

## تقنية مدنية

### تقنيات الطرق

٢٠٨ مدن



الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التتموي، لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " تقنيات الطرق " لمتدربي قسم " تقنية مدنية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله وبعد ، أقدم هذا الكتاب المبسط في أعمال هندسة الطرق إلى طلاب قسم التقنية المدنية بالكليات التقنية راجيا من الله أن يجعل فيه النفع الكثير للجميع. وتعد مادة تقنيات الطرق من المواد الأساسية في تخصص التقنية المدنية حيث يتم من خلالها تدريس طلاب هذا التخصص مبادئ التصميم الهندسي للطرق وما تحتاجه أعمال الطرق من أسس ومقاييس حسب المواصفات الهندسية المتعارف عليها.

ويحتوي هذا الكتاب على خمسة فصول دراسية يختص الفصل الأول منها بمعالجة موضوع تخطيط الطرق والأعمال المساحية اللازمة لذلك وتم التعرف على كيفية اختيار وتحديد مسار الطريق والعوامل الرئيسية التي تتحكم في ذلك. ويشمل الفصل الثاني على أسس التصميم الهندسي للطرق وفيه يتم التعرف على البيانات الضرورية للتصميم وعلى طرق وخطوات التخطيط الأفقي والرأسي والعرضي للطرق. ويتناول الفصل الثالث موضوع تربة الأساس من حيث أنواع وطبيعة التربة التي يشيع استعمالها في مجال هندسة الطرق وكيفية تصنيفها وتحديد خواصها الأساسية. ويضم الفصل الرابع أنواع الرصف المستخدمة ومميزاتها وطرق تصميمها وأنواع المواد البتومينية وخواصها والخلطات الإسفلتية ومواصفاتها. بينما تطرق الفصل الأخير إلى أنواع أعمال الصيانة اللازمة للطرق والتعرف على الأضرار التي تلحق بالرصف المرن والرصف الصلب وعلى طرق معالجة وإصلاح هذه الأضرار. والكتاب مزود بكثير من الأمثلة العملية والصور والأشكال والجداول التوضيحية لكي تساعد الطالب في تفهم هذه المواضيع. ومن هنا يتبين لنا أهمية مادة تقنيات الطرق ضمن تخصص التقنية المدنية وقد بذل الجهد الكبير لإخراج هذا الكتاب على المستوى اللائق من حيث المادة العلمية وبما يتناسب مع مستوى طلاب الكليات التقنية.



## تقنيات الطرق

### تخطيط الطرق والأعمال المساحية

تخطيط الطرق والأعمال المساحية

**الجدارة:**

يدرس الطالب كيفية اختيار وتحديد مسار الطريق والعوامل الرئيسية التي تتحكم في ذلك، ويتعرف كذلك على الأعمال المساحية المتنوعة التي تتوقف عليها جميع أعمال التخطيط والتصميم لمشاريع الطرق.

**الأهداف:**

عند الانتهاء من هذا الفصل يكون الطالب قادراً على:

- كيفية اختيار مسارات مناسبة للطريق على المخططات الطبوغرافية والصور الجوية المتوفرة.
- تحديد موقع مشروع الطريق وكذلك العوائق الرئيسية التي تعترض لها المسارات المقترحة.
- تحديد وبشكل أدق الشريط الذي يلزم إجراء مسوحات طبوغرافية شاملة له.
- تحديد الأعمال المساحية اللازمة التي يتوقف عليها أعمال التخطيط للطريق.
- كيفية تثبيت محور الطريق النهائي على الطبيعة.

**مستوى الأداء المطلوب:**

إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٠٪.

**الوقت المتوقع لإنهاء هذا الفصل:**

٤ ساعات.

**متطلبات الجدارة:**

اجتياز حقيبة المساحة.

## ١- ١ مقدمة

بعد اتخاذ القرار بإنشاء طريق جديد بين موقعين أو إجراء تحسينات على طريق قديم، يلزم عمل دراسات مفصلة لمعرفة حجم المرور الحالي والمتوقع مستقبلاً على الطريق لمعرفة حجم السير وتركيبه، ومنه يتم تحديد درجة ومستوى الطريق المطلوب. وبعد ذلك يشرع القيام بمسوحات متعددة ومتنوعة على المنطقة التي يراد إنشاء الطريق عليها لتحديد المسار المفضل للطريق وهو ما يعرف بتخطيط الطريق.

## ١- ٢ تعريف التخطيط

يعرف تخطيط الطريق بأنه عملية اختيار وتوقيع مسار الطريق على الطبيعة وينقسم إلى قسمين رئيسيين هما:

- تخطيط القطاع الأفقي للطريق: ويشمل كل الخطوط المستقيمة والمنحنيات الأفقية.
- تخطيط القطاع الطولي للطريق: ويشمل الانحدارات والمنحنيات الرأسية.

وتعد عملية التخطيط من العمليات الأساسية التي يجب أن تتم بدقة كبيرة لما لها من انعكاسات خطيرة على تكلفة الإنشاء والصيانة المستقبلية للطريق، وكذلك على تكاليف التشغيل والإصلاح للعربات التي ستسلك الطريق. فبمجرد إنشاء الطريق يكون من الصعوبة بمكان إجراء أي تغيير أو تعديل على مساره وذلك لصعوبة الحصول على قطع الأراضي المجاورة لمسار الطريق وارتفاع تكاليف التعويضات والنفقات القانونية اللازمة لذلك. كما أنه إذا تم إنشاء طريق ما بشكل غير سليم فإن ذلك يؤدي إلى رفع تكاليف الصيانة الدورية للطريق وتكاليف تشغيل وصيانة العربات المارة عليه.

وعليه يجب أخذ النقاط التالية في الاعتبار أثناء اختيار مسار الطريق:

١. أن يكون الطريق قصيراً ما أمكن ذلك وبأقل انحدارات ومنحنيات رأسية لتوفير انسياب أسرع وأسهل لحركة المرور.

٢. أن تكون تكلفة الإنشاء اقتصادية ما أمكن ذلك مع الأخذ في الاعتبار تكاليف الصيانة المستقبلية، للطريق وهذا يتطلب دراسة شاملة لجميع العوامل الاقتصادية والبيئية التي تؤثر في اختيار المسار. ويمكن التقليل من تكلفة الطريق في حالة تجنب إنشاء جسور عالية وقطوع عميقة وأنفاق وكباري وغيرها من المنشآت المكلفة، مع محاولة اختيار المسار بحيث يكون هناك توازن بين حجم الحفر وحجم الردم قدر الإمكان.

### ٣- ١ العوامل التي تتحكم في التخطيط

١. حجم المرور: يعتمد تخطيط الطريق بالدرجة الأولى على حجم السير الحالي والمستقبلي للمرور وعلى أنواع المركبات واتجاهاتها وأوزانها.
٢. نقاط المرور: وهي النقاط التي لا بد أن يمر بها مسار الطريق اضطرارياً مثل الكباري والأنفاق والممرات الجبلية والمدن المتوسطة.
٣. التكلفة: تعد التكلفة من العوامل الأساسية التي يتوقف عليها اختيار مسار الطريق وتشمل تكاليف التخطيط والمصاريف الأولية للحصول على حرم الطريق والتكاليف الخاصة بالأعمال الهندسية والتصميمات وتكاليف إنشاء الطريق والمنشآت والرصف وتكاليف الصيانة المستقبلية. ويفضل أن تكون هذه التكاليف اقتصادية ما أمكن ذلك وعليه فيجب القيام بدراسة مفصلة لتحديد الميزانية الخاصة بذلك.

### ٤- ١ الأعمال المساحية لمسار الطريق

توفر الأعمال المساحية سواء الأرضية منها أم الجوية كماً هائلاً من المعلومات والبيانات التي تتوقف عليها جميع أعمال التخطيط والتصميم لمشاريع الطرق. ومن بين المعلومات الأساسية التي يمكن الحصول عليها بدقة من خلال الأعمال المساحية ما يلي:

- تحديد موقع المشروع؛
  - تحديد حرم المشروع وحدود الأراضي المجاورة؛
  - تحديد طبوغرافية المنطقة التي سيمر عليها مسار الطريق؛
  - تحديد جيولوجية الأرض ضمن الشريط الذي سيمر منه الطريق؛
  - تحديد هيدرولوجية المنطقة المؤثرة على شريط الطريق المقترح.
- وتشمل الأعمال المساحية التي تتطلبها عمليات تخطيط وتصميم الطرق المراحل التالية:
- الدراسة المكتبية؛
  - الاستطلاع باستخدام الصور الجوية؛
  - المساحة الاستطلاعية؛
  - المساحة المبدئية؛
  - المساحة التفصيلية.

## ١- ٤- ١ الدراسة المكتبية

هنالك الكثير من المعلومات والبيانات الأساسية التي يمكن الحصول عليها من خلال الدراسة المكتبية قبل الشروع في أي عمل استطلاعي أو دراسة موقعية. ويتم في هذه المرحلة الأولية الاستعانة بجميع الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية والتخطيطات والتقارير والمعلومات المتوفرة للشريط الأرضي الخاص بمشروع الطريق للحصول على المعلومات والبيانات اللازمة لأعمال التخطيط والتصميم. ويمكن أن تكون المقاييس المناسبة للخرائط والصور المستخدمة في هذه المرحلة في حدود (١:٥٠٠٠). أما بالنسبة لعرض المنطقة التي يجب أن تشملها الدراسات الطبوغرافية فتتراوح بين (٠,٤) و (٠,٦) من طول المسافة بين نقطتي بداية المسار المقترح ونهايته. وتستخدم الخرائط والصور في تحديد التحكيمات المبدئية مثل الممرات الجبلية أو المعابر المناسبة للأنهار وتوقيع العوائق الرئيسية مثل المنحدرات الحادة أو المستنقعات. وبعد جمع وتحليل كل المعلومات والبيانات الأولية يتم وضع تصور مبدئي لعدد من المحاور للطريق وتوقيعها على الخرائط الطبوغرافية المتوفرة كما هو موضح في شكل (١,١).

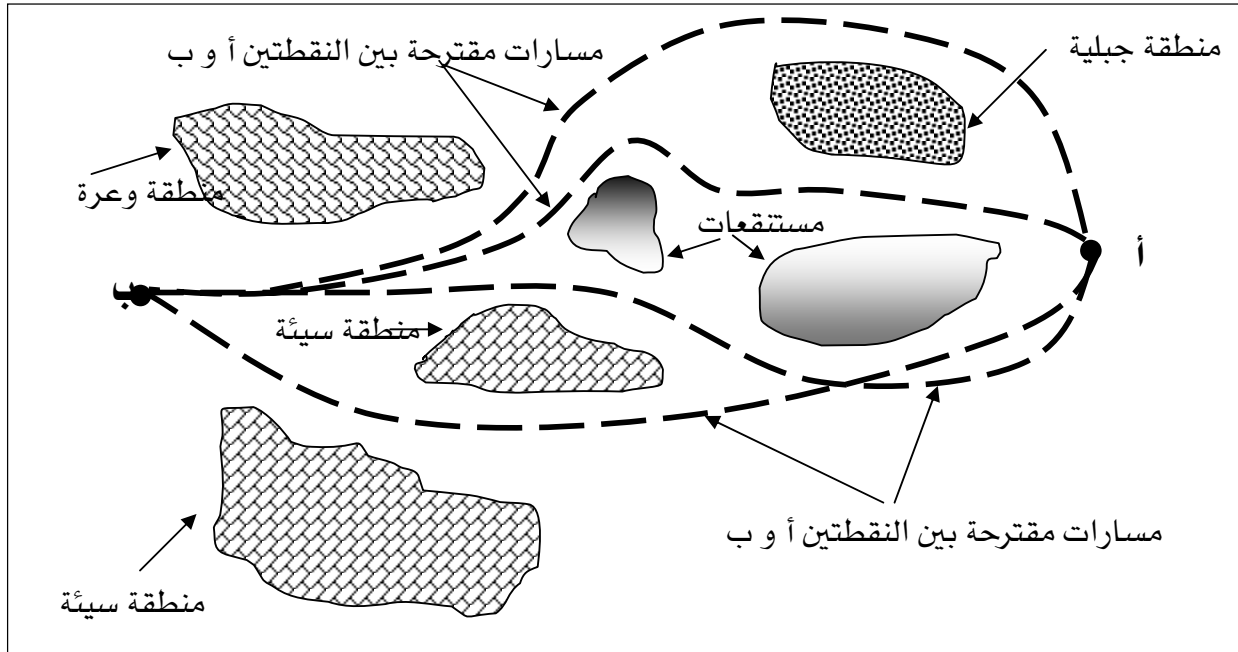
## ١- ٤- ٢ الاستطلاع باستخدام المساحة الجوية

قد تكون الخرائط المستعملة في المرحلة الأولية قديمة نوعاً ما أو غير دقيقة بسبب التغيرات التي حدثت على الموقع، وبالتالي تكون المعلومات والبيانات المعتمدة في الدراسة المكتبية غير كافية لتحديد المسارات البديلة للطريق بشكل دقيق. وعليه فإنه من الضروري القيام بعمليات استطلاع جديدة على الموقع باستخدام المساحة التصويرية الجوية لتصحيح واستكمال الخرائط المتوفرة. وتعد الصور الجوية الرأسية التي تؤخذ بواسطة آلة التصوير الموجهة إلى أسفل أكثر الصور المفيدة لغرض إعداد خرائط الطرق. وتتم عملية تصوير الأماكن المطلوب تغطيتها في عدة طلعات جوية متوازية ومتداخلة في اتجاه الطيران وتكون بمقاييس رسم مختلفة حسب أهمية المرحلة الدراسية للمشروع ونوعية البيانات اللازمة لذلك كما هو موضح في الجدول (١,١). وتلعب المساحة الجوية دوراً بارزاً في مجال هندسة الطرق حيث يجري استخدامها في تفسير الظواهر الطبيعية والاصطناعية واستنباط الحجم الهائل من المعلومات الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية ودراسة حركة المرور وتحديد حرم الطريق وفي تخطيط محور الطريق وغيرها من خلال المتخصصين في المجالات المختلفة وبالاستعانة بأجهزة التجسيم المتنوعة. وتساعد الصور الجوية على التعرف على تفاصيل الطبيعة البيئية والهيدرولوجية والخدمات للموقع المراد إنشاء الطريق عليه، بحيث يؤدي ذلك إلى استبعاد بعض الخيارات المقترحة ومن ثم التركيز على عدد أقل من المحاور المقترحة.



جدول (١,١) مقاييس الصور الجوية التي تستخدم في أعمال تخطيط وتصميم الطرق.

المرحلة	مقاييس الصور الجوية	مقاييس المخططات المستنبطة من الصور	الفترة الكنتورية (متر)
التخطيط الأولي	من ١:٢٥٠٠ إلى ١:١٠٠٠٠٠	من ١:١٠٠٠٠ إلى ١:٥٠٠٠٠	من ١٠ - ٥ إلى ٢٥ - ١٠
الدراسات والتصاميم الأولية	من ١:١٥٠٠٠ إلى ١:٢٥٠٠٠	من ١:٥٠٠٠ إلى ١:١٠٠٠٠	من ٥ - ٢ إلى ١٠ - ٥
الدراسات والتصاميم النهائية	من ١:٤٠٠٠ إلى ١:١٠٠٠٠	من ١:١٠٠٠ إلى ١:٢٥٠٠٠	من ١ - ٠,٥ إلى ٥ - ١



شكل (١,١) اقتراح مسارات بين موقعين أ و ب.

## ١- ٤- ٣- المساحة الاستطلاعية

بعد تحديد وتوقيع المسارات البديلة للطريق المقترح على الخرائط يجب الرجوع إلى الطبيعة للتعرف على الموقع الفعلي لكل محور مقترح. فمهما كانت الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية كاملة ووافية بالمعلومات إلا أنه من الضروري جداً أن يقوم المهندس بالاستطلاع والكشف الشخصي على كل محور وذلك لجمع المعلومات الضرورية التي لم تظهر على الخرائط بشكل واضح والتي ربما يتطلب بسببها تعديلات لازمة للمحاور المقترحة. ومن الساعد جداً أخذ الخرائط المتوفرة للمنطقة وكذلك الصور وبعض أدوات التجسيم وذلك لتسهيل عملية البحث عن المحاور المناسبة لمسار الطريق.

والمعلومات الواجب جمعها من عملية الاستطلاع هي:

١. تحديد بشكل أدق الشريط الذي يتوجب إجراء مسح طبوغرافي شامل له.
  ٢. تحديد كل العوائق الرئيسية التي تعترض لها المحاور المقترحة والتي لم تظهر بوضوح على الخرائط مثل المنحدرات الحادة والوديان والبحيرات والمنشآت الحديثة.
  ٣. تحديد الممرات المائية المتقاطعة مع المسارات وبيان عددها وأبعادها وجيولوجيتها ونوعية المنشآت التي ستطلبها.
  ٤. تحديد نوع وخواص التربة التي سيمر بها المسار وكذلك درجة ثباتها وقابليتها للانزلاق.
  ٥. تحديد أماكن مواد الإنشاء ومصادر المياه اللازمة.
  ٦. تحديد الأهمية الاقتصادية للمسارات المقترحة للطريق.
- وبناء على عملية الاستطلاع هذه يتم تعديل وتصحيح كل المعلومات والبيانات الغير واضحة أو الخاطئة على الخرائط والصور. وبعد دراسة مقارنة ومفاضلة بين المسارات المختارة يتم انتقاء المسار الأفضل للطريق استناداً إلى المعطيات التي تم جمعها وتحديدتها بشكل تفصيلي.

## ١- ٤- ٤- المسح المبدئي

الهدف من المسح المبدئي هو تحديد محور المسار المقترح بأكثر دقة باستخدام أجهزة المساحة المختلفة ويتم ذلك كمايلي:

١. رفع وتوقيع جميع الظواهر الطبوغرافية حول المسار المقترح.
٢. تحديد مناسيب محور المسار وعمل قطاعات عرضية على أبعاد مناسبة.
٣. الحصول على كل المعلومات والبيانات الأساسية الخاصة بنوع التربة وخواصها ومدى ملاءمتها للمنشأ.

٤. تحديد عمق المياه الجوفية ومعرفة مدى تأثيرها على طبقات الرصف.
  ٥. الحصول على المعلومات الهيدرولوجية اللازمة لتحديد عدد وحجم مصارف المياه السطحية المتقاطعة مع المسار.
  ٦. تحديد قوة الرياح التي تكون في اتجاه المسار.
- وبناء على المعلومات والبيانات المتحصل عليها من عملية المسح المبدئي يتم إنتاج مخططات طبوغرافية تفصيلية بمقاييس من (١:٥٠٠٠) إلى (١:١٠٠٠) وإنجاز البنود التصميمية والحسابات المتعلقة بالمقاطع العرضية والطولية للمسار المعتمد. ويجب أن يتم العمل المساحي في هذه المرحلة بشيء من الدقة والشمولية بحيث يسمح بتعيين أفضل المسارات التي يمكن أن يمر بها مسار الطريق.

#### ١- ٤- ٥ المساحة التفصيلية

بعد استكمال عمليات المسح المبدئي واختيار المسار النهائي المفضل يشرع في عمليات المساحة التفصيلية اللازمة لتخطيط وتوقيع محور الطريق على الطبيعة. ويتم ذلك بوضع أوتاد خشبية ثابتة على مسافات متقاربة (في حدود ٣٠ متر) على محور الطريق. وتجرى عمليات مسح أرضي مكثفة وبأكبر دقة للحصول على جميع المعلومات اللازمة لعمل دراسة كاملة ومفصلة على المسار المقترح للطريق. وكذلك تعمل قطاعات عرضية متقاربة خاصة في مناطق المنحنيات والانحدارات وتحدد معابر المجاري المائية والوديان بتفصيل كامل وترسم خرائط التربة بدقة من واقع مسح شامل للموقع.

#### ١- ٥ الخرائط والمخططات اللازمة لإنشاء الطريق

- يتم تصميم الخرائط والمخططات اللازمة لتنفيذ المسار المعتمد بناء على جميع البيانات والمعطيات المتحصل عليها من خلال عمليات المسح الجوية والأرضية المفصلة وتشمل الآتي:
١. المفتاح: وهي خرائط طبوغرافية يوضح عليها مسار الطريق المقترح والطرق المقامة وكذلك المناطق المطلوب ربطها.
  ٢. خرائط المسح المبدئي: وهي خرائط يوضح عليها التفاصيل الخاصة بالمسارات البديلة وترسم بمقاييس من (١:١٠٠٠٠) إلى (١:٢٥٠٠).
  ٣. مساقط الطريق: وهي رسومات تحتوي على جميع التعليمات والتفاصيل التي ينشأ على أساسها الطريق وتشمل مايلي:
- أ. لوح المسقط الأفقي لمسار الطريق والحدود وجميع المنشآت المجاورة للمسار. وترسم بمقياس رسم من (١:٢٥٠٠) إلى (١:١٠٠٠).

- ب. لوح القطاع الطولي يوضح عليه التفاصيل الخاصة بمنسوب الأرض الطبيعية ومنسوب أساس الطريق وموقع المصارف العرضية. وتكون مقاييس رسم هذه المخططات من (١:٢٥٠٠) إلى (١:١٠٠٠).
- ت. لوح القطاعات العرضية بمقاييس من (١:٢٥٠٠) إلى (١:١٠٠٠)..
- ث. لوح القطاعات العرضية الخاصة بتفاصيل الحفر والردم. وتكون مقاييس هذه المخططات من (١:٢٥٠٠) إلى (١:١٠٠٠).
- ج. لوح تفصيلي لجميع المباني والمنشآت اللازمة لمشروع الطريق يكون بمقياس (١:١٠٠).
- ح. لوح تحديد مواقع مواد الإنشاء والحاجر والكسارات القريبة من المشروع ويكون بمقياس (١:٥٠٠٠).



## تقنيات الطرق

### أسس التصميم الهندسي للطرق

أسس التصميم الهندسي للطرق

٢

### الجدارة:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على أنواع ودرجات الطرق وعلى الأجزاء التي يتكون منها الطريق. كما يتعلم أسس التصميم الهندسي للطرق والعناصر اللازمة لذلك والعوامل المختلفة التي يتأثر بمقتضاها التصميم بالإضافة إلى المبادئ والخطوات المتبعة في التصميم الأفقي والتصميم الرأسي والتصميم العرضي للطريق.

### الأهداف:

عند الانتهاء من هذا الفصل يكون للطالب القدرة على:

- تصنيف الطرق حسب أهميتها وسعتها واستعمالاتها.
- معرفة الأجزاء والعناصر المختلفة التي يتكون منها الطريق.
- تحديد العوامل التي يتأثر بمقتضاها التصميم الهندسي للطريق.
- معرفة أسس وخطوات التصميم الهندسي للطرق.

### مستوى الأداء المطلوب:

إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ١٠٠٪

### الوقت المتوقع لإنهاء هذا الفصل:

١٢ ساعة

### متطلبات الجدارة:

اجتياز حقيبة المساحة ومعرفة ما سبق دراسته في الفصل الأول.

## الفصل الثاني؛

### أسس التصميم الهندسي للطرق

#### ٢- ١- مقدمة

يشمل التصميم الهندسي للطرق على التصميم الأفقي الذي يغطي كل التفاصيل الخاصة بالتخطيط الأفقي لمسار الطريق مثل طول المسار وزوايا ونقاط التقاطع وتصميم المنحنيات الأفقية وتحديد أنصاف أقطارها. ويشمل كذلك التصميم الرأسي الذي من خلاله يتم تحديد الانحدارات والمنحنيات الرأسية ومسافات الرؤية وجميع التفاصيل الخاصة بالقطع والردم. كما يحتوي على التصميم العرضي للطريق لتحديد عرض جسم الطريق وتصميم ميل السطح والميول الجانبية. ويجب أن يتماشى التصميم مع حجم المرور وسرعة المرور وتركيبه المرور وأن يؤدي إلى قيادة آمنة ومريحة.

#### ٢- ٢- أنواع الطرق

تشمل أنظمة الطرق أنواعا ودرجات متعددة من الطرق تختلف مسمياتها بحسب أهميتها وسعتها والأداء الذي تؤديه والغرض الذي أنشئت من أجله. وتتدرج مختلف أنواع الطرق من ذات السرعة العالية والحجم الكبير إلى الشوارع المحلية بالمناطق الخلية التي تحمل حركة مرور قليلة. وقد تختلف التسميات والمصطلحات المستعملة لتعريف أنواع الطرق من دولة إلى أخرى حسب الأنظمة المتبعة إلا أنه يمكن تلخيصها في أربعة أقسام رئيسة وهي:

- طرق سريعة؛
- طريق رئيسة؛
- شوارع التجمع؛
- شوارع محلية.

#### ٢- ٢- ١- الطرق السريعة

وهي طرق شريانية مخصصة لخدمة المرور الطولي العابر بين المدن المتوسطة والمدن الكبرى ويسمح فيها بسرعات عالية للعربات ويكون حجم المرور فيها مرتفعا جداً. وغالباً ما يمنع التقاطع السطحي مع هذا النوع من الطرق وكذلك الاتصال المباشر مع الممتلكات المجاورة. ويتم تحديد الدخول

والخروج من وإلى هذه الطرق من خلال نقاط محددة بحيث تدخل العربات تدريجياً دون أن تسبب أي خطر على السيارات المتواجدة.

## ٢- ٢- ٢ الطرق الرئيسية

وهي طرق شريانية سريعة تستخدم للمرور الطولي العابر بين المناطق المختلفة والمدن ويسمح فيها بالتقاطع السطحي وبالالاتصال المباشر مع الممتلكات المجاورة.

## ٢- ٢- ٣ شوارع التجمع

وتستعمل هذه الطرق لربط شبكات الطرق الرئيسية مع الشوارع المحلية.

## ٢- ٢- ٤ شوارع محلية

وهي طرق داخلية تستعمل أساساً لخدمة المرور المحلي وربط مواقع السكن أو الأعمال أو الممتلكات المجاورة.

وبالإضافة إلى هذه الأنواع الرئيسية الأربعة توجد تعريفات دقيقة لأنواع أخرى من الطرق مثل الطريق العابر والطريق الثانوي والطريق الفرعي وطريق الخدمة، وعلى وجه العموم فإنه من الممكن التعرف على أي نوع من أنواع الطرق من واقع الاسم المطلق عليه.

## ٢- ٣ قياس حجم المرور

يقاس حجم المرور على طريق ما بعدد المركبات التي تمر بنقطة أو محطة على الطريق خلال فترة زمنية محددة. ويعتبر من العوامل الأساسية التي يتوقف عليها التصميم الهندسي للطرق على أن يشمل حجم المرور الحالي والمتوقع مستقبلاً. ويختلف حجم المرور عن كثافة المرور التي هي عبارة عن عدد المركبات التي تسير على مسافة معينة من الطريق.

وكما يتغير حجم المرور من ساعة لأخرى، وعليه فيجب حساب حجم المرور على مدار السنة على أساس الحد الأدنى والحد الأقصى للمرور في كل ساعة من ساعات اليوم الواحد، ثم في كل يوم من أيام الأسبوع ومن هنا يتم تحديد الشهر الذي يصل فيه المرور إلى أعلاه أو أدناه. ويمكن التعبير عن حجم المرور بحجم المرور اليومي المتوسط وحجم المرور الساعي التصميمي.



## ٢- ٣- ١ حساب حجم المرور اليومي المتوسط

وهو عبارة عن المعدل السنوي اليومي للمرور ويعد من المؤشرات الرئيسية لتحديد حجم المرور على الطريق. ويحسب حجم المرور اليومي المتوسط كالتالي:

$$\text{حجم المرور اليومي المتوسط} = \text{حجم المرور السنوي} \div ٣٦٥$$

وكما هو متوقع فإن حجم المرور يتغير تبعاً لكل ساعة من ساعات اليوم، وبين يوم وآخر من أيام الأسبوع ولكل شهر من أشهر السنة. وكذلك فإن خصائص حجم المرور تتغير هي الأخرى، فنوع ونسبة المركبات يعتمدان على الوقت من اليوم والاتجاه والمنطقة. ولذلك فإنه من المهم جداً تحديد نسبة تدفق المرور لكل اتجاه خلال ساعة الذروة، وهي مهمة عند تصميم سعة الطريق. والمثال المدرج في الجدول (١،٢) يوضح الفرق بين حجم المرور ونسبة تدفق المرور لمدة ساعة من الدراسة لطريق معين:

جدول (١،٢) مثال يوضح الفرق بين حجم المرور ونسبة تدفق المرور لمدة ساعة.

