلى تسلسل أعمال تشييده وتركيب الخدمات والإنهاءات الأخرى عليه أو ضمنه، وإلى إمكان فكه وإعادة تركيبه في التغييرات المستقبلية. ففي كثير من المباني، تختلف متطلبات أداء جدران التقسيمات الداخلية من مكان إلى آخر، ولذا تختلف الحلول الملائمة باختلاف الظروف. وقد يكون من الضروري أن تكون بعض الجدران بارتفاع كامل، ومن أمثلتها جدران الحجرات التي تحد من انتشار النار، أو حيث يجب أن يكون تخميد الصوت شديداً. وقد يكون بعضها مؤقتاً أو ذا متطلبات أداء قليلة، وحينئذ من الأفضل بناؤها من الأرضية حتى الجانب السفلي من إنهاء السقف. وهذا يؤثِّر في اختيار الجدار.

ووفقاً لما أشرنا إليه، ثمة عدد من الخيارات المتوافرة لجدران الغلاف

الداخلي، إلا أنها جميعاً تقوم على بضعة خيارات عامة هي:

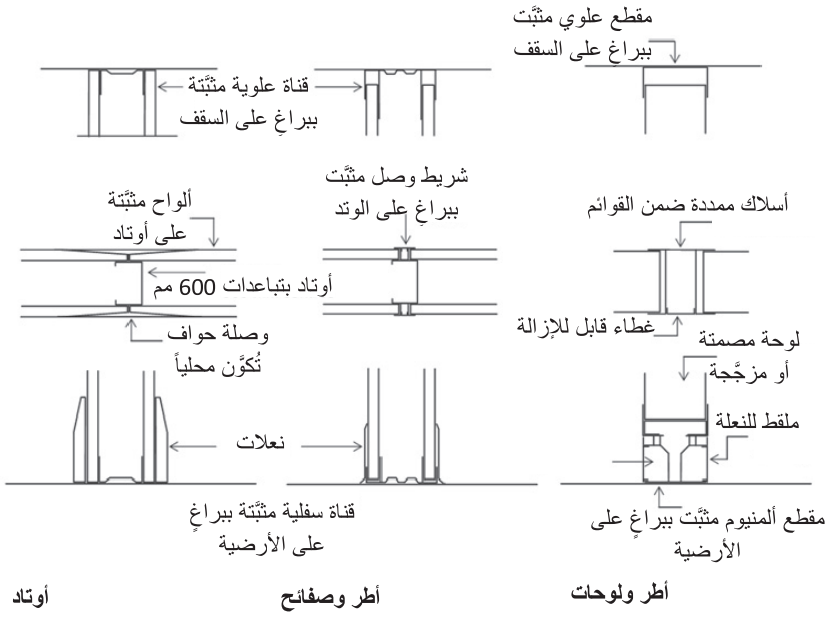
- جدران مبنية من لبنات خرسانية
- جدران من لوحات خشبية معدنية مؤطَّرة
- أطر وصفائح
- أطر ولوحات
- لوحات قابلة للنقل

وتختلف هذه الخيارات في ما بينها بطريقة تحقيقها للمتانة الإنشائية، وبطريقة تثبيتها مع الأرضية والسقف. وتتصف جميعها بمحدودية ارتفاعاتها تبعاً لسماكاتها وطرائق تثبيتها العلوية والسفلية التي يجب أن تُؤخذ في الحسبان في المواصفات.

قدمنا الجدران المبنية من لبنات خرسانية في الفصل 19 حيث جرت مناقشة حلول تشييد المباني المنزلية. لكن المباني التجارية قد تتطلب أداء أعلى، خاصة من حيث مقاومة الحريق، وقد تكون الارتفاعات بين الأرضيات والأسقف فيها أكبر. وكلتا هاتين الصفتين يمكن أن تؤثِّر في المواصفات والتفاصيل النهائية للجدران، إلا أن البنية الأساسية تبقى نفسها. ليست تلك الأنواع من الجدران منظومات كاملة، لأنها تقوم على طرائق التشييد الشائعة وتحتاج إلى إنهاءات تطبَّق عليها محلياً. إلا أنها توفِّر حلاً جيداً حينما تكون متطلبات أدائها عالية، ولا تكون ثمة متطلبات لفكها وإعادة تركيبها. وكثير من جدران الغلاف الداخلي هي جدران دائمة على الأرجح. ومن أمثلتها الجدران التي توجد حول الأدراج والأمكنة ذات الخدمات الكثيرة، مثل غرف معدَّات الخدمات والمراحيض. فمتطلبات أداء هذه الجدران عالية، ومن أمثلة ذلك منع انتشار اللهب السطحي أو مقاومة الإنهاءات للاهتراء. ومن غير المحتمل تغيير الجدران الموجودة حول أماكن أنشطة أساسية من قبيل قاعات الاجتماعات العامة (المدرَّجات) أو مرافق الإنتاج من دون حصول توقُّف طويل للأنشطة القائمة فيها، وقد تكون متطلبات أدائها كثيرة إذا كان الحل الملائم لها هو تشييدها من لبنات أو حتى من خرسانة.

أما الجدران التي تُصنع من الأطر واللوحات، فهي على الأرجح منظومات مؤلَّفة من مكوِّنات تُنتَج في المعامل على شكل نسائق مع مثبِّتاتها ووصلاتها وإنهاءاتها. يتألف الإطار من قوائم بتباعدات تساوي 1200 مم، مع قناتين علوية

وسفلية عادة، وتُثبَّت فيه الوحدات المصنَّعة في المعمل. يُري الشكل 3.30 الصيغة الأساسية لهذه المنظومات المؤطَّرة. وتقوم الوحدات في منظومات الإطار والصفائح على أوتاد تحقِّق المتانة الإنشائية، وتكوِّن صفائح التلبيس وحدات جوفاء تشابه الجدران التي تُصنع من لوحات. وعلى غرار حالة جدران اللوحات، يمكن استيعاب تمديدات الخدمات في الوحدات الجوفاء نفسها، وتثبت بطائن مخمِّدة للصوت على أحد جانبي الفجوة. ويمكن أن يؤثِّر نوع الصفائح وسماكتها وعددها في مقاومة انتشار النار والصوت. أما في منظومات الأطر واللوحات، فتتصف اللوحات بالمتانة الإنشائية الذاتية التي تقوم على نواة مصمتة أو مثقبة كخلية النحل تُثبَّت في الإطار. وتُمرَّر تمديدات الخدمات الآن ضمن القوائم أو ضمن مجرى قناة الأرضية من الإطار. وتتصف اللوحات في هذه المنظومات بالتبادلية مع وحدات مزججة حتى نصف أو كامل ارتفاعها تُصنع عادة من مقاطع ألمنيوم مزجَّجة.



الشكل 3.30 جدران تقسيمات داخلية.

ويُعتمد في منظومات اللوحات غير المؤطرة على المتانة الإنشائية الطبيعية للوحة، وذلك لإلغاء الحاجة إلى أعمدة تشكيل عناصر الأطر في المنظومة. وحينئذ يمكن أن تكون حواف اللوحة مشكَّلة تبعاً لاحتياجات الوصلات في ما بين

اللوحات، وأن تكون ثمة مقامط تثبيت وشرائط تغطية لتكوين تلك الوصلات. إلا أن تمديدات الخدمات عمودياً تصبح هنا أصعب استيعاباً، أما قابلية الفك وإعادة التركيب فغالباً ما تكون سهلة، لأن المثبِّتات تقوم على روافع ترتكز على الأرضية [تشابه رافعة السيارة اليدوية التي تُستعمل حين فك الدواليب]. فهذه الروافع تستوعب الانحرافات وتوفِّر تثبيتاً بالضغط سهل الفك ويُستعمل فيه عدد محدود من المثبِّتات الدائمة التي يمكن إصلاحها حين فكها. إلا أنها تحتاج إلى بنيتي أرضية وسقف ثابتين لتحقيق التثبيت بالضغط. وتعتمد مقاومة النار في هذه المنظومات على إنهاءات الوصلات وعلى مقاومة اللوحة نفسها.

وإذا اتصفت اللوحة بمتانة إنشائية ذاتية، أمكن استعمالها حاجزاً وحدها [من دون تدعيم]، أو موصولة بمفاصل مع رأس وقاعدة مثبتين على سكتين في السقف والأرضية تسهِّلان الطي لتكوين جدران تقسيمات قابلة للحركة. ويمكن أن يكون تحريكها يدوياً، أما الكبيرة منها والثقيلة ذات الأداء العالي فتزوَّد بمحركات.

يجب تقييم المنظومات تبعاً للحاجة إلى توافر المرونة فيها، ولقابليتها لاستيعاب تمديدات الخدمات وتحقيق المظهر، إضافة إلى أدائها من حيث تحقيق الخصوصية والأمن والمتانة الإنشائية. أما الجوانب الإنتاجية التي يجب الاهتمام بها فهي التسامحات وتسلسل عمليات إنتاج تلك المنظومات، مع الأخذ في الحسبان لاحتمال التلف في حالة استعمال وحدات ذاتية الإنهاء، ومن ثَمَّ لضرورة حمايتها في المرحلة الأخيرة من التشييد. وتختلف هذه المنظومات عن بعضها من حيث توضُّع الأبواب والفتحات المزجَّجة فيها وتثبيتها، وقد يكون هذا عاملاً آخر يجب الاهتمام به حين اختيار المنظومة.

الخلاصة

1. تخضع عناصر الغلاف الداخلي لظروف مختلفة على جانبيها، وتوفِّر ارتكازاً للإنهاءات يجعل من مفاهيم بنية الواجهة والقشرة والجدار المادي قابلة للتطبيق على هذه العناصر الداخلية أيضاً.

2. تُعتبر وظائف الخصوصية والأمن من الاهتمامات الرئيسية في عناصر

الغلاف هذه، على أساس أن الرؤية والسمع يمثِّلان العنصرين الأساسيين للخصوصية، في حين أن الحريق والاختراق من قبل اللصوص والمجرمين يمثِّلان العنصرين الرئيسيين للأمن.

3. ثمة حاجة إلى اتصاف عناصر الغلاف الداخلي بالمتانة الإنشائية. وتتوافر هذه المتانة عادة بالبنية نفسها في حالة إنهاءات الأرضية، أما في حالة الجدران فيجب تضمينها فيها.

4. يمكن الإنهاءات الداخلية التي تُنفَّذ محلياً أن تشتمل على مراكمة طبقات انطلاقاً من ركيزة إنشائية، أو على خلفية لسطح توضع عليه الإنهاءات التزيينية.

5. يتدلَّى السقف المعلَّق من بلاطة إنشائية، وهو يمثِّل إطارَ ارتكاز للوحات والأشياء الخفيفة الأخرى التي تُعلَّق عليه، وربما لوسائل الخدمات التي من مثل فتحات التهوية. ويُستعمل الحيِّز المتكوِّن فوق السقف الداخلي عادة لتمرير تمديدات الخدمات، ولذا يجب أن يكون ثمة مدخل له.

6. يجب الاهتمام بمقاومة انتشار النار والصوت في حيِّز السقف، خاصة إذا كانت جدران التقسيمات الداخلية مثبتة على الجانب السفلي من السقف.

7. توفِّر الأرضية المرتفعة حيِّزاً لتمديدات الخدمات فوق البلاطة الإنشائية. لذا يجب تصميمها بحيث تتقبَّل أحمالاً مفروضة، مع توفير مدخل إلى الحيِّز الذي تحتها. ويجب الاهتمام بمقاومة انتشار الصوت والنار في ذلك الحيِّز.

8. ثمة أهمية لعمق الحيِّز في طريقة تشييد الأرضية المرتفعة، وهذا ما يؤدي إلى التمييز بين الأرضيات الضحلة والأرضيات العميقة.

9. ثمة طيف من صيغ جدران التقسيمات الداخلية، يمتد من جدران لبنات الخرسانة حتى اللوحات المؤقتة القابلة للتحريك.

10. قد يكون من الضروري تزجيج جدران التقسيمات الداخلية وتضمين تمديدات الخدمات فيها.

11. تُعتبر قابلية الفك وإعادة التركيب، وقابلية تغيير الموضع، من خصائص التقسيمات الداخلية للمباني التجارية، ويُقصد بهما إمكان تفكيك الجدار وإعادة استعمال مكوِّناته في مكان آخر. وقد يشتمل تغيير الموضع أيضاً على الخدمات، ويمكن أن يتطلب إصلاح المثبِّتات أيضاً.

12. توفِّر جدران اللبنات الخرسانية وجدران اللوحات أداء جيداً، إلا أنها

تتطلب إيقاف العمل في المكان حين إزالتها، ولا توجد إمكانات فعلية لإعادة استعمالها أو استعمال موادها.

13. تتوافر لمنظومات اللوحات الخشبية المؤطرة وغير المؤطرة وصلات ومثبِّتات تسهِّل التغييرات الخاصة بالخدمات وإعادة استعمال المواد والمكوِّنات، والتصنيع المسبق والتركيب السريع. وتتجلى طبيعة الإطار واللوحة بوضوح في مظهر الجدار.

الفصل الحادي والثلاثون

أنواع الخدمات وأمكنتها

نقدِّم في هذا الفصل عنصر الخدمات في المباني التجارية. إلا أننا لن نقدِّم وصف المنظومات الهندسي وتفصيلاتها التي يمكن أن تظهر في التصميم التفصيلي، بل الجوانب التي يجب الاهتمام بها في المراحل المبكرة من التصميم. في البداية، هذا يشتمل على تحديد طيف الخدمات التي ثمة حاجة إليها في المبنى. بعدئذ يجب تحديد المكان الذي يمكن أن توضع فيه المعدات والتجهيزات ومنظومات توزيع الخدمات بغية مكاملتها مع البنية والغلاف والحيِّز القابل للاستعمال.

تقديم

ليس من مقاصد هذا الكتاب تقديم أي تصميم هندسي أو مزيد من المعلومات عن منظومات وتجهيزات الخدمات في المبنى التجاري. وليس من اهتماماته وصف خدمات المباني التجارية بالتفاصيل التي وردت للمباني المنزلية في الفصل 21. فمتطلبات أداء خدمات المباني التجارية مشابهة كثيرة لتلك الخاصة بالحلول الشائعة في المباني المنزلية المذكورة في الفصل 21. وباستثناء إمكان اختلاف مقاسات مرجل ومشعات التدفئة المركزية، وبعض منظومات الطاقة المنخفضة الجديدة التي لم تظهر حلول عامة لها حتى الآن، فإن من غير المحتمل إدخال تعديلات حسابية عند استخدام خدمات المباني المنزلية.

إن كثيراً من الأفكار التي قُدِّمت في الفصل 21 يشابه تلك الخاصة بالمباني التجارية، إلا أن ما يختلف هو أنواع الخدمات التي يجب تضمينها في المبنى، والطريقة التي تؤثِّر بها في تخصيص الأمكن لها وبتشكيلات توضيعها في غرف المباني التجارية. وهذه هي الجوانب التي سوف نستقصيها في هذا الفصل.

أنواع الخدمات

يمكن أن تكون أنواع لخدمات في المباني التجارية أوسع من خدمات المباني المنزلية. إن التصاميم غير النشطة تقلِّص الحاجة إلى خدمات التدفئة والتهوية المعتادة، في حين أن خدمات الاتصالات والأمن آخذة في التزايد. ويتجلى ذلك بتقلُّص التمديدات ذات المجاري وبزيادة التمديدات السلكية. إلا أن تطوُّر منظومات الاتصالات اللاسلكية بين تجهيزات السيطرة [والحواسيب] قد يعكس هذا التوجُّه في الاتصالات السلكية في المستقبل أيضاً.

ثمة كثير من طرائق تصنيف الخدمات في فئات لها فائدة في مراحل التصميم المختلفة. فمن التصنيفات المذكورة في الفقرة السابقة منظومات توزيع الخدمات بواسطة المجاري والأنابيب والأسلاك، وتلك التي تميِّز أنابيب الإمداد من أنابيب الصرف الصحي التي يجب توضيعها مائلة، وتلك التي تميِّز أسلاك التغذية الكهربائية من أسلاك المعلومات، لأن أسلاك التغذية الكهربائية تمثِّل مصدر خطر يهدِّد سلامة الأشخاص ويمكن أن يؤدي إلى نشوب حريق في المبنى. ووفقاً لما ورد في الفصل 15 عن الاستدامة، تُعتبر الخدمات المستهلكة للطاقة فئة يجدر تحرِّيها أيضاً.

يُري الجدول 1.31 فئات الخدمات التي سوف نتحرَّاها في هذا الفصل. الأولى هي فئة الخدمات البيئية التي تتضمن التدفئة والتهوية وتطورها إلى خدمات تكييف للهواء ـ والإضاءة، وهي الخدمات التي تُسهم مباشرة في الظروف البيئية الداخلية. وتتعلق هذه الخدمات براحة القاطنين وتُسهم في تكوين جو صحي ضمن المبنى. وثمة ما اعتُبر أكثر التصاقاً بالظروف البيئية الصحية، أو ما يُسمى خدمات الصحة العامة، وهي شبكة الإمداد بالماء وشبكة الصرف الصحي.

الجدول 1.31 طيف خدمات المباني التجارية

فئة الخدمة	الخدمة
بيئية	تدفئة
	تهوية
	تكييف هواء
	إضاءة

صحة عامة	شبكة ماء عذب مجاري صرف صحي
تغذية بالطاقة	طاقة كهربائية غاز
أمن	كشف الحريق والإنذار منه مكافحة الحريق كشف الاختراق من غرباء والإنذار منه التحكُّم في السماح بالدخول
تشغيل	اتصالات حركة الناس تخصُّصي (غازات طبية مثلاً)

تحتاج الخدمات البيئية وكثير من التجهيزات العاملة في المباني التجارية إلى طاقة، هي الكهرباء عادة التي توزَّع على نطاق واسع في المبنى، والغاز الذي يُستعمل، في بعض الأماكن في المبنى، في التسخين والتدفئة والطبخ. ومن منظومات الطاقة البيئية منظومات توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، ومنظومات ضخ الحرارة [من الخارج إلى الداخل]، والوقود الحيوي.

أما منظومات الأمن فهي من سمات المباني التجارية غالباً، ووظيفتها المساعدة في تكوين بيئة آمنة، ومنها كشف الحريق والإنذار منه، وهذا ما يتطلبه القانون، وكشف الاختراق من قبل الغرباء والإنذار منه والتحكم فيه، وفقاً لما يعتبره مشغِّل المبنى ضرورياً. ويمكن أن تتضمن منظومات الأمن أيضاً مرذاذات ماء لمكافحة الحريق، إضافة إلى بكرات خراطيم وأنابيب ضخ ماء إلى الأعلى.

وتتضمن فئة الخدمات الأخيرة الخدمات التشغيلية الضرورية لدعم الأنشطة القائمة في المبنى. وهذه هي خدمات الاتصالات التي يسود فيها اليوم استعمال الحواسيب وشبكات الاتصالات، والخدمات المتعلقة بحركة الناس، ومنها المصاعد والأدراج المتحركة، وخدمات الأبواب التي تُفتح وتُغلق آلياً، والمنظومات الخاصة بدخول وخروج ذوي الإعاقة البدنية. وتتطلَّب بعض الأبنية، التي من مثل المستشفيات التي تحصل فيها أنشطة معينة، خدمات متخصِّصة، ومنها منظومات توزيع الغازات الطبية ومنظومات تداول النفايات.

لذا من الضروري تحديد الخدمات المطلوبة مع الحيِّز المكاني اللازم لها في مرحلة مبكرة من التصميم. ويجب وضع بعض التقديرات لأنواع وحجوم التجهيزات ومنظومات التوزيع المقترنة بها لضمان توافر المكان الملائم لها. ومن خصائص تلك الخدمات أنها تتضمن أجزاء متحركة ويمكن أن تنطوي على مخاطر نتيجة لتعطُّلها أو إساءة استعمالها. وفي حين أن لتلك التجهيزات مخارج ومفاتيح تحكُّم يدوي يجب أن تكون في متناول المستعمل، فإن كثيراً منها ومن منظومات التوزيع يجب أن يكون مخفياً وأن يكون الوصول إليه مقتصراً على الأشخاص المؤهَّلين فقط. يُضاف إلى ذلك أن بعض المعدات يُصدِر ضجيجاً، وهذا يؤثِّر في اختيار أمكنتها بالنسبة إلى الأنشطة الأخرى في المبنى. وتجب مكاملة الترتيبات المكانية لمكوِّنات هذه الخدمات ضمن التوزُّعات المكانية للمبنى في نفس وقت تنظيم الغرف والممرات وما شابهها بغية تحقيق أفضل تلاؤم مع أنشطة المستعملين.

ومن القرارات التي يجب اتخاذها في مرحلة مبكرة من التصميم مستوى منظومات إدارة المبنى التي يجب توفيرها فيه. ومن تلك المنظومات منظومة الإدارة الحاسوبية التي يمكن أن تحقِّق عدداً من الوظائف. فهي يمكن أن تأخذ معلومات من محساسات وأن تشغِّل خدمات بوصفها جزءاً من عملية التحكُّم. ويقترن هذا غالباً بالخدمات ذات الاستهلاك الكبير للطاقة، ومنها منظومات التدفئة والإضاءة والتهوية وتكييف الهواء، وحينئذ تُدعى تلك المنظومات بمنظومات إدارة طاقة المبنى. فهي تمكِّن من التحكُّم المركزي في تشغيل وإيقاف تجهيزات تلك الخدمات محلياً، وحتى من بُعد عبر الإنترنت. وهي توفِّر معلومات تُستمدُّ من أجهزة قياس لاتخاذات قرارات فورية بشأن التشغيل، أو لاستعمالها لاحقاً في أعمال التخطيط والإدارة. ويمكنها أيضاً مراقبة سلوك المستعملين لتوفير معلومات عن استجاباتهم بغية جعل استعمالهم للمبنى أكفأ ما يمكن. تُدعى هذه المنظومات بمنظومات معلومات إدارة المبنى. فمهما كان مستوى الإدارة المطلوب، يجب تزويد المبنى بمحساسات وأجهزة قياس ووسائل نقل وجمع للمعلومات، لأن تلك الوسائل أصبحت خدمات بحد ذاتها. يُضاف إلى ذلك أن هذه الخدمات تحتاج إلى تمديد أسلاك، مع أنه أصبح من الممكن استعمال منظومات اتصال لاسلكية.

[متطلبات الخدمات من] الأمكنة والمساحات

يمكن أن تكون ثمة خيارات مختلفة لتلك الخدمات، إلا أن كلاً منها يتصف بسمات معينة تحدِّد توضُّعاته ومتطلباته من المساحات والأمكنة ضمن المبنى.

وتعتمد تلك المتطلبات على القرارات التي يجب اتخاذها بشأن منظومات الخدمات التي عُرِّفت في الفصل 10. وتقوم قرارات المساحات والتوضُّعات المكانية تلك على ما يلي:

- المخارج التي يحتاج إليها مستعملو الخدمة
- شبكة توزيع الخدمة
- أنواع وأعداد المعدات والتجهيزات الخاصة بالخدمة
- مداخل (ومخارج) المبنى
- تجهيزات التحكُّم في الخدمة
- منافذ الصيانة

يجب اختيار موضع كل جزء من أجزاء الخدمات، ومساحة المكان الذي سوف تُشغله، والمنافذ التي سوف تُستعمل لصيانتها واستبدالها. وهذا يتطلب فهم الكيفية التي يتفاعل بها المستعمل والمشغِّل مع الخدمة، إضافة إلى معرفة الخدمة نفسها من حيث طريقة عملها ومقاسات وخصائص أجزائها.

