جيوتكنيك الطرق

1-1: أهمية الأرض الطبيعية في أعمال الطرق:

تنبع أهمية الأرض في أعمال الطرق من مصدرين:

1- الدراسات الهندسية، يكون للارض الطبيعية تاثير مباشر في اختيار مسار الطريق سواء في المسطح او المقاطع الطولية والعرضية وكذلك في الكلفة الاقتصادية للمشروع التي تتغير بشكل كبير حسب طبيعة الارض /تربة مستقرة ، تربة مخلخلة / وكذلك إمكانية استخدام نواتج الحفر في اعمال الطابق الترابي وكذلك مصادر المواد .

2- الدراسة الإنشائية: ان تاثير الارض الطبيعية يكون مباشر في الدراسة لان معظم التشوهات والتشققات يكون سببها تربة المسار فاذا كانت تربة المسار جيدة فان ذلك ينعكس على تصميم طبقات الرصف لجسم الطريق اثناء التصميم من ناحية وتقليص عمليات الصيانة اثناء الاستثمار من ناحية اخرى .

اما اذا كانت تربة المسار ذات مواصفات ضعيفة فان ذلك يؤدي الى زيادة سماكة طبقات الرصف او الى معالجة تربة المسار . اذا تعتبر دراسة الارض الطبيعية الخاصة بتربة المسار ذات اهمية بالغة على صعيد كلفة الانشاء اثناء التنفيذ وعلى صعيد كلفة الصيانة اثناء الاستثمار .

من وجهة نظر الهندسة المدنية فان الارض الطبيعية تتالف من مركبتين اساسيتين هما الصخور والتربة .

1-2: الصخور: ان كلمة صخر لاتحمل بالضرورة نفس التعريف لدى الجيولوجين والمهندسين ،اذ يعتبر الجيولوجي ان الصخر هو ركام المعادن بينما لايوجد تعريف هندسي واضح للصخر ، والتعريف الاكثر استعمالا في الهندسة المدنية وخاصة في اعمال الطرق بأنها كل أرض طبيعية لا يمكن حفرها إلا بالتفجير وخلاف ذلك تدعى بتربة.

1-2-1: أنواع الصخور:

كما هو معروف في الجيولوجيا فان صخور القشرة الارضية يمكن تصنيفها الى ثلاث مجموعات :

1- مجموعة الصخور الاندفاعية تشكل 80% من حجم الأرض.

2- مجموعة الصخور الرسوبية تشكل 5% من حجم الأرض.

3- مجموعة الصخور الاستحالة تشكل % 15 من حجم الأرض .

1-2-2: خواص الصخور:

إن ما يهم المهندس المدني بشكل عام ومهندس الطرق بشكل خاص هو معرفة خواص الصخور من خلال:

- قوة الصخر وتأثير الماء على مقاومتها ومرونتها .
- انسياب الصخور تحت تأثر الاجهادات العالية / الردميات العالية /.
- تأثير الشروط المحيطية.
- استعمالها كمواد إنشائية.
- مقدار وسهولة الحفر فيها.

1-3: التربة:

تعتبر من المواضيع الهامة جداً بالنسبة لمهندس الطرق. حيث يتركز الاهتمام على سلوك التربة عند استعمالها كمادة إنشائية في طبقات رصف الطرق أو كطبقة تأسيس لجسم الطريق.

أصلح تعريف هندسي للتربة هو: هي جميع المواد المفككة أو المترابطة بقوى ضعيفة والتي تغطي سطح الأرض، والمتواجدة فوق الصخر الصلب.

1-3-1: تكوين التربة:

نميز نوعين من التربة:

1- التربة المتبقية: وهي التربة الموجودة فوق الصخر الأم مباشرة وتركيبها مشابه للصخر الأم.

2- التربة المنقولة: وهي التربة التي ترسبت بعد أن نقلت من مواقع تكوينها اخرى الى مواقع باحدى وسائط النقل كالماء والرياح والجليد واندفاعات البراكين تتميز بفقدانها التجانس واستدارة حباتها –بحص السيل .

تجدر الإشارة إلى أن عدم تجانس تربة مسار مشروع طريق ما هي الحقيقة الثابتة والتجانس هو الاستثناء قد يصادف 10 – 5 أنواع تربة في الكيلومتر الواحد .

1-3-2: عناصر التربة:

تتألف التربة مهما كان مصدرها من مزيج من الحبيبات الصلبة والتي تشكل الهيكل الصلب للتربة ومن ماء ومن هواء أو غاز.

1-3-3: الخواص الفيزيائية في تصنيف الترب:

يمكن أن نميز نوعين من التربة:

الترب المفككة أو التربة خشنة الحبيبات $d > 75\ \mu m$

الترب المتماسكة أو الترب الناعمة $d < 75\ \mu m$

تتعلق خواص الترب الخشنة بأبعاد حبات الهيكل الصلب أو بما يعرف بالتحليل الحبي .

1- التحليل الحبي:

يعتبر أول مبدأ عملي للتمييز بين الترب الخشنة وذلك بإمرار عينة من التربة وزن p على سلسـلة من المناخل فاذا كان وزن الكمية المتبقية على المنخل ذو الفتحة d1 هو p1

وعلى المنخل d2 هوp2 وعلى المنخل di هو pi فانه يمكننا تمثيل النتائج وفق منحني معادلته من الشكل :

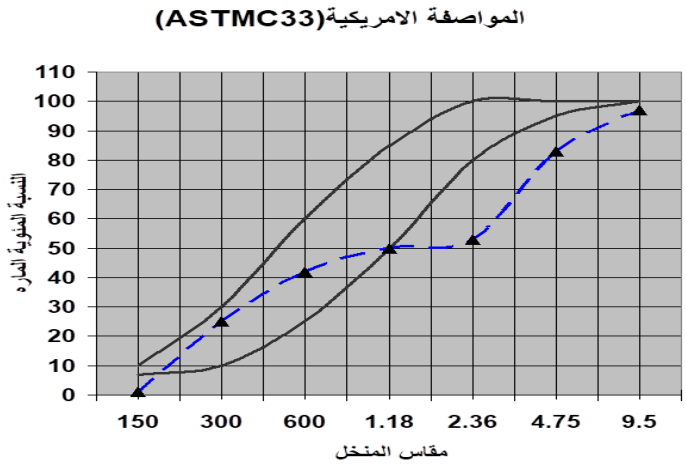
$$\sum Pi/P=f(\ dn\ )$$

وعادة يتم تمثيل المنحني الحبي على مخطط نصف لغارتمي حيث يؤخذ على محور الفواصل فتحات المناخل وعلى محور التراتيب النسبة المئوية المارة وسلسلة المناخل الاكثر استعمالا في مخابرنا هي سلسلة المناخل الامريكية .

ان مبدأ التحليل الحبي لايمكن تطبيقها إلا على الترب الخشنة اي التي حباتها اكبر من المحجوز على المنخل رقم 200 .

اما بالنسبة للترب الناعمة تتم عملية التحليل الحبي بالترسيب .

إن المنحنيات الناتجة يمكن أن تكون جيدة التدرج أو منتظمة التدرج أو سيئة التدرج كما في الشكل:



أشكال المنحنيات الحبية

من اجل تحديد نوعية المنحني الحبي نلجأ إلى عوامل هازن (Hazen):

عامل الانتظام $C_u=D_{60}/D_{10}$

عامل الانحناء $C_c=(D_{30})^2/D_{10}\square D_{60}$

حيث D_{10} , D_{30} , D_{60} فتحات المناخل التي يمر فيها 10%,30%,60% من العينة

فإذا كان عامل الانتظام $C_u > 4$ وعامل الانحناء C_c=1-3 تكون التربة جيدة التدرج

في أعمال الطرق فإننا نفضل الترب الخشنة ونستبعد الترب الناعمة لانه كلما صغر قطر الحبيبات زاد سطحها النوعي وبالتالي زادت حساسيتها للماء وزادت تغيراتها الحجمية من انكماش وانتفاخ تحت طبقات الرصف .

2-حدود أتربرغ:

تبعا لكمية الرطوبة فان اي عينة مخربة من الترب الناعمة تتحول قوامها بشكل متدرج مار بأربع حالات (الحالة السائلة – الحالة اللادنة –الحالة الصلبة مع انكماش –الحالة الصلبة بدون انكماش)

ان الحدود التي تفصل بين حالة واخرى من هذه الحالات ما هي إلا حدود اتفاقية تم اقتراحها من العالم السويدي اتربرغ وقد عرفت باسمه وهي :

أ- **حد السيولة** :هي كمية الرطوبة في التربة الكافية لاسالتها تحت تاثير قوة قص صغيرة ، تسلك التربة عمليا سلوكية الجسم السائل وهذا الحد يفصل بين الحالة السائلة والحالة اللادنـة ويـتم تعينه مخبريا بواسطة جهاز كازاغراندي .

جهاز كازاغراندي

ب-**حد اللادونة** : هي كمية الرطوبة الاصغرية التي تبقى فيها التربة في حالة اللادونـة او بعبارة اخرى هي الحد الادنى للرطوبة التي يمكن ان تفتل التربة الى خيوط قطرهـا (1/8) انش وهذا الحد يفصل بين الحالة اللادنة والحالة الصلبة مع تقاص .

ج- **حد الانكماش**: يعرف بأنه كمية الرطوبة الكافية بالضبط لاملاء فراغات التربـة فـي اللحظة التي تتوقف عندها التربة عن نقصان حجمها اذا استمر تجفيفها وهذا الحد ضعيف الاستعمال في مجال جيوتكنيك الطرق ،ويستعاض عنه في معرفة معدل التغيـر الحجمـي للتربة بقياس الانتفاخ في تجربة C.B.R .