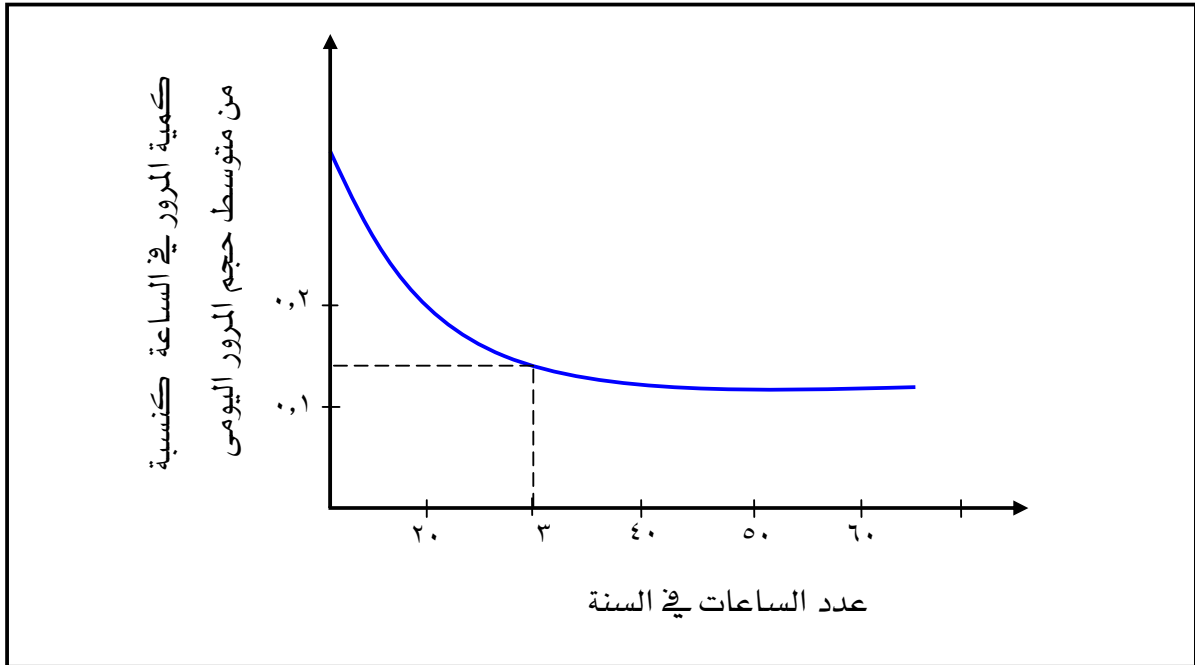
التوقيت	عدد العربات المارة	نسبة تدفق المرور (عربة/الساعة)
٧,١٥ - ٧,٠٠	١٠٠٠	٤٠٠٠
٧,٣٠ - ٧,١٥	١١٠٠	٤٤٠٠
٧,٤٥ - ٧,٣٠	١٠٠٠	٤٠٠٠
٨,٠٠ - ٧,٤٥	٩٠٠	٣٦٠٠
المجموع	٤٠٠٠	

فمن خلال البيانات المدرجة في الجدول أعلاه نلاحظ أن نسبة تدفق المرور القصوى قد وصلت إلى ٤٤٠٠ عربة في الساعة في فترة الذروة (ما بين ٧,١٥ و ٧,٣٠) رغم أنه لم يمر على الطريق سوى ٤٠٠٠ عربة خلال الساعة الكاملة.

من هنا يتضح أن التصميم على أساس حجم المرور اليومي المتوسط دون الأخذ في الاعتبار فترات الذروة قد يؤدي إلى الاختناق في المرور عند ساعات الذروة. كما أن تصميم أي الطريق بحيث لا يكون مزدحماً على الإطلاق لن يكون اقتصادياً وعليه فإنه يجب اختيار حجم المرور التصميمي بعد دراسة مفصلة ودقيقة.

### ٢- ٣- ٢ حساب حجم المرور الساعي التصميمي

يتم تحديد حجم المرور الساعي التصميمي بعمل منحنيات بين عدد الساعات التي تتساوى فيها كمية المرور كمحور أفقي وحجم المرور كنسبة مئوية من متوسط المرور اليومي كمحور رأسي كما هو موضح على الشكل (١,٢) ويؤخذ حجم المرور المناظر للساعة ٣٠ كقيمة تصميمية.



شكل (١,٢) تحديد ٣٠ أعلى حجم ساعي.

### ٢- ٣- ٣ حساب حجم المرور المستقبلي

إن حجم المرور يزداد يوماً بعد يوم مع زيادة العمران والسكان وعليه فإنه يجب مراعاة الزيادة المستقبلية في كمية المرور عند تصميم قطاع الطريق والأخذ في الاعتبار مايلي:

١. حجم المرور الحالي على الطريق؛

٢. الزيادة الطبيعية في عدد المركبات الناتجة عن الزيادة في عدد السكان والتطورات الاقتصادية والسياحية والزراعية والصناعية للمنطقة؛

٣. حجم المرور الناتج عن إنشاء الطريق.

وتعتبر عشر سنوات فترة زمنية مقبولة عند تقدير كمية المرور اللازمة للتصميم. ويحسب حجم المرور التصميمي من العلاقة التالية:

$$V_D = V_n (1 + e)^n$$

حيث:

$V_D$ : حجم المرور اليومي التصميمي

$V_n$ : حجم المرور الحالي

$e$ : معدل الزيادة السنوي في حجم المرور

$n$ : عدد السنوات

مثال:

إذا كان حجم المرور الحالي لطريق محلي ١٥٠٠٠ عربة، فما هو حجم المرور اليومي التصميمي بعد عشرة سنوات مع العلم أن معدل الزيادة السنوية في حجم المرور ٣٪.

الحل:

$$V_D = V_n (1 + e)^n$$

$V_n$ : حجم المرور الحالي = 15000 عربة

معدل الزيادة السنوية في حجم المرور  $(e) = 3\%$

عدد السنوات  $(n) = 10$  سنوات

$$V_D = V_n (1 + e)^n = 15000 \times (1 + 0.03)^{10} = 20159$$

حجم المرور اليومي التصميمي  $(V_D) = 20159$  عربة

## ٢- ٤- سعة الطريق

تعرف السعة للطريق على أنها العدد الأقصى من المركبات التي لها توقع معقول بالمرور على الطريق خلال فترة زمنية معطاة وتحت الظروف السائدة للطريق والمرور. وتتوقف سعة الطريق على حجم وتركيبه المرور وعلى سرعة السير والتداخلات التي تتعرض لها حركة المرور. وتعتبر السعة من العناصر الأساسية التي تؤخذ في الاعتبار عند تصميم القطاع العرضي للطريق لاستيعاب حجم المرور التصميمي المتوقع على الطريق. والجدول (٢,٢) يبين قيم السعة لبعض أنواع الطرق حسب مواصفات هيئة آشتو الأمريكية (AASHTO).

وتتأثر السعة بعدة عوامل منها:

- التخطيط الأفقي والرأسي: حيث تتسبب المنحنيات الأفقية الحادة والمنحنيات الرأسية القصيرة في تقليل سرعة الطريق وذلك يؤدي إلى تخفيض السعة.
  - عرض الحارة: تتسبب الحارات والأكتاف الضيقة والعوائق على حافتي الطريق في تخفيض سعة الطريق.
  - مركبات النقل: تقلل مركبات النقل من سعة الطريق وذلك بسبب تأثيرها على حركة المرور.
- جدول (٢,٢) سعة الطريق حسب مواصفات هيئة آشتو الأمريكية (AASHTO).

السعة (سيارة خاصة / الساعة)	نوع الطريق
٢٠٠٠ (لكل حارة)	طريق سريع
٣٠٠٠ (الإجمالي في الاتجاهين)	طريق بحارتين
٤٠٠٠ (الإجمالي في الاتجاهين)	طريق ذو ثلاث حارات

## ٢- ٥- تركيب المرور

المقصود بتركيب المرور هو تحديد نسبة عربات النقل والحافلات بالنسبة لحجم المرور الساعي التصميمي.

## ٢-٦ عربات التصميم

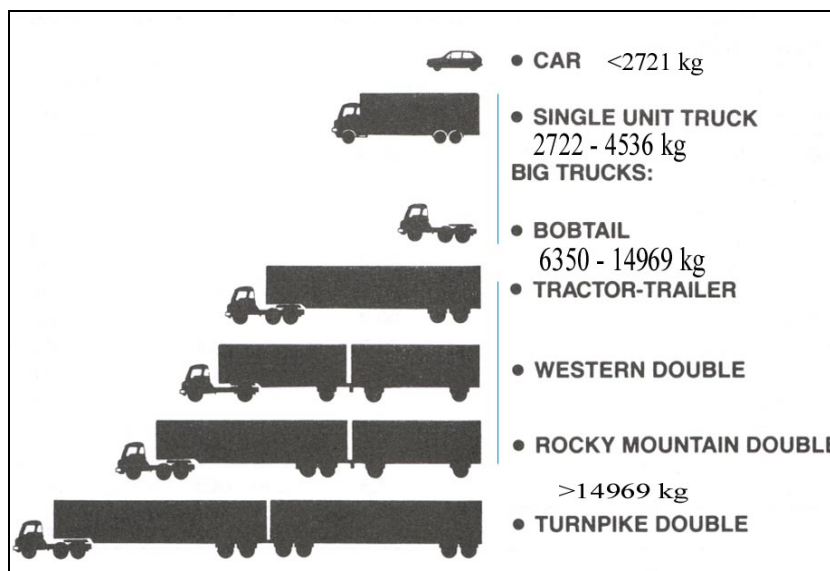
هناك عدة أنواع من المركبات منها السيارات الخاصة وحافلات النقل والشاحنات الصغيرة والشاحنات الكبيرة وتختلف هذه المركبات عن بعضها بأبعادها وأحجامها وأوزانها. وتسير جميع هذه الأنواع من المركبات تقريبا على كل الطرق، وعليه يلزم معرفة خصائصها لكي تأخذ في الاعتبار أثناء تصميم الأجزاء المختلفة لقطاع للطريق. ومن الطبيعي أن يتم التركيز على خصائص المركبات الأكثر استخداما للطريق عند التصميم لأنها تشكل النسبة الأكبر من حجم المرور. وتشمل هذه الخصائص:

- الطول الكلي للمركبة؛
- العرض الكلي للمركبة؛
- ارتفاع المركبة؛
- وزن المركبة؛
- قدرة المركبة؛
- البعد بين العجل الأمامي والخلفي للمركبة؛
- البعد بين مقدمة المركبة والعجل الأمامي؛
- البعد بين مؤخرة المركبة والعجل الخلفي.

ومن الطبيعي أن يتم التركيز على خصائص المركبات الأكثر استخداما للطريق عند التصميم لأنها تشكل النسبة الأكبر من حجم المرور. وقد بينت الدراسات أن للشاحنات تأثيراً كبيراً على رصف الطريق ويزداد تأثيرها كلما زاد ثقلها. ومن هنا كان لا بد من التعمق في دراسة أنواع مركبات النقل من حيث أبعادها وعدد محاورها ومدى تأثيرها على الرصف. ويعطي الجدول (٢,٣) الأبعاد الرئيسية للعربات الخاصة ومركبات النقل حسب مواصفات آشتو والشكل (٢,٢) يبين الأحمال الواقعة على محاورها.

جدول (٢,٣) الأبعاد الرئيسية للمركبات حسب مواصفات هيئة آشتو (AASHTO).

عربة نقل تجارية (بمقطورة)	عربة نقل مسافرين	عربة خاصة	البعد
16.7	12.1	5.8	الطول الكلي (متر)
2.6	2.6	2.1	العرض الكلي (متر)
4.1	4.1	1.3	الارتفاع (متر)
6.1	7.6	3.4	البعد بين العجل الأمامي والخلفي (متر)
0.9	1.2	0.9	البعد بين مقدمة العربة والعجل الأمامي (م)
0.6	1.8	1.5	البعد بين مؤخرة العربة والعجل الخلفي (م)



شكل (٢,٢) أنواع المركبات والأحمال الواقعة على محاورها.

## ٢-٧ السرعة التصميمية

تعرف السرعة التصميمية على أنها السرعة القصوى الآمنة التي يمكن المحافظة عليها فوق قطاع معين من طريق ما عندما تكون الظروف ملائمة لدرجة تسمح للظواهر التصميمية للطريق بالتحكم.

وهناك فرق بين سرعة التصميم والسرعة الحقيقية التي يجب أن تسير عليها المركبات وهي أقل من الأولى بسبب الازدحام والظروف المحيطة بالطريق.

ويعد اختيار السرعة التصميمية أمراً بالغ الأهمية لارتباطه بسعة الطريق وأنصاف أقطار المنحنيات الأفقية وحدة الانحدارات ومسافة الرؤية وغيرها من العناصر التصميمية للطريق. فكلما زادت سرعة التصميم كلما كان الطريق مهيباً لاستيعاب أعداد كبيرة من المركبات وكانت منحنياته واسعة وانحداراته غير حادة وزادت فيه مسافة الرؤية.

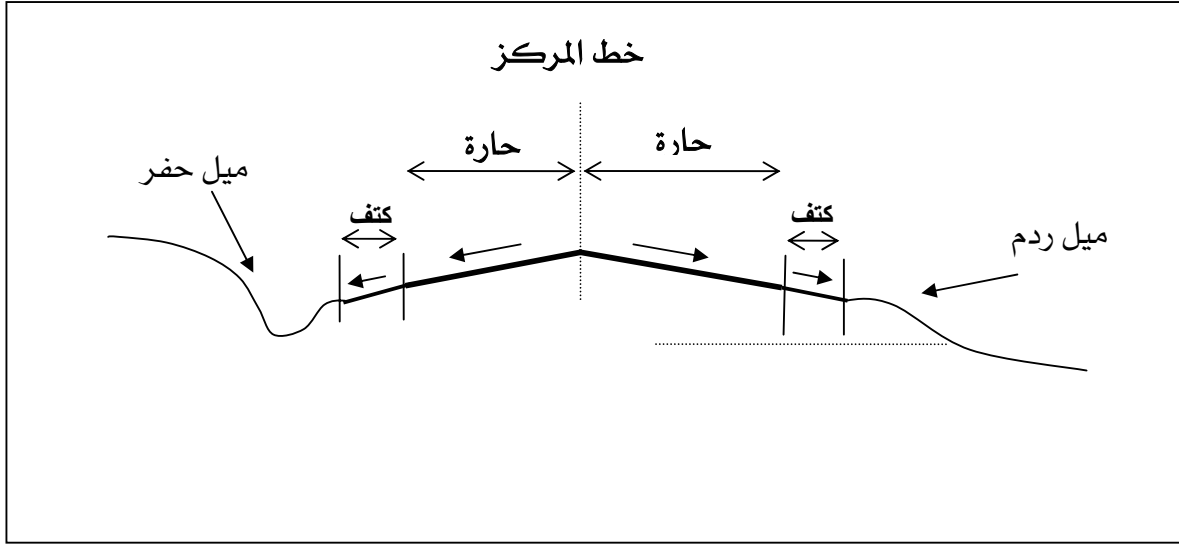
ويتوقف اختيار السرعة التصميمية على عدة عوامل أهمها:

- طوبوغرافية المنطقة؛
- حجم المرور؛
- تركيبة المرور؛
- تضاريس المنطقة.

وتتراوح السرعة التصميمية من ٣٠ إلى ١٢٠ كم/الساعة وقد تتغير على نفس الطريق بسبب التغير في الملامح الطبيعية للطريق، إلا أنه ينصح بتجنب التغييرات المفاجئة في السرعة التصميمية على امتداد أي طريق وبصفة خاصة على الطرق السريعة.

## ٢- ٨ قطاع الطريق

ويتوقف التصميم الهندسي للعناصر المختلفة لقطاع الطريق على أهمية الطريق ومدى الاستفادة من هذا الطريق. فالطرق التي يمر عليها عدد كبير من العربات وبسرعات عالية تتطلب مواصفات تختلف عن تلك التي تتطلبها الطرق التي يمر عليها عدد قليل من المركبات وبسرعات منخفضة. وتشمل هذه المواصفات على عدد وعرض الحارات، حدة الانحدارات الطولية، درجة المنحنيات الأفقية، عرض الأكتاف وغيرها. فالطرق الرئيسية مثلاً تصمم لاستقطاب أحجام عالية من المرور بسرعات عالية فتتطلب إلى عدد كبير من الحارات العريضة وانحدارات طولية صغيرة ومنحنيات منبسطة ذات أنصاف أقطار كبيرة نسبياً. يوضح الشكل (٢,٣) نموذج من مقطع عرضي لطريق بحارتين.



شكل (٢,٣) نموذج من مقطع عرضي لطريق بحارتين.

## ٢-٩ حارة الطريق

الحارة هي الجزء المرصوف من الطريق والمخصص لسيير صف واحد من العربات. ولها دوراً أساسياً في تسهيل القيادة وجعلها آمنة حيث يعتمد الموقف الذي يختاره السائق عند اجتيازه العربات الأقل سرعة منه أو عند مقابلته للعربات القادمة في اتجاهه على العرض المخصص للحارة التي يسير عليها. ويتوقف تصميم عرض الحارة على أهمية الطريق وعلى السرعة التصميمية وحتى تكون القيادة سهلة وآمنة فإن المواصفات العالمية تنص على أن لا يقل العرض التصميمي للحارة عن ٣ أمتار في الطرق المحلية ولا يقل عرض الحارة عن ٣,٧٥ متراً في الطرق الرئيسية.

وتتقسم الطرق من حيث عدد الحارات إلى عدة أقسام، فهناك طرق بحارة واحدة كالطرق القروية التي تستوعب عدداً محدداً من المركبات فلا تحتاج لأكثر من حارة واحدة. وهناك طرق بحارتين واحدة للذهاب والأخرى للإياب وهي تشكل أغلب أنواع الطرق وتتطلب مسافة رؤية واضحة تمكن السائق من التجاوز بأمان. وهناك طرق بأكثر من حارتين (ثلاث أو أربعة حارات) تستخدم في حالة السير المكثف والسرعات العالية للعربات.

## ٢-١٠ سطح الطريق

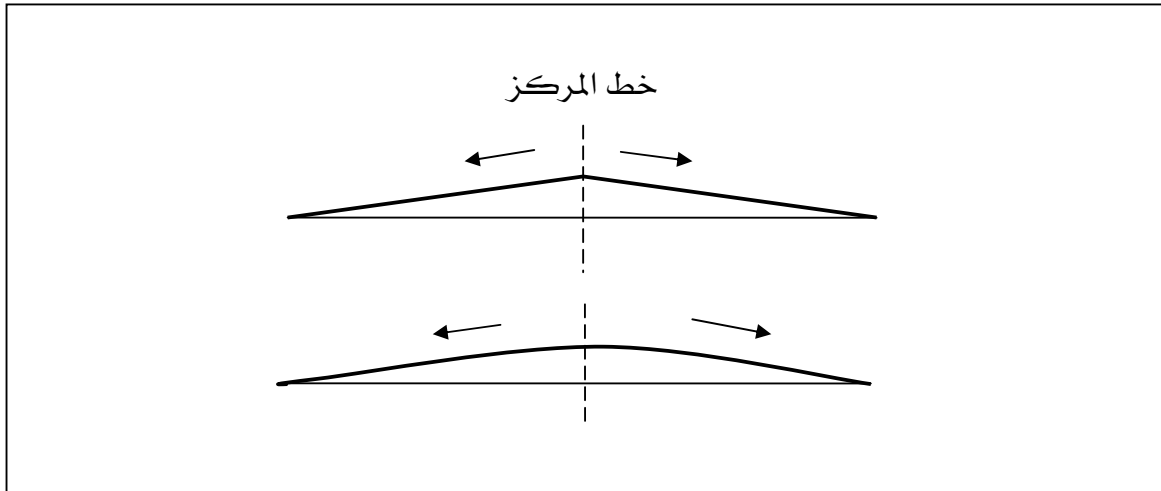
تتوقف طبيعة السطح المرصوف على نوع وأهمية الطريق وتركيبية المرور ونوعية مواد الرصف المستعملة وخبرة شركات الرصف وتكلفة الإنشاء وصيانة الطريق. وتؤثر حالة السطح على سلامة المرور من حيث انزلاق العربات ورؤية السائقين كما تؤثر على راحة المسافرين من حيث الصوت الذي تحدثه



العربات عند السير عليها. فالطرق المصممة لأحجام كبيرة من المرور السريع تتطلب سطوح ناعمة مع خاصية منع الانزلاق، إلا أن السطوح الناعمة جداً قد تتسبب في انزلاق السيارات ووقوع حوادث خاصة عندما تكون هذه السطوح مبتلة. وأما السطوح الخشنة فهي غالباً ما تخصص للمرور الأقل حجماً والبطيء نسبياً وتولد أصوات قد تكون مزعجة في بعض الأحيان. ويفضل أن تكون الميول العرضية للقطاع عند حدها الأدنى في حالة السطوح الناعمة، أما في حالة السطوح الخشنة فيجب أن تكون هذه الميول عند حدها الأقصى لضمان صرف مياه الأمطار.

## ٢- ١٠- ١- الميول العرضية

يتم عمل ميول عرضية لسطح الطريق من الجهتين لخط محور الطريق وذلك لتصريف مياه الأمطار. وتتوقف قيم الميول العرضية على نوع الرصف، فيستعمل الميل البالغ ٢٪ للطرق المعبدة والميل البالغ ٣٪ للطرق الغير معبدة مع الملاحظة أن الأكتاف تميل بنسبة أكبر من الحارات. ويأخذ سطح الطريق عدة أشكال وعدة حالات من الميول، فهناك الميول المنتظمة وهناك الميول المنحنية على شكل مكافئ كما هو موضح في الشكل (٤،٢).



شكل (٤،٢) أنواع الميول العرضية.

## ٢- ١٠- ٢ الأكتاف

وهي الأجزاء الجانبية من الطريق الواقعة بين الحافة الخارجية لحارة السير والحافة الداخلية لقناة صرف المياه. وغالبا ما يتم إنشاؤها من مواد إسفلتية أقل جودة من تلك التي تستعمل في رصف حارات المرور. وتزود الطرق بهذه الأكتاف لإيواء العربات التي تتوقف بسبب العطل أو في حالات الطوارئ. كما أنها تزيد من سعة الطريق وتشعر السائق بالأمان خصوصاً عند السرعات العالية، وتزيد من مسافة الرؤية الأفقية وتساعد على تصريف المياه من سطح الطريق وتستخدم لتوسيع الطريق في المستقبل.

ويختلف عرض كتف الطريق بحسب نوع وأهمية الطريق، فكلما كان مستوى الطريق عاليا كلما زاد عرض الكتف. وفي حالة الطرق السريعة يوصى بعمل أكتاف تتراوح عرضها بين ١,٢٥ متر كحد أدنى و٣,٦٠ متر كحد أقصى. ويجب أن تزود هذه الأكتاف بميول عرضية كافية لصرف المياه وتكون أكثر حدة من ميول حارات المرور وتتراوح ما بين ٢٪ و ٥٪.

## ٢- ١٠- ٣ الميول الجانبية

وهي الميول الخاصة بانحدار جانبي الطريق سواء الجسور أو القطوع منها. ويتم تصميمها كآخر مرحلة من مراحل تصميم مقطع جسم الطريق ويفضل أن تكون منبسطة قدر المكان لضمان الأمان والاستقرار للمركبة في حالة خروجها عن الطريق وعبورها على الميل. وكلما كانت الميول الجانبية مناسبة لطبيعة التربة كلما كان الطريق أكثر استقرارا وثباتا.

ويفضل أن تؤخذ الميول التالية:

- ١:٦ لجسور الردم ذات الارتفاع الأقل من ١ متر؛
- ١:٤ لأعمال الردم ذات الارتفاع التي تكون من ١ إلى ٣ أمتار؛
- ١:٣ لأعمال الردم ذات الارتفاع التي تصل إلى ٦ أمتار؛
- ١:٢ لأعمال الردم ذات الارتفاع التي تتعدى ٦ أمتار؛
- ١:٢ لأعمال الحفر الأقل من ٣ أمتار.

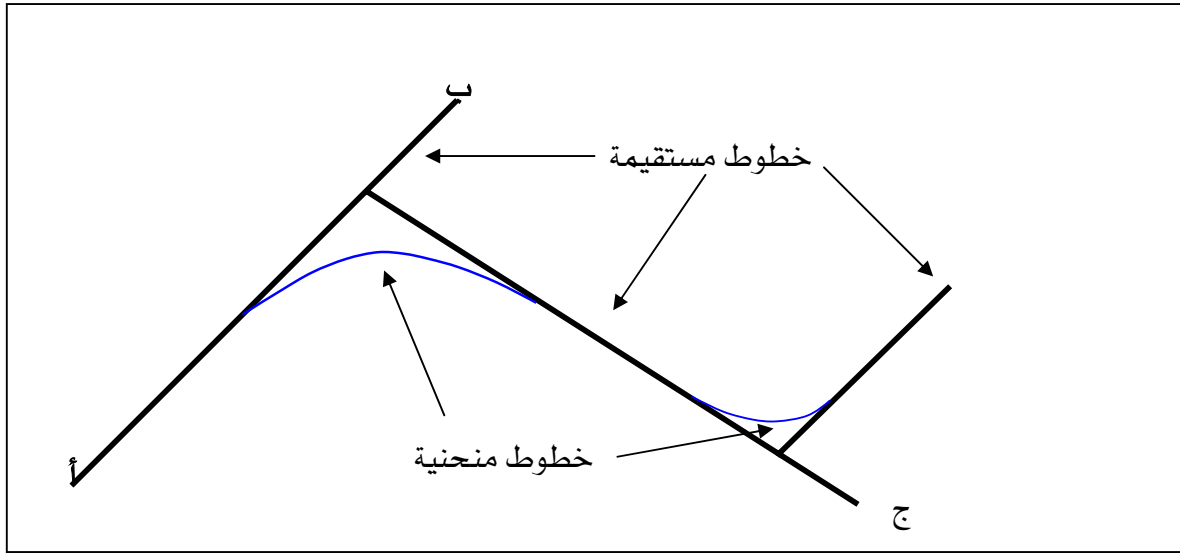
## ٢- ١١- التخطيط الأفقي

يشمل مسار الطريق في المسقط الأفقي سلسلة متتالية من الخطوط المستقيمة يطلق عليها مماسات مربوطة ببعضها بواسطة منحنيات دائرية. وتتحصر أعمال التخطيط الأفقي في تصميم الأجزاء المستقيمة والأجزاء الدائرية المكونة للطريق، وذلك بحساب أطوال أضلاع المسارات وتحديد زوايا انحرافها ونقاط تقاطعها وتصميم المنحنيات الأفقية وتحديد أطوالها وحساب أنصاف أقطارها وميولها.

ومن أهم العوامل التي تؤثر في التخطيط الأفقي هي السرعة التصميمية والمنحنيات الأفقية. وللحد من أخطار القيادة ولتوفير أكثر راحة للسائق يجب أن يكون التخطيط منتظما بحيث يتجنب الانتقال المفاجئ من الأجزاء المستقيمة إلى المنحنيات الحادة أو الانتقال المفاجئ من المنحنيات المنبسطة إلى المنحنيات الحادة وتجنب المنحنيات المعكوسة.

### ٢- ١١- ١- تخطيط المنحنيات الأفقية

في الكثير من الأحيان يواجه المصمم للطرق مهمة وصل الخطوط المستقيمة والمتقاطعة لمسار الطرق بمنحنيات غايتها تفادي التغيير المفاجئ في الاتجاه وتسهيل الانتقال التدريجي بين هذه الخطوط المتقاطعة. وتأخذ المنحنيات الأفقية أشكال أقواس دائرية أو حلزونية تربط بين الاتجاهين المستقيمين والمختلفين كما هو موضح في الشكل (٥،٢) والشكل (٦،٢)، وحتى لا تنتقل العربة من الاتجاه الأول (أب) إلى الاتجاه الثاني (بج) بشكل فجائي، فإن ذلك يحتاج إلى الانتقال التدريجي من خلال خط منحنى يربط الاتجاهين.



شكل (٥,٢) ربط خطوط مستقيمة بأقواس دائرية.



شكل (٦,٢) نموذج عن منحنيات أفقية.

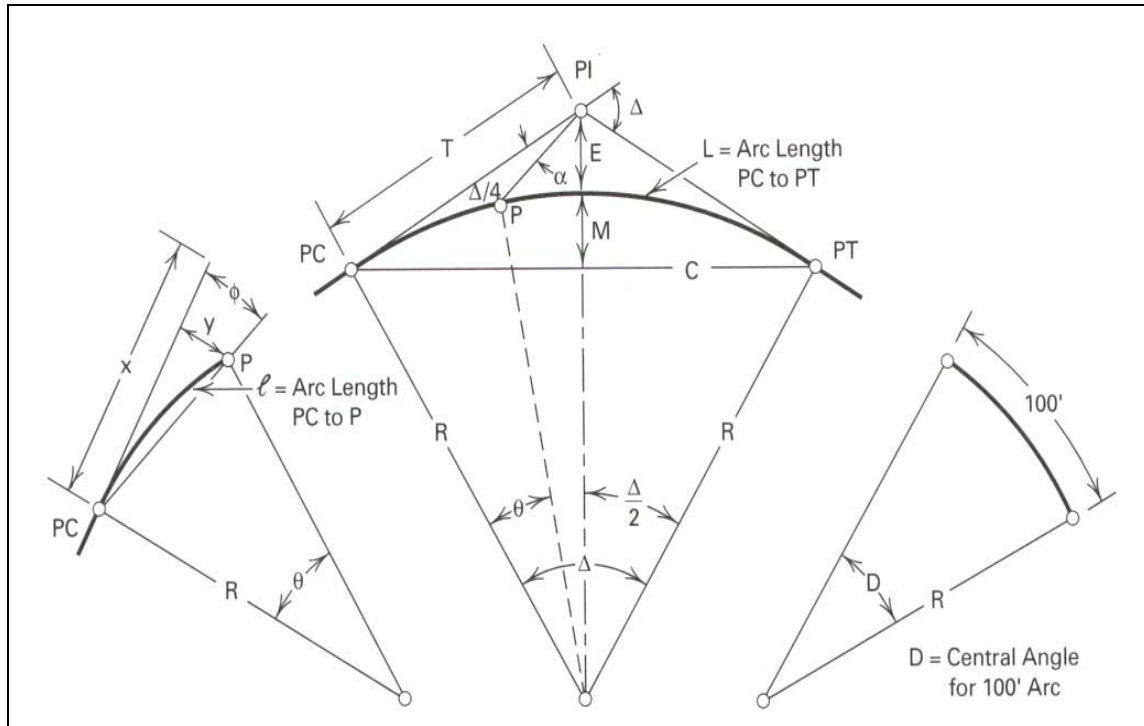
ويمكن تقسيم المنحنيات الأفقية إلى:

- منحنيات دائرية بسيطة مكونة من قوس دائري واحد يربط الخطين المستقيمين.
  - منحنيات دائرية مركبة: حيث يتم ربط الخطين المستقيمين بأكثر من قوس دائري.
  - منحنيات دائرية عكسية: حيث يتم ربط الخطين المستقيمين بعدة أقوس ليست في جهة واحدة.
- وهناك عدة عوامل تؤثر في تخطيط المنحنيات الأفقية أهمها: طبوغرافية المنطقة، النقاط الحاكمة، وجود عوائق على المسار وكذلك العوامل الاقتصادية.

