الباب الثاني

الإطار النظري

2.1 مقدمة في التصميم الإنشائي للطرق:

أن التصميم الإنشائي لطريق يعني تصميم طبقات الرصف للطريق التي تستقبل الغزارات المروية العالية من حركة المرور وحيث يكون دور هذه الطبقات هو مقاومة الإجهادات الناتجة من هذه الحركة والإجهادات الأخرى الناتجة عن عوامل البيئة. وكغيره من المنشئات الهندسية يتكون الطريق من اساس ومنشأ فوقي. ويعرف المنشأ الفوقي بالرصف وهو الجزء الظاهر من الطريق والذي تسير فوقه عجلات المركبات.

ويتكون الرصف من عدد من الطبقات تختلف باختلاف نوع وأهمية الطريق ويمكن ان يتكون الرصف من طبقة واحدة فقط أو من طبقات عديدة من مواد تتراوح في جودتها بين خليط من التربة العادية والركام الي الخرسانة الإسفلتية عالية الجودة أو حتى الخرسانة المسلحة مروراً بأنواع عديدة من التركيبات الركامية المعالجة بالمواد الرابطة المختلفة مثل الجير والأسمنت والأسفلت وغيرها.

اما الأساس فهو عبارة عن التربة الطبيعية والتي تكون بحالة حفر او ردم ومن الضروري أن يكون الأساس قوي وقادر على تحمل الإجهادات المنتقلة اليه من الرصف ولذا يلزم في العادة دمك التربة لتحسين خواصها وتقويتها بإضافة بعض المواد المثبتة اليها، أو بتطبيق بعض الاساليب الميكانيكية مثل الدق او التحميل المسبق، أما إذا كانت التربة رديئة فيتم استبدالها بأخرى ذات خواص جيدة .أما أهمية الرصف فتتمثل في نقل الأحمال الناتجة من حركة المرور على سطح الطريق الى طبقات الرصف المختلفة حتى يصل تأثيرها الى طبقة التربة التي يتوقف عليها مدى صلاحية الرصف وتحمله لهذه الأحمال أو الإجهادات وكلما ذادت الأحمال المارة على الطريق كلما زاد سمك مادة الرصف والذي يتوقف بدوره على نوع تربة الأساس وقوة تحملها .

2.2 الغرض من تصميم الرصف:

الغرض من تصميم الرصف هو تحديد سمك طبقات الرصف المناسب الذي يجب أن يعلو طبقة التربة بحيث يعطي سمكاً جيداً مستوياً تحت حركة المرور دون حدوث أي هبوط او انهيار.

2.3 انواع الرصف:

يمكن تصنيف الرصف تبعاً لسلوكها الإنشائي

١. الرصف المرن flexible Pavement
٢. الرصف الصلب Rigid pavement
٣. الرصف شبه الصلب Semi Rigid Pavement

ونعتمد في اختيارنا لأحد هذه الأنواع على العوامل التالية: –

- حجم ونوعية حركة المرور.
- طبيعة تربة المسار.
- برامج الصيانة أثناء الاستثمار.
- إمكانية توفير موارد رصف محلياً.
- الشروط البيئية والمناخية لمنطقة المشروع.

ولقد تم اختيار الرصف المرن في هذه المشروع. لذا سنتحدث عن الرصف المرن دون غيره.

2.4 الرصف المرن:

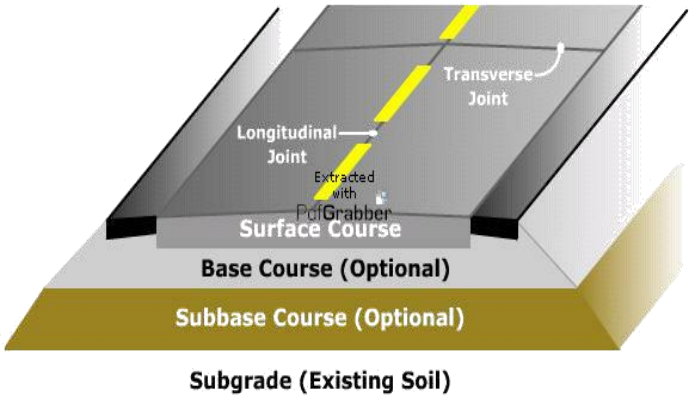
الرصف المرن النموذجي هو الرصف الذي يتكون من الطبقات التالية: –

أ– الطبقة السطحية Surface layer

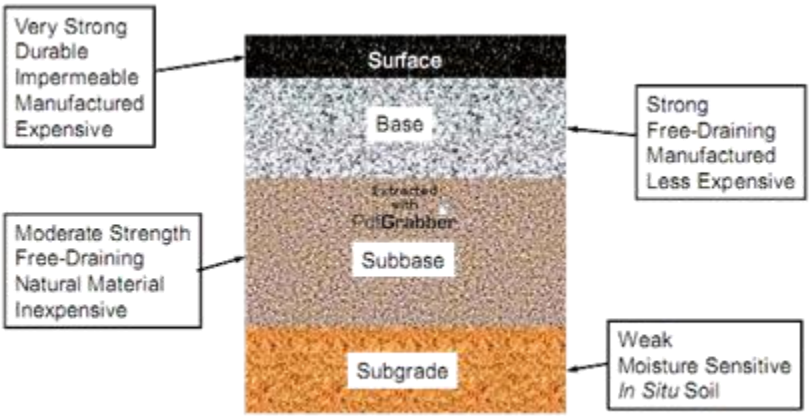
ب– طبقة الأساس Base layer

ت– طبقة ما تحت الأساس Sub – Base

ث- طبقة التربية السطحية Sub-Grade



شكل (2.1-a) يوضح المقطع الجانبي لطبقات الرصف

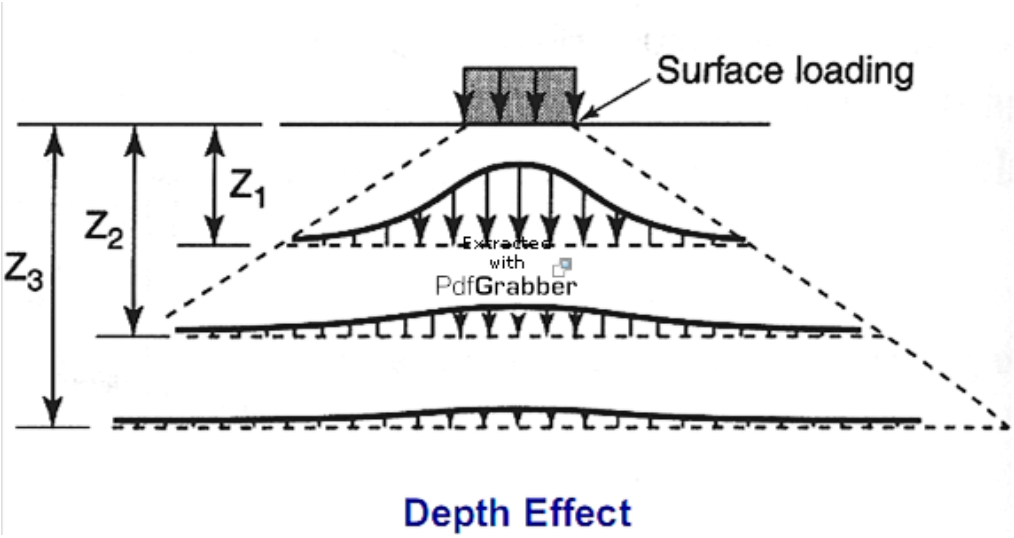


شكل (2.1-b) يوضح المقطع العرضي لطبقات الرصف

تكون كل الطبقات مبنية على التربة الطبيعية المدموكة كما هو موضح بالشكل (2.1-b). وفي بعض الحالات يمكن عدم استخدام طبقة الاساس وذلك عندما تكون التربة الطبيعية الحاملة للطريق ذات خواص جيدة وفي حالات نادرة أيضاً يمكن الاستغناء عن طبقة ما تحت الأساس.

يتميز الرصف المرن بأن التشوهات التي تحصل في تربة المسار يمكن أن تنعكس عبر الطبقات حتى نصل إلى الطبقة السطحية إي ان طبقات الرصف تكون مقاومتها للانعطاف ضعيفة ويمكن إهمالها. ايضاً فان الاحمال الرأسية تنتقل عبر الطبقات بالاعتماد على نقاط التماس بين الحبيبات وبالتالي كلما زاد رص

الطبقات كلما زادت قدرتها على توزيع الإجهادات على مساحة افقية أكبر، وبالتالي تقل الاجهادات تبعا للعمق ومن ذلك يمكن القول بان الطبقة السطحية هي اقوى الطبقات لأنها تتحمل أكبر الإجهادات. ولذلك نستعمل لها أجود المواد وتقل الجودة مع العمق. شكل التالي يبين انخفاض الاجهادات مع العمق: –



شكل (2.2) يوضح توزيع الاحمال تبعا للسمك

2.5 مميزات الرصف المرن:

- سريع التشوه مع الزمن.
- الاحمال متكررة ومتنوعة.
- مقدار الاحمال متغيرة من خفيفة الى ثقيلة.
- يصمم ليتحمل المرور المستقبلي الذي يزيد سنوياً.
- خواص المواد المستخدمة تغيير بتغيير الظروف والبيئة.
- يتكون من طبقات متعددة تنشأ فوق التربة الطبيعية.
- ضعيفة المقاومة للانحناء.
- انتقال الاحمال تدريجياً عبر الطبقات بالاعتماد على نقاط التماس بين الحبيبات.
- سهولة التصميم والإنشاء وإمكانية التنفيذ على مراحل.

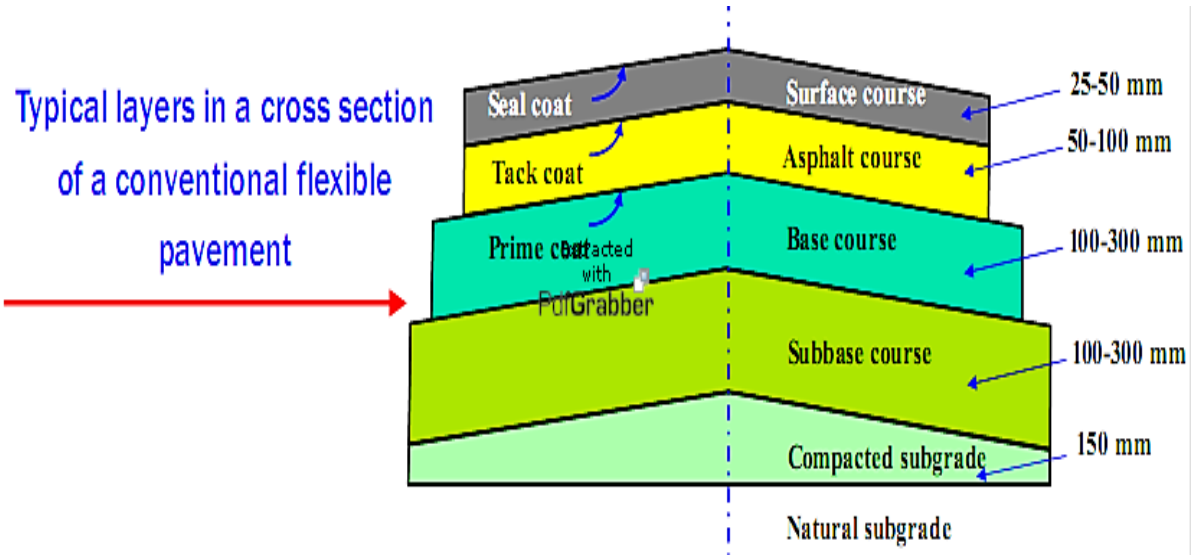
- سهولة الصيانة والترميم عند حدوث هبوط أو تشقق.