ملاحظة :ان جميع التجارب المخبرية التي تجرى من اجل تعيين الحدود السابقة تجرى على عينات مخربة وعلى الجزء المار من المنخل (N0 40)(0.425mm)

- **دلائل التربة:**

أ- دليل اللادونة: يعرف دليل اللادونة لتربة ما بانه الفرق العددي بين حد سيولتها وحد لادونتها :

$$PI = W_L - W_P$$

قيمة هذا الدليل يعبر عن المجال الذي يمكن ان تتغير ضمنه رطوبة التربة مع محافظتها على السلوكية اللادنة .

ان ارتفاع قيمة دليل اللادونة دليل على اننا نحتاج الى كمية معتبرة من الماء من اجل التغلب على قوى التجاذب (التماسك) بين الحبات ،وهذه حالة الترب الغضارية ، اما انخفاض قيمته فيعني ان خواص اللادونة ضعيفة او قد تكون معدومة كما هي الحال في الترب الرملية .

لقد استعمل حد السيولة ودليل اللادونة كاساس في اغلب تصانيف الترب الناعمة كما في الجدول (1-1).

درجة اللادانة	دليل اللادونة PI
غير لدنة	0
قليلة اللادانة	5>
منخفضة	5-10
متوسطة	10-20
مرتفعة اللادانة	20-40
عالية اللادانة	40<

الجدول (1-1)تصنيف الترب الناعمة

ب- **دليل القوام:** إن حدي السيولة واللادونة وبالتالي دليل اللادونة نحصل عليها من عينات ترب مخربة، ومن اجل قوام التربة وهي في حالتها الطبيعية دون تخريب تم إيجاد دليل القوام الذي يربط بين حد السيولة ودليل اللادونة والرطوبة الطبيعية وفق العلاقة:

$$CI = \frac{wl - w}{PI}$$

حيث CI دليل القوام و PI, wl هما دليل اللادونة وحد السيولة وw الرطوبة الطبيعية.

وتبعا لدليل القوام تم تصنيف التربة كما في الجدول:

درجة القوام	دليل القوام CI
سائلة	0>
لدنة - سائلة	0-0.25
لدنة - طرية	0.25-0.5
لدنة - قاسية	0. 5-0.75
نصف صلبة	0.7 5-1
صلبة	>1

الجدول (1-2) تصنيف التربة وفق دليل القوام

- **المعادل الرملي:**

هي تجربة سريعة لتحديد نسب الحبيبات الناعمة ونسبة الحبيبات الخشنة ضمن مـزيج مـن التربـة ،وذلك كنسبة حجمية وليس كنسبة وزنية كما هو الحال في حالة التحليل الحبي .

من اجل تحقيق هذه التجربة فاننا ناخذ المواد المارة من المنخل (N0.4)وهي العناصر الاصغر مـن 5mm ونضعها ضمن مخبار زجاجي شفاف يحتوي على محاليل كيميائيـة (كلوريـد الكالسـيوم – الغليسيرين) . من اجل تفريق الحبات يتم رج المعلق بشكل جيد ،ثم يترك المحلول ليهدأ مـدة (20) دقيقة .ثم يقاس منسوب الطبقة الغضارية ومنسوب الطبقة الرملية بالنسبة لقاع المخبار ولـيكن علـى التوالي (h1) ، (h2) والمعادل الرملي هو نسبة ارتفاع الرمل h2على ارتفاع الغضار h1 وفق العلاقة

$$S.E=h2/h1 .100$$

تتراوح قيمة المعادل الرملي من (0-100) و يمكن أن نميز التربة بالاعتماد على قيمة S.E كما فـي الجدول (1-3).

نوع التربة	**المعادل الرملي**
تربة غضارية	0
تربة لدنة	20
تربة غير لدنة	40
تربة رملية نظيفة	100

الجدول (1-3) تصنيف التربة وفق قيمة المعادل الرملي

وكلما زادة قيمة المعادل الرملي كلما كانت التربة افضل لاعمال الطرق .

ملاحظة :اذا زادة قيمة المعادل الرملي عن (25)لانحتاج اجراء تجربة حدود اتربرغ .

تنص المواصفات الفنية لمواد رصف الطرق او لتربة المسار بان لاتقل قيمة المعادل الرملي عن القيم الموضحة في الجدول (1-4) .

مكان الاستخدام	المعادل الرملي S.E
طبقة ما تحت الاساس	20
طبقة الاساس	30
الطبقة السطحية (بيتون بيتوميني)	45-50
الطبقة السطحية (رمل البيتون العادي)	75

الجدول (1-4) قيم المعادل الرملي الاصغرية وفق المواصفات الفنية .

4-1: تصنف التربة (Soil Classification):

ان التربة في الطبيعة تتالف من مزيج من الحبيبـات ذات الابعـاد المختلفـة والخـواص المتباينـة ،والتصنيف يعني وضع الترب المتماثلة او المتشابهة ضمن مجموعات ،والتصنيف عبارة عن لغة من خلالها نستطيع التعرف على الخواص العامة للتربة .

هناك مجموعة من التصانيف ولكن الاكثر استعمالا في اعمال الطرق هو تصنيف الاشتو .

تصنف التربة وفق تصنيف AASHTO بتقسيمها إلى سبع مجموعات أساسية من A-1 حتـى A-7 تتميز كل مجموعة من هذا التصنيف بأن لها نفس قدرة التحمل ونفس الخواص الهندسية تقريباً إذا مـا وضعت تحت ظروف خدمة متماثلة.

إن صلاحية كل مجموعة كطبقة رصف أو كطابق ترابي تحت طبقات الرصف تـنخفض كلمـا ازداد رقم المجموعة في هذا التصنيف.

إن التصنيف يعتمد على نتائج التحليل الحبـي وخـواص اللدونـة، ويبـين الجـدول (1-5) نظـام AASHTO لتصنيف التربة.

General Classification	Granular Materials (35% or less passing 0.075 mm)							Silt-Clay Materials (More than 35% passing 0.075 mm)			
Group Classification	A.1		A.3	A.2				A.4	A.5	A.6	A.7
	A.1.a	A.1.b		A.2.4	A.2.5	A.2.6	A.2.7				A.7.5 A.7.6
Sieve Analysis, Percent Passing: 2.00 mm (No. 10)	50 max										
0.425 mm (No. 40)	30 max	50 max	51 min								
0.075 mm (No. 200)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36min	36 min
Characteristics of Fraction Passing 0.425 mm (No. 40)											
Liquid limit	6 max		N.P.	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index				10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min*
Usual Types of Significant Constituent Materials	Stone Fragments Gravel and Sand		Fine Sand	Silty Clayey Gravel Sand				Silty Soils		Clayey Soils	
General Rating as Subgrade	Excellent to Good							Fair to Poor			

* Plasticity inedx of A.7.5 subgroup is equal to or less than LL minus 30.
Plasticity index of A.7.6 subgroup is greater than LL minus 30.

نظام AASHTO لتصنيف التربة

الجدول (1-5) تصنيف التربة وفق مواصفات AASHTO

1-5: رص التربة:

1-5-1: تعريف:

تعتبر التربة إحدى مواد الإنشاء الرئيسية لجسم الطريق سواء باستعمالها في انشاء الردميات او سـواء ادخالها في طبقات الرصف ولذلك لابد من تحسين خواصها الميكانيكية للتخفيف أو لمنـع التشـوهات والتشققات.

يتم تحسين خواص التربة عن طريق إملاء الفراغات جزئياً أو كلياً بإحدى الروابط كالاسمنت والكلس والبيتومين أو عن طريق طرد الهواء وهذا ما ندعوه بالرص. هناك فرق بين الرص والتشـديد فـإن الرص هو عملية تقليص آنية لحجم الفراغات دون خروج الماء أما التشديد يعني خروج المـاء مـن مساحات التربة بسبب ازدياد الضغط الفعال على حبيبات التربة المتماسكة أماعملية الرص يمكـن ان تتم بتطبيق قدرة ميكانيكية وفق المبادئ المعروفة كالدحل والرج والطرق.

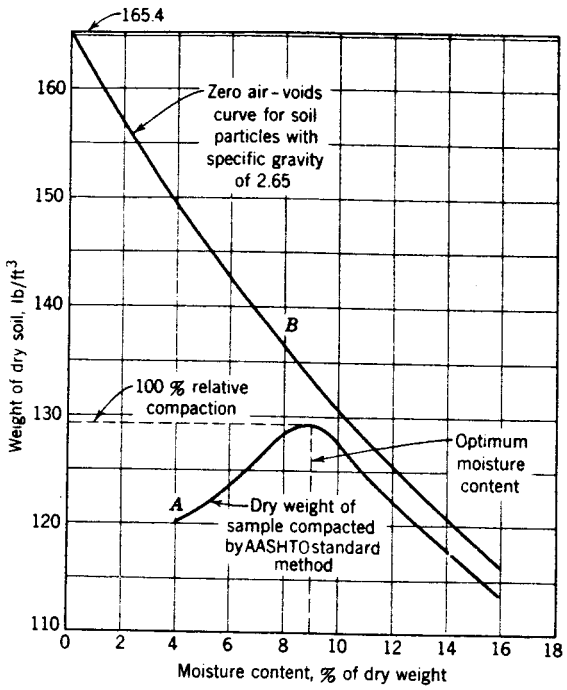
1-5-2: تجربة البروكتور:

تستعمل من أجل تحديد الرطوبة التي تستطيع بها الحصول على الكثافة (وزن واحدة الحجم) الأعظمية تحت تأثير طاقة رص محددة وتستخدم لمراقبة الرص في الورشة. وتختلف حسـب طاقـة الـرص المستخدمة فهناك تجربة البروكتور النظامية والبروكتور المعدلة.

