

تقنيات الطرق

التصميم الإنشائي للطرق

الوحدة الثامنة : التصميم الإنشائي للطرق

الجدارة:

يتعرف المتدرب في هذه الوحدة على الخواص الهندسية للرصيف المرن وللرصيف الصلب ومجال تطبيق كل منهما. كما يتعرف على أهم النظريات والطرق المستخدمة في تصميم الرصيف.

الأهداف:

بنهاية هذه الوحدة يكون المتدرب لديه القدرة على:

١. معرفة مميزات وسلبيات ومجال تطبيق كل من الرصيف المرن والرصيف الصلب.
٢. معرفة النظريات التي تعتمد عليها طرق التصميم المختلفة للرصيف المرن والرصيف الصلب.
٣. تصميم الرصيف المرن بطريقة الاتحاد الأمريكي لطرق الولايات والنقل "آشتو" "AASHTO".
٤. تصميم الرصيف المرن بطريقة التحميل النسبي لكاليفورنيا (CBR).

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذه الوحدة بنسبة لا تقل عن ٩٥ %.

الوقت المتوقع لإنهاء الوحدة: ٨ ساعات.

العوامل المساعدة: معرفة ما سبق دراسته في الوحدات السابقة.

التصميم الإنشائي للطرق

٨ - ١ - مقدمة

بعد تحضير سطح الطريق الترابي وتحسين خواص التربة الطبيعية يتم وضع طبقة أو مجموعة طبقات فوق هذا السطح تعرف بالرصف. ويكمن الغرض من وضع طبقات الرصف في تحمل كل الإجهادات الناتجة من حركة المرور ونقلها إلى طبقة التربة التي تعتبر الأساس الحقيقي للطريق. وتصميم طبقات الرصف بحيث تكون قادرة على تحمل ثقل العربات وتوصيل الثقل إلى السطح الترابي بشكل لا يسبب أي هبوط أو انهيار للطريق.

٨ - ٢ - أنواع الرصف

ينقسم الرصف إلى قسمين رئيسين هما:

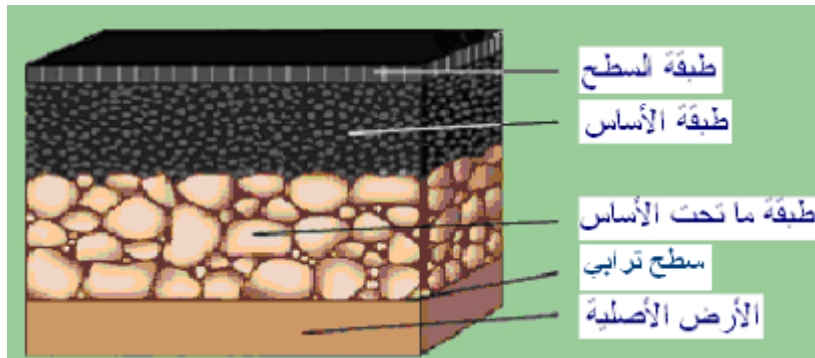
١. الرصف المرن (Flexible Pavement)

٢. الرصف الصلب (Rigid Pavement)

ولكل نوع خواصه ومميزاته وسلبياته ومجال تطبيقه.

٨ - ٢ - ١ الرصف المرن

يعد هذا النوع من الرصف الأكثر استخداماً ويطلق عليه أيضاً الرصف الإسفلتي وهو الرصف بالإسفلت والمكادم، حيث يتكون جسم الطريق من عدة طبقات توضع على سطح الأرض الطبيعية الواحدة فوق الأخرى كما هو مبين في الشكل (٨ - ١) وهي طبقة تحت الأساس وطبقة الأساس والطبقة السطح:



شكل (٨ - ١): طبقات الرصف المرن.

١. طبقة السطح: يشكل السطح الجزء الذي يلامس عجلات المركبات ويتألف من طبقة أو طبقتين إسفلتية تعطي قوة للرصف وتقاوم البري والتفتت والاهتراء الناتج عن حركة المرور والعوامل الجوية ويمنع من دخول الماء إلى الطبقات السفلية.

٢. طبقة الأساس: وهي الطبقة التي يتركز عليها سطح الطريق وتتولى بشكل رئيس نقل وتوزيع الأحمال الناتجة عن المرور إلى الطبقات السفلى. كما أنها تساعد على حماية سطح الطريق من الخراب الناتج عن انتفاخ وهبوط التربة الأصلية وعن صعود المياه الجوفية إلى أعلى. وتكون طبقة الأساس إما من المكادام أو من مواد حصوية مثبتة بالإسمنت أو بالجير أو معالجة بالبيتومين وقد يكون الأساس من خلطة إسفلتية.

٣. طبقة ما تحت الأساس: توضع هذه الطبقة فوق السطح الترابي بعد تهيئته وتساعد على تقويته وحمايته من الخراب. كما توفر في تكاليف الرصف وتعمل على توزيع الأحمال وعلى تصريف المياه. وتكون من مواد حصوية أقل جودة من مواد الأساس.