يمكن أن تكون مساحة الحيِّز اللازم للخدمات في المباني الصغيرة ذات التصميم غير النشط محدودة بما لا يتجاوز 4٪ من المساحة الطابقية الكلية للمبنى، في حين أن تلك النسبة تصل في المكاتب المزوَّدة بمكيِّفات هواء حتى 9٪. وفي المباني ذات الخدمات الكثيفة، مثل المراكز الرياضية التي تحتوي على مسابح، يمكن أن تكون تلك النسبة بين 20٪ و 30٪.

الخدمات البيئية

التدفئة

توجد خيارات كثيرة لتحقيق متطلبات التدفئة النشطة في المباني التجارية بما في ذلك احتياجاتها من المساحات. فالمنظومات المركزية يمكن أن تكون مشابهة لتلك الواردة في الفصل 21 الخاصة بالمباني المنزلية، والتي تتكوَّن من مراجل وأنابيب ومشعات. وقد تكون جزءاً من منظومة تكييف هواء شاملة تُبرِّد وتتحكَّم في الرطوبة في الصيف، وتُدفِّئ في الشتاء، حيث يجري تكييف الهواء ضمن وحدة

معالجة مركزية كبيرة، ويوزَّع ضمن مجاري هواء وعبر فتحات تهوية في الغرف، ثم يُعاد إلى الوحدة المركزية. من ناحية أخرى، جعل التصميم غير النشط منظومات تكييف الهواء الكبيرة غير ضرورية، إلا أن بعض التدفئة في الشتاء يبقى ضرورياً في المباني التجارية، علاوة على أنه يمكن استعمال منظومات منخفضة نسبة انبعاث الكربون لتكميل التبريد غير النشط في الصيف.

ولكل من منظومات التدفئة احتياجاته من الأمكنة الضرورية لمعداته وتجهيزاته. توضع وحدة معالجة الهواء الخاصة بمنظومة تكييف الهواء على سطح المبنى عادة حيث يتوافر كثير من الهواء النقي لأخذه إلى الداخل، وحيث يمكن تصريف الهواء الفاسد. أما في ما يخص مضخات الحرارة التي تستجر حرارة من منبع أرضي، فيجب أن تكون غرفة التجهيزات في الطابق الأرضي. حتى إن أفضل مكان لأكثر وحدات التدفئة شيوعاً التي تستعمل وقودا قائما على مركبات الكربون هو الطابق الأرضي. وقد كان الأمر كذلك في الأصل بسبب وزن المرجل ومخاطر الحريق، إلا أن ذلك كان أيضاً مفيداً من حيث تنفيذ وصلات الوقود والتمكين من الصيانة وجعل الاستبدال في المستقبل سهلاً. وما زال هذا صحيحاً بالنسبة إلى مراجل الوقود الحيوي التي تتطلب توريداً وخزناً للوقود الحيوي [لا توجد حتى الآن شبكات لتوزيع هذا الوقود كشبكات الغاز]. وحتى في منظومة تكييف الهواء التي تتضمن وشائع تدفئة ضمن وحدة معالجة الهواء التي توضع على سطح المبنى، فإن المرجل يوضع في الطابق الأرضي، وتُنقل الحرارة إلى السطح عبر أنابيب ماء. وقد ظهرت أيضاً مراجل قلَّصت سعاتها الصغيرة للماء أوزانها وجعلت من وضعها على السطح ممكناً. وأصبحت المراجل المعهودة أصغر، وهذا ما مكَّن من تصغير حجوم غرف التجهيزات، إلا أن بعض مصادر التسخين المنخفضة انبعاث الكربون ما زالت تحتاج إلى مساحات كبيرة لوضع المبادلات الحرارية فيها.

لقد قدَّمنا في الفقرة السابقة خيارين لمنظومات تدفئة مركزية فقط، ولم يكن ذلك بسبب شيوعهما أو كفاءتهما، بل لتوضيح اختلافات الاحتياجات المكانية للمنظومات المختلفة. فهما تنطويان على اختلافات في مخارج المستعمل (المشعات وفتحات التهوية)، وفي نوع شبكة التوزيع (مجاري أو أنابيب)، ومقاس وموضع وحدات معالجة الهواء والماء (على السطح أو في الطابق الأرضي) وموضع دخول الهواء أو الماء إلى المبنى (السطح أو الطابق الأرضي أم كليهما). وثمة في منظومات التدفئة الأخرى تشكيلات مختلفة من مواضع ومقاسات

تجهيزات معالجة الهواء وشبكات التوزيع. لذا يجب تصوُّر هذه الاختلافات وفهمها في مرحلة مبكرة من تصميم المبنى بغية وضع تفاصيل الخدمات وخصائصها العملياتية على نحو اقتصادي وفعاَّل.

وتختلف منظومات التدفئة تبعاً لطريقة إيصال الدِّفء إلى الغرف والآلية المتوقَّعة لتوزيعه توزيعاً متجانساً فيها ما أمكن، إضافة إلى توفير مسار لعودة الهواء، وخاصة في حالة الرغبة في استعادة الحرارة منه قبل تصريفه إلى الخارج. وفي حين أنه توجد في بعض منظومات التدفئة مركِّبة إشعاعية تدفِّئ القاطنين (والأشياء الأخرى التي تصبح مسخَّنات بالحَمل)، فإن معظم المنظومات المستعملة في المباني التجارية تعتمد على حركة الهواء في الغرفة لتوزيع الحرارة فيها. وهذا يجعل دخول الحرارة عند مستوى الأرضية، أو عند مستوى منخفض على الأقل، مفضلاً. ويتحقَّق ذلك بالتدفئة تحت الأرضية، والمسخِّنات الخطية على الجوانب السفلية من الجدران، والمشعات (التي تتصف بمفعول الحمل الحراري في المقام الرئيسي) التي توضَّع على محيط الغرفة. وعندما تقوم التدفئة على الهواء الساخن، يكون دخوله غالباً عند مستوى عالٍ بسرعة تعزِّز توزيعه في الغرفة. أما في المنظومات التي تحصل فيها إزاحة للهواء وتكون سرعة دخول الهواء منخفضة، فيجب إدخال الهواء عند مستويات منخفضة، وحينئذ تؤثِّر مواقع الدخول تلك كثيراً في تصميم شبكة توزيع الهواء.

وسواء أكان توزيع الحرارة بماء ساخن عبر أنابيب، أم بهواء دافئ عبر مجارٍ، فإن شبكة التوزيع في هذه المنظومات المركزية تنتشر في جميع أرجاء المبنى، ويجب إيصالها إلى جميع الغرف، ولذا تتطلب نشراً أفقياً وعمودياً. وفي حين أن التوزيع الشامل، هو نفسه في حالتي الأنابيب والمجاري، فإن الحيِّزين المكانيين اللازمين لهما يختلفان لأن المجاري أكبر كثيراً من الأنابيب. فكمية الحرارة التي يمكن حملها بحجم من الماء أكبر من تلك التي يحملها الحجم نفسه من الهواء، فضلاً عن أن المنظومة تتطلب أن تكون درجة حرارة الماء أعلى من درجة حرارة الهواء، وهذا ما يجعل أنابيب الماء أصغر كثيراً من المجاري التي تحمل كمية الحرارة نفسها.

وثمة حاجة إلى مناور عمودية في المباني المتعددة الطوابق لتمديد الأنابيب ومجاري الهواء عبرها إلى الطوابق المختلفة. وتعتمد مقاسات تلك المناور على نوع منظومة التوزيع وعلى المساحة الطابقية التي يخدمها كل منور. وثمة حاجة إلى

منافذ إلى تلك المناور لأغراض الصيانة عند كل طابق، وهذه تنطوي على مخاطر انتشار الحريق، ولذا يجب أن تكون إنهاءاتها منيعة على النار، خاصة عند الفتحات حيث يبدأ التوزيع الأفقي لتمديدات الخدمات في الطوابق. وهذا يؤثِّر في مواصفات باب المنفذ وفي عوائق النار حول التمديدات.

أما التوزيع الأفقي فيتَّخذ أنماطاً مختلفة. من منظومات المحيط، ووفقاً لما يوحي به اسمها، تتألف من دارات تخدم جوانب الغرفة، في حين أن الأنماط المتفرعة تسمح بالتوزيع حتى وسطها. وتتأثَّر تلك الأنماط في التحكُّم المناطقي حيث تؤثِّر الدارات ومواضع المناور العمودية في التوزيع الفعلي لشبكة التمديدات اللازمة وفي مقاساتها.

والسؤالان الآخران المتعلقان بالتوزيع الأفقي هما عن وضع التمديدات تحت البلاطة الإنشائية أو فوقها، وعن كونها مخفية أو مكشوفة. في ما يخص التمديدات المخفية تحت البلاطة فتسير عادة متدلِّية منها فوق السقف المعلَّق. ويتحقَّق الوصول إليها عادة برفع لوحات السقف. أما التمديدات المخفية فوق البلاطة فتغطى بصبة الأرضية أو توضع في الحيِّز المتكوِّن تحت الأرضية المرتفعة. أما تفاصيل السقف المعلق والأرضية المرتفعة فهي معطاة في الفصل 30. وفي ما يخص التمديدات المكشوفة، فيمكن أن تسير عند مستوى نعلات الجدران، أو أن تتدلَّى من البلاطة الإنشائية. وحينئذ يتأثَّر اختيار إحدى الطريقتين بقرارات التصميم غير النشط، حيث يصبح السطح السفلي المكشوف من البلاطة جزءاً من آلية التحكُّم في درجة الحرارة في الصيف بخزنه للحرارة نهاراً وتصريفها ليلاً. في هذه الحالة، لا يمكن استعمال الأسقف المعلقة لإخفاء التمديدات، وتؤثِّر التمديدات المتدلِّية من السقف في تدفق الهواء على السطح السفلي من البلاطة وفي كفاءة تصريف الحرارة ليلاً.

وفي الطرف الآخر من شبكة التوزيع، يوجد المرجل أو المبادل الحراري، تبعاً لمصدر التسخين الآتي إلى المبنى من الخارج والذي يمكن أن يكون وقوداً أو حرارة. لذا يُعتبر المرجل أو المبادل جزءاً هاماً من وحدة التسخين التي يجب أن توضع في غرفة مُعدَّات يجب أن تكون محمية ولا يدخلها سوى أفراد الصيانة. وتحتوي غرفة المعدَّات أيضاً على مضخات تضخ الحرارة، التي يحملها ماء ساخن، عبر أنابيب عادة إلى مشعات أو إلى مكافئاتها في الغرف، أو إلى وحدة معالجة هواء إذا كان توزيع الحرارة يحصل بواسطة هواء ينتقل عبر مجارٍ.

وتُستعمل غرفة المعدَّات أيضاً لخدمات أخرى، منها سخَّان منظومة ماء المبنى الساخن.

وتحتاج وحدة التسخين إلى جلب الوقود أو الحرارة إليها، ويحصل ذلك عند مستوى الأرض على الأرجح، ويفضَّل أن يحصل إدخالهما إلى غرفة المعدَّات مباشرة. وفي حالة حرق وقود في المرجل، ثمة ضرورة لوجود مدخنة. وحينئذ، يجب مدُّ المدخنة إلى مستوى أعلى من سطح المبنى، ولذا تحتاج إلى حيِّز عمودي يصل إلى السطح. وباستعمال مراجل ذات كفاءة حرق عالية، لا تكون غازات الاحتراق مفرطة السخونة، ولذا تتكاثف غمامة في الهواء البارد عند فوهة المدخنة، وتزداد إمكانات التكاثف ضمن المدخنة. لذا يجب توفير وسيلة في غرفة المعدَّات لإزالة المتكاثفات.

وفي حالة جلب الحرارة إلى المبنى، يجب أن تكون غرفة المعدَّات قابلة لاستيعاب مبادلات حرارية. يمكن جلب الحرارة إلى المبنى كماء ساخن من مرجل مركزي أو من محطة تسخين ماء وتوليد طاقة كهربائية مشترَكة. توفِّر هذه المنظومات حرارة كافية لتحقيق تدفق حراري محمول على وسط التوزيع، وهو الماء عادة، يُشغِّل المشعات المألوفة. أما حين ضخ الحرارة من مصادر تسخين، من الأرض مثلاً، حيث يكون التدفُّق الحراري الممكن ضعيفاً، لا يكون استعمال المشعات فعالاً إلا إذا كانت كبيرة. لذا فإن التسخين الضعيف التدفُّق يلائم التدفئة تحت الأرضية على نحو أفضل، حيث توفِّر مساحة الأرضية الكبيرة الحرارة الصاعدة الدافئة بيئة مريحة. حينئذ، وبوجود عزل جيد تحت الطوابق الأرضية، وبتوافر كتلة حرارية كبيرة في الأرضية، يمكن التحكُّم جيداً في درجة الحرارة الداخلية، حتى بوجود تغيُّرات كبيرة في درجات الحرارة الخارجية. ويمكن الحصول على الحرارة أيضاً بضخها من الهواء باستعمال مبادل يوضع في الغرفة ويُدفِّئ الهواء مباشرة. وثمة مناقشة لهذا النوع من التدفئة في المقطع الخاص بالتهوية وتكييف الهواء الوارد لاحقاً. في هذه المنظومة، يمكن عكس الوظيفة لتصبح تبريداً في الصيف.

إلى جانب فهم أجزاء منظومة التدفئة نفسها، من الضروري فهم كيفية التحكُّم فيها. وهذا يعتمد على نوع المنظومة وعلى خطة تدفئة المبنى. فمن المعتاد تجزئة المبنى التجاري إلى أقسام تُدفَّأ منفصلة حيث يوجد لكل منها محساساتها

وصماماتها التي تتحكَّم في تدفئتها. فالأقسام المصممة لأنشطة مختلفة تحتاج إلى ظروف حرارية خاصة بها، ولذا يجب التحكُّم فيها على نحو مستقل. وإذا كانت مناطق كبيرة من المبنى تحتوي على أنشطة متماثلة، من مثل أنشطة المكاتب، استُعمل التحكُّم على أساس الطابق أو اتجاه الواجهة، شمالاً أو جنوباً.

وقد تكون ثمة حاجة إلى ربط المحساسات مع مفاتيح الفصل والوصل الكهربائي أو التوجيه الميكانيكي. وهذا يتطلب تمديد أسلاك كهربائية. ويمكن ربط المحساسات أيضاً مع حاسوب مركزي بغية إدارة تدفئة المبنى بأسره وتوفير معلومات عن استهلاك الطاقة فيه. ويمكن أن تصبح منظومة الأسلاك جزءاً هاماً من منظومة التدفئة.

وتحتاج تلك المنظومات إلى اختبار. وتحصل هذه العملية بعد تركيب جميع مكوِّنات منظومات التحكُّم والإدارة ووضعها في حالة تشغيل كامل. وهذا ليس لاختبار عمل أجزاء منظومة التدفئة واستجابتها للمحساسات فقط، بل لضبط وموازنة التدفقات الحرارية في مكوِّناتها وضمان أن كل مشع حراري يحصل على حصته من وسط التوزيع، سواء أكان ماء أم هواء. ويُجرى ذلك في البداية عندما يكون المبنى شاغراً، وذلك لتصحيح الانحرافات الكبيرة، ثم يُكرَّر حين البدء باستعمال المبنى وتشغيل التدفئة على مدى دورة كاملة. وثمة حاجة أيضاً إلى فحص التدفقات وضبط صمامات الماء أو مخمِّدات سرعة الهواء على مدى الأشهر الأولى من استعمال المبنى.

تتألَّف المنظومات التي ناقشناها آنفاً من مراجل تسخين مركزية موصولة مع مشعات حرارية بواسطة شبكة توزيع. إلا أنه يمكن التسخين أن يكون مباشراً أو محلياً أيضاً. حينئذ، يوزَّع الوقود أو الطاقة على المشعات مباشرة. وفي المنظومات المنزلية، يمكن أن يكون ثمة سخان كهربائي يعمل بالحَمل الحراري أو بمروحة لتوفير تدفئة فورية. ويمكن خزن الحرارة بالاستفادة من تعرفة الكهرباء المخفَّضة في أوقات الاستهلاك القليل، لإطلاقها في النهار في أثناء فترة التدفئة. ويمكن استعمال مدافئ الغاز والوقود الصلب التي تحتاج إلى إمداد مستمر بالوقود. وفي حالة البناء التجاري، قد تكون هذه المنظومات حلاً مفضلاً للمباني الصناعية الكبيرة مقارنة بمباني المكاتب، إلا إذا كانت ثمة احتياجات موضعية في مبانٍ ذات تصميم غير نشط. وفي المباني الصناعية، يمكن مدافئ كبيرة مستقلة متوضعة على الأرضية

وتعمل بالهواء الساخن أن تدفِّئ مناطق واسعة، إلا أنها تُصدِر ضجيجاً لأنها تعتمد على حراقات كبيرة السعة ومراوح لضخ الهواء إلى الداخل بسرعات كبيرة نسبياً. أو يمكن تركيب مسخنات إشعاعية بدرجات حرارة سطحية مرتفعة عند مستوى عالٍ حيث يكون الأشخاص على خط نظر معها. وهذه المشعات هادئة نسبياً إذا كانت تحرق غازاً، وصامتة إذا كانت كهربائية. وتُستعمل هذه المنظومات غالباً حيث يتطلب الاستعمال المتقطِّع فترات تسخين أولي محدودة أو معدومة.

التهوية وتكييف الهواء

جرى تقديم التهوية وتكييف الهواء ضمن مناقشة التدفئة، مع تحديد كثير من القضايا ذات الصلة بالمعدَّات وشبكات التوزيع الخاصة بوحدة معالجة الهواء والمجاري. وفي المباني التي تقوم على مبادئ التصميم غير النشط التي قُدِّمت في الفصل 15، تحتاج بضعة أمكنة، من مثل المطابخ والمراحيض، إلى تهوية، ولا تحتاج إلى تكييف أو تبريد في بريطانيا سوى الأمكنة التي لا مفر من ارتفاع درجة الحرارة فيها. لذا، لا توجد في هذه المباني حاجة إلى منظومات مجاري هواء موزَّعة على نطاق واسع، بل تكفي أي منظومة مخصَّصة لأماكن، من مثل المطابخ، أو منظومة مخصصة لسحب الهواء من المراحيض متكررة عمودياً في كل طابق (انظر المقطع الخاص بالخدمات العمومية لاحقاً). أما فتحات التصريف من منظومات التهوية تلك فتوجد عادة في أعلى المبنى، لأنه يُفترض أن الهواء المصرَّف قد يكون غير مستساغ. وتوجد حاجة إلى مراوح أيضاً لسحب الهواء من الغرف. إلا أن هذه المراوح يمكن أن تُصدِر ضجيجاً وتُحدِث اهتزازات، ولذا يجب وضعها بعيداً من المناطق الحساسة للضجيج.

وفي ما يخص المباني التي يصعب تطبيق مبادئ التصميم غير النشط فيها، يجب النظر في استعمال منظومات تهوية ميكانيكية [مراوح]، مع بعض التبريد المريح أو تكييف الهواء، لتخديم بعض أو كل الأمكنة العامة في المبنى. ويجب تأكيد تحديد ذلك في مرحلة مبكرة من التصميم بحيث تُمكن مراجعة تشكيلة المبنى بأسره لرؤية إن كان من الممكن تقليص الكسب الحراري أو استعمال التهوية الطبيعية قبل اعتماد منظومة التهوية الميكانيكية.

ويمزج في منظومة تكييف الهواء الشامل هواء نقي وارد من الخارج مع هواء داخلي راجع، ويُرشَّح المزيج وتُضبط رطوبته، إضافة إلى تبريده أو تسخينه.

وتكيِّف المنظومات المركزية الهواء بواسطة وحدات معالجة كبيرة توضع عادة على سطح المبنى (وفقاً لما ذُكِر في المقطع السابق الخاص بالتدفئة). وتوضع وشائع التبريد والتدفئة ضمن تيار الهواء الرئيسي في وحدة معالجة الهواء الرئيسية مع المرشِّحات ووسائل التحكُّم في الرطوبة، وتُبرَّد أو تُسخَّن بتمرير ماء بارد أو ساخن فيها. ثم يُدفع الهواء المكيَّف في المجاري إلى الغرف عبر فتحات توزيع الهواء في السقف أو الجدران، أو حتى عند مستوى الأرضيات. إلا أنه يجب الحد من سرعة الهواء كي لا تُزعج الأشخاص الذين يمكن أن يكونوا قريبين من تلك الفتحات. ويُسحب الهواء الراجع عبر فتحات في مجارٍ تُعيد الهواء إلى وحدة المعالجة الرئيسية حيث يُمزج جزء منه مع هواء نقي قبل إعادة المزيج إلى مجاري التوزيع. ويمكن استرجاع الحرارة من الهواء المصرَّف بواسطة مبادل حراري يوضع في مجاري ذلك الهواء. ويُدفع الهواء في منظومة المجاري بواسطة مراوح توضع في منظومة معالجة الهواء.

ويمكن أن يوفِّر تصميم فتحات توزيع الهواء في الغرفة تحكُّماً موضعياً في تدفق الهواء. تُستعمل الفتحات البسيطة في الأماكن الواسعة المساحة التي تُعتبر منطقة واحدة. وحينئذ يجري ضبط المروحة المركزية ووشائع التبريد أو التسخين ومخمِّدات مجاري الهواء في أثناء الاختبارات بحيث يصل الهواء بنفس المعدَّلات إلى جميع فتحات التوزيع. أما فتحات التوزيع ذات معدَّل تدفق الهواء المتغيِّر فتحتوي على مخمِّدات لسرعة الهواء توصل مع محساس حرارة في الغرفة يفتح ويُغلق المخمِّد. ويؤدي ذلك إلى تغيير ضغط الهواء في المجرى، ولذا تجب مراقبة هذا الضغط بواسطة محساس يُغيِّر سرعة المروحة الرئيسية بغية الحفاظ على تدفُّق الهواء إلى الغرف الأخرى وفقاً لحاجتها. وتوجد في منظومات المجاري المضاعفة [مجارٍ للهواء البارد وأخرى للهواء الساخن] فتحات توزيع تمزج الهواء البارد والساخن الواردين من منظومتي المجاري وفقاً للحاجة التي يُحدِّدها محساس درجة حرارة الغرفة. ومن الواضح أن ثمة تأثيراً لهذا في مقاسات ومخمِّدات المجاري، وفي منظومة الإدارة والتحكُّم أيضاً.