إن نسبة الرطوبة تلعب دوراً هاماً في رص التربة حيث أن إضافة الماء تؤدي إلى تغليـف الحبيبـات بطبقة رقيقة ويكون هناك شد سطحي بين الحبيبات يعيق انزلاقها على بعضها تحت تأثير طاقة الرص.

إن ازدياد نسبة الرطوبة يؤدي إلى انخفاض التوتر السطحي وسهولة انزلاق الحبيبات حتى الوصـول إلى نسبة الرطوبة المثالية حيث يلعب الماء دوراً عكسياً إذ يمتص جزء من طاقة الرص ويؤدي إلـى تباعد الحبيبات عن بعضها وتقل الكثافة.

اذا رصت التربة الى حالة لم يبق معها اية فراغات هوائية ضمنها بدون خروج الماء فاننا نحصل على المنحني B الذي يدعى بمنحني الاشباع (منحني نسبة الفراغات الهوائية صفر) .



منحني الرص

A: *منحني الرص*

B: *منحني الإشباع*

إن شروط تحقيق تجربة البروكتور تمتلك مواصفات نظامية إذ يستعمل قالب اسطواني قطره وارتفاعه محددان ترص فيه التربة على طبقات بواسطة سقوط مطرقة سقوطا حرا عددا من المرات على كـل طبقة ويكرر هذا العمل على عدد من العينات من نفس التربة (عمليا نأخذ خمس عينات) برطوبـات مختلفة وعليه يمكن تمثيل العلاقة بين نسبة الرطوبة (w)والكثافة الجافـة (γ_d) ونحصـل علـى منحني الرص (منحني بروكتور).

ان النهايات العظمى لمنحنيات الرص تختلف بمقدار طاقة الرص المطبقة وعليه يمكن القول بان هناك عدد غير نهائي من منحنيات الرص وعمليا هناك طاقتا رص تستعملان في اغلـب مخـابر العـالم وتعرفان بتجربة البروكتور النظامية و تجربة البركتور المعدلة والجدول (1-6) يبين المواصـفات النظامية المستعملة في كل تجربة وفق مواصفات (AASHTO) .

يجب اسـتبعاد كافة الحبيبات التي يتجـاوز قطرها 20 mm والأسـتعاضة عنها بحبيبات قطرهـا 5 – 20 mm

النوع	بروكتور النظامية	بروكتور المعدلة
اسم القالب	بروكتور	C.B.R
قطر القالب الداخلي	4in = 10.15 cm	6in = 15.2 cm
ارتفاع القالب	4.59 in = 11.70 cm	4.59 in = 11.70 cm
قطر المطرقة	2in = 5.08 cm	2in = 5.08 cm
وزن المطرقة	5.5 lb = 2.49 kg	5.5 lb = 2.49 kg
ارتفاع السقوط	12in = 30.4 cm	18in = 45.7 cm
عدد الطبقات	3	5
عدد الضربات فوق كل طبقة	25	55

الجدول (1-6)مواصفات البركتور النظامية والمعدلة

1-5-3: العوامل المؤثرة على الرص مخبرياً:

أ- **طاقة الرص:**

تختلف إحداثيات النهاية العظمى (الكثافة الجافة الأعظمية، نسبة الرطوبة) وفقاً لطاقـة الـرص وتعطى بالعلاقة:

$$c = \frac{n.p.h}{v}$$

c طاقة الرص المصروفة $kg.m/m^3$

p وزن مطرقة البروكتور kg

h ارتفاع السقوط للمطرقة m

n العدد الكلي لضربات المطرقة على جميع الطبقات

v حجم التربة المرصوصة m^3

طاقة رص البروكتور النظامي $c = 60400\ kg.m/m^3$ والبروكتور المعدلة $c = 176300\ kg.m/m^3$

ت-**نوعية التربة:**

من العوامل الهامة المؤثرة على الرص هو نوعية التربة المرصوصة فإذا ثبتنـا طاقـة الرص (نظامية أو معدلة) فإننا نرى أن التربة الرملية السيليتية تعطي كثافة جافة مرتفعـة على عكس التربة الغضارية التي تعطي منحني أكثر تفلطحاًمن منحنيات الـرص للتـرب الرملية او السيلتية .

ج- نسبة العناصر الخشنة:

تلعب نسبة المواد الخشنة دوراً كبيراً في قيمة الكثافة الجافة ومن اجل ادخال نسبة العناصر الخشـنة في نتائج تجربة البركتور يجرى تصحيح الكثافة الجافة الأعظمية ونسبة الرطوبة الأصـولية وفـق العلاقات التالية:

$$\gamma_{d1max} = \frac{\gamma_{dmax}}{1 - x\,(1 - \frac{\gamma_{dmax}}{G.\gamma_w})}$$

$$W1 = (1 - x)\, w \ \%$$

حيث: γ_{d1max} الكثافة الجافة العظمى المصححة g/cm^3

γ_{dmax} الكثافة الجافة العظمى وفق تجربة البروكتور (g/cm^3)

G الوزن النوعي للمواد الخشنة

x % النسبة المئوية وزناً للمواد الخشنة (محجوز على المنخل "3/4)

w1 نسبة الرطوبة الأصولية المصححة.

w % نسبة الرطوبة الأصولية وفق تجربة البروكتور.

1-5-4: رص الردميات الطرفية:

يتم رص الردميات الطرفية على طبقات لا تزيد سماكة الواحدة منها عن 30 cm

تنص دفاتر الشروط الفنية بتأمين طاقة رص حقلية لا تقل عن طاقة الرص المخبرية وفق البروكتـور المعدلة.

تزداد قدرة تحمل التربة بازدياد طاقة الرص للوصول إلى كثافة جافة أعظمية حقلية لا تقل عن % 95 من الكثافة الجافة الأعظمية وفق البروكتور المعدلة.

هناك بعض الملاحظات العمليةالتي تجدر الاشارة اليها حين اختيارنا تربة الردميات الطرفية :

1-إن شكل منحني الرص يتبع نوع التربة فهو أكثر أو اقل تفلطحاً والمنحنيات قليلة التفلطح تعني شدة حساسيتها للماء وبالتالي تعتبر من الترب صعبة الرص بسبب الابتعاد عن الرطوبة الأصولية مثل الترب الغضارية.

2- ان الترب ذات التدرج الحبي الجيد ودليل اللادونة المنخفض أقل من I.P = 6 تعتبر ذات قابلية جيدة للارتصاص.

3-تعتبر الترب الرملية والمواد البحصية صعبة الرص لأنها تتدحرج تحت دواليب المدحلـة يـتم رصها عبر طبقة رقيقة من المواد الناعمة 10 cm – 5 أو باستخدام مداحل رجاجة وفق تـواتر مدروس .

1-5-5: العوامل المؤثرة على الرص حقلياً:

أ- **نسبة الرطوبة في التربة:**

تظهر أهمية الرطوبة من خلال منحني الرص وبالتالي يجب تأمين رطوبة مثالية للحصول على الكثافة الجافة العظمى باستخدام طاقة رص كافية.

ب- **عدد الأشواط:**

للحصول على درجة رص كافية مماثلة لشروط المخبر لابد من تأمين طاقة رص مماثلة في الحقل ضمن حدود رسمتها الأصول الفنية.

$$c = \frac{N.F}{L.H}$$

حيث: c- قدرة الرص في المخبر لعينة مماثلة للترب المطلوب رصها حقليا $kg.m/m^3$

N- عدد أشواط المدحلة (عدد مرات إمرار المدحلة)

L -عرض التماس بين المدحلة والتربة وهو يساوي:

- مجموع عروض الأسنان والحوافر الكائنة على استقامة واحدة لمداحل حوافر الغنم.
- مجموع عروض الإطارات المطاطية بالنسبة لمدحلة ذات إطارات مطاطية.
- مجموع طول الاسطوانة الأمامية وعرض الدواليب الجانبية لمدحلة ملساء.

F قوة الشد التي يطبقها المحرك على مماسك المدحلة وتقدر بـ kg

H سماكة الطبقة المرصوصة وتقاس بـ (m)

$$N = \frac{c.L.H}{F}$$

$$F = \alpha.\ L.\ Q.\ a \quad kg$$

حيث a الهبوط الناجم عن تطبيق الرص $a = H.\ \frac{dmax - \gamma_{dN}}{\gamma_{dN}}$

L عرض التماس بين الإطارات (اسطوانة) المدحلة (m)

Q الضغط الذي يطبقه جهاز الرص kg/cm^2

α عامل يتعلق بطبيعة التربة

$\alpha = 0.4 - 0.5$ تربة غضارية

$\alpha = 0.6$ تربة سلتية

$\alpha = 0.75$ تربة رملية

$\alpha = 0.90 - 0.950$ تربة مزيج (رملي، بحصي، سلتي)

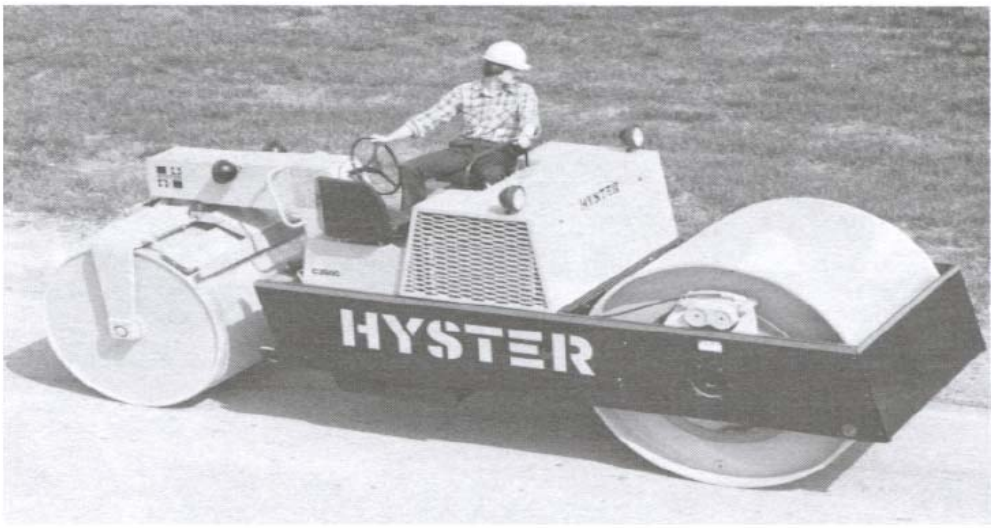
$\alpha = 1.0$ حجر مكسر

1-5-6: آليات الرص:

إن رص التربة يعتمد على إحدى مبادئ الرص المعروفة كالدحل بالضغط الستاتيكي والرج والطـرق وبالتالي يمكن أن نميز /3/ مجموعات وفق تكنولوجيا الرص:

أ- آليات الدحل:

1- مداحل ذات الدواليب الملساء:



شكل (8.4): مدحلة أسطوانية ملساء

يستخدم هذا النوع للتربة الخشنة والحصوية ووزن المدحلة يتراوح ما بين 18 t – 4 وغالباً ما تستخدم لرص المجبول الإسفلتي ومنها ما يعمل كمدحلة رجاجة إضـافة لوزنهـا يعطـى مردودها الساعي بالعلاقة:

$$\xi = \frac{100(a-b)k.v}{N} \quad m^2/h$$

ξ مردود عمل المدحلة m^2/h

a عرض دواليب المدحلة m

b عرض الجزء الذي يتم دحيه مرتين (0.1 – 0.2 m)

v سرعة المدحلة 1.7 – 2 km/h في الأشواط الأولى 2.5 – 3 km/h في الأشـواط الأخيرة

k عامل يأخذ بعين الاعتبار المردود الساعي 0.85 – 0.90

N عدد الأشواط وعادة يتراوح ما بين (4-8) أشواط.

2- المداحل ذات الدواليب المطاطية:

شكل (9.4): مدحلة بعجلات مطاطية

يتراوح وزن هذه المداحل ما بين 30 – 80 t وهو شديد التأثير في الترب الناعمة وقد يصل عمق تأثيرها حتى 4 m .

إن سماكة الطبقة المرصوصة تتعلق بضغط النفخ ويصل حتى 30 cm وعدد الأشواط (8 – 12) ويعطى المردود بالعلاقة:

$$\xi = \frac{k.v.h.a}{N} \quad m^2/h$$

ξ المردود الساعي m^2/h

v سرعة المدحلة km/h

a عرض دواليب المدحلة m

h سماكة الطبقة المرصوصة m

N عدد الأشواط

k عامل يأخذ بعين الاعتبار المردود الساعي وضياع الوقت $k = 0.7$

3- مداحل أرجل الغنم:

شكل (10.4): مدحلة أرجل الغنم

تفيد في رص الترب المتماسكة الغضارية ولا تتوافق مع الترب المفككة تبلغ سماكة الطبقة 25 – 15 cm وعدد الأشـواط مرتفع يصل إلى 24 وضغط التمـاس $10 – 80\ kg/cm^2$

ب- آليات الرج: تعتمد هذه الآليات على تطبيق ضغط شاقولي ورج بنفس الوقت إن التميز بين هـذه الآليات يعتمد على تواتر الرج، الوزن الذاتي ومدة الرج (عدد الأشواط والسرعة) أن مجال استعمالها الأفضل هو التربة المفككة.

ج- آليات الطرق: تعتمد على تطبيق طاقة رص ديناميكية أي بسقوط كتلة من ارتفاع معين ويصـلح لرص طبقات بسماكة $4 – 10\ m$ ولكن مردود هذه الآليات ضعيف.

1-6: مراقبة الرص حقلياً:

لمراقبة حالة الرص حقلياً التي وصلت إليها التربة بعد مرور آليات الرص عدداً من الأشـواط فإننـا نستعمل تعبير درجة الرص وهي النسبة بين الكثافة الجافة حقلياً والكثافة الجافة العظمى وفق تجربـة البروكتور المعدلة أو النظامية:

$$C.D = \frac{\gamma_d}{\gamma_{dmax}}$$

γ_d الكثافة الجافة الحقلية g/cm^3

γ_{dmax} الكثافة الجافة الأعظمية وفق تجربة البروكتور (معدلة ونظامية) g/cm^3

- لا بد من إجراء تصحيح على γ_{dmax} وفق نسبة المواد الخشنة الأكبر من 20 mm
- يتم تحديد الكثافة الحقلية بطريقة المخروط الرملي أو بطريقة الإشعاع النووي.

1-7: تحديد قدرة تحمل تربة الطابق الترابي:

إن قوة تحمل تربة المسار تتعلق بنوعيتها ونسبة الرطوبة فيها ودرجة رصها وبنيتهـا والاجهـادات المطبقة عليها إن مقاومة التربة للانهيار على القص تتعلق بقيمة الاجهادات الناظمة المطبقة.

1-7-1: قياس قوة تحمل التربة:

ان التجارب المستعملة من اجل تحديد قوة تحمل التربة يمكن ان تجمع ضمن ثلاث زمـر :الاختـراق والتحميل والقص .

1-7-1-1: *تجارب الاختراق:*

أ- تجربة تحمل كاليفورنيا (C.B.R):

C.B.R النسبة بين الضغط اللازم للحصول على اختراق معين داخل التربة المدروسة والضغط الذي يولده نفس الاختراق على عينة نموذجية.

تتم التجربة على عينات تربة مرصوصة وفق طاقة رص لتجربة البروكتور المعدلة المغمورة مدة 96 h لإدخال تأثير التغيرات المناخية التي يمكن أن تخضع لها التربة خلال فترة استثمار الطريق.

كما انه خلال غمر العينة فاننا نقوم بقياس الانتفاخ الذي يمكن ان يحصل تبعا لحساسية العينـة اتجـاه التغيرات المائية.

يتم تحميل سطح العينة باجهادات تعادل اجهادات طبقات الرصف يتم تطبيق اوزان حلقية لايقل وزنها عن (10l=4.53kg). وهذه تعطي اجهادات تعادل (0.03kg/cm2)وهي قيمة يمكن ان تنـتج عـن طبقة رصف سماكتها حوالي (12cm).

يتم تطبيق ضغط اختراق عند محور العينة بواسطة مكبس مساحة مقطعه (3in2=19.3cm2.) وبسرعة ثابته .

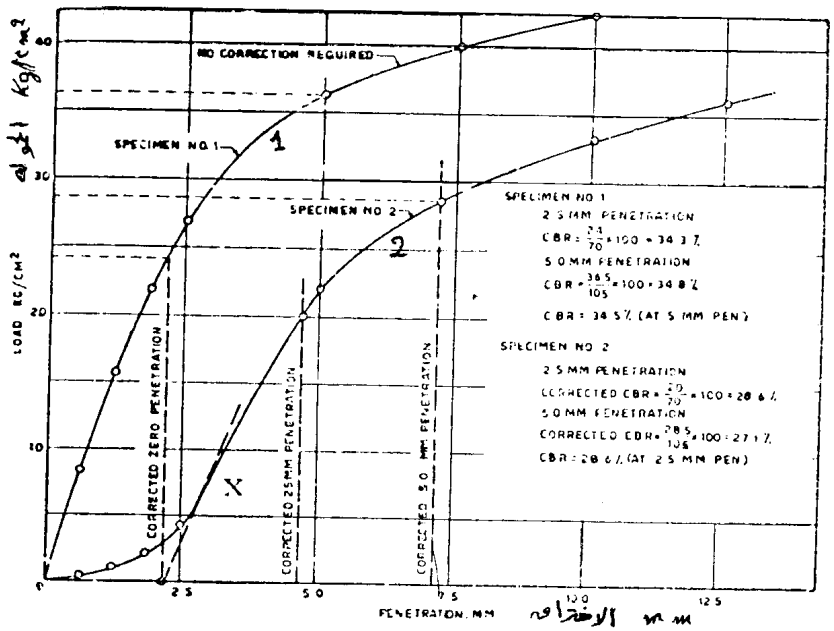
يتم اخذ قراءات مقياس الحمولة ،ومقياس الاختراق وعادة تؤخذ قراءات مقياس الحمولة عند الاختراق التالية :

0.5in ، 0.4in، 0.3in، 0.1in 0.2in، 0.075in، 0.05in،0.025in

ثم يتم رسم العلاقة بين مقدار الاختراق و مقدارالحمولة (الاجهاد المطبق)فاذا كان المنحنـي النـاتج مقعرا نحو الأعلى عند البدء المنحني رقم (2) في الشكل يحتاج الى تصحيح برسم مماس له عند الميل الاعظم ونمدده حتى يتقاطع مع محور السينات فنحصل على الصفر الجديد .

اما المنحني المشابه للمنحني (1) لايحتاج الى تصحيح .

ان المنحني الناتج يمكن ان يقارن بالمنحني المرجعي العائد لعينة نموذجية من مقالع كاليفورنيا ويمكن ان نحسب قيمة (C.B.R)دون تمثيل المنحني المرجعي ،وذلك باخذ الحمولات المسجلة للعينة المدروسة عند قيم اختراق 0.1in 0.2in ونسبها على قيم الحمولات التابعة لنفس قـيم الاختـراق الناتجة عن العينة النموذجية .



