تأثير رذاذ البحر على المباني الخرسانية

مقدم من قبل

م.. عبدالله محمد عنصيل الساعدي

مهندس مدني – مدينة درنه - ليبيا

وباحث في مجال الهندسة والعلوم

نرجوا ان تعم الفائدة

وشكراً

تأثير رذاذ البحر على المنشآت الخرسانية

1.2 مقدمة :

المباني كأي شيء على الأرض، تتعرض لمراحل النمو والحياة من النشوء إلى الارتقاء، ثم الهرم فالقدم فالزوال ثم تدور عجلة الحياة من جديد وهكذا.

العناصر البيئية التي يمكن ان تؤثر سلبياً على البناء:- الإشعاع الشمسي؛ المطر؛ التلوث الجوي، الكائنات الحية والرطوبة. مثلاً تأثير الإشعاع فوق البنفسجي هو معلوم للجميع، غمليات التدفئة والتبريد تُسبب تمدد وانكماش في لمواد المبنى وبالتالي تصدعات في عناصر البناء).

2.2 تشوهات المباني بسبب العوامل المناخية :

تشوهات المباني بسبب العوامل المناخية (Building Defects Caused by Natural Elements) تشير إلى المشاكل والامراض التي تؤدي لحدوث تشوهات وعيوب في المباني، ناجمة عن أسباب مناخية وعوامل بيئية طبيعية. فهم أسبابها ومسبباتها والخلل الناتج عنها هي طريقة لأتخاذ التدابير الوقائية لتلافي حدوثها، ومحاولة قياسها واذا ممكن معلاجته. بعض المشاكل التي تعاني منها الابنية والتي نتجت عن عوامل مناخية وأثرها على ما يلي:

- العمر الافتراضي للمبنى.
- خسائر بشرية ومالية
- تلوث بصري.
- صحة القاطنين.

1.2.2 خصائص الأداء للمبنى :

خصائص الأداء للمبنى والتي من الضروري بحثها هي:

- إمكانيات الهيكل الخدمية Structural Serviceability.
- المتانة وقدرة التحمل (Durability).
- أمن وسلامة الحريق (fire safety).
- إمكانيات التكيف (Habitability).
- إمكانيات التطابق والتوافق (Compatibility).

ان إمكانيات التكيف والتعايش مع البيئة المحيطة بفاعلية تزيد من خصائص الأداء للمبنى وبالتالي تعمل بشكل جيد على مقاومة حدوث التشوهات والعيوب في عناصر البناء. يعتبر عنصر التعايش/ التكيف للمباني من العوامل المؤثرة في ايجاد بيئة معيشية جيدة من خلال عده عوامل منها:

فعالية الأداء الحراري (التمدد، التوصيل والمقاومة، الصدمة) (Thermal Expansion, Transmittance, Shock)

السماح للرطوبة والماء بالنفاذ والترشيح (امتصاص الماء، نفاذية الرطوبة، التمدد بالرطوبة والانكماش بالجفاف) ((Water Absorption, Permeability, Expansion, Shrinkage

توفير الصحة والنظافة، توفير الراحة والسلامة (نفث السموم، انتشار الحشرات، الانزلاق، انتشار التعفن، تسرب الهواء) (Infestation, Toxicity, Slip Resistance, Air Infiltration)

2.2.2 العوامل المناخية المؤدية لحدوث تشوهات المباني

1- الرطوبة (Moisture movement)

الحركة الناتجة عن الرطوبة ظاهرةُ طبيعية ومشتركة تؤثر على مكوّنات البناء، وتعد أحد أكثر المصادر الرئيسية المسببة للعيوبِ في مكونات وعناصرِ البناء.

الحركة الناتجة عن الرطوبةِ يُمْكِنُ أَنْ تَحْدثَ كمشكلة منفصلة أَو بالارتباط مع أسباب أخرى تنتج الحركةِ، مثل الحركةِ الحراريةِ، مما ينتج مجموعة أعراضِ.

عموماً، هذه الحركة ظاهرة تُؤثّرُ على الموادِ عموما وليس على الموادِ التقليديةِ فقط ومن المواد ما يعاني من مشاكلِ أخرى متعلقة بِالرطوبةَ مرتبطة بالتسرب أو اختراق الماء في الوصلات.

إنّ الآليةَ الأساسيةَ لحركة الرطوبة في المواد والمكوّنات هي التمدد أَو الانكماش للمواد.

2- الحرارة (Thermal movement)

تَحْدث الحركةُ الحراريةُ عندما يحدث التغير في الحرارة تمددا أَو انكماشا لمكوّناتِ البناءِ، المشاكل الرئيسية تظهر خلال الحركة التفاضلية بين المواد المتجاورة والمختلفة.

تواجه كل المواد الإنشائية الحركة الحرارية؛ على أية حال، يَتفاوت معامل التوسع بين المواد ولذا الحركة الفعلية وهي المهمة بالنسبة للبنايات تَتفاوت أيضاً.

هناك عدد مِنْ العواملِ تُؤثّرُ على كميةِ الحركة الحراريةِ تَحْدثُ في المكون أَو العنصر. يؤدي لعدمِ استقرار درجة الحرارة أَو تفاضل درجةِ الحرارة عند التعرض لأشعة الشمس وفترات الظل.

آلية الفشل بسبب حركة حرارية في الموادِ تَعتمد على نسبة التغييرِ والحركةِ التفاضليةِ بين مكوّناتِ السطوح الملونة والمُظلمة فالسطوح المظلمة تمتص حرارة أكثر من السطوح الملونة.

العوامل التي تُؤثّرُ على مدى تأثيرِ الحركةِ الحراريةِ يَتضمّنانِ مدى درجةِ حرارة، درجات حرارة تفاضلية ولون وتركيب الخلفيةِ، القصور الذاتي الحراري عموماً، قوّة تَحَمّلِ وصلابةِ التراكيبِ المكوّنةِ والمحيطةِ.

3- تأثير الرياح حول المباني (Wind around buildings)

الطبيعة المتغيرة للريحِ يمكن أَن تسبب ضوضاء، وبمساعدة ضربات المطر تلوث البناية وتخلقانِ ضغوط تفاضليةَ على الوجهِ الخارجيِ للبناية لكن الميزات المحلية تجعل الأمر صعباً للتَعميم حول تحميل الريحِ.

الريحِ يمكن أَن تشكل ثقلا على السقوف المستوية.

4- أثر الأشجار المزروعة حول المبنى Trees and building

قرب الأشجارِ (أَو نباتات كبيرة أخرى) إلى البناياتِ قَدْ يسبب انكماش التربة وهذا التأثير موسميّ عادة، ومثير جداً في الترب الطينيةِ.

أنصاف أقطار جذرَ الأشجار مهمة جداً خصوصاً لأشجار الحور والصفصافِ وبلوط، عادة نصف القطر مشابه لارتفاع الشجرةِ (أَو أقل)، هذا وقد يزيد الارتفاع إلى 1.5 مرة نصف القطر لمجموعة معينة من الأشجار، ولكن هذا التأثير يقل عند الزراعة في الطينِ الثقيل.

3.2.2 أنواع أمراض المباني :

1- الأمراض العامة

هي التي تصيب جسم المنشأ ككل والنوع الأول منها أمراض ذاتية تتبع المبنى مثل ضعف الهيكل الإنشائي أو الحوائط الحاملة أو الأساسات أو تحمله لثقل أكثر من حمل الأمان التصميمي أو عدم اتزانه هندسيا أو هبوط التربة تحته أو حدوث هبوط غير متكافئ في أجزائه أو تعرضه للاهتزاز أو حدوث تمدد غير مدروس أفقيا أو راسيا. تكون نتائج الأمراض العامة حدوث تنميلات وشروخ وتشققات وكسور مختلفة الدرجات تؤدي إلى التلف الجزئي أو الدمار الشامل.

تماثل الإنسان هبوط القلب أو الإرهاق والسكتة القلبية والكسور والحوادث الناتجة عن الصدمات وضربة الشمس والغرق والاحتراق والاختناق والقتل وهي في مجموعها تؤثر على كيان المبنى ككل. النوع الثاني ما كان نتيجة مؤثر خارجي ويحدث عنها الدمار والتلف الشامل من جراء أعمال الحروب وحالات الحريق والزلازل والبراكين والفيضانات والسيول والأعاصير والصواعق.

2- الأمراض الفنية المتخصصة

وهي التي تصيب أحد عناصر المبنى في نوع أو أكثر من الأعمال المتخصصة المختلفة كعيوب رشح المياه مثلا التي قد تصيب مواسير المياه أو الصرف أو كليهما وقد تمتد لتصيب أعمال البياض الداخلي أو الخارجي أو الأرضيات والخرسانة المسلحة والكهرباء وغيرها.

تماثل أمراض الكولسترول وانسداد الشرايين وضيق التنفس وطفح الجلد والرشح وضعف الأعصاب والحساسية والتسوس وتأثيرها جميعا يكون واضحا في جزء من المبنى أو في أحد الأعمال بالمبنى كله كما يمكن أن يستشرى أثرها لتصيب أجزاء أخرى أو أعمالا مرتبطة أو ملاصقة للأعمال المصابة.

3.2 تلف وانهيار المباني الخرسانية :

تتنوع الأسباب المؤدية لحدوث تلف وانهيار للمبنى من أسباب فنية وتصميمة وانشائية وتنفيذية وأخرى تعود لعوامل بيئية، وهنا سنتناول وباختصار الأسباب العامة التي تنجم عنها امراض المباني.