ويتطلب نقل الهواء المكيَّف في هذه المنظومات المركزية وجود مجاري هواء كبيرة تحتاج إلى حيِّز مكاني كبير قد يكون على حساب البنية والإنهاءات أفقياً، وعلى حساب الحيِّز المتوافر لاستعمالات أخرى عمودياً. إلا أنه يمكن تجاوز هذه المشكلة جزئياً بواسطة منظومات مركزية تستعمل الهواء أو الماء، وذلك بتوفير

الهواء من وحدة معالجة هواء مركزية، والماء البارد أو الساخن من مبرِّد ومرجل عبر أنابيب إلى وحدات فتحات التوزيع في الغرف. تتألف الآن منظومات التوزيع من مجاري صغيرة للهواء وأنابيب للماء الساخن والبارد. وتحصل عملية تكييف الهواء في وحدات فتحات التوزيع التي تحتوي على وشائع التبريد والتسخين. تَمزج هذه الوحدات جزءاً من هواء الغرفة مع الهواء الوارد عبر المجاري، وتمرِّر المزيج فوق الوشائع. ولذا تكون هذه المنظومة منظومة استبدال جزئي للهواء. أو يمكن استعمال منظومة إزاحة للهواء. في هذه المنظومة، يُدخل الهواء البارد عند مستوى الأرضية، عبر الأرضية المرتفعة عادة، بسرعة منخفضة ودرجة حرارة ملائمة لدرء الإزعاج عند فتحات توزيع الهواء. وتحصل حركة الهواء بسبب ارتفاع الهواء إلى أعلى بعد تسخينه بمصادر الحرارة في الغرفة (الناس والتجهيزات)، ويُسحب الهواء من أعلى الغرفة. أما في حالة أحمال التبريد الكبيرة، فيجب استعمال تلك المنظومة مقترنة بمنظومة أخرى تتضمن تبريد السقف أو العوارض، حيث تولِّد السطوح الباردة مفعول تبريد إشعاعي، ويهبط الهواء البارد إلى الأسفل من السطح البارد. لكن هذه المنظومة تتطلب بعض التحكُّم في الرطوبة لدرء التكاثف.

ويمكن توفير التبريد للغرف ذات الكسب الحراري الموضعي العالي، أو السيئة التهوية، باستعمال وحدات تبريد صغيرة محلية لا تحتاج إلا إلى تغذية كهربائية، وإلى مصرف لماء التكاثف. من الممكن تركيب وحدات مستقلة تماماً ذاتية التخديم في الجدار الخارجي للغرفة، إلا أن هذا الحل هو [حل ترقيعي] يستخدم عند إعادة التأهيل، وليس خياراً تصميمياً أساسياً. ويمكن استعمال منظومات الوحدتين المنفصلتين، وحدة تبريد الغرفة، ووحدة المبادلة الحرارية الخارجية، لتخديم غرفة واحدة، أو أكثر. تقوم وشيعة التبريد القائمة على مبدأ التبخير الداخلي للغاز (ضمن الوحدة) بتبريد هواء الغرفة، وتقوم وشيعة وحدة التكثيف بطرح الحرارة إلى الخارج. طبعاً يجب وصل الوحدتين بأنابيب لنقل غاز التبريد عبر دارة مغلقة. وتوجد في كل من الوحدتين مروحة لتحريك الهواء فوق الوشيعة، وتحتاج الوحدة الخارجية إلى تغذية كهربائية لضاغط الغاز الذي يُصدِر ضجيجاً. من الواضح أن موضعي الوحدتين الداخلية والخارجية في هذه المنظومة أكثر مرونة من منظومة الوحدة الواحدة. فالوحدة الداخلية يمكن أن توضع على أيِّ جدار داخلي أو خارجي، أو في السقف حيث تُمكِن مكاملتها مع إنهاءاته.

ويمكن المنظومات ذات الوحدات الداخلية المتعددة، وذات مادة التبريد

المتغيِّرة التدفُّق، أن تخدم عدة غرف باستعمال وحدة خارجية واحدة، حيث قد يكون من الضروري تشغيل وشيعة التكثيف بالماء البارد في حالة أحمال التبريد الكبيرة. إن الصيانة المستمرة لهذه الوحدات ذات التبريد بالماء ضروري لأنها يمكن أن تصبح مصدراً لمرض حمى الليجيونير الذي يمثِّل خطراً على العموم إذا لم يُنظر في مواضعها بعناية.

تقوم وحدات التبريد هذه على دورة التبريد التي تسمى أيضاً بدورة المضخة الحرارية. فمن الممكن تصميمها بحيث تعكس طريقة عملها لتقوم بالتدفئة في الشتاء، وتُعرف حينئذ بمضخة الحرارة من مصدر هوائي. والمضخة الحرارية هي أيضاً أساس التدفئة من مصدر أرضي الذي قدَّمناه آنفاً في المقطع الخاص بالتدفئة.

أما التحكُّم في هذه المنظومات واستعمال منظومة إدارة المبنى فيعتمدان، كما في حالة التدفئة، على احتياجات الغرف ومتطلبات التقسيمات المكانية. وثمة أيضاً حاجة إلى منافذ لصيانة تلك المنظومات وإصلاحها واختبارها.

منظومات الإضاءة

لا توجد في منظومات الإضاءة خيارات كثيرة كتلك التي توجد في منظومات التدفئة وتكييف الهواء، إلا أنها شديدة استهلاك الطاقة وواسعة التوزُّع عبر المبنى. توضع أنوار الغرف على الأرجح تحت السقف، وتُغذى بالكهرباء، ولذا تحتاج إلى تمديد أسلاك كهربائية. وثمة حاجة أيضاً إلى أسلاك كهربائية لمنظومات المحساسات والتحكُّم اليدوي بالإضاءة، إلا إذا استُعملت أدوات لاسلكية لهذا الغرض. ويجب تمديد الأسلاك أفقياً وعمودياً، ويمكن هذا أن يكون إما فوق البلاطة الإنشائية أو تحتها. أما في ما يخص إخفاء التمديدات والمنافذ إليها فهي كتلك التي نوقشت في معرض الحديث عن التدفئة آنفاً. وتمرَّر كبال الأسلاك عادة عبر مجارٍ تُعلَّق في السقف أو تُثبَّت على جدران القوائم العمودية، أو تمدُّ في مجارٍ ضمن صبة الأرضية، أو تثبَّت مكشوفة على الجدران. وتوضع التمديدات النهائية ضمن مجارٍ يمكن أن تكون مخفية في الجدران أو الأرضيات، أو مثبَّتة على مساحات مفتوحة. وتوفِّر المجاري البلاستيكية حاملاً للكبال، وهي تفرض مساراتها، إلا أنها يجب أيضاً أن توفِّر حماية ميكانيكية للعازل الكهربائي لدرء المخاطر عن القاطنين وعمال الصيانة.

لكن ثمة خيارات تخص منبع الضوء وقاعدته. يُختار المصدر تبعاً لجودة

ضوئه وقابلية مكاملته مع الإنهاءات التي من مثل السقف المعلق. ويُختار أيضاً بناء على كفاءة استهلاكه للطاقة. ويتأثَّر استهلاك الطاقة كثيراً بآلية التحكُّم بالإضاءة المتوافرة. فالإطفاء والإشعال اليدوي يمكِّن الأفراد من إطفاء الأنوار وإشعالها حينما يرغبون في ذلك. أما التحكُّم الآلي في إطفائها فينطوي على مزايا من حيث تخفيض استهلاك الطاقة. تُستعمل محساسات حركة وصوت لإطفاء الأنوار عندما تكون الغرفة شاغرة، وتُستعمل محساسات ضوء لإطفائها عندما تكون الإضاءة الطبيعية كافية. وقد يتطلَّب هذا التحكُّم الآلي تمديد أسلاك إضافية. ولا يكون الإطفاء والإشعال عادة لمصابيح إفرادية، بل لمجموعات مصابيح تعمل معاً تبعاً لاستعمالات الغرفة. ويمكِّن استعمال مجموعات مصابيح في عمق الغرفة، موازية للنافذة، من إطفاء وإشعال الأنوار تبعاً لمستوى الإضاءة الطبيعية الواردة من الخارج عبر النافذة.

أما التجهيزات الرئيسية ذات الصلة بالإضاءة (والتغذية الكهربائية التي سوف نناقشها لاحقاً) فهي لوحات التوزيع الكهربائية. تعزل هذه اللوحات الدارات الكهربائية عن بعضها، وتحتوي على وسائل الحماية المتمثِّلة بالفواصم الكهربائية الخاصة بالدارات المختلفة. ويوجد عادة كثير من الدارات في المبنى، لكن لا توضع سوى لوحة توزيع واحدة في المبنى الصغير، في حين أنه توضع لوحة توزيع في كل طابق، وحتى في كل قسم من الطابق في المباني الكبيرة. ويجب وضع تلك اللوحات في أماكن لا يصل إليها إلا الأشخاص المؤهَّلين فقط، لأنها تمثِّل خطراً كبيراً على القاطنين. ومع أن لوحات الطوابق لا تكون كبيرة عادة (بل هي خزائن صغيرة)، فإن ضرورة إبقائها بعيدة من المتناول تتطلَّب تخصيص مكان ملائم لها.

وتأتي التغذية الكهربائية إلى المبنى عادة عبر كبال خاصة تحت الأرض، حيث يجب إدخال تلك الكبال إلى غرفة محمية تحتوي على فواصم كهربائية وتعزل الشبكة الداخلية عن الشبكة الرئيسية. ويمكن أن توضع في هذه الغرفة أيضاً دارات توزيع رئيسية للإضاءة ولتغذية التجهيزات الأخرى، إضافة إلى عدادات استهلاك الطاقة التي تكون عادة جزءاً من منظومة إدارة المبنى. وقد تكون هذه الغرفة جزءاً من غرفة التجهيزات والمعدَّات في المباني الصغيرة، أما في المباني الكبيرة فيجب استعمال غرفة مستقلة.

الخدمات الصحية العامة

شبكة الماء العذب وشبكة الصرف الصحي

إن مسوِّغ النظر في هاتين المنظومتين معاً هو أنهما عادة جزء من المنظومة نفسها. فالماء النظيف يُورَّد إلى المبنى ويُستعمل ثم يُصرَّف إلى خارجه بحيث لا يُسبِّب تلوُّثاً أو رطوبة في الجدران، لأن كليهما يؤثِّران في الصحة العامة. وتقتصر الحاجة إلى الماء على عدد من الأنشطة، ومن المعتاد تركيز تلك الأنشطة في أماكن معينة تتكرَّر فوق بعضها ضمن المبنى في جميع الطوابق لتكوين منطقة عمودية تستوعب خدمات الماء والصرف الصحي. وهذا مفيد أيضاً في تركيز متطلبات التهوية الواردة في المقطع السابق. وفي هذه الحالة يقتصر التوزيع الأفقي على داخل غرف الخدمات الصحية فقط. وهذا مفيد للصرف الصحي حيث تُستعمل أنابيب عمودية مهوَّاة كبيرة القطر نسبياً (100 مم)، وتوضَّع الأنابيب الأفقية مائلة قليلاً، ما يجعل مد هذه الأنابيب أكثر صعوبة على المسافات الأفقية الطويلة.

وثمة جزء آخر من منظومة الصرف الصحي المنزلي داخل المبنى لا علاقة له بالماء القذر، وهي منظومة تجميع ماء المطر أو الماء السطحي من سقف المبنى. تتألَّف تلك المنظومة من أنابيب عمودية تُمدُّ من السقف إلى منظومة الصرف تحت الأرض. وفي المباني التجارية، يمكن وضع هذه الأنابيب العمودية خارج المبنى، على غرار حالة المباني السكنية، إلا أنها غالباً ما توضع ضمن مجارٍ داخل المبنى لإخفائها، وحينئذ يجب توفير منافذ إليها لصيانتها. ويمكن وضع أنابيب لماء المطر على سطح الأرض، وربما في الأقبية، للحد من مجاري الصرف الصحي تحت المبنى ومن إمكانات تلفها وانسدادها. وتشتمل منظومات تجميع ماء المطر على خزانات كبيرة تحت الأرض، وتتطلب تلك الخزانات أنابيب لتصريف الفائض منها، وأخرى لإعادة الماء إلى المبنى حيث تصبح جزءاً من منظومة الإمداد بالماء. لن نقدم المزيد عن تجميع ماء المطر في هذا الفصل.

ثمة عدد من المنظومات المستقلة ضمن منظومة الإمداد بالماء. وأكثرها جلاء هما منظومتا الماء الساخن والماء البارد اللازمتين لكثير من مواضع استعمال الماء، منها المغاسل والحمامات. وقد قدَّمنا في الفصل 21 فكرة الحاجة إلى ماء بارد بدرجات جودة مختلفة، وإلى مستوى تنظيم عالٍ لمنظومات خدمات الإمداد بالماء لتوفيره بالجودة الملائمة حتى نقاط الاستعمال. وتُخصَّص درجة الجودة العليا في

معظم المباني لماء الشرب وتحضير الطعام. وفي المباني المنزلية، يُؤخذ ماء الشرب مباشرة من خط الماء العذب الرئيسي القادم إلى المبنى، في حين أن ماء التنظيف يمكن أن يأتي من الخزان. يُضاف إلى ذلك أنه قد تكون ثمة حاجة الآن إلى منظومة أنابيب لماء المطر المجمَّع أو الماء نصف المعالَج المأخوذ من منظومة الماء المستعمل، وذلك بغرض استعماله في شطف المراحيض. وثمة حاجة إلى تحديد نوع الماء الذي يُقدِّمه كل مخرج ماء، ومصدر ذلك الماء. وهذا يؤثِّر في قرارات تسيير الأنابيب وفي تخصيص أماكن لشبكة التوزيع.

وتلتقي منظومتا الماء والصرف الصحي عند نقاط الاستعمال، مثل المغاسل والحمامات والمراحيض. وتحتوي هذه الأشياء على الماء في أثناء استعماله، وهي تُعرف عادة بالأدوات الصحية. وفي المناطق المبلولة، حيث يحصل تسرب للماء أو يستخدم للتنظيف دون إمكان احتوائه ضمن أدوات صحية، يجب توفير بالوعة أرضية لتصريفه. وتوصل الأدوات الصحية مع كل من منظومتي الماء والصرف الصحي اللتين تستمران في احتواء الماء طوال مسيرته عبر المبنى.

وفي بعض المنظومات، تبدأ هذه المسيرة انطلاقاً من نقطة دخول الماء الرئيسي إلى المبنى ليذهب مباشرة عبر الأنابيب إلى الأدوات الصحية، وتستمر عبر منظومة الصرف التي تنتهي عند نقطة الخروج إلى منظومة الصرف تحت الأرضية. وهذا صحيح بالنسبة إلى شبكة الماء البارد المنزلية التي تدخل المطبخ أيضاً إلى مجلى تحضير الطعام. ليس ثمة من معدَّات أو تجهيزات كبيرة في هذه المنظومة، والتحكُّم فيها يحصل يدوياً باستعمال الحنفيات وسدادات المجلى حيث يبقى الماء حتى تصريفه. وتمنع المصائد المائية، التي توضع تحت المجلى عند بداية منظومة الصرف الصحي، خروج الغازات منها إلى المطبخ. ويجب توفير صمامات عزل ومنافذ صيانة في منظومة الماء العذب للتمكين من صيانتها وإصلاحها. ويمكن استعمال وسائل خاصة أخرى فيها، ومن أمثلتها خافضات ضغط أو تدفُّق الماء.

أما المعدَّات والتجهيزات ذات الصلة بخدمات الماء فهي ضرورية لمعظم حالات الإمداد بالماء. والأشياء الرئيسية المقترنة بالإمداد بالماء هي الخزانات التي تضمن استمرار الإمداد في حالة حصول عطل في الشبكة الرئيسية. ويجب وضع الخزانات بحيث تكون أعلى من مخارج استعمال الماء لتوفير الضغط اللازم لإيصال الماء إلى الحنفيات أو خزانات شطف المراحيض. ولذا توضع عادة على سطح المبنى أو في السقف، وحينئذ يجب الأخذ في الحسبان للحيِّز الذي تحتاج

إليه، وللتحميل الإضافي الذي ينجم عنها. وفي المباني العالية (أعلى من 10 طوابق)، يكون الضغط المتولِّد في الطابق الأرضي من وضع الخزان على السقف عالياً. ومع أنه يمكن استعمال صمامات خافضة للضغط، إلا أنه غالباً ما تُستعمل خزانات وسيطة توضع في الطوابق الوسطى. وهذا ما يقلِّص كمية الماء التي يجب خزنها في أي نقطة، ولذا يؤدي إلى توزيع التحميل الإنشائي الشامل. وقد تكون ثمة حاجة إلى ضخ الماء إلى الأعلى، ربما من خزانات كبيرة عند سطح الأرض (تحميل مباشر على الأرض)، إلى خزانات صغيرة عند المستويات العالية. في هذه الحالة من الضروري أن تكون ثمة خزانات لماء الشرب محكمة السد تجاه الحشرات والملوِّثات، ومحدودة الحجم للحد من مدة بقاء الماء راكداً فيها مدة طويلة قبل شربه. وعندئذ يجب أن تكون ثمة شبكة مستقلة لماء الشرب وتحضير الطعام.

أما الماء الساخن فيتطلَّب وجود معدَّات وتجهيزات أكثر. تحتاج سخانات الماء الفورية إلى وصلة مع شبكة الماء البارد وإلى تغذية كهربائية لتوفير ماء ساخن لأدوات صحية قريبة منها، لكنها منخفضة الكفاءة في توفير الماء الساخن لمبنى بكامله. تُعرَف سخانات الماء الفورية هذه بالمنظومات المباشرة لأنها تسخِّن الماء بحسب الحاجة إليه موضعياً فقط، وبكميات قليلة. ومرة أخرى، ليست المنظومات المباشرة ملائمة لتوفير ماء ساخن لمبنى بكامله حيث توجد حاجة إلى كميات كبيرة منه، لأن قشرة كلسية تتراكم حينئذ على السخان. في هذه الحالة، من المفضَّل تسخين الماء تسخيناً غير مباشر بواسطة ماء حار يدور ضمن دورة رئيسية مغلقة تحتوي على وحدة تسخين، على غرار دورة المشعات التي تُستعمل لتدفئة الغرف. توضع وشيعة التسخين غير المباشر هذه في وعاء تخزين كبير بقدر كاف لضمان الاستمرارية في توفير الماء الساخن بالمعدلات المرغوب فيها وضمن حدود تأخير مقبولة في إعادة التسخين.

وتتَّخذ أوعية الخزن هذه صيغة خزان (أسطوانة) ماء ساخن يُغذَّى بماء بارد، ويتوزَّع الماء الساخن على الحنفيات نتيجة للضغط الموجود في منظومة الماء البارد. وتحتاج منظومة الماء الساخن إلى أنابيب طويلة، تُعرف أحياناً بالأرجل الميتة، بغية توزيعه. لذا، يبرد الماء في الأنابيب في فترات الطلب المنخفض. وهذا يدنِّي مستوى الخدمة. فأولاً على المستعمل أن ينتظر وصول الماء الساخن إلى الحنفية بعض الوقت. وثانياً يحصل هدر في استعمال الماء والطاقة، لأن على

المستعمل تصريف الماء البارد كي يصل الماء الساخن إلى الحنفية. يمكن استعمال العزل، وحتى يمكن استعمال شريط تسخين كهربائي يُلف على الأنبوب لإبقاء الماء دافئاً فيه. وقد تكون ثمة حاجة إلى دارة ماء ساخن ثانوية تأخذ الماء من أنبوب الحنفية وتعيده إلى الأسطوانة لضمان إمداد مستمر مقبول بالماء الساخن، وحينئذ سوف تفقد الأنابيب حرارة باستمرار.

وتحتاج أسطوانات الماء الساخن وأنابيب توريد الماء إليها إلى مكان توضع فيه. وأحد الخيارات هو وضعها في غرفة المعدَّات. وحينئذ تكون قريبة على الأغلب من المراجل التي تمثِّل مصدر التسخين. أما إذا كانت الغرف التي تحتاج إلى إمداد بالماء الساخن بعيدة إلى حد ما، أو كان ثمة عدد من المناطق ذات متطلبات التخديم الكثيرة، يكون من المفضل استعمال أسطوانات ماء ساخن محلية، برغم أنها تحتاج حينئذ إلى دارات رئيسية أطول يجب أن تصل إلى كل أسطوانة.

ويمكن منابع تسخين أخرى أن تغيِّر هذا التوزيع المكاني. ومن أمثلة ذلك استعمال لوحات طاقة شمسية على سقف موجَّه نحو الجنوب. وحينئذ يجب وصل الأسطوانة مع منبعي حرارة: لوحات الطاقة الشمسية، ومنبع يمكنه توفير التسخين في الأوقات التي لا يكون فيها التسخين الشمسي كافياً. وهذا هو مرجل أو مبادل حراري يُستعمل للتدفئة عادة. ويمكن أيضاً استعمال سخانات كهربائية تُغطَّس في الماء. لكن يجب أن تكون الأسطوانة قريبة نسبياً من اللوحات الشمية لزيادة كفاءتها.

قبل الانتقال إلى النظر في منظومة الصرف الصحي، يجب تحرِّي مسألة حصول تماس بين منظومة التغذية الكهربائية وأنابيب الماء (الناقلة للكهرباء إذا كانت نحاسية) التي يمكن أن تتكهرب وتشكِّل خطراً على حياة الناس، خاصة في الأماكن المبلولة حيث توجد الأدوات الصحية. لذا، ولدرء تلك المخاطر، يجب وصل أنابيب الماء مع منظومة الأرضي، وقد ناقشنا ذلك في الفصل 21. طبعاً، هذا يتطلب تخصيص مجموعة أسلاك لأنابيب الماء.

يجب أن يكون فصل مكوِّنات شبكات الماء البارد والساخن ممكناً في حالات الطوارئ، وأن تتوافر منافذ إليها لأغراض الصيانة والإصلاح. وهذا يؤثِّر

في عدد نقاط الفصل وفي مواضعها. والهدف من ذلك هو إغلاق مقاطع معينة من الشبكة بسرعة لإجراء الإصلاح من دون إدخال اضطراب في خدمات أجزاء المنظومة الأخرى.

أما تصميم منظومة الصرف الصحي فوق الأرض، فيتبع نفس مبادئ الجريان الثقالي للماء في كل من الأنابيب العمودية والأنابيب الأفقية الموضَّعة بقليل من الميل، وذلك للحفاظ على سرعات التدفُّق والتنظيف الذاتي التي شُرِحت في الفصل 21 في حالة المباني المنزلية. فالفرق الرئيسي في حالة المباني التجارية الكبيرة يكمن في طريقة التفريغ السيفوني الذاتي والمستحث في المصائد المائية التي توضع تحت الأدوات الصحية. في المنظومات المنزلية الوحيدة الأنبوب، يجري التحكُّم في فروق الضغط بتحديد عمق سدادة المصيدة وبالحد من الجزء الأفقي الممتد إلى الأنبوب العمودي، ومن المسافة الفاصلة بين وصلتين متجاورتين من الأنبوب العمودي. وهذا قد يكون غير ممكن في المباني الكبيرة، وقد يكون من الضروري تسوية الضغط بواسطة أنابيب تهوية منفصلة موصولة مع أنابيب منظومة الصرف الرئيسية مباشرة بعد كل مصيدة. وحينئذ، تسير تلك الأنابيب متوازية (لكن بميلين متعاكسين) إلى أنابيب الصرف الموصولة مع أنبوب التهوية العمودي، ولذا يمكن استيعابها في نفس الحيِّز المخصَّص لأنابيب الصرف الصحي.