2.6 عيوب الرصف المرن:

- يحتاج الى فترات صيانة متقاربة.
- إصدار الأصوات المزعجة عند مرور العربات عليه.
- تعرض طبقة الرصف السطحية للتشققات الكبيرة.
- عمرة الافتراضي صغير يصل حتى 20 عام.
- لا يصلح للتربة الضعيفة.

2.7 طبقات الرصف المرن:

بالإضافة إلى الطبقات المذكورة سابقا هناك طبقات تستخدم للربط بين الطبقات الأسفلتية مع بعض وبين الطبقات الإسفلتية وطبقة الأساس كما مبين في الشكل التالي: –



شكل (2.9) يوضح طبقات الربط

الطبقة السطحية:

هي الطبقة التي تتحمل مباشرة الحمال الناتجة من حركة المرور والتغيرات المناخية ولذلك يجب على هذه الطبقة أن تقاوم.

- الإجهادات الرأسِية التي تتولد على سطح التماس بين الإطار المطاطي وسطح هذه الطبقة وهذه الإجهادات تبلغ شدتها القصوى عند العربات الثقيلة (الشاحنات) اذ يمكن ان تتراوح قيمة الإجهادات الراسية (700 – 1500 kn/m2).
- الإجهادات المماسية التي تتولد على سطح التماس أثناء سير العربات والتي تبلغ أقصاها عند الإقلاع أو عند الفرملة. وعند دخول المنعطفات وخاصة الحادة منها.
- الاهتراء الناتج من الاحتكاك بين الإطار المطاطي وسطح الطبقة السطحية والذي يمكن بتفاعله مع الإجهادات المماسية إن يقتلع العناصر الحصوية من الطريق.
- الجهود الحرارية الناتجة عن تغيرات درجة الحرارة اليومية والسنوية.

ومن أهم أدوار الطبقة السطحية تأمين الراحة لمستعمل الطريق بإعطائه سطحا مستويا خالياً من التشققات والتشوهات وضمان الكتامة لمنع تسرب المياه إلى جسم الطريق لأن ذلك يؤدي إلى الإسراع في إتلافه.

وتنقسم الطبقة السطحية إلى: –

أ- الطبقة الواقية (العليا):

هي الطبقة العليا التي تمر عليها المركبات والتي تتولى دور حماية الرصف من العوامل الخارجية وتكون بسمك محدد وتصنع من مواد ذات جودة عالية وغالباً ما تكون من الخرسانة الاسفلتية الغنية بالأسفلت وبناءاً على ذلك يكون الغرض منها: –

- إعطاء سطح ناعم.
- التقليل من الاحتكاك بين العجل وسطح الطريق.
- التقليل من تكاليف تشغيل الطريق.

ب-الطبقة الرابطة:

وتقع أسفل الطبقة الواقية وتتكون من خلطات اقل جودة إلا انها أكثر سماكة من الطبقة الواقية ولذلك تؤخذ احيانا في الاعتبار اثناء التصميم الإنشائي للرصف والتي تعمل على امتصاص الإجهادات المتولدة من سطح الطريق.

ت-طبقة التشرب: (prime coat)

وتتمثل في رش طبقة من الاسفلت السائل أو من المستحلب الاسفلتي على طبقة الأساس الحبيبي والغرض الاساسي منه: -

- ربط المواد المفككة في طبقة الاساس.
- قفل الفراغات الموجودة في طبقة الاساس.
- منع طبقة الاساس من امتصاص الاسفلت من الطبقة السطحية.

ث-طبقة التشرب: ((Tack coat)

عبارة عن طبقة من الاسفلتالسائل أو المستحلب الاسفلتي تستخدم للربط بين طبقتين من الخرسانة الاسفلتية وترش عند درجة حرارة (85 – 95) وبمعدل رش (0.1~0.2 L/m2)

طبقة الأساس: Base

هي الطبقة التي تلي الطبقةالسطحية ووظيفتها نقل وتوزيع الإجهادات الى الطبقة التي تقع أسفل منها ويتم بذلك تحديد السمك اللازم أخذا في الاعتبار خواص المواد المكونة منها هذه الطبقة وخاصة فيها فيما يتعلق بمعامل المرونة، وتتنوع المواد التي ويمكن ان تصنع منها طبقة الاساس فقد تكون من المواد الركامية مثل ما يعرف بالأساس الحبيبي (Granular Base)

او من كسر الحجارة المعالج بالأسفلت او الاسفلت كما يمكن ان تكون من خلطة مع الخرسانة الأسفلتي متوسطة أو منخفضة الجودة.

دور طبقة الأساس:

- تخفيض الجهود الرأسية الواصلة الى تربة المسار ذلك من خلال توزيعها عبر التماس بين الحبيبات في حال كون هذه الطبقة من مواد حصوية غير صالحة. ابو بواسطة ميل هذه الطبقة نحو الانعطاف في حالة كونها معالجة بأحد الروابط الهيدروليكية.
- حماية تربة المسار من حالة فوق الإجهادات التي يمكن ان تؤدي الى انهيار التربة.
- تأمين حامل جيد للطبقة السطحية التي يجب ان ترد على كافة المتطلبات التي سبق ذكرها كالتامة والراحة والأمان.
- مقاومة الإجهادات الحرارية الناتجة من التغيرات اليومية والسنوية.

مواصفات طبقة الأساس:

- يجب ان تكون الحصويات المستخدمة في طبقة الاساس الحصوية مكونة من حبيبات صلبة شديدة التحميل ومن قطع خالية من المواد النباتية والمواد الضارة الأخرى وان تكون الجودة التي تنتج لها الترابط بعد رشها بالماء ورصها بالمدحلة لتشكل اساساً ثابتا مستقرا يجب ان تكون الحصويات من الحجارة المكسورة أو من رواسب الانهار المكسرة او الحصى المكسر ويجب ان تحتوي الحصويات المنتجة من الحجار المكسورة على ما يزيد عن نسبة 8% وزناً من القطع المسطحة أو المستطيلة واللينة والمتفككة.
- يجب ان تتألف الحصويات التي يحتجزها منخل (2.36) رقم (8) من قطع الحجارة التي تحتوي 95% بالوزن على وجهين اثنين على الاقل مكسورين بطريقة ميكانيكية ويتم الحصول على التدرج المحدد من خلال عمليات التكسير والغربلة والخلط حسب اللزوم.
- إذا تبين ان من الضروري اضافة مواد ناعمة عما متوفر اصلاً في طبقة الاساس وذلك لتحسين خواص التدرج واعطاء قدر معقول من التماسك لمادة طبقة الاساس او لتعديل خواص المواد للأجزاء التي تمر من منفصل رقم (40). فان هذه المواد يجب ان نمزج جيداً بشكل منتظم وتخلط مع الحصويات المنتجة من المواد المكسورة وان تتم عملية الخلط هذه في الكسارة وفي محمل خلط معتمد وثابت.

- يجب ان تكون الحصويات مطابقة لمتطلبات التدرج والجودة عند وضعها على سطح الطبقة المعتمدة وذلك بع مزجها وخلطها وفرشها وقبل رصها او مطابقة لأي شرط اخر يرد في الشروط والمواصفات الفنية الخاصة.

جدول (2.1) جدول يوضح المتطلبات الاساسية لتدرج المواد المكونة لطبقة الأساس الحصوي

مقياس المنخل	النسبة المئوية المارة من المنخل		
	التدرج 1	التدرج 2	التدرج 3
50 mm (2 in)	100	–	–
74.5 mm-(1.5in)	–	100	–
25 mm (1in)	85 55	95 – 70	100
19 mm (75in)	80 -5-	85-55	100-70
4.75mmNo(4)	60-30	56 -35	65 -35
0.425 mm No(40)	25 -10	25-10	10-3
0.75 No(200)	10 -3	10-3	3-10
يجب ألا يزيد الجزء المار من منخل رقم (200) عن نصف الجزء المار من منخل رقم (40)			

طبقة تحت الأساس :Sub-Base

هي طبقة تعتبر امتداد للأساس ومكملة لها من حيث الوظيفة من حيث المشاركة في نقل الإجهادات التي طبقه الأساس الترابي ويتم اللجوء الي استخدام طبقة ما تحت الأساس للاقتصاد في تكلفة طبقة الأساس حيث أن المواد المستعملة في طبقة ما تحت الأساس تكون اقل جودة اذ ان الاجهادات المنقولة لها من طبقة الأساس تكون اقل من تلك الطبقة على طبقة الأساس نفسها وقد تستخدم طبقة ما تحت الأساس لدواعي أخرى غير المساهمة في توزيع الإجهادات وذلك مثل المساعدة في معالجة تسرب المياه الجوفية أو تصريف

المياه التي تعبر قطاع الرصف أو تستخدم كطبقة تسوية قبل وضع طبقة الاساس . هذه الطبقة يمكن الاستغناء عنها وذلك عندما تكون خواص التربة ممتازة أو حركة السير في الطريق ضعيفة.

مواصفات طبقات ما تحت الأساس:

- تكون التربة المستخدمة خالية من المواد العضوية والمواد الضارة الأخرى وينتج عنها طبقة ثابتة ومستقرة وذلك بعد رشها بالماء دمكها بالمدحلة.
- تكون التربة خشنة ومصنوعة من الحجارة المكسورة أو من رواسب الأنهار المكسورة أو من الحصى المكسر.
- يجب ان تكون مطابقة لأحد متطلبات التدرج والجودة التالية على سطح الطابق الترابي وذلك بعد مزجها وخلطها وفرشها وقبل رصها. أو مطابقة لأي تدرج آخر يرد في الشروط والمواصفات الفنية الخاصة.