عدم ملائمة التصميم الإنشائي والمعماري: يحدث في حالة إهمال المالك أو المسؤول عن التنفيذ أو المصمم إتمام التصميم بشكل كلي أو جزئي مثل :

- إهمال في تصميم الخلطة الخرسانية mix design وعمل اختبارات الرمل والزلط والماء والإضافات الكيميائية.
- عدم دقة التصميم الإنشائي والإهمال في الأخذ بالمعايير والكود وعمل حسابات خاطئة للأحمال بأنواعها المختلفة.
- عدم التقيد بالمواصفات والمخططات أثناء التنفيذ أو التنفيذ بصوره مخالفه
- فقدان الالتزام بالكود والإلمام بالمواصفات والمواد والمخططات التنفيذية كل هذا بالإضافة لعدم العناية بضبط ورقابه الجودة أثناء التنفيذ مسببات قد تؤدي لمشاكل في المبنى أو انهياره مستقبلا.
- فعلى كل مهندس أن يتفهم كيفية الرقابة وضبط الجودة لكافة الخامات والمواد المستخدمة في مشروعه ومدى تأثيرها عليه.
- استخدام مواد سيئة لا تصلح ولا تتوافق مع المواصفات

- معظم المهندسين يكتفون بالمعاينة الظاهرية للمواد دون عمل الاختبارات لهذه المواد وهنا يجب الاهتمام بصوره أكبر للمواد التي تدخل في الخرسانة مثل الماء والرمل والزلط وحديد التسليح والاسمنت والإضافات.
- حيد التسليح يجب أن يستخدم وفقا لما ورد بالمخططات وإن لزم التعديل فيتوجب عمل الحسابات التصميمية الدقيقة له.
- يجب استلام الحديد ومعاينته قبل شده وتنظيفه من الصدأ السطحي إن وجد ويتوجب عدم استخدام أي نوع من أنواع حديد التسليح يكون مجهول المصدر.

4.2 الشقوق والشروخ

تعتبر الشروخ من أهم أنواع العيوب التي تعاني منها المباني الخرسانية وأكثرها انتشارًا وتسببًا في حدوث الانهيارات والكوارث وذلك على الرغم من التطور الحاصل في مجال البناء والاهتمام بجودة التصميم وحسن التنفيذ. إن الطريقة التي يتم بها تشخيص الشروخ في المباني الخاضعة للتصدعات على المستوى المحلي قد لا يكون دقيق بالقدر الكافي فهي تتم وفقا لنهج تقليدي يعتمد في أغلب الأحيان على التخمين والتقدير الشخصي للأسباب الظاهرية دون النظر والاهتمام الكافي بمسببات تلك الشروخ. ويترتب على ذلك في العديد من الأحيان تشخيص خاطئ للأسباب وينعكس ذلك حتما على أي وسيلة لمعالجة الشروخ.

1.4.2 تصنيف الشروخ

شروخ غير إنشائية (لأسباب غير إنشائية) ونميز منها:

1. شروخ الانكماش الحراري: يتولد أثناء عملية التصلب المبكرة حرارة ناتجة من التفاعل الكيميائي بين الماء والاسمنت. وغالباً ما تعالج العناصر المسبقة الصنع بالبخار steam curing وهذه المعالجة الحرارية تولد كمية كبيرة من الحرارة خلال الخرسانة. وعند ما تبرد الخرسانة وتنكمش تبدأ الاجتهادات الحرارية في الظهور والنمو خاصة إذا كان التبريد غير منتظم خلال العنصر، وقد يحدث اجتهاد الشد الحراري شروخاً دقيقة جداً يقدر أن يكون لها أهمية إنشائياً. ولكن ذلك يوجد أسطحاً ضعيفة داخل الخرسانة، كما أن انكماش الجفاف العادي يؤدي إلى توسيع هذه الشروخ بعد ربط العناصر مسبقة الصنع.

2. شروخ الانكماش اللدن: تحدث نتيجة التبخر السريع للماء من سطح الخرسانة وهي لدنه أثناء تصلدها، وهذا التبخر السريع يتوقف على عوامل كثيرة أهمها درجة الحرارة وسرعة الشمس المباشرة تجعل معدل التبخر أعلى من معدل طفو الماء على سطح الخرسانة. تكون شروخ الانكماش اللدن عادة قصيرة وسطحية

وتظهر في اتجاهين عكسيين في آن واحد، وفي حالة عناصر المنشآت سابقة الصب التي تصنع في أماكن مغلقة وتعالج جيداً فلا يخشى من خطورة شروخ الانكماش اللدن لصغرها.

3.**شروخ انكماش الجفاف drying shrinkage cracking** يحدث هذا النوع من الشروخ عندما تقابل العناصر القصيرة ذات التسليح القليل حواجز تعيقها (كما في حالة اتصال كورنيشية ذات سماكة صغيرة ببلاطة شرفة ذات سماكة كبيرة). في الكمرات مسبقة الصنع فإن خرسانة الأطراف المفصلية تصب في مجاري من وصلات متصلدة مسبقة الصنع (كقالب). ونظراً لضيق هذه المجاري نسبياً لتسهيل عملية الصب، وتحدث في الفواصل الرأسية غالباً شروخ دقيقة نتيجة الانكماش.

فروق الإجهاد الحرارية differential thermal strains

إن أسلوب الإنشاء في المنشآت مسبقة الصب يساعد على التأثر باختلاف درجة الحرارة لاختلاف الطقس الطبيعي أو نتيجة التسخين steam curing. ولذا تظهر الشروخ في البحور المحصورة عند ما يكون اتصال وجهيها بالمنشأ متيناً. كما أن الحرارة المفاجئة لها تأثير آخر حيث يولد الارتفاع المفاجئ في درجة الحرارة سلسلة من الشروخ أيضاً إذا حدث اختلاف كبير في درجة الحرارة بين وجهي بلاطة أو كمرة.

وهذا التأثير نادر الحدوث في المنشآت السكنية. ولكن قد يحدث في منشآت معينة، مثل حوائط الخزانات وفي حالات خاصة عندما يكون السائل المخزون داخل الخزان ساخناً أو بارداً جداً. كما تحدث إجهاد بالمنشأ نتيجة اختلاف درجة الحرارة بين أجزئه المختلفة، فإن أطراف الواجهة مثلاً تتعرض لأشعة الشمس المباشرة فتتمدد، بينما تظل درجة حرارة باقي المنشأ منخفضة، فينتج عن ذلك ظهور شروخ قطرية من الزوايا في أرضيات المنشآت الطويلة جداً أو المتينة جداً.

• شروخ نتيجة التآكل هناك نوعان رئيسان من العيوب يساعدان على تزايد تأثير عوامل التعرية على المنشأ الخرساني، وهما:

2.4.2 تآكل حديد التسليح

ينمو الصدأ ويتزايد حول حديد التسليح منتجاً شروخاً بامتداد طولها. وقد يؤدي ذلك إلى سقوط الخرسانة كاشفة حديد التسليح وتساعد كلوريدات الكالسيوم الموجدة في الخرسانة على ظهور هذا العيب كما تساعد على ذلك الرطوبة المشبعة بالأملاح في المناطق الساحلية تحمل كلوريد الكالسيوم، وبالتالي فإن خطورة تآكل الحديد تصبح كبيرة في هذه الحالة. إن شروخ تآكل الحديد خطيرة على عمر المنشأ وتحمله حيث تقلل مساحة الحديد في القطاع الخرساني، وهذه الظاهرة خطيرة بصفة خاصة في الخرسانة مسبقة الإجهاد.

3.4.2 نحر الخرسانة

هناك تفاعلات كيميائية تؤدي إلى تهتك الخرسانة والحالة الأكثر شيوعاً هي نتيجة اتحاد الكبريت مع ألومينات الاسمنت في وجود الماء. والملح الناتج ذو حجم أكبر من العناصر المكونة له، والتمدد الناتج يؤدي إلى تفجر الشروخ وسقوط أجزاء الخرسانة المتهتكة. وقد يظهر خلل كيميائي نتيجة اختيار حبيبات (حصى) غير ملائمة، فإن النتوءات والحفر التي تظهر على السطح الخرساني تعني أن الحبيبات المعزولة قد تفتتت.

4.4.2 الانهيار الفجائي

الانهيار الفجائي للمباني يمثل السكتة القلبية في أمراض الإنسان، والفجأة أوعنصر المفاجأة يأتي هنا في وقوع الحدث دون مقدمات ولكنه لا يكون أبدا بلا أسباب.

ويمكن تلخيص أسباب الانهيار الفجائي في النقاط التالية:

1- ضعف الأساسات أو التربة أو سوء تكوين التربة أو وجود تكوين غير متوقع بالتربة أو انهيار التربة تحت الأساس.

2- ضعف الأعمدة أو الأكتاف عن تحمل الجهود الناتجة عن الأحمال الواقعة عليها

3- الرشح الغزير –المياه الجوفية والتغيرات الحادة في مناسيبها الموسمية الأمطار الغزيرة –الزلازل – القنابل –المتفجرات –المرور الثقيل الكثيف –الاهتزازات الشديدة – الأعاصير والعواصف – السيول – الفيضانات –الحريق.

4- وصول مواد البناء إلى مرحلة الاستسلام على حافة الانهيار والتفتت

5- الصدأ للحديد والمعادن.

6- الحرارة الشديدة والبرد القارص (التمدد والانكماش).

5.2 تشوهات حسب مادة البناء

• الحجر تتأثر احجار البناء بعدة عوامل أهمها العوامل الجوية المختلفة من الشمس والمياه والرطوبة والرياح وخاصة الرياح والعواصف الرملية والخماسين

وتنقسم امراض المباني الحجرية إلى:

1- تعرض الحجارة للتآكل السطحي.

2- تلون الحجارة بسبب التعرض المباشر لاشعة الشمس.