Load-Penetration Curve in CBR Test

(1) منحني لا يحتاج إلى تصحيح (2) منحني مصحح

يتم وفق العلاقتين :

$$C.B.R_{0.1} = \frac{\text{الحمولة المسجلة عند الاختراق 0.1in}}{\text{3000(lb)}} \times 100$$

$$C.B.R_{0.2} = \frac{\text{الحمولة المسجلة عند الاختراق 0.1in}}{\text{4500(lb)}} \times 100$$

بصورة عامة فان قيمة $C.B.R_{0.1}$ < $C.B.R_{0.2}$ والقيمة التي نعتمدها هي قيمة $C.B.R_{0.1}$

ولكن في الحالة التي تكون فيها المتراجحة السابقة معكوسة فاننا نعيد التجربة من اجل تحديد $C.B.R_{0.2}$ فاذا حصلنا على نفس النتيجة فاننا نعتمد $C.B.R_{0.2}$.

ان القيم الخاصة بالعينات النموذجية الكاليفورنية موضحة بالجدول (1-7).

الاختراق (in)	ضغط الاختراق (lb/in2)	حمولة الاختراق (lb)
0.1(2.5mm)	1000(70kg/cm2)	3000(1370 kg)
0.2 (5mm)	1500(105kg/cm2)	4500 (2055kg)
0.3 (7.5mm)	1900(134kg/cm2)	
0.4 (10mm)	2300(162kg/cm2)	
0.5 (12.5mm)	2600(183kg/cm2)	

الجدول (1-7) القيم الخاصة بالعينات النموذجية الكاليفورنية

تجدر الاشارة الى ان استعمال تجربة (C.B.R) في الترب الرملية يمكن ان تعطي نتائج مغلوطة لان الترب الرملية تتاثر قوة تحملها بشكل ملحوظ تبعا لقيمة الاجهاد المطبق على سطحها .

ملاحظات :

1- أثناء التصميم يتم اعتماد قيمة C.B.R المعدلة لتحديد سماكات طبقات الرصف الموافقة لدرجة رص 95%

2- يتم تصحيح نسبة C.B.R بضربها بالنسبة بين الإجهاد الحقيقي الناتج عن طبقات الرصف والإجهاد المستعمل في التجربة $0.03\ kg/cm^2$ وهذه الطريقة تقريبية ويتم التصحيح وفق المنحني.

3- استعملت طريقة C.B.R بشكل واسع في تصميم طبقات الرصف وفق الطرق الكلاسيكية والتي تعتمد على الخواص الجوهرية لمواد الإنشاء لهذه الطبقات (معامل التشوه E) ومعامل التوسع الجانبي (بواسون)

$$E\ (kg/cm^2) = 65\ (C.B.R)^{0.65}$$

4-يمكن إجراء تجربة C.B.R حقلياً حيث يتم التحميل بواسطة مكبس هيدروليكي.

ت- تجربة تحميل الصفيحة (Plat Bearing Test):

تستعمل تجربة صفيحة التحميل من اجل تقدير قوة تحمل المسار للطابق الترابي وهي عبارة عن تجربة حقلية حيث يتم تحميل صفيحة معدنية قطرها (30in 75cm) وسماكتها (1in 2.5cm) بحمولة مركزة عند محورها ناتجة عن مكبس هيدروليكي محمول على شاحنة تستند اثناء التحميل على اربع نقاط استناد تبعد كل واحدة (2.5 cm)على الاقل من مركز الصفيحة ولزيادة صلابة الصفيحة تزود بصفائح اخرى اقطارها (60cm 45cm 30cm)نحتاج الى حمولة 10 t للترب البحصية و 5 t للترب الناعمة،ويمكن تسجيل الهبوطات الناتجة من تاثير الحمولة على الصفيحة بواسطة ثلاث مقاييس موضوعة على بعد 8mm من حافة الصفيحة وتشكل فيما بينها 120درجة .

تستعمل تجربة تحميل الصفيحة لتحديد معامل رد فعل التربة (k) وهو النسبة بين الضغط المطبق والهبوط الناتج.

ليس له قيمة فيزيائية مميزة وإنما يتعلق بقطر الصفيحة وبمراحل القياس تتم التجربة وفق المراحل التالية:

1- تهيئة مكان إجراء التجربة حسب مكان إجراؤها في مقطع حفر أو ردم.

<u>مقطع في حالة الردم</u> :يتم تهيئة الترب المتماسكة بسماكة (75cm) ودرجة رص لاتقل عن 90% بركتور معدلة .

اما بالنسبة للترب المفككة الرملية والبحصية فاننا نقوم بتهيئة طبقة بسماكة (60cm) ودرجة رص لاتقل عن % 95 من بركتور المعدلة اما (15cm) السطحية فيتم رصها على درجة رص 100% من البركتور المعدلة .

مقطع الحفر :يتم تهيئة الترب المتماسكة يتم تهيئة الطبقة السطحية (15cm) ودرجة رص لاتقل عن 90% بركتور معدلة .

اما بالنسبة للترب المفككة الرملية والبحصية فاننا نقوم بتهيئة طبقة بسماكة (45cm) ودرجة رص لاتقل عن % 95 من بركتور المعدلة اما (15cm) السطحية فيتم رصها على درجة رص 100% من البركتور المعدلة .

2- مراحل التحميل: نبدأ بتطبيق حمولة $0.07\ kg/cm^2$ أو $0.14\ kg/cm^2$ حسب سماكة الطبقة المقترحة ونكرر التحميل لعدة ثواني حتى التأكد من الوضع الجيد للصفيحة. نقوم بتطبيق إجهاد $0.7\ kg/cm^2$ ويمكن الانتظار حتى استقرار مقاييس الهبوط ويمكن حساب رد الفعل:

$$k' = \frac{0.7 \quad kg/cm^2}{\text{الهبوط الوسطي للصفيحة (cm)}} \quad (10)$$

يتم زيادة قيمة الإجهاد تدريجياً حتى تستقر مقاييس الهبوط. ويتم رسم منحني الإجهاد والهبوط وذلك برفع قيمة الاجهاد تدريجيا (0.35kg/cm2) لكل مرحلة حتى الوصول الى الاجهاد النهائي ($2.1\ kg/cm^2$) وتكون مدة التحميل كل مرحلة 16 دقيقة.

في كل مرحلة يجب تسجيل قيمة الإجهاد والهبوط الحاصل وتمثيل منحني (الاجهاد/ الهبوط) وميا هذا المنحني يعطي قيمة k'

3- تصحيح النتائج:

1- التصحيح يتعلق بشكل المنحني (الإجهاد/الهبوط) عندما لا يكون مستقيماً ويهمل عند $k < 3\ kg/cm^3$

2- عندما يكون عامل رد فعل التربة مرتفعاً حيث يحدث تشوه ذاتي للصفيحة.

3- إدخال تأثير حالة إشباع التربة الذي يحصل في المستقبل بفعل الصعود الشعري تحت منشأة الطريق فاننا نقوم بتصحيح قيمة عامل رد فعل التربة وفق العلاقة التالية :

$$k = \frac{\delta}{\delta s} k'$$

k القيمة المصححة لعامل رد فعل التربة

k' القيمة المحسوبة تجريبياً والمصححة وفق شكل المنحني وتشوه الصفيحة.

δ الهبوط الناتج عند الإجهاد $0.7\ kg/cm^2$ لعينة تربة تعادل رطوبتها رطوبة الموقع.

δs الهبوط الناتج عند الإجهاد $0.7\ kg/cm^2$ لنفس التربة عند رطوبة الإشباع (إجـراء تجربة التشديد).

هناك بعض العلاقات التي تحدد العلاقة بين معامل التشوه الخطي للتربة E ومعامل رد فعل التربة.

$$E = 87\ k + 9$$

E معامل التشوه الخطي للتربة kg/cm^2

k معامل رد فعل التربة kg/cm^3

1-7-1-2: تجارب القص:

يتم تحديد قدرة تحمل التربة انطلاقاً من الخواص الميكانيكية لها (φ, c) في القص المباشر أو الضغط ثلاثي المحاور، الضغط الحر أو القص بالمروحة:

$$\tau = \sigma\ tg\ \varphi + c$$

حيث τ مقاومة التربة على القص kg/cm^2

φ ، c معاملي زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة والتماسك للتربة

إلا أن استعمالها أصبح محدوداً إلا في دراسة توازن المنحدرات لأن هذه التجارب تهدف إلـى تحديـد انهيار التربة ونحن نعمل في دراسة الطرق دون هذا الحد.

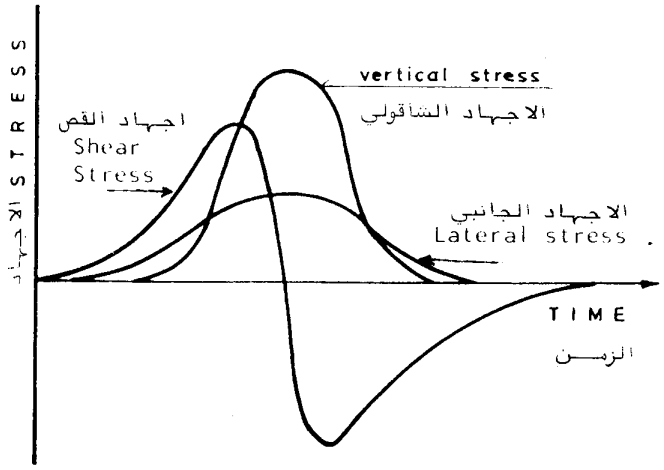
1-8: تأثير الحمولات المتكررة على التربة:

إن انهيار جسم لا يكون تحت تأثير حمولات ثابتة ولكن تحت تأثير حمولات متكررة وبالتـالي فـإن الانهيار لا يتعلق بشدة الإجهادات المطبقة فقط وإنما بشكل وعدد مرات التحميل.

يعتمد التصميم الإنشائي على التشوهات والإجهادات في جسم الطريق ومن ثـم مقارنتهـا بـالخواص الحدية لمواد الرصف وهناك حدان يجب تحقيقهما:

1- قيمة التشوهات المستمرة الشاقولية في التربة الحاملة بعد عدد من مرات التحميل.