جدول(2.3) جدول يوضح المتطلبات الأساسية لتدرج المواد المكونة لطبقة ما تحت الاساس

مقياس المنخل	النسبة المئوية المارة من المنخل	
	تدرج (1)	تدرج (2)
26.5mm (2.5in)	100	–
50 mm (2in)	100 – 95	100
37.5 mm (1.5in)	0	100 – 95
19 mm (3in)	–	85 -55
9.5 mm (3) in	–	80 -50
4.75 mm No(4 in)	–	70 -40
2.24 mm No (10 in)	70 -53	60 -30
0.445 m-m No (40 in)	–	50 -20
0.075 m-m No (205in)		30 -10
	15 -0	15 -0

متطلبات الجودة:

جدول(2.3) يوضح متطلبات الجودة اللازم توفرها لطبقة ما تحت الاساس

اللدونة AASHTO 90-80	4 – 6
النقص بسبب الاهتراء AASHTO T96-77	45 - 50
ASTM D1883 CBR	30 – 50

طبقة الأساس الترابي: Sub-Grade

هي الطبقة النهائية التي تنتقل اليها الاجتهادات الناتجة من الأحمال المطبقة على سطح الرصف وفي العادة تكون طبقة الاساس الترابي هي التربة الطبيعية في الموقع عند مستوى التكوين والتي تم تعريضها بواسطة الحفر أو تكونت بالردم.

ويتم في بعض الأحيان تحسين خواص التربة عن طريق الرمل أو التثبيت أو تستبدل كذلك بتربة أخرى ذات خواص أفضل يتم توريدها من موقع اخر.

دور تربة المسار:

ان العناية في تهيئة تربة المسار بشكل جيد يساعد على قيامها – اضافة لدورها كتربة حاملة.

- بما يلي.
- إعطاء سطح متجانس لطبقة ما تحت الأساس وبالتالي تحقيق وهي متجانس فيها.
- التخفيف من توقفات الورشة نتيجة للتغيرات المناخية كتساقط الأمطار وغيرها.
- السماح لحركة اليات الورش الخفيفة والثقيلة بشكل أفضل.
- حماية الطابق الترابي بين فترة انهاء الأعمال الترابية وفترة انشاء طبقات الرصف.

إذا كانت الخواص الجيوتكنيكية لتربة الماء غير قادرة على تلك المتطلبات فمن المفضل معالجتها وتثبيتها بالطرق المعروفة بإضافة الروابط الاسفلتية أو الهيدروليكية أو استعمال إحدى المثبتات الكيميائية.

2.8 تصميم الرصف المرن:

2.8.1 عوامل التصميم:

هناك عدة عوامل تدخل في عملية التصميم وهي: –

١. حجم المرور.
٢. خصائص المواد المستخدمة في الرصف.
٣. المناخ والبيئة.

كما يوجد عدد من العناصر الأخرى التي يجب اخذها في الاعتبار عند التصميم وتشمل: –

أ– التكلفة.
ب– اسلوب الإنشاء.
ت– الصيانة.
ث– العمر التصميمي.

احمال المرور:

باعتبار أن الوظيفة الاساسية لقطاع الرصف هي نقل وتخفيض الإجهادات الناتجة من حركة المرور الى الطبقة التربة الاصلية بشكل أمن ولكي تحدد الحمل التصميمي يجب الأخذ في الآتي:

أ– **تشكيل العجل:**

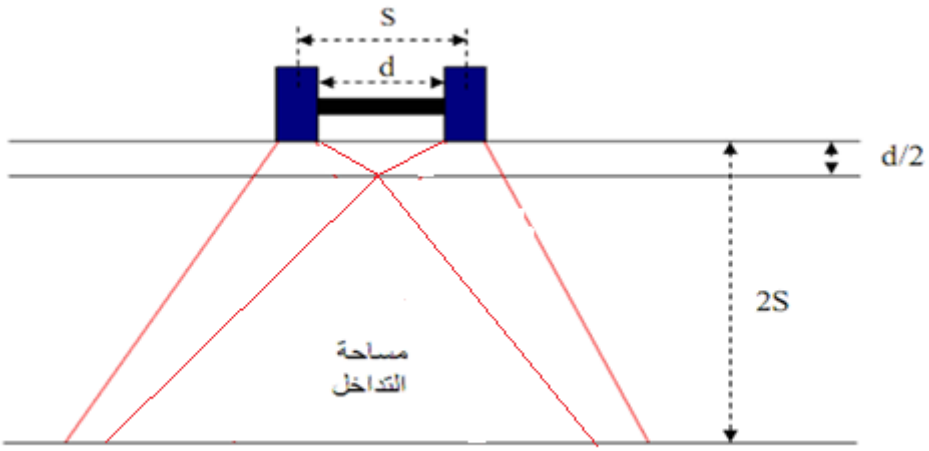
معرفة تشكيل العجل وذلك لتحديد كيفية توزيع الأحمال خال طبقات الرصف المختلفة. وعادة لا يسمح:–

- بان تزيد الاحمال على المحور الواحد عن (8.2 ton) في الطرق الرئيسية
- لا يزيد ضغط التماس بين العجل وسطح الطريق عن (5.6kg/cm2)

والحمل الكلي يحدد سمك الرصف بينما ضغط التماس يؤثر على سلامة سطح الرصف ومن الواضح ان تأثير ضغط العجل يظهر بصورة واضحة في الطبقات العليا ويقل بوضوح بعد ذلك حيث يصبح تأثير الحمل ملموس للغاية وفي حالة الضغط الكبير فان الامر يتطلب نوع جيد من الرصف للطبقات العلوية.

ب-الحمل المعادل لعجلة واحدة (ESWL)

حتى لا يتعدى الحمل الواقع على العجل الواحد الحمل المسموح به وحتى يمكن زيادة حمولة العجلة يستخدم اطارين من كل جانب للمحاور الخلفية لعربات النقل وبذلك فان الضغط الناشئ نتيجة للمحاور ذات العجل المزدوج اقل من تأثير ضغط الحمل على العجلة الواحدة وحسابه يختلف عنه والاسس التي يعتمد عليها حساب الحمل المعادل هي المساواة بين الإجهادات والتشوهات التي تسببها مجموعة من الإطارات مع الإجهادات التي تسببها حمولة الإطار المعادل وتوزيع الضغط موضح في الشكل التالي:



شكل (2.4) يوضح توزيع الضغط

ت-تعدد تكرار الحمل

ان أي ضرر قد يلحق بالرصف أو التربة الاصلية نتيجة لمرور حمل واحد قد لا يكون ملموساً، ولكن نتيجة للأحمال المارة المتكررة يتعرض الرصف لا ضرار ملموسة وبمرور الوقت واستمرار التكرار قد يحدث انهيار كامل للرصف ولذلك يجب ان يكون الحمل المروري التصميمي لكل المحاور المارة في العمر التصميمي.

خصائص المواد المستخدمة في الرصف:

يتطلب التصميم الجيد الرصف الالمام الكامل والفهم للخصائص المهمة للمواد الداخلة في انشاء الرصف وكذلك التربة التي يؤسس عليها الطريق، ويعتمد اختيار خواص المواد والمعطيات المطلوبة على طبيعة طريقة التصميم كما ان خصائص المواد يمكن ان تختلف الا انه يفضل تحديد الاتي:

الاسطح الإسفلتية

- ✓ القوة والثبات.

طبقات الاساس والاساس المساعد

- ✓ التدرج – القوة – الثبات – (مقاومة القص أو خواص الأحمال المتكررة).

الطبقات لمعالجة أو المثبتة

- ✓ القوة (مقاومة الانحناء ومقاومة الضغط) وخواص العمل المتكرر مثلا الكلال.

الاساس الترابي

- ✓ القوة – الثبات – تصنيف التربة – خواص الحمل المتكرر.

المناخ او البيئة:

بيئة أو مناخ المنطقة المراد انشاء الطريق فيها لها تأثير كبير على اداء سلوك مواد الرصف وطبقة الاساس الترابي ومن اهم العوامل البيئية التي تؤثر على طبقة الرصف.

- التغيير في درجة الحرارة.

درجة الحرارة لها تأثير كبير على معامل الصلابة للخلطة الاسفلتية فالتغير في درجة الحرارة يؤثر على الخلطة الاسفلتية مما يؤدي إلى إمكانية حدوث تشكل وتخدد في طبقات الرصف.

- زيادة معدل هطول الأمطار والثلج: –

ترفع نسبة الرطوبة في طبقات الرصف الإسفلتية وتعمل على ارتفاع منسوب المياه الجوفية التي يجب ان تبقى على عمق لا يقل عن (95 سم) من سطح الأرض.

2.8.2 محددات التصميم المرن:

- الاقتصاد.
- الامان ومستوى الخدمة خلال فترة التصميم.
- القدرة على تحمل الإجهادات المتكررة.
- مقاومة التشوهات خلال فترة التصميم.
- تقليل الإزعاج والحد من تلوث الهواء بقدر المكان أثناء التنفيذ.

2.9 طرق تصميم الرصف المرن:

تصنف طرق التصميم للوصف المرن بحسب طبيعتها إلى ثلاثة انواع رئيسية بحيث يشمل كل نوع مجموعة من الطرق وهي: –

الطرق التجريبية (Empirical Methods):

وتعتمد هذه الفقر على الخبرات العملية والنظريات التجريبية واهم هذه الطرق: –

١. طريق دليل المجموعة (G.I.Method)
٢. طريقة التحميل النسبي لكاليفورنيا (C.B.R Method)
٣. الطريقة البريطانية (TRL)

الطرق النظرية (Theoretical Method):

وتعتمد على المبادئ الهندسية وتستخدم التحليل النظري للإجهادات في مختلف طبقات الرصف ومن اهم الطرق النظرية:–

- طريقة اشتو (AASHTO Method)
- طريقة معهد الاسفلت (ASPHALT. INSTITUTE Method)

وفي هذا البحث تستخدم كل من الطرق الآتية:

- CBR Method
- ROAD NOTE 31 Method (TRL)
- AASHTO Method
- Asphalt Institute Method

2.10 طريقة معهد الاسفلت Asphalt Institute:-

في هذه الطريقة تم نشر عدد من الإصدارات الخاصة بالتصميم الانشائي، والإصدارة المستخدمة هي MS-1 (manual series No 1)وكل الاجراءات لتصميم سمك الرصف المرن كانت تجريبية ، وقد تم في الإصدارات الاحقة الاستفادة من البيانات التي يتم الحصول عليها من المصادر المختلفة مثل آشتو وبعض المؤسسات الامريكية وأكثر الإصدارات إستخداما هي (MS-1) والتي تم نشرها في العام 1991م

تعتمد طريقة معهد الاسفلت علي عدة أساسيات تتمثل في :-

- الرصف المرن يعامل وفق خصائص نظام الطبقات
- تعتمد الطريقة علي نظريات وخبرات سابقة وبرامج حاسوب
- يتم عرض التصميم النهائي في شكل مخططات تصميمة
- في عملية التصميم يتم الاعتماد علي نوعين من حالات الإجهاد هي :

أ- انفعال الشد الافقي: The horizontal tensile strain (Et) الذي يحدث عند قاع طبقة الاسفلت والذي يؤدي لحدوث شروخ الاجهاد المتكرر.