وعند التصميم يجب الأخذ في الاعتبار العلاقة بين السرعة التصميمية، نصف قطر المنحنى وقوة الطرد المركزية. وفي حالة التصميم لسرعات العالية يفضل أن تكون المنحنيات طويلة ومنبسطة ذات أنصاف أقطار كبيرة لتفادي قوى الطرد المركزية العالية. كما يفضل استخدام منحنيات انتقالية لربط الأجزاء المستقيمة من الطريق بالأجزاء الدائرية لضمان الانتقال التدريجي بينها.

## ٢- ١١- ٢ تصميم المنحنيات الدائرية

يوضح الشكل (٧،٢) العناصر اللازمة لتصميم وتوقيع المنحنيات الدائرية:



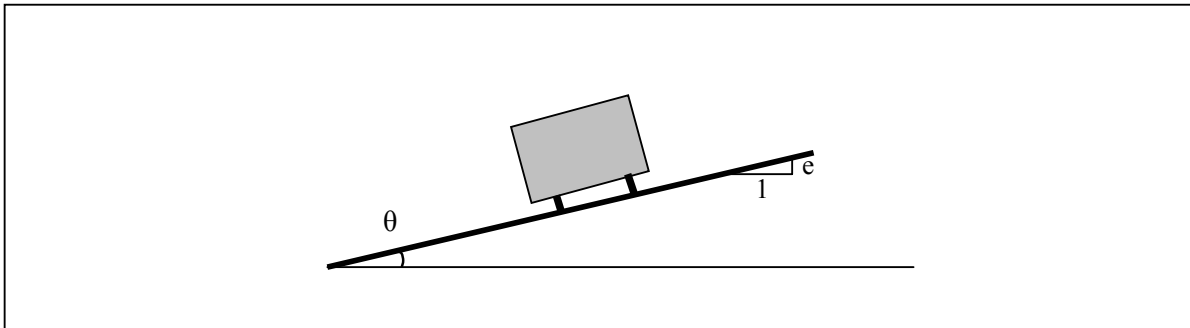
شكل (٧،٢) عناصر المنحنى الدائري.

وتستخدم المعادلات التالية لتصميم المنحنيات الدائرية:

عناصر المنحنيات الدائرية	معادلات المنحنيات الدائرية
PI = Point of intersection PC = Point of curvature (Beginning of curvature) PT = Point tangency (End of curvature) $\Delta$ = Central angle L = Length of curvature (PC to PT) l = length of arc (PC to P) $\theta$ = Central angle for arc length l T = Tangent length (PC to PI and PT to PI) $\phi$ = Deflection angle $\alpha$ = Deflection angle at PI between tangent and line from PI to P x = Tangent distance from PC to P y = Tangent offset P D = Degree of curvature R = Radius of curvature E = External distance M = Middle ordinate C = Chord length	$D = \frac{5729.58}{R} \quad L = \frac{2\pi R \Delta}{360}$ $l = \frac{100\theta}{D} \quad T = R \tan \frac{\Delta}{2}$ $E = R \left( \sec \frac{\Delta}{2} - 1 \right) \quad M = R \left( 1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right)$ $C = 2R \sin \frac{\Delta}{2} \quad \phi = \frac{\theta}{2} = \frac{LD}{200}$ <p>For any tangent distance x:</p> $y = R - [R^2 - x^2]^{1/2}$ <p>For any arc length:</p> $x = R \sin \theta$ $y = R(1 - \cos \theta)$

### ٢- ١١- ٣ ارتفاع ظهر المنحنى

تتعرض المركبة عند مرورها على المنحنيات الأفقية إلى قوى طرد مركزية تؤثر عند مركز ثقلها وتولد عزم انقلاب يحاول دفعها إلى خارج الطريق. وقد يؤدي هذا العزم إلى قلب المركبة إذا تعدى عزم الثبات الناتج من وزن المركبة. ولمقاومة عزم الانقلاب يتم رفع الحافة الخارجية للطريق عن الحافة الداخلية بمعدل يسمح باستقرار المركبة وهو ما يعرف بارتفاع ظهر المنحنى كما هو مبين في الشكل (٥،٢).



شكل (٨،٢) ارتفاع ظهر المنحنى.

ويتم حساب معدل ارتفاع ظهر المنحنى من خلال العلاقة التالية:

$$e - f = \frac{V^2}{127 R} = \tan \theta$$

حيث:

$e$ : معدل ارتفاع ظهر المنحنى؛

$V$ : السرعة التصميمية (كم/الساعة)؛

$R$ : نصف قطر المنحنى (متر)؛

$f$ : معامل الاحتكاك الجانبي للطريق؛

$\theta$ : زاوية ميل الرصف.

وتؤخذ قيم  $f$  من الجدول (٤,٢) بناء على مواصفات هيئة آشتو (AASHTO).

جدول (٤,٢) قيم  $f$  التصميمية حسب مواصفات آشتو.

قيم $f$	السرعة التصميمية (كم/ساعة)
٠,١٧	٣٠
٠,١٧	٤٠
٠,١٦	٥٠
٠,١٥	٦٠
٠,١٤	٧٠
٠,١٤	٨٠
٠,١٣	٩٠
٠,١٢	١٠٠
٠,١١	١١٠
٠,٠٩	١٢٠

مثال:

إذا كان نصف قطر منحنى دائري ١٠٠ متر والسرعة التصميمية للطريق ٨٠ كم/الساعة، أوجد معدل إرتفاع ظهر المنحنى.

الحل:

معدل ارتفاع ظهر المنحنى:

$$V = 80 \text{ كم/الساعة}$$

$$R = 100 \text{ متر}$$

$$f = 0.14$$

$$e = \frac{V^2}{127 R} - f$$

$$e = \frac{80^2}{127 \times 100} - 0.14 = 0.364$$

معدل ارتفاع ظهر المنحنى = ٠,٣٦٤ أي ١ لكل ٢٧,٤٧

ويحسب معدل ارتفاع ظهر المنحنى من الناحية العملية على أساس ٧٥٪ من السرعة التصميمية بحيث لا يتعدى (1/15) مع إهمال الاحتكاك الجانبي. ويتم ذلك بإتباع الخطوات التالية:

١. يتم حساب معدل ارتفاع الظهر عند ٧٥٪ من السرعة التصميمية مع إهمال الاحتكاك الجانبي:

$$e = \frac{(0.75 V)^2}{127 R}$$

٢. إذا كانت قيمة e أقل من (1/15) فتؤخذ القيمة المتحصل عليها في الخطوة الأولى.

٣. إذا كانت قيمة e أكبر من (1/15) فيفترض أنها تساوي (1/15) وتراجع قيمة معامل الاحتكاك الجانبي f حسب السرعة التصميمية أي:

$$f = \frac{V^2}{127 R} - e$$

٤. إذا كانت قيمة f أقل من (0.15) فإن معدل ارتفاع ظهر المنحنى مناسب.



٥. إذا كانت قيمة  $f$  أكبر من (٠,١٥) فيجب مراجعة السرعة المسموح بها ( $V_a$ ) بتطبيق المعادلة:

$$e + f = \frac{1}{15} + 0.15 = \frac{V_a^2}{127 R}$$

٦. إذا كانت السرعة المسموح بها أكبر من السرعة التصميمية تؤخذ قيمة  $e$  تساوي (1/15).

٧. إذا كانت السرعة المسموح بها أقل من السرعة التصميمية فيجب مراجعة تخطيط المنحنى باختيار نصف قطر أكبر.

مثال:

إذا كان نصف قطر منحنى يساوي ٥٠٠ متر والسرعة التصميمية تساوي ١٠٠ كم/الساعة،  
أحسب معدل ارتفاع ظهر هذا المنحنى.

الحل:

$$e = \frac{(0.75 V)^2}{127 R}$$

$$e = \frac{(0.75 \times 100)^2}{127 \times 500} = 0.0885$$

وبما أن هذه القيمة أكبر من (1/15) فنفترض  $e$  تساوي (1/15) ويجب التحقق من قيمة معامل الاحتكاك الجانبي  $f$ :

$$f = \frac{V^2}{127 R} - \frac{1}{15} = \frac{100^2}{127 \cdot 500} - 0.067 = 0.09$$

وبما أن قيمة  $f$  أقل من ٠,١٥ فإن التصميم ملائم بمعدل رفع ظهر المنحنى = (1/15).

مثال:

أحسب أقصى سرعة يسمح بها للسير على منحنى في حالة التقييد بالمعدل الأقصى لارتفاع الظهر  
علما أن نصف قطر المنحنى يساوي ٢٠٠ متر والسرعة التصميمية تساوي ١٠٠ كم/الساعة.

الحل:

$$e + f = \frac{1}{15} + 0.15 = \frac{V_a^2}{127 R}$$

$$\frac{V_a^2}{127 R} = 0.217$$

$$V_a^2 = 0.217 \times 127 \times R$$

$$V_a^2 = (0.217) \times (127) \times (200) = 2755.9$$

$$V_a = 52.5 \text{ km / h}$$

٢- ١١- ٤ حساب نصف قطر المنحنى الدائري

عادة ما تعرف درجة حدة المنحنى الدائري بنصف قطره. ويحسب الحد الأدنى المطلق لنصف القطر المسموح به على أساس السرعة التصميمية باستخدام العلاقة التالية:

$$e + f = \frac{1}{15} + 0.15 = \frac{V^2}{127 R}$$

$$R = \frac{V^2}{27.5}$$

ويحسب نصف القطر الحاكم الذي يفضل أن يكون أكبر من الحد الأدنى المطلق باستخدام العلاقات التالية:

• في حالة طرق بالمناطق المسطحة:

$$R_{rolling} = \frac{(V + 16)^2}{27.5}$$

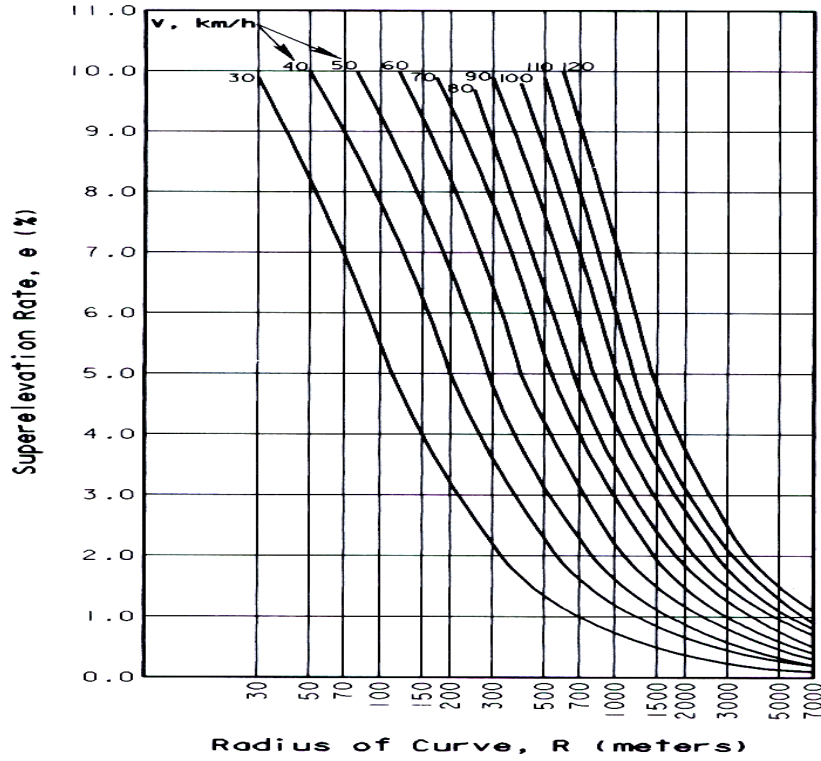
• في حالة طرق بالمناطق الجبلية:

$$R_{rolling} = \frac{(V + 8)^2}{27.5}$$

وقد أعطت جمعية آشتو الأمريكية جداول ومنحنيات تصميمية تستخدم لحساب أنصاف أقطار المنحنيات الأفقية الدائرية حسب السرعات التصميمية ومعدلات ارتفاع ظهر المنحنى، كما هو مبين في الجدول (٥,٢).

جدول (٥,٢) الحد الأدنى المطلق لنصف القطر حسب مواصفات آشتو الأمريكية.

R (m)				f	v (km/h)
e = 0.10	e = 0.08	e = 0.06	e = 0.04		
25	30	30	35	0.17	30
45	50	50	60	0.17	40
75	80	90	100	0.16	50
115	125	135	150	0.15	60
160	175	195	215	0.14	70
210	230	250	280	0.14	80
275	305	335	375	0.13	90
360	395	435	490	0.12	100
455	500	560	635	0.11	110
595	665	755	870	0.09	120



شكل (٩،٢) تصميم نصف قطر المنحنى ومعدل ارتفاع ظهر المنحنى كما توصي به هيئة آشتو.

مثال:

ليكن منحنى على طريق بمنطقة مسطحة. أوجد نصف قطره الأدنى المطلق والحاكم علماً أن السرعة التصميمية للطريق تساوي ١١٠ كم/الساعة.

الحل:

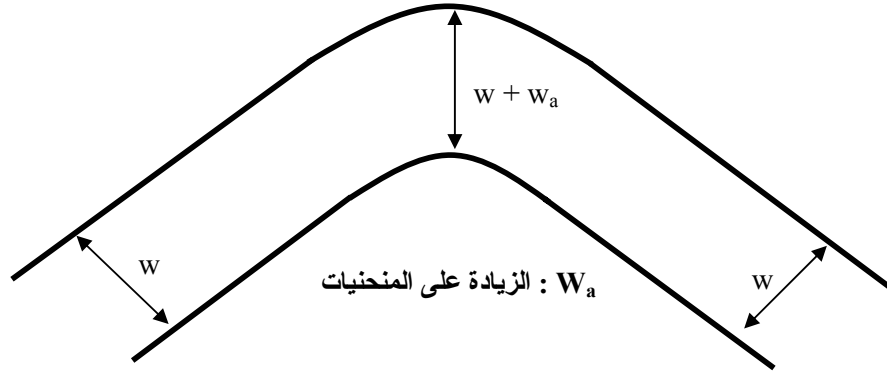
$$R = \frac{V^2}{27.5} = \frac{110^2}{27.5} = 440 \text{ m}$$

$$R_{\text{rolling}} = \frac{(V + 16)^2}{27.5} = \frac{(110 + 16)^2}{27.5} = 577 \text{ m}$$

٢- ١١- ٥ توسيع المنحنيات

من المناسب توفير زيادة الرصف عند المنحنيات كما هو مبين في الشكل (١٠،٢) حتى يهيئ ظروف قيادة مشابهة للطريق المستقيم ويضمن ثبات واستقرار المركبات على المنحنى ويسهل إمكانية التجاوز

بأمان. والجدول (٦,٢) يعطي بعض القيم الإرشادية للزيادة في توسيع المنحنيات، وكما هو مبين فكلما كان المنحنى حادا كلما كانت الزيادة معتبرة.



شكل (١٠,٢) زيادة الرصف على المنحنيات

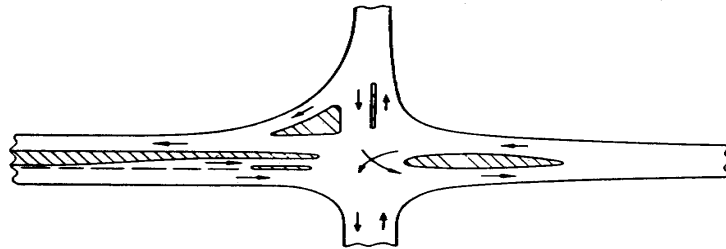
جدول (٦,٢) يعطي بعض القيم الإرشادية للزيادة في توسيع المنحنيات.

أكبر من ٩٠٠	٩٠٠ - ٣٠١	٣٠٠ - ١٥١	١٥٠ - ٦٠	٦٠ إلى	نصف قطر المنحنى (متر)
-	٠,٣	٠,٦	٠,٩	١,٢	الزيادة (متر)

## ٢- ١١- ٦- التقاطعات

التقاطع هو المساحة الناتجة عن تقاطع أو التقاء طريقين أو أكثر مع بعضها، وتستخدم لتسهيل عملية تغيير اتجاه سريان المرور. ويوجد نوعان من التقاطعات هما:

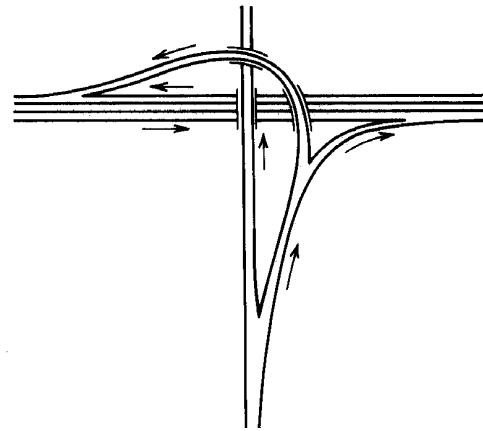
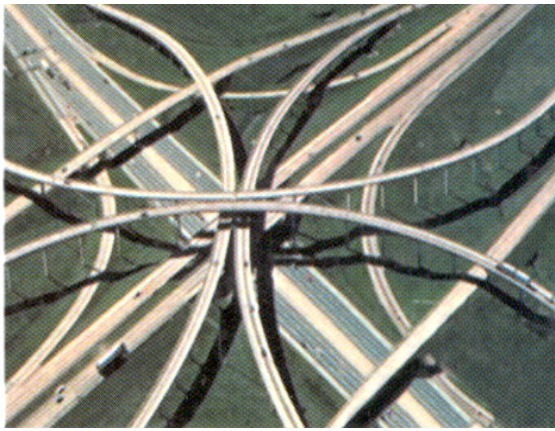
١. التقاطعات السطحية: وهي تقاطعات في المستوى نفسه بحيث تكون منطقة التقاطع جزء من كل طريق متقاطع ويتم مرور كل العربات على نفس المستوى في جميع الاتجاهات (شكل (١١,٢)).





شكل (٧,٢) نموذج لتقاطعات سطحية.

٢. التقاطعات المعزولة: وهي تقاطعات في مستويات مختلفة بحيث تمر الطرق فوق بعضها بواسطة كباري علوية لا تسبب تعارض بين حركة المرور (شكل (١٢,٢)).



شكل (١٢,٢) نموذج لتقاطعات معزولة.

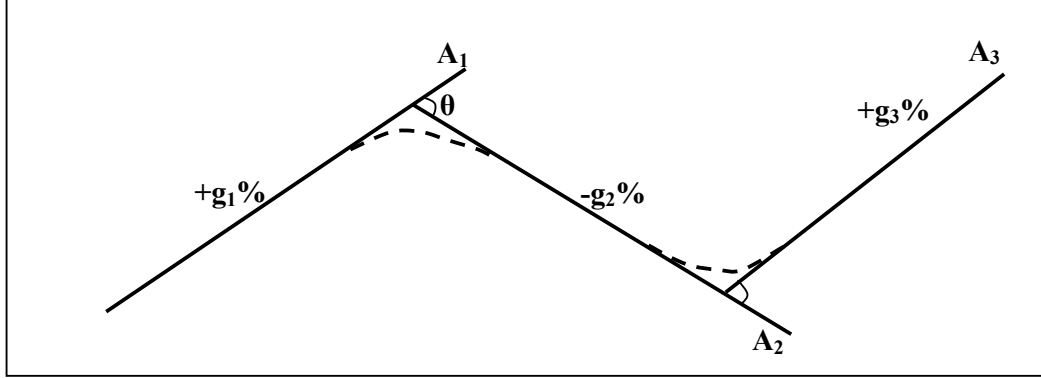
ويتوقف التصميم الهندسي للتقاطعات على عدة عوامل منها:

- حجم المرور الساعي التصميمي؛
- تركيب المرور؛
- السرعة التصميمية؛
- طبوغرافية المنطقة؛
- التكلفة.

## ٢- ١٢ التخطيط الرأسي

يتكون القطاع الطولي للطريق من سلسلة من المماسات أو الخطوط المستقيمة المتتالية والمتصلة بمنحنيات رأسية على شكل القطاع المكافئ. ويشمل التخطيط الرأسي تحديد انحدار الخطوط المستقيمة وتصميم منحنيات رأسية بينها وتحديد أطوال هذه المنحنيات وعناصرها. ويتحدد المحور الرأسي للطريق تتحدد مناسيب الرصف والمسائل التي تتعلق بالتنفيذ كالحفر والردم والصرف (شكل ((١٣،٢)).

وعند تصميم خط منسوب الطريق يجب الأخذ في الاعتبار الجانب الاقتصادي بجعل عمليات الحفر والردم في حدها الأدنى، وتحقيق متطلبات مسافة الرؤية وغيرها من متطلبات التصميم. وفي المناطق الجبلية يجب وضع خط المنسوب بحيث يحقق التوازن بين أعمال الحفر والردم لتقليل تكلفة الإنشاء. وفي المناطق المسطحة يجب أن يرتفع خط الطريق على سطح الأرض الطبيعية بالمقدار الذي يسمح بتصريف المياه السطحية بسهولة.



شكل (١٣،٢) نموذج من منحنيات رأسية.

ومن الشكل الموضح أعلاه نستنتج:

$$A_1 = \tan \theta$$

$$A_1 = \left( \frac{+g_1}{100} \right) - \left( \frac{-g_2}{100} \right)$$

$$A_1 = \frac{g_1 + g_2}{100}$$

$$A_2 = \left( \frac{-g_2}{100} \right) - \left( \frac{+g_3}{100} \right)$$

$$A_2 = - \frac{(g_2 + g_3)}{100}$$

حيث  $A$  : الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى.

وقد بينت الدراسات أن جميع العربات الخاصة تستطيع صعود الانحدارات التي تصل إلى ٨٪ بسهولة ولا تتأثر سرعتها كثيراً على عكس مركبات النقل التي تتأثر سرعتها بشدة بالميل. والجدول (٧،٢) يعطي بعض القيم الخاصة بالانحدارات القصوى المقبولة التي حددتها هيئة أشو على أساس السرعة التصميمية لبعض أنظمة الطرق. وتتوقف السرعة القصوى للمركبات التجارية عند صعودها الانحدارات على طول ونسبة الانحدار وعلى النسبة بين الوزن والقدرة للمركبة.

جدول (٧،٢) الانحدارات القصوى المقبولة حسب مواصفات أشتو هيئة (AASHTO).

الانحدار الأقصى (%)		السرعة التصميمية (كم / الساعة)
مناطق جبلية	مناطق منبسطة	
٩	٦	٤٨
٨	٥	٦٤
٧	٤	٨٠
٦	٣	٩٦
٥	٣	١١٢
٤	٣	١١٨

بالإضافة إلى الحد الأقصى المسموح به للانحدار فإن هناك طولاً حرجاً للانحدار يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند التصميم، وهو أقصى طول على انحدار تستطيع عربات النقل صعوده والبقاء عليه دون أن يؤثر ذلك تأثيراً كبيراً على سرعتها ويكون التخفيض في السرعة في حدود ٢٥ كم/الساعة فقط من السرعة المتوسطة. ويعطي الجدول (٧،٢) الأطوال الحرجة للمنحدرات التي تتناسب مع مقدار الانحدار حسب مواصفات هيئة أشتو (AASHTO).



جدول (٧,٢) قيم الأطوال الحرجة للمنحدرات حسب مواصفات هيئة أشتو (AASHTO).

الانحدار (%)	٢,٥	٣	٤	٥	٦	٧	٨
الطول (م)	٧٠٠	٤٧٥	٣٢٥	٢٥٠	٢٠٠	١٧٥	١٦٠

مثال:

أحسب الطول الحرج لمنحدر مقداره ٥٪.

الحل:

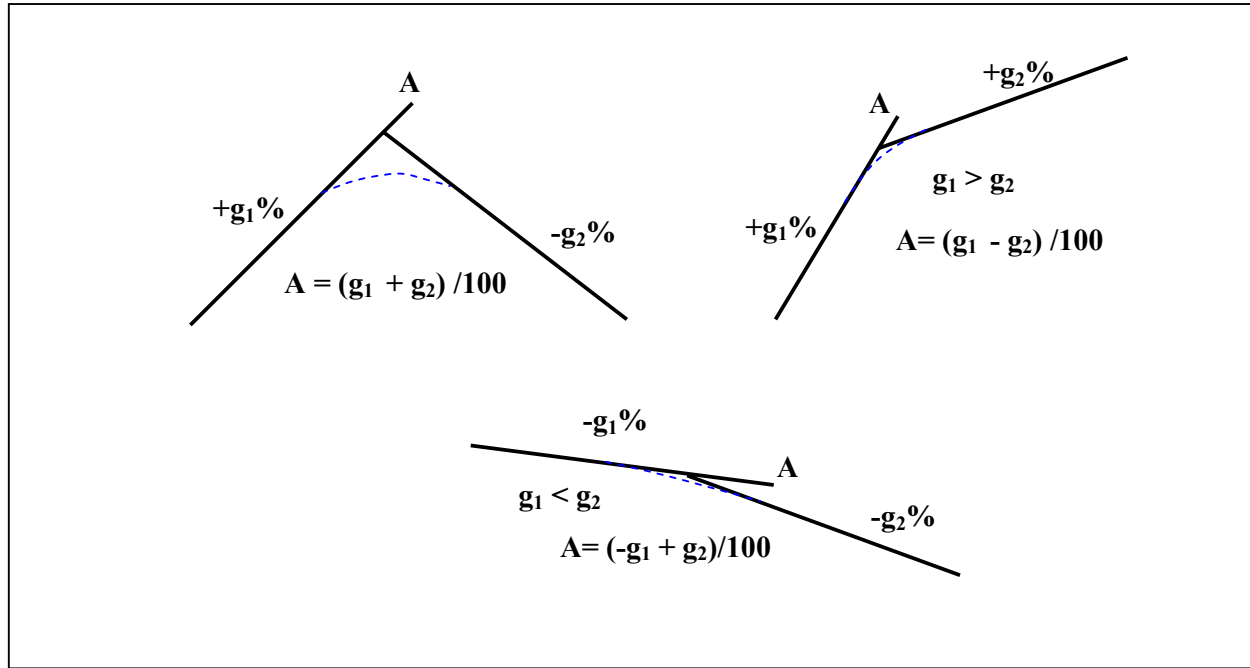
الطول الحرج = ٢٥٠ م ، وهذا يعني أن عربة النقل المحملة التي تصعد على انحدار بنسبة ٥٪ تستطيع البقاء على هذا الطريق لمسافة تصل إلى ٢٥٠ م دون أن تنخفض سرعتها أكثر من ٢٥ كم/الساعة.

## ٢- ١٢- ١ تصميم المنحنيات الرأسية

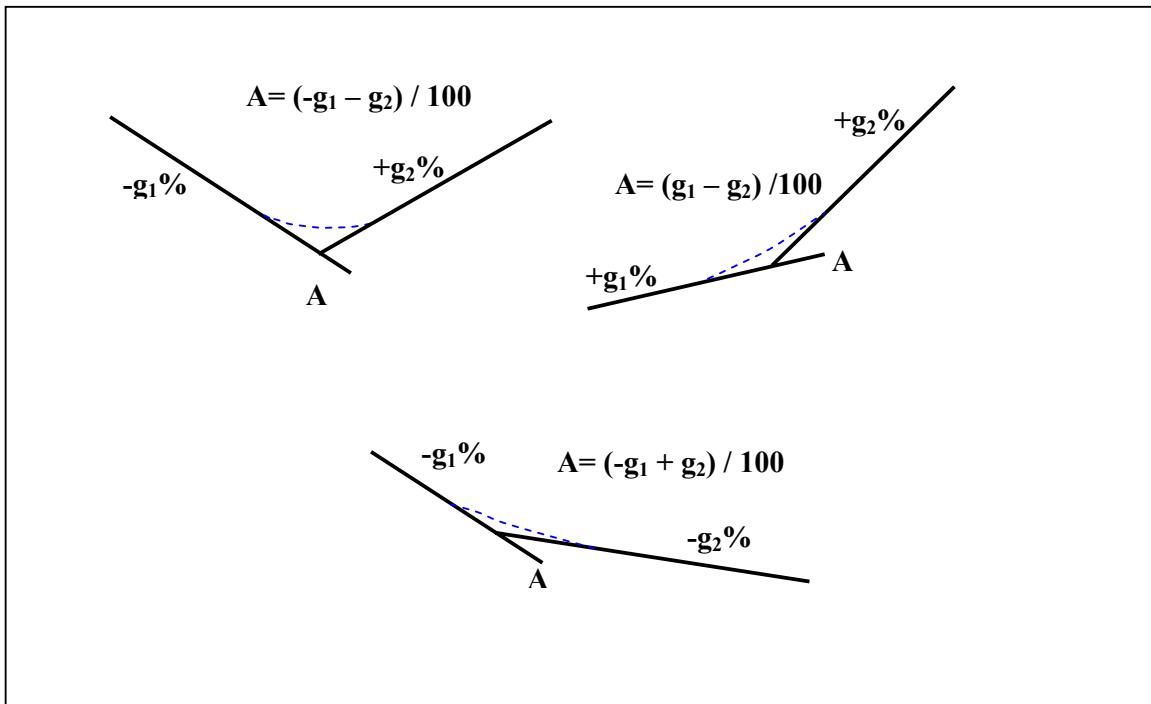
يحتوي خط منسوب الطريق على مجموعة خطوط مستقيمة ومتقاطعة (في المستوى الرأسي) يتم ربط كل خطين متقاطعين بمنحنى رأسي مناسب. وتكون هذه المنحنيات على شكل منحنيات استدارة علوية (أي منحنيات رأسية محدبة) أو منحنيات استدارة سفلية (أي منحنيات رأسية مقعرة) كما هو موضح في الشكل (١٤,٢).

ولتعيين العناصر اللازمة لتصميم وتوقيع المنحنيات الرأسية (شكل (١٥,٢))، يجب توفير المعلومات التالية:

- ميول خطوط المناسيب الرأسية المتتالية.
- نقطة التقاطع لكل خطين متتاليين.
- طول المنحنى الرأسي وهو عبارة عن المسافة الأفقية بين نقطتي البداية والنهاية للمنحنى.