3- بسبب المياه الجوفية دون عزل افقي ضد الرطوبة.

4- بسبب الأمطار والرش والري دون عزل رأسي.

يرجع تآكل الاحجار إلى العوامل الجوية وظواهر التعرية:

الأمطار وخاصة الغزيرة أو المحملة بالاحماض والقلويات بسبب الغازات الذائبة فيها مثل ثاني اكسيد الكربون وثاني اكسيد الكربون.

الرياح وخاصة السريع منها أو المحمل بالرمال أو الاتربة أو به دوامات هوائية أو تصحبه الأمطار والبرق والصواعق.

اشعة الشمس والحرارة وخاصة إذا زادت فروق درجات الحرارة ليلا ونهارا أو صيفا وشتاء.

الرطوبة، مخلفات المصانع والمدن.

التلوث الزائد في الجو من عوادم السيارات ومداخن المصانع.

6.2 صدأ الحديد:

يتكون الصدأ بوجه عام نتيجة تعرض الحديد للهواء والماء ,يبدأ صدأ حديد التسليح في السيخ ثم تزداد هذه النقر (Pit Formation) في التكون من نقرة صغيره ويحدث اتحاد بينها مما يكون الصدأ العام. والخرسانة بطبيعتها مادة مسامية تحوي رطوبة ولذلك من الطبيعي حدوث صدأ للحديد بداخلها!!!

ومن الأسباب غير المباشرة لتكون الصدأ البكتيريا الموجودة بالتربة ، والتي تقوم بتحويل الأملاح والأحماض إلي حمض الكبريتيك الذي يهاجم الحديد ويسبب عملية الصدأ. حيث تتآكل الخرسانة نتيجة للتفاعل الكيميائي الذي يحدث بين الكبريت مع الأسمنت مما يؤدي إلى ضعف متانتها (Soluble Sulphates) الذائب

وبالتالي إلى تصدعها وتفتت أجزائها.

من المعلوم ان قلوية الخرسانة تعمل على وضع طبقة حول حديد التسليح تقوم بحماية الحديد من الصدأ بتكون طبقة قلوية كثيفة تمنع حدوث الصدأ (طبقة حماية سلبية .) ويحدث الصدأ نتيجة تكسير طبقة الحماية السلبية التي تحول دون وصول أملاح الكلورايد والأملاح الضارة على الخرسانة الى حديد التسليح وتدخل هذه الأملاح الى جسم الخرسانة عن طريق عوامل خارجية مثل:

*التربة المحيطة بالخرسانة.

*الرياح المحملة بغبار يحتوي على الأملاح.

*رذاذ المياه المشبع بالأملاح في المباني القريبة من البحر أو المواد التي تدخل في الخلطة الخرسانية مثل الرمل والحصى والمياه التي تحتوي على نسبة عالية من الأملاح.

عمليا هناك عدة عوامل تؤدي الى كسر هذة الطبقة تتمثل في:

1- الكربنة من الجو المحيط بالخرسانة من الجو المحيط بالخرسانة Carbonation

2-مهاجمة الكلورايدات للخرسانة من التربة المحيطة بالخرسانة والمواد المستخدمة بالخلطة الخرسانية وعدم استخدام المياه المناسبة للخلط(آما أن دخول الأملاح الأخرى إلى مسامات الخرسانة وتبلورها بداخلها يتسبب في تفكك الأجزاء الخارجية للخرسانة تدريجيا وتظهر هذه المشكلة في الخرسانة الموجودة

بالقرب من المياه المالحه والرمال المشبعة بالأملاح. وتتفاوت درجة تاثير تلك العوامل على الخرسانة بتفاوت نفاذية الخرسانة حيث آل ما زادت النفاذية زاد تاثير العوامل السابقة.

معدل الصدأ يرتبط بعوامل كثيرة ، وتعتبر الرطوبة ودرجة الحرارة عوامل رئيسيه ومؤثرة بدرجة كبيره جدا في معدلات الصدأ ولذلك يجب التحكم في تلك العوامل للحيولة دون الوصول الى مشكلة فنية واقتصادية علي المنشأة الخرسانية..

حماية المنشأة الخرسانية المسلحة من التآكل الوقاية خير من العلاج وإذا تم الحفاظ علي المنشاة الخرسانية من التعرض للصدأ يكون ذلك اكثر واقعية وحفاظا علي الثروة الوطنية.

ويتم تفادي صدأ حديد التسليح في الخرسانة بالتقيد بمواصفات التصميم والتنفيذ وبإتباع الكودات المختلفة الخاصة بتصميم القطاعات الخرسانية والتي تعمل علي تقليل احتمالات حدوث الصدأ في حديد التسليح.

ومن العوامل المهمة في حماية المباني الخرسانية من صدأ حديد التسليح طريقة استخدام الخرسانة وتحديد محتوي الإسمنت والاهتمام بالمعالجات الخرسانية أثناء التنفيذ.

1.6.2 خطر صدأ حديد التسليح على المنشات الخرسانية:

خطر صدأ حديد التسليح على المنشآت الخرسانية وطرق الحماية منه تعتبر عملية حماية المنشآت ومعالجتها من صدأ حديد التسليح خاصة من أولى أولويات الدراسات المدنية الخاصة بالمنشآت الخرسانية ، فإغفالها وإهمالها يسبب الخسائر المادية والبشرية وزيادة مستمرة في تكاليف إنشاء وتشغيل تلك المنشآت...

خصوصا في المناطق ذات العوامل والظروف القاسية وغير الملائمة ؟،حيث تؤثر الظروف البيئية السائدة في المدن الساحلية على متانة المواد الإنشائية المستخدمة في المباني الخرسانية إذا لم تتوفر الحماية اللازمة لها من التآكل ، ففي الولايات المتحدة الأمريكية مثلا حصرت تكلفة الصدأ السنوية في العقد السابق بحوالي 150 مليون

دولار نتيجة لمشاكل الصدأ علي المباني والجسور والتي تحدث في أمريكا وأوربا نتيجة إذابة الجليدً.

ان العمر الافتراضي للمباني السكنية الخرسانية لا يقل عن خمسين عاما -كحد أدنى وفقا للمعايير الدولية للتصميم المنشآت الخرسانية . ويجب أن تقاوم هذه المباني خلال هذه الفترة جميع العوامل الطبيعية والتشغيلية التي تؤثر على جودة ومتانة المنشأة **(مكوناتها الإنشائية)** دون الحاجة الى إصلاحات رئيسية (طبعا مع الالتزام بتنفيذ أعمال الصيانة الدورية والوقائية اللازمة لها)

إن أكثر البيئات تأثيرا على عمر المنشآة الخرسانية المسلحة هي البيئة البحرية بشكل عام من خلال عدة عوامل أهمها:

1-درجة الحراره ونسبة الرطوبة في الجو.

2-درجة احتواء الغبار والرطوبة من الأملاح الضارة.

3-درجة ترآيز الأملاح الضارة في التربة.

وهذه العوامل تحدث تفاعلاً آيميائياً مع الخرسانة العادية أو المسلحة مما يؤدي إلى تحليل المكونات الرئيسية للخرسانة ، وتآكلها مع التأثير السلبي على قضبان الحديد الأمر الذي يؤدي الى تأكسدها ومن ثم تآكل الحديد وتكون طبقة من الصدأ تعمل على تشقق الخرسانة.

2.6.2 طرق حماية حديد التسليح :

وهناك طرق مختلفة لحماية حديد التسليح من الصدأ من أهمها:

1.الحماية الكاثودية :تعتبر في الوقت الحالي أفضل طرق الحماية للمنشئات الخرسانية للمناطق الساحلية وخصوصاً منشئات مياه البحر لتبريد المصانع ، لكنها مكلفة نسبيا لذلك يفضل إجراء دراسة هندسة قيمية لإختيار الطريقة التي تفي بالغرض.

2.إضافة بعض المواد الى الإسمنت لتقليل نفاذيته : قد تكون هذه العملية اقل آلفة من الحماية الكاثودية ولكن عمر حمايتها اقل بكثير من الحماية الكاثودية لذلك نحتاج الى الهندسة القيمية لاختيار طريقة الحماية.

3.**موانع الصدأ**: وهي نوعين يعتمد النوع الأول علي حماية الطبقة السلبية حول حديد التسليح ويعتمد النوع الآخر على منع توغل الأوكسجين داخل الخرسانة.

ويعتبر الحديد المجلفن ذو آفاءه.4 Galvanized Bar استخدام الحديد المجلفن مناسبة خصوصا للمباني التي تتعرض للكربنه.

4.دهان حديد التسليح ب (الابوكسي)هذه الطريقة أعطت نتائج إيجابية وخاصة لحديد التسليح المعرض لمياه البحر ، لكن ينصح بعدم طلاء حديد التسليح ب(الإبوكسي) لأنه في حالة حدوث الصدأ لا يمكن حمايته بالحماية الكاثودية ولانه في حالة حصول قصور في الطلاء فسيسرع عملية الصدأ في حالة وصول الكلورايد إليه.

نظرا لارتفاع تكاليف هذا النوع.4 : Stainless Steel حديد ستنلس ستيل من الحديد فإن استخدامه يتم في نطاق محدود.

5.حماية أسطح الخرسانة من النفاذيه : وذلك إما باستخدام مادة سائله يتم رشها أو دهانها أو ألواح وطبقات من المطاط أو البلاستيك.