ب-انفعال الانضغاط الرأسي: The vertical compressive strain (Ec) يحدث علي سطح طبقة التأسيس (sub-grade) والذي يتسبب في حدوث تشوه دائم او حدوث تخدر نتيجة للأحمال الزائدة.

- وضع معادلة لمعيار الاجهاد المتكرر Fatigue Critation

$$Nf = 0.0796(Et)^{-3.291} \times (E)^{-0.854}$$

حيث :

Nf : العد المسموح به لتكرار الحمل وذلك للتحطم في شروخ الاجهاد المتكرر

Et : انفعال الشد الافقي عند قاع الطبقة الاسفلتية

E : المعامل الديناميكي لخليط الاسفلت

وضع معيار للتشوه الدائم من خلال المعادلة :

$$Nd = 1.365 \times 10^{-9}(Ec)^{-4.477}$$

حيث :

Nd: العدد المسموح به لتكرار مرات الحمل للتحكم في التشوة الدائم

Ec: الانفعال الناتج عن الضغط الرأسي عند سطح الطبقة التأسيسية

- الحركة اثناء فترة التصميم يتم التعامل معها كمحاور مفردة مكافئة (ESAL)
- يعتمد توزيع المركبات للتصميم علي عدد الحارات كما في الجدول(2.5)

جدول (2.4) تحديد نسبة الشاحنات في الحارة التصميمية

عدد حارات المرور للاتجاهين	نسبة الشاحنات في حارة التصميم
2	50
4	45
6 او اكثر	40

- يتم تحديد مقاومة التربة بواسطة اختبارات التحميل النسبي كاليفورنيا (CBR). ومنها يمكن تحديد معامل الارتداد لتربة التأسيس (Sud–grade) وفق المعادلات التالية :

$$Mr\ (Mpa) = 10.3\ CBR$$

$$Mr\ (Psi\ ) = 1500\ CBR$$

ويمكن تحديد نسبة معامل الارتداد(Mr%) بناءا" علي الحركة كما في الجدول أدناه.

جدول (2.5) تحديد نسبة القيمة التصميمية لمعامل الارتداد

تصنيف الحركة (ESAL)	معامل الارتداد (M_R%)
10^4 او اقل	60
10^4 الي 10^6	75
اكثر من 10^6	87.5

- يتم تحديد سمك الرصف وفق مخططات معدة بناءا" علي التغير في درجات الحرارة المحددة للمخطط هي 7°c او اقل 15.5 °c او 24 °c او اكثر وبخيارات مختلفة لمواد الرصف
- يتم اختيار سمك الرصف بناءا" علي نوع المواد المكونة للطبقات بحيث يمكن ان يصبح كامل العمق (full depth) من الخلطة الاسفلتية الساخنة (HMA) او قد تكون لطبقات مختلفة المواد ويتم ذلك في مخططات التصميم الملحقة في الملحق (2) المخطط (1).

2.11 طريقة أشتو AASHTO:

إن طريقة (AASHTO) في تصميم طبقات الرصف المرن اعتمدت على النتائج التجريبية المكثفة التي اجرت في الولايات المتحدة الأمريكية تحت اسم (AASHTO ROAD TEST).

وقد تميز برامج التجارب هذا بانه اوسع برامج تجارب أجري في العالم وان هذه الطريقة اعتمدت على مفهوم الاداء في الخدمة أكثر من اعتمادها على تحليل الإجهادات وعلى تحديد قيمة الإجهادات التي تسبب تشققات طبقات الرصف اذ ان وظيفة طبقات الرصف هو تأمين الراحة والأمان لمستخدم الطريق.

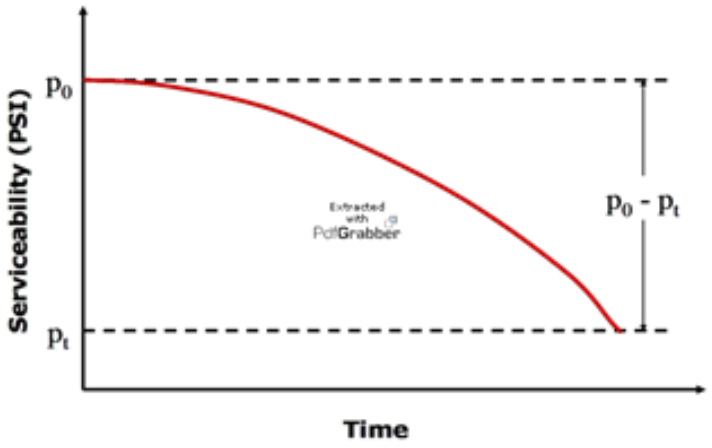
عرفت (AASHTO) مفهوم الاداء بانه قابلية طبقات الرصف للخدمة خلال الانتهاء من الانشاء مباشرة وفي أي زمان بعد الانشاء ومن اجل اعطاء هذا المفهوم قياساً كميا فقد اقترحت (AASHTO) مقياساً

سمى بدليل الخدمة وبناء على ذلك فقد تم تطوير مخططات تربط بين الرقم الانشائي (SN) ومقاومة تربة المسار (M_R،CBR) والمتوسط اليومي لعدد المحاور المكافئة او العدد الكلي للمحاور المكافئة التي تستخدم الطريق خلال العمر التصميمي واخذت طريقة (AASHTO) بعين الاعتبار الآثار الضارة للتغيرات المناخية المحلية كما تم ادخال عامل جديد يعرف بعامل الوثوقية .

ولاستخدام طريقة الآشتو لا بد من معرفة المصطلحات الآتية: –

تحديد الفقد (التغيير) في مستوى الخدمة (ΔPSI):

لقد اعتمدت اشتو في قياس قدرة طبقات الرصف على تقديم الراحة والامان لمستعمل الطريق بأخذ مقياس اتفاقي يتراوح بين (0 - 5) حيث ان القيمة النهائية هي اقل مستوى حالة يسمح به في نهاية فترة التحليل وذلك قبل اللجوء لعمل أي نوع من انواع الصيانة كتغطية أو اعادة انشاء، وعادة فان القيمة النهائية لدليل مستوى الحالة تؤخذ (2.5) للطرق الرئيسية و(2.0) للطرق المحلية والثانوية، بينما القيمة الابتدائية لدليل مستوى الرصف بعد الانتهاء من تنفيذ الرصف مباشرة تتراوح قيمتها بين (4.2 – 4.5) تبعا لجودة التنفيذ.



شكل(2.5) يوضع العلاقة بين الزمن ومستوى الخدمة

ولإيجاد التغير في مستوي(ΔPSI) الخدمة تستخدم المعادلة التالية: –

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

- **PSI = Pavement Serviceability Index, 0 < PSI < 5**

- **P_0 = Initial Serviceability Index**

  - **Rigid pavements: 4.5**
  - **Flexible pavements: 4.2**

- **P_t = Terminal Serviceability Index**

  - **Major road: 3**
  - **Intermediate: 2.5**
  - **secondary roads: 2**

الاعتمادية Reliability (R)

يقصد بالاعتمادية إدخال درجة من التأكيد في عملية التصميم لضمان أن خيارات التصميم يمكنها الاستمرار طول العمر التصميمي للرصف. وقد جاء إدخال الاعتمادية في عملية التصميم لضمان أن مختلف خيارات التصميم تعطي تصميما ومتغيرات إنشاء أصلية بحيث يكون أداء مطابق لما هو مطلوب خلال فترة التصميم، وفي الإعتمادية تأخذ عوامل التصميم في اعتبارها احتمال التغيرات التي تطرأ على كل من تنبؤات الأداء والمرور، وبذلك فهي تقدم مستوى محدد من الضمان وذلك بأن قطاعات الرصف سوف تعمل للفترة التي صممت لها. وهناك جداول توضح قيمة الاعتمادية بناءً على نوع الطريق كما في الجدول التالي:

جدول (2.6) جدول يوضح تحديد قيمة الإعتمادية

Suggested Levels of Reliability for Various Functional Classifications (AASHTO, 1993)

Functional Classification	Recommended Level of Reliability	
	Urban	Rural
Interstate and other freeways	85–99.9	80–99.9
Principal arterials	80–99	75–95
Collectors	80–95	75–95
Local	50–80	50–80

درجة الثقة (So) Over all standard deviation:

لأي مستوى معين من الإعتمادية يكون معامل الإعتمادية دالة في الإنحراف المعياري الكلي (So) والذي يعني بالإنحراف المعياري في المواد والإنشاء واحتمال التغير في تنبؤات المرور والاختلاف الطبيعي في أداء الرصف، ويفرض الانحراف المعياري الكلي مساوياً ل (0.4~0.5) للرصف المرن، وللرصف الصلب (0.3~0.4).

حجم المرور:

يعتبر حجم المرور المعيار الحاسم لتصميم طبقات الرصف الّذي يسبب تقديره بشكل غير صحيح حدوث تشوهات وتشرخات في طبقات الرصف، وبما أنه يمر على الطريق انواع مختلفة من العربات فان مواصفات اشتو عملت على تحويل المرور بأنواعه المختلفة إلى المحاور المكافئة.

- **الاحمال التصميمة:**

يعرف الحمل المكافئ لمحور مفرد على أنه قياسي على محور مفرد يسبب أثراً في الرصف عند موضع محدد فيه مساوياً لما يسببه حمل المحور المعني في نفس الموضوع المحدد.
معامل المحور المكافئ لحمل المحور لمركبة ما هو نسبة التأثير الّذي يحدثه مرور الحمل المحوري المفرد القياسي على نفس الرصف ويتم التعبير عن عدد مرات تكرار الحمل الّذي يؤدي الي وصول الرصف لنهايته المقبولة بصلابة طبقة الرصف.

- **العربة القياسية:**

هي عربة قياسية وزن محورها (180001b) أي ما يعادل (08.2ton)

- **العدد الكلي لأحمال المحاور القياسية المكافئة (∑ESWL):**

هو عدد المحاول القياسية التي تكافئ العدد الكلي للمحاور التي تستعمل الطريق خلال العمل الافتراضي.

معامل الرجوعية (Resilient Modulus (M_R):

من الاعتبارات المهمة في طريقة اشتو الجديدة تحديد قدره تحمل التربة. لذلك لا بد من دراسة التربة للتعرف على خواصها. اذ انه كلما كانت تربة المسار ذات خواص جيدة كلما قلت سماكة الطبقات وبالتالي قلت التكلفة والعكس صحيح. ويعتبر معامل الرجوعية (M_R) مقياسا لمقاومة أي طبقة من طبقات القطاع الانشائي للرصف والتي يمكن تحديدها بداءاً من تربة التأسيس فالأساس المساعد فالأساس ثم الطبقة الاسفلتية ويتم ايجاد هذا المعامل عن طريق اجراء التجارب المعملية المناسبة لكل طبقة وحسب نوع المواد المستخدمة في هذه الطبقات وفي حالة عدم امكانية اجراء هذه التجارب يمكن تقدير قيمة تقديرية لهذه المعاملات بناءا علي نتائج اختبارات نسبة تحميل كاليفورنيا (CBR) والتي تعتبر من التجارب الشائعة في معظم معامل الطرق، فبالنسبة لتربة التأسيس تكون العلاقة بين معامل الرجوعية (M_R) ونسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) كالآتي:

$$\mathbf{M_R = 1500 * CBR} \quad \mathbf{(psi)}$$

وهذه العلاقة قابلة للتطبيق إذا كانت (CBR <10%)

اما إذا كانت (CBR >10%) فيمكن تحديدها بدقة عن طريق إجراء تجربة معامل الرجوعية.