2- قيمة إجهادات الشد الأفقية عند أسفل طبقات الرصف (ظاهرة التعب).



تغير الاجهادات تحت تأثير الحمولات المتكررة

اذا مثلنا العلاقة بين الاجهاد والتشوه لتربة ما بعد عدد دورات تحميل (N) نلاحظ مايلي :

1- العلاقة بين الاجهاد والتشوه ليست خطية ولايمكن ان تكون خطية الا من اجل التشوهات الصغيرة

2- ان منحني التحميل لايطابق منحني التفريغ ولايمكن ان يتطابقا الامن اجل المواد المرنة وهي ليست حالة التربة .

3- هناك تشوه مستمر ينشأ اثناء التحميل ولايختفي اثناء التفريغ .

4- هناك تشوه مرن ينشا اثناء التحميل ولايختفي اثناء التفريغ .

إن التشوه المستمر (εp) يزداد تبعاً لعدد دورات التحميل (N)

إن العلاقة التحليلية المقترحة من أغلب الباحثين تأخذ الشكل :

$$\varepsilon p = A \cdot N^b$$

حيث N عدد دورات التحميل

A عامل يتعلق بشدة وشكل التحميل .

b عامل يتعلق بنوعية التربة.

إن قيمة التشوهات المستمرة لتربة معينة تتناقص مع ازدياد الكثافة الجافة للتربة وتتزايد حين ازدياد نسبة الرطوبة وخاصة الحاوية على مواد ناعمة وعالية اللدونة.

1-9: تأثير الصقيع على التربة الحاملة:

إن تشكل عدسات جليدية في التربة الحاملة يؤدي إلى انتفاخ وهذا لا يكون منتظماً وسيكون هناك تشققات طولا نية وعرضانية في جسم الطريق ويؤدي إلى انخفاض قدرة تحمل التربة.

هناك 3 عوامل وهي:

1- **عامل الحرارة:** حين تنخفض درجة الحرارة شتاء الى قيمة سالبة فإن درجة حرارة جسم الطريق سوف تنخفض لأنها على تماس مباشرمع التغيرات المناخية وانتشار الجبهة الجليدية خط تسوي الحرارة صفر الذي يتعلق بدرجة حرارة سطح الطريق والناقلية الحرارية لمواد الرصف ويمكن ان نلاحظ حالتين :

أ- أن تبقى الجبهة الجليدية ضمن جسم الطريق.

ب-أن تمتد إلى التربة الحاملة لجسم الطريق

لقد اظهرت الدراسات بان كمية الحرارة قرب خط تساوي الحرارة صفر من اجل وحدة السطح يمكن ان يعطى بالعلاقة التالية :

$$Q=K.t.(T_0-Ts)/h$$

حيث :

K- عامل الناقلية الحرارية

t- الزمن

T_0- درجة الحرارة عند السطح الفاصل بين التربة المتجمدة وغير المتجمدة (الجبهة الجليدية) وتؤخذ $T_0=20c$.

Ts- درجة حرارة السطح المعتبر .

h- عمق الجبهة الجليدية .

إن دليل التجمد يميز شدة واستمرارية فترة الصقيع لمنطقة ما خلال سنة معينة أثناء حساب سماكات طبقات الرصف وبالتالي فإننا نعتبر القيمة الأعظمية لدليل التجمد لمدة عشر سنوات وفق العلاقة:

$$h=A\sqrt{I}$$

حيث h عمق الجبهة الجليدية cm

I دليل التجمد درجة مئوية/يوم

A عامل تناسب يتعلق بالخواص الحرارية للوسط ويتراوح 10 – 3 وتوخذ قيمته A=5

بصورة عامة يمكن ان يحصل في جسم الطريق تشوهات وتشققات عندما $h \geq 1.25\ T$ حيث T سماكة طبقة جسم الطريق، وبالتالي يجب التحقق من السماكات التصميمية لطبقات الرصف.

2- **<u>عامل التربة:</u>** نميز نوعين من التربة تربة حساسة للصقيع وتربة غير حساسة حيث يحصل تعديل في بنية التربة الأولى وارتفاع في نسبة الرطوبة وإلى انتفاخ كبير أما النوع الثاني فلا يكون هناك تعديل في البنية أو زيادة في نسبة الرطوبة.

صنفت التربة حسب حساسيتها للصقيع F1, F2, F3, F4

إن حساسية التربة للصقيع تزداد مع ازدياد دليل المجموعة أي أن F4 أكثر حساسية من F1 .

لم يلاحظ اي تشكل للعدسات الجليدية في الترب التي تحتوي على اقل من 1% من عناصرها اصغر من 0.02mm حتى لو كان البساط المائي قريبا جدا من عمق الجبهة الجليدية .

3- **<u>الشروط الهيدرولوجية:</u>** إن الشروط الهيدرولوجية وبصورة خاصة منسوب البسـاط المـائي يلعب دوراً هاماً في تغذية العدسات الجليدية.

إن انتفاخ طبقات رصف الطريق يكون ضعيفاً عندما يتجاوز عمق البسـاط المـائي 1.5 m تحت الطبقة السطحية ويكون مهملاً عندما يتجاوز العمق 3 m تحت الطبقة السطحية.

تؤثر الشروط الهيدرولوجية على تحمل التربة فكلما كان البساط المائي مرتفعـا ادى الـى تسشكل عدسات جليدية في التربة وخاصة التربة F4 ذات الحساسية العالية للصقيع .

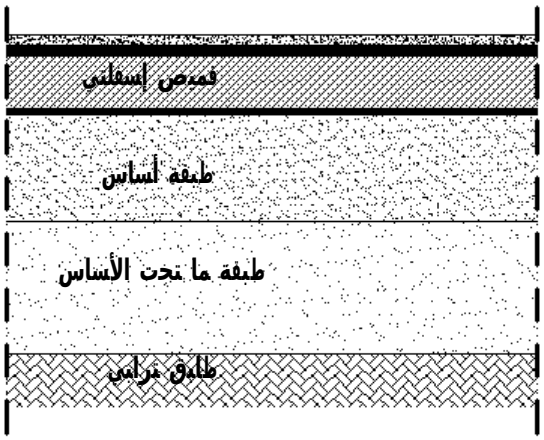
مواد الطرق

1- مقدمة: نماذج الرصف (الكلاسيكي):

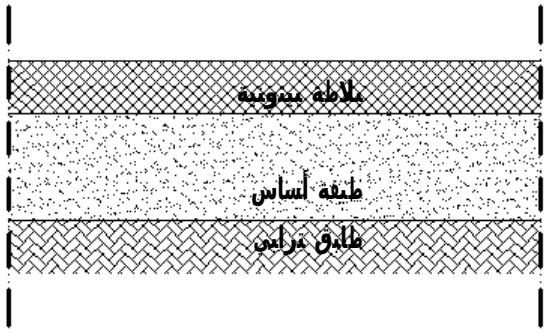
يمكن أن نميز نوعين من الرصف: الرصف اللين (المرن) والرصف الصلب (القاسي) وهناك الرصف المختلط ويبين الشكل طبقات الرصف في كلا النوعين:

الرصف المرن: (طبقة سطحية ـ طبقة أساس وما تحت الأساس).

الرصف الصلب: بلاطة بيتونية وطبقة أساس.



الرصف المرن



الرصف الصلب

2- طبقات الرصف:

أ- الطبقة السطحية أو طبقة الاهتراء:

تتكون من البيتون البيتوميني في حالة الرصف اللين وبيتون إسمنتي في حالة الرصف الصلب تـؤمن هذه الطبقة مقاومة الاجهادات الناتجة عن حركة المرور والتغيرات المناخية ويجب أن تؤمن تماسـك جيد بين العربة وسطح الطريق لتحقيق فاعلية النقل ولذلك يجب أن تكون موادها ذات خواص ممتازة.

ب- طبقة الأساس:

هي عبارة عن طبقة المواد التي تأتي تحت الطبقة السطحية مباشرة قد تكون غير معالجة وتخضع في ثباتها إلى الاحتكاك والتماسك بين الحبيبات تمتاز بكونها على تماس غير مباشر مـع حركـة السـير والتغيرات المناخية ويمكن أن تنشأ من مواد ذات مواصفات أقل جودة من الطبقة السطحية.

ج- طبقة ما تحت الأساس:

هي طبقة المواد الموجودة بين طبقة الأساس والطابق الترابي وتكون من تربة ذات مواصـفات جيـدة وكون الطبقة بعيدة نسبياً عن حركة السير والتغيرات المناخية فإن مواصفاتها أخفض من مواصـفات طبقة الأساس.

إن المواد الرئيسية المستخدمة في طبقات الرصف المذكورة أعلاه هي:

1- الخلائط الحصوية 2- الروابط البيتومينية 3- الاسمنت البورتلاندي

3- الخلائط الحصوية:

تعتبر الحصويات المكون الأساسي لطبقات رصف الطرق فهي تستعمل في الخلائط البيتومينية والبيتون الإسمنتي وطبقات الرصف (أساس وما تحت الأساس).

واعتماداً على خواص هذه المواد تتوقف مقاومة الاجهادات وبالتالي مقاومة جسم الطريق للتشوهات والاهتراء.

3-1: مصادر الحصويات (Aggregate sources):

3-1-1: الحصويات الطبيعية:

هي عبارة عن خليط طبيعي من العناصر البحصية والرملية تكونت من تفتت الصخور الطبيعية بفعل عمليات التعرية والحت ونقلت من أماكن نشؤها إلى أماكن أخرى بواسطة العوامل الطبيعية (ماء، هواء، جليد) تمتاز بحوافها المستديرة وباحتوائها على عناصر مختلفة الحجوم وهي ذات أهمية كبيرة في إنشاء الطرق.