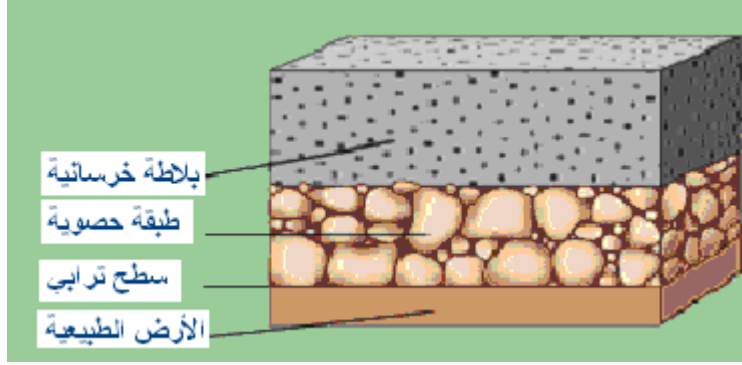
٤. السطح الترابي: يأتي تحت طبقة الأساس المساعد ويجب أن تتشأ مواد به شكل جيد وأن يدمك جيداً وأن يكون مستوياً حسب المناسب.

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

ويتميز الرصف المرن بمقاومة قليلة نسبياً ضد الانحناء لهبوط أو لتغيير في شكل التربة الأصلية أو في طبقة الأساس التي يصاحبها تغيراً مماثلاً في طبقة الرصف. وتتلخص عملية إنشاء الرصف المرن في تحضير الأرضية ثم وضع الطبقات وفرشها ودمكها ورش الإسفلت التأسيسي ووضع الخلطة الإسفلتية ودحلاها.

٨-٢-٢ الرصف الصلب

ويطلق عليه أيضاً الرصف الخرساني حيث يتكون من بلاطات خرسانية يتراوح سمكها ما بين ١٥ و ٣٠ سم تصب مباشرة على سطح الأرض الطبيعية أو فوق طبقة أساس حصوية كما هو موضح في الشكل (٨-٢).



شكل (٨ - ٢): طبقات الرصف الصلب.

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 ولكن ممكن أن يتعرض للتشققات أو الكسر عندما تتعرض التربة الأصلية لتغيرات معتبرة في شكلها. ولإنشاء الرصف الصلب يجب تحضير الأرضية ودمكها جيدا 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 الرصف الصلب هو المناسب للتربة الضعيفة لأنه أقدر على تحمل الإجهادات العالية، في حين يعد الرصف المرن مناسباً للتربة القوية نوعاً ما. كما أن عمر الرصف الصلب أكبر من عمر الرصف المرن ولذلك فهو يستعمل بكثرة عند الأحمال الثقيلة مثل المطارات والطرق الهامة ومقاطع الأودية.

٨ - ٣ - طرق تصميم الرصف المرن

يشمل تصميم الرصف المرن تصميم الخلطات الإسفلتية وكذلك تصميم القطاع وسماكة الطبقات التي توضع فوق السطح الترابي بحيث تتحمل ثقل المركبات التي تمر عليها دون أن تنهار أو تتأثر مع الزمن. ويعتبر تصميم سماكة الطبقات من أهم الأمور المؤثرة على الأداء الوظيفي للطرق كما أن ذلك يعتبر ذا أهمية كبيرة من حيث رفع كفاءة استثمار الموارد المتاحة. فإذا تم تحديد طبقات الرصف بسماكات أعلى من الحدود المطلوبة فإن ذلك يؤدي إلى زيادات معتبرة في تكاليف الإنشاء وهذا هدر للإمكانات والميزانيات المخصصة. وقد يحدث أن يتم تحديد طبقات الرصف بسماكات أدنى من الحدود التصميمية وهذا يؤدي إلى ظهور عيوب مختلفة خلال فترة وجيزة من العمر الخدمي للطريق مما يؤثر مستقبلاً على الميزانيات المخصصة لأعمال الصيانة. وعليه فيجب تصميم سماكة الرصف بأساليب

علمية ومدروسة ينتج عنها طرق بمواصفات عالية الجودة من حيث الأداء الوظيفي والسلامة والراحة وبتكاليف اقتصادية.

ويجب كذلك الاهتمام جيداً بتصميم الخلطة الإسفلتية وذلك بتحديد نسبة الركام والمادة الرابطة بالخلطة بدقة وذلك للحصول على رصف جيد يفي بجميع المتطلبات. ومن أهم الخصائص التي يجب أن تتوفر في الخلطة والتي يجب أن تؤخذ في الاعتبار أثناء التصميم هي:

١. الثبات: ويعبر عن قدرة الخلطة على مقاومة الأحمال دون أن يحدث تشرخ أو تشوه أو هبوط.
٢. المتانة: وتشير إلى مقاومة الخلطة لتأثير العوامل الجوية وقوة الاحتكاك الناتج من المرور.
٣. المرونة: وهي قدرة الخلطة الإسفلتية على الانحناءات المتكررة دون أن تحدث تشرخات.
٤. مقاومة الانزلاق: وهي قدرة سطح الرصف على مقاومة انزلاق إطارات السيارات.

٨ - ٤ - النظريات التي تعتمد عليها طرق التصميم المختلفة

إن مقدرة الرصف المرن على تحمل الأحمال تأتي من مقدرة الطبقات على نقل وتوزيع هذه الأحمال من الطبقات العليا إلى الطبقات السفلى حتى تصل إلى التربة الأصلية دون أن يحدث أي تغيير أو هبوط في هذه الطبقات. ومن هنا فإن سماكة ونوع الطبقات ومقدرة السطح الترابي على تحمل الإجهادات كلها عوامل مؤثرة على تصميم الرصف المرن.