وتُصمَّم جميع منظومات الصرف الصحي تقريباً للعمل بالثقالة، ولذا لا تحتاج إلى أيِّ معدَّات إضافية. إلا أنه إذا كانت مخارج الصرف الصحي أخفض من نقطة دخول منظومة الصرف تحت الأرض إلى المبنى، وجب توفير وسيلة ما لرفع المياه القذرة إليها. ويحصل هذا عادة باستعمال خزان تصب فيه المياه القذرة بالثقالة، وحين امتلائه يجري تفريغه بواسطة مضخة تعمل بمفتاح كهربائي ذي عوَّامة. إلا أن توفير منفذ إلى هذا الخزان للصيانة، إضافة إلى إمكان حصول انهيار فيه، يؤثِّران في اختيار حجمه وموضعه.

وتتصف منظومات الصرف الصحي، باستثناء تلك ذات مفتاح العوامة، بأنها ذاتية التنظيم ولا تحتاج إلى تحكُّم فيها. فالاختيار الصحيح لقطر الأنبوب وميله ووصلاته ومصائده وتهويته يضمن تدفقاً مستمراً وتسوية للضغط يمكِّنان المنظومة من العمل دون تدخُّل فيها.

لكن وعلى غرار جميع المنظومات الأخرى، ثمة إمكان لحصول أعطال في منظومة الصرف الصحي، منها الانسداد والتسرُّب. لذا يجب الاهتمام بتوفير منافذ لتنظيف الأنابيب وإزالة الانسداد والقيام بالإصلاح. توجد أنابيب منظومة الصرف الصحي غالباً في أماكن تضم تمديدات خدمات كثيرة أخرى. لذا ثمة حاجة إلى وجود حيِّز حول الأنابيب للتمكين من القيام بأعمال الإصلاح. وهذا يتطلب غالباً إنشاء مجارٍ توضع منافذها في الممرات، لا في الغرف التي تحتوي على أدوات صحية، خاصة إذا كان ثمة قلق من حصول تلوُّث.

وتوفِّر المنظومات التي تجمع ماء الصرف الصحي بعض المعالجة لذلك الماء، وفي حالة الماء المستعمل، تُعيد الماء المعالَج إلى المبنى لاستعماله في شطف المراحيض وفي بعض التطبيقات الخارجية (ري الحدائق وغسل السيارات)، وحينئذ تظهر الحاجة إلى منظومة من التجهيزات والأنابيب لتحقيق ذلك. وعلى الأرجح توضع هذه التجهيزات والأنابيب تحت الأرض خارج المبنى. ويتجلى ذلك في المشهد العام، ليس مباشرة من حيث توضيع التجهيزات فحسب، بل من حيث توفير بِرَك ماء ونوافير وسواها من متطلبات الحدائق التي يمكن أن تُصبح جزءاً من منظومة معالجة الماء المستعمل.

التغذية بالطاقة

يحتاج الكثير من التجهيزات المستعملة في المبنى إلى تغذية بالطاقة. وفي حين أن التغذية بالطاقة تتضمن في بعض المنشآت الصناعية منظومات من مثل منظومة الهواء المضغوط، فإن أوسع مصادر الطاقة استعمالاً هي الكهرباء والغاز. والشيء المشترَك بين جميع مصادر التزويد بالطاقة هو الخطر الذي يمكن أن يؤدي إلى أضرار جسدية خطيرة، وحتى إلى الموت. لذا فإن كثيراً من تصميم التجهيزات محكوم بضرورة تقليص المخاطر التي تنطوي عليها، إلا أن بعض متطلبات الأمان والحماية ترتبط بتصميم المبنى نفسه. وقد ناقشنا مثالاً لهذا سابقاً حيث تُخصَّص غرف للتجهيزات الرئيسية قابلة للإقفال ولا يدخلها إلا الأفراد المخوَّلين بذلك فقط.

لا يوُزَّع الغاز على نطاق واسع في المبنى عادة، بل يقتصر ذلك على أمكنة من مثل غرف المراجل والمطابخ. فإذا كانت نقطة دخول أنبوب الغاز الرئيسي، وما يقترن به من عداد الاستهلاك وإجراءات العزل، قريبة من تلك الأمكنة، أمكن

أن تكون أنابيب التوزيع قصيرة. وإذا لم تكن ثمة شبكة غاز عمومية متوافرة، وكان من الضروري استعمال قوارير أو خزانات غاز، وجب الاهتمام بمواضع وحماية أماكن القوارير التي يجب أن تكون في الخارج. إن التشريعات الخاصة باستعمال الغاز صارمة، وهذا يمكن أن يؤثِّر في تسيير بعض الأنابيب. وتحتوي الأدوات التي تستعمل الغاز على تحكُّم وعلى وسائل حماية من مخاطر تعطُّلها تُبنى ضمنها عادة، ومع ذلك ثمة ضرورة لوضع صمامات فصل في أماكن مختلفة من شبكة الأنابيب، مع منافذ تسهِّل الوصول إليها، وذلك تبعاً لكونها لأغراض الفصل العادي أو الطارئ الذي يمكن حتى أن يكون خارجياً.

أما مصدر الطاقة الواسع الانتشار في جميع المباني فهو الشبكة الكهربائية. وأكثر التطبيقات استهلاكاً للطاقة الكهربائية هي الإضاءة، وقد ناقشناها سابقاً مع متطلباتها من معدَّات ودارات توزيع. أما منظومة التخديم الرئيسية، فهي المقابس ذات الاستعمال العام والمخارج الخاصة بتجهيزات معينة، والتي يساوي الجهد الكهربائي فيها 230 فولط (في بريطانيا). ونظراً إلى أن جميع التجهيزات تستعمل الجهد الكهربائي نفسه المستعمل في الإضاءة، فإنه سوف يكون، على الأرجح، استهلاك كبير للطاقة الكهربائية، وهذا يؤثِّر في مقاسات أقطار الأسلاك وفي أنواع الفواصم. أما في ما يتعلق بالدارات ولوحات التوزيع والحاجة إلى حوامل للكبال وإلى حمايتها، فإنه يماثل تلك التي في حالة الإضاءة. ومن الممكن لمقابس الكهرباء أن توضع على الجدران بارتفاع الخصر، وعلى الأرجح تحته، وقد تكون تلك المقابس مزوَّدة بمفاتيح كهربائية ضمنها. وهذا يتطلب تمديد الأسلاك ضمن الجدران، وحتى تحت الأرضية. وغالباً ما يُخصَّص مكان لها تحت الأرضية وضمن جدران التقسيمات الداخلية، وفقاً لما ورد في الفصل 30.

وتحتاج بعض التجهيزات إلى مصدر تغذية ثلاثي الأطوار جهده يساوي 415 فولط، وهذا متوافر في شبكة الكهرباء العامة. وفي المجال الصناعي، تتطلب بعض التجهيزات استطاعة عالية، وفي كثير من المباني قد يحتاج بعض تجهيزات الخدمات إلى تغذية ثلاثية الأطوار. أما التغذية الكهربائية المنزلية فتتألف من طور واحد فقط من الأطوار الثلاثة الموجودة في كبل الكهرباء الذي في الشارع، وهذا الطور يعطي الجهد 230 فولط لخدمات المبنى. وفي المباني التجارية، تكون التغذية الكهربائية عادة ثلاثية الأطوار، وتُوزَّع الأطوار الثلاثة في المبنى على دارات الإضاءة ومقابس الكهرباء. وهذا التوزيع للأطوار الثلاثة على دارات أحادية الطور

يُجرى عادة عند نقطة دخول الشبكة العامة إلى المبنى. أما في حالة المباني الكبيرة ومجمَّعات المباني، فتوزَّع الأطوار الثلاثة في كامل الموقع، ثم تفصل في ما بعد إلى أطوار أحادية، وذلك لتقليص الضياعات. ولهذا تبعات تتعلق حجم غرفة المعدَّات وإجراءات الحماية والأمان فيها. وإضافة إلى التوزيع الثلاثي الأطوار والفصل إلى أطوار أحادية، تحتاج بعض التجهيزات الكبيرة إلى تغذية ثلاثية الأطوار. وحينئذ تكون أقطار كبالها أكبر، ولذا تكون الكبال أثقل من كبال الطور الواحد.

ويتطلب توليد الكهرباء في الموقع مكانا أيضاً، وقد يكون محدوداً بمحدودية المكان المتوافر. وفي مجمَّعات المباني الكبيرة الموجودة في أماكن ملائمة، يمكن توليد الكهرباء من طاقة الرياح باستعمال عنفات تُحمل على صوارٍ، أو يمكن استعمال محطات تدفئة وتوليد كهرباء مشترَكة. ويمكن أيضاً توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية باستعمال الخلايا الكهرضوئية. وحينئذ، تُوضع الخلايا على سطح المبنى غالباً، أو تُكامَل مع مواد الواجهة أو السقف إذا لم يؤدِّ ذلك إلى تشويه المظهر. إن هذا النوع من وحدات تلبيس الواجهات عالي التكلفة، ومع ذلك ثمة عوائد من الاستثمار فيها. ويمكن إدخال الطاقة المولَّدة إلى شبكة توزيع الطاقة العادية في المبنى، وحتى يمكن بيعها إلى شركات الكهرباء من خلال عدادات الاستهلاك المزدوجة الاتجاه.

الأمن

وفقاً لما أشرنا إليه في الفصل 10، المهدِّدان الرئيسيان للبيئة الآمنة هما الحريق والتهديدات التي تأتي من أفراد من المجتمع. ونشأت بسبب هذين المهدِّدين خدمتان رئيسيتان تتألف كل منهما من آلية للكشف وآلية للتدخُّل. وتتألف آلية الكشف من منظومتَي محساسات وإنذار، في حين أن آلية التدخُّل تقلِّص الأضرار المحتملة للقاطنين التي تنجم عن وقوع الواقعة. أما الأخطار الأخرى التي تنجم عن مسبِّبات طبيعية أو هجمات إرهابية، فتُعالج عادة ضمن الخطط الدفاعية المبنية ضمن بنية المبنى، مع أنه يمكن اعتبار بعض أوجه الاعتداءات الإرهابية ضمن مواصفات منظومة مواجهة المتسللين.

ثمة كثير من الخصائص المشترَكة بين منظومتي كشف الحريق والتسلل، برغم كون تجهيزات الكشف في الحالتين مختلفة. ففي حين أن محساسات التسلل تقوم

على الحركة، فإن كشف الحريق يقوم على الجُسَيْمات المتأيِّنة التي توجد في الدخان، وعلى جودة الرؤية، وحتى على الحرارة. وتحدِّد آلية الكشف المختارة موضع الكاشف، وعدد الكواشف اللازم لتحقيق تغطية كافية تضمن إنذاراً مبكراً. وفي حين أن بعض الكواشف، ومنها كواشف الدخان المنزلية، تتألَّف من وحدات مستقلة متكاملة مع منبع تغذية (البطارية) وجرس إنذار، فإن معظم منظومات المباني التجارية والصناعية يتكوَّن من منبع تغذية مركزي وشبكة منفصلة من أجراس الإنذار، إضافة إلى المحساسات. وهذا يتطلب شبكة أسلاك تصل بين لوحة التحكُّم لتشغيل أجراس الإنذار وحفظ معلومات الكاشف بغية تحديد مكان الحريق أو التسلل. ويمكن لتشغيل الإنذار أن يكون يدوياً أيضاً بواسطة زر يوضع ضمن علبة مغطاة بزجاج، حيث يُكسر الزجاج ويُشغَّل زر الإنذار حين حصول الحريق أو التسلل.

والقصد من منظومة الكشف والإنذار هو إنذار القاطنين في وقت مبكِّر (وربما إخافة المتسللين) لاتخاذ الإجراءات الملائمة، التي من أهمها الإخلاء عادة. ويمكن المنظومة أيضاً تشغيل وسائل استدعاء الشرطة وفِرَق الإطفاء التي تحتاج حينئذ إلى معلومات للتعامل مع الحدث والتحقيق فيه في ما بعد. ويمكن الحصول على تلك المعلومات من لوحة التحكُّم. تُعرف هذه اللوحة في منظومات كشف الحريق بلوحة الحريق، ويجب أن تكون بالقرب من مدخل سهل الوصول إليه من قبل أفراد الإطفاء ليحصلوا منه على معلومات تفيدهم في إطفاء النار وتساعدهم على التحقيق في ما بعد.

ومن الواضح أن منظومة الأسلاك عرضة للتلف في أثناء الحدَث. فهي تحترق، والمتسللون يقطعونها، وتصبح منظومة الإنذار غير صالحة للعمل. لذا تُستعمل في منظومات كشف الحريق والإنذار منه كبال مقاومة للحريق ومحمية بمعدن، في حين أن كبال الإنذار من التسلل تحتاج إلى تغليف ميكانيكي متين لحمايتها من التخريب. وتجب أيضاً حماية مصابيح الطوارئ والإشارات الضوئية كي تبقى عاملة في أثناء الإخلاء من المبنى.

وفي حين أن ثمة الكثير من الخصائص المشترَكة بين منظومات الكشف، فإن إجراءات التدخُّل في حالتي الحريق والتسلل شديدة الاختلاف. تجدر الإشارة إلى أن كثيراً من إجراءات التدخُّل في حالة كل من الحريق والتسلل تُعالَج ضمن تركيب من بنية المبنى غير النشطة، التي توفر مقاومة محددة، ومنظومات الكشف والإنذار

النشطة، إلا أن المنظومات النشطة فقط هي التي تجري مناقشتها في هذا الفصل. ومن الجدير بالذكر أيضاً أن منظومات التدخُّل في حالتي الحريق والتسلل يمكن أن تكونا متعارضتين في ما بينهما، وفي ما بينهما وبين مخارج ذوي الإعاقات الجسدية أيضاً، وخاصة من حيث التحكُّم في الدخول والخروج. فوصول ذوي الإعاقات إلى الطوابق العلوية يحصل بواسطة المصاعد، والمصاعد يجب ألا تُستعمل في حالة الحريق. وثم حاجة إلى الأبواب بوصفها مخارج نجاة في حالة الحريق، إلا أنها يجب أن تبقى مقفلة في وجه التسلل. لذا تُستعمل قضبان الدفع في الجانب الداخلي من تلك الأبواب لفتح أقفالها.

وتتألف منظومات الحماية من التسلل عادة من وسائل تحكُّم في الدخول مع أقفال للأبواب. وتتكوَّن وسيلة التحكُّم عادة من قارئ بطاقة أو مفتاح أو قارئ سمات جسدية [بصمة اليد أو العين] في خارج الغرفة، ومن مفاتيح للخروج في داخلها. وكلاهما يوضع بالقرب من الباب. ولا تحتاج المنظومة إلا إلى تغذية كهربائية، وربما إلى طريقة للوصول إلى بيانات تحقُّق شخصية المستعمل.

أما منظومات التدخُّل في حالة الحريق فهي شديدة التنوُّع بسبب صلتها بالدخان وإخماد النار عند مراحل مختلفة من منحني الحريق (انظر الشكل 6.10). يبدأ طيف أجهزة إطفاء الحريق بأسطوانات إطفاء يدوية تُوزَّع في مختلف أرجاء المبنى، وتحتوي على مواد إطفاء تختلف أنواعها تبعاً لمخاطر الحريق المتوقع في كل منطقة. وتُعزَّز تلك الطفَّايات ببكرات خراطيم ماء توصل مع شبكة إمداد بالماء البارد حين حصول حريق. وتُشغَّل مِرذاذات ماء أيضاً في مراحل مبكرة من الحريق، وهي تعمل تلقائياً وتمكِّن القاطنين من الخروج وذلك بالحد من انتشار النار في أثناء فترة الإخلاء.

والمِرذاذات هي منظومة توزيع ماء توضع في مستوى السقف وتغذِّي شبكة من الفوهات التي تفتح إفرادياً استجابة إلى ارتفاع درجة الحرارة. وفي المراحل الأولى من الحريق، تفتح بضع فوهات فقط، ولذا تكون الحاجة إلى الماء محدودة. ومع توسُّع انتشار النار وازدياد عدد الفوهات التي تصبح مفتوحة، تزداد الحاجة إلى الماء. ولتوفير كمية كافية من الماء للفوهة الواحدة، يجب أن يساوي القطر الأصغري لأنبوبها 25 مم، ويزداد قطر الأنبوب الرئيسي مع ازدياد عدد الفوهات التي يخدمها. وحين استعمال 150 فوهة، يجب أن يساوي قطر الأنبوب

الرئيسي نحو 150 مم، وذلك لضمان إمداد كاف بالماء لكل المنظومة. وتحتاج المنظومة إلى جهد تحكم في بدايتها، كما وتحتاج هذه المنظومة إلى الاختبار أيضاً. فعلى غرار منظومة الإنذار، وبرغم أنها قد لا تُستعمل أبداً، يجب أن تكون جاهزة جهوزية تامة حين تفعيلها. وفي حالة المناطق الواسعة، ومن أمثلتها المستودعات، حيث يُتوقَّع فتح عدد كبير من الفوهات معاً خلال مدة قصيرة، فإن الإمداد من شبكة الماء العامة قد لا يكون كافياً. لذا يجب في هذه الحالات توفير خزانات ماء كبيرة في الموقع مع مضخات تضخ الماء بضغط عال عبر أنابيب ذات أقطار كبيرة تكفي للحفاظ على إمداد كل فوهات المرذاذات بالماء. أما المخاطر التي تحيق بالأقبية، فتتطلب أيضاً تجهيزات لضمان بقاء إمداد المرذاذات بالماء مستمراً مدة كافية للإخلاء.

ليس الماء ملائماً لإطفاء جميع أنواع الحرائق، خاصة تلك الناجمة عن الكهرباء أو تلك القائمة على الزيوت والنفط، برغم أنه يمكن تبريد حرائق الزيوت برذاذ رقيق من الماء. وقد تكون ثمة حاجة إلى مواد إطفاء أخرى، إلا أن تلك المواد غالباً ما تكون خطرة على الحياة لأنها تمنع وصول الأكسجين إلى مكان الحريق، لذا لا تُستعمل إلا بعد اكتمال الإخلاء. وتقع الغازات والرغوة ضمن هذه الفئة. وقد يكون من الضروري توفير خزانات وشبكة أنابيب لهذه المنظومات. وفي بعض الحالات توفِّر فِرَق الإطفاء مادة الإطفاء، ولا حاجة حينئذ إلا إلى الأنابيب وإلى نقاط وصل خارجية، وهذا ما يجب أخذه في الحسبان في تصميم المبنى. ومن أمثلة هذا النوع من منظومات توفير مادة الإطفاء مخارج الرغوة التي تُستعمل في المناطق الخطرة، ومنها غرفة المراجل.

ومن خدمات التدخُّل الأخرى في حالة الحريق أنابيب ماء عمودية ممتلئة أو فارغة في المباني العالية، وهذا يُعفي فِرَق الإطفاء من مد الخراطيم عبر المبنى. وثمة حاجة أيضاً إلى مصعد يُخصَّص لحالات الحريق في المباني التي يزيد ارتفاعها على 24 متراً. ينفتح باب هذا المصعد نحو الخارج ليستعمله رجال الإطفاء. وهاتان الخدمتان هما خدمتان عموديتان وتحتاجان إلى حيِّز عمودي ملائم يُختار مكانه بعناية في المستوى الأفقي.

وتخص منظومتا التدخُّل الآنفتي الذكر الإخلاء ومكافحة الحريق. لكن من وسائل درء نشوب الحرائق مانعات الصواعق التي تُثبَّت على سطوح أسقف المباني العالية وتوجه بشكل محدد. تبحث الصاعقة عن مسلك إلى الأرض، والمباني

العالية تجذبها. فإذا لم يكن المبنى محمياً، اتبعت الصاعقة مساراً عبره إلى الأرض غير قابل للتنبُّؤ به، مما قد يؤدي إلى موت مفاجئ أو إلى حريق فوري. أما مانعات الصواعق، فتوفِّر للصاعقة مساراً منخفض المقاومة الكهربائية يُمرِّر الشحنة الكهربائية إلى الأرض من دون إيذاء المبنى وقاطنيه.

ومانعة الصواعق هي أداة غير نشطة بمعنى أنها لا تحتوي على أجزاء متحركة أو على تجهيزات [تحتاج إلى طاقة]. يوضع قضيب معدني ذو نهاية رفيعة في أعلى المبنى، ويوصل مع كبل نحاسي يُثبت على جانب المبنى ويمتد إلى الأرض حيث يوصل بقضيب الأرضي النحاسي المطمور في الأرض. وقد تكون ثمة حاجة إلى عدد من مانعات الصواعق هذه في عدة أماكن من سطح المبنى.

الخدمات التشغيلية

ثمة جوانب مشتركة بين هذه المجموعة الأخيرة من الخدمات وبين كثير من الخدمات التي جرت مناقشتها، إلا أن لكل منها خصائصها التي تستحق النظر فيها إفرادياً. تُمدُّ أسلاك الاتصالات، التي تشتمل على الخطوط الهاتفية ووصلات البيانات، على نحو واسع عبر معظم المكاتب والتجمُّعات التجارية الأخرى. وتوضع مقابس لها على الجدران عند مستوى الخصر أو تحته، ولذا تتطلب، على غرار التغذية الكهربائية، تمديدات ضمن جدران التقسيمات الداخلية والأرضيات. وهذه التمديدات منخفضة الجهد الكهربائي، ولذا لا تنطوي على مخاطر كتلك المقترنة بالتغذية الكهربائية. فالأسلاك تحمل إشارات ضعيفة يمكن نقلها لاسلكياً أيضاً. ومع أن سرعات نقل البيانات عبر المنظومات اللاسلكية يمكن أن تكون أقل من سرعات النقل في المنظومات السلكية، فإنها كافية وأكثر ملاءمة للاحتياجات التشغيلية في المبنى. وهذا يؤدي إلى تغيير الخدمة من شبكة سلكية إلى شبكة نقاط تجميع ومسيِّرات بيانات لاسلكية يجب استيعابها في التصميم.

ومن الخدمات الأخرى تلك التي تخص حركة الناس، ومنها المصاعد والأدراج المتحركة والأرصفة المتحركة. وخلافاً لمعظم الخدمات الأخرى، وهذه الخدمات هي في ذاتها تجهيزات كبيرة. وتُحكَم مواضعها بتقسيمات المبنى وباستعمالاتها، حيث يُعتبر استعمال الناس لها على نحو آمن وكفوء المعيار الرئيسي في تصميمها. وهي تحتاج إلى حيِّز يُخصَّص لها، إضافة إلى أنها تؤثِّر في بنية المبنى وتتأثَّر بها من حيث احتياجاتها من مداخل ومخارج وأعمدة حاملة،

ومن حيث خضوعها غالباً لتحميل كبير. وهي غالباً ما تحتاج إلى بناء أجزاء من المبنى بدقة أعلى من تلك الضرورية لأجزاء أخرى.

وتتطلب تجهيزات الحركة تلك تغذية كهربائية لمحركاتها، وتحتاج تلك المحركات وتوابعها من وحدات التحكُّم إلى غرفة يمكن أفراد الصيانة والأشخاص المخوَّلين فقط الوصول إليها. وفي حالة المصاعد، تكون تلك الغرفة في الأعلى فوق بيت المصعد، أو في مستوى الطابق الأرضي بجوار بيت المصعد. ويمكن استعمال الطاقة الهدروليكية بدلاً من الطاقة الكهربائية في مصاعد البضائع حيث لا حاجة إلى السرعة الكبيرة، وحيث يجب رفع أحمال ثقيلة إلى ارتفاعات محدودة تصل حتى 20 متراً. يوضع المكبس الهدروليكي في ثقب في الأرض تحت المصعد، وحينئذ تحتاج المنظومة إلى مضخة هدروليكية توضع في غرفة آلات صغيرة في مستوى الطابق الأرضي عادة بالقرب من بيت المصعد. وتحتاج تلك المضخة إلى تغذية كهربائية أيضاً، إلا أن الاستطاعة الكهربائية التي تتطلبها تقل كثيراً عن تلك اللازمة لمحرك المصعد.