الرقم الإنشائي (Structural Number (SN):

الرقم الإنشائي عبارة عن رقم دليلي ناتج من تحليل المرور وتربة الأساس والقدرة على تصريف المياه من الطبقات والذي يمكن تحويلة الي سمك الطبقات المختلفة لطبقات الرصف المرن عن طريق استخدام معاملات الطبقات والتي تعتمد على أنواع المواد المستخدمة في طبقات الرصف المختلفة. يتم حساب الرقم الإنشائي (SN) كالآتي: -

$$\mathbf{SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3}$$

حيث أن: -

SN = structural number = f (structural capacity)

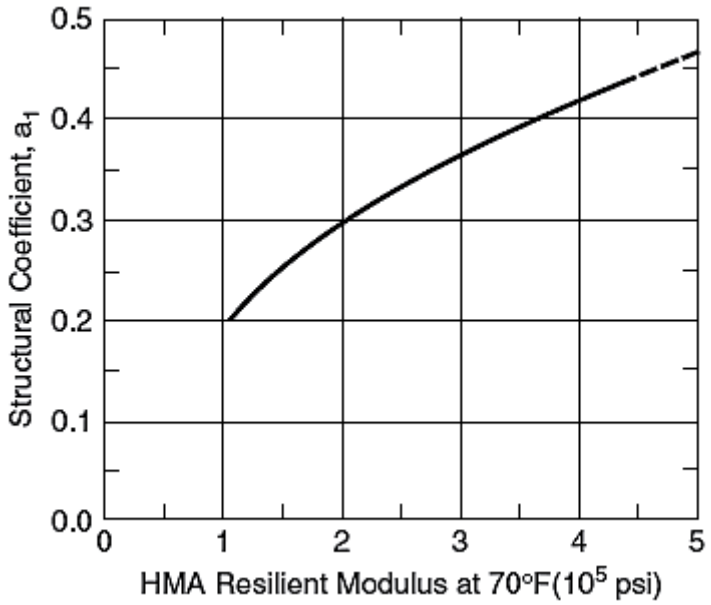
a_i = layer coefficient

D_i = layer thickness (inches)

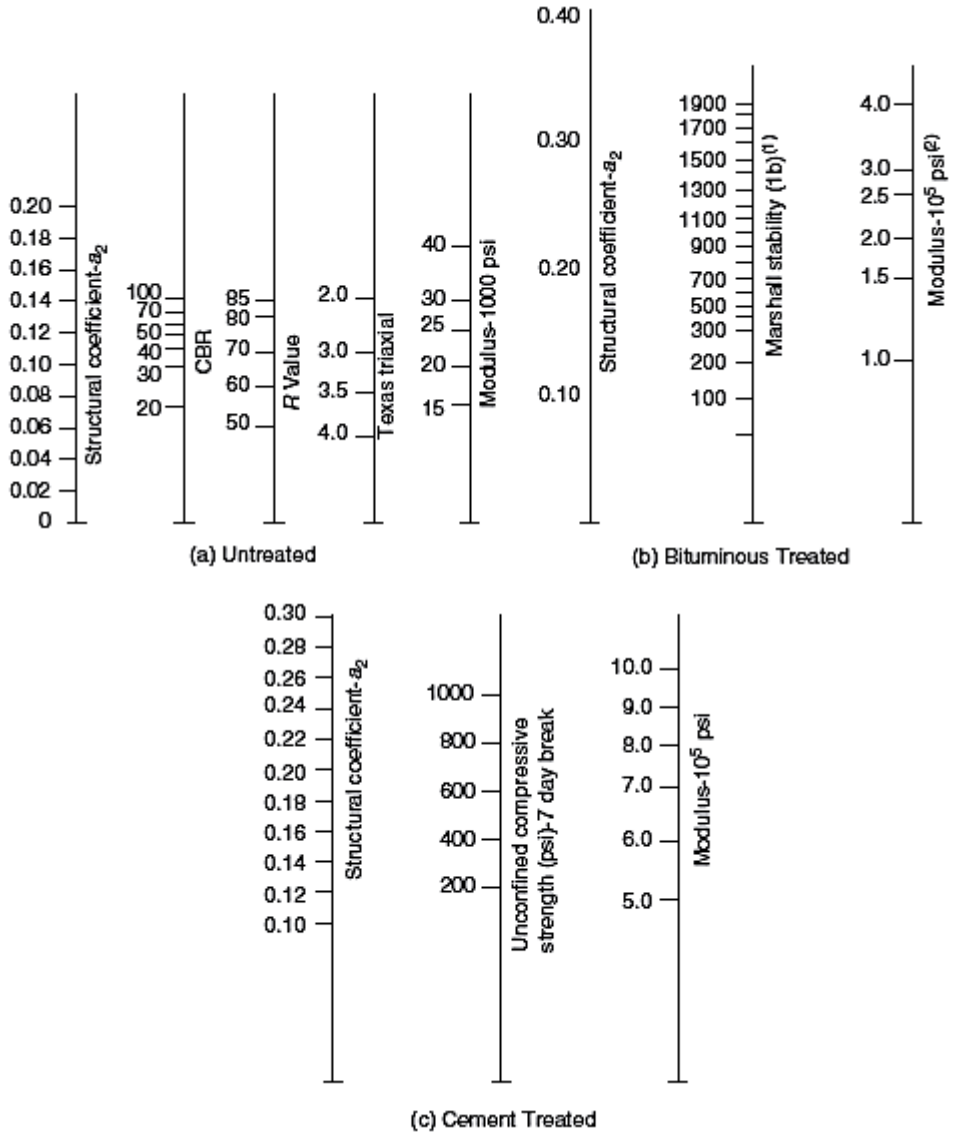
m_i = layer drainage coefficient

معامل الطبقات Layer Coefficient:

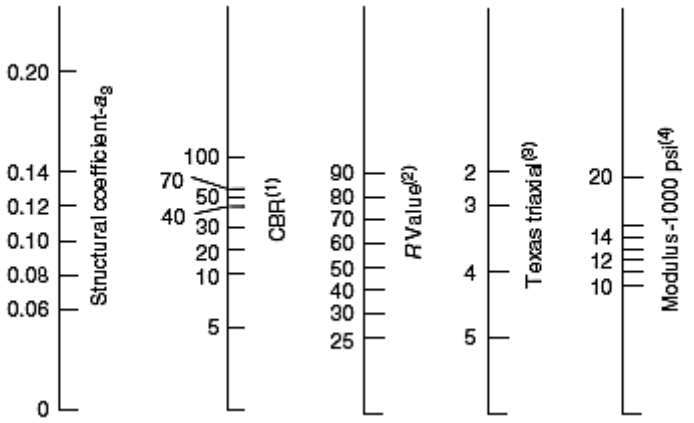
معامل الطبقة يعرف بالرموز (a_1،a_2، a_3) لطبقات السطح والاساس وتحت الاساس على الترتيب وهو عبارة عن العلاقة بين الرقم الإنشائي للرصف وسمك الطبقة بالبوصة وهو يمثل القدرة النسبية للمادة المستخدمة في كل طبقة من طبقات الرصف والتي تشارك في القوة الإنشائية لقطاع الرصف ككل.



شكل (2.6) منحنى يوضح معامل الطبقة السطحية a_1



شكل (2.7) منحنى يوضع معامل الطبقة الأساس a_2



شكل (2.8) منحنى يوضع معامل الطبقة الأساس المساعد a_3

كفاءة التصريف Quality of Drainage:

وهي تعكس مقدرة طبقة الاساس والاساس المساعد على تصريف الامطار فيتم تقديرها على اساس سرعة تصريف المياه من الطبقة وطبيعة المنطقة فاذا تم التخلص من المياه خلال 24 ساعة فإنها تعتبر جيدة وإذا احتفظت بالمياه لفترة طويلة فتعتبر ضعيفة جدا. وبناءا على ذلك تكون قيمة M_2،M_3 الظروف التشغيل. والجدول التالي يعطي قيم لكفاءة التصريف: –

جدول (2.7) قيم لكفاءة التصريف

Quality of Drainage		% of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
Rating	Water Removed Within	<1%	1–5%	5–25%	>25%
Excellent	2 h	1.40–1.35	1.35–1.30	1.30–1.20	1.20
Good	1 day	1.35–1.25	1.25–1.15	1.15–1.00	1.00
Fair	1 week	1.25–1.15	1.15–1.05	1.00–0.80	0.80
Poor	1 month	1.15–1.05	1.05–0.80	0.80–0.60	0.60
Very Poor	Never drain	1.05–0.95	0.95–0.75	0.75–0.40	0.40

المواد المستخدمة في طبقات الرصف:

من اجل تحديد السماكات لا بد من تحديد أو معروفة المواد الداخلة فيها ويجب على المهندس المصمم افتراض هذه المواد وعلى الشركة المنفذة الالتزام باختيار هذه المواد بما يوافق الخواص والمواصفات. يتم

ايجاد قيمة CBR ونستخدم للحصول على معاملات الطبقات (a_1، a_2، a3) وكذلك معامل الرجوعية (M_R) لطبقة الاساس والاساس المساعد وذلك من المخططات السابقة.

أقل سماكة للرصف:

يعتبر طريقة اشتو من الطرق المرنة التي يمكن ان يتم تغير سماكة طبقة على حساب طبقات اخرى. ولكن دون ان تتجاوز اقل قيمة مسموح بها والموضحة في الجدول التالية:

جدول يوضح اقل قيمة للسماكة الطبقة السطحية وطبقة الاساس بالاعتماد على ESAL.

جدول (2.8) جدول يوضح اقل قيمة للسماكة الطبقة السطحيةوطبقة الاساس

Traffic, ESAL's	Asphalt Concrete	Aggregate Base
Less than 50,000	1.0 (or surface treatment)	4
50,001–150,000	2.0	4
150,001–500,000	2.5	4
500,001–2,000,000	3.0	6
2,000,001–7,000,000	3.5	6
Greater than 7,000,000	4.0	6

خطوات استخدام مخطط AASHTO

١. يتم توقيع اعتماد R في العمود الخاص به.
٢. يتم وقيع الانحراف المعياري So في العمود المائل الخاص به.
٣. توصل بين هاتين القيمتين على استقامة حتّى يتقاطع مع خط الانقلاب الاول TL وليكن نقطة التقاطع
٤. يتم توقيع العدد الكلي لأحمال المحاور القياسية المكافئة في العمود الخاص بها W18
٥. وصل بين هذه القيمة ونقطة التقاطع 1 حتى نمد الخط الناتج عن استقامته حتى يتقاطع مع خط الانقلاب الثاني وليكن نقطة التقاطع 2.
٦. يتم توقيع في معامل الرجوعية M_R في العمود الخاص به.