3-1-2: حصويات المقالع:

هي الحصويات الناتجة عن تكسير الكتل الصخرية عبر إمرارها على كسارات وتمتاز بحوافها الحادة وحجوم حباتها تكون حسب الطلب ويمكن الحصول على تدرجات حبية مستمرة أو غير مستمرة وهذه الحصويات يمكن أن تكون قاسية أو طرية حسب نوع الصخر.

3-2: أنواع الحصويات (Aggregate Types)

1- الحصويات الناعمة: هي الحصويات التي تكون أقطارها محصورة ما بين المهزة رقم (4) 4.75 mm والمهزة رقم (200).

2- الحصويات الخشنة أو البحص: هي الحصويات التي تكون أقطارها بشكل رئيسي أكبر من 4.75 mm وأصغر من 75 mm

3- البحص والرمل الطبيعي: هي الحصويات المستخرجة من مقالع البحص والرمل الطبيعي دون أي معالجة وغالباً سطوحها مدورة.

4- البحص الطبيعي المكسر: هي الحصويات المستخرجة من مقالع البحص والرمل والمعالجة بواسطة الكسارات بالتقليل من أقطار جزيئات البحص أو الحصول على سطوح خشنة للحصويات المدورة.

5- الحصويات الناتجة عن تكسير الصخور هي الحصويات الناتجة عن تكسير الصخور حيث تكون سطوح البحص ذات زوايا غير مدورة.

6- البقايا أو عوادم الكسارات: هي الحصويات بشكل شحف والغبار والبودرة والحصويات الناتجة عن غربلة ناتج التفجير في المقالع على غرابيل أبعادها 5x5 cm ولفصل الأحجار ذات الأبعاد الأكبر من 5 cm عن المواد الناعمة.

7- الرمل المستخدم في البيتون (رمل مكسر) هو الرمل الناتج عن إعادة طحن البحص في كسارات خاصة والمعالج بالغسيل عادة لإزالة الغبار والمواد الناعمة من ناتج الطحن.

8- المواد الناعمة (البودرة): هي عبارة عن جزيئات السيلت والغضار ذات الأقطار الأقل من 75 ميكرون وتعتبر من الشوائب الضارة وغير المرغوب بها.

3-3: الخواص العامة لحصويات الطرق (Aggregate Properties)

3-3-1 المقاومة:

إن الحصويات المستعملة في إنشاء الطرق يجب أن تكون ذات مقاومة كافية كي تصمد تحت الإجهادات الناتجة عن حمولة العربات المستخدمة للطريق وبصورة خاصة الطبقة السطحية وبالتالي يجب أن تقاوم الاهتراء والتفتت الناتج عن تواتر الحركة.

وتتلخص التجربة (اختبار التفتت) بوضع عينة من المواد الحصوية ذات أبعاد 12.5 mm – 10 ضمن قالب معدني نظامي وليكن W1 وزن العينة ترص هذه العينة على 3 طبقات وكل طبقة 25 ضربة ثم توضع تحت المكبس ويطبق عليها حمولة 400 KN بمعدل 40 KN/min بعد ذلك ترفع العينة وتمرر على منخل فتحة 2.36 mm وليكن وزن المار W2 وعامل التفتت يحسب من العلاقة:

$$\frac{W2}{W1}\times 100$$

W2- وزن المار من المنخل 2.36 mm.

W1- الوزن الكلي للعينة

يجب أن لا يتجاوز عامل التفتت للحصويات 30 للطبقة السطحية و 45 لطبقة الأساس وفق المواصفات AASHTO

3-3-2: الصلابة أو المقاومة على الاهتراء:

إن المواد الحصوية المستخدمة في طبقات الرصف تكون معرضة للاحتكاك فيما بينها ناتج عن حركة المرور وهذا الاحتكاك يؤدي إلى تآكل الحصويات لذلك يجب أن تكون صلبة بشكل كافي لمقاومة هذا الفعل.

تجرى لهذه الغاية تجربة اهتراء لوس أنجلس.

كلما كانت قيمة اهتراء لوس أنجلس صغيرة تكون الحصويات ذات مقاومة أكبر يجب أن لا تزيد عن 25 للطبقة السطحية و 40 لطبقة الأساس و 50 لطبقة ما تحت الأساس ويمكن أن تتغير هذه القيم $\pm$ 5 حسب غزارة وطبيعة الحركة على الطريق.

3-3-3: المتانة:

إن الحصويات المستخدمة في الطرق تكون معرضة لفعل الصدم نتيجة الحركة عليها وتزداد قيمة هذا الفعل مع ازدياد خشونة سطح الطريق وبزيادة سرعة العربات وبالتالي فإن خاصـية المتانـة يجـب تحقيقها ويتم اختبار المتانة بواسطة جهاز الصدم.

تعتبر الحصويات التي تعطي عامل صدم اقل من 10% ذات مقاومة عالية والحصويات التي يتـراوح عامل الصدم فيها (10-20)% تعتبر ذات مقاومة عالية.

أما في أعمال الطرق يجب أن لا يتجاوز عامل الصدم % 30 – 20 لحصويات الطبقـة السـطحية و % 45 لحصويات بقية الطبقات (الأساس وما تحت الأساس).

3-3-4: الديمومة أو مقاومة العوامل الجوية (Durability)

إن المواد الحصوية المستعملة في طبقات الرصف يجب أن تكون ذات مقاومة كافية للعوامل الجويـة المتمثلة بالتغيرات الحرارية وتغيرات الرطوبة وتدعى خاصية مقاومة التغيرات بالأصالة.

يتم تعريض الحصويات مخبرياً لدورات متسارعة من الجفاف والرطوبة ودورات متسارعة من التجمد والذوبان ويتم ذلك باستخدام محلول مشبع من كبريتات الصوديوم أو المغنيزيوم. يؤخذ وزن معين من المواد الحصوية النظيفة والجافة وتكون ضمن مجال معين محجوزة على منخل محدد مسبقاً تغمر لمدة 16 – 18 h في المحلول المذكور ثم تجفف بدرجة حرارة 105 – 110° C

وتكرر التجربة / 5 / مرات ثم تغسل العينة وتجفف وتفحص بالعين لتحديد التغيرات التي طرأت على أبعاد العينات ثم توزن العناصر المارة من المنخل الذي حجز جميع العناصر قبل التجربة وتحدد النسبة إلى الوزن الأصلي ويجـب أن لا تتجـاوز (10%) كبريتـات الصـوديوم و (12%) كبريتـات المغنيزيوم.

3-3-5: شكل الحبات ونوعية سطحها Shape Surface

إن الحبات الحصوية يمكن أن تكون كروية أو مكعبة أو رقيقة أو متطاولة من الأفضـل فـي إنشـاء الطريق استبعاد الحصويات الرقيقة والمتطاولة في مختلف طبقات الرصف إن الاختبارات المسـتخدمة هي:

أ- دليل التطاول:

هو عبارة عن النسبة المئوية وزناً للحبيبات المتطاولة والتي يكون فيها أكبر بعد يعادل على الأقل 1.8 مرة البعد الوسطي. لا يمكن تطبيقه إلا على الحبيبات الأكبر من 6.3 mm

تتلخص التجربة بأخذ عينة من المواد الحصوية ويتم امرارها على سلسلة من المناخل وتوزيعها إلـى مجموعات مثلا مار من المنخل 20 mm ومحجوز على المنخل 10 mm يكون البعد الوسطي 15 mm والحبيبات الأكبر من 27 mm تكون متطاولة .

عامل التطاول =100×W1/W

W1-وزن الحبيبات المتطاولة .

W-وزن العينة

إن قيمة دليل التطاول للحصويات المقبولة في إنشاء الطرق (10 – 15%)

ب- دليل التسطح:

هو عبارة عن النسبة المئوية وزناً للحبيبات الرقيقة والتي سماكتها أقل من 0.6 البعد الوسطي.

إن هذا الاختبار لا يطبق إلا على الحبيبات الأكبر من6.3mm .

تتلخص التجربة بأخذ عينة من المواد الحصوية ويتم امرارها على سلسلة من المناخل وتوزيعها إلـى مجموعات .

بعد ذلك توخذ كل مجموعة وتمرر على منخل مقياس التسطح/ 0.6 /من البعد الوسطي .

مثلا من اجل مجموعة الحبيبات المارة من المنخل 20 mm ومحجوز على المنخل 14 mm يكون منخل مقياس التسطح الواجب استعماله 10.2mm = 2/ (20+14) × 0.6 وبالتالي كل حبـة سماكتها اقل من 10.2 mm أي المارة من المنخل تعتبر رقيقة . ودليل التسطح يعطى بالعلاقة :

دليل التسطح = 100×W2/W

W2-وزن الحبيبات الرقيقة لكامل العينة .

W-الوزن الكلي للعينة.

إن قيمة دليل التسطح للحصويات المقبولة في إنشاء الطرق هي (10 – 15%).

ج- الرقم الزاوي:

إن الحبيبات المستديرة يفضل استخدامها في أعمال الرصف الصلب بينما الحبيبات الزاوية في الرصف المرن إن اختبار الرقم الزاوي يساعد على وضع المواد في مكانها الأمثل لاستخدامها.

يتلخص الاختبار بإمرار عينة الحصويات على سلسلة مناخل ثم وضع العينة ضـمن مجموعـات ذات مجال محدد مسبقاً حيث تؤخذ مجموعة: تملأ ضمن اسطوانة وترص على 3 طبقات وكل طبقـة 100 ضربة بواسطة قضيب معدني نظامي ويزال الزائد عن سطح الاسطوانة ثم توزن الاسطوانة بما فيهـا ويتم تحديد وزن العينة ثم تفرغ وتملأ الاسطوانة بالماء ويتم وزن الماء المستعمل.