وتشتمل الفئة الأخيرة من الخدمات التشغيلية على الاحتياجات التخصُّصية. ويجب تحديد تفاصيل هذه الاحتياجات لكل مبنى على حدة. ففي مثال الغازات الطبية، تتوضَّع مخارج الاستعمال عند أسرَّة المرضى وفي غرف العمليات. أما شبكة التوزيع فهي شبكة أنابيب صغيرة المقطع مقارنة بأنابيب الماء. وليس ثمة من معدَّات في هذه الشبكة، ويحصل الإمداد بالغاز بواسطة قوارير مضغوطة. لذا تحتاج هذه القوارير إلى توريد وخزن آمنين. ويجري التحكُّم في تدفُّق الغاز عند مخارج الاستعمال، إلا أنه يجب تضمين الشبكة صمامات فتح وإغلاق في مناطق المستشفى المختلفة، وربما في كل جناح، وفي مواقع الخزن. وثمة حاجة إلى الدخول المتكرر إلى المخزن بغية توريد القوارير وتغييرها من قبل المخوَّلين بذلك. أما مخاطر التلف فهي قليلة بالنسبة إلى كثير من الغازات المستعملة في المشافي، إلا أن افتقادها [عند الحاجة] قد يكون على درجة عالية من الأهمية لاستمرار العمل في المستشفى، ولذا ثمة حاجة إلى منافذ جيدة للصيانة والإصلاح.

الحاجة إلى التنسيق

مع أنه من غير المرجَّح أن توجد كل الخدمات المذكورة آنفاً في مبنى معين في الوقت نفسه، فإنه يجب أن تتوافر في معظم المباني التجارية بعض التسهيلات

لكل نوع من الخدمات المذكورة. وقد يكون من الممكن لبعض الخدمات أن تتشارك في الأحياز التي من مثل تلك التي في الأسقف أو الأرضيات أو بيوت المصاعد، إلا أن معظمها يحتاج إلى أحياز خاصة بها. وإلى جانب تضارب احتياجات الخدمات من الأمكنة، ثمة تضارب أيضاً بينها وبين بنية المبنى في مناطق الأرضيات (الحيِّز بين السقف الداخلي والأرضية التي فوقه)، وأفقياً ضمن الطابق نفسه.

لذا فإن تخطيط الأماكن، والتيقُّن من توضيع المعدَّات الرئيسية ومسارات التوزيع الأساسية، وتجنُّب التعارض بينها على درجة عالية من الأهمية في مرحلة التصميم. إن من المعتاد في طرائق التشييد المعتادة ترك مسارات الأنابيب والأسلاك النهائية، وحتى مواقع مخارجها، للعاملين في الموقع لتحديدها. وفي الواقع، يحتوي الكثير من مخططات الخدمات، وخاصة الكهربائية منها، على توصيلات نهائية بوصفها أمثلة، لا تنفيذات فعلية. لكن مع ازدياد التصنيع المسبق، أصبح من الضروري تخطيط مسارات تمديدات الخدمات ومواضع مخارجها النهائية في مرحلة التصميم لضمان أن المكوِّنات المسبقة الصنع توفِّر الأحياز اللازمة لتلك الخدمات. وفي التصنيع المسبق العالي المستوى، يمكن الخدمات أن تُضمَّن في المكوِّنات المسبقة الصنع في المعمل. حينئذ، يجب تخطيط التنسيق بين منظومات الخدمات من حيث المواضع والأحياز اللازمة لها لضمان أنه يمكن إجراء التوصيلات في ما بين المكوِّنات في الموقع بحيث تعمل الخدمات على نحو صحيح بعد اكتمال تشييد المبنى.

ليست التعارضات وحدها هي التي يجب تجنبها، بل يجب الاهتمام أيضاً بعبور الخدمات لكل من الغلاف وعناصر المبنى الإنشائية. إذ يمكن الحاجة إلى فتحات وثقوب فيها أن تمثِّل مشكلة في اختيار تلك المكوِّنات. وتبعاً لمقاس الثقب أو الفتحة، قد يشتمل ذلك على عمليات تثقيب في بنى مكتملة، أو على إنشاء فتحات بعد اكتمال أعمال التشييد. لذا، وحين إنشاء أي فتحة، يجب الاهتمام بالحفاظ على أداء العنصر الذي سوف تُكوَّن الفتحة فيه. على سبيل المثال، يجب الحفاظ على المتانة الإنشائية في العناصر الإنشائية، ويجب ضمان استمرار المناعة من العوامل الجوية في الغلاف الخارجي، ويجب ضمان استمرار مقاومة عناصر الغلاف الداخلي للحريق. وليست تلك سوى أكثر الأمثلة جلاء. حين تكوين الفتحات، من الضروري التيقُّن من الحفاظ على جميع أنواع الأداء، ويجب

التدقيق في مواصفات وتفاصيل البنية. ويجب أن تكون تكلفة الفتحات، إضافة إلى مخاطر الإخفاقات التي تنجم عنها، جزءاً من عملية اتِّخاذ القرار المتعلق بتوفير الخدمات.

لا تعبر الخدمات بنية المبنى فحسب، بل غالباً ما تكون محتواة فيها. وهذا التأثير المتبادل بين الخدمات وعناصر البنية الأخرى يشتمل على تسيير الخدمات ضمن الجدران والأرضيات، ولذا يجب أخذ تركيبها وتثبيتها في الحسبان، إضافة إلى الوصول إليها لأغراض التعديل والإصلاح والتحديث. في طرائق البناء المعهودة، قد يتضمن ذلك ما يسمى أعمال البنَّائين الحرفيين التي من مثل صب مجارٍ أو فتح قنوات للخدمات في البنية المكتملة، لكن باستعمال منظومات داخلية من جدران التقسيم والأرضيات والأسقف، يمكن لتوفير الخدمات أن يصبح جزءاً من تصميم منظومات المبنى. وقد نوقش هذا بمزيد من التفصيل في الفصل 30.

ومن التأثيرات المتبادلة الأخرى بين تمديدات الخدمات وعناصر البنية الأخرى ما يخص التثبيت والارتكاز. فنظراً إلى أن معظم شبكات التوزيع يفرض قليلا مَّن التحميل الإضافي، فإنها يجب أن تُثبَّت، ويجب أن يكون الشيء الذي يمكن تثبيتها عليه معروفاً هو ونوع التثبيت الملائم. ويجب التنسيق لضمان أنه لن تثبَّت تمديدات خدمات أخرى في المكان عينه. وفي المناطق الكثيفة التخديم، قد يتطلَّب هذا بناء قنوات تثبيت خاصة تتاح لجميع الخدمات.

وعلاوة على حاجة معدَّات وتجهيزات الخدمات إلى الارتكاز والتثبيت، فإنها تضع أحمالاً كبيرة على عناصر أخرى أيضاً، ولذا تجب تقوية تلك العناصر أو تقوية نقاط تثبيتها على الأقل. وهذا يقتضي تحديد مواضع التجهيزات في مرحلة مبكرة بغية تقوية عناصر البنية في تلك المواضع، لأنها قد تُبنى حتى قبل توريد التجهيزات ببضعة أسابيع إلى الموقع. في فقرة المصاعد والأدراج المتحركة (في مقطع الخدمات التشغيلية السابق)، أُثيرت مسألة الدقة في التركيب. إن من الضروري التدقيق في التسامحات والانحرافات الخاصة بالخدمات الأخرى حين النظر في توضيع وتثبيت تجهيزاتها ومعدَّاتها.

تسلسل عمليات الإنتاج ومدة تنفيذ العقد

قدَّمنا في المقطع السابق فكرة أن ثمة عواقب إنتاجية تترتب على اختيار الخدمات. فاختيار الخدمات ومواضعها ومسارات تمديداتها ينطوي على عواقب في تسلسل عمليات الإنتاج، ومن ثَمَّ في مدة تنفيذ العقد الكلية. وفي بعض المشاريع،

قد يكون الوقت محدِّداً رئيسياً في قرارات التصميم إذا كان تاريخ التسليم المبكر للمبنى وإشغاله مطلوبين. وفي كلتا الحالتين، من الضروري إدراك تأثير ذلك في مدة الإنتاج وفي تسلسل اختيار الخدمات ومواضعها.

تُنفَّذ أعمال البناء غالباً على مراحل هي الهيكل والطور الأول والطور الثاني، وربما الثالث. وتمثِّل تلك المراحل عموماً سلسلة من العمليات هي تنفيذ هيكل الارتكاز، ثم المكوِّنات الأساسية، ثم الإنهاءات. وفي حالة الخدمات ذات الأسلاك، يمثِّل ذلك تركيب المجاري والصواني، ويتبعه تمديد الأسلاك وتركيب لوحات التوزيع، ثم تركيب وتثبيت المقابس والمفاتيح الكهربائية. ليست هذه مجرد سلسلة أساسية لتنفيذ الأعمال، بل هي تنطوي على أن عمليات أخرى، تخص حِرَفاً أخرى، يجب أن تُجرى بين مراحل التركيب تلك. وفي ما يخص الخدمات، ثمة حاجة أيضاً إلى تنسيق أعمال البنَّائين، وفقاً لما ذكرناه آنفاً. وهذا ينطبق بوجه خاص على المناطق الكثيفة التخديم، مثل المراحيض. إن اختيار مواضع ومسارات التمديدات، واتخاذ القرارات الأساسية بخصوص الإنتاج المحلي في الموقع أو الصنع المسبق، يؤثِّران في هذا التسلسل، ومن ثمَّ في مدة تنفيذ العقد الكلية. ويؤثِّران أيضاً في الحاجة إلى المساعِدات والأعمال المؤقتة، وفي المخاطر المحتملة على الصحة والسلامة والأضرار التي يمكن أن تنجم عنها، وفي الحاجة إلى الحماية في أثناء عمليات الإنتاج.

وتتصف مجموعة التراكيب الممكنة من الهياكل والبنى الإنشائية وجدران التقسيمات الداخلية وشبكات الخدمات في المباني التجارية بأنها تقريباً لانهائية وغير محدودة تقريباً. فكل مشروع بناء يحتاج إلى تحليل لتسلسل الإنتاج وطرائقه في مرحلة مبكرة من التصميم، وفقاً لما أشرنا إليه في الفصل 13. وهذا يمكن أن يؤدي إلى تغييرات في وقت مبكر في عملية التصميم لضمان أن التسامحات (والجودة) والتكلفة ومدة التنفيذ يمكن أن تتحقَّق في المواصفات والتفاصيل النهائية المعتمَدة.

تكاليف منظومات الخدمات

مع أن التكاليف ليست مسألة أنواع وأحياز بالمعنى الحرفي، تبقى من الاعتبارات الرئيسية في اختيار منظومات الخدمات. ولعل الموازنة بين تكاليفها

الأولية وتكاليفها الجارية، ومن ضمنها ما يتعلق بالصيانة والتعديلات المستقبلية، أكثر أهمية من تلك التي تخص أي شيء آخر في المبنى. وهذا ليس من حيث التكلفة المالية فحسب، بل من حيث التكاليف البيئية أيضاً. فالتكاليف الأولية الإضافية يمكن أن تقلِّص التكاليف الجارية، ويمكن أيضاً اعتبارها قيمة جيدة للمال من ناحية الدور الاجتماعي والثقافي للمباني وفي مكانتها الاستثمارية في مستقبل المجتمع.

الخلاصة

1. يجب تحرِّي مجموعة الخدمات التي تحتاج إليها المباني التجارية، إلا أن طبيعة وحجم كل خدمة يختلفان من مشروع إلى آخر، وهذا ما يجب تحديده في وقت مبكر من عملية التصميم.

2. تُصنَّف خدمات المباني في خمس فئات هي فئات البيئة والصحة العامة والطاقة والأمن والتشغيل.

3. يختلف الحيِّز اللازم لكل خدمة تبعاً لمدى توزُّع مخارج استعمالها ولمكان توضُّع المعدَّات الخاصة بها الذي يمكن أن يكون مركزياً جداً. وتنجم عن ذلك شبكات توزيع تحتاج إلى تمديدات، وإلى قرارات بشأن إخفائها والوصول إليها لأغراض الصيانة والإصلاح.

4. والتحكُّم هو جزء أساسي من خدمات المبنى، فهو يُستعمل لأغراض تشغيل تلك الخدمات وإيقافها عن العمل، ولتنظيم نواتح منظومات الخدمة. ويمكن التحكُّم أن يكون يدوياً أو آلياً من خلال منظومة إدارة المبنى.

5. تشتمل الخدمات البيئية على التدفئة والتبريد والتهوية والإضاءة. وبصفتها مستهلكة للطاقة، أصبح أداؤها مقترناً بالتصميم غير النشط.

6. ثمة عدد كبير من خيارات التدفئة والتهوية التي تتضمن التبريد وتكييف الهواء، وتترافق تلك الخيارات بمتطلبات المساحات والأماكن لتوضيع المعدَّات ومنظومات التوزيع ومخارج استعمالها.

7. ثمة حاجة إلى الإضاءة في أثناء الليل لأغراض المعيشة وأداء المهام، وثمة حاجة خلال النهار أيضاً إلى الإضاءة العامة إذا لم تكن الإضاءة الطبيعية متوافرة. ونظراً إلى أن شبكة الإضاءة تتكوَّن من دارات كهربائية، فإنها تتطلب

لوحات توزيع ووسائل فصل ووصل للكهرباء.

8. يمكن للتحكُّم في الإضاءة بواسطة المحساسات، التي تُطفئ الأنوار حين انعدام الحركة أو الضجيج أو حين وجود مستويات كافية من الإضاءة الطبيعية، أن يمثِّل إسهاماً كبيراً في الحد من استهلاك الطاقة.

9. يمكن الحد من توزُّع شبكة الماء العذب وشبكة الصرف الصحي ضمن المبنى، بوصفهما خدمتي صحة عامة، بتجميع المناطق المبلولة معاً، وخاصة بتكديسها فوق بعضها عمودياً في المباني المتعددة الطوابق.

10. يُعتبر توافر الماء من مصادر القلق البيئية، ولذا يجب تحرِّي إمكانات تخفيض استهلاكه وإعادة استعماله ضمن المبنى قبل طرحه في منظومة الصرف الصحي.

11. يجب تحديد الحاجة إلى الماء الساخن وطريقة تسخينه. يحصل التسخين عادة بواسطة مرجل للتسخين، إلا أنه يمكن النظر في استعمال مصادر تسخين أخرى.

12. تُعتبر الطاقة الكهربائية أكثر أنواع الطاقة انتشاراً وتوزُّعاً، في حين أن استعمال الغاز موضعي جداً. إلا أن كليهما ينطوي على مخاطر، ولذا تمثِّل الحماية منها جانباً رئيسياً من التصميم، خاصة من ناحية تحديد مواضع المعدَّات والتجهيزات.

13. تتطلب منظومات الأمن الخاصة بكل من الحريق والتسلل عناصر كشف وإنذار. وتتضمن إجراءات مكافحة الحريق مخارج نجاة لإخلاء المبنى، إضافة إلى وسائل تسهِّل تدخُّل فِرَق الإطفاء والطوارئ.

14. تشتمل منظومات الخدمات التشغيلية على منظومات الاتصالات السلكية واللاسلكية والمنظومات الميكانيكية الخاصة بحركة الأشخاص، ومنها المصاعد. وتحتاج بعض المباني إلى خدمات تخصُّصية، ومن أمثلة ذلك الغازات الطبية التي تُستعمل في المشافي.

15. حين تحديد مجموعة الخدمات اللازمة لمبنى معين، يجب التنسيق في ما بينها، لأن كثيراً منها يحتاج إلى أنماط توزيع متشابهة تتطلب تخصيصها بأمكنة، بعضها عامة، والبعض الآخر يخصص لمنظومة واحدة بعينها.

16. يمكن أن يؤثِّر التنسيق المكاني في ما بين المنظومات في تسلسل أعمال

الإنتاج، ومن ثمَّ في مدة تنفيذ العقد، سواء في ما يخص تنفيذ الأعمال في الموقع أو الصنع المسبق.

17. ثمة تكاليف جارية وتكاليف صيانة لمعظم منظومات الخدمات، وذلك من الناحيتين المالية والبيئية، علاوة على تكاليف التشييد الأولية.

الفصل الثاني والثلاثون

دليل للمزيد من القراءة

طرحنا في الفصول السابقة إطار عمل لتحليل مقترحات تشييد المباني بغرض التوصُّل إلى حلول نهائية. وقد قدَّمنا كثيراً من الأفكار مع بعض المعلومات عن كيفية البناء. ولاستغلال هذا النهج عملياً، وللبقاء على صلة بآخر المستجدات، عليك العودة إلى طيف واسع من المعلومات المنشورة. وفي هذا الفصل الأخير، نذكر كثيراً من تلك المصادر ونقترح طريقة قد تمكِّنك من تقييمها لتساعدك على الفهم الشامل لعملية البناء وعلى القيام بالاختيارات الملائمة للمشاريع المختلفة في المستقبل.

ما يوفِّره هذا الكتاب

كان الغرض من هذا الكتاب تقديم إطار عمل شامل يمكِّنك من تحديد طبيعة وحزام المعرفة الضرورية لاختيار حلول البناء. ويقترح [هذا الكتاب]، في إطار العمل هذا، أنك تحتاج إلى معرفة الشكل الذي سوف يبدو به الحل المقترح للمبنى، ثم معرفة كيفية إجراء تحليل لسلوكه المتوقَّع في أثناء استعماله، ولطريقة تشييده.

ومن المؤمل أنه إذا فهمت ما ينطوي عليه القيام باختيار معين، فإنك سوف تكون قد حصلت على فكرة عما يجب أن تعرفه للقيام بانتقاء مبني على البيانات، وعلى طريقة لمكاملة المعرفة الجديدة مع فهمك المتزايد لعملية البناء، ومع الخبرة التي تكتسبها عنها.

لقد قدَّمنا في استقصائنا لإطار العمل ومنهجية الاختيار كثيراً من الأفكار والمفاهيم، مع بعض التفاصيل والمواصفات. لكن هذا لا يمثِّل سوى جزء صغير من المعرفة اللازمة للعمل عند الممارسة. وإضافة إلى أن فهمك سوف يتزايد مع اكتسابك للخبرة، فإن ثمة كثيراً من المادة المنشورة عليك الاستفادة منها.

مصادر المعلومات ـ الوثوقية والصلاحية والأهمية

عليك الرجوع إلى طيف واسع من المعلومات المنشورة لأسباب مختلفة. وعليك تطوير فهمك للأفكار المتعلقة بأسس التحليل الواردة في الفصول الأولى من هذا الكتاب، وذلك بالرجوع إلى الكتب التدريسية. وتحتوي الفصول التي أتت بعدها على تفاصيل ومواصفات تشييد المباني المنزلية والتجارية، وأفضل طريقة لاستقصاء هذه التفاصيل التقنية هي الرجوع إلى المصادر الكثيرة المتنوعة لمعرفة التشريعات والتوصيات الحالية الخاصة بها.

ولعل أفضل طريقة للبدء باستقصاء طيف المعلومات التي سوف تحتاج إليها هي معرفة من قام بإعدادها. وهذا يدلك على الغرض من نشر تلك المعلومات، وعلى الأساس الذي تقوم عليه. فمعرفة من أعدَّ المعلومات تمكِّنك من الحكم على تمكُّنه من الموضوع، ومن ثمَّ على وثوقية تلك المعلومات وصلاحيتها.

قد لا يكون شخص معين هو من أعدَّ المعلومات، بل هيئة أو مؤسسة حكومية أو تجارية. فثمة الكثير من تلك الهيئات والجمعيات التي من أهدافها جمع وتوليد وتوزيع المعلومات الخاصة بالبناء. وبعضها، ومنها هيئة بحوث البناء (Building Research Establishment (BRE)) البريطانية، يتمتع بمنظور واسع، في حين أن هيئات أخرى، ومنها جمعية الخرسانة (Concrete Society)، تهتم بمنظور ضيق فقط. وتُموِّل بعضَها هيئات مستقلة، وربما حكومية، في حين أن جهات لها مصلحة تُموِّل بعضها الآخر، إلا أن ذلك لا يقلِّل من أهمية معلوماتها. وعليك تحديد مجال أنشطة تلك الهيئات، والقيام ببعض التقييم لسلطتها المهنية واستقلاليتها.

ويجب أن تقوم بمطابقة المعلومات التي تسعى إليها مع الغرض الذي تبتغيه منها، ويجب أن تتيقَّن من صلتها به. ومع أن المعلومة التي تحصل عليها قد تبدو أنها ما تسعى إليه، فإن ثمة عاملَيْن يجب أخذهما في الحسبان. أولاً، متى نشر الموضوع؟ ففي كثير من الأحيان، يكون تاريخ النشر هاماً، خاصة من حيث ضرورة الانصياع للتشريعات القائمة ولآخر ما وُضِع من توصيات. ثانياً، أين نُشِر؟ فأعمال البناء هي أنشطة تحصل في أنحاء العالم كله، لكن المعرفة بها لا يمكن أن تنتقل في ما بين الدول، خاصة أن الممارسات الشائعة وعوامل المناخ وتوافر الموارد يمكن أن تجعل الحل غير ملائم لكل الأماكن.

الكتب التدريسية ومقالات البحث

تحتوي الكتب التدريسية على معرفة راسخة عن كل ما يتعلق بالبناء، أي عن المواد والتصميم الإنشائي والخدمات والجوانب الاقتصادية، على سبيل المثال. وهي تساعدك على فهم المزيد عن الجوانب النظرية والعملية لبعض الأفكار المطروحة في هذا الكتاب، وخاصة في الجزء الأول منه. وقد يكون عليك أيضاً الرجوع إلى كتب أخرى عن هندسة البناء لتساعدك على فهم كيفية وضع الحلول التي وردت في جزأيه الثاني والثالث أيضاً. لكن برغم أن الحلول التي تُعرض في الكتب التدريسية يمكن أن تكون آخر ما تُوصِّل إليه في وقت نشر الكتاب، فإن تغييرات لاحقة قد تكون قد حصلت بعدئذ في التشريعات، مع ظهور معلومات وابتكارات جديدة في المواد والمكوِّنات. إن ثمة حاجة إلى تأكيد التفاصيل والمواصفات التي ترد في جميع الكتب، ومنها هذا الكتاب، استناداً إلى مصادر أحدث، خاصة مع ازدياد المدة المنقضية بعد تاريخ نشرها.