وهناك عدة طرق علمية تستعمل لتصميم سماكة الرصف المرن أهمها:

١. طريقة الاتحاد الأمريكي لطرق الولايات والنقل "أشتو" "AASHTO"

٢. طريقة معهد الإسفلت الأمريكي "Asphalt Institute"

٣. طريقة ولاية كاليفورنيا الأمريكية "California Method"

وهناك أيضاً عدة طرق تستعمل لتصميم الخلطات الإسفلتية أهمها:

٤. طريقة مارشال "Marshal Method"

٥. طريقة السوبربيف "Superpave Method"

٦. طريقة فيم "Hveem Method"

٨ - ٥ - تصميم سماكة الرصف بطريقة الاتحاد الأمريكي لطرق الولايات والنقل "أشتو"

لتصميم الرصف المرن بطريقة "أشتو" يتم في البداية تحديد الرقم الإنشائي وبعد ذلك تحسب سماكة الطبقات كالتالي:

(أ) تحديد الرقم الإنشائي (SN): لتحديد الرقم الإنشائي نتبع الخطوات التالية:

١. إيجاد حجم المرور اليومي المتوسط عند فتح الطريق.

٢. إيجاد حجم المرور اليومي المتوسط بعد ٢٠ عاما من فتح الطريق.

٣. المعدل المستعمل للتصميم = (المتوسط الحالي + المتوسط بعد ٢٠ سنة) ÷ ٢.

٤. تحديد معامل الاتجاه وهو النسبة بين حجم المرور اليومي المتوسط في الاتجاه الواحد الى حجم المرور اليومي المتوسط في اتجاهي الطريق وهو ٠,٥ ، ٠,٦ ، أو ٠,٧.

٥. تحويل عدد المركبات التي ستستعمل الطريق الى ما يعادلها من أوزان محورية قياسية مقدارها ٨٢٠٠ كجم باستخدام الجداول (٨ - ١) و (٨ - ٢). يتم ضرب عدد السيارات من كل نوع في ما يساويها من محور قياسي ومن ثم يجمع حاصل الضرب واستعماله في التصميم.

جدول (٨ - ١) الأوزان المحورية.

نوع المركبة	الوزن المحوري القياسي
سيارة ركوب	٠,٠٠٠٤
شاحنة بمحورين	٠,١٧
شاحنة بثلاثة محاور قطعة واحدة	٠,٥١
شاحنة بثلاثة محاور - قطعتان	٠,٤٦
شاحنة بأربعة محاور	٠,٦٤

جدول (٨ - ٢) الأوزان المحورية.

وزن المحور (كغم)	الوزن المحوري القياسي
٩١٠	٠,٠٠٠٢
١٨١٠	٠,٠٠٢٥
٢٧٢٠	٠,٠١
٥٤٤٠	٠,٠٢
٨١٦٠	١
٩٠٧٠	١,٦
١٤٥٢٠	١٣,٣
٢١٧٩٠	٨٧

٦. يضرب مجموع الأوزان المحورية في معامل المسرب وهي: ١ لطريق من مسربين و ٠,٩ لطريق من أربعة مسارب و ٠,٨ لطريق من ستة مسارب.

٧. تحديد العامل المناخي كالتالي:

- من (٤ - ٥) للمناطق الرطبة المعرضة للأمطار الكثيرة.
- من (١ - ٢,٥) للمناطق المتوسطة.
- من (٠,٣ - ١,٥) للمناطق الجافة.
- من (٠,٢ - ١) للمناطق التي يحصل تجمد بسيط فيها.

٨. تحديد معامل قابلية الخدمة للطريق ويتراوح ما بين (٢ - ٥). يمكن استعمال القيمة ٢,٥ للسير الثقيل و القيمة ٢ للسير الخفيف.

٩. تحديد الرقم الإنشائي (SN) باستخدام المنحنيات المبينة في الشكل (٨ - ٣) كالتالي:

- نبدأ من اليسار برسم خط يصل بين نسبة التحميل لكاليفورنيا (CBR) لسطح الطريق والأوزان القياسية التي ستستعمل الطريق ونمد الخط حتى يقطع محور الرقم الإنشائي في العمود الثالث (SN).
- ثم من هذه النقطة نرسم خطاً جديداً يمر من محور العامل المناخي ونمده ليقطع المحور الخامس في نقطة تحدد المحور الإنشائي النهائي.

(ب) اختيار سمك الطبقات: لحساب سمك الطبقات نتبع الخطوات التالية:

١. الرقم الإنشائي النهائي (SN) الذي تم تحديده يساوي مجموع حاصل ضرب سماكة الطبقات بمعامل يتعلق بقوة ونوع الطبقة:

$$SN = A_1 D_1 + A_2 D_2 + A_3 D_3$$

حيث:

D_1 : سمك طبقة السطح.

D_2 : سمك طبقة الأساس.

D_3 : سمك طبقة ما تحت الأساس.

A_1 : معامل طبقة السطح.