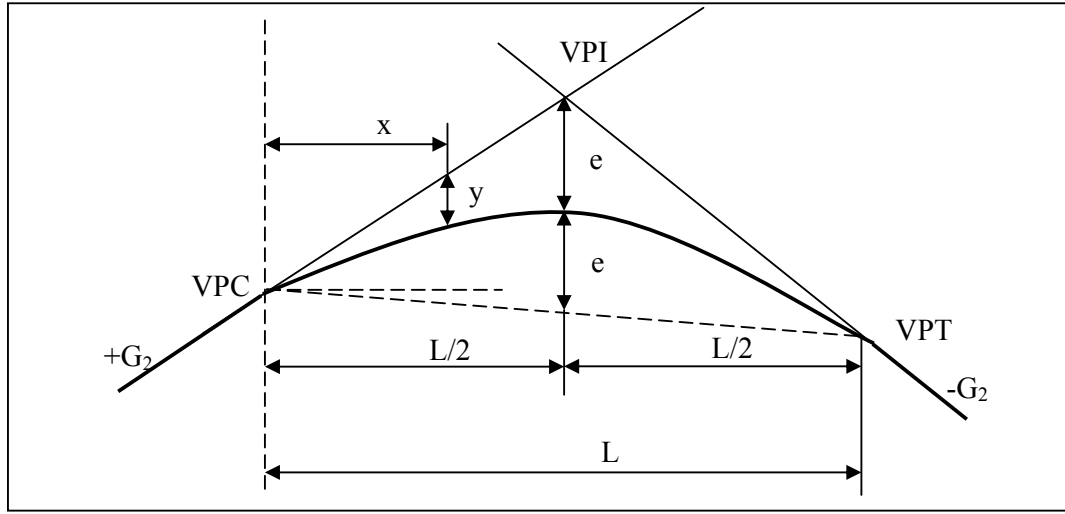


(أ) منحنيات استدارة علوية



(ب) منحنيات استدارة سفلية

شكل (١٤,٢) الأشكال المختلفة للمنحنيات رأسية



شكل (١٥,٢) العناصر التصميمية للمنحنيات الرأسية

ويتم تصميم المنحنيات الرأسية باستخدام المعادلات التالية:

عناصر المنحنيات الرأسية	معادلات المنحنيات الرأسية
VPI = Vertical point of intersection	$A = g_2 - g_1$
VPC = Vertical point of curvature	$K = \frac{L}{A}$
VPT = Vertical point of tangency	$e = \frac{(G_1 - G_2)L}{8} = \frac{AL}{800} = \frac{A^2K}{800}$
$G_1$ = Grade of initial tangent	<u>For high point on curve:</u>
$G_2$ = Grade of final tangent	$x_m = \frac{g_1 L}{g_2 - g_1} = \frac{g_1 L}{A}$
$g_1$ = Grade of initial tangent in percent	<u>For any point p on curve:</u>
$g_2$ = Grade of initial tangent in percent	$y = \frac{(G_2 - G_1)x^2}{2L} = \frac{Ax^2}{200L} = \frac{x^2}{200K}$
A = Algebraic difference in grade between $G_1$ and $G_2$	$E_x = E_{PC} + G_1 x + \frac{(G_2 - G_1)x^2}{2L}$
K = Vertical curve length coefficient	$E_x = E_{PC} + \frac{g_1 x}{100} + \frac{x^2}{200K}$
L = Length of vertical curve	
x = Horizontal distance to point on curve from VPC	
y = Offset of curve from initial grade line	
$x_m$ = Location of min/max point on curve from VPC	
e = External distance = Middle ordinate	
$E_x$ = Elevation of point on curve located at distance x from VPC	
$E_m$ = Elevation of min/max point on curve at distance $x_m$ from VPC	
$E_{PI}$ = Elevation of VPI	
$E_{PC}$ = Elevation of VPC	
$E_{PT}$ = Elevation of VPT	

## ٢- ١٢- ٢ مسافة الرؤية

تعرف مسافة الرؤية بأنها أقل مسافة تحتاجها العربة للتوقف وهي تسير بسرعة تقترب من سرعة التصميم. وتؤثر مسافة الرؤية تأثيراً مباشراً على سلامة المرور وعلى سعة الطريق. وعليه فإن على المصمم أن يوفر مسافة رؤية كافية يستطيع السائق تجنب أي عوائق مفاجئة قد تقابله أثناء السير على الطريق. وتعد المنحنيات الأفقية والمنحنيات الرأسية وتقاطعات الشوارع من أكثر العوائق التي تؤثر على مسافة الرؤية. ولقد تم عرض المعادلات التالية لحساب مسافة الرؤية للتوقف ومسافة الرؤية لتجاوز بأمان:

## ٢- ١٢- ٣ حساب مسافة الرؤية للتوقف (Stopping Sight Distance: SSD)

يفضل أن تكون مسافة الرؤية طويلة ما أمكن ذلك ويجب أن لا تقل على الحد الأدنى لمسافة التوقف في كل الأحوال، وتشمل هذه المسافة جزأين هما:

١. المسافة ( $S$ ) التي تسيرها المركبة خلال فترة شعور السائق وخلال تشغيله للفرامل. ولأغراض تصميمية يؤخذ زمن الارتداد الشعوري مع زمن تشغيل الفرامل ٢,٥ ثانية، وعليه فإن:

$$S = 2.5 V$$

حيث:

$S$ : مسافة الرؤية للتوقف (بالمتر).

$V$ : سرعة العربة (بالمتر / ثانية).

٢. مسافة الفرملة ( $d$ ) وتحسب كالتالي:

■ في حالة طريق مستوية:

$$d = \frac{V^2}{2 fg}$$

حيث:

$d$ : مسافة الفرملة (بالمتر).

$g$ : عجلة الجاذبية الأرضية (بالمتر / ثانية مربع).

$V$ : سرعة العربة (بالمتر / ثانية).

$f$ : معامل الاحتكاك بين العجل وسطح الطريق (وتؤخذ ٠,٤).

▪ في حالة طريق مائل:

$$d = \frac{V^2}{254 (f \pm G)}$$

حيث:

$G$ : نسبة الانحدار تقسيم ١٠٠.

وبذلك فإن أدنى مسافة للتوقف (SSD) بالنسبة للطرق من حارتين أو أكثر للمرور في اتجاهين أو اتجاه واحد تحسب كالتالي:

$$SSD = S + d$$

• في حالة طريق مستوية:

$$SSD = 2.5V + \frac{V^2}{2fg}$$

• في حالة طريق مائل عند الصعود:

$$SSD = 2.5V + \frac{V^2}{254.(f + G)}$$

• في حالة طريق مائل عند الهبوط:

$$SSD = 2.5V + \frac{V^2}{254.(f - G)}$$

أما بالنسبة للطرق المكونة من حارة واحدة والمخصصة للمرور في اتجاهين فإن مسافة الرؤية تؤخذ (2SSD). والجدولان (٨,٢) و (٩,٢) يعطيان بعض القيم لمسافة الرباط حسب مواصفات أشتو (AASHTO) في حالة الرصف المبلل والرصف الجاف.

جدول (٨,٢) مسافة الرباط في حالة الرصف المبلل.

مسافة الرباط (متر)	معامل الاحتكاك	السرعة التصميمية (كم / الساعة)
55	0.36	48
80	0.33	64
115	0.31	80
150	0.30	96
165	0.30	104
185	0.29	112
205	0.28	120
230	0.27	128

جدول (٩,٢) مسافة الرباط في حالة الرصف الجاف.

مسافة الرباط (متر)	معامل الاحتكاك	السرعة التصميمية (كم / الساعة)
48	0.62	48
72	0.60	64
100	0.58	80
132	0.56	96
149	0.56	104
129	0.55	112
190	0.54	120
212	0.53	128

مثال:

أحسب مسافة الرؤية لعدم التجاوز في حالة طريق مكون من حارتين ومرور في اتجاهين، علماً أن السرعة التصميمية ٦٠ كم/الساعة ومعامل الاحتكاك ٠,٤.

الحل:

$$SSD = 2.5V + \frac{V^2}{2fg}$$

حيث:

$V$ : سرعة العربة = ٦٠ كم/الساعة = ١٦,٦٧ م/ ثانية.

$f$ : معامل الاحتكاك بين العجل وسطح الطريق = ٠,٤.

وعليه:

$$SSD = 2.5 \times 16.67 + \frac{(16.67)^2}{2 \times 0.4 \times 9.81} = 77.08 m$$

مثال:

أحسب مسافة الرؤية لطريق مائل ب ٥% في حالة الهبوط وفي حالة الصعود، علماً أن السرعة التصميمية تساوي ٨٠ كم/الساعة ومعامل الاحتكاك ٠,٤.

الحل:

(أ) مسافة الرؤية في حالة الهبوط:

$$SSD = 2.5V + \frac{V^2}{254(f - G)}$$

$V$ : سرعة العربة = ٨٠ كم/الساعة = ٢٢,٢٢ م/ ثانية.

$f$ : معامل الاحتكاك بين العجل وسطح الطريق = ٠,٤.

$G$ : نسبة الانحدار تقسيم ١٠٠ = ٠,٠٥

$$SSD = 2.5 \times 22.22 + \frac{(22.22)^2}{254 \times (0.4 - 0.05)} = 61.1m$$

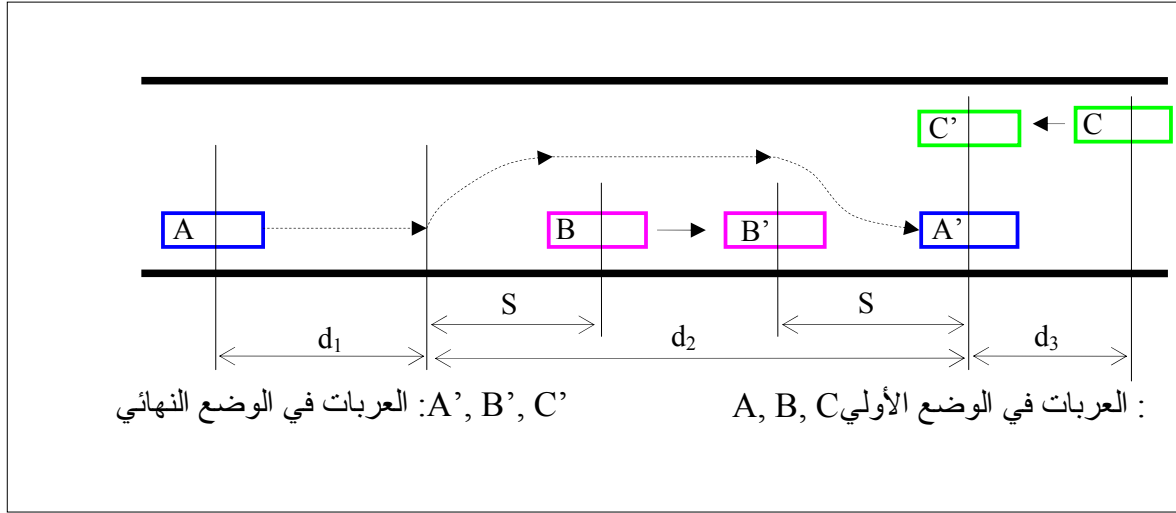
(ب) مسافة الرؤية في حالة الصعود:

$$SSD = 2.5V + \frac{V^2}{254(f + G)}$$

$$SSD = 2.5 \times (22.22) + \frac{(22.22)^2}{254 \times (0.4 + 0.05)} = 59.87m$$

٢- ١٢- ٤ تصميم مسافة الرؤية للتجاوز (Passing Sight Distance: PSD)

وهي أقل مسافة كافية لتتجاوز عربة تسير بسرعة عربة أخرى تسير أمامها ببطء وذلك بانتقالها إلى الحارة الأخرى التي يسير عليها المرور المعاكس لها ثم العودة إلى نفس الحارة دون خطر اصطدام أو مضايقة. وتتكون مسافة التجاوز من ثلاثة أجزاء في حالة طريق من حارتين كما هو موضح في الشكل (١٦،٢).



شكل (١٦،٢) مسافة التجاوز.

- المسافة الأولى ( $d_1$ ): وهي المسافة التي تقطعها العربة خلال فترة التردد في العبور، وتحسب من العلاقة التالية:

$$d_1 = 0.84(V - M)$$

حيث:

$d_1$ : مسافة التردد في العبور (متر)

$V$ : السرعة التصميمية (كم/الساعة)

$M$ : مقدار النقص بين السرعة التصميمية والسرعة المفروضة للعربة المتخطية، وتؤخذ عادة ١٦ كم/الساعة.



- المسافة الثانية ( $d_2$ ): وهي المسافة التي تقطعها العربة خلال فترة التجاوز، وتحسب من المعادلات التجريبية التالية:

$$d_2 = 2S + 0.84 (V - M) t$$

$$S = 0.2 (V - M) + 6$$

$$t = \sqrt{\frac{2.73 S}{a}}$$

حيث  $a$ : معدل العجلة التسريعية للعربة المتجاوزة ويؤخذ عموماً ٤ كم/الساعة/ثانية.

- المسافة الثالثة ( $d_3$ ): وتمثل مقدار ما تقطعه العربة القادمة من الاتجاه الآخر خلال فترة التخطية، وتحسب من المعادلة التجريبية التالية:

$$d_3 = 0.28 t$$

وبذلك يتم حساب مسافة التجاوز (PSD) كما يلي:

$$PSD = d_1 + d_2 + d_3$$

والجدول (١٠,٢) يعطي بعض القيم التصميمية لمسافة التجاوز حسب مواصفات أشتو.

جدول (١٠,٢) مسافة التجاوز التصميمية.

128	112	96	80	64	48	السرعة التصميمية (كم/الساعة)
94	86	75	65	54	41	السرعة المفروضة للعربة المتخطاة (كم/الساعة)
110	102	91	82	70	58	السرعة المفروضة للعربة المتخطية (كم/الساعة)
835	675	640	550	460	335	مسافة التجاوز (متر)

## ٢- ١٢- ٥- تصميم مسافة الرؤية في حالة المنحنيات الرأسية

تكون المنحنيات الرأسية على نوعين إما منحنيات استدارة علوية (منحنيات قمة) أو منحنيات استدارة سفلية (منحنيات قعر) (شكل (١٠،٢)). ويجب أن تصمم هذه المنحنيات بمسافة رؤية كافية تمكن السائق من الوقوف أو التجاوز براحة وأمان. ولقد توصل المصممون إلى وضع معادلات لإيجاد طول المنحنى الرأسى اللازم لتأمين مسافة الرؤية المطلوب للتوقف في الحالات التالية:

- الحالة الأولى: مسافة الرؤية أقصر من طول المنحنى ( $SSD < L$ ):

$$L = \frac{AS^2}{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

- الحالة الثانية: مسافة الرؤية أطول من طول المنحنى ( $SSD > L$ ):

$$L = 2S - \frac{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A}$$

حيث:

$L$ : طول منحنى الاستدارة للتوقف (متر)؛

$S$ : مسافة الرؤية للتوقف على منحنى الاستدارة العلوي (متر)؛

$A$ : الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى (بدون نسبة مئوية)؛

$h_1$ : ارتفاع عين السائق عن سطح الأرض وتؤخذ 1.07 متر؛

$h_2$ : ارتفاع عائق عن سطح الأرض وتؤخذ 0.15 متر.

## ٢- ١٢- ٦- حساب طول منحنى الاستدارة العلوي لمسافة التجاوز

لحساب طول منحنى الاستدارة العلوي لمسافة التجاوز نستخدم نفس العلاقات السابقة الخاصة بمسافة الرؤية للتوقف مع أخذ ارتفاع عين السائق عن سطح الأرض  $h_1$  تساوي 1.07 م وارتفاع عائق عن سطح الأرض  $h_2$  تساوي 1.03 م. وعليه يكون طول المنحنى:

١. في حالة مسافة الرؤية للتجاوز أقصر من طول المنحنى ( $PSD < L$ ):

$$L = \frac{AS^2}{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

٢. في حالة مسافة الرؤية للتجاوز أطول من طول المنحنى ( $PSD > L$ ):

$$L = 2S - \frac{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A}$$

حيث:

$L$ : طول منحنى الاستدارة للتوقف (متر)؛

$S$ : مسافة الرؤية للتوقف على منحنى الاستدارة العلوي (متر)؛

$A$ : الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى (بدون نسبة مئوية)؛

$h_1$ : ارتفاع عين السائق عن سطح الأرض وتؤخذ 1.07 متر؛

$h_2$ : ارتفاع عائق عن سطح الأرض وتؤخذ 1.03 متر.

## ٢- ١٢- ٧ حساب طول منحنى الاستدارة السفلي

تحدد مسافة الرؤية ليلا حسب مسافة الأضواء الأمامية للعربة، بحيث تكون هذه الأخيرة كافية لتحقيق مسافة الإيقاف فقط حيث لا يسمح بالتجاوز إطلاقا على هذا النوع من المنحنيات.

ويمكن حساب طول المنحنى باستخدام المعادلات التالية:

- عندما يكون طول المنحنى أطول من مسافة الرؤية ( $SSD < L$ ):

$$L = \frac{AS^2}{152.44} + 3.5S$$

- عندما يكون طول المنحنى أقصر من مسافة الرؤية ( $SSD > L$ ):

$$L = 2S - \frac{152.44 + 3.5S}{A}$$

حيث:

$L$ : طول منحنى الاستدارة السفلي (متر)؛

$S$ : طول مسافة الإيقاف على منحنى (متر)؛

$A$ : الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى (بدون نسبة مئوية).

مثال:

إذا كان منحنى استدارة علوي انحرافه يساوي  $A = 0.09$ . أوجد طول المنحنى للتوقف في الحالات التالية:

- مسافة الرؤية = ١٠٠ متر أقل من طول المنحنى.
- مسافة الرؤية = ٥٠ متر أكبر من طول المنحنى.

الحل:

- الحالة الأولى: طول المنحنى أطول من مسافة الرؤية ( $SSD < L$ ):

$$A = 0.09$$

$$S = 100 \text{ m}$$

$$h_1 = 1.07 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.15 \text{ m}$$

$$L = \frac{AS^2}{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

$$L = \frac{(0.09) \times 100}{(\sqrt{2 \times (1.07)} + \sqrt{2 \times (0.15)})^2} = 223 \text{ m}$$

- الحالة الثانية مسافة الرؤية أطول من طول المنحنى ( $SSD > L$ ):

$$A = 0.09$$

$$S = 50 \text{ m}$$

$$h_1 = 1.07$$

$$h_2 = 0.15$$

$$L = 2S - \frac{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A}$$

$$L = 2 \times 50 - \frac{(\sqrt{2 \times 1.07} + \sqrt{2 \times 0.15})^2}{0.09} = 55 \text{ m}$$

مثال:

منحنى استدارة علوي يربط انحدار صاعد بميل (1/30) مع انحدار هابط بميل (1/40). أحسب طول المنحنى الذي يسمح بمسافة تجاوز مقدارها ٤٤٠ متر في حالة طول المنحنى أكبر من مسافة التجاوز وفي حالة طول المنحنى أقل من مسافة التجاوز.

الحل:

• الحالة الأولى:  $PSD < L$

$$L = \frac{AS^2}{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

$$g_1 = +1/30$$

$$g_2 = -1/40$$

$$A = (+1/30) - (-1/40) = 0.058$$

$$h_1 = 1.07 \text{ m}$$

$$h_2 = 1.03 \text{ m}$$

$$L = \frac{(0.058) \times (440)^2}{(\sqrt{2 \times (1.07)} + \sqrt{2 \times (1.03)})^2} = 1352 \text{ m}$$

• الحالة الثانية:  $PSD > L$

$$L = 2S - \frac{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})}{A}$$

$$L = 2 \times 440 - \frac{(\sqrt{2 \times 1.07} + \sqrt{2 \times 1.03})}{0.058} = 736 \text{ m}$$



## تقنيات الطرق

### تربة الأساس

تربة الأساس

٢

**الجدارة:**

يدرس الطالب في هذا الفصل أنواع وطبيعة التربة التي يشيع استعمالها في مجال هندسة الطرق وكيفية تصنيفها وتحديد خواصها الأساسية.

**الأهداف:**

- عند الانتهاء من هذا الفصل يكون الطالب باستطاعته:
- التعرف على أنواع التربة المستعملة في مجال الطرق.
- تصنيف التربة حسب أنظمة التصنيف العالمية.
- تحديد الخواص الهندسية للتربة.
- معرفة عملية دمك التربة في المعمل والموقع والحكم عليها.
- معرفة مواصفات وخواص الطبقات السفلى التي يتكون منها جسم الطريق.

**مستوى الأداء المطلوب:**

إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٠٪

**الوقت المتوقع لإنهاء هذا الفصل:**

٦ ساعات

**متطلبات الجدارة:**

اجتياز حقيبة خواص واختبارات التربة.

## ٣- ١ مقدمة

تحتوي جميع مشروعات الطرق على مقادير كبيرة من الأعمال الترابية التي تتعلق بعمليات الحفر والردم لإنشاء الجسور والقطوع وأعمال التسوية وإعداد تربة الأساس التي تتركز عليها طبقات الرصف المختلفة، بالإضافة إلى أكتاف وجوانب الطريق التي عادة ما تتكون من مواد التربة. وتعد التربة الدعامة الإنشائية التي تتركز عليها طبقات الرصف والقاعدة التي تقاوم أحمال المارة بمختلف أنواعها. ويتم بناء هيكل الطريق عموماً من فتات الصخور المختلفة ومن تربة الردم بجميع أنواعها وتركيباتها. ففي قطاعات الردم مثلاً تنشأ التربة الحاملة لطبقات الرصف المختلفة من مواد الردم المنقولة من قطاعات الحفر المجاورة لمسار الطريق أو من حفر استعارة وفي قطاع الحفر تكون التربة الحاملة لطبقات الرصف هي التربة الأصلية.

إن التربة هي أكثر المواد أهمية في إنشاء الطرق ويتطلب ذلك المعرفة الجيدة بالمسائل المتعلقة بها وتفهم خصائصها وسلوكها. وإن أهم الخواص التي يراد تحديدها للتربة هي مقاومتها للإجهاد وخواصها للانضغاط وتأثيرها للرطوبة للتأكد من صلاحية الأرض للحفر والردم وشق الطريق بالإضافة إلى صلاحية المواد الموجودة لإنشاء الجسم الترابي للطريق. وسنتعرض في هذا الباب بإيجاز إلى منشأ وطبيعة التربة التي يشيع استعمالها في مجال هندسة الطرق وإلى كيفية تصنيفها وتحديد خواصها الأساسية.

## ٣- ٢ طرق تمييز أنواع التربة

تعرض في مجال هندسة الطرق إلى العديد من أنواع التربة لكل منها صفاتها وخواصها وسلوكها. والغرض من تصنيف التربة هو تقسيمها إلى مجموعات متعددة حتى يمكن التعرف عليها والحكم على مدى صلاحيتها.

## ٣- ٣ مكونات التربة

تتكون التربة من التفتت الطبيعي للصخور الناتج عن عوامل التعرية ومن المواد والأحماض العضوية الناتجة عن تحلل النباتات والحيوانات والرطوبة. وهناك ثلاث أنواع من الصخور التي تتكون منها التربة:

- صخور نارية: وهي التي تكونت نتيجة للتبريد الذي تتعرض له المواد المنصهرة من باطن الأرض من خلال الشقوق والفوهات البركانية.
- صخور رسوبية: وتتكون نتيجة للتفتت أو التحلل الذي تتعرض له الصخور النارية وانتقالها بفعل الرياح والماء.



• صخور متحولة: وأصلها من الصخور النارية أو الرسوبية وتتكون نتيجة تعرض أي منها للحرارة الشديدة أو الضغط الشديد أو الاثنين معاً.

وتنقسم التربة من حيث نشأتها إلى قسمين رئيسيين هما:

١. تربة متبقية: وهي تربة ذات حبيبات مفككة تعلو سطح الصخور الأصلية المتكونة منها بسبب الحرارة والرطوبة والتجمد.

٢. تربة منقولة: وهي تربة منقولة من مكان نشأتها إلى أماكن أخرى عن طريق الماء أو الرياح أو الجليد وينتج عن ذلك طبقات سميكة من تربة ناعمة ضعيفة نسبياً أو تربة خشنة مفككة وقليلة المقاومة.

وتنقسم التربة من حيث مقاومة حبيباتها للقوى الواقعة عليها إلى قسمين أساسيين هما: تربة متماسكة وتربة مفككة. فالتربة ذات الحبيبات الناعمة تتميز بقوة تماسك داخلية بين الحبيبات وتسمى تربة متماسكة، في حين تتميز التربة ذات الحبيبات الخشنة بقوة احتكاك بين حبيباتها وتسمى تربة مفككة. وكلما كان قطر الحبيبات صغيراً نسبياً كلما كانت قوة الاحتكاك الداخلية ضعيفة وكلما كانت قوة التماسك الطبيعية بين الحبيبات عالية. و يتوقف مدى مقاومة التربة للاجهادات الناتجة من حركة المرور على مقدار هذه القوى من تماسك طبيعي واحتكاك داخلي. فيشترط في مواد الردم للطريق أن تحتوي على قوة تماسك وقوة احتكاك كافية لضمان ثبات طبقات الرصف. فإذا كانت هذه القوى معدومة أو غير كافية لتحمل الضغط الواقع عليها فإن التربة تتفتت وتتهار مما يؤدي إلى الأضرار بطبقات الرصف التي تعلوها. وقد يؤدي الارتفاع في مستوى الرطوبة داخل التربة إلى فقدان التماسك الطبيعي بين الحبيبات الناعمة وإلى إضعاف قوى الاحتكاك الداخلي بين الحبيبات الخشنة.

والتربة في تركيبها الأساسي تتكون من حصى أو رمل أو طمي أو طين أو من خليط من نوعين أو أكثر من هذه المركبات. ويشكل الحصى والرمل المواد الترابية ذات الحبيبات الخشنة التي يتراوح مقاس قطرها بين ٠,٠٨ و ٨٠ مم، في حين يشكل الطمي والطين المواد الترابية ذات الحبيبات الناعمة التي يقل مقاسها عن ٠,٠٨ مم. ويوضح الجدول (١,٣) أنواع التربة المختلفة بالنظر إلى حجم أقطارها حسب مواصفات آشتو الأمريكية (AASHTO).

جدول (١.٣) أنواع التربة المختلفة بالنظر إلى حجم أقطار حبيباتها.

نوع التربة	مقاس قطر الحبيبات (مم)
ركام	من ٢ إلى ٧٦,٢
رمل	من ٠,٠٧٥ إلى ٢
طمي	من ٠,٠٠٢ إلى ٠,٠٧٥
طين	أقل من ٠,٠٠٢

وتتميز التربة المكونة من الرمل والزلط بالنفاذية العالية وبالثبات النسبي عند تعرضها لأحمال المارة وبقلة الحساسية للتغيرات في نسبة الرطوبة. أما التربة الطينية فتتميز بالدونة العالية عند ارتفاع نسبة الرطوبة فيها وبالصلابة عندما تكون جافة. ويمكن معرفة تدرج المواد المكونة للتربة وتحديد حجمها عن طريق اختبار التدرج الحبيبي. وينقسم هذا الاختبار إلى قسمين هما التحليل المنخلي بالنسبة للتربة الخشنة والتحليل بالترسب بالنسبة للتربة الناعمة. ويعطي هذين الاختبارين فكرة عن التصنيف الهندسي للتربة وعن تكوينها وسلوكها. كما يستخدم اختبار اللدونة في تصنيف ودراسة سلوك التربة الناعمة. وسنقتصر فيما يلي على توضيح هذه التجارب بإيجاز وأما التفاصيل التي تتعلق بطرق عمل هذه التجارب وتحليل نتائجها فيمكن الرجوع إليها في مقرر خواص واختبار التربة.

### ٣-٤ التوزيع الحبيبي للتربة

يتم تحديد التدرج الحبيبي للتربة الخشنة التي يتجاوز قطرها ٠,٠٧٥ مم (الرمل والركام) عن طريق التحليل المنخلي (شكل (١,٣)). ولإجراء هذا الاختبار نقوم بما يلي:

- تجفيف التربة وتفكيكها وتقسيمها إلى عينات.
- تمرير العينات خلال مجموعة مناخل قياسية مرتبة تدرجياً كما في الجدول (٢,٣).
- وزن كميات التربة المتبقية على كل منخل.
- حساب كميات التربة المارة من كل منخل ومقارنتها بالنسبة للوزن الكلي للعيينة.
- تسجيل النتائج في جداول وتمثيل العلاقة بين نسبة المارة إلى رقم المنخل على شكل منحنيات.

جدول (١.٣) أنواع التربة المختلفة بالنظر إلى حجم أقطار حبيباتها.

رقم المنخل	مقاس فتحة المنخل (مم)
٣	٦,٣٥
٤	٤,٧٦
٦	٣,٣٦
٨	٢,٣٨
١٠	٢,٠٠
١٦	١,١٩
٢٠	٠,٨٤
٣٠	٠,٥٩
٤٠	٠,٤٢
٥٠	٠,٢٩٧
٦٠	٠,٢٥
٧٠	٠,٢١
١٠٠	٠,١٤٩
١٤٠	٠,١٠٥
٢٠٠	٠,٠٧٤
٢٧٠	٠,٠٥٣

ولدراسة منحنيات التدرج الحبيبي للتربة والحكم عليها ومعرفة نوع التدرج تحسب المعاملات التالية:

١. الحجم المؤثر:  $D_{10}$

٢. معامل الانتظام ( $C_u$ ) ويعرف بالمعادلة التالية:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

٣. معامل التدرج ( $C_c$ ) ويعرف بالمعادلة:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

حيث:

$D_{10}$ : هو القطر المقابل لنسبة مار مقدارها 10%.

$D_{60}$ : هو القطر المقابل لنسبة مار مقدارها 60% من كتلة التربة.

$D_{30}$ : هو القطر المقابل لنسبة مار مقدارها 30% من كتلة التربة.

ويوصف التدرج الحبيبي بمعرفة  $C_c$  كما هو موضح في الجدول (٣,٣).