7.2 الصيانة والكشف الدوري:

ونظرا للوجود المستمر للعوامل السلبية التي تفتك بالخرسانة المسلحة وتهدد السلامة العامة للمنشأة يجب المحافظة على الوجود المستمر لنظام الكشفالدوري لأسطح الخرسانة المسلحة وفي حالة ملاحظة تصدعات أو آثار تدهور بسبب تآكل حديد التسليح ينصح بإجراء عمليات الصيانة والإصلاح المباشر لتفادي استمرار تدهور الخرسانة وتشمل طرق الإصلاح:

1-إزالة أجزاء الخرسانة المتضررة إلى ما وراء حديد التسليح بعمق 25 مم وتنظيف حديد التسليح جيداً من سطحه.

2-طلاء الحديد بمواد خاصة لهذا الغرض كالإيبوآسي المشبع بالزنك.

3-القيام بتجهيز المواد الأسمنتية البديلة ووضعها مكان الخرسانة المزالة وذلك حسب المواصفات وإرشادات الجهه المصنعه لهذه المواد.

4-يفضل أن تطلى أسطح الخرسانات بعد الأنتهاء من إصلاحها بمواد عازلة وذلك لتحسين أدائها المستقبلي.

5-استخدام دهانات مقاومة للعوامل الجوية في المناطق الساحلية.

وفي حال التصدعات كبيرة فإن عمليات الإصلاح تستدعي وجود أخصائيين في هذا المجال لتقويم مدى تأثير هذه الأجزاء الخرسانية المتضررة على سلامة المبنى واختيار المواد وإعداد طرق الإصلاح وفي آل الحالات يجب الحرص على اتباع إرشادات الجهات المصنعة لمواد عمليات الأصلاح.

1.7.2 مراحل الصيانة والحفاظ على المنشأة الخرسانية:

إن اختيار المواد وأسلوب العمل يجب أن يكون معتمداً على دراسات دقيقة، و موثوق منها من خلال المختبرات المتخصصة، وذلك لتقييم مدى فعاليتها ومدى ضررها في بعض الأحيان ، ويمكن اعتبار التدرج الطبيعي لأعمال الحفاظ ، ولكنه لا يعني ضرورة الالتزام به في آل الأحيان على النحو التالي:

1-التنظيف :إزالة الأملاح والمواد الضارة على سطح المبنى وهذا يقتصر على إزالة الأجسام الغريبة مع الحفاظ على آل الخصائص الأصلية للسطح المراد تنظيفه.

يمكن أن تسبب أعمال التنظيف مشاكل فنية يجب التعامل معها بحذر شديد لتجنب أي تلف أو ضرر ، وتحافظ على تواصل طبيعة السطح، فمثلاً في حالة وجود تشققات على السطح فإنه من خلال التنظيف يمكن أن تتسرب المياه وما يتبعها من الغبار والأجسام الضارة إلى داخل هذه التشققات.

وقد تعددت طرق التنظيف المسموح بها كاستخدام الماء بالرش ، الكمادات المائية، المحاليل المخبرية ،اللدائن، استخدام الليزر ، وهنالك أيضا العديد من الطرق الميكانيكية في حال السطوح المتماسكة ، .....الخ.

2-اللصق :هو إعادة تركيب جزء أو أجزاء سقطت من السطح المراد ترميمه باستخدام مواد لاصقة أو معدنية تربط بين الجزء المضاف والسطح.

المواد اللاصقة لا بد أن تحتفظ بالمعايير الآتية:

-فعالية جيدة في اللصق.

-مدة طويلة في الفعالية.

-تقلص ضئيل في كثافة المادة.

-مرونة وصلابة حسب الوضع الخاص.

-الخصائص الميكانيكية يجب أن تتشابه لحد كبير مع السطح المراد لصقه

-استخدام قضبان معدنية لربط المواد على أن يكون معامل التمدد لها يتشابه مع المواد المراد لصقها وتتسم بثبات كيميائي جيد.

-يجب الحذر من استخدام قضبان معدنية قابلة للصدأ مثل الحديد والنحاس.

3-المعجنة :هي تعبئة الفراغات والتشققات وإغلاقها للوصول إلى تجانس نوعي للمادة وضمان استمرارية المواد وحمايتها من التعرض للمياه أو العوامل الطبيعية الأخرى التي تساعد في تآكلها وتلفها.

يجب اختيار نوعية المعجنة المناسبة لكل حالة بحيث يكون الناتج النهائي قريب من السطح المراد معجنته وخاصة فيما يتعلق بالمسامات والقدرة على امتصاص الماء والمقاومة الميكانيكية ، مقاومة الضوء والتمددات الحرارية ، بخلاف ذلك يجب أن تكون متشابه من ناحية بصرية.

4-**التثبيت والتقوية** : هي استخدام مادة لزجة أو محاليل تعمل لدى وضعها على السطح على تقوية الترابط بين جزيئات المادة التي تعرضت لتفكك أو تلف بسبب عوامل الزمن أو أي أسباب أخرى.

تتم عملية إزالة الأملاح قبل البدء في أعمال التقوية ، ثم تبدأ أعمال التقوية تكون على مراحل في جو معتدل، حيث أن سرعة تطاير المذيبات العضوية سوف تتسبب في تغير نسبة المحاليل آما أنها تؤدي إلى تراكم مواد التقوية على سطح المبنى ؛ ويجب البدء بمحاليل مخففة وبعد جفافها تستخدم محاليل أآثر تركيزاً وهكذا تتم عملية التقوية.

5-الحماية : تتم أعمال الحماية من خلال استعمال مواد كيميائية وغير كيميائية تهدف إلى تبطيئ عملية التلف التي تتعرض لها المادة . ويفضل أسلوب الحماية باستخدام المواد الكيماوية في الحالات التي يكون التلف مؤثر بشكل دقيق على السطح الخارجي من المادة) تلوث بيئي، رطوبة، ... الخ .(بينما لا ينصح باستعمال هذه

الطريقة في حالة كون المادة قادرة على امتصاص الماء من خلال الخاصية الشعرية من الأرض وفي حالة وجود تسرب مياه في مناطق يصعب الوصول إليها.

6-الترميم : ويعني استكمال الأجزاء والعناصر المفقودة . ويجب تحديد نسبة صلابة الحجر المراد ترميمه بالنسبة لصلابة المواد المستخدمة في الترميم عند الجفاف ؛ حيث تملأ الفجوات والشقوق إلى مستوى أقل من مستوى سطح استخدام اللدائن الصناعية القوية مثل الايبوآسي أو الأرالديت أو البولي أو الماريكوريزني

الحماية الكاثودية

الحماية الكاثودية اجراء يتم اتباعه لحماية الهياكل المعدنية الحديدية والانابيب من التآكل جراء تعرض سطوحها الى تماس مع التربة او مع الماء.

8.2 تآكل الحديد:

1.8.2 لماذا يحدث التآكل؟

تتآكل السطوح الحديدية للهياكل المعدنية والانابيب والمعدات الحديدية عموما عند تماس سطوحها بالتربة او الماء نتيجة لحدوث تفاعلات كيمياوية مصحوبة بسريان الالكترونات) اي سريان للتيار الكهربائي (لذا يمكن القول بأن عملية التآكل هي عملية كهروكيمياوية تؤدي بالنتيجة الى فقدان اجزاء من معدن الحديد وبالتالي تآكل السطح المعرض للتربة او الماء او حتى المعرض للجو الرطب حيث تتكون خلية كلفانية.

الخلية الكلفانية: لو قمنا بغمس قطبين من معدنين مختلفين مثل الزنك و النحاس مثلا في محلول موصل للكهرباء وربطنا بينهما بسلك فأنه يتولد عن ذلك تيار كهربائي يسري من الزنك الى النحاس داخل المحلول ويكمل دورته خلال السلك الواصل بينهما .تعرف هذه الخلية الكهربائية باسم خلية آلفاني نسبة الى مكتشفها العالم الإيطالي آلفاني

.يسمى القطب الذي يخرج منه التيار الى المحلول" أنود"، ويسمى القطب الذي يستقبل التيار" كاثود"، ويترتب على سريان التيار في الخلية حدوث تآكل على كالأنود بينما يبقى الكاثود سليما ويترسب على سطحه طبقة خفيفة من الهيدروجين لو بقيت على سطحه لأحدثت استقطابا في الخلية تتلاشى معه شدة التيار في الخلية ومن ثم تتوقف عملية التآكل ولكن تحدث عند الكاثود تفاعلات كيمياوية تمنع مثل هذا الاستقطاب فيستمر سريان التيار في الخلية وتستمر عملية التآكل .تتوقف عملية التآكل على الأنود على ثلاثة عوامل• :

نوع مادة الأنود • .شدة التيار • .المدة التي يستمر فيها سريان التيار .مثلا – يتآكل الحديد بمعدل (9) كيلو غرام إذا سرى منه أمبير واحد لمدة عام.

2.8.2 كيف يحدث التآكل؟

ان المسبب الاساس للتآكل هو تكون خلايا للتآكلCells Corrosionتنتج عن وجود فرق جهد كهربائي بين المناطق المختلفة للسطح المعدني ان تكون هذا الفرق بالجهد يمكن ان يحدث لعدة اسباب منها:

_أختلاف خواص المعدن في مناطق مختلفة من الهيكل المعدني او خطوط الانابيب مثلا.

-أختلاف خواص وتجانس التربة التي هي في تماس مع الهيكل المعدني وهذا يظهر بوضوح في حالة خطوط الانابيب ذات المسارات الطويلة.

-أختلاف نسبة وجود الاكسجين في أماكن مختلفة من التربة وهذا يظهر في معابر الطرق والشوارع لخطوط الانابيب مقارنة بمسار الانبوب خارجها.