٧. توصل بين نقطة التقاطع مع قيمة الرجوعية M_R ويمر الخط حتّى يتقاطع مع المخطط الخاص بدليل الخدمة في نقطة تقاطع 3.

٨. تحدد منحنى الفقد في مستوى الخدمة المطلوب Δpsi ثم تمد خط افقي يبدأ من نقطة التقاطع 3 حتّى تتقاطع مع منحنى الفقد في مستوى الخدمة في نقطة التقاطع 4.

٩. من نقطة التقاطع 4 نسقط عمود رأسي حتّى يتقاطع مع المحور الافقي المحتوي على الارقام الانشائية التصميمية لنحصل على الطلوب وهو الرقم الانشائي SN.

١٠. نعيد الخطوات من 6 – 9 لنحصل على الرقم الانشائي لبقية الطبقات الأخرى

حساب سماكات الرصف:

بعد ايجاد الرقم الإنشائي تم تحديد سماكة الطبقات من العلاقات التالية:

١-الطبقة السطحية surface layer

$$SN_1 = a_1 d_1$$

٢- طبقة الاساس (Base Course)

$$SN_2 = a_2 d_2 m_2 + a_1 d_1$$

٣- سمك الاساس المساعد sub-base

$$SN_3 = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 m_3 d_3$$

يتم تعديل المعادلات كالاتي: -

$$d_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$d_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 m_2}$$

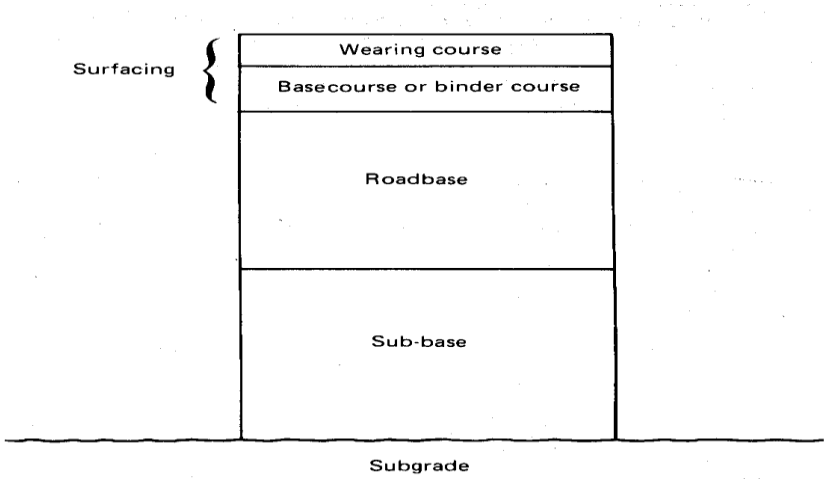
$$d_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_2 + SN_1}{a_3 m_3}$$

2.12 طريقة المذكرة البريطانية رقم (31)

قدمت هذه الطريقة فهما أعمق وأكثر تقدما عن سلوك مكونات رصف الطرق وكيفية تفاعلها معا خلال عملية الرصف. كما أنه من أهم مميزاتها أنها وضعت لتصميم الطرق في المناخات المعتدلة وبالتطوير المستمر أصبحت ملائمة للتصميم في المناطق المدارية وشبه المدارية وذلك لتلك المعرضة لأحمال تزيد عن ٣٠ مليون عربة مكافئة في الإتجاه الواحد. تم اختصار عملية التصميم في هذه الطريقة بثلاثة خطوات: –

١. تحديد حجم الحركة المرورية المتوقعة خلال العمر الافتراضي للطريق.
٢. تحديد درجة قوة تحمل التربة الطبيعية وذلك اعتمادا على نسبة تحمل كاليفورنيا.
٣. اختيار الخيار الأكثر اقتصادية من بين البدائل المتاحة وذلك بمراعات عدة عوامل منها: –

- تأثيرات المناخ وخصوصا في البلدان الاستوائيةوالتي تكون فيها التربة معرضة للرطوبة بصورة دورية.
- الشروط والأحكام المطبقة في المنطقة.
- الموازنة بين التصميم والصيانة حيث أنه يتجنب التصاميم التي تحتاج لصيانات كثيرة وفي فترات متقاربة، في حين تصميم طريق لا يتطلب صيانة يؤدي إلى زيادة التكاليف بصورة كبيرة جدا. ويوضح الشكل التالي شكل التصميم العام بهذه الطريقة.



شكل(2.9) التصميم العام بالطريقة البريطانية

الدقة:

من الطبيعي وجود الأخطاء عند اجراء أي مسح وخصوصا في بيانات حركة المرور يمكن أن تكثر الأخطاء فيها، كما قد تحدث الأخطاء عند تقدير النمو المروري المتوقع، وللحد من هذه الأخطاء يتم عمل مسح للمشروع بصورة منتظمة.

من الجيد أن تحديد سمكات الطريق لا يتأثر كثيرا بالأخطاء الطفيفة لأنها تصمم بناءا على عدد العربات المكافئة التراكمية، وبالرغم من هذا فإنه يجب تقييم وتحليل حساسية البيانات المعمول بها، وتحديد نسبة المخاطرة لفترة معينة، وتصنيف الطرق على هذا الأساس موضح في الجدول التالي:

جدول (2.9) جدول تصنيف كمية الحركة

Traffic Loagin Class	Equivalent Standard Axles (* 10^6)
T1	< 0.3
T2	0.3 – 0.7
T3	0.7 – 1.5
T4	1.5 – 3
T5	3 – 6
T6	6 – 10
T7	10 – 17
T8	17 - 30

جدول (2.10) جدول تعيين مقاومة التربة الطبيعية:

Subgrade Class	CBR (%)
S_1	2
S_2	3 , 4
S_3	5 – 7
S_4	8 – 14
S_5	15 – 29
S_6	> 30

طريقة استخدام الكتالوجات:

وتتكون هذه المذكرة من ثمانية كتالوجات هي عبارة عن بدائل متاحة للتصميم ويتم اختيار البديل المناسب حسب كمية الامطار وطبيعة التربة والنواحي الاقتصادية ونواحي أخرى.

يمكن الحصول على أي من الكتالوجات الثمانية المرفقة بالتعرف على كمية الحركة ويرمز لها بالرمز (T) وتحمل الارقام من (T1~T8) ويمكن تحديد (T) بمعرفة جملة الثقل المحوري المعادل النموذجي (esa) وبالإضافة إلى معرفة كمية الحركة (T) يجب ايضا معرفة قوة التحمل (S) وهي تحمل الارقام من (S6 - S1) ويمكن تحديد (S) بمعرفة قوة التحمل النسبية لكاليفورنيا بالنسبة للطبقة التأسيسية.

وبمعرفة كل من (T) و (S) يمكن مباشرة تحديد الكتالوجات ومن ثم تحديد البديل المناسب.

وصف مواد الطبقات:

(SD): طبقة معالجة أو غطاء سطحي وهو عبارة عن رش الاسفلت السائل أولا ثم فرش الحجارة المكسرة ثم دكها وهذه تمثل الطبقة الأولى. والطبقة الثانية هي رش الاسفلت ثم فرش الرملة الخشنة ودكها. وسمك الطبقتين المتوسط يعتبر (19mm).

(AG): وهي طبقة من الخرسانة الاسفلتية على الساخن خشنة مفتحة الملمس مكونة من الاسفلت والركام الخشن والركام الناعم والبدرة يزداد الاستقرار والكثافة كلما ازدادت نسبة الركام الخشن بالخلطة الاسفلتية وتستعمل كطبقة سطحية.

(AC): وهي اجود الانواع من الخرسانة الاسفلتية على الساخن، عليها، سمكها أقل وتحتها طبقة رابطة ويكون سمكها أكثر من العليا وهي ناعمة الملمس،سمكية،مقفلة، تعتمد قوتها ومقاومتها على كل من التماسك بين الركام ونوعية الاسفلت والبدرة.

(BB): وهي طبقة اساس من الخرسانة الاسفلتية على البارد مرضية بالنسبة للإفطار المدارية وشبه المدارية كالسودان تحتاج لخواص متشابهة للطبقات السطحية ولكن احوال التحميل اقل تأثيراً فمتطلبات هذه الخلطة غير حرجة في درجات الحرارة ولكن الخلطات أكثر تعرضا للتشوهات في الايام الاولي من عمرها فيجب قفل الطريق في الايام الأولى لسلامة الطريق.

(GB): هي طبقة الأساس الحصوية وهذا التعبير له أنواع كثيرة من الوصف والتدرج يبدأ من الحجارة المكسرة المكثفة التدرج وهي (GB1) ثم (GB2) وتشمل انواع المكادام على الناشف والمكادام المائي. وهي نفس خواص الطبقة (GB1) معامل اللدونة لا يقل عن 6%، يستعمل في المناطق التي يتعثر وجود الماء فيها أو غالية التكلفة حجم المواد حوالي 50mm والمواد الناعمة تملأ فراغات المواد الخشنة ثم تدمك بدرادقه ثقيلة العجلات وتجري التجارب المعملية المطلوبة من صلابة الركام والمتانة وتشكل الحبيبات وغيرها. و(GB3) و(GB4) وغيرها هي من الخرسانة الترابية الطبيعية وهنالك تدرج للجودة.

(GS): هي طبقة الأساس المساعد الحصوية الحد الأدنى لـ CBR 30% والدمك لا يقل عن 95% من تجربة بروكتر للدمك بالعمل الثقيلة الوزن (4.5kg) للمطرقة وان تكون نسبة الرطوبة المثولية (o.m.c).

(GC): تستعمل كطبقة غطاء للطبقة التأسيسية الضعيفة وايضا كبديل لطبقة الاساس المساعد السميكة لتخفيض التكلفة اقتصاديا فالمتطلبات متساهل معها عن تلك لطبقة الاساس المساعد والحد الادنى للـ 15% CBR والكثافة 95% من اقصى كثافة بالمعمل لبروكتر، لا يحدد مواصفات للتدرج أو للدونة ولكن يجب اختيار مواد منتظمة بقدر الإمكان ولا تتغير قوة تحملها عند الجفاف والرطوبة وهي مواد تجلب من عن بعد من حرم الطريق. مواد مختارة أفضل من المواد على جانبي المسار.

(CS. CB2. CB1): هي الثلاث طبقات المثبتة وذلك باستخدام مواد تثبيت سواء أسمنت أو جير أو اسفلت حسب درجة اللدونة وتوزيع احجام المواد المراد معالجتها فنجد ان الاسمنت وهو غالي الثمن يستعمل للتربة التي معامل لدونتها اقل من أو يساوي 10% والمار من الغربال 200–اكثر من 25% من العينة.