ويكتب الكتب التدريسية عادة أساتذة جامعيون وباحثون، وهم يكتبون أيضاً مقالات بحثية. وتُكتب المقالات البحثية بغرض المساهمة في الحوار الذي يدور حول موضوع ما، خاصة عندما تكون المعرفة به غير راسخة وموضع جدل. والغرض منها عادة ليس تقديم نصائح أو توصيات مباشرة بخصوص انتقاء حلول البناء، بل في معظم الأحيان المساعدة على فهم طبيعة المشكلة والقضايا التي تنطوي عليها. وهي تُكتب غالباً للجماعات المنغمسة في التعليم والبحث. لذا تتطلب التصاميم الجديدة أو المبتكرة عملياً العودة إلى الحوار القائم (أو إلى نتائج البحث الأصلية السابقة) بحثاً عن شروحات حول كيفية ترجمتها في الممارسة العملية.

إرشادات وتوصيات ـ خدمات المعلومات

يجب عدم الخلط بين المقالات البحثية والمنشورات الصادرة عن هيئات البحث التي تنشر معلومات الهدف منها أن تكون دليلاً أو توصيات تُستعمل في الواقع بعد أن تكون الحوارات والتجارب الخاصة بالبحث نفسه قد اكتملت. فبعض المعرفة التي تتضمنها تلك المنشورات يأتي من خبرات ودراسات سابقة في مجال البناء حيث تكون التوصيات قد وُضِعت اعتماداً على الممارسة العملية. ومن تلك الهيئات:

- هيئة بحوث البناء (BRE)
- جمعية بحوث ومعلومات صناعة البناء (Construction Industry Research and Information Association (CIRIA))

ومن أمثلة منشورات تلك الهيئات المجلة Digeste التي تُصدرها هيئة بحوث البناء والتي تقدِّم مراجعة مختصرة لمواضيع البناء المختلفة، من الطينة حتى البناء على صلصال قابل للانكماش. وتوفِّر هيئة بحوث البناء طيفاً واسعاً من المعلومات على صلة مباشرة باختيار طريقة التشييد والتفاصيل والمواصفات. أما جمعية بحوث ومعلومات صناعة البناء فتقدِّم عموماً تقارير أكثر شمولية.

وثمة مجموعات منشورات كبرى أخرى، صُمِّمت لتقديم إرشادات وتوصيات مباشرة تقوم على البحث والممارسة العملية، وتوفِّرها هيئات تهتم في المقام الأول بمادة واحدة وبالمكوِّنات التي يمكن أن تُصنع منها. تنشر تلك الهيئات معلومات، ويمكن أن تقدِّم خدمات استشارية إلى المصمِّمين لمشاريع معينة. ومن تلك الهيئات التي تقدم خدمة المعلومات تلك:

- جمعية الإسمنت البريطانية (British Cement Association (BCA))
- جمعية الخرسانة (Concrete Society)
- معهد الإنشاءات الفولاذية (Steel Construction Institute)
- جمعية بحوث وتطوير الخشب (Timber Research and Development Association TRADA)
- جمعية تطوير الآجر (Brick Development Association BDA)
- جمعية صفائح الرصاص (Lead Sheet Association)
- جمعية تطوير الأنابيب الصلصالية (Clay Pipe Development Association)

صحيحٌ أن كثيراً من تلك الهيئات لا يقدِّم معلومات عن منتَجات صناعية محدَّدة، إلا أنها تمثِّل اهتمامات المؤسسات التجارية من حيث الحاجة إلى توفير معلومات جيدة تعزِّز استعمال طيف من المنتجات على نحو آمن وناجح في تشييد المباني. وتضم منشوراتها معلومات تقنية وخبرات جيدة، منها بيانات ومواصفات وتفاصيل تصميمية.

وإضافة إلى أن كل هيئة من هذه الهيئات متخصِّصة بمادة معينة وبالمكوِّنات التي تُصنع منها، فإن منشوراتها تشتمل على الخبرات اللازمة لتطبيقات معينة. على سبيل المثال، تقدِّم جمعية بحوث وتطوير الخشب المنشورات الرئيسية الخاصة ببنى الأطر الخشبية، وتقدِّم جمعية تطوير الآجر إرشادات وتوصيات لإكساء منزل مبني من أطر خشبية بلبنات آجرية.

ويضم بعض تلك المنشورات معلومات قائمة على الممارسة العملية، فهي تحتوي على تقارير عن مشاريع حقيقية توفِّر سوابق وأمثلة عن كيفية استجابة التصاميم الفعلية لمتطلبات مذكرة الزبون والموقع، معطية تفاصيل ومقاسات المكوِّنات التي تساعد على وضع مقترحات أولية لمشاريع مشابهة.

ومن الهيئات الأخرى التي تقدِّم خدمات المعلومات الجمعيات المهنية. ومع أن بعض خدمات تلك الجمعيات تقتصر على أعضائها فقط، فإن كثيراً منها يَنشر معلومات تتضمن إرشادات تقنية عن مواضيع تهم أعضاءها. ومن تلك الهيئات كل جمعيات صناعة البناء المهنية.

من أمثلة هذا النوع من المنشورات التي يجدر ذكرها دليل التصميم الذي نشره المعهد المهني لمهندسي خدمات البناء (Chartered Institute of Building Secvices Engineers CIBSE). فهذا الدليل يحتوي على شروحات للأسس والبحوث الخاصة بإجراءات تصميم خدمات المباني، إضافة إلى بيانات لاستعمالها في حسابات التصميم.

إرشادات وتوصيات ـ معلومات المصنِّع

يقدِّم كثير من المصنِّعين معلومات عن منتجاتهم. ولا تقتصر تلك المعلومات على طيف المنتجات وأشكالها ومقاساتها فقط، بل تشتمل أيضاً على خواص المواد المستعملة فيها وعلى انحرافات التصنيع الموجودة فيها. وهي توفر أيضاً معلومات عن متطلبات التثبيت والوصل. ويجب عدم الخلط بين هذه المعلومات والمعلومات الدعائية، فالمعلومات التقنية هي دليل تصميم تقني يعطي بيانات تصميمية وتفاصيل تنفيذية، وحتى تعليمات تخص التركيب والصحة والسلامة.

ويقدِّم كثير من المصنِّعين تفاصيل ومقترحات عن كيفية تضمين منتجاتهم في بنية المبنى لتحقيق متطلبات الأداء، وخاصة تلك التي تخضع للتشريعات الحكومية.

ويمكن رؤية ذلك في المعلومات التي يوفِّرها مصنِّعو لبنات الخرسانة والعوازل الذين يعطون أمثلة عن كيفية تحقيق العزل الصوتي والحراري اللذين تنص التشريعات عليهما.

ويوفِّر المصنِّعون أحياناً إرشادات تخص الممارسة العملية الجيدة مقتبسة من كثير من المصادر المذكورة آنفاً. ويمكن منشوراتهم أن تمثِّل أيضاً مصدراً جيداً لمراجع تخص المعايير والتشريعات الملائمة التي نناقشها في المقطع التالي.

المعايير والتشريعات

من الضروري التمييز بين التشريعات التي تصدر عن السلطة التشريعية والتي تنطوي على التزامات قانونية من حيث التطبيق في جميع مشاريع البناء، وبين المعايير التي يمكن أن يُشار إليها في عقود البناء، والتي يجب التزامها في إطار تنفيذ العقد الذي يتضمنها.

وعموماً، تُكتب التشريعات الصادرة عن السلطة التشريعية لتحديد الأداء، وهي لا تتطرَّق إلى كيفية تحقيق ذلك الأداء. إلا أن أهم التشريعات التي يهتم بها هذا الكتاب هي تشريعات البناء (Construction Regulations)، المنشورة مع الوثائق المُقرِّة (Approved Documents) التي تتضمن تفاصيل البناء ومواصفاته، إضافة إلى معلومات تصميمية. إن مقترحات البناء هذه تتوافق مع التشريعات، لكنها لا تغطي كل الحالات. لذا يمكن استعمال حلول أخرى، إلا أن على المصمِّم حينئذ أن يبيِّن أن أداءها منسجم مع التشريعات. ويحصل التيقُّن من ذلك من خلال مراقبة أعمال البناء. لذا تُعتبر الوثائق المُقرَّة مصدراً جيداً للمعلومات عن كيفية تحقيق البناء لمعايير الأداء.

وثمة معايير بريطانية وأوربية لمعظم الجوانب الراسخة من طرائق البناء. وفي حين أن تلك المعايير مكتوبة لتوفير دليل لتحقيق الأداء المنصوص عليه بالمتطلبات المفترضة، فإن وظيفتها الرئيسية هي تحديد معيار حد أدنى يجب على المادة أو المكوِّن أو المنتَج أن يكون متوافقاً معه. إنها لا تضمن الأداء في مبنى معين، فالحكم على ذلك الأداء يبقى جزءاً من الحل النهائي المختار. إن تلك المعايير توفِّر إرشادات عن المواصفات القابلة للتطبيق في كثير من الحالات، وبذلك توفِّر معلومات قيِّمة لعملية الاختيار، إضافة إلى أنها وسيلة جيدة لتحديد الأغراض التعاقدية.

ونظراً إلى أن تطوير معيار مكتمل يستغرق مدة طويلة ويعتمد غالباً على الخبرة والممارسة العملية التي تتوافر للجنة التي تصيغ المقيَس، فقد لا يكون للمواد الجديدة معيار يمكن الرجوع إليه. في هذه الحالة، يمكن أن تكون شهادات مجلس الشهادات البريطاني British Board of Agrement (BBA) متوافرة لتوضيح طبيعة واستعمال منتَج معيَّن.

وهنالك مجموعة من المعايير ذات الأهمية العالية للجزء الثاني من هذا الكتاب، وهي موجودة في كتاب دليل المجلس الوطني لبناء المنازل National House - Building Council (NHBC)، وكانت قد اقتُرحت لوضع المعايير الضرورية للحصول على الضمانة التي يوفرها المجلس، وهي تضم العديد من التوصيات والتشريعات والنصائح المتعلقة ببناء المنازل.

وكثير من أعمال تركيب الخدمات مغطى بتشريعات معينة، ومن أمثلتها تشريعات معهد مهندسي الكهرباء Institute of Electrical Engineers (IEE) الخاصة بالتركيبات الكهربائية.

المجلات

من الضروري أن يحصل اختيار حل المبنى ضمن سياق التصميم والممارسة الشائعين. ويتحقَّق ذلك باستمرار تحديث المعلومات والمعرفة التي لديك عن الخبرات العملية الموجودة، وعن البيئات الاجتماعية والاقتصادية والتجارية التي تؤثِّر في أنشطة البناء. ويتحقَّق ذلك من خلال الممارسة العملية، ويمكن تعزيزه بالقراءة المنتظمة للمجلات الأسبوعية والشهرية.

وتوفِّر الجمعيات المهنية هذه الخدمة لأعضائها عادة، إلا أن ثمة عدداً من المجلات التجارية يوفِّر أخباراً ومقالات عن التطوُّرات التقنية الجديدة والتصاميم المبتكرة، إضافة إلى حلول تخص مشاريع بناء معينة.

العثور على المعلومات

من الممكن دائماً الحصول على المعلومات التي تريدها من المكتبات، أو بالاتصال المباشر مع المنظمات أو الهيئات التي تنشرها. وثمة قواعد بيانات يمكنك البحث فيها عن المعلومات والحصول عليها منها تبعاً للموضوع أو لسياقه. وكثير من تلك المعلومات التي كانت متوافرة على الورق سابقاً، أصبحت الآن متاحة في

الإنترنت. وقد مكَّن الخزن الإلكتروني للمعلومات، التي كانت أصلاً مفهرسة وفقاً لملخصات تُلقي الضوء على المحتوى، من توسيع الفهارس لتشتمل على نسخ عن النص بكامله. إنه لمن الضروري معرفة من هم أولئك الذين يُديرون قواعد البيانات تلك، وكيفية انتقائهم بنودها والتثبت من أصالتها ومن ثمَّ توفيرها. والآن، يمكن استعمال كثير من قواعد البيانات الأكاديمية والتجارية باطمئنان، إلا أنه ما زال من الضروري التيقُّن من صلاحية كل معلومة للغرض الذي تسعى إليه، ومن صلتها به.

يجب عدم الخلط بين قواعد البيانات تلك ومحركات البحث عن المعلومات (غوغل مثلاً). فاستعمال الإنترنت للنفاذ إلى قواعد بيانات معروفة، أو حتى إلى معلومات الهيئات ذاتها مباشرة من مواقعها في الإنترنت شيء، واستعمال وسيلة بحث مفتوحة تحدِّد مصادر ذات طيف واسع من المرجعيات شيء آخر. إذا جرى استعمال محرك بحث، أمكن الحصول على بعض المعلومات الممتازة، ومع ذلك يجب تقييم المادة التي تتوافر حينئذ والتيقُّن من مصدرها ومن الغرض منها.

استعمال المعلومات ـ التوثيق والتحقُّق والمخاطر

من الممكن في كثير من الحالات العثور على منشورات موثوقة وملائمة وأخذ معلومات منها واستعمالها في صياغة الحل، ثم القيام بتحليله لتقليص إمكانات المجازفة والإخفاق. وغالباً ما يكون كافياً أن تقارن المعلومات الجديدة بالمعرفة التي تمتلكها للتيقُّن من أنها ذات مغزى ومن ثَمَّ استعمالها لتأكيد الحل الذي سوف تعتمده.

لكن عندما تكون المجازفة كبيرة، أو كان فهمك للمسألة ليس كافياً، من الضروري السعي إلى المعلومات من أكثر من مصدر. وقد يتبيَّن أن المعلومات الجديدة لا تتفق مع رؤيتك، ولذا تشعر أن من الضروري التيقُّن مما حصلت عليه.

إن سؤال الآخرين عن آرائهم، إذا كنت ترى أنهم يمتلكون خبرة ملائمة لتقديم رأي سديد، قد يكون كافياً لعملية التحقُّق. ومع ذلك قد يتطلَّب ذلك السعي إلى معلومات أخرى من مصادر منشورة.

لن تتمكَّن من مقاطعة المعلومات المتوافرة من عدة مصادر ثانوية مختلفة للتثبت من المعلومة إذا كانت جميعاً تستند إلى مرجع رئيسي واحد. أما إذا كانت المنشورات التي ترجع إليها من مصادر موثوقة، فإن تلك المصادر تكون قد قيَّمت

صلاحية المعلومات قبل أن تعتمدها في منشوراتها. وهذا يجب أن يعطيك بعض الثقة في استعمال المعلومات. ويعود الأمر إليك لتحديد ملاءمتها لمشروعك الذي تعمل به.

وتذكَّر أن رؤيتك النهائية وإحساسك الجيد هما اللذان سوف يقودانك إلى القيام باتخاذ القرار السليم.

الخلاصة

1. قدَّمنا في هذا الكتاب إطار عمل لتحليل المبنى واختياره. ويتطلَّب القيام بالتحليل والاختيار عملياً الرجوع إلى طيف من المنشورات الموثوقة ذات الصلة بالمشروع الذي تعمل به.

2. وفي حين أن الكتب العلمية والمقالات البحثية يمكن أن يوفِّرا معلومات للتحليل، فإن الجوانب الخاصة بالمواصفات والتفاصيل يجب أن تكون حديثة. إن ثمة كثيراً من المنشورات التي توفِّر إرشادات وتوصيات حديثة. وتَنشر تلك المعلومات هيئات أُسِّست لهذا الغرض، وشركات تجارية تقدِّم منتجات لصناعة البناء.

3. توفِّر المعايير والتشريعات معلومات تساعد على تحقيق معيار أدنى مستوى من الأداء المقبول، ويمكن استعمالها والاستشهاد بها إذا كانت ملائمة لمشروع البناء موضوع الاهتمام.

4. غالباً ما يكون من الممكن تحديد المنشورات التي تحتاج إليها من خلال استعمال الفهارس والمكتبات والمصادر الإلكترونية المتسارعة النمو. لكن يجب توخي الحذر حين تحصيل المعلومات من خلال البحث في الإنترنت، بدلاً من جلبها من فهارس وقواعد بيانات معتمَدة.

5. ومن الضروري الحكم على جودة المعلومات وملاءمتها لأغراضك، والسعي إلى التيقُّن من وثوقيتها إذا كان حجم المجازفة المقترن باستعمالها كبيراً.

الثبت التعريفي

أردواز (slate): صخر دقيق الحُبَيْبات ذو لون رمادي أو أخضر أو أزرق، ويمكن أن ينشطر إلى صفائح ناعمة مسطَّحة. وهو صخر استحالي ينجم عن الحرارة أو الضغط، أو عن عوامل طبيعية أخرى.

أرضية حوضية (trough or waffle floor) (الشكل 2.25): بلاطة خرسانة مسلحة، ذات ضلوع متساوية التباعدات في ما بينها موازية للجوانب، ولها شكل الحوض من الأسفل.

أرضية مرتفعة (raised floor): أرضية مرتفعة عن بلاطة الأرضية الأصلية، وتكون عادة في قاعات التجهيزات الحاسوبية حيث يوجد تحتها حيِّز للتمديدات الكهربائية وأنابيب ماء التبريد وجاري التهوية وغيرها.

أساس حصيري (raft foundation): قاعدة خرسانة مصمتة تمتد على كامل أرضية المبنى الذي يُبنى فوقها بوصفها أساساً.

استدامة (sustainability): المقدرة على البقاء. وهي وصف لكيفية بقاء المنظومات الحيوية حية ومتنوِّعة مع مرور الوقت. وفي ما يخص البشر، هي الحفاظ الطويل الأمد على الموارد الطبيعية التي تضمن رفاههم.

أسطوانة ماء غير مهوَّاة (unvented cylinder): أسطوانة الماء الساخن الموجودة ضمن دورة منظومة الماء الساخن المغلقة التي لا يدخلها هواء.

إطار بابي (portal frame): إطار جاسئ يتألف من قائمتين موصولتين في الأعلى بعارضة. وهذه الأطر شائعة كثيراً في الأكواخ الفولاذية.

إطار عزم (moment frame): إطار تقاوم عناصره ووصلاته القوى العرضانية

بالانحناء من دون حصول تشققات أو انهيار.

إفريز (eaves): جزء من السقف يبرز عن جدران المبنى الخارجية.

إنتاج نسائقي (volumetric production/ modular production): تصنيع مقاطع كبيرة من المبنى، ومن أمثلتها الغرفة والحمام... إلخ.

انفراغ سيفوني (siphonage): انفراغ جزئي ينجم عن تدفق السوائل في الأنابيب.

انهيار منتشر غير متجانس (progressive collapse/ disproportionate collapse): انتشار تصدُّع أولي محلي من عنصر إلى آخر مؤدياً في النهاية إلى انهيار المبنى بأسره أو جزء كبير منه.

برِّيمة (auger): أداة حلزونية لحفر ثقوب في الخشب أو التربة.

بلاستر (plaster): مزيج لين من الجير والرمل والإسمنت والماء يُفرش على الجدران والأسقف الداخلية لتكوين سطح ناعم قاس حين جفافه.

بلاطة إنشائية (structural slab): بلاطة خرسانية مسلحة تُستعمل أرضيات للطوابق عادة.

بلاطة مسطَّحة (flat slab): بلاطة خرسانة مسلحة خالية من الجوائز والضلوع.

بنتونيت (bentonite): صلصال سليكات الألمنيوم يوجد في الرماد البركاني ويمتص الماء.

بوليثين (polythene): صفائح بلاستيك حراري يُستعمل في التغليف والعزل الحراري. توجد منه فئات لسماكة الصفائح: فئة الـ 500 ذات سماكة تساوي 125 مكروناً، فئة الـ 1000 ذات سماكة تساوي 250 مكروناً، وفئة الـ 1200 ذات سماكة تساوي 300 مكرون.

تصميم غير نشط (passive design): تصميم يستفيد من الجو المحلي لتوفير بعض أو معظم التدفئة والتبريد والإضاءة والتهوية للمبنى. وهو غير نشط لأنه لا يتطلَّب صرف طاقة لتحقيق تلك الوظائف.

تصميم لدن (plastic design): يستغل التصميم اللدن خواص المادة اللدنة (القابلة للسحب، التي من قبيل الفولاذ) في منطقة الانفعال اللدن من مخطط

الانفعال والإجهاد، حيث يمكن تحميل العناصر الإنشائية من دون أن تنهار بعد نقطة الخضوع (بعد تجاوز نقطة المرونة الكاملة للمادة). ونتيجة لذلك يمكن تحقيق تصاميم أكثر اقتصادية من حالة التصميم المرن، وذلك بسبب انخفاض كمية المادة المستعملة في التصميم.

تصميم مرن (elastic design): طريقة تصميم يحصل تحميل العنصر فيها وفقاً للعلاقة الخطية بين الإجهاد والانفعال بحيث لا يتجاوز الحمل نسبة من الحد الأعظمي لمرونة المادة، أي إن الإجهاد الناجم عن التحميل لا يصل البتة إلى نقطة الخضوع. هذا يعني أن العنصر يخضع إلى تشوُّه غير دائم حين التحميل، ويزول التشوُّه بزوال الحمل.

تغلغلية حرارية (thermal diffusivity): تساوي الناقلية الحرارية مقسومة على السعة الحرارية الحجمية.

تنمية مستدامة (sustainable development): نمط من النمو الاقتصادي يهدف استعمال الموارد فيه إلى تحقيق احتياجات البشر الحالية مع الحفاظ على البيئة بحيث يمكن تحقيق تلك الاحتياجات على نحو دائم للأجيال القادمة من خلال عدم استنفاد تلك الموارد.

جسر بارد (حراري) (cold bridge): يتكوَّن الجسر الحراري عند تلاقي مواد سيئة العزل الحراري سامحة للحرارة بالتدفُّق عبر المسار الناتج.

حاجز مطري (rainscreen): جدار الحاجز المطري هو جدار مصمم لمنع حصول تيارات هوائية داخل وخارج لوحات الإكساء أو التغطية بحيث لا تدفع فروق الضغط الماء عبر فجوات أو تشققات في الجدار إلى الداخل. يتألَّف جدار الحاجز المطري من سطح مستوٍ محكم السد للهواء تحميه إكساءات مهوَّاة أو مفتوحة الوصلات. وتفصل بين هاتين الطبقتين فجوة أو حجرة ممتلئة بالهواء. وتُحدَّد مقاسات الوصلات بحيث يمر الهواء عبرها، دون أن يمر ماء عبرها عندما تضرب عاصفة لوحات التغطية، وذلك بسبب تساوي الضغط في الخارج والفجوة.

حجرة مقاومة للحريق (fire compartment): حيِّز في المبنى مغلف بعوائق نار في جميع الجهات، ومنها الأعلى والأسفل، ومزوَّد بتسهيلات من قبيل الأبواب المؤتمتة وما شابهها.

حصويات (aggregates): رمل وحصى وغيرها من المعدنيات المستعملة مع الإسمنت لتكوين الخرسانة.

حِمل حركة (movement load): الحمل الناجم عن حركة تمدُّد أو تقلُّص العناصر.

حِمل ريح (wind load): الحمل الناجم عن قوى الريح التي تضغط على الجدران.

حمل ساكن (ميت) (dead load): الحمل الناجم عن وزن بنية المبنى نفسه.

حِمل صدم (impact load): حمل لحظي يُطبَّق على البنية حين سقوط ثقل عليها أو تعرُّضها للطرق.

حمل مفروض (إضافي) (imposed load): أي حمل يُطبَّق على البنية في ما عدا الحمل الساكن.

خشب طري (softwood): خشب الأشجار الصنوبرية.

خشب قاسٍ (hardwood): خشب الأشجار ذات الأوراق العريضة، ومنها البلوط والسنديان والزان.