3.8.2 طرق مكافحة التآكل:

آل طرق مكافحة التآكل ترتكز على منع تسرب التيار الكهربائي من المنشآت الى ما يحيط بها من تربة أو ماء وفيما يلي الأساليب المتبعة لتحقيق ذلك:

-استخدام التغليف الجيد وتشمل الصبغ وهو عبارة عن عازل كهربائي يفصل بين المعدن و البيئة من حوله، من الخصائص الأساسية التي يجب أن تتوفر في التغليف الجيد هو أن يكون متواصلا وذو مقاومية عالية وجيد الالتصاق بالمعدن ولا يتأثر بالحرارة وأن تبلغ نفاذيته الى الدرجة التي لا تسمح بعبور الرطوبة من خلاله .وقد يكون على شكل أشرطة لاصقة أو بي في سي ملبس في المصنع وتتميز بفاعلية عالية.

استخدام مانع للتفاعل الكيمياوي

وهي مادة كيمياوية تضاف الى السوائل فتمنع التآكل على جدار الوعاء الذي يحتويها لأنها تحول دون حدوث التفاعلات الكيمياوية عند الأنود أو الكاثود أو آليهما وتوقف بالتالي مفعول خلايا التآكل كما أنها تترك طبقة خفيفة عازلة على جدار الوعاء .يضاف مانع التفاعل الكيمياوي الى السوائل بتركيز معين دوريا ويمكن استعمال هذا الأسلوب في آبار الحفر و المراجل ومنظومات المياه.

-استخدام مواد مقاومة للتآكل يعني ذلك اختيار المادة التي تقاوم التآكل في بيئة معينة على أن تكون ملائمة للظروف التشغيلية ومن المواد التي تستعمل لهذا الغرض هي الكروم والنيكل و والرصاص والقصدير والبلاستك و المطاط والسيراميك .والكونكريت والألياف الزجاجية

4.8.2 معالجة المحيط - (Environment Treatment)

يقصد بهذا إحداث تغيرات في تركيب المحيط الملاصق للمعادن تمنع أو تقلل من التآكل عليها .أن التميز بين مانع التفاعل و معالجة المحيطغير واضح فوجود بيكاربونات الكالسيوم في الماء يرسب على جدار الوعاء الذي يحتويه طبقة من كربونات الكالسيوم تفصل بين

الوعاء والماء فتحميه من التآكل ولكن بيكاربونات الكالسيوم لا تصنف في عداد مانعات التآكل .من الوسائل التي تستخدم في معالجة المحيط هو التخلص من الأوكسجين والرطوبة والأملاح المذابة والتحكم في درجة تركيز أيونات الهيدروجين.

5.8.2 اعتماد التصميم الجيد :

وهو ما يتحاشى أو يقلل من احتمال حدوث خلايا تآكل ويسهل تطبيق وسائل مكافحة التآكل على المنشئات أو الكشف عليها .من الأمور التي يجب الحرص عليها تجنب الاتصال المباشر بين معدنين مختلفين وعدم وجود مصائد لتجمع الماء أو الغازات أو الهواء والتقليل ما أمكن من وجود الأجزاء المضغوطة.

-استخدام الحماية الكاثودية حيث أن التآكل في المعادن يقع في المنطقة الأنودية نتيجة تفريغ التيار الكهربائي منها الى البيئة من حولها مع بقاء المنطقة الكاثودية سليمة وخالية من التآكل .من الواضح أذن أن عملية التآكل تتوقف إذا أصبحت باستخدام جميع أجزاء المعدن كاثودية ويمكن تحقيق ذلك تيار كهربائي من مصدر خارجي يسري باتجاه مضاد لتيار خلايا التآكل وبكثافة كافية لتجعل من سطح المعدن بأكمله كاثوداً يستقبل التيار الكهربائي من البيئة التي حوله بدل أن يفرغه.

6.8.2 أنواع التآكل:

هناك عدة تصنيفات لأنواع التآكل ولكن أفضلها هو ذلك الذي يقسم أشكال التآكل حسب المنحى الذي يسلكه المعدن المتآكل .آما يمكن الاستدلال,حسب هذا التصنيف ,على نوع التآكل من خلال شكل المعدن المتآكل وغالبا ما يكفي النظر بالعين المجردة ,ولكن في بعض الأحيان يكون التكبير ضروريا.

التآكل حسب هذا التصنيف 8 أنواع:

1- (Uniform or General Corrosion)التآكل المتماثل أو التآكل العام

2- (Galvanic or Bimetalic Corrosion)التآكل الغلفاني أو ثنائي المعدن

3- (Crevice Corrosion)التآكل الصدعي

4- (Pitting Corrosion)التآكل النقري

5- (Intergranular Corrosion)التآكل بين الحبيبي

6- (Selective Leaching)الفصل الانتقائي

7- (Erosion Corrosion)التآكل الحتي

8- (Stress Corrosion Cracking)التآكل الإجهادي التشققي__

الفصل الثالث

طرق وقاية المنشآت الخرسانية

1.3 كيفية حماية المباني الخرسانية المسلحة من التآكل :

تؤثر الظروف البيئية السائدة في المدن الساحلية على متانة المواد الإنشائية المستخدمة في المباني الخرسانية إذا لم تتوفر الحماية اللازمة لها من التآكل . و هذا الموضوع يوضح مفهوم التآكل في المنشآت الخرسانية وطرق الحماية منه ، وأبرز وأهم الاحتياطات الواجب اتباعها لحماية المنشآت الخرسانية من التدهور المبكر وإطالة عمرها الافتراضي الأمر الذي سيحد بأذن الله من تكاليف الإصلاح الباهظة سواء على مستوى الفرد أو الاقتصاد الوطني.

ان العمر الافتراضي للمباني السكنية لا يقل عن خمسين عاما" كحد أدنى وفقا" لمعايير التصميم المتعارف عليها دوليا" . ويجب أن تقاوم هذه المباني خلال هذه الفترة جميع العوامل الطبيعية والتشغيلية التي تؤثر على جودة ومتانة المنشأة (مكوناتها الإنشائية) دون الحاجة الى إصلاحات رئيسية شريطة إجراء أعمال الصيانة الدورية والوقائية اللازمة لها.

البيئة البحرية تؤثر تأثيرا كبيرا على الخرسانة بشكل عام من خلال عدة عوامل أهمها :

1- درجة الحرارة ونسبة الرطوبة في الجو.

2- درجة احتواء الغبار والرطوبة من الأملاح الضارة.

3- درجة تركيز الأملاح الضارة في التربة.

وهذه العوامل تحدث تفاعلا" كيميائيا" مع الخرسانة العادية أو المسلحة مما يؤدي إلى تحليل المكونات الرئيسية للخرسانة ، وتآكلها مع التأثير السلبي على قضبان الحديد الأمر الذي يؤدي الى تأكسدها ومن ثم تآكل الحديد وتكون طبقة من الصدأ تعمل على تشقق الخرسانة.

وتتآكل الخرسانة نتيجة للتفاعل الكيميائي الذي يحدث بين الكبريت الذائب (Soluble Sulphates) مع الأسمنت مما يؤدي إلى ضعف متانتها وبالتالي إلى تصدعها وتفتت أجزائها . كما أن دخول الأملاح الأخرى إلى مسامات الخرسانة وتبلورها بداخلها يتسبب في تفكك الأجزاء الخارجية للخرسانة تدريجيا" وتظهر هذه المشكلة في الخرسانة الموجودة بالقرب من المياه المالحه والرمال المشبعة بالأملاح .

ان الخرسانة توفر حماية كافية ضد الصدأ وتآكل حديد التسليح في الظروف العادية شريطة توافر الغطاء الكافي من الخرسانة حول الحديد لمنع وصول أملاح الكلورايد والأملاح الضارة على الخرسانة الى حديد التسليح وتدخل هذه الأملاح الى جسم الخرسانة عن طريق عوامل خارجية مثل :

-التربة المحيطة بالخرسانة .

-الرياح المحملة بغبار يحتوي على الأملاح.

-رذاذ المياه المشبع بالأملاح في المباني القريبة من البحر أو المواد التي تدخل في الخلطة الخرسانية مثل الرمل والحصى والمياه التي تحتوي على نسبة عالية من الأملاح.

ونظرا لكل هذه العوامل يجب اتباع نظام الكشف الدوري لأسطح الخرسانة المسلحة وفي حالة ملاحظة تصدعات أو آثار تدهور بسبب تآكل حديد التسليح.

ينصح بأجراء عمليات الصيانة والأصلاح فورا" لتفادي استمرار تدهور الخرسانة وتشمل طرق الأصلاح على :

1- إزالة أجزاء الخرسانة المتضررة إلى ما وراء حديد التسليح بعمق 25مم وتنظيف حديد التسليح جيدا" من الصدأ الموجود على سطحه.

2- طلاء الحديد بمواد خاصة لهذا الغرض كالإيبوكسي المشبع بالزنك.

3- القيام بتجهيز المواد الأسمنتية البديلة ووضعها مكان الخرسانة المزالة وذلك حسب المواصفات وإرشادات الجهه المصنعه لهذه المواد .

4- يفضل أن تطلى أسطح الخرسانات بعد الأنتهاء من إصلاحها بمواد عازلة وذلك لتحسين أدائها المستقبلي.

5- استخدام دهانات مقاومة للعوامل الجوية في المناطق الساحلية.

6- اما اذا كانت التصدعات كبيرة فأن عمليات الإصلاح تستدعي وجود أخصائيين في هذا المجال لتقويم مدى تأثير هذه الأجزاء الخرسانية المتضررة على سلامة المبنى واختيار المواد وإعداد طرق الأصلاح وفي كل الحالات يجب الحرص على اتباع إرشادات الجهات المصنعة لمواد عمليات الأصلاح.