الجير يستخدم ايضا للمواد المارة من الغربال 200 اكثر من 25% والـ PI ما بين (10-20) ولا يستعمل للمواد PI اقل من 10% أما الاسفلت فيستخدم للمناطق ذات الامطار الكثيفة وتتراوح الخواص لكل من (Cs. CB_2, CB_1)

2.13 طريقة نسبة تحميل كاليفورنيا C.B.R Method

قام قسم الطرق في ولاية كاليفورنيا بوضع أسس هذه الطريقة بعد دراسات مستفيضة للانهيارات التي حدثت في الرصف المرن للطرق، واستمر التطوير وعمل الدراسات والأبحاث المتعلقة بهذه الطريقة مما جعل هذه الطريقة أكثر طرق التصميم التي حازت قبولا عاما في مختلف أنحاء العالم وشاع استعمالها واتباعها كطريقة مقبولة يمكن الاعتماد عليها في تصميم أسماك الرصف في الطرق والمطارات.

قدم سلاح المهندسين بأمريكا مجموعة منحنيات تصميمة لأحمال العجل المختلفة، وتستخدم هذه المنحنيات في تصميم سمك الرصف المرن للطرق والمطارات دون تمييز العجل المفرد والعجل المزدوج إلا أنه توجد منحنيات مختلفة في حالة الطائرات.

ويتم تحديد سمك الطبقات حسب نسبة تحميل كاليفورنيا للطبقة المعنية وقبلها يتم تحديد المنحنى المناسب حسب عدد الشاحنات التجارية المارة في اليوم الواحد أو العربات التي يزيد وزنها عن ٤أطنان.

تمتاز هذه الطريقة بالبساطة وخاصة عند اجراء التجارب اللازمة لتحديد قيم الـCBR لطبقة التربة الاصلية او لطبقتي الاساس الاولي او الثانية ومن واقع مجموعة كبيرة من البيانات الخاصة، بسمك الرصف وقيم الـ CBR ومدى صلاحية الرصف للأحمال المارة أمكن الحصول على علاقة بين قيمة الـ CBR وسمك الرصف المناسب مع اختلاف الاحمال المارة.

وأساس التصميم هو ان كل طبقة رصف تحتاج إلى طبقة تعلوها سمكها يتوقف على قيمة الـ CBR للطبقة السفلية والاحمال الكبيرة تحتاج إلي سمك أكبر لحماية التربة الاصلية. والاحمال المارة حسب ما استخدم بواسطة قسم الطرق بولاية كاليفورنيا. وقد ادخل حجم المرور علي سمك الرصف المطلوب وتستخدم منحنيات التصميم اساساً في انجلترا والهند.

ويجب الإشارة هنا إلى أنه في كل الحالات يجب ألا يقل سمك طبقتي السطح والأساس لمختلف أحمال العجلات عن أقل سمك مقرر حسب توصيات سلاح المهندسين بأمريكا كما هو مبين في الجدول التالي: –

جدول (2.11) يوضح اقل سمك للطبقة السطحية وطبقة الاساس

Wheel load(Ibs.)	Min surface(in)	M.Basc coursc	Min. total (in)
10000	2	6	8
20000	2	6	8
30000	3	6	9
40000	3	6	9
50000	3	6	9
60000	4	6	10
70000	4	6	10

2.14 مقدمة عن التجارب:

تعد التربة من أكثر الظواهر الطبيعية المؤثرة في حياتنا، فهي من أقدم مواد التشييد التي عرفها الانسان، فقد شيد عليها وشيد بها وشيد فيها. فكان التشييد عليها كما هو الحال في اساسات المنشآت، وشيد بها كما هو الحال في المنشآت الترابية، وشيد فيها مثل الانفاق والمناجم.

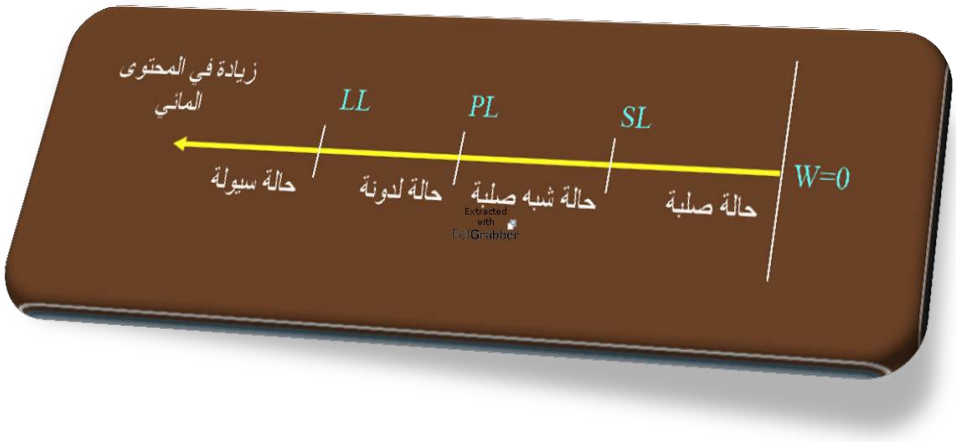
والتربة هي المادة التي استطاعت ان تجمع علوم الهندسة والبيئة والجيولوجيا والكيمياء والفيزياء والنقل والانشاء وغيرها، وذلك لأهميتها. لذا كان من الضروري المضي قدما في دراسة علم ميكانيكا التربة لمواكبة متطلبات تقنيات هذه العلوم، وحتى يمكن التصدي للمشاكل المختلفة التي قد تطرأ من استخدامات التربة المتعددة، خاصة إذا عرفنا انها الأكثر وفرة في محتواها ولكنها الأكثر تعقيدا في خواصها.

ان مادة التربة تختلف عن غيرها من مواد التشييد ذات الصفات الثابتة مثل الاسمنت والحديد والزجاج وغيرها، فهي مادة تملك خواص طبيعية متنوعة تحتاج الي دراسات معملية واخري نظرية من اجل التعرف على خواصها وسلوكياتها للحد من المشاكل الهندسية التي قد تظهر نتيجة استخدامها.

2.15 اختبارات حدود اتربيرج ATTERBERG LIMITS TEST

حدود اتربيرج :

- حدالسيولة (Liquid Limit)
- حداللدونة (Plastic Limit)
- حدالانكماش (Shrinkage Limit)



شكل (2.10) حدود أتربرج

تجربة حد السيولة Liquid Limit

التعريف:

هو عبارة عن المحتوى المائي للتربة والذي يلتحم عنده شق سمكه (2 mm) و لمسافة (2.5 mm) في عينة تربة تحت تأثير (25) ضربة في جهاز كازاغراند . أو مقدار الغرز لإبرة جهاز الاختراق لمسافة (20 mm).

تجربة حد الدونة Plastic Limit Test

التعريف:

المحتوى المائي الذي يمكن عنده فتل التربة إلى خيط قطره (3 mm) دون أن ينقطع هذا الخيط، وتعتمد هذه التجربة نوعاً ما على الشخص الذي يقوم بها مقارنة بتجربة حدالسيولة، وذلك لصعوبة تقدير قطر قدره (3 mm)، و لكن للحصول على نتائج أكثر دقة يمكن مقارنة خيط التربة بسلك أو قضيب قطره (3mm)، حيث يمكن إجراء التجربة من قبل فنيين مختلفين والحصول على نتائج في حدود (1-3%) لنفس نوع التربة .

يتراوح حد اللدونة للتربة الطينية السلتية بين (5 - 30%).

دليل الدونة Plasticity Index

هو الفرق بين حد السيولة وحد اللدونة للتربة.

الغرض من التجربة: –

إيجاد حد اللدونة بغرض استخدامه في إيجاد دليل اللدونة (Plastic Index) (P.I) ، واستخدام الأخير في تصنيف التربة .

الأدوات المستخدمة: –

- وعاء خلط وعاء من البورسلين أو ماشابه لإجراء الخلط فيه حوالي (115) ملم وحتى (150) ملم.
- سكين ذات شفرة بطول حوالي (150 – 75 ملم) وعرض (19 ملم) تقريباً .
- ميزان حساس
- فرن تجفيف
- قنينة ماء
- علبة وضع العينات
- لوح زجاج للفتل

- ماء مقطر

خطوات التجربة: –

- خذ (20%) من العينة المحضرة لإيجاد حد السيولة .
- خفض محتوى الماء حتى تتمكن من دحرجتها وعملها على شكل خيوط دون أن تلتصق باليد وذلك بفرد العينة وعجنها على اللوح الزجاجي .
- خذ من العينة الجاهزة (2 ~ 1.5 جم) وشكلها على شكل كرة مستطيلة ودحرجتها باليد على لوح الزجاج لتصنع منها خيوطاً ذات قطر منتظم واستمر بالدحرجة والضغط حتى يصبح قطر الخيوط (3.3 ~ 0.5) ملم.
- أعد تجميع الخيط واعمل منه كرة واعجنه باليد ثم دحرجه واعد العملية حتى تصل العينة إلى حد إن الخيوط تتكسر عندما ندحرجها إلى خيوط قبل أن تصل إلى (3.2 ملم) .
- استمر بالعمل طالما إن العينة يمكن تجميعها وعمل كرة منها ومدها في خيوط وإذا انكسر الخيط حتى قبل إن يصبح (3.2 ملم) نكتفي بالفحص .
- اجمع القطع وضعها في وعاء لتحديد المحتوى المائي ثم قم بتغطية الوعاء

2.16 الدمك Compaction:

نظرية التجربة :

نسبة الرطوبة تلعب دوراً هاماً في رص التربة ، فحينما نضيف الماء إلى التربة فإن الماء يقوم بتغليف حبيبات التربة بطبقة رقيقة ويكون هناك شد سطحي بين الحبيبات يعيقان انزلاقها على بعضها تحت تأثير طاقة الدمك ولكن بزيادة نسبة الماء تدريجياً فإن سماكة الطبقة المحيطة بالحبيبات تزداد، وبالتالي يؤدي ذلك إلى انخفاض في الشد السطحي من ناحية و إلى سهولة انزلاق الحبيبات على بعضها من ناحية أخرى، وبالتالي يكون هناك وضع آخر للحبيبات يعطي حجماً أقل (كثافة أكبر)، وهكذا حتى الوصول إلى نسبة الرطوبة الأمثل (O.M.C).

الغرض من التجربة:

إيجاد المحتوى الرطوبة الأمثل عند أقصى كثافة جافة لاستعمالها في اختبار(CBR) وإيجاد أقصى كثافة جافة معملية (M.D.D) ومقارنتها بالكثافة الجافة الحقلية وذلك لمعرفة درجة الدمك (D.O.C).