أما بالنسبة للتربة الأكثر نعومة للمنخل رقم ٢٠٠ فمن الصعب فصل حبيباتها الدقيقة وتحديد حجمها عن طريق النخل. وعليه فإنه تتم معرفة التدرج الحبيبي لهذه التربة عن طريق التحليل بالترسب، حيث تذوب الحبيبات الناعمة في سائل ويلاحظ المعدل الذي تهبط وترسب به. وظاهرة الهبوط هذه مرتبطة بحجم الحبيبات بواسطة قانون ستوكس (Stock's law) الذي ينص على أن معدل هبوط جسم صلب خلال سائل معين يكون متناسبا مع مربع قطر الجسم. ومن أهم الاختبارات التي يستخدم فيها التحليل بالترسيب هو اختبار الهيدروميتر (شكل (٢,٣)). ويتم دمج النتائج المتحصل عليها عن طريق التحليل المنخلي مع نتائج التحليل بالترسب للحصول على منحنى كامل للتوزيع الحبيبي للتربة كما هو مبين في الشكل (٣,٣).

جدول (٣,٣) وصف التدرج الحبيبي بمعرفة  $C_c$ .

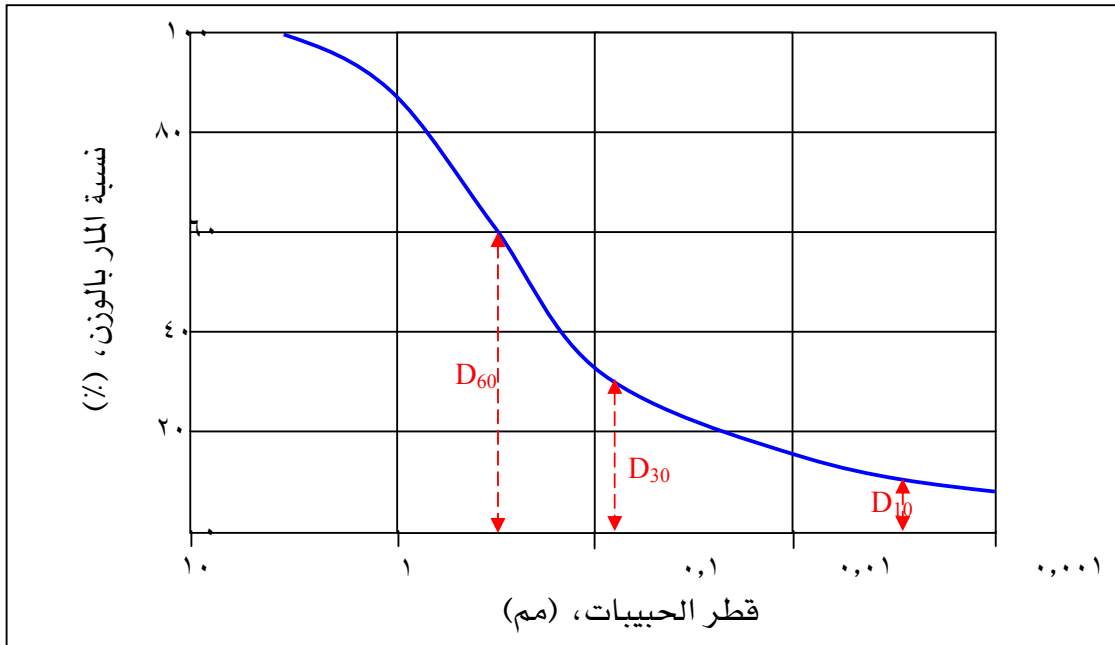
$C_c$	نوعية التدرج
أقل أو تساوي ٥	تدرج ضعيف (Poorly-Graded)
من ٥ إلى ١٥	غير مستوية (Non-Uniform)
أكبر من ١٥	تدرج جيد (Well-Graded)



شكل (٢,٣) اختبار الهيدروميتر.



شكل (١,٣) مناخل قياسية.



شكل (٣,٣) منحنى التدرج الحبيبي للتربة.

## ٣- ٥ حدود القوام

إن الخواص الهندسية للتربة ذات الحبيبات الناعمة تتأثر بدرجة عالية عندما تتغير نسبة الرطوبة فيها. فقوام التربة، أي مقدرتها على التشكل، يتغير من حالة إلى أخرى بتغير كمية الماء داخل الفراغات ويأخذ الحالات التالية:

- الحالة الصلبة (Solid State)
- الحالة شبه صلبة (Semi Solid State)
- الحالة اللدنة (Plastic State)
- الحالة السائلة (Liquid State)

فإذا أضيف الماء بمقادير كبيرة إلى التربة مع خلطها جيداً حتى تصبح حبيباتها عالقة بالماء يكون الخليط على شكل سائل. وعند تجفيف هذا الخليط بحيث تقل نسبة الرطوبة فيه تدريجياً فإنه يمر من حالة اللزوجة أو السيولة إلى حالة اللدونة ثم إلى حالة شبه الصلابة ثم إلى حالة الصلابة. وتسمى الحدود الفاصلة بين هذه الحالات "حدود أتبرج" نسبة للمهندس السويدي الذي اقترحها، وهي محتويات مائية تعرف بما يلي:

- حد الانكماش (Shrinkage Limit: SL): وهو المحتوى المائي الذي عنده تنتقل التربة من الحالة الصلبة إلى الحالة شبه صلبة. ويعرف أيضاً بأنه أقل محتوى مائي يعطي أدنى حجم للتربة.
- حد اللدونة (Plastic Limit: PL): وهو المحتوى المائي الذي عنده تنتقل التربة من حالة اللدونة إلى حالة شبه صلبة.
- حد السيولة (Liquid Limit: LL): وهو أقل محتوى مائي تكون عنده التربة في حالة السيولة ولها مقاومة ضعيفة للقص.

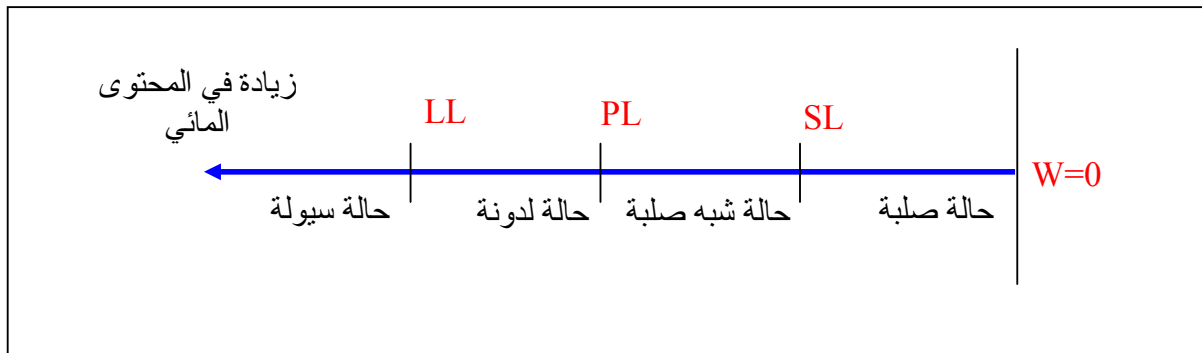
والشكل (٤,٣) يوضح حالات القوام الأربعة والحدود الفاصلة بينها، وبناء على هذا تحسب المؤشرات التالية:

- مؤشر اللدونة (Plastic Index: PI): ويعرف على أنه الفرق العددي بين حد السيولة وحد اللدونة للعينة ويحسب كما يلي:

$$PI = LL - PL$$

- مؤشر السيولة (Liquid Index: LI) ويحسب كما يلي:

$$LI = \frac{(w - PL)}{PI}$$



شكل (٤,٣) حالات القوام الأربعة والحدود الفاصلة بينها.

ويستخدم مؤشري اللدونة والسيولة للحكم على مدى صلاحية التربة ومواد الردم من حيث درجة استقرارها وقوة تحملها ومدى التغيير في حجمها. فالتربة عند حد السيولة تعطي مؤشر سيولة يساوي ١ وعند حد اللدونة تعطي مؤشر سيولة يساوي ٠. والتربة التي لها مؤشرات لدونة عالية تكون عموماً غير صالحة لطبقات الرصف.

### ٣- ٦- أنظمة تصنيف التربة

بعد عملية تحليل التربة ورسم منحنى التدرج الحبيبي لها وتعيين حدود القوام وعلامة اللدونة وعلامة السيولة لها، يتم تحديد نسب مكونات التربة وتصنيفها طبقاً لأنظمة متعددة وضعتها مراكز عالمية متخصصة. وتوفر هذه الأنظمة لغة موحدة يستعملها المهندسون للتعريف بدقة وبسرعة على أنواع التربة المختلفة من خلال خواصها الهندسية.

وهناك عدة أنظمة مستعملة لتصنيف التربة من أهمها:

- نظام تصنيف التربة الموحد (USC)
- نظام آشتو (AASHTO)

ويعتمد النظامان عموماً على العلامات الخاصة بمنحنى التدرج الحبيبي ومخطط اللدونة للتربة.

### ٣- ٦- ١ نظام تصنيف التربة الموحد (USC)

يعتمد هذا النظام على تقسيم التربة إلى ثلاث أقسام رئيسة كما هو مبين في الجدول (٣،٣) و (٤،٣) والشكل (٥،٣):

١. تربة خشنة تتكون أساساً من رمل وركام: وذلك عندما تكون نسبة المار على المنخل رقم ٢٠٠ لا تتعدى ٥٠٪. وتستخدم الرموز التالية لوصفها:
  - رمز (G) بالنسبة للزلط (Gravel): ٥٠٪ أو أكثر متبقية على المنخل رقم ٤.
  - رمز (S) بالنسبة للرمل (Sand): ٥٠٪ أو أكثر مار على المنخل رقم ٤.
  - رمز (W) بالنسبة للتربة ذات تدرج جيد (Well Graded).
  - رمز (P) بالنسبة للتربة ذات تدرج ضعيف (Poorly Graded).
٢. تربة ناعمة متكونة أساساً من طمي وطنين: وذلك عندما تكون نسبة المار على المنخل رقم ٢٠٠ أكثر من ٥٠٪. وتستخدم فيها الرموز التالية لوصفها:
  - رمز (M) بالنسبة للطمي (Silt).

- رمز (C) بالنسبة للطين (Clay).
- رمز (O) بالنسبة للمواد العضوية (Organic Silt and Clay).
- رمز (L) بالنسبة للتربة الناعمة ذات اللدونة ضعيفة (Fine of low plasticity).
- رمز (H) بالنسبة للتربة الناعمة ذات اللدونة العالية (Fine of high plasticity).
- ٣. تربة عضوية: وتحتوي على نسبة عالية من المواد العضوية.
- رمز (PT) بالنسبة للتربة العضوية (Peat).

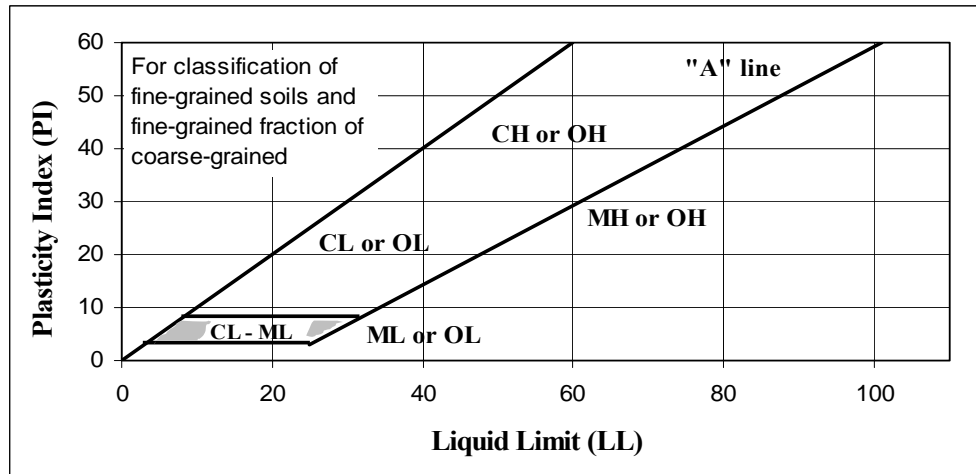
جدول (٣,٣) نظام تصنيف التربة الموحد (USC).

Classification on Basis of percentage of fine	Classification Criteria	
Less than 50% Pass No. 200 sieve GW, GP, SW, SP  More than 12% pass No. 200 sieve GW, GC, SM, SC  5% to 12% pass No. 200 sieve Borderline classification requiring use of dual symbols	$C_M = D_{60} / D_{10}$ Greater than 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$ Between 2 and 3	
	Not meeting both criteria for GW	
	Atterberg limits plot below "A" line and plasticity index less than 4	Atterberg limits plotting in hatched area are borderline classifications requiring use of dual symbols
	Atterberg limits plot below "A" line and plasticity index greater than 7	
	$C_M = D_{60} / D_{10}$ Greater than 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$ Between 1 and 3	
	Not meeting both criteria for GW	
Atterberg limits plot below "A" line and plasticity index less than 4	Atterberg limits plotting in hatched area are borderline classifications requiring use of dual symbols	
Atterberg limits plot below "A" line and plasticity index greater than 7		



## جدول (٤,٣) نظام تصنيف التربة الموحد (USC).

Classification on Basis of percentage of fine	Classification Criteria	
Less than 50% Pass No. 200 sieve GW, GP, SW, SP	$C_M = D_{60} / D_{10}$ Greater than 4	
	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$ Between 2 and 3	
More than 12% pass No. 200 sieve GW, GC, SM, SC	Not meeting both criteria for GW	
	Atterberg limits plot below "A" line and plasticity index less than 4	Atterberg limits plotting in hatched area are borderline classifications requiring use of dual symbols
Atterberg limits plot below "A" line and plasticity index greater than 7		
5% to 12% pass No. 200 sieve Borderline classification requiring use of dual symbols	$C_M = D_{60} / D_{10}$ Greater than 6	
	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$ Between 1 and 3	
	Not meeting both criteria for GW	
	Atterberg limits plot below "A" line and plasticity index less than 4	Atterberg limits plotting in hatched area are borderline classifications requiring use of dual symbols
Atterberg limits plot below "A" line and plasticity index greater than 7		



شكل (٥,٣) مخطط اللدونة، نظام تصنيف التربة الموحد (USC).

## ٣- ٦- ٢ نظام آشتو (AASHTO)

يعتمد هذا النظام على تقسيم التربة إلى سبعة مجموعات رئيسية (A-1 إلى A-7) كما هو مبين في الجدول (٥,٣):

جدول (٥,٣) تصنيف التربة حسب نظام آشتو (ASSHTO).

General Classification	Granular Materials (35% or less passing No.200)						
	A-1			A-2			
Group Classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
<b>Sieve analysis, percent passing</b>							
No.10 (2.0 mm)	50 max	-	-	-	-	-	-
No.40( 0.425mm)	30max.	50max.	51max.	-	-	-	-
No. 200(0.075)	15max.	25max.	10max.	35max.	35max.	35max.	35max.
<b>Characteristics of fraction passing</b>							
<b>No.40</b>							
Liquid limit	-	-	-	40max.	41min.	40max.	41min.
Plasticity index	6max.	N.P.		10max.	10max.	11min.	11min.
<b>Usual types of significant Constituent materials</b>	Stone fragments, gravel and sand		fine sand,	Silty or clayey gravel and sand			
<b>General rating as subgrade</b>	Excellent to good						

General Classification	Silt-Clay (more than 35% passing No.200)			
	A-7			
Group Classification	A-4	A-5	A-6	A-7-5, A-7-6
<b>Sieve analysis, percent passing</b>				
No.10 (2.0 mm)				
No.40( 0.425mm)				
No. 200(0.075)	36min.	36min.	36min.	36min.
<b>Characteristics of fraction passing</b>				
<b>No.40</b>				
Liquid limit	40max.	41min.	40max.	41min.
Plasticity index	10max	10max.	11min.	11min.
<b>Usual types of significant Constituent materials</b>	Silty soils		Clayey soils	
<b>General rating as subgrade</b>	Fair to poor			

• المجموعة A-1، A-2، A-3: تحتوي على تربة خشنة تكون فيها نسبة المار على المنخل رقم ٢٠٠ أقل من ٣٥٪.

• المجموعة A-4، A-5، A-6، A-7: تحتوي على تربة ناعمة تكون فيها نسبة المار على المنخل رقم ٢٠٠ أكثر من ٣٥٪.

ويستخدم نظام آشتو (AASHTO) بتوسع في مجال الطرق والمطارات والسكك الحديدية.

### ٣-٧ قياس مقاومة التربة

هنالك العديد من الاختبارات العملية والميدانية التي من خلالها يتم التعرف على مدى قوة ومقاومة التربة للإجهاد. ونعني هنا بقوة التربة أي مقدار التماسك والاحتكاك بين حبيباتها. إن مقاومة التربة تتوقف على عوامل كثيرة منها البناء الداخلي للتربة من حيث النسيج الحبيبي والتدرج والكثافة ونسبة الرطوبة إضافة إلى نوعية الأحمال التي تتعرض لها التربة. ومن أهم الاختبارات المستعملة لقياس مقاومة التربة ما يلي:

١. اختبار القص المباشر.

٢. اختبار الضغط الثلاثي.

٣. التحميل النسبي (CBR).

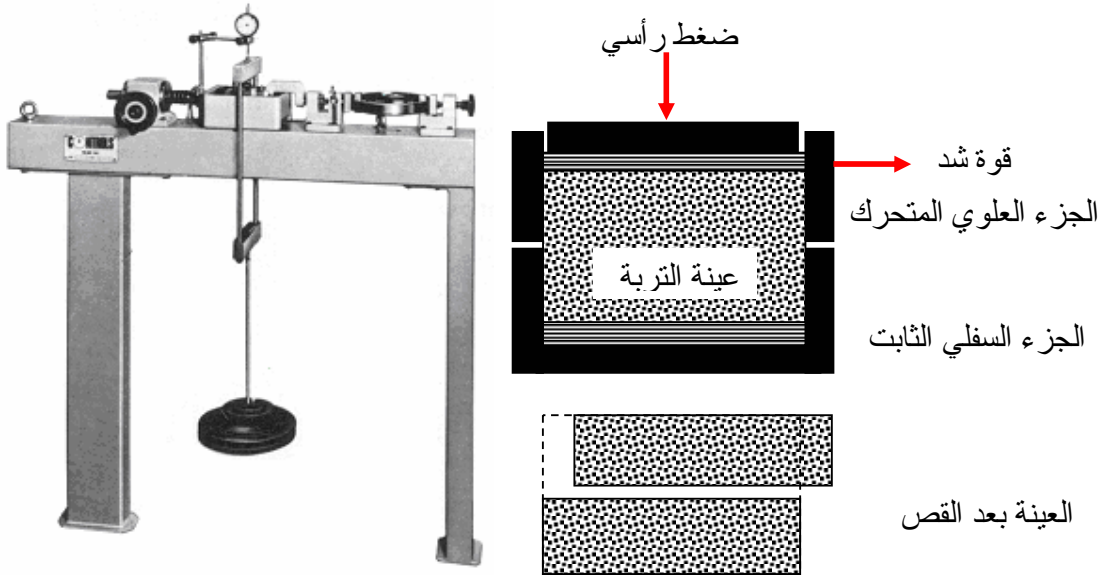
وسنقتصر فيما يلي على عرض هذه التجارب بإيجاز مبسط وأما التفاصيل التي تتعلق بطرق عمل هذه التجارب وتحليل نتائجها فيجب الرجوع إليها في مقررات ميكانيكا التربة.

### ٣-٧-١ اختبار القص المباشر

ويستخدم في هذا الاختبار جهاز القص المبين في الشكل (٦.٣) وهو عبارة عن صندوق مقسوم إلى جزأين أحدهما مثبت والآخر يمكن تحريكه أفقياً. ويكون حجم الصندوق للعينات الصغيرة ٦٠مم X ٦٠مم X ٢٠مم وللعينات الكبيرة ٣٠٠مم X ٣٠٠مم X ١٠٠مم. ولإجراء اختبار القص المباشر يمكن إتباع الخطوات التالية:

- يتم وضع العينة داخل الصندوق.
- يوضع على رأس العينة حمل عمودي ثابت.
- يسحب الجزء العلوي الحر من الصندوق أفقياً إلى أن يحدث انهيار للعينة.

- يتم تسجيل كل من الحمل الرأسي والأفقي ومقدار الإزاحة الأفقية والرأسية.
- تكرر التجربة على عينات أخرى وفي كل مرة يزيد الضغط الرأسي وبالتالي تزيد القوة اللازمة لقص العينة.
- ترسم العلاقة بين قوة القص والضغط الرأسي كما هو مبين في الشكل (٧,٣).



شكل (٦,٣) جهاز القص المباشر.

ويمكن إيجاد قيم التماسك "C" وزاوية الاحتكاك الداخلي "φ" باستخدام معادلة كولوم (Column) إجهاد القص:

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi$$

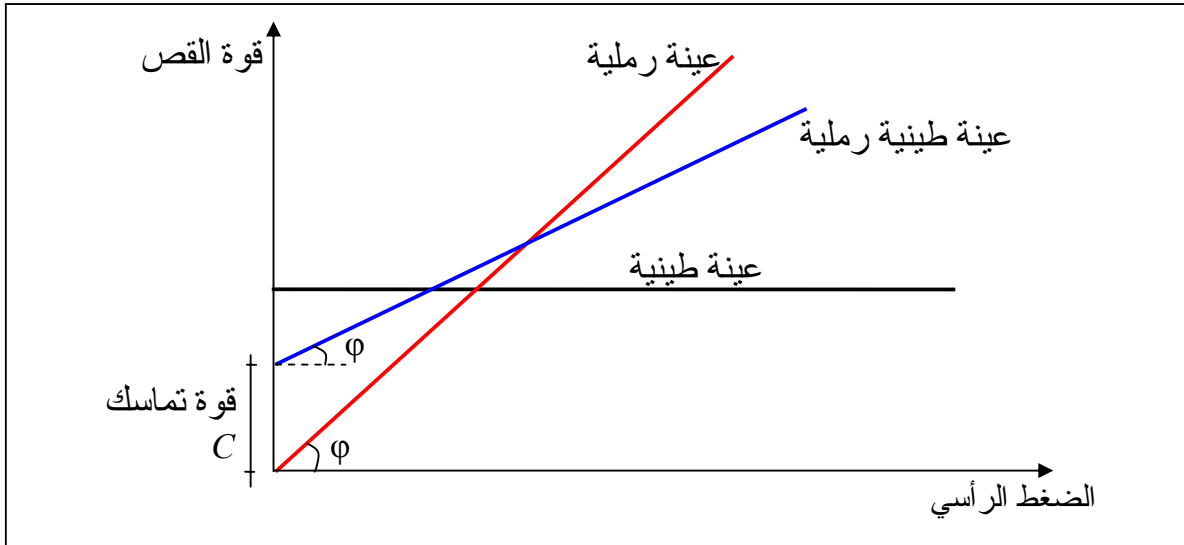
حيث:

τ: إجهاد القص؛

C: التماسك؛

σ: الإجهاد الرأسي؛

φ: زاوية الاحتكاك الداخلي.



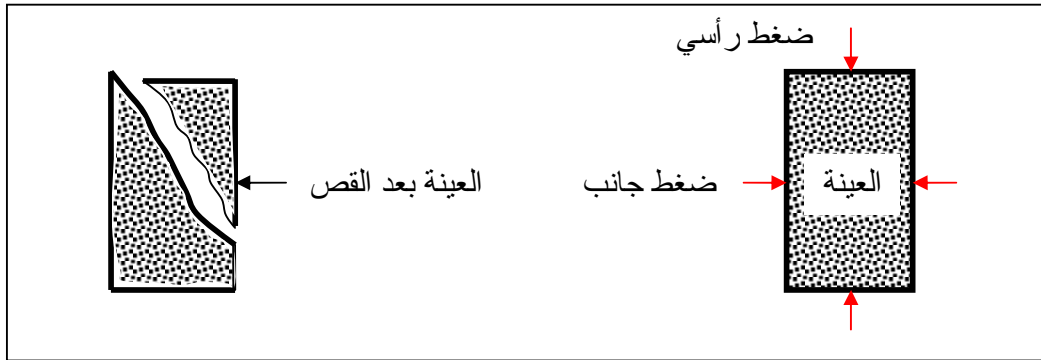
شكل (٧,٣) العلاقة بين قوة القص والضغط الرأسي (اختبار القص المباشر).

### ٣- ٧- ٢- اختبار الضغط الثلاثي

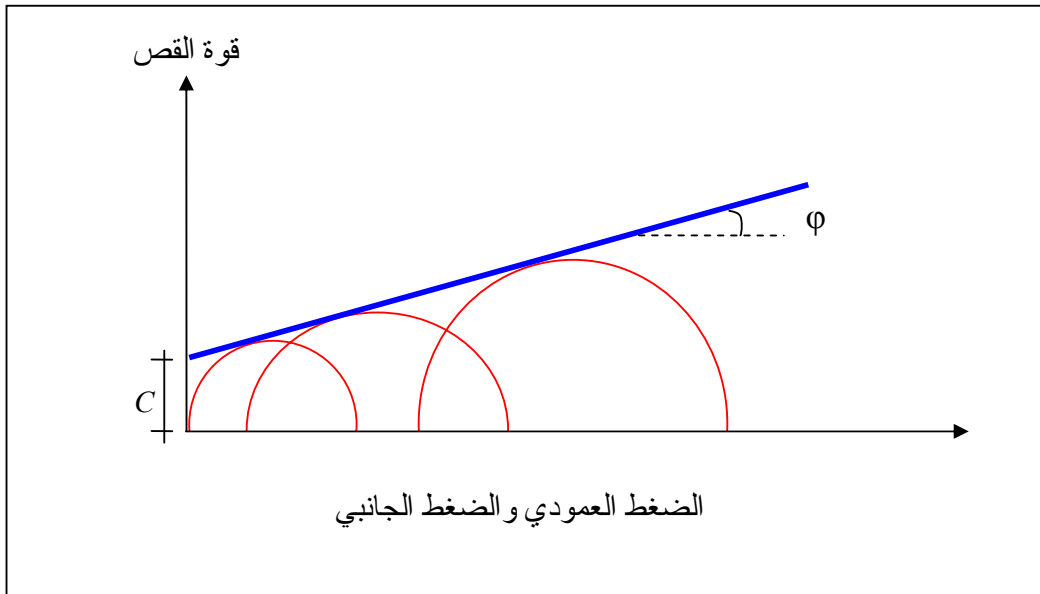
يعد اختبار الضغط الثلاثي من أهم الاختبارات التي تستخدم لتعيين مقاومة التربة للقص لكونه مطابقا لما يحدث للتربة في الطبيعة. ويستخدم لهذا الاختبار جهاز الضغط الثلاثي وهو عبارة عن اسطوانة كبيرة يتم ملؤها بسائل في الداخل ليحاط بالعينة ويضغط عليها من كل الجوانب كما في الشكل (٨,٣). ولإجراء الاختبار يمكن إتباع بما يلي:

- تحضير العينة على شكل اسطواني ثم تغليفها بغلاف مطاطي رقيق.
  - وضع العينة داخل الجهاز وتعريضها لضغط جانبي.
  - تثبيت الضغط الجانبي على مقدار معين ثم تعرض العينة لضغط عمودي ويزداد تدريجيا إلى أن تنهار العينة، ويتم تسجيل الضغط الذي أدى إلى انهيار تلك العينة.
  - تكرار الاختبار على عينات أخرى وفي كل مرة يزيد الضغط الجانبي ويسجل الضغط العمودي الذي يؤدي إلى انهيار العينة.
  - تحليل نتائج الاختبار ورسم دوائر موهر (Mohr circles) ما هو موضح في الشكل (٩,٣).
- ويمكن تحديد قوة التماسك "C" وزاوية الاحتكاك الداخلي "φ" للتربة من العلاقة:

$$\tau = C + \sigma \tan \phi$$



شكل (٨,٣) اختبار الضغط الثلاثي.



شكل (٩,٣) العلاقة بين قوتي القص والضغط الرأسي (اختبار الضغط الثلاثي).