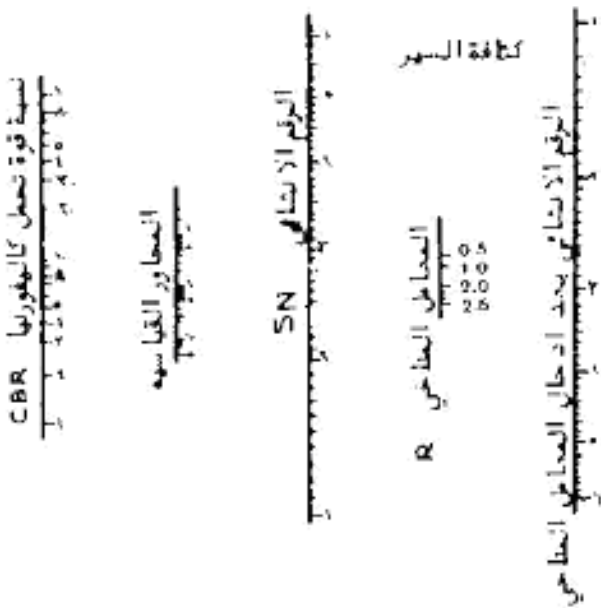
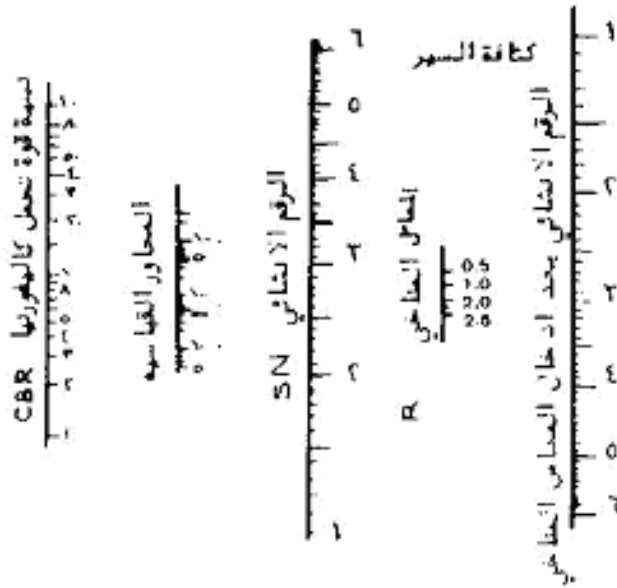
A_2 : معامل طبقة الأساس.

A_3 : معامل طبقة ما تحت الأساس.

تؤخذ قيم هذه المعاملات من الجدول (٨ - ٣).

جدول (٨ - ٣) معامل قوة الطبقات المستعملة في الرصف.

معامل قوة الطبقة		أقصى سمك	أدنى سمك	نوع الطبقة	
A ₃	A ₂	A ₁	سم	سم	السطح
		٠,٠٧	٧,٥	٤	خلطة الريق
		٠,١٧	١٠	٢,٥	خلطة قوية
		٠,١٦	٧,٥	٢,٥	خلطة رملية
					الأساس
	٠,٠٤	حسب كمية الإسمنت	١٠	رمل وحصمة	
	٠,٠٦		١٠	حصمة سيل	
	٠,٠٦		١٠	حصمة كسارة	
	٠,٠٩ – ٠,٠٨		١٠	حصمة مثبتة بالإسمنت	
	٠,١٢ – ٠,١٠		١٠	حصمة مثبتة بالإسفلت	
	٠,١٢		١٠	حصمة مثبتة بالجير	
A ₃				ما تحت الأساس	
	٠,٠٣		١٠	رمل وحصمة	
	٠,٠٤ – ٠,٠٢		١٠	رمل وتراب	



شكل (٨ - ٣): منحنيات تحديد الرقم الإنشائي.

مثال:

صمم رصف لطريق مؤلفة من مسربين حيث إن:

١. نسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) = ١٠٪.
٢. حجم المرور اليومي المتوسط الحالي = ٩٠٠٠ سيارة من مختلف الأنواع.
٣. حجم المرور اليومي المتوسط بعد ٢٠ سنة = ١٩٠٠٠.

الحل:

(١) تحديد الرقم الإنشائي:

١. المعدل المستعمل للتصميم = $(٩٠٠٠ + ١٩٠٠٠) / ٢ = ١٤٠٠٠$ سيارة.
٢. معامل الاتجاه = ٠,٦.
٣. حجم السير في المسرب الكثيف $١٤٠٠٠ \times ٠,٦ = ٨٤٠٠$ سيارة من مختلف الأصناف.
٤. يتم تحويل كل صنف من هذه الأصناف المختلفة الى ما يعادله من محور قياسي حسب الجدول.
٥. من حساب السيارات ومعادلتها بالأوزان المحورية لها، لنفرض أن مجموع الأوزان المحورية كان حوالي ١٠٠٠ وزن محوري قياسي.
٦. تضرب في معامل المسرب وهو واحد لأن الطريق مؤلفة من مسربين فيبقى حجم السير ١٠٠٠ وزن محوري قياسي.
٧. نختار المعامل المناخي = ١,٥.
٨. نختار معامل حالة الطريق = ٢ للسير الخفيف و ٢,٥ للسير الثقيل.
٩. من نسبة تحمل كاليفورنيا لسطح الطريق الترابي (CBR) = ١٠٪ نرسم خطاً يمتد إلى عدد المحاور ١٠٠٠ محور ثم نمد الخط ليقطع خط الرقم الإنشائي (SN) في نقطة مقدارها ٣,٧ عندما تكون الطريق كثيفة السير (P = ٢,٥). أما إذا كانت الطريق خفيفة السير (P = ٢) فإن الرقم الإنشائي (SN) = ٣,٤.
١٠. نأخذ بعد ذلك العوامل المناخية بعين الاعتبار فإذا كانت التربة من النوع الذي يتشبع بمياه الأمطار فإن معامل العوامل الجوية R يتراوح ما بين (٤ - ٥). أما في المناطق الجافة فالرقم يتراوح ما بين (٠,٣ - ١,٥). ولإدخال هذا المعامل في التصميم فإننا نمد خطاً من الرقم الإنشائي (SN)

الذي حصلنا عليه أعلاه (إما ٣,٧ أو ٣,٤) إلى معامل المناخ ١,٥ ثم إلى الرقم الإنشائي الجديد فنحصل على: $SN = ٤$ للسير الثقيل و ٣,٦ للسير الخفيف.