ربط تكديسي (stack bonding): تُصف اللبنات فوق بعضها دون انزياح بحيث تبقى جميع الوصلات الأفقية والعمودية مستمرة.

سطح اهتراء (wearing surface): السطح المعرَّض للإجهاد مباشرة، ومن أمثلته الطبقة السطحية من إسفلت الشارع أو طلاء الجدار. وغالباً ما يُصمَّم هذا السطح ليكون واقياً للطبقات التي تحته وقابلاً للاستبدال.

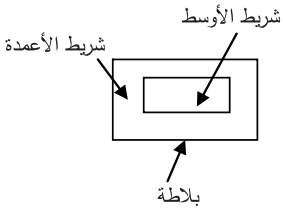
سعة حرارية (heat capacity): كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة جسم بمقدار درجة مئوية واحدة.

سقف أخضر (green roof): سقف مغطى جزئياً أو كلياً بالنبات.

شداد (tie): قضيب أو عارضة يُمسك عناصر البنية معاً في نمط الشد أو الضغط.

شريط الأعمدة (column strip): الشريط الجانبي على طول حافة البلاطة الذي

ترتكز به البلاطة على الأعمدة. ويمكن هذا الشريط أن يوجد عند حواف البلاطة الأربع.



شريط أوسط (middle strip): المنطقة المركزية من البلاطة التي يحيط بها شريط الأعمدة (انظر شريط الأعمدة).

صفيحة ذات أظافر (gangnail plate): صفيحة ذات ثقوب مبثوقة جزئياً بحيث تكوِّن الأجزاء المعدنية الناجمة عن البثق نوعاً من الأظافر. تُستعمل هذه الصفيحة مع براغ لربط مكوِّنات خشبية معاً.

طاقة مضمَّنة (embodied energy): المقدار الكلي للطاقة اللازمة لصنع منتَج، وتتضمن الطاقة المصروفة على استخراج المواد الخام ومعالجتها وتصنيعها ونقلها. وهي تُستعمل غالباً بوصفها معياراً خشناً لمفعول المنتَج في البيئة.

عامل استيعاب الحركة (movement accommodation factor): مجال الحركة الواقع بين الانضغاط والتمدُّد الأعظميين والذي يمكن المادة السَّادة للوصلة أن تستوعبه. ويعطى بنسبة مئوية من عرض الوصلة الأصغري المفترض في التمصيم.

عامل التمدد الخطي (coefficient of linear expansion): مقدار التغيُّر النسبي في الطول الناجم عن تغيُّر درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة، أي $(\Delta L/L)/\Delta T = \alpha =$.

عملية (process): سلسلة من الإجراءات التي تُتَّخذ لتحقيق غرض معين.

عمود جذعي (stub column): عمود لا يزيد طوله على الطول الذي يمكن أن يحصل تحنُّب عنده.

غلاف المبنى (envelope/ enclosure): المكوِّنات المادية الخارجية للمبنى، وهي تشتمل على الأسس والأسقف والجدران والأبواب والنوافذ.

غير نشط/ خامل (passive): لا يحتاج إلى طاقة خارجية لتشغيله. مثلاً التدفئة بالوقود هي تدفئة نشطة، في حين أن التدفئة بأشعة الشمس هي تدفئة غير نشطة.

فاصل حركة (movement joint): فجوة بين العناصر تُملأ بحشوة مرنة لاستيعاب تغيُّرات مقاسات تلك العناصر الناجمة عن عوامل بيئية من قبيل تغيُّر درجة الحرارة.

قاطع أفقي (transom): قطعة أفقية من الخشب أو المعدن تفصل بين جزأين من النافذة.

قاطع عمودي (mullion): قطعة أفقية من الخشب أو المعدن تفصل بين جزأين من النافذة.

قالب طائر (flying form): قالب خرسانة يمكن تكرار استعماله دون فكه وإعادة تركيبه.

قالب نفقي (tunnel form): قالب له شكل الغرفة مفتوح من أحد جوانبه، وتصب الخرسانة على سطحه حيث تجري في نفس الوقت إلى الجدران التي تصبح مع السقف كتلة واحدة.

قضيب بادئ (starter bar): القضبان البادئة هي نهايات قضبان تسليح بارزة من عنصر إنشائي موجود تُستعمل لابتداء عنصر إنشائي جديد بربطها مع قضبانه.

كتلة حرارية (thermal mass): الكتلة الحرارية هي خاصية امتصاص المادة للحرارة عندما يكون المحيط أسخن منها، وإطلاقها عندما يكون أبرد. وهي تعبِّر عن عطالة المادة إزاء تغيُّرات درجة الحرارة المحيطة من حيث إن تغيُّرات درجة حرارتها تتغيَّر ببطء مع تغيُّر درجة حرارة المحيط.

كربون مضمَّن (embodied carbon): المقدار الكلي للكربون الذي يتحرَّر لصنع منتَج، ويتضمن الطاقة المصروفة على استخراج المواد الخام ومعالجتها وتصنيعها ونقلها. وهي تُستعمل غالباً بوصفها معياراً خشناً لمفعول المنتَج في البيئة.

مدخنة متوازنة (balanced flue): خلافاً لمدافئ المدخنة العادية التي تستجر الهواء من الغرفة، وتطرح غازات الاحتراق عبر المدخنة، تتصف مدافئ المدخنة المتوازنة بأنها معزولة عن هواء الغرفة. تتكوَّن المدخنة المتوازنة من أنبوب مزدوج، واحد يستجر الهواء من الخارج إلى المدفأة، وآخر يطرح غازات الاحتراق إلى الخارج. فإذا وُضع الأنبوبان على نحو يُغلف أحدهما الآخر، حصل تسخين للهواء الداخل بواسطة الهواء الخارج.

مرجل تكثيفي (condensing boiler): يسترجع المرجل التكثيفي الطاقة الحرارية التي يحملها بخار الماء الموجود في غازات الاحتراق، وذلك بواسطة ماء بارد يُستعمل للتكثيف، فيسخن نتيجة لذلك.

مرجل مشترَك (combination boiler): وحدة تضم مبادل حراري لتسخين الماء وسخان ماء منزلي.

مساعِدات مؤقتة (falsework): جميع الوسائل التي تُستعمل في أعمال البناء مؤقتاً، ومن أمثلتها مساند وحوامل القوالب والسقالات وما شابهها.

مسافة مخترَقة بالضربة (set): المسافة التي يخترق بها الوتد نتيجة لضربة واحدة على رأسه. كلما صغُرت تلك المسافة، كانت التربة أصلب وأكثر تحمُّلاً إنشائياً.

مسند جداري (return wall): جدار قصير يكون عادة متعامداً مع جدار عديم الارتكاز لزيادة استقراره.

مضخة حرارية (heat pump): وسيلة تنقل الحرارة من منطقة باردة إلى منطقة أسخن، ومن أمثلتها البراد.

مطاط لباني (mastic): راتنج عطري تُفرزه جذوع أشجار اللبان، ويُستعمل لإحكام السد في أعمال البناء.

مفعول المدخنة (stack effect): حركة الهواء عبر الأمكنة المشابهة للمدخنة اعتماداً على كون الضغط في أعلى المدخنة أخفض منه عند أسفلها نتيجة لفروق درجات الحرارة والرطوبة.

ملتقى (interface): النقطة التي يلتقي عندها شيئان أو منظومتان ويتبادلان التأثير فيما بينهما.

منسوب القعر (invert level): أدنى منسوب ضمن منظومة أنابيب تحتوي على سائل، ومن أمثلتها منظومة الصرف الصحي.

مَنْوَر (shaft): حيِّز طولاني في المبنى يُستعمل لإدخال النور إلى الغرف الداخلية التي لا توجد فيها نوافذ مطلة على الخارج وتهويتها، وتمرير تمديدات الخدمات لتوزيعها على الطوابق المختلفة.

موزِّع مركزي (circulation core): مجموعة الأدراج والممرات التي تتفرع عنها.

نحافة (slenderness): نسبة طول العنصر الإنشائي إلى عرضه أو سماكته أو قطره. كلما ازدادت قيمة النحافة، كان العنصر أرفع أو أرق.

نسيقة (module): وحدة مستقلة مُمقيِسة يتكرر استعمالها لتكوين بنية أكبر أكثر تعقيدا.

نفاذية حرارية (thermal transmittance): وتُعرف أيضاً بالقيمة U، هي معدَّل نقل الحرارة (مقدراً بالواط) عبر متر مربع واحد من البنية مقسوماً على فرق درجة الحرارة بين جانبي البنية. وتُقدَّر بالواط للمتر المربع للكلفن .$W/m^2/K$ تدل قيم النفاذية الحرارية المنخفضة على العزل الجيد.

نواة صلبة (hardcore): قاعدة تحتية تتكوَّن عادة من لبنات آجر وخرسانة مكسرة وتُستعمل فرشة لعنصر خرساني يُصب فوقها.

هبوط تفاضلي (differential settlement): هبوط غير متجانس للأسس نتيجة لضعف التربة وزيادة التحميل. يؤدي الهبوط التفاضلي إلى صدوع وتشوُّهات في الأساس وعناصر المبنى.

وتد إزاحة (displacement pile): وتد يُزيح التربة حين حشره فيها دون إزالتها.

وتد إستبدال (replacement pile): وتد يوضع في التربة بعد ثقبها وإزالة تراب الثقب.

وَتَرة (web): القطعة الواصلة بين شفتي الجائز.

وصلة اليوم (day joint): في أعمال صب الخرسانة التي تستغرق أياماً عدة، تتكوَّن وصلة بين الجزء الذي ينتهي صبه في يوم، والجزء الذي يُصب في اليوم التالي. تسمى هذه الوصلة بوصلة اليوم، مع أنها يجب ألا تكون موجودة أصلاً.

ثبت المصطلحات

آجرة طولية	stretcher
آجرة/ لبنة آجرية	brick
إجهاد	stress
احترار الكرة الأرضية	global warming
أخدود/ حز/ ثلم	groove
أردواز	slate
أرضية حوضية	trough or waffle floor
أرضية مرتفعة	raised floor
أساس حصيري	raft foundation
أساس شريطي	strip footing
استدامة	sustainability
استطاعة	power
إطار بابي	portal frame
إطار عزم	moment frame
إطار/ هيكل إنشائي	skeletal frame
إطار/ هيكل فراغي	space frame
إفريز	eaves

torsion	التواء
volumetric (modular) production	إنتاج نسائقي
deviation	انحراف
subsidence	انخساف
structural	إنشائي
siphonage	انفراغ سيفوني
strain	انفعال
discontinuity	انقطاع/ فجوة
finishes	إنهاءات
progressive disproportionate collapse	انهيار منتشر غير متجانس
soaker	بالوعة
stud	برغ/ مسمار/ خابور
projection	بروز/ نتوء
auger	برِّيمة
plaster	بلاستر
slab	بلاطة
structural slab	بلاطة إنشائية
flat slab	بلاطة مسطَّحة
bentonite	بنتونيت
passive fabric	بنية إنشائية خاملة (غير نشطة)
active fabric	بنية إنشائية نشطة (نوافذ/ أبواب. . .)
sandwich structure	بنية طبقة بينية
bending structure	بنية منحنية

structure	بنية/ هيكل
framed structure	بنية هيكلية/ مؤطرة
polythene	بوليثين
stairwell	بيت الدرج
heat exchange	تبادل حراري
computer numeric control CNC	تحكُّم حاسوبي رقمي
critical path analysis	تحليل المسار الحرج
cradle to grave analysis	تحليل المهد إلى اللحد
buckling	تحنُّب
wracking or racking	تخلُّع (عدم تماسك)
abutment	تخم
strutting	تدعيم
recycling	تدوير
bracing	تربيط
chevron bracing	تربيط على شكل V
tolerances	تسامحات
shoring	تسنيد
pressure equalization	تسوية الضغط
shaping	تشكيل
plastic deformation	تشوُّه لدن
elastic deformation	تشوُّه مرن
computer aided design CAD	تصميم بمساعدة الحاسوب
passive design	تصميم غير نشط
plastic design	تصميم لدن

elastic design	تصميم مرن
sustainable design	تصميم مستدام (مُراعٍ للبيئة)
computer aided manufacturing CAM	تصنيع بمساعدة الحاسوب
cladding	تغطية/ إكساء
thermal diffusivity	تغلغلية حرارية
rebate or rabbet	تفريزة/ فرزة
condensation	تكاثف
facing	تلبيس
sustainable development	تنمية مستدامة
normal distribution	توزُّع طبيعي (غوصي)
mortise	ثقب أو فجوة (في تعشيقة)
retaining wall	جدار استنادي
structural wall	جدار إنشائي/ جدار حامل
partition wall	جدار تقسيمات داخلية
diaphragm wall	جدار حاجز
loadbearing wall	جدار حامل
cavity wall	جدار (ذو) فجوة
gap wall	جدار (ذو) فجوة
fin wall	جدار زعنفي
backing wall	جدار ظهير
separation wall	جدار فاصل
panel wall	جدار لوحة
shear wall	جدار مانع للقص
cross wall	جدار مستعرض

Party wall	جدار مشترَك
girder	جسر
cold bridge	جسر بارد (حراري)
power trowel	جلاّية آلية
truss	جملون
rainscreen	حاجز مطري
fire compartment	حجرة مقاومة للحريق
volumetric	حجمي/ كتلي
flashing	حشوة معدنية
aggregates	حصويات
damp proof course DPC	حصيرة حاجزة للرطوبة
piling rig	حفَّارة أوتاد خرسانية
soakaway	حفرة ماصة للمياه المستعملة
hanger	حمَّالة
convection	حَمْل حراري
movement load	حِمل حركة
wind load	حِمل ريح
dead load	حمل ساكن (ميت)
impact load	حمل صدم
eccentric load	حمل لامركزي
imposed load	حمل مفروض (إضافي)
curve	حنى/ منحنٍ
environmental services	خدمات بيئية

active service	خدمة نشطة
aggregate concrete	خرسانة حصوية
plain concrete	خرسانة غير مسلحة
lean concrete	خرسانة قليلة الإسمنت
aerated concrete	خرسانة مسامية
reinforced concrete	خرسانة مسلحة
plywood	خشب رقائقي
chipboard	خشب مضغوط
short circuit	دارة قصر
dew point temperature	درجة حرارة الندى
cantilever	دعامة ناتئة
footing	دعامة/ قاعدة/ ركيزة
support	دعامة/ مرتكَز
plank	دف
durability	ديمومة/ متانة
stack bonding	ربط تكديسي
dynamic consolidation	رص بالصدم (بالدق)
substrate	ركيزة
structural glass	زجاج إنشائي
creep	زحف
curtain walling	ساتر جداري
water seal	سدادة مائية
wearing surface	سطح اهتراء
heat capacity	سعة حرارية

green roof	سقف أخضر
pitched roof	سقف مائل
couple roof	سقف مزدوج الميل
close couple roof	سقف مزدوج مغلق
long-span roof	سقف واسع المجاز (الامتداد)
tie	شداد
column strip	شريط الأعمدة
middle strip	شريط أوسط
louvre	شفرة مائلة
baffle	صاد
gangnail plate	صفيحة أظافر
wall plate	صفيحة جدار
thermostatic valve	صمام حراري
constructed form	صيغة مشتقة
arched rib	ضلع مقنطر
energy	طاقة
embodied energy	طاقة مضمَّنة
render	طلاء
beam	عارضة
purlin	عارضة أفقية
joist	عارضة ثانوية
batten	عارضة خشبية
rafter	عارضة مائلة
trussed rafter	عارضة مائلة شبكية

movement accommodation factor	عامل استيعاب الحركة
coefficient of linear expansion	عامل التمدد الخطي
sill	عتبة سفلية (للباب والنافذة)
lintel	عتبة فوقية
sub-sill	عتبة فوقية ثانوية
threshold	عتبة/ برطاش الباب
carbon free	عديم الكربون
lateral	عرضاني/ جانبي
strut	عضادة
jamb	عضادة الباب أو النافذة
column	عمود
stub column	عمود جذعي
span member	عنصر مجاز (مد)
plant room	غرفة المعدَّات
pod	غرفة مسبقة الصنع/ حاضن
intumescences	غشاء انتفاخي
damp proof membrane DPM	غشاء حاجز للرطوبة
envelope (enclosure)	غلاف المبنى
passive	غير نشط/ خامل
movement joint	فاصل حركة
fuse	فاصمة
haunch	فخذ
concrete blinding	فرشة خرسانة
reed bed	فرشة قصب

فلكة	shim/ washer
فولاذ مشكَّل بالكبس	pressed steel
قابس	plug
قاطع أفقي	transom
قاطع عمودي	mullion
قالب صب	formwork
قالب طائر	flying form
قالب نفقي	tunnel form
قبة	dome
قِدَّة/ صبة رمل وإسمنت ناعمة رقيقة	screed
قرميدة S	pantile
قرْن/ ربط	coupling
قرينة التخميد الصوتي	sound reduction index
قص	shear
قضيب بادئ	starter bar
قضيب/ محور/ مَنْوَر	shaft
قوَّس	bend
قوس مضلَّع	ribbed arch
قوس/ قنطرة	arch
قوقعة	shell
كاسرة شمس	brise-soleil
كبل تعليق	suspension cable
كتف	verge

thermal mass	كتلة حرارية
embodied carbon	كربون مضمَّن
kicker (of a wall)	كعب (الجدار)
carbon efficient	كفوء كربونيا
unplasticized polyvinyl chloride (uPVC)	كلوريد الفينيل المتعدد غير الملدَّن
sarking felt	لبَّادة مشرَّبة بالقار
built up felt	لبادة مقوَّاة
block	لبِنة
blockwork	لبِنة خرسانية
tenon	لسان تعشيق
fascia	لوح أمامي/ وجه أمامي
sheathing board	لوح تقوية
corrugated iron	لوح حديد مجعَّد
oriented strand board (OSB)	لوح رقاقات موجهة
soffit	لوح سفلي/ وجه سفلي
structural insulated panel	لوحة إنشائية معزولة
spandrel panel	لوحة كتفية
mineral wool	ليف معدني
sheltered housing	مأوى العجزة
high rise building	مبنى عال (لا يقل عدد الطوابق عن 5)
deep plan building	مبنى عريض
low rise building	مبنى منخفض (لا يزيد عدد طوابقه على أربعة)
masonry	مبني من حجر أو لبنات
structural integrity	متانة إنشائية

Polytetrafluoroethylene (PTFE)	متعدد رباعي فلور الإيثلين
ridge	متن
two way span	مجاز ثنائي الاتجاه
one way span	مجاز وحيد الاتجاه
equalization	مجانسة/ تسوية
drip	مجمِّع قطرات
gantt chart	مخطط غانت
bar chart	مخطط قضباني
balanced flue	مدخنة متوازنة
condensing boiler	مرجل تكثيفي
combination boiler	مرجل مشترَك
falsework	مساعِدات مؤقتة
set (pile)	مسافة مخترَقة بالضربة
precast	مسبق الصنع
prop	مسند
return wall	مسند جداري
heat pump	مضخة حرارية
mastic	مطاط لباني
plant	مُعدَّات
standard(s)	معيار/ معايير
hinge	مفصل
stack effect	مفعول المدخنة
working size	مقاس تشغيلي

coordinated size	مقاس تنسيقي
gross size	مقاس عام
socket	مقبس
mortar	ملاط/ طينة
interface	ملتقى
cramp	ملقط
invert level	منسوب القعر
datum level	منسوب مرجعي
atrium (atria)	منور/ دهليز
circulation core	موزِّع مركزي
slenderness	نحافة
modular	نسائقي
module	نسيقة
wall skirting	نعلة الجدار
thermal transmittance	نفاذية حرارية
permeability	نفوذية
yield point	نقطة الخضوع
dew point temperature	نقطة الندى
hardcore	نواة صلبة
differential settlement	هبوط تفاضلي
architecture	هندسة معمارية
gable	واجهة الجملون
pile	وتد
web	وَتَرة

ورك	hip
وصلة تقابلية	butt joint
وصلة جاسئة	rigid joint
وصلة دحرجة	roller joint
وصلة عزم	moment joint
وصلة مشقوقة	sawn joint
وصلة مفصلية	pin joint
وصلة اليوم	day joint

الفهرس

ـ أ ـ

الاتصالات الحاسوبية السلكية: 694
الاتصالات اللاسلكية: 694، 706
أجهزة إطفاء الحريق: 729
الاختيار التقني: 85، 97، 477، 481 ـ 482
الأداء الكلي: 97، 150، 655
الأداء المادي: 16، 29، 37، 95 ـ 97، 104، 107، 503
إدارة عملية الإنتاج: 55
الأدوات الصحية: 447، 454 ـ 456، 473، 721، 723 ـ 724
الارتكاز: 168، 177 ـ 178، 183، 185، 240، 333، 357، 364 ـ 365، 371، 416، 430، 511 ـ 512، 522، 527، 533، 540، 555، 568، 580 ـ 581، 589، 644 ـ 645، 651 ـ 655، 664، 667، 670، 676، 690، 695، 734 ـ 735
أرضية الفولاذ الرقيقة: 523
أساس الحصيرة: 429
استجرار الماء: 418
استخدام الألمنيوم: 496
استهلاك الطاقة: 31، 57، 76، 81، 97، 115، 131 ـ 132، 140، 142، 145 ـ 146، 273 ـ 274، 276 ـ 277، 279 ـ 280، 290 ـ 292، 295، 299 ـ 300، 303، 311، 330، 376، 378، 387 ـ 388، 400 ـ 401، 435، 451 ـ 452، 471 ـ 473، 499، 501 ـ 502، 506 ـ 507، 536، 561، 568، 640، 714، 718 ـ 719، 737
استهلاك الطاقة الكلي: 471
أسطوانات الماء الساخن: 723
الأسقف الداخلية: 669، 687، 689
الأسقف المسطَّحة: 343 ـ 344، 347، 359 ـ 360، 372 ـ 373، 588، 675، 677 ـ 678، 685
الأسقف المعلقة: 249، 565، 671، 689، 691 ـ 692، 694 ـ 695، 699، 712

إسمنت بورتلاند: 534
الأشعة الشمسية: 284 ـ 285، 508، 514
الأشعة فوق البنفسجية: 363
الإصلاح الصحي: 272
الإطار الخشبي: 399
الأطر المستوية: 201، 204، 571، 573 ـ 575، 588
أعمال التنظيف: 75، 156، 446
الأفاريز: 126، 345 ـ 346، 351 ـ 352، 355، 360، 362 ـ 367، 371، 374، 576، 670، 675
الأكريليك: 668، 670
الأكسدة: 212 ـ 213، 535، 659، 669 ـ 670
أكسدة الفولاذ: 534
الأكسدة الكهركيميائية: 659، 670
ألواح البلاستر: 48، 70، 323 ـ 324، 340، 392 ـ 393، 410 ـ 411، 565، 690، 692
الأنابيب: 117، 148، 152، 171، 220، 326، 337، 393، 439، 441 ـ 442، 444 ـ 445، 449 ـ 451، 454، 456 ـ 458، 460 ـ 463، 466، 473، 624، 706، 711، 720 ـ 726، 730، 733، 742
أنابيب الصرف الصحي: 363، 454، 473، 706، 724
الأنشطة البشرية: 73، 88، 310
أوتاد الإزاحة: 427، 616 ـ 617