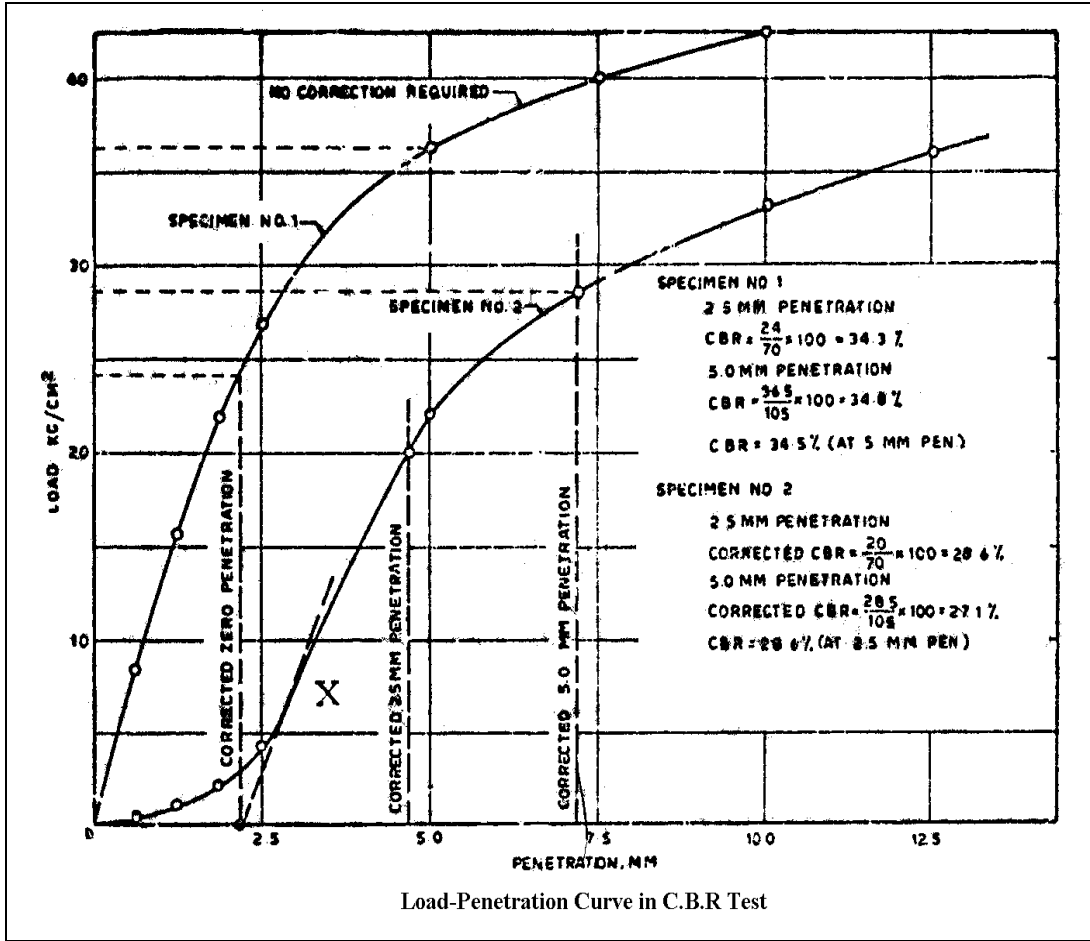
## ٣- ٧- ٣ اختبار التحميل النسبي (CBR)

يعرف هذا الاختبار عموماً باختبار نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR: California Bearing Ratio) نسبة لقسم الطرق بولاية كاليفورنيا الذي استتبته. ويعد من الاختبارات المفضلة التي تستخدم لتصميم طبقات الرصف المرن. ويمكن إجراء الاختبار إما بالمعمل أو بالموقع. وهو عبارة عن إيجاد الحمل اللازم لغرز إبرة (مكبس) ذات قطر معين وبسرعة معينة داخل التربة. ولإجراء الاختبار يمكن إتباع الخطوات التالية:

- دمك عينات من التربة في قالب (قطره ١٥,٢ سم وارتفاعه ١٧,٨ سم) بمطرقة وزن ٤,٥٣ كجم تسقط من ارتفاع ٤٥,٨ سم (شكل رقم (١٠,٣)).
  - حساب الكثافة الجافة لكل عينة واختيار العينة ذات الكثافة الجافة الأعلى.
  - غمر العينة في الماء لمدة أربعة أيام ثم تحميلها بثقل يعادل وزن الرصف المنتظر عليها في المواقع بواسطة قرص دائري.
  - دفع مكبس داخل العينة بمعدل ١,٢٥ مم/د وتسجيل الحمل عند غرز مقداره: ٢,٥، ٥، ٧,٥، ١٠، ١٢,٥ مم (شكل (١٠,٣)).
  - رسم منحني التحميل - الغرز ومقارنته بمنحني ثابت لأحجار مكسرة كأساس قياسي (شكل (١١,٣)).
  - حساب قيمة التحميل النسبي (CBR) عند مقدار اختراق ٢,٥ مم وفي بعض الحالات عند مقدار اختراق ٥ مم كما يلي:
- نسبة كاليفورنيا للتحميل (CBR) (%) = (الحمل المسبب لاختراق ٢,٥ مم للعينة) ÷ (الحمل المسبب لاختراق ٢,٥ مم لعينة الأحجار المكسرة) X ١٠٠



شكل (١٠,٣) جهاز الدمك وجهاز الاختراق المستخدمان في اختبار التحميل النسبي.



شكل (١١,٣) منحنى الغرز لقياس نسبة كاليفورنيا للتحميل.

### ٣- ٨ اختبارات الدمك المعملية

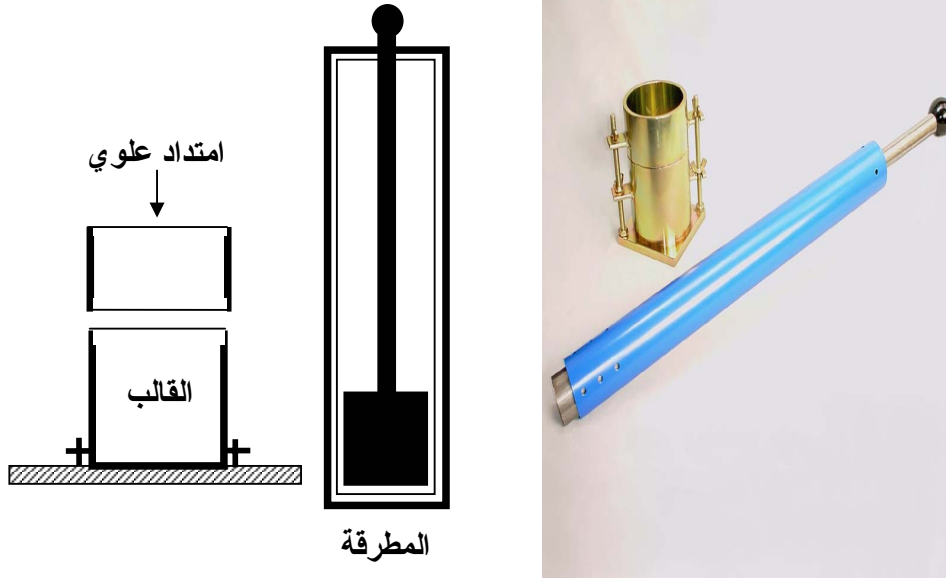
الدمك هو عملية طرد الهواء من فراغات التربة باستخدام وسائل ميكانيكية مختلفة ينتج عنها زيادة في كثافة التربة وقدرة تحملها للإجهاد ونقص في نسبة هبوطها. ويعد الدمك من أهم العمليات التي تستخدم في مجال الطرق لتثبيت تربة الأساس.

وهناك العديد من الاختبارات المعملية التي تعتمد على طريقة ونوع الدمك وتهدف في مجملها إلى إيجاد قياس يكون أساساً لعملية الدمك في الموقع. ومن أهم اختبارات الدمك المعملية اختبار بروكتور القياسي واختبار بروكتور المعدل. وبروكتور هو أول من طور تجارب الدمك وأدخل عليها الأسلوب العلمي. واستنتج بروكتور من خلال أبحاثه المتنوعة في هذا المجال أن درجة دمك التربة تعتمد على الكثافة الجافة والمحتوى المائي والتوزيع الحبيبي للتربة وكذلك على طاقة الدمك المستعملة.



## ٣- ٨- ١ اختبار بروكتور القياسي (Standard Proctor Test)

ويستخدم في هذا الاختبار جهاز بروكتور الموضح في الشكل (١٢,٣).



شكل (١٢,٣) جهاز بروكتور.

ويتكون هذا الجهاز من جزأين رئيسيين هما:

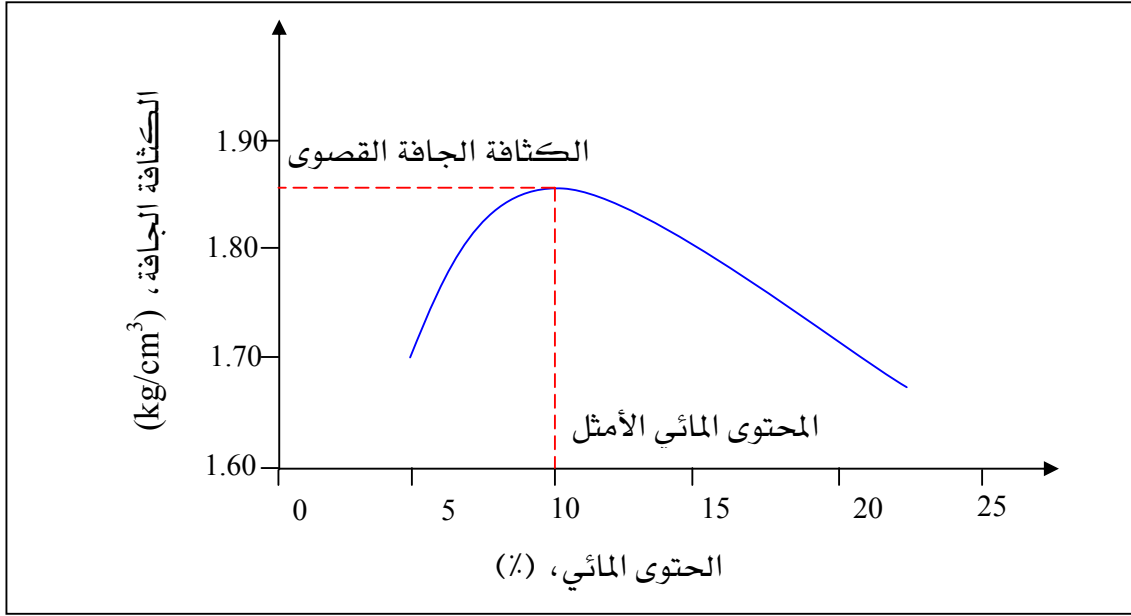
- قالب أسطواني لدمك التربة قطره ١٠,٢ سم وارتفاعه ١١,٦ سم وله امتداد علوي ارتفاعه ٦ سم.
- مطرقة يتم بواسطتها دمك العينة وزنها ٢,٤٩ كجم تسقط من ارتفاع ٣٠,٥ سم.

ولإجراء هذا الاختبار تتبع الخطوات التالية:

- تجفيف عينة التربة المراد دمكها.
- إضافة كمية من الماء إلى التربة حسب نوعها ومحتواها المائي (W).
- وضع العينة في القالب على ثلاث طبقات بحيث تدمك كل طبقة ٢٥ ضربة بواسطة المطرقة.
- وزن العينة وحساب الكثافة الرطبة ( $\gamma_h$ ) لها.

• حساب الكثافة الجافة للعينة ( $\gamma_d$ ) من العلاقة: 
$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{(W + 1)}$$

- تكرار التجربة عدة مرات بزيادة المحتوى المائي في كل مرة للعينات.
- رسم العلاقة بين الكثافة الجافة و المحتوى المائي كما هو موضح في الشكل (١٣,٣).
- ومن العلاقة ( $\gamma_d - W$ ) تعين الكثافة الجافة القصوى والمحتوى المائي الأمثل للتربة.



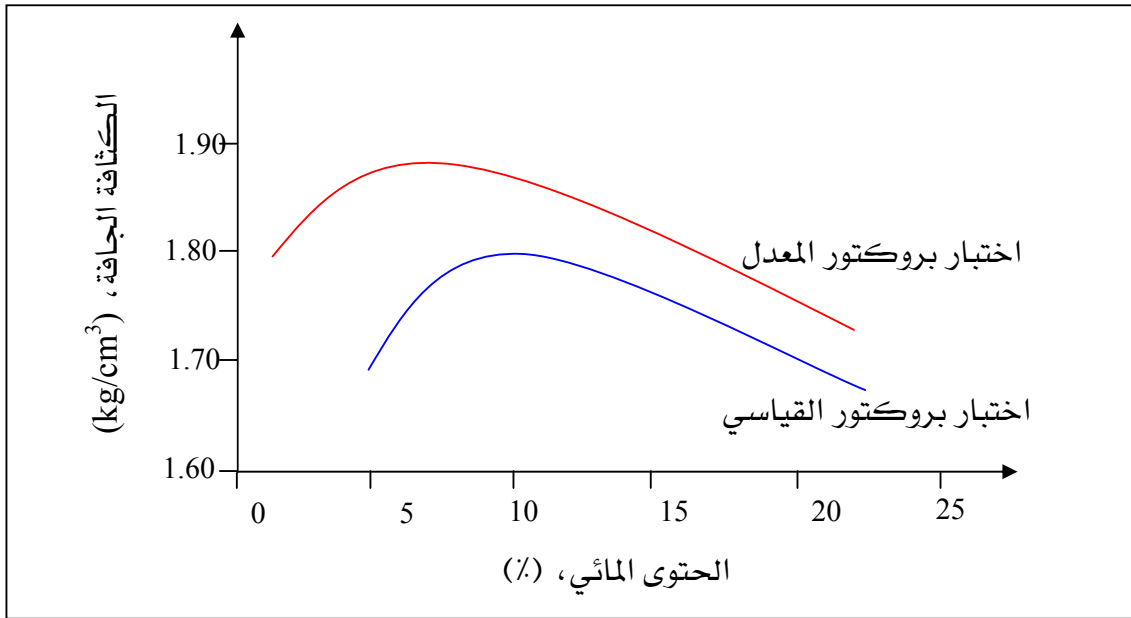
شكل (١٣،٣) نموذج لمنحنى الدمك.

### ٣- ٨- ٢ اختبار بروكتور المعدل (Modified Proctor Test)

مع زيادة حجم المرور وكبر حمولة العربات تبين أن الكثافة الجافة للتربة المحددة عن طريق اختبار بروكتور القياسية لا تعطي المقاومة الكافية لتحمل تلك الأثقال العالية. لذا أحدث الاتحاد الأمريكي لموضفي الطرق الحكومية (AASHTO) تطوراً في مواصفات اختبار بروكتور القياسي للحصول على أعلى كثافة جافة للتربة. وأصبح هذا الاختبار يعرف باختبار بروكتور المعدل و شمل التطورات التالية مقارنة باختبار بروكتور القياسي:

- وزن المطرقة = ٤,٥٤ كجم.
- ارتفاع سقوط المطرقة = ٤٥,٧ سم.
- وضع العينة على ٥ طبقات.

ويتم اختبار بروكتور المعدل بنفس الطريقة التي يتم بها اختبار بروكتور القياسي مع الأخذ بعين الاعتبار دمك العينة على خمس طبقات، ثم ترسم العلاقة بين الكثافة الجافة والمحتوى المائي وتحدد الكثافة الجافة القصوى والمحتوى المائي الأمثل للتربة. ويتضح من الشكل (١٤،٣) أنه كلما زاد جهد الدمك كلما حصلنا على أكبر كثافة جافة للتربة بأقل محتوى رطوبة.



شكل (١٤,٣) مقارنة بين اختباري بروكتور القياسي وبروكتور المعدل.

### ٣- ٩ طرق الدمك في الموقع

يتم تنفيذ دمك التربة في الموقع بأحد المعدات التالية:

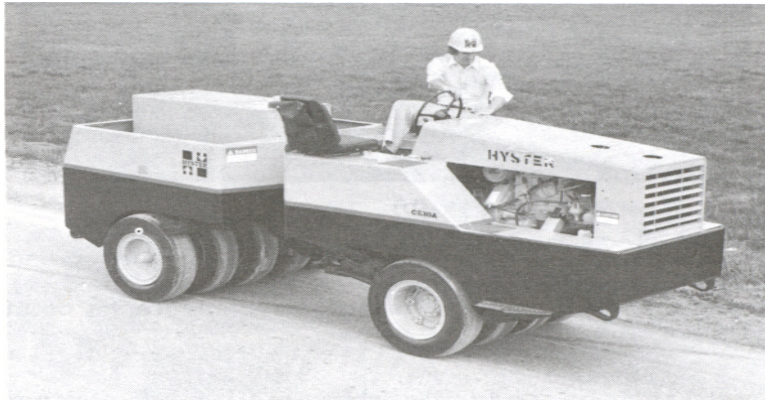
١. الهراسات: هناك العديد من معدات الهرس التي تستخدم لدمك التربة من أهمها:

- هراسات ذات العجلات الفولاذية الملساء (شكل (١٥,٣)): وتعرف أيضا بهراسات العجلات الثلاثة ويوجد منها أوزان مختلفة (من ٨ إلى ١٢ طن) ويفضل استخدامها في دمك التربة المفككة مثل التربة الرملية والزلط بكفاءة أعلى من دمك التربة الطينية المتماسكة. وتستخدم كذلك في نهو السطح العلوي للطبقة بعد دمكها.
- هراسات ذات الإطارات المطاطية (شكل (١٦,٣)): وتتكون من عدة إطارات مطاطية منفوخة ويختلف وزنها فمنها ما هم صغير يستخدم في نهو السطح العلوي ومنها ما هو ثقيل قد يصل وزنه إلى ٢٠٠ طنا يستخدم في دمك التربة الأصلية وطبقات الأساس.
- هراسات أرجل الغنم (شكل (١٧,٣)): وتعرف بهذا الاسم لأنها تتكون من أسطوانات فولاذية مفرغة مركب على سطحها قطع حديدية مختلفة المقاسات يتم الضغط بها على التربة. ويمكن تغيير وزن الأسطوانات بملئها بالماء أو بالرمل. ويستخدم هذا النوع من الهراسات بكفاءة في دمك التربة الطينية ولا يفضل استخدامها في دمك التربة المفككة.

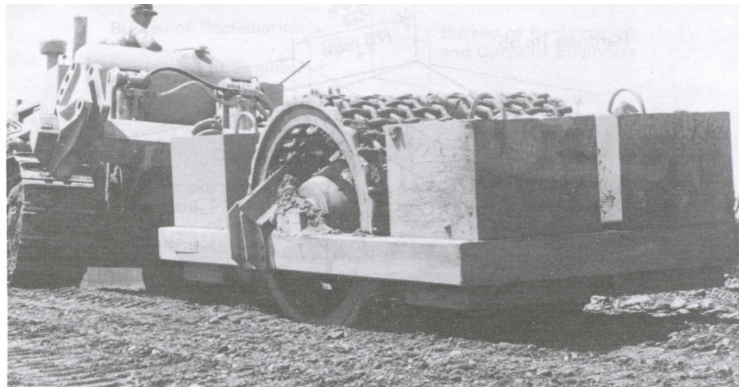
٢. الهزازات اليدوية: وهي معدات صغيرة نسبيا تعمل ذاتيا بمحرك يحدث حركات اهتزازية متكررة على سطح الأرض. وتستخدم عموما في دمك التربة والإسفلت في الأماكن التي لا تتسع للمعدات الكبيرة ويفضل استخدامها في دمك التربة المفككة وفي دمك الأحجار كما في المكادم.



شكل (١٥,٣) نموذج من هراسات ذات العجلات الفولاذية المساء.



شكل (١٦,٣) نموذج من هراسات ذات الإطارات المطاطية.



شكل (١٧,٣) نموذج من هراسات أرجل الغنم.

### ٣- ٩- ١ الحكم على عملية الدمك في الموقع

للحكم على جودة الدمك في الموقع يتم تعيين الكثافة الجافة في الموقع ومقارنتها بالكثافة الجافة القصوى العملية وتتم هذه المقارنة بحساب معامل الدمك من العلاقة التالية:

$$I_{comp} (\%) = \frac{\gamma_d (in - situ)}{\gamma_{d \max}} \cdot 100$$

حيث:

$I_{comp}$ : معامل الدمك (%).

$\gamma_d (in-situ)$ : الكثافة الجافة في الموقع ( $g/cm^3$ ).

$\gamma_{dmax}$ : الكثافة الجافة المعملية القصوى ( $g/cm^3$ ).

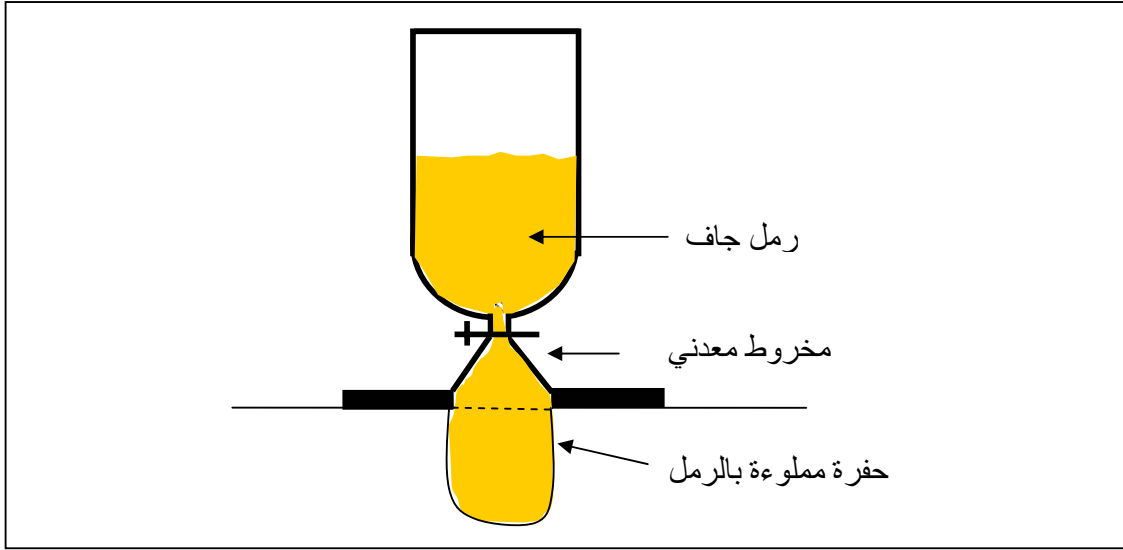
ويعرف معامل الدمك أيضا بدرجة الدمك أو النسبة بين الكثافة الجافة الموقعية إلى الكثافة الجافة القصوى ويكون في أعمال الطرق بين 90% إلى 100%. ويتم قياس الكثافة الجافة الموقعية بإحدى الطرق التالية:

### ٣- ٩- ٢ اختبار قارورة الرمل

تعتمد هذه الطريقة على الحصول على حجم معين من التربة المدموكة وإيجاد وزن هذا الحجم ومنه تعيين الكثافة. ويستخدم في هذا الاختبار قارورة بلاستيكية أو زجاجية مملوءة برمل جاف معلوم الكثافة (من نوع أوتاوا) وملحقة بمخروط معدني كما هو مبين في الشكل (١٨,٣). ولإجراء الاختبار نقوم بالخطوات التالية:

- حفر حفرة متوسطة الحجم في التربة المدموكة واستخراج التربة منها.
- وزن التربة المستخرجة وحساب كثافتها الرطبة ( $h_e$ ) ومحتوى رطوبتها ( $w$ ).
- وضع قارورة الرمل على الحفرة وملئها بالرمل كما هو موضح في الشكل (١٨,٣).
- تعيين حجم التربة المستخرجة من خلال حجم الرمل المعبأ داخل الحفرة.

- حساب الكثافة الجافة للتربة ( $\gamma_d$ ) حيث: 
$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{(w + 1)}$$



شكل (١٨,٣) اختبار قارورة الرمل.

### ٣- ٩- ٣ اختبار الكثافة النووي

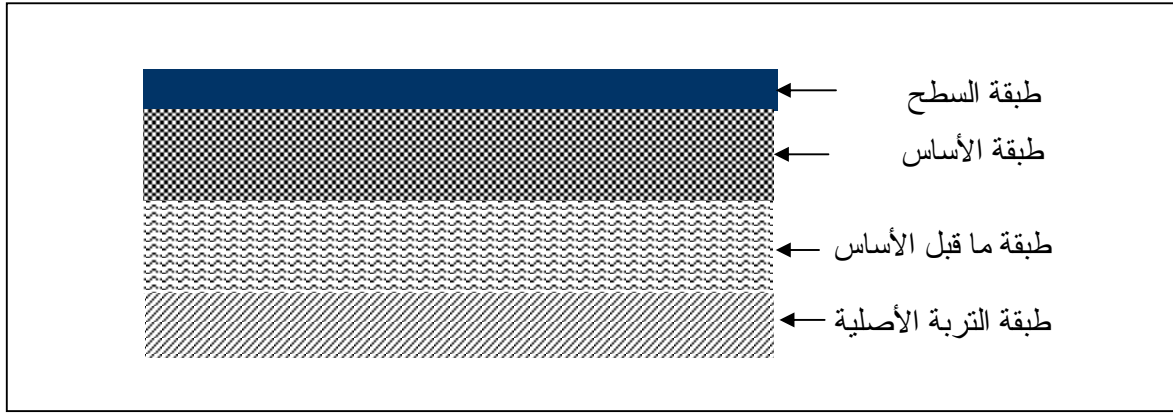
يستخدم في هذا الاختبار جهاز نووي تم تطويره لقياس الكثافة الجافة في الموقع ومحتوى الرطوبة بجميع أنواع التربة. ويوضع هذا الجهاز مباشرة على سطح الأرض فيرسل أشعة جاما عالية السرعة تخترق الطبقات المختلفة للتربة وتحدد كثافتها ومحتوى الرطوبة في كل طبقة.

### ٣- ١٠- ٣ طبقات الرصف السفلى

يتكون هيكل الطريق من عدة طبقات يختلف سمكها وعددها باختلاف حجم المرور ونوع الرصف سواء كان صلبا أم مرنا. ويتكون الرصف المرن عموما من عدة طبقات متسلسلة كما هو موضح في الشكل (١٩,٣) من حيث المقاومة من أعلى إلى أسفل وتسمى الطبقة العليا بالسطح وهي الأقوى والأمتن وتليها طبقة الأساس ثم طبقة ما تحت الأساس الموضوعه مباشرة على التربة الأصلية. وتقوم كل طبقة بحمل الثقل ونقله إلى الطبقة التي أسفل منها.

### ٣- ١٠- ١- طبقة التربة الأصلية

وهي طبقة الأرض الطبيعية التي يتم وضع طبقات الرصف عليها بعد تمهيدها وتسويتها. وتعتبر التربة الأصلية الأساس الحقيقي لجسم الطريق حيث أنها القاعدة الأساسية التي تتركز عليها جميع طبقات الرصف.



شكل (١٩,٣) مقطع لجسم الطريق يبين طبقات الرصف المختلفة

## ٣- ١٠- ٢- طبقة الأساس

وهي الطبقة التي يرتكز عليها سطح الطريق وتتولى بشكل رئيسي نقل وتوزيع الأحمال الناتجة عن المرور إلى الطبقات السفلة. كما أنها تساعد على حماية سطح الطريق من الخراب الناتج عن انتفاخ وهبوط التربة الأصلية وعن تسرب المياه الجوفية. لذا يجب أن تتمتع هذه الطبقة بخواص جيدة من حيث المتانة والمقاومة وكلما زاد الترابط والاحتكاك بين حبيباتها كلما زادت قوة تحملها ومقدرتها على توزيع الأثقال. ولكي يتحقق هذا بشكل جيد يشترط في طبقة الأساس المواصفات التالية:

- أن تحتوي على تدرج حبيبي جيد؛
- أن لا تحتوي على المواد الناعمة والمواد اللينة الزائدة على الحد؛
- أن لا يتجاوز حد الميوعة فيها ٢٥٪ ومعامل اللدونة ٦٪؛
- أن لا تزيد نسبة المار من المنخل رقم ٢٠٠ على ١٠٪؛
- أن لا تتجاوز نسبة التآكل للحبيبات على ٥٠٪؛
- أن تدمك دمكاً جيداً.

## ٣- ١٠- ٣- طبقة ما تحت الأساس

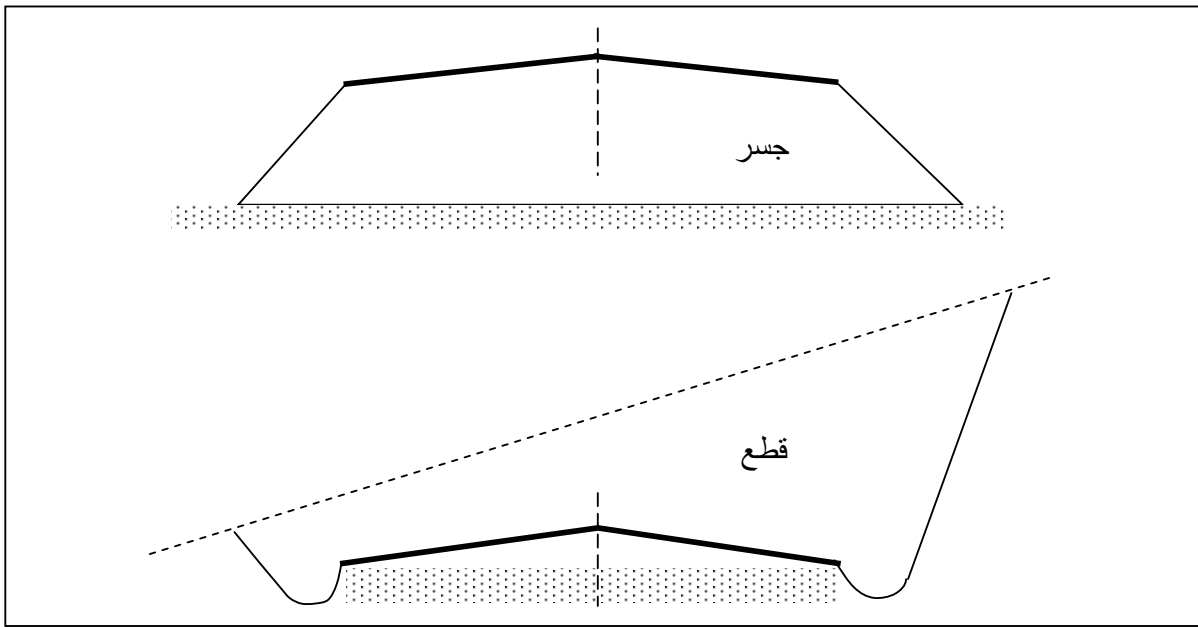
وهي الطبقة التي توضع بين الأساس والتربة الأصلية وتتكون عموماً من مواد ذات خواص ومواصفات أقل جودة من مواد الأساس وأعلى جودة من التربة الأصلية. وتساعد هذه الطبقة على تقوية التربة الأصلية وعلى نقل الأحمال إليها وكذلك على حماية طبقة الأساس من تدفق المياه الجوفية إليها. ويشترط في طبقة الأساس المواصفات التالية:

- أن تكون نسبة المواد الناعمة والمواد اللينة فيها قليلة.
- أن تحتوي على تدرج حبيبي مناسب بحيث تبقى مستقرة.

- أن لا يتجاوز حد الميوعة فيها ٢٥٪ ومعامل اللدونة ٦٪.
- أن لا تتجاوز نسبة التآكل للحبيبات فيها على ٥٠٪.

### ٣- ١١ الجسور والقطوع

يمكن تعريف الجسور على أنها تلك القطاعات التي تتكون من تربة الردم لرفع مستواها إلى منسوب الأساس، وأما القطوع فهي تلك المواقع التي يتم حفرها من أجل خفض مستواها إلى مستوى منسوب سطح أساس الطريق كما هو موضح في الشكل (٣،٢٠).