يمكن ايضا حمايه الخرسانه من تأثير الكبريتات عن طريق استخدام الاسمنت المقاوم للكبريتات لانه يحتوى على مركب الومينات ثلاثى الكالسيوم بنسبه اقل من 3.5 % وبالتالى بخفض من تكوين مادة الجبس (وهى التى تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونه ماده Ettringite وهى تسمى سرطان الخرسانه فهى المسئوله عن تكون الكبريتات)

وايضا عن طريق استخدام خرسانه غير منفذه ويحدث ذلك بتقليل نسبه الماء الى الاسمنت بسبب تكون ماده من الجيل حول حبيبات الاسمنت تعمل على تقليل فراغات الخرسانه (وتقليلها ايضا يؤدى الى زياده مقاومه الخرسانه للضغط) وبالتالى يقل معامل النفاذيه وعن طريق ايضا

استخدام العوامل التى تؤدى الى تقليل معامل النفاذيه للخرسانه وذلك مثل :

- استخدام المعالجه بالبخار

-أن يكون المقاس الاعتبارى الاكبر للركام صغير

-أن يكون معاير النعومه للرمل صغير فكلما قل كلما قلن نفاذيه الخرسانه

-عمر الخرسانه كلما زاد كلما قلت النفاذيه

(والنفاذيه تعتمد على نوع الفراغات الموجوده فى الخرسانه وهى اما ان تكون فراغات شعريه وهى تعمل على تقليل النفاذيه واما تكون فراغات غير متصله وهى تساعد على نفاذيه الخرسانه)

تتكون الكبريتات عن طريق مهاجمه الكبريتات لهيدروكسيد الكالسيوم فيتكون الجبس فيتحد مع Monosalfoalominat فيتكون Ettringite سرطان الخرسانه

2.3 العزل المائي :

العزل المائي water insulation، هو حماية المنشآت والمكونات البيئية من العوامل الطبيعية والاصطناعية التي قد تكون سبباً أساسياً في تلفها أو خروجها عن حدود الاستثمار. ويكون العزل باستخدام مواد وأساليب متنوعة بحسب الظروف المحيطة ونوعية المنشأة، وفي إطار الاستثمار السليم للمنشأة من الوجهة البيئية والهندسية والفنية.

1.2.3 لمحة تاريخية:

مصطلح العزل بالعرف الهندسي مصطلح قديم جديد طوره الإنسان منذ محاولاته الأولى لحماية مسكنه البدائي ووسائط نقله كالمراكب النهرية والبحرية؛ إذ استخدم القار لحماية الهياكل الخشبية للمراكب، كما استخدم المصريون القدماءالقطران لحفظ المومياء .ونحو سنة 625 قبل الميلاد في عهد الملك نبوخذ نصر، استخدم البابليون الزفت في طلاء الأروقة. ثم تطورت استخدامات الزفت وصار يستعمل مادة أساسية في الخلطات المختلفة للطرقات والرقائق. ويعدُّ العسل من أقدم مواد العزل المستخدمة في الحضارات القديمة؛ فقد استخدمه البابليون والسومريون والآشوريون والفراعنة واليونان لتغليف التماثيل والأصنام التي كانوا يعبدونها بهدف حمايتها من التلف. وهناك مواد عزل محلية استخدمت في منطقة بلاد الشام لعزل الأسطح مثل القصر ملّ وهو مزيج من الغضار والكلس والرماد الناتج من المحروقات. كذلك استخدم الرومان اللاؤونة وهي مزيج من الكلس والزيت والقطن، لعزل وصلات قساطل شبكات توزيع المياه.

2.2.3 مواد العزل المائي واستخداماتها:

يستخدم العزل المائي بصفة أساسية في جميع المنشات المائية لضمان سلامة نوعية المياه والمنشأة الناقلة لها.

اختلفت تسميات مواد العزل القديمة بين قار وقطران وزفت؛ أما القار والقطران فيستخرجان من زيوت أشجار الصنوبر أو الأرز أو الشجر المر، ويوجد الزفت على شكل بحيرات أو تجمعات سطحية في المناطق التي تحوي احتياطات نفطية.

3.2.3 أنواع مواد العزل المائي :

ومن مواد العزل المائي :الرقائق بمختلف أشكالها وسماكاتها، منها الزفتي والمرن والقماش غير المنسوج non- woven fabricعلى سبيل المثال لا الحصر. وهناك أيضاً بعض المواد التي تُضاف إلى الخرسانة أو الطينة الداخلية والخارجية والتي تؤدي إلى زيادة الكتامة. وتعدُّ طلاءات الحماية بأنواعها كافة وخصائصها من أهم أنواع العزل المائي. وتكوّن الرقائق من النسيج غير المحاك في تصميم الحماية المائية للطرقات السريعة والسكك الحديدية والأقنية والملاعب وغيرها.

وتشكل الرقائق المدعمة بالألياف الزجاجية fiberglass والبوليستر عنصراً أساسياً في حماية السطوح الأخيرة للمنشآت والمباني السكنية. وتعد مادة الإيبوكسي epoxy بأنواعها من أهم المواد المستخدمة في حماية السطوح الداخلية في المنشآت الخاصة بالصناعات الدوائية والغذائية والكيمياوية، لما تتمتع به من مقاومة كيمياوية عالية وتوافق مع شروط السلامة الصحية والبيئية. أما الرقائق اللدنة فتستخدم بصفة أساسية عند تنفيذ أحواض النفايات، فضلاً عن استخدامها في السدود التجميعية والبحيرات الاصطناعية.

ويولى العزل قدراً كبيراً من الاهتمام في المناطق الساحلية خاصة، إذ إنَّ التأثير المباشر للمياه المالحة يسبب الاهتراء السريع لمواد البناء التقليدية.

ولا تقل متممات مواد العزل أهمية عن مواد العزل نفسها، وهي تتكون من مواد مطاطية ومعاجين خاصة لفواصل التمدد ومواد لاصقة لحماية أنواع العزلالحراري والصوتي والمائي ومواد التأسيس، إضافة إلى متممات التثبيت من براغٍ وأسافين ولفائف ومواد رابطة ولاصقة يتلاءم تركيبها مع مواد العزل الأساسية وتكوّن معه النظام المتكامل للعزل المطلوب تنفيذه. ويجب أن تصنع هذه المنتجات من مواد ذات جودة عالية لتضمن عمل نظام العزل المستخدم وكفاءته وملاءمته لطبيعة استخدام المنشأة وعدم تسببها بتأثيرات سلبية في البيئة.

4.2.3 أنواع العزل المائي :

يقسم العزل المائي تبعاً للطريقة المتبعة فيه إلى قسمين أساسيين:

العزل الإيجابي :وهو العزل المائي المعتمد بصورة عامة، ويمكن تعريفه أنه محاولة منع قطرة الماء من الدخول إلى الجسم المراد عزله وتحويل مسارها إلى مصرف يتم اختياره.

العزل السلبي :وهو العزل المائي من الجهة المقابلة لجهة خروج المياه في الجسم المراد عزله. ولا يُلجأ إلى هذه الطريقة إلا عند وجود صعوبة في تطبيق العزل الإيجابي.

5.2.3 المعايير الواجب توافرها في المواد العازلة :

المعايير هي مجموعة المواصفات الضابطة لأي نوع من أنواع مواد العزل والتي يسترشد بها عند اختيار نوع مادة العزل المراد تطبيقها.

تتنوع مواد العزل، كما تتنوع مكوناتها، وليس من السهولة التوصل إلى تقييم جودة هذه المواد من دون اللجوء إلى مخابر تخصصية قد لا تكون متوافرة في كثير من بلدان العالم، إذ إنها تحتاج إلى إمكانات علمية كبيرة وتجهيزات عالية الأداء؛ لذا تقوم بعض الجهات المنتجة لمواد العزل بالالتزام بتطبيق المعايير والمواصفات العالمية لمراقبة الجودة على منتجاتها، ويكون ذلك موضحاً بالوثائق المرفقة لهذه المنتجات والتي تتضمن عادة شهادات اختبار مطبّق على هذه المواد في المختبرات العالمية المتخصصة.

تُختار أنواع المواد العازلة ومواصفاتها تبعاً لوظيفتها وللشروط التنفيذية لعملية العزل المائي؛ لذا لابد من أن يكون قرار اختيار المواد بيد جهة هندسية مسؤولة متخصصة، وأن تطبق أنظمة العزل بوساطة (الورشات) التخصصية لضمان تنفيذها جيداً وفقا للمواصفات.

تطبق الشروط الأكثر صرامة في اختيار مواد العزل المائي في المنشآت المائية المتعلقة بمياه الشرب وفي تنفيذها. فمثلاً، لايكفي أن تكون مواد العزل غير سام لتستخدم في عزل هذه المنشات، بل يجب أن تكون مصنعة وفقاً لقوانين ومواصفات عالمية وتحمل شهادات اختبار خاصة لصلاحيتها لمياه الشرب، عدا المعايير

الأخرى التي تتحكم في اختيار مادة العزل مثل رطوبة السطح الذي تطبق عليه وحرارته، والتصاقها به، وطبيعة استثمار السطوح المعزولة وغيرها.

تختلف المعايير المطلوب توافرها في مواد عزل خزانات مياه الشرب عن تلك المطلوبة في مواد عزل خزانات الري والسقاية، ففي الحالة الأولى يجب ألا يكون للمواد أي تأثير على لون الماء وطعمه ورائحته، الأمر الذي لا ضرورة له في الحالة الثانية.