الأدوات المستخدمة:

- قالب الدمك المعدل مكون من (قاعدة حديدية ، غطاء مساعد ، القالب (حجمه 988 g)
- مطرقة وزنها (2.5 kg)
- ميزانين حساسين الاول بدقه (0.5 g) والثاني بدقه (0.1 g)
- غربالين الأول (" 3/4) والثاني (" 3/16)
- دورق مدرج
- أدوات مساعدة (إناء للخلط – وسكينة للتسوية)
- ادوات قياس المحتوى المائي
  - علبة من الالمنيوم فارغة وجافة ونضيفة (Moisture Cans) .
  - ميزان حساس (Balance) بدقة (.01 g) .
  - فرن تجفيف مع ضابط للحرارة (Thermostatically controlled drying oven)

طرق اجراء الاختبار:

- اختبار بركتور القياسي (Test Standard Proctor)
- اختبار بركتور المعدل (Modified Proctor Test)

جدول (4.1) يوضح المقارنة بين الدمك القياسي والمعدل

وجه المقارنة	بروكتر القياسي	بروكتر المعدل
القالب	944 cm^3	944 cm^3
المطرقة	24.5 N	24.5 N
عدد الطبقات	3	5
عدد الضربات	25	56
ارتفاع السقوط	0.305 m	0.46 m
طاقة الدمك الإسمية	593.7 kg $/m^3$	2710 kg $/m^3$

طريقة إجراء الإختبار :

- جهزت حوالي (6 kg) من التربة المارة من منخل رقم (40) والتي تم تحديد نسبة الرطوبة الطبيعية لها، ثم أضيف إليها الماء للحصول على محتوى مائي حوال (% 5) أقل من المحتوى الرطوبي الأمثل للتربة ثم خلطت التربة جيداً .
- قيس وزن القالب الأسطواني مع القاعدة وليكن (W_1) .
- ربطت القاعدة و الحلقة المعدنية و الأسطوانة مع القالب.
- دمك التربة على خمسة طبقات و تم دمك كل طبقة (56) مرة قبل إدخال الطبقة التالية، و ذلك باستخدام المطرقة (Hummer).
- فصلت الحلقة عن القالب وباستخدام المسطرة أزيلت التربة الزائدة لتتساوي مع سطح القالب، و في حالة وجود فجوات أضيفت مواد ناعمة أوخشنة لملئ الفراغات .
- قيس وزن القالب الأسطواني مع القاعدة والتربة المدموكة (W_2) .
- فصلت القاعدة ثم استخرجت عينة التربة باستخدام الرافعة.
- أخذت عينة ممثلة من التربة المدموكة من أسفل و وسط و أعلى القالب (حوالي 100 جم) لتحديد المحتوي المائي .
- مزجت التربة مع التربة المتبقية وأضيف حوالي (2%) من الماء وخلطت جيداً .
- كررت الخطوات من (4) إلى (8) عدة مرات حتى لوحظ أن وزن القالب مع القاعدة والتربة بدأ يقل رغم زيادة الماء ثم سجل بعدها محاولتين.
- الكثافة الرطبة للتربة (γ_{wet}) = وزن التربة ÷ حجم الوعاء
- الكثافة الجافة للتربة (γ_{dry}) = (γ_{wet}) ÷ (1 + المحتوي المائي)
- رسم الكثافة الجافة للتربة (γ_d) مع المحتوى المائي (M.c) على ورقة رسم بياني والتي شكلت منحنى ومنه حددت الكثافة الجافة العظمى للتربة ($\gamma_{d\ max}$) ، وهي أعلى نقطة في المنحنى ومثل المحتوي المائي لهذه النقطة المحتوى الرطوبي الأمثل (O.M.C) .

2.17 تجربة نسبة تحميل كاليفورنيا CBR:

الأهمية:

تحدد هذه الطريقة نسبة قوة تحمل كاليفورنيا للتربة ولطبقات ماتحت الاساس والاساس للطرق بفحص عينات مختبرية مدموكه، ويتعلق الفحص بشكل رئيسي بتحديد قوة المواد المتماسكة التي لايتجاوز حجم أكبر الحبيبات فيها (19 ملم) . إذا استعملت مواد تحوي حبيبات أكبر من (19) ملم فيتم تعديل التدرج بحذف الجزء المتبقي والتعويض عنه بمواد مارة من منخل (19 ملم) ومتبقية على منخل (4.75 ملم)، بشكل يجري الفحص على المواد المارة من منخل (19 ملم) ، نجري هذا التعديل لكي نتجنب الاخطاء في الفحص نتيجة وجود مواد كبيرة ، يمكن أن تختلف خواص المواد المعدلة عن المواد المفحوصة ولكن هذه الطريقة تعتبر كافية وملبية لحاجة المهندس . يتم تحديد نسبة قوة تحمل كاليفورنيا على مواد تحوي نسبة الماء الأصولية أو على عدة نسب ماء تحقق دمكاً معيناً وكثافة جافة معينة كنسبة من الكثافة الجافة القصوى المحددة في الطريقة القياسية والمعدلة، ولذلك يجب تحديد نسبة الماء والكثافة الجافة المطلوب وتحديد نسبة قوة كاليفورنيا عليها وتستعمل نتيجة الفحص كجزء متمم لعملية تصميم رصفة الطرق المرنة. إذا كان تأثير ماء الدمك على نسبة قوة تحمل كاليفورنيا صغير مثل التربة الخشنة، والتربة غير المتماسكة يتم فحص القوة على عينات تحوي نسبة الماء الاصولية التي تحقق درجة الدمك المطلوبة، أما إذا كان تأثير ماء الدمك غير معروف أو نريد معرفة تأثيره يتم فحص القوة على عينات تحوي عدة نسب من الماء.

الأدوات المستخدمة:

- **جهاز تحميل**

بقدرة لاتقل عن (44.5 كيلونيوتن) ولها رأس متحرك أو قاعدة متحركة بسرعة منتظمة مقدارها (1.27 ملم)في الدقيقة، لكي تجعل عمود الاختراق يخترق العينة ويزود الجهاز بحلقة عليها مقياس يقيس الثقل لحدود (44 نيوتن) أو أقل.

القالب أسطواني: –

من معدن قاسي قطره الداخلي (0.66 ± 152.4 ملم) وارتفاعه (0.46 ± 177.8 ملم) مع حلقة إضافية بارتفاع (50.8 ملم) وقاعدة معدنية، عند تثبيت القاعدة في القالب يصبح حجم القالب بدون القطعة الاضافية (25 ± 2124 سم3) .

- قرص تباعد مستدير- قطر (150ملم) وينزلق بسهولة في داخل القالب وارتفاعه (0.271 ±61.37 ملم)
- مطرقة للدمك – كماهو منصوص في تجربة الدمك أما المعدلة أو تستعمل المطرقة القياسية
- جهاز قياس التمدد في العينة – يقيس مقدار الانتفاخ في العينة أثناء غمرها بالماء .
- اوزان - مؤلفة من حلقات مثقوبة من الوسط ومجموع أوزانها (0.02 ± 4.54كجم) ، وحلقات مثقوبة من الوسط ومفتوحة من الجانب ووزن كل واحدة (0.02 ± 2.27 كجم) يكون قطر الحلقات غير المفتوحة (150.810 -149.23 ملم) و قطر الثقب (53.98) ملم.
- عمود اختراق - قطره (0.13 ± 49.63 ملم) وطوله (101.6 ملم) على الأقل، و يكون من المستحسن استعمال عمود أطول.
- ادوات اخرى: وعاء خلط ، سكين تسوية ، حوض ماء للغمر ، أوعية ، فرن ، أوراق ترشيح. مناخل (19ملم، 4.75 ملم) .

تحضير العينات:

تحضر العينات كما هو مذكور في طريقة الدمك القياسية أو المعدلة وتدمك في القالب إذا كانت المادة تمر من منخل (19 ملم) تدمك العينة كما هي دون تعديل ، إذا تبقى جزء منها على (المنخل19) يتم إزالة هذا الجزء والتعويض عنه بمادة تمر من منخل (19) وتبقى على منخل (4.75 ملم) .

نعمل تجارب لتحديد نسبة الماء الأصولية بطريقة الدمك القياسية أو المعدلة حسب ما هو مطلوب. إذا أردنا تحديد (CBR) على أقصى كثافة جافة ونسبة الماء الأصولية تدمك العينات في قالب (CBR) على نسبة الماء القياسية باستعمال طريقة الدمك القياسية أو المعدلة.

إذا أردنا تحديد (CBR) على نسبة الماء الأصولية ونسبة مئوية معينة من الكثافة الجافة القصوى، يتم دمك (3)عينات على نسبة الماء الأصولية مع استعمال طريقة الدمك المعدل وتغير عدد الضربات لكل عينة حتى يتم الحصول على الكثافة الجافة المطلوبة، يتم تغيير عدد الضربات لكي نحصل على كثافة أعلى وكثافة أقل من الكثافة المطلوبة.

مثلا إذا أردنا نسبة قوة تحمل كاليفورنيا لتربة كثافته(% 95) من الكثافة الجافة القصوى، نستعمل عدد من الضربات مقداره (56 ،30،10) ضربات لكل طبقة في العينات الأولى والثانية والثالثة على التوالي وتجرى تجربة(CBR) على الثلاث عينات.

طريقة إجراء الاختبار:

- تؤخذ عينة من المادة قبل البدء بالدمك وعينة من المواد المتبقية بعد الدمك لتحديد نسبة الرطوبة.
- يتم تجميع القالب مع القاعدة، وتوضع الحلقة الإضافية، كما يدخل قرص التباعد فوق القاعدة ثم توضع ورقة ترشيح وتدمك العينة في القالب فوق ورقة الترشيح، يتم رفع القبة ثم تقلم العينة لتصبح مسح مع حواف القالب باستعمال سكين التسوية، يتم ملء الفراغات الكبيرة بمواد أصغر ويتم ملء مكان الحبات الكبيرة بمواد أصغر.
- تفك القاعدة وقرص التباعد وتوزن العينة مع القالب.
- يتم وضع ورقة الترشيح على القاعدة ويوضع القالب مقلوباً مع العينة عليها ويثبت القالب بالقاعدة لتلامس العينة ورقة الترشيح.
- توضع الأوزان فوق القرص وتنزل برفق فوق العينة، ثم توضع أوزان تعادل وزن الرصفة ولا يقل عن (4.45) كجم حتى ولو لم يكن هناك رصفة، ويغمر القالب بالماء مع السماح للماء للوصول إلسطح العينة وأسفلها، وتترك العينة في الماء (96) ساعة مع بقاء سطح الماء ثابت يمكن تقصير فترة الغمر للمواد الخشنة التي تمتص الماء بسرعة أو إذا تبين أن ذلك لا يؤثر على النتائج.
- تخرج العينة من القالب من الماء وتترك لمدة (15) دقيقة دون إحداث اضطراب بالعينة، يمكن إمالة العينة لتصريف ماء السطح.

- ترفع الأثقال، والقاعدة، وورقة الترشيح ويتم تحديد الوزن.