ـ ب ـ

البلاستيك: 56، 78، 87، 141 ـ 142، 212، 298، 346، 363، 366، 384، 398، 401، 456، 461، 492، 540، 613، 632، 645، 655، 657، 669، 682، 718
البلاطات الخرسانية: 314، 338، 364، 369، 373
البلاطات المسطَّحة: 49، 186، 201، 516، 544، 550
بلورات الجليد: 78، 554
البنتونيت: 627
البنى الفولاذية: 494، 582
البنى الهيكلية: 202، 486 ـ 487، 491، 495، 510، 530، 589 ـ 590، 608 ـ 610، 613، 637، 639، 643، 648
البنية الإنشائية: 50، 71، 79، 83، 125، 129 ـ 130، 132 ـ 134، 136 ـ 141، 148، 150 ـ 152، 154 ـ 155، 157، 159، 161 ـ 162، 164، 167، 169، 174 ـ 175، 190 ـ 191، 193، 220، 223، 279، 281، 283، 313، 344، 375، 380، 382، 444، 477 ـ 478، 484 ـ 485، 492، 499، 507، 510، 512 ـ 513،

516 ـ 517، 534، 566 ـ 567، 587، 593، 643
البنية التحتية: 41، 55، 57، 86، 104، 159، 250، 271، 447، 463، 479
بنية السقف: 343 ـ 344، 356، 358 ـ 359، 362، 373، 601، 603، 605، 643، 676، 678 ـ 680، 682، 685، 692
البيروقراطية: 101
بيئة اجتماعية: 16، 18، 31، 88، 113، 479
البيئة الخارجية: 73، 75 ـ 77، 80 ـ 82، 84، 114، 118، 120، 484، 510، 640
البيئة الداخلية: 31، 34، 74 ـ 76، 80 ـ 81، 83، 113 ـ 114، 116، 118، 121، 436، 499، 506 ـ 507، 517، 688
البيئة المادية: 20

ـ ت ـ

التجربة الذهنية: 28، 31، 35، 37 ـ 38
التجميع: 24 ـ 25، 38 ـ 39، 54، 56 ـ 58، 60، 62 ـ 65، 69، 71 ـ 72، 80، 84، 89 ـ 90، 97، 111، 165، 182، 184، 186، 227 ـ 229، 235، 240 ـ 241، 243 ـ 250، 253، 256 ـ 258، 260، 266، 295، 299، 302، 310، 358، 373، 399، 454، 479، 494، 510 ـ 511، 515 ـ 516، 531، 538، 561، 587، 639، 643 ـ 644، 646 ـ 648، 675 ـ 676، 689
تجهيزات الكشف: 727
التحكُّم الآلي: 118، 290 ـ 291، 499 ـ 500، 719
التحكُّم المركزي: 708
التخطيط القانوني: 103
التدفئة: 30، 34، 78، 81، 94، 116 ـ 118، 131 ـ 132، 134، 137، 142، 210، 220، 262، 277، 279 ـ 280، 282، 286، 289، 291، 293 ـ 295، 301، 303، 310، 393، 400، 435 ـ 436، 444، 447 ـ 452، 464، 466، 472 ـ 473، 500، 508 ـ 510، 679، 690، 694، 705 ـ 711، 713 ـ 716، 718، 722 ـ 723، 736
التدوير: 58، 81، 264، 266، 277، 298 ـ 299، 323، 330، 336، 364، 394، 447، 536، 647
التسخين الشمسي: 435، 723
تشريعات البناء: 744
التشريعات الخاصة: 159، 439، 726
التشكيل الانزلاقي: 538
تشييد الطوابق: 407

تصميم الأساسات: 416، 421، 432، 608 ـ 609
التصميم الإنشائي: 193 ـ 194، 522، 524، 568، 592، 741
التصميم البيئي: 97، 413، 505، 507
التصميم المضاد للحريق: 689
التطوير التقاني: 273
التعشيقة: 69
تغليف ميكانيكي: 728
التغيُّرات الجيولوجية: 222
التفريغ السيفوني: 456، 724
تكييف الهواء: 282، 291، 439، 508، 708 ـ 710، 713، 715، 717 ـ 718، 736
التمديدات الكهربائية المنزلية: 470
التنظيم الاجتماعي: 36
التنمية المستدامة: 57، 93، 142، 269، 271، 274، 279، 298، 302 ـ 303، 378، 435، 438، 447، 490، 498، 568
التهوية الطبيعية: 30، 82، 95، 139 ـ 140، 286، 288، 291، 301، 328، 435، 715
تهوية وتكييف هواء: 507
التوجيه الميكانيكي: 714
التوزُّع الطبيعي: 64

ـ ث ـ

الثورة الصناعية: 77، 272، 571
ثورة المعلومات الإلكترونية: 41

ـ ج ـ

جدار زجاجي: 672
الجدار الزعنفي: 601 ـ 602
الجدار العابر: 385
جدار الغلاف: 512، 670
الجدار القشري الواقي: 623
جدران استنادية: 223
الجدران الإنشائية: 589 ـ 591، 595، 637
الجدران الخارجية: 45 ـ 48، 50، 145، 164، 201، 234، 324 ـ 325، 328، 332، 335 ـ 337، 340، 374 ـ 375، 380، 394، 408 ـ 413، 416، 429، 486، 506، 510 ـ 511، 529، 571، 576، 589 ـ 590، 601، 606، 639 ـ 640، 642، 646، 649، 666، 681، 688
الجدران الداخلية: 45 ـ 46، 82، 130، 190، 198، 325، 337، 376، 380، 393، 407، 412، 429، 589، 593 ـ 594، 601، 688
الجدران الزجاجية الإنشائية: 672
جدران فاصلة: 34، 345، 375
جدران اللوحات: 376، 378 ـ 380، 411 ـ 412، 590، 701، 703

الجدران المستعرضة: 589 ـ 590، 593 ـ 595، 606
جمعية الخرسانة: 740، 742

- ح -

الحاجز المطري: 486 ـ 487، 513، 661 ـ 662، 665 ـ 666، 668
الحالة البيئية للمبنى: 435
حرائق الزيوت: 730
حركة التطوير المستدام: 21
الحفر اللولبية: 616
الحلول التقنية: 11، 95، 161، 255، 271، 301، 482، 489، 493 ـ 494، 498 ـ 500، 502، 506 ـ 507، 531، 566، 621
الحنفية: 208، 439، 441 ـ 443، 722 ـ 723
حوض الحمام: 441 ـ 442، 446

- خ -

الخدمات البيئية: 131، 464، 506 ـ 507، 706 ـ 707، 709، 736
خدمات الماء والصرف الصحي: 720
الخرائط الجيولوجية والطوبوغرافية: 419
الخرسانة: 45، 48 ـ 50، 55، 59، 87، 168، 192، 195، 198 ـ 201، 217 ـ 220، 224، 229، 234 ـ 235، 240، 245، 247 ـ 248، 251، 254، 256، 259، 266، 277، 299 ـ 300، 314، 329، 332 ـ 336، 338 ـ 339، 343، 349 ـ 350، 373، 377 ـ 379، 382، 384، 386 ـ 387، 390، 392 ـ 393، 396 ـ 397، 403، 405، 409، 411 ـ 413، 416، 422 ـ 428، 431، 463، 486، 489، 491 ـ 492، 494 ـ 496، 514، 519 ـ 527، 530 ـ 547، 550 ـ 557، 559 ـ 560، 562 ـ 564، 566، 568 ـ 569، 572، 581 ـ 582، 584 ـ 585، 590 ـ 597، 600، 602 ـ 606، 610، 612 ـ 614، 616 ـ 617، 619، 622، 627 ـ 628، 630 ـ 632، 634 ـ 635، 637 ـ 638، 640، 644، 650، 652 ـ 653، 655، 658، 660، 662 ـ 663، 667، 672، 675، 679، 689، 703، 740، 742، 744
الخرسانة المسلحة: 45، 49 ـ 50، 168، 199 ـ 201، 229، 240، 397، 492، 519، 521 ـ 525، 530 ـ 531، 533 ـ 539، 551، 556 ـ 557، 559 ـ 560، 566، 568، 581، 584، 590، 593، 602 ـ 603، 614، 644، 650، 655، 662
خزان المرحاض: 441 ـ 443، 446
الخشب الصفائحي: 56، 496، 540

الخشب الطري: 363، 401
خطوط التغذية الكهربائية: 697
الخلايا الكهرضوئية: 472 ـ 473، 677، 727
خيارات التصميم: 105، 391

ـ د ـ

داء الليجيونير: 438
الدارات الكهربائية: 469 ـ 470، 719
دارة كهربائية: 467
درجة الحرارة والجفاف: 77
الدوراني الحلزوني: 617
الديمومة: 79، 208 ـ 209، 213، 221، 317، 337، 382، 394، 405، 423، 536، 560، 627، 630، 665

ـ ذ ـ

ـ ر ـ

الرؤية التصميمية: 60، 480، 639

ـ ز ـ

الزجاج الإنشائي: 493، 511، 513، 645 ـ 646، 659، 672 ـ 674

ـ س ـ

السخَّان الكهربائي: 449
السعة الحرارية: 132، 136، 283، 388 ـ 389، 401
السقف الأخضر: 682
السقف الداخلي: 344، 355 ـ 356، 361 ـ 363، 365، 371، 373 ـ 374، 681، 687، 691، 699، 703، 733
السقف المائل: 344، 349، 353، 359، 373
السكك الحديدية: 585
السلوك الاجتماعي: 74، 171
السليكون: 362، 668، 672 ـ 674
سماكة التاج: 523
سيرورات التصنيع: 58

ـ ش ـ

شبكة التسليح الفولاذية: 636
شبكة الصرف الصحي: 457 ـ 458، 706، 720، 737
شرائح الأردواز: 348 ـ 350، 362، 373، 386، 666، 675
شرائط الأعمدة: 524
شعاع القوة: 585
شمولية العملية: 307

ـ ص ـ

صب الخرسانة: 234 ـ 235، 245، 247، 424، 426، 431، 492، 524، 536 ـ 539، 543 ـ 546، 550 ـ 552، 554 ـ 555، 569، 594، 612، 616 ـ 617، 628، 632، 644
صفائح فولاذ: 363

الصفائح المعدنية: 50، 347، 670، 696
صمامات حرارية: 448
الصواري: 573 ـ 574
الصيانة الدورية: 208، 364
صيانة المنتجات الخشبية: 665
الصيغة العامة: 43، 45، 50 ـ 51، 94، 311، 329، 349، 421، 485، 487، 497، 572، 577
الصيغة المشتقة: 43، 47، 49

ـ ض ـ

الضغط الخارجي: 140، 284، 662
الضلع المقنطر: 579

ـ ط ـ

الطاقة الكهربائية: 142، 145، 243، 290 ـ 291، 446، 471، 500، 726، 732، 737
طبقة البلاستر: 392
الطبقة الخارجية: 380 ـ 384، 389 ـ 390، 394، 397، 405، 510، 512، 602، 650
الطبقة الداخلية: 167، 324، 370، 380 ـ 384، 386، 389 ـ 390، 397، 403، 405، 407، 412، 422، 651، 655، 660
طرائق الإنتاج: 38، 227 ـ 228، 231، 252، 259، 483، 495، 531، 631
طريقة التفريغ السيفوني: 724
الطلاء: 391، 393، 401، 530، 561، 565، 667 ـ 669
الطلاء العضوي: 669
طلاءات بوليمرية: 660، 668

ـ ظ ـ

الظروف الاجتماعية: 74، 78، 80، 272، 642
الظروف البيئية: 29، 31، 77، 82 ـ 83، 93، 103، 107، 117، 121 ـ 122، 175، 210، 217، 224، 647، 657، 687، 706
الظروف الخارجية: 34 ـ 36، 73 ـ 75، 77 ـ 79، 83 ـ 84، 109، 113، 143 ـ 144، 172، 392 ـ 393، 667، 673، 687
الظروف الداخلية: 21، 34 ـ 35، 73، 75 ـ 77، 81 ـ 84، 114، 118، 120 ـ 121، 219، 281 ـ 282، 363، 640، 642، 687
الظروف المناخية الخارجية: 29 ـ 30

ـ ع ـ

العازل الحراري: 137، 332، 334، 341، 362، 366، 374، 381، 470، 605، 649، 651، 668
عامل الحموضة: 534 ـ 535
عرض الأساسات: 420
عملية الاختيار: 9، 11، 16، 18،

23 ـ 24، 40، 52، 55، 60،
81، 97، 116، 269، 277، 307
ـ 308، 419، 480 ـ 482، 490،
500، 505، 608، 744
عملية الاختيار الشاملة: 419
عـملية الإنـتـاج: 55 ـ 56، 63 ـ 65،
80، 229 ـ 230، 234 ـ 236،
239، 245 ـ 246، 252 ـ 253،
255 ـ 256، 258 ـ 260، 302،
373، 379، 381، 389، 397،
403، 406 ـ 407، 413، 419،
431، 479، 481، 487 ـ 489،
492، 495، 519 ـ 520، 524،
536، 551، 555، 560، 567 ـ
569، 591، 595، 606 ـ 607،
616، 638، 695
عملية أوتاد الاستبدال: 616
عـمـلية الـبـنـاء: 20، 32، 37، 42،
53، 58، 64، 66 ـ 67، 74،
83، 85، 87، 89، 92، 99،
102، 111، 216، 228، 230،
237 ـ 238، 245، 260، 262،
407، 479، 515، 555، 563،
621، 739
عملية التجميع: 69، 71 ـ 72، 515 ـ
516، 538، 643، 646 ـ 647
عملية التحليل: 9، 24، 194، 403،
482
عملية التحويل: 145
عـملية التـشـييـد: 15، 17، 85 ـ 86،
232 ـ 233، 235، 241، 259
عملية التصنيع والتجميع: 24
عملية التقوية: 432
عملية المكننة: 90، 239، 245
عملية النقل: 553
عناصر الاستقرار: 174، 199، 201،
525، 527، 560، 608
عناصر الهيكل الفراغي: 580
العوامل الجوية: 69 ـ 70، 79، 102،
210 ـ 211، 262، 313، 330،
338، 345، 348 ـ 350، 352،
362 ـ 366، 372، 375 ـ 376،
380، 382، 387، 390 ـ 391،
393 ـ 395، 397، 399، 402،
405، 408 ـ 409، 412 ـ 413،
416، 485، 491 ـ 492، 494،
510، 513، 582، 591 ـ 592،
595 ـ 596، 598، 601، 604،
636، 640 ـ 641، 648، 652 ـ
653، 655 ـ 658، 661، 663،
665 ـ 669، 677 ـ 678، 680 ـ
682، 733

ـ غ ـ

غـاز الـرادون: 36، 77، 154، 156،
335
غاز الميثان: 294، 298

ـ ف ـ

فتحات التوزيع: 716 ـ 717

فرشات قصب: 463
الـفـولاذ: 45، 48 ـ 50، 55، 90، 168، 192، 198 ـ 201، 203، 247، 254، 256، 318، 357، 362 ـ 363، 384، 396 ـ 397، 401، 403، 412، 423 ـ 424، 494 ـ 496، 519 ـ 524، 526 ـ 527، 530 ـ 536، 542 ـ 543، 545، 548 ـ 551، 555 ـ 566، 568 ـ 569، 572، 582، 584 ـ 588، 597، 600، 617، 636، 645، 668 ـ 670، 673، 688، 693، 742
فيتروفيوس: 96

ـ ق ـ

القاعدة الصناعية: 17
القانون الخاص: 40
القدرات التصنيعية: 497
القضبان البادئة: 541، 547، 550
قضبان التسليح: 532، 537، 541، 543 ـ 544، 550، 552، 564، 611، 618 ـ 619
قضبان الفولاذ: 424، 532، 548 ـ 550، 555
القواطع الأفقية: 658
القواطع العمودية: 657 ـ 659
القوالب الطيارة: 545
قوانين الطبيعة: 96، 104، 107، 110، 113، 303
القوائم الإنشائية: 646
القيم الحضارية: 36

ـ ك ـ

كشف الحريق: 162 ـ 163، 707، 727 ـ 728
الكفاءة الإنشائية: 358، 549، 556، 613

ـ ل ـ

لوح أمامي: 365
لوح سفلي: 365، 367
اللوحات الإنشائية المعزولة: 597
لوحات التوزيع الكهربائية: 719
لوحات الطاقة الشمسية: 293، 723
اللوحات الكتفية: 513

ـ م ـ

ماء الشرب: 295، 438 ـ 439، 445، 721 ـ 722
مادة السيراميك: 667
مانعة الصواعق: 731
المباني الصناعية: 61، 511، 572، 589، 601 ـ 602، 605 ـ 607، 639، 684، 714
متطلبات الأداء: 23، 28، 33، 47، 55، 72، 79، 81، 111، 209، 271، 339، 341، 505، 642، 687، 743
المجاري البلاستيكية: 718

محرك سترلينغ: 294
المخاطر التقنية والمالية: 489
مخاطر التلف: 732
المداخن المتوازنة: 450
مدة التنفيذ: 232، 234، 251 ـ 252، 259، 495، 497، 536، 566، 599، 626، 735
المِرذاذات: 729 ـ 730
المزاريب: 127، 346، 364، 371 ـ 372، 374، 387، 676، 682
مستوى الأرضية: 327، 386، 410، 711، 717
مستوى الأرضية الداخلية: 386
مستوى الإنجاز: 120
مستوى الراحة: 32
مستوى الفهم: 15، 92
مستويات الأداء: 23، 33، 35، 37 ـ 38، 50، 60، 95، 108 ـ 109، 121، 143، 174، 255، 478، 501، 642، 687، 698
مستويات التصنيع: 407، 647، 699
مسح طوبوغرافي: 197
المعاينة البصرية المباشرة: 420
المعلومات المناخية: 419
مفاتيح الكهرباء: 698
المفاعيل البيئية الأخرى: 472
مفهوم التصميم: 19، 21، 55، 82، 93، 95، 97، 99 ـ 101، 252، 255، 301، 478، 481 ـ 482، 484، 567
مفهوم التنمية المستدامة: 274
المقاس التنسيقي: 61 ـ 62، 72، 691
المقاصد التصميمية: 641
مقاومة الانهيار الدوراني: 190، 593
المقترح الأولي: 17، 51، 380 ـ 381
المكوِّنات الخرسانية: 338، 362، 533
الملوثات الكيميائية: 36، 296
مناور عمودية: 287، 711
منظومات الاتصالات اللاسلكية: 694، 706
منظومات إدارة المبنى: 708
منظومات الأرضيات العميقة: 696
منظومات الأسقف: 691
منظومات الإضاءة: 718
المنظومات الاقتصادية: 16، 36، 274، 276
منظومات الأمن: 707، 737
منظومات التدفئة: 291، 447، 472، 500، 510، 690، 708، 710 ـ 711، 718
منظومات التسخين الشمسية: 435
منظومات التقسيمات الداخلية: 697 ـ 699
منظومات الجدران: 691
منظومات الحاجز المطري: 487
منظومات الصرف الحَضَرية المستدامة: 463
منظومات الطاقة البيئية: 707
منظومات الطاقة المنخفضة: 705
منظومات الكشف: 728

منظومات المكوِّنات: 690 ـ 691
منظومات المياه السطحية: 463
منظومة الإدارة الحاسوبية: 708
منظومة الإدارة والتحكُّم: 716
منظومة الارتكاز: 580
منظومة الإنذار: 162، 728، 730
المنظومة الإنشائية الشاملة: 23، 174
منظومة بيئية طبيعية: 57
منظومة التغذية الكهربائية: 465، 723
منظومة الخزان: 440
المنظومة الخشبية: 696
منظومة الصرف الصحي: 436، 453 ـ 455، 459 ـ 460، 463، 720 ـ 721، 723 ـ 725، 737
المنظومة الكهرضوئية: 472
منظومة المجاري: 716
منظومة مجاري الهواء: 82
المواد الأولية: 59
مواد التلبيس: 659 ـ 660
المواد الكيميائية: 335 ـ 336، 439
موارد التصنيع: 38
الموارد الطبيعية: 269
المواقع الطوبوغرافية: 425
مياه الصرف الصحي المنزلية: 435

ـ ن ـ

النواة الصلبة: 333 ـ 337
نيوبرين: 656

ـ هـ ـ

الهياكل الإنشائية: 44، 198، 338، 495، 497، 519، 521، 536، 558، 561، 568 ـ 569، 572، 639، 645، 657
هيكل الارتكاز: 735
هيكل الفولاذ الإنشائي: 557
هيئة بحوث البناء: 740، 742
الهيئة الحكومية: 101

ـ و ـ

الوسائل الاجتماعية: 37
الوظائف الإنشائية والبيئية: 375، 391
الوظائف البيئية: 119، 313، 513، 641
الوقود الحيوي: 293 ـ 294، 451، 707، 710

تقانة البناء
التحليل والاختبار(*)

(*) الكتاب الأول من البناء والتشييد

سلسلة كتب التقنيات الإستراتيجية والمتقدمة

1. المياه
2. البترول والغاز
3. البتروكيمياء
4. المناجم
5. التقنية الحيوية
6. تقنية المعلومات
7. الإلكترونيات والاتصالات والضوئيات
8. الفضاء والطيران
9. الملاحة
10. المواد المتقدمة
11. البيئة
12. الرياضيات والفيزياء
13. الطب والصحة
14. الزراعة
15. البناء والتشييد

السلسلة: تضم هذه السلسلة ترجمة لأحدث الكتب من التقنيات التي يحتاج إليها الوطن العربي في البحث والتطوير ونقل المعرفة إلى القارئ العربي.

الكتاب: تشتمل هذه الطبعة من كتاب **تقانة البناء، التحليل والاختبار**، على كل من المباني الفنزلية والتجارية، وهي تغطي جميع صنوف البناء الأساسية التي تُدرّس في الدورات التخصّصية. والموضوع الأساسي للكتاب هو عملية الاختبار: ما الذي يجب أن يعرفه الخبير، وكيف يمكن أن يتّخذ قرارات التصميم والإنتاج والصيانة والتخلّص من أنقاض المبنى في نهاية حياته. وقد كُتب عن قناعة بأن القيام بسيرورة الاختبار يوتّع مليء الخبرة النظرية والعملية المفيدة. ويعزّز الصلة بين المعرفة والتطبيق العملي والفهم والممارسة.

يجد القارئ في هذا الكتاب كيفية تأثير البيئة والسلوك الإنشائي والخبرة الإنتاجية والتكلفة والاعتمادات الاجتماعية التي من قبيل الاستدامة في سيرورة اختيار المبنى وطريقة بنائه. ويستطيع تكوين فكرة واضحة عن تفاصيل ومواصفات كل من المباني المنزلية والتجارية في بريطانيا في بداية القرن الحادي والعشرين. ويستقصي سيرورة الإنتاج من حيث التصنيع والتجميع.

المؤلف: **ملوني بيرلين**، أستاذ في تكنولوجيا البناء ـ جامعة غرب إنجلترا.

المترجم: د. حاتم فنجدلي، أستاذ في الجامعات السورية، متخصص في الإلكترونيات والاتصالات ويهتم بالترجمة العلمية من الإنجليزية إلى العربية.

تقانة البناء
التحليل والاختبار

ملوني بيرلين

(1 - 15)

المنظمة العربية للترجمة

مركز الملك عبدالعزيز الدولي لخدمة وطباعة القرآن الكريم