شكل (٣،٢٠) نموذج لقطاع عرضي لجسر وقطع.

وتنشأ الجسور عموماً من مادة الردم المحصل عليها من عملية الحفر في المناطق السابقة أو اللاحقة أو من التربة المنقولة من مواقع أخرى. ولضمان ثبات واستقرار الجسر يشترط في مادة الردم أن تتمتع بقوة تماسك وقوة احتكاك بين حبيباتها وبقلة قابليتها للانضغاط. ولكي يتحقق ذلك يجب إنشاء الجسر على طبقات رقيقة نسبياً يتم دمك كل واحدة منها دمكاً جيداً عند نسبة الرطوبة المثالية للحصول على درجة عالية من التجانس ومن الكثافة القصوى للتربة مما يحقق ثبات الجسر وعدم تعرضه للانزلاق. وتتوقف الميول الجانبية للجسر على الخواص الهندسية لمواد الردم المنشأ منها ويمكن أخذها ٢:٣ (أفقي: رأسي) بالنسبة للجسور التي يصل ارتفاعها إلى ٦ أمتار. وأما القطوع فتجهز بمجاري لتصريف مياه الأمطار الساقطة على الميول وعلى سطح الطريق. ويفضل أن لا يقل عمق هذه المصارف على ٥٠ سم وعرضها على ٦٠ سم.





## تقنيات الطرق

الرصف

الرصف

٤

**الجدارة:**

يدرس الطالب في هذا الفصل أنواع الرصف المستخدمة في إنشاء الطرق ومميزاتها وطرق تصميمها وكيفية تنفيذها ، كما يتعرف على المواد البتيومينية وخواصها والخلطات الإسفلتية ومواصفاتها.

**الأهداف:**

عند الانتهاء من هذا الفصل يكون الطالب قادراً على:

- معرفة خواص ومميزات الرصف المرن والرصف الصلب.
- كيفية تصميم الرصف المرن والرصف الصلب.
- معرفة أنواع وخواص المواد البتيومينية المستخدمة في إنشاء الرصف المرن.
- معرفة مواصفات وخواص المواد المكونة للخلطات الإسفلتية.

**مستوى الأداء المطلوب:** إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ١٠٠٪.

**الوقت المتوقع لإنهاء هذا الفصل:** ٨ ساعات

**متطلبات الجدارة:**

معرفة ما سبق دراسته في الفصول السابقة خاصة فصل أسس التصميم الهندسي للطرق وفصل تربة الأساس.

## ٤- ١ مقدمة

يتم تحضير السطح الترابي للطريق وتحسين خواص التربة الطبيعية بدمكها دمكا جيدا لأقصى كثافة عند كمية الماء المثالية أو تثبيتها بإضافة مواد مثبته إذا تطلب الأمر ذلك لتقويتها وجعلها منتظمة. وبعد تحضير سطح الطريق الترابي توضع طبقة أو طبقات فوق هذا السطح تعرف بالرصيف. ويكمن الغرض من وضع طبقات الرصيف في تحمل كل الإجهادات الناتجة من حركة المرور ونقلها إلى طبقة التربة التي تعتبر الأساس الحقيقي للطريق. وتصميم طبقات الرصيف بحيث تكون قادرة على تحمل ثقل العربات وتوصيل الثقل إلى السطح الترابي بشكل لا يسبب أي هبوط أو انهيار للطريق.

## ٤- ٢ أنواع الرصيف المختلفة

ينقسم الرصيف إلى نوعان رئيسيين هما:

١. الرصيف المرن (Flexible Pavement)

٢. الرصيف الصلب (Rigid Pavement)

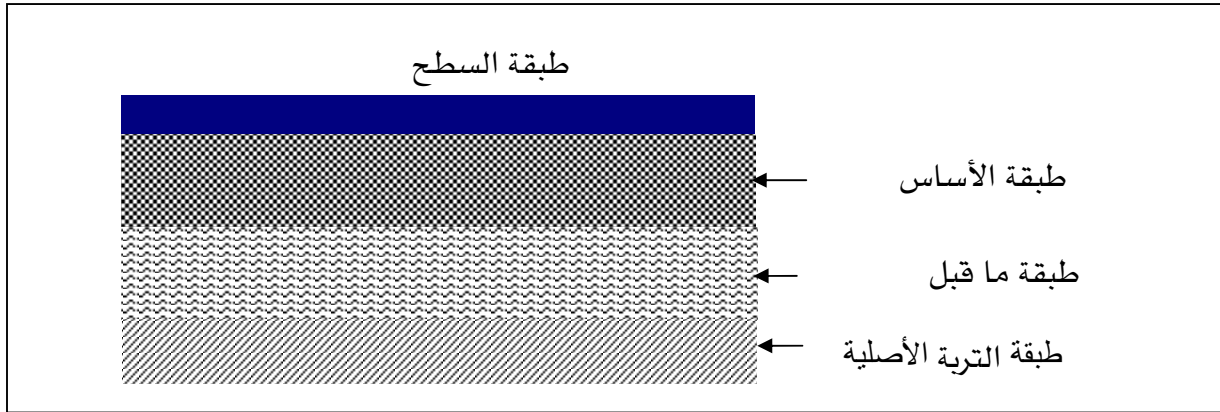
ولكل نوع خواصه ومميزاته وسلبياته ومجال تطبيقه.

## ٤- ٢- ١ الرصيف المرن

يعد هذا النوع من الرصيف الأكثر استخداماً ويطلق عليه أيضاً الرصيف الإسفلتي وهو الرصيف بالإسفلت والمكادم، حيث يتكون جسم الطريق من عدة طبقات توضع على سطح الأرض الطبيعية الواحدة فوق الأخرى كما هو مبين في الشكل (١،٤) وهي طبقة تحت الأساس وطبقة الأساس والطبقة السطحية.

ويتميز الرصيف المرن بمقاومة قليلة نسبياً ضد الانحناء لهبوط أو لتغيير في شكل التربة الأصلية أو في طبقة الأساس التي يصاحبها تغيراً مماثلاً في طبقة الرصيف.

وتتلخص عملية إنشاء الرصيف المرن في تحضير الأرضية ثم وضع الطبقات وفرشها ودمكها ورش الإسفلت التأسيسي ووضع الخلطة الإسفلتية ودحلقها (شكل (٢،٤)).



شكل (١,٤) طبقات الرصف المختلفة



شكل (٢,٤) عملية إنشاء الرصف المرن.

## ٤- ٢- ٢- الرصف الصلب

ويطلق عليه أيضاً الرصف الخرساني حيث يتكون من بلاطات خرسانية تتراوح سمكها ما بين ١٥ و ٣٠ سم تصب مباشرة على سطح الأرض الطبيعية أو فوق طبقة أساس حصوية. وقد تكون البلاطات الخرسانية مسلحة وقد تكون بدون تسليح وتصب على شكل قطع يتراوح طولها ما بين ٥ و ٣٠ متر في الخرسانة العادية وقد يصل إلى ٣٠٠ متر في الخرسانة المسلحة. ويمتاز الرصف الصلب بمقاومته الكبيرة للانحناء حيث لا يسمح بهبوط السطح الترابي بل ممكن أن يتعرض للتشققات أو الكسر عندما تتعرض التربة الأصلية لتغيرات معتبرة في شكلها. ولإنشاء الرصف الصلب يجب تحضير الأرضية ودمكها جيداً وإزالة المناطق الضيقة ووضع الطوبار الجانبي والفواصل. ثم تصب الخرسانة لنصف السماكة ويوضع حديد التسليح على شكل شبك وتصب باقي الخرسانة ويسوى السطح لتخشينه ومعالجته.

إن الرصيف الصلب هو المناسب للتربة الضعيفة لأنه أقدر على تحمل الاجهادات العالية، في حين يعد الرصيف المرن مناسباً للتربة القوية نوعاً ما. كما أن عمر الرصيف الصلب أكبر من عمر الرصيف الصلب ولذلك فهو يستعمل بكثرة عند الأحمال الثقيلة مثل المطارات والطرق الهامة، ومقاطع الأودية.

#### ٤- ٣- أسس تصميم الرصيف

يتوقف تصميم سمك الرصيف المرن أو الصلب على عاملين رئيسيين هما:

١. حمل العجلة التصميمية.
٢. قوة تحمل المواد المستخدمة في الرصيف والتربة الأصلية.

#### ٤- ٣- ١- حساب حمل العجلة التصميمي

لتحديد حمل العجلة التصميمي يجب حساب أقصى حمل على العجلة والحمل المعادل لعجلة واحدة

كالتالي:

- حساب أقصى حمل على العجلة:

يوضح الشكل (٣،٤) كيفية نقل وتوزيع الحمل من العجلة إلى طبقات الرصيف. وتستخدم معادلة بوسينسك (Boussinesq) لحساب الضغط الرأسي الناتج من حمل موزع توزيعاً منتظماً دائرياً على السطح:

$$\sigma_z = p \left[ 1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \right]$$

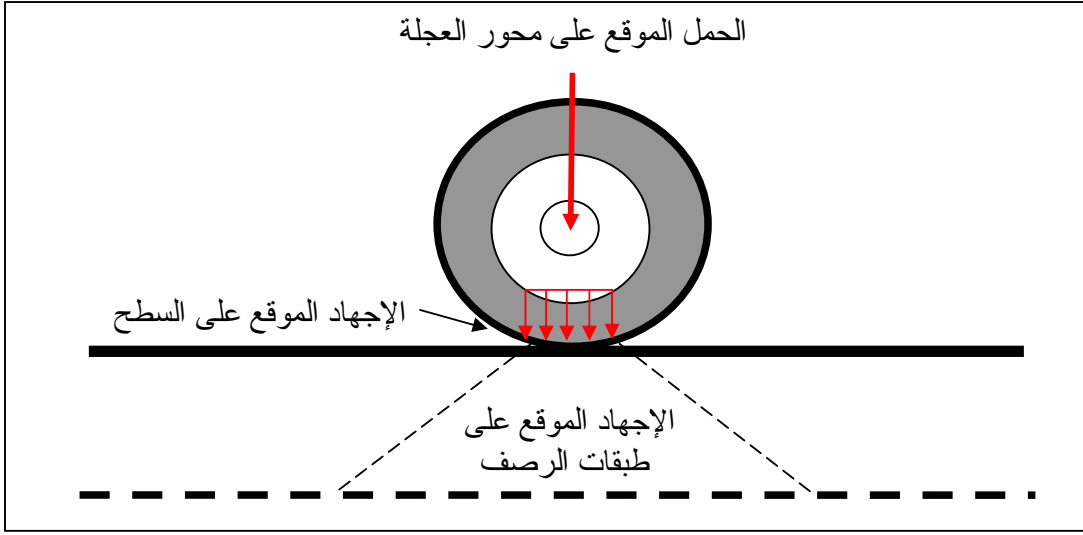
حيث:

$\sigma_z$ : الضغط الرأسي عند عمق  $Z$ .

$p$ : الضغط المنتظم الواقع على السطح.

$Z$ : العمق الذي ستحسب عنده  $\sigma_z$ .

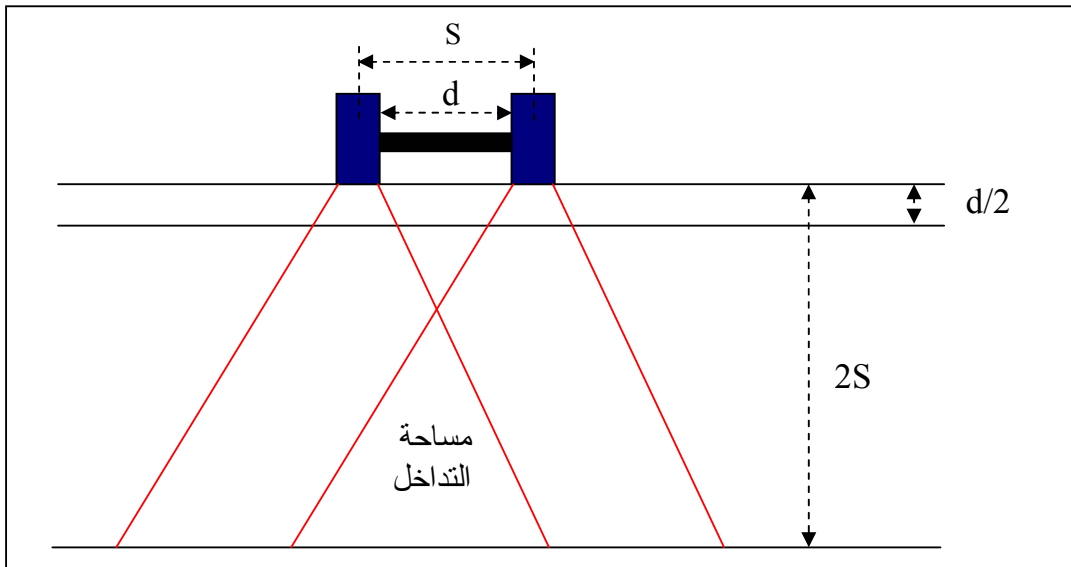
$a$ : نصف قطر المسافة المحملة.



شكل (٣,٤) توزيع الحمل الموقع على العجلة.

- حساب الحمل المعادل لعجلة واحدة

من خلال الشكل (٤,٤) يتضح أنه حتى عمق  $(d/2)$  فإن تأثير كل حمل من أحمال العجل يعمل منفصلا عن الآخر، بعدها يحدث تداخل بين تأثير كل منهما. وعند عمق  $(2S)$  تكون الاجهادات ناتجة من تأثير العجلتين حيث مساحة التداخل كبيرة. وعليه فإن الإجهاد الكلي نتيجة لعجل مزدوج عند أي عمق أكبر من  $(2S)$  يمكن اعتباره معادلا لتأثير عجلة واحدة عليها حمل مضاعف  $(2p)$ .

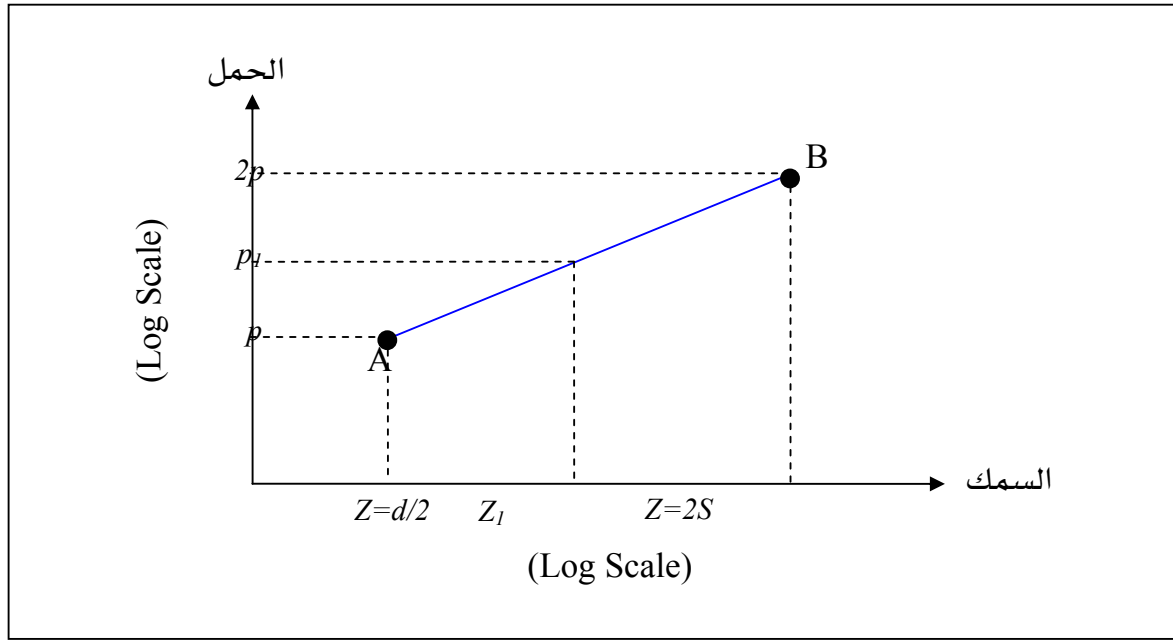


شكل (٤,٤) الإجهادات ناتجة من تأثير العجلتين.

ويتم حساب الحمل المعادل كما هو موضح في الشكل (٤,٥):

- توقيح النقطتين  $A(p, d)$  و  $B(2p, 2S)$  على محاور لوغارتمية تمثل العلاقة بين السمك والحمل.
- يرسم الخط  $AB$ .

عند أي سمك للرصيف يمكن تحديد الحمل المعدل لعجلة واحدة.



شكل (٤,٥) العلاقة بين السمك والحمل.

٤- ٣- ٢- قوة تحمل مواد الرصيف

لمعرفة قوة تحمل مواد الرصيف يتم تحديد قيمة هبوط هذه المواد عند توقيح الحمل عليها. وقد

أعطى بوسينسك المعادلة التالية لحساب الهبوط الرأسي عند مركز قرص محمل على سطح ما:

$$\Delta = \frac{1.5 pa}{E_s}$$

حيث:

$\Delta$ : قيمة الهبوط.

$p$ : وحدة الضغط المنتظم على القرص المحمل.

$a$ : نصف قطر القرص.

$E_s$ : معامل مرونة التربة.

## ٤- ٤ طرق تصميم الرصيف المرن

## ٤- ٤- ١ طريق التحميل النسبي لكاليفورنيا (CBR)

قد سبق شرح هذه الطريقة وتطبيقها في مجال تربة الأساس. وهناك طرق تصميم تعتمد أساساً على قيم (CBR) لحساب سمك طبقات الرصيف المختلفة. ويوضح الشكل (٤,٦) العلاقة بين قيم (CBR) وسمك الرصيف. ويمكن استخدام المعادلة التجريبية التالية لتحديد سمك الرصيف للأحمال المختلفة:

$$t = \sqrt{P} \left[ \frac{1.75}{CBR} - \frac{1}{\pi p} \right]^{1/2}$$

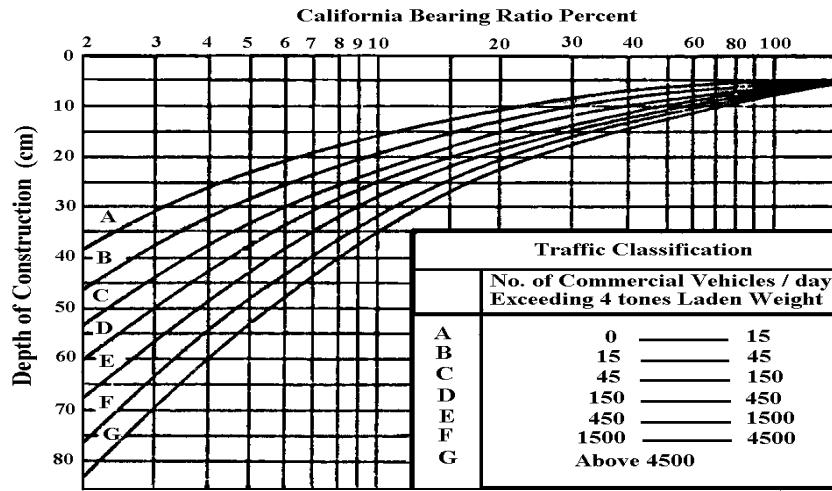
حيث:

$t$ : سمك طبقة الرصيف (متر)،

$P$ : الحمل على العجلة (كجم).

$p$ : ضغط العجلة (كجم/سم<sup>٢</sup>).

$A$ : مساحة التماس (سم<sup>٢</sup>).



C.B.R Design Chart

شكل (٤,٦) العلاقة بين قيم (CBR) وسمك الرصيف

مثال:

أحسب السمك الكلي لرصيف مرن علماً أن:

-  $CBR$  للتربة الأصلية = ٥٪

-  $P = ٤٠٨٢$  كجم

-  $p = ٧$  كجم/سم<sup>٢</sup>



الحل:

(أ) باستخدام المنحنى:

عند  $CBR = 5\%$  وحمل العجل =  $4082$  كجم فإن سمك الرصيف =  $38$  سم

(ب) باستخدام المعادلة:

$$t = \sqrt{P} \left[ \frac{1.75}{CBR} - \frac{1}{\pi p} \right]^{1/2}$$

$$t = \sqrt{4082} \left[ \frac{1.75}{5} - \frac{1}{(3.14).(7)} \right] = 35.5 \text{ cm}$$

٤- ٢- طريقة قيمة المقاومة لكاليفورنيا

يمكن استخدام المعادلة التالية لحساب سمك الرصيف:

$$T = \frac{k(T_1)(90 - R)}{C^{1/5}}$$

حيث:

 $T$ : السمك الكلي للرصيف (سم). $k$ : ثابت عددي = 0.166 $T_1$ : معامل المرور. $C$ : قيمة التماسك لمواد الرصيف (جم/سم<sup>٢</sup>) $R$ : قيمة مقاومة الستابيلوميتر (Stabilometer) للتربة الأصلية.ويمكن الحصول على قيم  $T_1$  باستخدام العلاقة التجريبية التالية:

$$T_1 = 1.35 (EWL)^{0.11}$$

حيث:

 $EWL$ : حمل العجل المعدل = عدد المحاور × ثابت حمل العجل المعدل

والجدول (٤، ١) يعطي قيم الثوابت المقابلة لعدد المحاور.

جدول (١,٤) قيم ثوابت حمل العجل المعادل.

ثوابت حمل العجل المعادل (على أساس سنوي)	عدد المحاور
٣٣٠	٢
١٠٧٠	٣
٢٤٦٠	٤
٤٦٢٠	٥
٣٠٤٠	٦

#### ٤- ٥ تصميم الرصيف الصلب

ويشمل تصميم البلاطة الخرسانية المكونة للرصيف الصلب، ويتم ذلك بحساب سمكها ومقدرة تحملها لأثقال المارة والتي تتوقف أساسا على مدى صلابة الرصيف. وقد اعتبر وسترجارد (Westergard) البلاطة الخرسانية كلوح رقيق مرن محمل على التربة الأصلية وفي هذه الحالة فإن رد الفعل إلى الأعلى يتناسب مع الهبوط:

$$K = \frac{P}{\Delta}$$

حيث:

$\Delta$ : قيمة هبوط البلاطة الخرسانية وتؤخذ 0.125 عند حساب  $K$ .

$K$ : معامل رد فعل التربة (كجم/سم<sup>٣</sup>).

$p$ : الضغط الموقع على البلاطة الخرسانية (كجم/سم<sup>٢</sup>).

ويتوقف هبوط البلاطة الخرسانية على مدى قوة تحملها ومقاومتها للانحناء وكذلك على مدى مقاومة التربة الأصلية المحملة عليها. وقد عرف وسترجارد الصلابة النسبية بين البلاطة والتربة الأصلية بنصف قطر التصلب النسبي الذي يحسب عن طريق العلاقة التالية:

$$l = \left[ \frac{Eh^3}{12(1-u^2)K} \right]^{1/4}$$

حيث:

 $l$ : نصف قطر التصلب النسبي (سم) (Radius of Relative Stiffness). $E$ : معامل المرونة للخرسانة الإسمنتية (كجم/سم<sup>٢</sup>). $u$ : نسبة بواسون للخرسانة (Poisson's Ratio) = 0.15 $h$ : سمك البلاطة (سم). $K$ : معامل رد فعل التربة (كجم/سم<sup>٢</sup>).

مثال:

أحسب نصف قطر التصلب النسبي لبلاطة من الخرسانة سمكها ٢٠ سم علماً أن:

 $E$  للخرسانة الإسمنتية = ٢١٠٠٠٠٠ كجم/سم<sup>٢</sup>. $u = 0.15$  $K = ٢$  كجم/سم<sup>٢</sup>

الحل:

$$l = \left[ \frac{Eh^3}{12(1-u^2)K} \right]^{1/4} = \left[ \frac{(210000) \times (20)^3}{12(1-0.15^2).2} \right]^{1/4} = 92 \text{ cm}$$

٤- ٥- ١ حساب الإجهاد على البلاطة

تستخدم معادلات وسترجراد (Westergard) التجريبية لحساب الإجهاد الأقصى في ثلاث مواقع

أساسية على البلاطة وهي:

١. الإجهاد داخل البلاطة:

$$S_i = \frac{0.316P}{h^2} \left[ 4 \log_{10} \left( \frac{l}{b} \right) + 1.069 \right]$$

٢. الإجهاد عند الحافة:

$$S_e = \frac{0.316P}{h^2} \left[ 4 \log_{10} \left( \frac{l}{b} \right) + 0.359 \right]$$

٣. الإجهاد عند الركن:

$$S_c = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right]$$

حيث:

$S_c, S_e, S_s$ : الإجهاد الأقصى داخل البلاطة، عند الحافة وعند الركن على التوالي (كجم/سم<sup>٢</sup>).

$h$ : سمك البلاطة (سم).

$P$ : الحمل على العجلة (كجم).

$a$ : نصف قطر مساحة توزيع الحمل من العجلة (سم).

$l$ : نصف قطر التصلب النسبي (سم).

$b$ : نصف قطر القطاع المقوم (سم).

ويحسب نصف قطر القطاع المقاوم باستخدام المعادلة التالية:

$$b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h$$

ولحساب سمك البلاطة يوصي معهد الخرسانة الأمريكي باستخدام معادلة بيكت (Pikett) للحمل

الواقع عند الركن:

$$S_c = \frac{4.2P}{h^2} \left[ 1 - \frac{\sqrt{\frac{a}{l}}}{0.925 + 0.22 \frac{a}{l}} \right]$$

مثال:

أحسب الإجهادات الناشئة في بلاطة خرسانية نتيجة أحمال العجل باستخدام معادلات وسترجراد علما أن:

- الحمل على العجل  $P = 4080$  كجم

- معامل المرونة للخرسانة الإسمنتية  $E = 210000$  كجم/سم<sup>٢</sup>

- سمك الرصيف  $h = 20$  سم

- نسبة بواسون للخرسانة  $u = 0.15$

- معامل رد فعل التربة  $K = 2$  كجم/سم<sup>٣</sup>

- نصف قطر مساحة التماس  $a = 15$  سم

الحل:

- حساب نصف قطر التصلب النسبي:

$$l = \left[ \frac{Eh^3}{12(1-u^2)K} \right]^{1/4} = \left[ \frac{(210000) \times (20)^3}{12(1-0.15^2) \times 2} \right]^{1/4} = 92cm$$

- حساب نصف قطر القطاع المقاوم:

$$b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h$$

$$= \sqrt{1.6 \times (15)^2 \times (20)^2} - 0.675 \times 20 = 71.35cm$$

- حساب الإجهاد الأقصى داخل البلاطة:

$$S_i = \frac{0.316P}{h^2} \left[ 4 \log_{10} \left( \frac{l}{b} \right) + 1.069 \right]$$

$$= \frac{0.316 \times 4080}{20^2} \left[ 4 \times \log_{10} \left( \frac{92}{71.35} \right) + 1.069 \right]$$

$$= 1.94kg/cm^2$$

- حساب الإجهاد الأقصى عند الحافة:

$$S_e = \frac{0.572P}{h^2} \left[ 4 \log_{10} \left( \frac{l}{b} \right) + 0.359 \right]$$

$$= \frac{0.572 \times 4080}{20^2} \left[ 4 \times \log_{10} \left( \frac{92}{71.35} \right) + 0.359 \right]$$

$$= 4.67kg/cm^2$$

- حساب الإجهاد الأقصى عند الركن:

$$S_c = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right]$$

$$= \frac{3 \times 4080}{20^2} \left[ 1 - \left( \frac{15\sqrt{2}}{92} \right)^{0.6} \right]$$

$$= 23.54 \text{ kg / cm}^2$$

#### ٤- ٦ المواد البتيومينية وخواصها

يتكون الرصيف الإسفلتي من تركيبات من الركام والمواد البتيومينية. والبتيومين هو مادة كربوهيدراتية لاصقة مركبة من الهيدروجين والكربون لونه أسود ويصبح سائل إذا تم تسخينه. وتستعمل المواد البتيومينية عموماً في أعمال السفلتة إما برشها على السطح المراد سفلتة وإما بخلطها بالركام والرمل في خلطات خاصة ثم فرشها على شكل طبقات. كما يستعمل البتيومين كطبقة عازلة لمنع تسرب الماء ونفاذه. ويتم الحصول على البتيومين إما من البترول الخام بطريقة التقطير بالتخلخل وإما من مصادر طبيعية مثل بحيرات الإسفلت الصخري.

#### ٤- ٦- ١ البتيومينات الصلبة

ويكون قوامها شبه صلب وتتكون بعد تقطيرها تحت ضغط تفريغي عالي لطرد الزيوت الثقيلة منها فتتحول إلى حالة صلبة. وتستخدم البتيومينات الصلبة في إنشاء طبقات الرصيف المصممة للأحمال العالية وفي المناطق الباردة في نفس الوقت. ولا يمكن استعمال هذه البتيومينات إلا بعد تسخينها على درجة حرارة عالية نسبياً.

#### ٤- ٦- ٢ البتيومينات السائلة

يتم الحصول على البتيومينات السائلة بإضافة مذيبات مثل البنزين إلى البتيومينات الصلبة في درجة حرارة تتراوح بين ١٥٠ و ٢٠٠ درجة مئوية. وتتفاوت درجة حرارة غليان هذا الإسفلت بين ١٢٠ و ١٤٠ درجة مئوية. ومن الطبيعي أنه كلما انخفضت الحرارة وزاد الزمن كلما كان البتيومين أكثر قساوة أو أقل سيولة ولذلك تعطى أرقاماً (تبدأ بسبعين وتصل إلى ثلاثة آلاف) للتعريف بدرجة سيولة البتيومين وتكتب كما يلي: MC-70, RC-300, SC-200. وتعني الرموز السابقة للأرقام ما يلي:

- RC: سريع الجفاف - MC: متوسط الجفاف - SC: بطيء الجفاف

فالعبارة RC-300 تعني إسفلت سريع الجفاف ذو درجة لزوجة تساوي ٣٠٠. وتستعمل البتيومينات السائلة في الخلطات الباردة وفي الرش على سطح الطريق وعلى طبقة الأساس وفي أعمال إعادة إكساء الطرق القديمة.