(ب) اختيار سمك الطبقات:

بعد إيجاد الرقم الإنشائي فإنه لا بد من اختيار مجموعة من الطبقات بحيث يكون المجموع الكلي لحاصل ضرب كل طبقة مع معامل قوتها يساوي هذا الرقم الإنشائي. إن المعادلة الأساسية.

$$SN = A_1 D_1 + A_2 D_2 + A_3 D_3$$

نفترض أن هنالك ثلاث طبقات: طبقة السطح و طبقة الأساس و طبقة ما تحت الأساس. هناك طريقتان لحساب سمك الطبقات الثلاث وهي:

الطريقة الأولى:

يلجأ بعض المصممين إلى الحصول على المجموع المطلوب باختيار نوع وسماعة الطبقات التي تستقر آراؤهم عليها، ثم يجدون المجموع فإن كان هذا المجموع غير مساوٍ للرقم الإنشائي المطلوب فإنه يغير من سماعة الطبقات أو أنواعها حتى يصل إلى الرقم كما يلي:

لنفرض أن الرقم الإنشائي هو ٤ ولنفرض أننا سنضع خلطة إسفلتية ساخنة بسمك ٥ سم ومعاملها ٠,١٧ وطبقة أساس بسمك ٢٠ سم من الحصمة المكسرة معاملها ٠,٠٦ وطبقة ما تحت الأساس من حصمة الوديان بسمك ١٠ سم معاملها ٠,٠٤. ومن تطبيق المعادلة فإننا نتحصل على المجموع التالي للرقم الإنشائي:

$$SN = (٠,١٧ \times ٥) + (٠,٠٦ \times ٢٠) + (٠,٠٤ \times ١٠) = ٢,٤٥$$

إن هذا المجموع ٢,٤٥ أقل من الرقم الإنشائي المطلوب ($SN = ٤$)، وعليه تجب زيادة في سماعة طبقات الأساس وما تحت الأساس أو تغيير مادته. فمثلاً يمكن زيادة طبقة السطح إلى ٧ سم والأساس إلى ٤٠ سم وما تحت الأساس إلى ٢٠ سم فتصبح الأرقام كالتالي:

$$SN = (٠,١٧ \times ٧) + (٠,٠٦ \times ٤٠) + (٠,٠٤ \times ٢٠) = ٤,٣٩$$

وهذا الرقم أكثر قليلاً من الرقم الإنشائي المطلوب. وكحل بديل يمكن أن نغير في نوع طبقة الأساس لتصبح حصمة مثبته بالإسفلت معاملها ٠,١٠ وبهذا نحصل على ما يلي:

$$SN = (٠,١٧ \times ٧) + (٠,١٠ \times ٢٥) + (٠,٠٤ \times ١٠) = ٤,٠٩$$

وبذلك تكون سماكة الطبقات الثلاث كالتالي:

$$D_1: \text{سمك طبقة السطح} = 7 \text{ سم}$$

$$D_2: \text{سمك طبقة الأساس} = 20 \text{ سم}$$

$$D_3: \text{سمك طبقة ما تحت الأساس} = 10 \text{ سم}$$

الطريقة الثانية:

في الطريقة الأولى افترضنا أن كل طبقة مناسبة للطبقة التي تحتها أو فوقها وحتى يكون التصميم دقيقاً فإنه لا بد من معالجة كل طبقة على حدة كما يلي:

١. نفرض أن الرقم الإنشائي $(SN) = ٤$ ، وأن نسبة تحمل كاليفورنيا لطبقة الأساس $(CBR) = ٨٥\%$ ، ونسبة تحمل كاليفورنيا لطبقة ما تحت الأساس ٣٠% ، ونسبة قوة تحمل كاليفورنيا لطبقة السطح الترابي ١٠% ويتم إيجاد سماكة كل طبقة من طبقات السطح والأساس وما تحت الأساس

٢. نبدأ التصميم من أعلى إلى الأسفل والمطلوب إيجاد سماكة ونوع طبقة السطح الذي يتركز على الأساس الذي نسبة تحمل كاليفورنيا فيه ٨٥% مع بقاء الأوزان المحورية كما هي. ومن الشكل (٨ - ٣) نحصل على رقم إنشائي مقداره ١,٧.

٣. ومن تطبيق المعادلة واختيار سطح خلطة إسفلتية بسماكة ١٠ سم نحصل على الرقم المطلوب كما يلي:

$$SN = A_1 D_1 + \dots + \dots$$
$$1.7 = (0.17 \times 10) = SN$$

٤. ننتقل إلى الخطوة الثانية وهي إيجاد رقم إنشائي لطبقة السطح والأساس المرتكزان على طبقة ما تحت الأساس الذي نسبة تحمل كاليفورنيا فيه $(CBR) ٣٠\%$ مع بقاء الأوزان المحورية كما هي أي ١٠٠٠ وزن محوري. ومن الشكل (٨ - ٣) نحصل على الرقم الإنشائي المطلوب مقداره ٢,٢.