أما فيما يخص الملدّنات admixtures المستخدمة في الخراسانات فيفترض أن تكون خالية من الكلور لما له من تأثير في حديد التسليح الموجود في الخرسانة. وأما المعايير الضابطة للرقائق الإسفلتية فلابد من أن تكون متناسبة مع مكان استخدامها. فبعض الرقائق تتحمل حرارة منخفضة تصل إلى 40 درجة مئوية تحت الصفر، في حين يتحمل بعضها الآخر 18 درجة مئوية تحت الصفر وتستخدم في مناطق أقل برودة، ويرتبط هذا كثيراً بعامل مرونة المادة ونقاء أساسيات المواد المركبة لها.

كذلك فإن مقاومة أشعة الشمس يجب أن تكون أحد المعايير الأساسية في اختيار المادة بحيث توفر المرونة الكافية لتحمل فروقات درجات الحرارة صيفاً أو شتاء.

إنَّ اختيار المواصفة الجيدة للمعاجين التي تعدُّ من أهم متممات أنظمة العزل بأنواعها كافة أمر على قدر من الأهمية. كذلك لابد من تمييز المواصفة الخاصة للمعاجين الداخلية من المعاجين الخارجية. وكذلك فإن عامل المرونة الذي يختلف من نوع لآخر يعدُّ ضرورياً في اختيار النوع المناسب.

من الطبيعي أن تكون هذه المعايير واضحة في دفاتر الشروط الفنية بحيث لا تترك مجالاً للالتباس عند اختيارها. كما لا بد من تمييز المواصفة المناسبة للمكان المناسب؛ كأن تحوي طلاءات الإيبوكسي على خاصية مقاومة الأشعة فوق البنفسجية إضافة إلى خاصية مقاومتها الكيمياوية عند استخدامها في طلاء الطبقات الخارجية.

6.2.3 المحافظة على أنظمة العزل وصيانتها:

تحتاج أنظمة العزل المختلفة إلى رقابة لمنع سوء استخدامها، وكذلك إلى صيانة دورية، إذ إن الإهمال في الكشف عن هذه الأنظمة قد يؤدي إلى نتائج خطيرة على البيئة وسلامة المستهلك.

وكما أن تطوير أنظمة العزل يهدف إلى حماية الإنسان من العوامل الطبيعية، فإنه لابد بالمقابل من المحافظة على بيئة من خطر الإنسان نفسه. لذا صدرت مؤخراً قوانين صارمة لضبط تصنيع مواد العزل لجعلها صديقة للبيئة.

3.3 العزل الرطوبي

تحتاج جميع المنشآت إلى عزل مبانيها عزلا تاما من الرطوبة والمطر والمياه الجوفية والسطحية ورشحهما . فمن مساوئ تأثير الرطوبة ومياه الرشح على المباني أنها تساعد على تلف عناصر موادها الانشائية والبنائية مما يؤدي إلى قصر عمر المبنى بخلاف تعفن هذه المواد وصدور روائح كريهة منها للمنتفع بالمبنى مع تكاثر الحشرات والفئران وجلب الأمراض له كذلك.

1.3.3 مسببات الرطوبة Causes of Dampness

1. اتجاه المبني :

الحوائط التي يصلها طرطشة المطر وقليل من أشعة الشمس تجعلها اكثر عرضة للرطوبة .

2. مياه المطر :

وتختلف كمية سقوطها من مكان إلى آخر فعادة مياه المطر تمثل خطورة على المباني الغير مجهزة بموانع للرطوبة نظرا لقدرة المياه على الاختراق المباشر لسقف المبنى وعناصره المختلفة ولذلك يجب عزل السقف والدروة والطبانة من الرطوبة . كذلك يمكن أن تخترق الرطوبة الحوائط الخارجية المعرضة للمطر الشديد أن لم يعمل لها عازل مناسب.

3.المياه السطحية :

وتتكون من الأنهار أو البحار أو البرك المتكونة نتيجة المطر أو السيول ففي بعض الأحيان تختلط هذه المياه بالتربة الأرضية وتكون مناطق من الطين المشبع بالمياه قرب أساسات لمبنى وقد تتسرب بعض هذه المياه داخل التربة وتتجمع مع المياه الجوفية وبذلك يزيد منسوبها وقد تصل هذه المياه إلى أساسات المبنى القريبة منها عن طريق الخاصية الشعرية الأفقية مما يهدد المبنى إن لم يعمل له عازل من تأثير هذه المياه.

4.المياه الجوفية :

وهي المياه المتكونة تحت سطح الأرض من خلال مسام تربتها إلى أن تستقر على منسوب يكاد يكون ثابت لكل منطقة وعلى ذلك فالتربة القريبة من المياه الجوفية تكون عادة مشبعة بالمياه ولا يفضل أن تخترق بدرومات المباني هذه المنطقة بدون عمل موانع للمياه فيها وإلا حدث البلل أو الفيضانات داخل هذه البدرومات.

5.صعود الرطوبة الأرضية :

تصعد الرطوبة من التربة الرطبة تحت المنشأ إلى أرضية الدور الأرضي أو البدومات في المباني عن طريق الخاصية الشعرية خلال مسام التربة والمواد البنائية المستعملة في المبنى.

6. التكثيف :

يحتوي الهواء البارد على كمية بخار أقل من الهواء الساخن وعلى ذلك فالرطوبة تترسب في الحوائط والأسقف والأرضيات عندما يبرد الهواء الساخن المحمل بالرطوبة وهذا ما يعرف بالتكثيف .

7. سوء صرف المياه في الموقع :

يحدث تجميع لمياه الصرف تحت المبنى إذا صعب صرفها من أراضي الموقع المنخفضة وخصوصا إذا كانت تربة الموقع غير منفذه للمياه وعلى ذلك يحدث رطوبة لهذه المباني المنشأة على تلك الأراضي .

8.التشييد الحديث :

الحوائط المشيدة حديثا تبقى في حالة رطبة لفترة معينة.

9. العمالة السيئة :

عيوب تقفيلات وصلات السقف والطبانة وجلسات الشبابيك والأجهزة الصحية والتمديدات ....الخ حيث أن هذا يؤدي إلي السماح بنفاذ المياه داخل المبني وإحداث رطوبة ، ومثال علي ذلك إهمال عمل ميول الأسطح وتصريف الأمطار أو عملها بطريقة سيئة .

2.3.3 تأثير الرطوبة Effect of Dampness

- ●حالة غير صحية لمستخدمي المبني.
- ●عدم تماسك اللياسة في المباني .
- ●تمليح Efflorescence للحوائط والأرضيات والأسقف.
- ●فساد الأخشاب المستخدمة وانحناءها.
- ●تعريض الحديد المستخدم للصداء.

- ●أتلاف الدهان.
- ●تلف للتمديدات الكهربائية.
- ●تلف التكسيات للأرضيات والحوائط والأسقف.
- ●تكاثر الفطريات والبكتيريا في المبني.

3.3.3 مصطلحات العزل الرطوبي

نفاذية المياه : وهو مصطلح يعبر عن مادة لها سماحية مرور المياه وبخارها من خلال مسامها بدون انقطاع.

منفذ المياه : وهو مصطلح يعبر عن مادة بها شقوق أو ثقوب أكبر قليلا من مسام الخاصية الشعرية والتي تسمح بمرور المياه من خلال مسامها وعكسها هي المادة الغير منفذه للمياه.

مقاوم للمياه : وهو مصطلح يعبر عن مادة بعض أو عدم وجود ثقوب أكبر من مسام الخاصية الشعرية وهذه المادة لا تسمح بنفاذ الرطوبة أو مرور المياه أو بخارها كما تعتبر المادة التي بها هذه الصفة عازلة للرطوبة.

مقاوم للبلل :وهو مصطلح يعبر عن مادة لا تبل ولكنها لا تنقل المياه خلالها بواسطة الخاصية الشعرية وحدها . والمياه يمكن أن تمر خلالها تحت ضغط هيدروليكي عالي وتعتبر المادة التي بها هذه الصفة عازلة للرطوبة أيضا.

عازل المياه : وهو مصطلح يعبر عن مادة غير مسامية للمياه أو بخارها فهي تمنع مرور المياه أو بخارها خلالها سواء كانت بضغط هيدروليكي أو بدونه وتعتبر المادة التي لها هذه الصفة شديدة العزل للرطوبة والمياه.

اختيار العزل المناسب :لاختيار العزل المناسب يجب مراعاة الآتي

●ما هو الغرض من العزل؟؟

عزل الرطوبة الأرضية أم عزل الرطوبة للقبو وما تحته أم عزل الحمامات أم عزل الأسطح والأسقف ؟؟!!

●ما هي طبيعة الأرض المقام عليها المبني؟؟

رملية ، صخرية ، طينية جافة ، طينية مشبعة بالمياه ، ارض طينية أو رملية معرضة لتسر بات مياه من مصادر محيطة بها ؟؟!!

•ما هو نوع المناخ ؟؟

جو معتدل الرطوبة خفيف المطر أو معتدل المطر أو كثير الأمطار وعالي الرطوبة ، تساقط الثلوج ؟؟!!