#### ٤- ٦- ٣ البتيومين المائي (المستحلب)

ويتألف من إسفلت عائم بالماء مع وجود مواد صابونية ويوضع في خلط خاص لخلطه مع الماء تحت درجة حرارة تتراوح بين ١٠٠ و ١٣٠ درجة مئوية. ويفضل استعمال هذا النوع من البتيومين في الأيام الماطرة وفي الطقس البارد وعلى الأرض الرطبة.

#### ٤- ٦- ٥ البتيومين المنفوخ

ويتم الحصول عليه بنفخ الهواء في مادة الإسفلت الساخن. وهذا النوع يعطي درجة عالية من الطراوة إذا ما قورن بالإسفلت الناتج من عملية التقطير وهو مناسب لتبطين الأسقف ولا يستعمل في أعمال الطرق.

#### ٤- ٦- ٥ قار الطرق

ويتم الحصول عليه من التقطير الاتلافي للفحم أو الغاز بإحدى الطرق التالية:

- قار فحم الكوك: وهو قار كاربوني يتم الحصول عليه في أثناء تصنيع فحم الكوك من الفحم البتيوميني.
  - قار من غاز الاستصباح: وهو قار كاربوني يتم الحصول عليه في أثناء تصنيع غاز الاستصباح من الفحم البتيوميني.
  - قار الغاز المائي: وهو قار يتم الحصول عليه بتعريض أبخرة الزيت لضغط عال في درجات الحرارة العالية في أثناء تصنيع مزيج الغاز المائي المكر بن.
- وتتوقف خصائص القار على خصائص الفحم أو الزيت المشتق منه وعلى درجة الحرارة التي يكون عليها، وقد يكون في حالة نصف الصلب أو في حالة سائل كما هو الشأن بالنسبة للإسفلت البترولي.

#### ٤- ٧ التجارب الواجب إجراؤها على البتيومين

تجرى على البتيومين تجارب عديدة حددتها هيئة أشتو من أهمها:

- تجربة معرفة مكونات البتيومين؛
- تجربة الوزن النوعي؛
- تجربة المحتوى المائي؛
- تجربة اللبونة والسيولة؛
- تجربة الفرز؛
- تجربة تحديد نقطة الطراوة؛
- تجربة المط أو المرونة؛
- تجربة اللزوجة؛
- تجربة تعيين درجة الاشتعال.

#### ٤- ٨ الخلطات الإسفلتية ومواصفاتها

إن وجود أنواع مختلفة من المواد البتيومينية يعطي مرونة في استعمالها للعمل المناسب حيث يمكن اختيار البتيومين الذي يتناسب مع حجم المرور ونوع الطريق والسطح والطقس ونوع الركام المستخدم. ويجب أن تكون نسب الخليط المستخدم بين الركام والإسفلت محددة حسب المواصفات وذلك على النحو التالي:

- الركام الإجمالي: من ٩٣ إلى ٩٦ %
- المادة الرابطة: من ٤ إلى ٧ %

وقبل البدء بعملية الرصف يجب التأكد من مواصفات جميع المواد المكونة للخلطة الإسفلتية. فيجب أولاً طلب البتيومين المناسب وإعداد ما يلزم لنقله وتوزيعه وكذلك جلب الركام المطلوب وتوفير الرمل اللازم وتحليله للتأكد من صلاحيته لأعمال الرصف.

#### ٤- ٩ أنواع الركام

##### ٤- ٩- ١ الركام الناتج من كسر الأحجار

وهو الناتج من كسر الأحجار بالكسارات التي تطحن الحجر الطري بشكل أسرع من الحجر القاسي. ومن الملاحظ أن معظم الركام المكسر هو من الحجر الجيري الذي لا يتجاوز وزنه النوعي ٢.٥ و يكون ضعيفاً نسبياً، مدبب الرؤوس، خشن السطوح، عالي الامتصاص للماء، وبأشكال مكعبة ومبسطة.



## ٤- ٩- ٢- ركام الوديان

يتواجد هذا النوع من الركام في الوديان، حيث تكون المياه والرياح والثلوج والتقلبات الجوية قد فتت الصخور وقامت بنقلها إلى المناطق المستوية وجعلها على شكل ترسبات. وهذا الركام يكون مستديرا وأملس السطح وليس له رؤوس مدببة وقويا نسبيا.

## ٤- ٩- ٣- الرمل

يتواجد الرمل في عدة مناطق على شكل كتل ويتم استخراج ونقله بعد تفتيت هذه الكتل.

## ٤- ١٠- اختيار الركام

يتواجد الركام بأشكال متعددة منها المكعب والمستطيل والمستدير ومنها ما يكون سطوحه خشنة ومنها ما يكون سطوحه ملساء ناعمة. وكلما كبر حجم الحبيبات للركام كلما كانت خلطة أكثر استقرارا. ويجب الأخذ في الاعتبار السمك النهائي لطبقات الرصف، وذلك كما يلي:

• بالنسبة لطبقة الأساس: من ٢,٥ إلى ٥ سم.

• بالنسبة لطبقة السطح: من ١,٢٥ إلى ١,٧٥ سم.

ويشترط في الركام أن يكون صلبا وقاسيا ونظيفا ومطابقا للمواصفات المطلوبة ويجب إجراء جميع الاختبارات اللازمة عليه.

## ٤- ١٠- ١- تحديد الوزن النوعي لخلطة الركام

عند طحن الأحجار بالكسارات فإنها تكون أحجار لها تدرج من الكبير ثم المتوسط حتى الصغير، والخلطة التي تحتوي على كافة الأحجام تكون قوية وثابتة ميكانيكيا وفراغاتها قليلة نسبيا. ولتحديد الوزن النوعي لخلطة الركام نستخدم المعادلة التالية:

$$G_a = \frac{100}{\frac{w_1}{G_1} + \frac{w_2}{G_2} + \frac{w_3}{G_3}}$$

حيث:

$G_a$ : الوزن النوعي المتوسط لخلطة الركام.

$w_1, w_2, w_3$ : نسبة كسر الأحجار الخشن والناعم والبدرية على التوالي (بالوزن).

$G_1, G_2, G_3$ : الوزن النوعي للركام الخشن والناعم والبدرية على التوالي.

ولتحديد الوزن النوعي للخلطة الإسفلتية (الركام + البتيومين) نستعمل المعادلة التالية:

$$G_t = \frac{100}{\frac{100 - w_b}{G_a} + \frac{w_b}{G_b}}$$

حيث:

$G_t$ : الوزن النوعي المتوسط لخلطة الركام.

$W_b$ : نسبة البتيومين (بالوزن).

$G_b$ : الوزن النوعي للبتيومين.

#### ٤- ١٠- ٢ الكثافة النظرية للخلطة

الكثافة النظرية للخلطة هي النسبة بين المواد الصلبة والحجم ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\gamma_t = \frac{100 G}{G_t}$$

حيث:

$\gamma_t$ : الكثافة النظرية للخلطة.

$G$ : الوزن النوعي الفعلي لعينة التجربة.

#### ٤- ١٠- ٣ نسبة الفراغات

لحساب نسبة الفراغات في الركام نستعمل العلاقة التالية:

$$VMA = 100 - \frac{G}{w_a}$$

حيث:

$VMA$ : نسبة الفراغات في الركام.

$w_a$ : نسبة الركام (بالوزن).

وأما الفراغات المملوءة بالبتيومين فيمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$VFB = 100 \cdot \frac{(VMA - V_a)}{VMA}$$

حيث:

$VFB$ : نسبة الفراغات المملوءة بالبتيومين.

$VMA$ : نسبة الفراغات في الركام.

$V_a$ : نسبة فراغات الهواء.



المملكة العربية السعودية  
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني  
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

## تقنيات الطرق

### صيانة الطرق

صيانة الطرق

٥

**الجدارة:**

يدرس الطالب في هذا الفصل أعمال الصيانة اللازمة التي تحتاجها الطرق لتبقى صالحة دون وقوع أي حوادث عليها ، وكيفية اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع وقوع أي تلف عليها.

**الأهداف:**

عند الانتهاء من هذا الفصل يكون الطالب قادراً على:

- معرفة أنواع أعمال الصيانة اللازمة للطرق.
- تحديد الأضرار اللاحقة بالطرق.
- معرفة أسباب أضرار الرصف المرن والرصف الصلب.
- معالجة وإصلاح الأضرار الذي يظهر في الرصف.

**مستوى الأداء المطلوب:**

إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٥٪

**الوقت المتوقع لإنهاء هذا الفصل:**

٤ ساعات

**متطلبات الجدارة:**

معرفة ما سبق دراسته في الفصول السابقة.

## ٥- ١ مقدمة

بعد الانتهاء من عملية إنشاء الطريق وفتحه للسير فإن الطريق يحتاج إلى صيانة مستمرة لكي يبقى صالحاً للمرور دون وقوع أي حوادث عليه. والصيانة في مجملها تعني إصلاح الطريق من الأضرار والتلف وإزالة الأشياء التي تتسبب في تخريبه وإبقاء الطريق بعناصره المتعددة في صورته الأصلية أو صورته المعدلة بعد التحسينات المقامة عليه. وتعد الصيانة من أهم الأعمال التي تؤدي إلى إطالة عمر الطريق وتهيئته لمقاومة العوامل الخارجية الضارة وجعله صالح للمرور باستمرار.

## ٥- ٢ أنواع أعمال الصيانة

تنقسم أعمال الصيانة إلى قسمين هما:

١. الصيانة الفورية؛

٢. الصيانة الطويلة المدى.

وتشمل أعمال الصيانة ما يلي:

١. صيانة جسم الطريق والسطح والأكتاف والمصارف المائية.

٢. صيانة الجزر الوسطى والأرصفة والجدران الساندة والدهانات والإشارات.

## ٥- ٣ أسباب صيانة الطرق

تحتاج جميع أنواع الرصف إلى صيانة دورية نتيجة تأثيرها بأحمال المرور المتكررة وتغير درجات الحرارة وتأثير الأمطار عليها والتي عادة ما تكون بسيطة في البداية ولكن بتراكمها تتسع التشققات وتفتت طبقات الرصف وينهار الطريق كلياً. فإذا حصلت تشققات بسيطة في سطح الطريق بسبب تأثير الإجهادات فإن ذلك يتطلب أعمال صيانة غير مكلفة لإغلاق التشققات وإصلاح الطريق. ولكن إذا تركت هذه التشققات بدون صيانة فإن ذلك يتسبب في تسرب مياه الأمطار إلى داخل جسم الطريق مما يؤدي إلى تفتت وهبوط طبقات الرصف المختلفة (شكل (٥،١)).

## ٥- ٤ الصيانة الفورية

تتمثل أعمال الصيانة الفورية في إصلاح الأضرار التي تلحق بالطريق وعمل التنظيفات اللازمة لحمايته. وتبدأ الصيانة بالتعرف على أسباب التلف وإزالته ومن ثم إصلاحه. فالهبوط في الطريقة قد يكون بسبب تسرب المياه إلى جسم الطريقة وقد يكون انحراف الطريقة بسبب تراكم الحجارة والتراب داخل المصارف وانسدادهما. وتشمل أعمال الصيانة الفورية ما يلي:

## ٥- ٤- ١ صيانة المصارف

والهدف منها هو التأكد من أن وسائل الصرف خالية من العوائق والاحتفاظ بقطاعها التصميمي بحيث تكون صالحة لصرف المياه بسرعة بعيدا عن جسم الطريق. وقد يتطلب ذلك تفقد المصارف باستمرار وتنظيفها وتصليح كل الأضرار التي تلحق بها.

## ٥- ٤- ٢ صيانة الأكتاف

والهدف منها هو الحفاظ على قطاع وميل الأكتاف بحيث يكون للرصف جوانب كافية لتدعيمه وكذلك لصرف مياه الأمطار من سطح الطريق إلى المصارف الجانبية. وتتم عملية صيانة الأكتاف بتفقدتها باستمرار وإصلاحها بتعبئة الأماكن الهابطة منها وسفلتها.



(أ) تشققات بسيطة



(ب) تشققات عنكبوتية وتفتت في طبقة السطح



(ج) انهيار الرصف

شكل (١,٥) الأضرار التي تلحق بطبقة السطح.

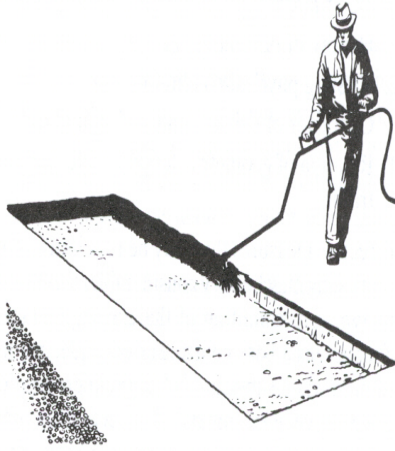
## ٥- ٤- ٣ صيانة الميول الجانبية

والهدف منها هو حمايتها من الجرف والتآكل بسبب تأثير المياه عليها.

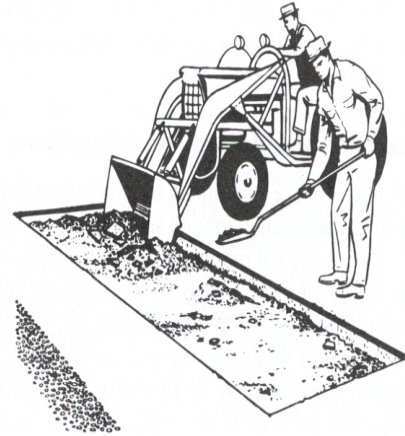
## ٥- ٤- ٥ صيانة سطح الطريق

والهدف من ذلك هو المحافظة على سطح الطريق من التلف والانحيار ويتم ذلك بالتفتيش المستمر على التشققات والحفر داخل السطح وتنظيفها وإزالة الأوساخ والحصى المتفتت منها وترقيعها. وتعتبر الخلطات الإسفلتية الساخنة من أفضل المواد التي تستخدم في ترقيع سطح الطريق ولذلك يجب استخدامها عندما يكون ذلك ممكن. وتشمل طرق صيانة الرصف الإسفلتي ما يلي:

- في حالة التشققات السطحية يفضل ملؤها بالمادة الإسفلتية السائلة.
- في حالة التشققات العميقة التي تكون بكامل القطاع الإنشائي فيجب إزالتها حتى الوصول إلى التربة الحاملة ثم ملؤها بخلطة إسفلتية ودمكها كما هو موضح في الشكل (٢,٥).
- في حالة الحفر فيتم معالجتها بملئها بخلطة إسفلتية ودمكها (شكل (٢,٥)).



(ب) رش بيتومين سائل كمادة دهان.

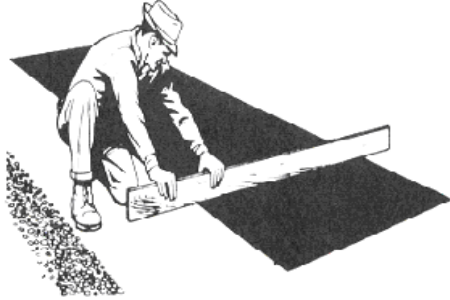


(أ) إزالة التشقق حتى الوصول إلى التربة.



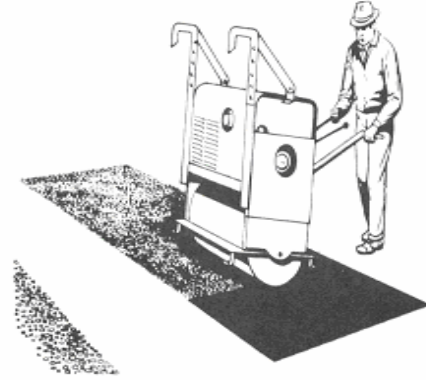


(د) عملية فرد الخلطة الإسفلتية



(م) تسوية السطح.

(ج) ملء الحفر بخلطة إسفلتية.



(هـ) دمك الخلطة الإسفلتية.



(ق) صيانة حفرة.



(ن) صيانة تشققات.

شكل (٢,٥) صيانة التشققات والحفر.

٥- ٤- ٥ صيانة الحواجز والإشارات

يجب تفقد الحواجز والإشارات والتأكد من صلاحيتها وتقويتها ودهنها.

٥- ٥ الصيانة الطويلة المدى

تتمثل أعمال الصيانة الطويلة المدى في وضع طبقة جديدة على السطح الموجود وتعرف بعملية تقوية الرصف (شكل (٣,٥)).

فمع زيادة حجم المرور وزيادة الأحمال الواقعة على الطريق يصبح الرصف الموجود لا يتحمل الإجهادات الإضافية الواقعة عليه وذلك يتطلب تقويته بإضافة طبقة جديدة على السطح. وفي بعض الأحيان قد يتآكل الرصف الموجود ويصبح في حالة تدهور كامل وفي هذه الحالات يفضل إزالة هذا القطاع وإعادة إنشائه من جديد حسب المعطيات الجديدة. وقبل وضع الطبقة الفوقية الجديدة يجب

تصميمها بدقة وذلك بتصميم الرصفة الموجودة مع قياس قوة الطبقات وتحديد قوة القاعدة الترابية و إيجاد نسبة تحمل كاليفورنيا ، ثم يتم عمل تصميم جديد لتحديد سمك الطبقات المطلوبة إضافتها.



شكل (٣,٥) وضع طبقة جديدة على سطح موجود.

#### ٥- ٦ أسباب انهيار الرصف المرن

هناك عدة أسباب قد تؤدي إلى انهيار الرصف المرن منها:

- هبوط في طبقة التربة الأصلية؛
- هبوط في طبقة الأساس؛
- انهيار في طبقة الرصف؛
- تشققات عنكبوتية طويلة في السطح؛
- تموج السطح؛
- تشققات إنزلاقية لعدم وجود تماسك بين الرصف المختلفة.

وهذه الأسباب هي نتيجة لزيادة في الإجهادات الواقعة على الرصف أو لتسرب المياه داخل جسم الطريق أو للتصميم الرديء لطبقات الرصف المختلفة أو استخدام مواد غير مطابقة للمواصفات و سوء دمكها.

#### ٥- ٧ أسباب انهيار الرصف الصلب

يحدث الانهيار في الرصف الصلب لعدة أسباب منها:

- هبوط موضعي لطبقة الأساس .
- شروخ نتيجة الانكماش والتمدد.
- تكسير الفواصل.
- رداءة المواد المستعملة وسوء في الخلطة والنقل والفرش .
- عدم تهيئة السطح الترابي.

#### ٥- ٨ أسباب تموج السطح الإسفلتي

يحدث التموج في السطح نتيجة تحرك طبقة الإسفلت باتجاه السير. وعادة ما تكون التموجات في الأماكن التي تنتهي عندها حركة المرور أو في الأماكن التي تستخدم فيها الفرامل. وتؤدي الأسباب التالية إلى تموج سطح الطريق:

- ضعف التدرج الحبيبي للخلطة الإسفلتية.
- اختيار مواد بتتومينية غير صالحة.
- دمك غير كافٍ .
- ارتفاع درجة الحرارة أثناء الخلطة وأثناء الدمك.
- هبوط معتبر في طبقات الأساس.
- هبوط معتبر في التربة الأصلية.

- أحمد محمد جاد. هندسة الطرق الحضرية والخلوية. عالم الكتب (١٩٩٩).
- يوسف مصطفى صيام. المساحة وتخطيط المنحنيات (مساحة المسارات - طرق). المكتبة الوطنية (١٩٩٨).
- يوسف مصطفى صيام، عبد الله بن محمد القرني وسعيد بن عبد الرحمن القاضي. تغطية مساحية للطرق. دار محمد لاوي للنشر. (١٩٩٩).
- محمود توفيق سالم. هندسة الطرق. الجزء الأول. دار الراتب الجامعية (١٩٨٥).
- محمود توفيق سالم. هندسة الطرق والمطارات. الجزء الثاني. دار الراتب الجامعية (١٩٨٥).
- روعي الشريف. البسيط في تصميم وإنشاء الطرق. الجزء الثاني. مطبعة شوقي معيدي (١٩٨٢).
- روعي الشريف. البسيط في تصميم وإنشاء الطرق. الجزء الأول. مطبعة شوقي معيدي (١٩٨١).
- صالح السويلمي وحمد العبد الوهاب. إدارة صيانة طبقات رصف الطرق والمطارات. دار الخريجي للنشر والتوزيع. (٢٠٠١).

- Colm A. O'Flaherty. Highway: The Location, Design, Construction and Maintenance of Road Pavements. Butterworth-Heinmann, 4<sup>th</sup> Edition, (2002).
- Roderick D. Johnston. Road Repair Handbook. Trans Mountain Publishing, (2002).
- Nicholas J. Garber and Lester A. Hoel. Traffic and Highway Engineering. Brooks/cole Pub Co., 3<sup>rd</sup> Edition, (2001).
- Thomas R. Currin. Introduction to Traffic Engineering: A Manual for Data Collection and Analysis. Brooks/cole Pub Co., (2001).
- Ruediger Lamm, Basil Psarianos and Theodor Lailaender. Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook. McGraw-Hill Professional, (1999).
- Kenneth N. Derucher, George P. Korfiattis and Samer A. Ezeldin. Materials for Civil & Highway Engineers. Prentice-Hall, Inc. (1998).
- Waheed Uddin. Pavement Engineering for Roads and Highways. Chapman & Hall, (1998).
- David Cronney and Paul Cronney. Performance of Road Pavements. McGraw-Hill Professional (1997).
- Fred L. Mannering and Walter P. Kilareski. Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis. John Wiley & Sons, 2<sup>nd</sup> Edition, (1997).

- Williams R. McShane, Roger P. Rioess, Elena S. Prassas and Roger P. Roess. Traffic Engineering. Prentice Hall, 2<sup>nd</sup> Edition, (1997).
- Paul H. Wright. Highway Engineering. John Wiley and Sons, Inc. ISBN 0-471-00315-8. (1996).
- Merritt D. R. Geometric Design Features of Single-Point Interchanges. Transportation Research Record 1385, Transportation Research Board, Washington, DC (1993).
- ASSHTO Materials, Part I, Standard Specifications for Transportation Materials, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC (1993).
- Yang H. Huang. Pavement Analysis and Design. Pearson Education POD, Book & Disk Edition, (1992).
- Robert D. Holtz and Williams D. Kovacs. An Introduction of Geotechnical Engineering. Prentice-Hall, Inc. (1981).
- Oglesby, C. H. and Hicks, R. G. Highway Engineering. John Willey & Sons, Inc. (1982).

## الصفحة

**الفصل الأول: تخطيط الطرق والأعمال المساحية**

٢	١- ١	مقدمة
٢	٢- ١	تعريف التخطيط
٣	٣- ١	العوامل التي تتحكم في التخطيط
٣	٤- ١	الأعمال المساحية لمسار الطريق
٤	١- ٤- ١	الدراسة المكتبة
٤	٢- ٤- ١	الاستطلاع باستخدام المساحة الجوية
٦	٣- ٤- ١	المساحة الاستطلاعي
٦	٤- ٤- ١	المسح المبدئي
٧	٥- ٤- ١	المساحة التفصيلية
٧	٥- ١	الخرائط والمخططات اللازمة لإنشاء الطريق

**الفصل الثاني: أسس التصميم الهندسي للطرق**

١١	١- ٢	مقدمة
١١	٢- ٢	أنواع الطرق
١١	١- ٢- ٢	الطرق السريعة
١٢	٢- ٢- ٢	الطرق الرئيسية
١٢	٣- ٢- ٢	شوارع التجمع
١٢	٤- ٢- ٢	شوارع محلية
١٢	٣- ٢	قياس حجم المرور
١٣	١- ٣- ٢	حساب حجم المرور اليومي المتوسط
١٤	٢- ٣- ٢	حساب حجم المرور الساعي التصميمي
١٥	٣- ٣- ٢	حساب حجم المرور المستقبلي
١٧	٤- ٢	سعة الطريق
١٧	٥- ٢	تركيب المرور
١٨	٦- ٢	عربات التصميم

١٩	٧- ٢	السرعة التصميمية
٢٠	٨- ٢	قطاع الطريق
٢١	٩- ٢	حارة الطريق
٢١	١٠- ٢	سطح الطريق
٢٢	١- ١٠- ٢	الميول العرضية
٢٣	٢- ١٠- ٢	الأكتاف
٢٣	٣- ١٠- ٢	الميول الجانبية
٢٤	١١- ٢	التخطيط الأفقي
٢٤	١- ١١- ٢	تخطيط المنحنيات الأفقية
٢٦	٢- ١١- ٢	تصميم المنحنيات الدائرية
٢٧	٣- ١١- ٢	ارتفاع ظهر المنحنى
٣١	٤- ١١- ٢	حساب نصف قطر المنحنى الدائري
٣٣	٥- ١١- ٢	توسيع المنحنيات
٣٤	٦- ١١- ٢	التقاطعات
٣٦	١٢- ٢	التخطيط الرأسي
٣٨	١- ١٢- ٢	تصميم المنحنيات الرأسية
٤١	٢- ١٢- ٢	مسافة الرؤية
٤١	٣- ١٢- ٢	حساب مسافة الرؤية للتوقف
٤٥	٤- ١٢- ٢	تصميم مسافة الرؤية للتجاوز
٤٧	٥- ١٢- ٢	تصميم مسافة الرؤية في حالة المنحنيات الرأسية
٤٧	٦- ١٢- ٢	حساب طول منحنى الاستدارة العلوي لمسافة التجاوز
٤٨	٧- ١٢- ٢	حساب طول منحنى الاستدارة السفلي

### الفصل الثالث: تربة الأساس

٥٢	١- ٣	مقدمة
٥٢	٢- ٣	طرق تمييز أنواع التربة
٥٢	٣- ٣	مكونات التربة
٥٤	٤- ٣	التوزيع الحبيبي للتربة

٥٧	٣- ٥- حدود القوام
٥٩	٣- ٦- أنظمة تصنيف التربة
٥٩	٣- ٦- ١- نظام تصنيف التربة الموحد (USC)
٦٢	٣- ٦- ٢- نظام آشتو (AASHTO)
٦٣	٣- ٧- قياس مقاومة التربة
٦٣	٣- ٧- ١- اختبار القص المباشر
٦٥	٣- ٧- ٢- اختبار الضغط الثلاثي
٦٧	٣- ٧- ٣- اختبار التحميل النسبي (CBR)
٦٨	٣- ٨- اختبارات الدمك المعملية
٦٩	٣- ٨- ١- اختبار بروكتور القياسي
٧٠	٣- ٨- ٢- اختبار بروكتور المعدل
٧١	٣- ٩- طرق الدمك في الموقع
٧٢	٣- ٩- ١- الحكم على عملية الدمك في الموقع
٧٣	٣- ٩- ٢- اختبار قارورة الرمل
٧٤	٣- ١٠- طبقات الرصف السفلى
٧٤	٣- ١٠- ١- طبقة التربة الأصلية
٧٤	٣- ١٠- ٢- طبقة الأساس
٧٥	٣- ١٠- ٣- طبقة ما تحت الأساس
٧٥	٣- ١١- الجسور والقطوع

#### الفصل الرابع: الرصف

٧٨	٤- ١- مقدمة
٧٨	٤- ٢- أنواع الرصف المختلفة
٧٨	٤- ٢- ١- الرصف المرن
٧٩	٤- ٢- ٢- الرصف الصلب
٨٠	٤- ٣- أسس تصميم الرصف
٨٠	٤- ٣- ١- حساب حمل العجلة التصميمي
٨٢	٤- ٣- ٢- قوة تحمل مواد الرصف



٨٣	٤- ٤	طرق تصميم الرصف المرن
٨٣	٤- ٤- ١	طريق التحميل النسبي لكاليفورنيا (CBR)
٨٤	٤- ٤- ٢	طريقة قيمة المقاومة لكاليفورنيا
٨٥	٤- ٥	تصميم الرصف الصلب
٨٦	٤- ٥- ١	حساب الإجهاد على البلاطة
٨٩	٤- ٦	المواد البتيومينية وخواصها
٨٩	٤- ٦- ١	البتيومينات الصلبة
٨٩	٤- ٦- ٢	البتيومينات السائلة
٩٠	٤- ٦- ٣	البتيومين المائي (المستحلب)
٩٠	٤- ٦- ٥	البتيومين المنفوخ
٩١	٤- ٧	التجارب الواجب إجراؤها على البتيومين
٩١	٤- ٨	الخلطات الإسفلتية ومواصفاتها
٩١	٤- ٩	أنواع الركام
٩١	٤- ٩- ١	الركام الناتج من كسر الأحجار
٩٢	٤- ٩- ٢	ركام الوديان
٩٢	٤- ٩- ٣	الرمل
٩٢	٤- ١٠	اختيار الركام
٩٢	٤- ١٠- ١	تحديد الوزن النوعي لخلطة الركام
٩٣	٤- ١٠- ٢	الكثافة النظرية للخلطة
٩٣	٤- ١٠- ٣	نسبة الفراغات

### الفصل الخامس: صيانة الطرق

٩٥	٥- ١	مقدمة
٩٦	٥- ٢	أنواع أعمال الصيانة
٩٦	٥- ٣	أسباب صيانة الطرق
٩٦	٥- ٤	الصيانة الفورية
٩٧	٥- ٤- ١	صيانة المصارف
٩٧	٥- ٤- ٢	صيانة الأكتاف

٩٩	٣- ٤- ٥	صيانة الميول الجانبية
٩٩	٥- ٤- ٥	صيانة سطح الطريق
١٠٠	٥- ٤- ٥	صيانة الحواجز والإشارات
١٠٠	٥- ٥	الصيانة الطويلة المدى
١٠١	٦- ٥	أسباب انهيار الرصف المرن
١٠٢	٧- ٥	أسباب انهيار الرصف الصلب
١٠٢	٨- ٥	أسباب تموج السطح الإسفلتي
١٠٣		المراجع

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

**BAE SYSTEMS**