٥. من تطبيق المعادلة واختيار أساس من حصمة مخلوطة سمكها ٢٠ سم ومعاملها ٠,٠٦ نحصل على رقم إنشائي كما يلي:

$$SN = A_1D_1 + A_2D_2 + \dots$$
$$2.9 = (0.17 \times 10) + (0.06 \times 20) = SN$$

ونحصل على رقم إنشائي مقداره ٢,٩ وهو أكثر من الرقم المطلوب ٢,٢.

٦. ننتقل إلى المرحلة الأخيرة وهي إيجاد الرقم الإنشائي ٤ للرصفة المؤلفة من ٣ طبقات تتركز على السطح الترابي الذي نسبة تحمل كاليفورنيا فيه ١٠٪. ومن اختيار طبقة الأساس من حصمة معاملها ٠,٠٦ وسمكها ٢٠ سم نحصل على ما يلي:

$$SN = A_1D_1 + A_2D_2 + A_3D_3$$
$$4.1 = (0.17 \times 10) + (0.06 \times 20) + (0.06 \times 20) = SN$$

وهذا الرقم الإنشائي مناسب وبهذا تكون سماكة الطبقات مناسبة كذلك وهي:

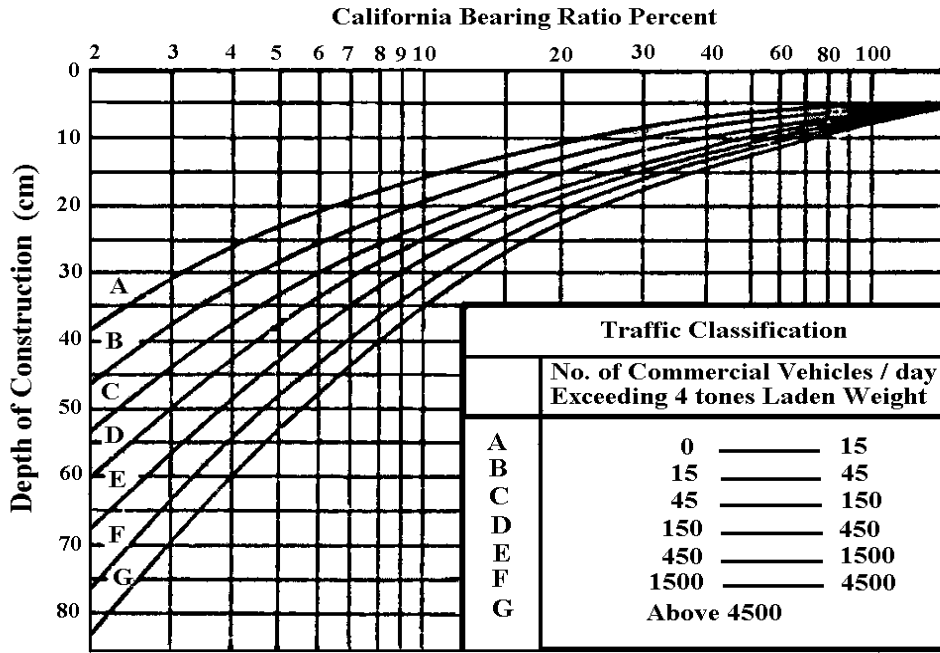
D_1 : سمك طبقة السطح = ١٠ سم

D_2 : سمك طبقة الأساس = ٢٠ سم

D_3 : سمك طبقة ما تحت الأساس = ٢٠ سم

٨ - ٦ - طريقة التحميل النسبي لكاليفورنيا (CBR)

تعتمد هذه الطريقة أساساً على قيم (CBR) لحساب سمك طبقات الرصف المختلفة. والشكل (٨-٤) يوضح العلاقة بين قيم (CBR) والسمك الكلي للرصف.



C.B.R Design Chart

شكل (٨ - ٤): العلاقة بين قيم (CBR) وسمك الرصف.

ويمكن استخدام المعادلة التجريبية التالية لتحديد سمك الرصف للأحمال المختلفة:

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

حيث:

t : سمك طبقة الرصف (متر)

P : الحمل على العجلة (كجم)

p : ضغط العجلة (كجم/سم^٢)،

A : مساحة التماس (سم^٢).

مثال:

أحسب السمك الكلي لرصف مرن باستخدام منحنيات (CBR) التصميمية وباستخدام المعادلة المقترحة، علماً أن:

- حجم المرور اليومي = ٤٠٠ مركبة نقل / يوم
- CBR للتربة = ٥ %
- $P = ٤٠٨٢$ كجم
- $p = ٧$ كجم/سم^٢

الحل:

(أ) باستخدام المنحنى:

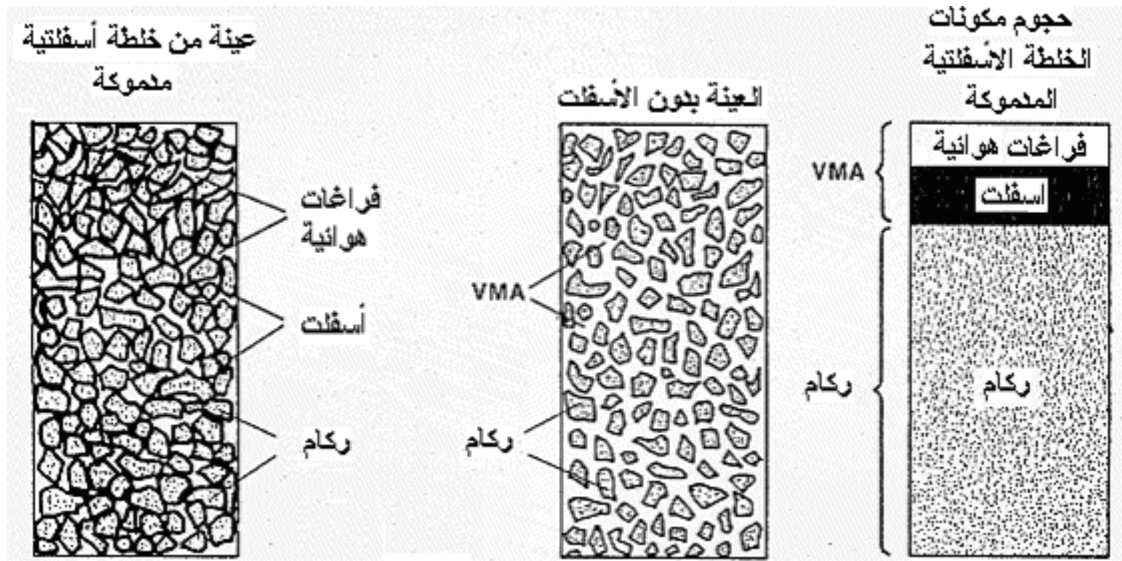
عند $CBR = ٥\%$ وحجم المرور اليومي = ٤٠٠ مركبة نقل / يوم فإن سمك الرصف = ٣٨ سم

(ب) باستخدام المعادلة:

$$t = \sqrt{P} \left[\frac{1.75}{CBR} - \frac{1}{\pi p} \right]^{1/2}$$
$$t = \sqrt{4082} \left[\frac{1.75}{5} - \frac{1}{(3.14) \times (7)} \right]^{1/2} = 35.5 \text{ cm}$$

٨ - ٧ - تصميم الخلطات الإسفلتية

يتطلب تصميم الخلطات تحديد كمية الإسفلت اللازمة لحصمة من تدرج معين بحيث تحقق هذه الكميات متطلبات محددة من حيث الثبات والمتانة والمرونة والديمومة ومقاومة الانزلاق. الشكل (٨ - ٥) يبين مكونات الخلطة الإسفلتية، ولإجراء الحسابات المطلوبة لابد من معرفة الخواص التالية:



شكل (٨ - ٥): مكونات الخلطة الإسفلتية.

(١) الوزن النوعي لخلطة الركام:

عند طحن الأحجار بالكسارات فإنها تكون أحجاراً لها تدرج من الكبير ثم المتوسط حتى الصغير، والخلطة التي تحتوي على كافة الأحجام تكون قوية وثابتة ميكانيكياً وفراغاتها قليلة نسبياً. 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 والبذرة على التوالي (بالوزن).

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

(٢) الوزن النوعي للخلطة المدموكة:

يمكن حساب الوزن النوعي النظري الأقصى G_t لنسبة بتيومين معلومة من العلاقة:

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

حيث:

G_t : الوزن النوعي النظري الأقصى.

w_b : نسبة البيتومين (بالوزن).

G_b : الوزن النوعي للبيتومين.

G_a : الوزن النوعي المتوسط للركام.

(٣) 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:

γ_t : الكثافة النظرية للخلطة.

G : الوزن النوعي الفعلي لعينة التجربة.

G_t : الوزن النوعي النظري الأقصى.

(٤) نسبة الفراغات في العينة:

تحتسب نسبة الفراغات الهوائية في العينة V_a من العلاقة:

$$V_a = 1 - \gamma_t = \frac{100 (G_t - G)}{G_t}$$

(٥) نسبة الفراغات المعدنية: (VMA : Voids in the mineral aggregate)

تحتسب نسبة الفراغات في الركام المعدني VMA من العلاقة التالية:

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

حيث:

VMA : نسبة الفراغات المعدنية.

w_a : نسبة الركام (بالوزن).

(٦) نسبة الفراغات المملوءة بالإسفلت: $(VFA: \text{Voids filled with asphalt})$

تُحسب الفراغات المملوءة بالإسفلت VFA من العلاقة التالية:

$$VFB = \frac{VMA - (100 - \gamma_t)}{VMA} = \left(1 - \frac{V_a}{VMA}\right)$$

حيث:

VFA : نسبة الفراغات المملوءة بالإسفلت.

V_a : نسبة الفراغات الهوائية في العينة.

٨ - ٨ - تصميم الخلطة بطريقة مارشال (Marshal Method)

يتم تطبيق هذه الطريقة على الخلطات الإسفلتية الساخنة التي تحتوي على الإسفلت الإسمنتي والركام الذي لا يزيد حجم حبيباته عن ٢٥ مم. وتعطي هذه الطريقة خلطات إسفلتية اقتصادية تتميز بالخواص الآتية:

١. نسبة إسفلت كافية لضمان ديمومة ومرونة الخلطة.
٢. فراغات هوائية كافية تسمح باستيعاب الإسفلت.
٣. قوة كافية لمقاومة حركة المرور دون حدوث أي تشوهات في الطبقة.
٤. القابلية لسهولة التعامل.