4.3.3 الطبقات العازلة للرطوبة Damp Proof Course

الغرض من الطبقات العازلة للرطوبة هو منع انتقال مسارات الرطوبة أو المياه من منطقة إلى أخرى . ويعتبر عزل الرطوبة هو الطريقة التي تمنع مرور الرطوبة أو المياه بين مواد البناء من انتشارها داخل المباني سواء كان مصدرها المباشر من المياه الجوفية أو مياه الرشح أو المطر أو كان مصدرها غير مباشر وذلك بانتقالها عن طريق الخاصية الشعرية المندفعة بالضغط الأسموزي من المصادر الرئيسية لها وتتجه حركة مسارات الرطوبة والمياه بين مواد البناء إلى أعلى في حوائط الأساسات والدور الأرضي وتتميز طريقة عزل الرطوبة Damp Proofing عن طريقة عزل المياه Water Proofing بوضع مادة عازلة للأخيرة تقاوم الضغط الهيدروستاتيكي المستمرConstant Hydrostatic Pressures

ويجب وضع طبقة أفقية عازلة فوق الأرض في الحوائط التي لها أساسات تحت منسوب الأرض الطبيعية لمنع مسارات الرطوبة الأرضية المتجهة إلى أعلى من خلال أساساتها لأن عدم منع هذه الرطوبة سوف تعرض الحوائط التي فوق الأرض الطبيعية للترطيب والعفن واتلاف تشطيبات الحوائط الداخلية والخارجية لذلك يجب أن توضع الطبقة العازلة للرطوبة فوق سطح الأرض مستمرة على كل الحوائط وتكون على ارتفاع حوالي 15 سم فوق الرصيف وقد جرى العرف عند تشييد أعمال هذه المباني أن تقف عند هذا الارتفاع مؤقتا حتى يضع على جدران المباني الطبقة العازلة لها بجانب مطابقة وضع المبنى بقوانين التخطيط والتنظيم التابعة للمنطقة المنشأ عليها.

5.3.3 مواد العزل للرطوبة

أولا : مواد عازلة مرنة Flexible Materials :

- الألواح المعدنية Metal Sheets
- البيتومين Bitumen
- السوائل العازلة Water Proofing Liquid
- البولي ايثلين Polyethylene Membrane مواد عازلة مرنة

1.الألواح المعدنية :

وهي ألواح تستعمل لشدة عزلها للرطوبة والمياه في الأسطح والحوائط والأرضيات وصناديق الزهور وخلافه والألواح المعدنية لها أشكال كثيرة منها :

ألواح الرصاص : يجب أن يكون سمك اللوح لا يقل عن 3 مم ويزن 19.5 كجم / م2 يعتبر الرصاص مانع جيد للرطوبة والمياه وهو قابل للصدأ عند ملامسته أو دفنه في طبقة من مونة الجير أو الأسمنت وعلى ذلك يجب حماية فرخ الرصاص قبل استعماله بدهان وجهيه بالبتومين

ألواح النحاس : يجب أن يكون سمك اللوح لا يقل عن 0.25 مم ويزن 2.28 كجم / م2 ويعتبر النحاس مانع جيد للرطوبة والماء وهو مادة لدنة ومن صفاته قوة تحمله للشد العالي والانبعاج حتى عند هبوط المبنى الخفيف ومن عيوب هذه المادة أنها تصدأ وتتغير معالم سطحيها حيث يتحول الصدأ إلى لون أخضر أما استعماله في المباني فهو مثل أفرخ النحاستماما ويضاف إلى ذلك إمكان استعماله لتغطية السطح الجارجي للقباب والقبوات وخلافه لسهولة تشغيله

ألواح الألومنيوم : وهي مادة لا تصدأ بالعوامل الجوية بسرعة ويمكن معالجتها بعملية الأنودة وكسبها ألوانا كثيرة ويسهل استعمالها كمادة عازلة لكسوة الأسطح الخارجية للحوائط والقباب والقبوات نظرا لصيانتها الغير مكلفة وسهولة تركيبها بالضافة إلى ألواح الألومنيوم من أكثر الألواح المعدنية استعمالا في الوقت الحاضر نظرا لمقاومتها الشديدة للرطوبة الماء في المباني بخلاف ثمنها وخفة وزنها بالمقارنة إلى ألواح المعادن الآخرى

ألواح الحديد المجلفن : لا تصدأ إلا بعد تلف الطبقة المجلفنة التي تغطيها ويستعمل دائما في تغطية النهايات

ألواح حديد الاستنلس استيل : مقاومة للصدأ وتستعمل عادة في الأماكن الظاهرة للعين المجردة مثل تغطية النهايات للدراوي والأسطح وخلافه

2.البتومين :

يصنع البتومين من ما تبقى من تقطير البترول الخام حيث يتراوح قوامه بين الصلابة وشبه الصلابة كما أن لونه يتراوح بين الأسود والبني وهو قابل للذوبان في كبريتيور الكربون ومن أشهر أنواعه المستعملة في العزل الرطوبي :

البتومين المنفوخ (المؤكسد) : ينتج من خفض نسبة الهيدروجين إلى الكربون في البتومين المصهور مع انقاص الزيوت السائلة التي يحتويها بنفخ الهواء فيه مما يزيد من ليونته وقابليته للشد والثني

البتومين المتصلد ويتكون بتقطير البتومين تحت ضغط تفريغي لطرد الزيوت الثقيلة والمختلطة به فيتحول إلى حالة الصلابة ويستخدم لذلك عند وجود أحمال ميكانيكية عالية ودرجات حرارة منخفضةفي نفس الوقت ويستبعد لهذا السبب استخدامه لعزل المنشآت العادية

معلقات بتيوميتية : وهي معلقات للبتومين تنتج من تفتيته تفتيتا زائدا في الماء وفي وجود عوامل مساعدة وعند استخدام هذا النوع في أعمال البناء ينفصل فيه الماء عن البتومين

يعتبر البتومين من المواد المرنة التي تقاوم انبعاج المباني نتيجة هبوط حوائطها الطفيفة بدون تلف كما يعتبر البتومين من أكثر المواد المستعملة في الوقت الحاضر في عزل الرطوبة نظرا لرخص ثمنه عن بقية المواد العازلة الأخرى بخلاف مرونته وسهولة استعماله ومقاومته لتكاثر الفطريات والسوس والنمل وخلافه أما الورق أو الخيش المشبع بالبتومين والمصنع في لفائف لغرض وضعه لتغطية سمك الحوائط فيجب أن يثبت بركوب 10 سم على الأقل

3.سائل عزل المياه :

يصنع هذا السائل من خلط مادة البرافين إلى الزيت الطيار حيث يدهن المخلوط السائل بالفرشاة أو يرش بماكينات الرش الخاصة على المناطق المنفذه للمياه أعلى منسوب الأرض ويمكن الاعتماد على هذه الطريقة لمنع الرطوبة من 3 – 5 سنوات حسب نوع المادة وكيفية تعرضها للرطوبة

4. مشمع البولي ايثيلين :

وهو أسود اللون ولاستعماله كمادة عازلة للمباني يجب أن يكون سمكه لا يقل عن 0.46 مم ووزنه حوالي 0.48 كجم / م2 ويعتبر البولي ايثيلين من المواد المرنة التي تقاوم الانبعاج المترتب على هبوط المباني الخفيفة بدون تلف ونظرا لرقة سمك هذا المشمع عن مادة البتومين لذلك يفضل وضعه في لحامات مونة المباني وكذلك في عزل الحمامات والأدشاش

ثانيا: مواد عازلة نصف قاسية Semi Rigid Materials :

- الإسفلت Asphalt
- لفات إسفلتية Asphalt Rolls
- رقائق إسفلتية صغيره Asphalt Shingles مواد نصف صلبة

ثالثا : مواد عازلة قاسية Rigid Materials

- بياض أسمنتي (لياسة) Cement Plaster
- إضافات لعزل المياه Water Proofing Integral
- ألواح الإردواز Slates
- ألواح الاسبيستوس الصغيرة Asbestos Shingles
- ألواح خشبية صغيره Wood Shingle

- ألواح الاسبيستوس الأسمنتي Asbestos Cement Board
- طبقات البلاستيك Plastic Laminates
- القرميد Tiles

ولكل مما ورد أعلاه مميزاته وعيوبه وطرق تركيبه.

المصادر المراجع

الكتب باللغة العربية

1. د.أبودية، أيوب عيسى، الرطوبة والعفن في الأبنية، الطبعة الأولى، الأردن، 1991.

2. حواس، زكي، أمراض المباني: كشفها وعلاجها والوقاية منها، الطبعة الأولى 1990.

3. د.أبودية، أيوب عيسى، حورات في الرطوبة والعفن، الطبعة الأولى، الأردن، دار ورد، 2005.

4. د.أبودية، أيوب عيسى، عيوب الأبنية، الطبعة الثانية، ألأردن، 2002.

5. م.سعيد حامد، مجلة مهندسون مصريون، 1999.

6. بسام محمد مصطفى. دراسة تأثير المحيط التخطيطي والعمراني على التداعيات الأثرية وطرق ترميمها وصيانتها. رسالة 2000م ص 24)

7. هزار عمران، جورج دبوره. المباني الأثرية (ترميمها – صيانتها – الحفاظ عليها) منشورات وزارة الثقافة سوريا – دمشق. 1997 م ص 71، 167.

8. عبد المعز شاهين. ترميم وصيانة المباني الأثرية والتاريخية، ص 177.

9. محمد أحمد عوض. ترميم المنشات الأثرية. دار النهضة الشرق 2002 م ص 130، 131.

10. أ.د/ محمود شبل، صحة المهنية الكويت، 2002. 11. د. أبودية، أيوب عيسى، دليل الأسرة في ترشيد الطاقة، وزارة الثقافة الأردنية،2008.

الكتب باللغة الإنجليزية :

1. The Technology of Building Defects by John Hinks & Geoff Cook.

2. Thermal and Moisture protection Manual For Architects, Engineers, and contractors by Christine Beall.

3. Building Failures: Diagnosis and Avoidance by William H. Ransom- second edition.

4. Building Pathology by David Watt - second edition.

5. Environmental Deterioration of Materials by A.Moncmanova.

6. Control of The External Environment of Buildings by Bill B.P.LIM.

7. Defects and Deterioration in Buildings by Barry A.Richardson- second edition.