وتتلخص خطوات هذه الطريقة في العمليات التالية (يجب الرجوع إلى اختبار مارشال في الجزء العملي للتعرف على جهاز مارشل والأدوات الأخرى المستخدمة في الاختبار):

- يتم تجهيز كميات كافية من الركام تكفي لتحضير ٣ عينات يكون وزن كل كمية في حدود ١٢٠٠ جرام
- يفحص الركام ويحدد التدرج المطلوب للخلطة.
- يفحص الإسفلت وتحدد خواصه ومدى مطابقته للمواصفات.
- يسخن الإسفلت والركام كل على حدة إلى درجة الحرارة المطلوبة (١٦٠ - ١٦٥ درجة مئوية).
- خلط كميات من الركام بنسب مختلفة من الإسمنت (٤٪، ٥٪، ٥,٥٪، ٦٪، ٦,٥٪، ٧٪).

- يصب كل مخلوط في قالب أسطواني قطره ١٠١,٦ مم وارتفاعه ٧٦,٢ مم ويطرق بمطرقة وزنها ٤,٥٣ كجم تسقط من ارتفاع ٤٥,٨ سم، ويكون عدد الضربات ٣٥ أو ٥٠ أو ٧٥ ضربة حسب نوعية المرور.
- يتم وزن العينات أولاً في الهواء وثانياً وهي مغمورة في الماء ومن هذه البيانات يمكن حساب الكثافة الحجمية.
- توضع العينة في حمام مائي درجة حرارته ٦٠ درجة لمدة ٣٠ دقيقة، ثم ترفع وتوضع على جنبها في رأس التكسير لجهاز مارشل ويتم تحميلها بالضغط على محيطها الخارجي إلى أن يحدث الانهيار. يسجل الحمل الأقصى وهو قيمة الثبات، وكمية التحرك إلى أقصى حمل وهي قيمة الاستطالة.
- تكرر هذه التجربة على العينات الأخرى بنسب مختلفة من الإسفلت.
- يتم حساب الكثافة لكل عينة مدموكة، ونسبة الفراغات في كل عينة، والفراغات المعدنية (في الركام)، والفراغات المملوءة بالإسفلت.
- يتم رسم أشكال تبين كمية الإسفلت من جهة والثبات، والاستطالة، والكثافة، والفراغات المعدنية، والفراغات الهوائية في المخلوط، والفراغات المملوءة بالإسفلت من جهة أخرى.
- يتم حساب نسبة الإسفلت المثلى (محتوى الإسفلت الأمثل) من البيانات التي تم الحصول عليها، ثم يتم وضع صيغة معادلة للخلطة التصميمية.

٨- ٩- التصميم بطريقة السوبريف (Superpave)

يأتي مصطلح سوبريف من اختصار عبارة (Superior performing asphalt pavement)، وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الحديثة في تصميم الخلطات الإسفلتية. وتعتمد أساساً على الدمك الدوراني المعلمي (Superpave Gyratory Compactor, SGC) حيث يوجد تشابه كبير بين ما يحدث في الموقع عند فرش الخرسانة الإسفلتية ودمكها باستعمال المداخل والهراسات وغيرها وبين الدمك باستعمال طريقة الدمك الدوراني. وتتلخص طريقة الدمك في تعريض العينة إلى حمل محوري ثابت أثناء الاختبار قدره 18 ± 600 kPa، وقوى قص ديناميكية وذلك بتدويم العينة أثناء الاختبار (وقد تم التعرض إلى اختبارات السوبريف بالتفصيل في الباب الخاص بالاختبارات المعملية لهذا المقرر). ويمكن تلخيص خطوات تصميم الخلطات الإسفلتية بطريقة السوبريف كالتالي:

١. يتم تحضير ٦ عينات من الخلطة الإسفلتية حسب الطريقة التالية:
 - ٢ منها تحتوي على نسبة إسفلت حسب المعادلة التصميمية المقترحة.
 - ٢ تحتوي على نسبة إسفلت زائدة ب ٠,٥٪ على النسبة التصميمية.
 - ٢ تحتوي على نسبة إسفلت أقل ب ٠,٥٪ على النسبة التصميمية.
٢. توضع العينات في القوالب الخاصة بالدمك ثم توضع في جهاز الدمك الدوراني.
٣. يشغل الجهاز وتدمك العينات حسب المواصفات المخصصة بالدمك المتوقع في الحقل.
٤. يتم تحديد كثافة الخلطات التي تم اختبارها.
٥. تحسب نسبة الإسفلت المثالية التي تعطي نسبة فراغات أقل من ٤٪.

أسئلة:

١. عدد أنواع الرصف وعرف كلاً منها؟
٢. عرف طبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس وحدد وظيفة كل منهما؟
٣. عدد طرق تصميم الرصف المرن؟
٤. اشرح النظريات التي تعتمد عليها طرق تصميم الرصف المرن؟
٥. اشرح خطوات تصميم الرصف بطريقة آشتو؟
٦. صمم رصفاً لطريق مؤلفة من حارتين حيث إن: حجم المرور اليومي المتوسط الحالي يساوي ١٠٠٠٠ سيارة من مختلف الأنواع، وحجم المرور اليومي المتوسط بعد ٢٠ سنة يساوي ٢٠٠٠٠، ونسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) = ٢٠ %
٧. اشرح خطوات تصميم الرصف بطريقة (CBR)؟
٨. احسب السمك الكلي لرصف مرن باستخدام منحنيات (CBR) علماً أن: حجم المرور اليومي للطريق هو ٣٠٠٠ مركبة نقل وقيمة (CBR) للتربة تساوي ٥٠ %.
٩. اشرح خطوات تصميم الخلطة الإسفلتية بطريقة مارشال؟
١٠. على ماذا تعتمد طريقة السوبريفف التصميمية؟