إن الرقم الزاوي يحسب من العلاقة:

$$\text{الرقم الزاوي} = \frac{100\times W}{w\times G} - 67$$

W- وزن العينة المملوءة بالاسطوانة

w - وزن الماء المستعمل لإملاء الاسطوانة

G الوزن النوعي للحصويات.

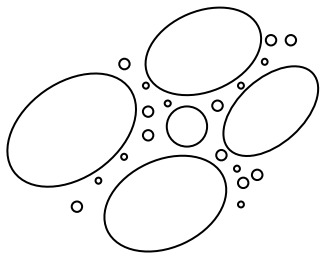
للحصويات المستديرة تكون نسبة العناصر الصلبة 67% بالتالي الرقم الزاوي صفر وإن قيمة الـرقم الزاوي المقبول في أعمال الطرق 10 – 0

3-3-6: الكثافة والثبات:

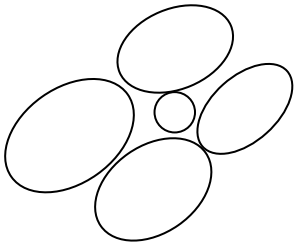
إن ثبات المواد الحصوية وبصورة خاصة غير المعالجة منها يعتمد بشكل أساسي على التركيب الحبي والكثافة النسبية وشكل الحبات.

يمكن الحصول على ثبات أعظمي للمواد الحصوية غير المعالجة لكي تستطيع مقاومة الانهيار والتشوه لطبقات الأساس وما تحت الأساس بفعل الحمولات إذا كان التركيب الحبي مثالياً وذلك بتأمين احتكـاك داخلي عالي وتماسك جيد بين الحبيبات.

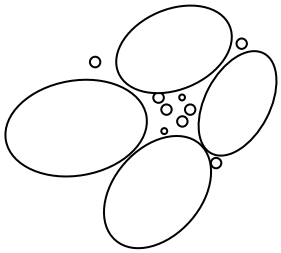
إن تقليص الفراغات بالنسبة للتركيب الحبي إلى حد معين يمكن الوصول إليه بواسـطة زيـادة طاقـة الرص الذي يؤدي إلى زيادة قيمة الثبات ويبين الشكل التالي أشكال التدرج الحبي المختلفة للحصويات وتأثير التركيب الحبي على متانة الخلطات الحصوية.



تدرج حبي ذو زيادة فى المواد الناعمة



تدرج حبي مفتوح



تدرج حبي مثالي

إن التركيب الحبي يلعب دوراً أساسياً في زيادة أو نقص الثبات أي نسبة العناصر الناعمة إلى العناصر الخشنة إن منحني التوزع الحبي لخليط ما يمكن أن يعبر عنه بالمعادلة

$$P = 100 \left(\frac{d}{D}\right)^n$$

P - نسبة المار من المنخل ذو الفتحة d

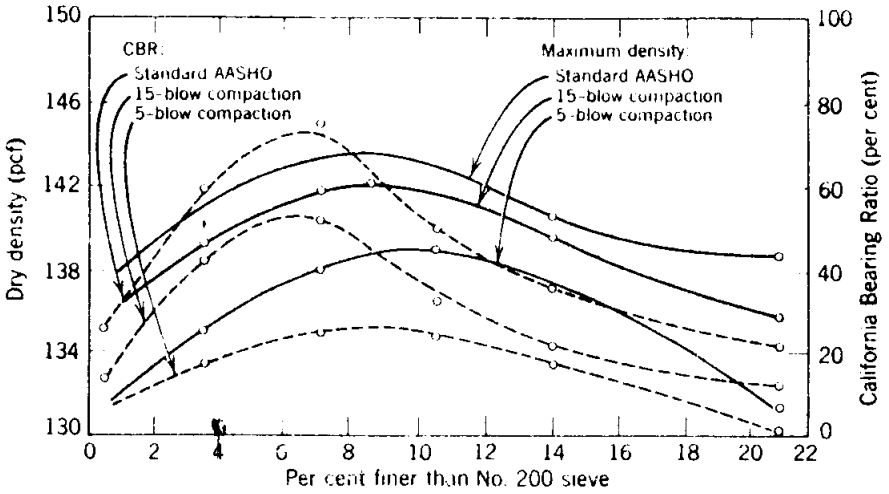
D - قطر أكبر حبة في الخليط

n - قيمة أسيه

للوصول إلى كثافة عظمى فإن القيمة الأسية n تتراوح ما بين (0.6 – 0.4) وعادة تؤخذ 0.5

مثال: من أجل خليط مواد حصوية قطر أكبر حبة فيها D = 19 mm فإننا نجـد إن نسـبة المـواد الناعمة للحصول على كثافة عظمى هي (6.23 %)

ويبين الشكل التالي تأثير المواد الناعمة على قيمة الكثافة الجافة وبالتالي على تحمل التربـة (الثبـات) المعبر عنه بتجربة C. B. R.



ـ ـ ـ ـ تغيرات الكثافة الأعظمية تبعاً لنسبة المواد الناعمة

ـ ـ ـ تغيرات C. B. R. تبعاً لنسبة المواد الناعمة

للحصول على خلائط حصوية تعطي كثافة وثبات جيدين لطبقات الأساس وما تحـت الأسـاس فقـد أوصت موصفات AASHTO باعتماد التراكيب الحبية المستمرة.

الحزم المقترحة من قبل وزارة المواصلات والتي تتوافق مع مواصفات AASHTO.

3-3-6-1 حصويات طبقة ما تحت الأساس

يجب أن تكون الحصويات المستخدمة في طبقة ما تحت الأساس الحصوية خالية من المواد العضـوية والمواد الضارة الأخرى بحيث ينتج عنها بعد رشها بالماء ورصها، طبقة مـا تحـت أسـاس ثابتـة ومستقرة وذات ترابط جيد. وتتألف هذه المواد من حصويات خشنة وحصويات ناعمة ومن حبيبات من المواد الناعمة بحيث تكون مطابقة للتدرج الحبي المبين في الجدول التالي:

مقاس المنخل	النسب المارة	
	التدرج(1)	التدرج(2)
62.5مم (2.5")	100	-
50.0مم(2")	100 – 90	100
37.5مم (1.5")	-	100 – 90
25مم (1")	-	85 – 55
19مم (3/4")	-	80 – 50
9.5مم (3/8")	-	70 – 40
4.75مم(رقم 4)	70 – 35	60 – 30
2.54مم(رقم 10)	-	50 – 20
0.425مم (رقم 40)	-	30 – 10
0.075مم (رقم200)	15 – 0	15 – 5

ملاحـظة :

يجب تحديد التدرج المناسب بحيث أن الحد الأقصى لحجم الحصويات لا يزيد عن 3/1 ثلث سماكة طبقـة ما تحت الأساس التي يراد إنشاؤها .

متطلبات الجودة

المكافئ الرملي (الاختبار 73-176من AASHTO) .	25 كحد أدنى
قرينة اللادونة (الاختبار T90-80 من AASHTO).	6 كحد أعلى
النقص بسبب الإهتراء (الاختبار T96-77 من AASHTO) .	50 كحد أعلى
نسبة كاليفورنيا للتحمل (الاختبار D1883من ASTM) .	50 كحد أدنى

3-3-6-2- حصويات طبقة الأساس

تعرف المواد المستخدمة في طبقة الأسـاس بأنهـا مجموعـة مـن الحصـويات الخشـنة والحصويات الناعمة والمواد الناعمة ويمكن أن تنتج من الحجارة المكسرة أو مـن رواسـب الأنهـار المكسرة أومن الحصى المكسر على ألا تحتوي الحصويات المنتجة من الحجارة المكسرة على ما يزيد عن نسبة (8%) وزناً من القطع المسطحة والمستطيلة .

ويجب أن تكون المواد المستخدمة في طبقة الأساس مطابقة لمتطلبات التدرج المبين في الجدول التالي:

قياس المنخل	النسبة المئوية المارة		
	التدرج (1)	التدرج (2)	التدرج (3)
50مم (2")	100	-	-
37.5 مم (1.5")	-	100	-
25 مم (1")	85 – 55	95 – 70	100
19مم (0.75")	80 – 50	85 – 55	100 – 70
4.75مم (رقم 4)	60 – 30	60 – 30	65 – 35
0.425 مم (رقم40)	25 – 10	25 – 10	25 – 15
0.075 مم (رقم 200)	10 – 3	10 – 3	10 – 3

ملاحظة :

يجب أن لا يزيد الجزء المار من المنخل رقم 200 عن ½ الجزء المار من المنخل 0.425مم (رقـم 40) .

محتوى كبريتات الصوديوم (T104-77 من AASHTO)	12 كحد أقصى
النفص بسبب الاهتراء (AASHTO T96-77أو الاختبار 11.1من هذه المواصفات)	45 كحد أقصى
المكافئ الرملي (T176-73منAASHTOأو الاختبار رقم 10.1 من هذه المواصفات)	35 كحد أدنى
حد السيولة (T89-80 من AASHTO أو الاختبار رقم 6.1 من هذه المواصفات)	25 كحد أقصى
قرينة اللدونة (T90-80 من AASHTO)	6 كحد أقصى
نسبة كاليفورنيا للتحمل (D1883 من AASHTO) تدرج (1)	100 كحد أدنى
نسبة كاليفورنيا للتحمل (D1883 من AASHTO) تدرج (2)	80 كحد أدنى
نسبة كاليفورنيا للتحمل (D1883 من AASHTO) تدرج (3)	65 كحد أدنى

إن زيادة نسبة المواد الناعمة في طبقات الأساس وما تحت الأساس يؤدي إلى زيادة تأثرهـا بالصـقيع وإلى سوء تصريفها للمياه.

3-3-7: خاصية التلاحم مع البيتومين:

يمكن تصنيف المواد الحصوية المستعملة في الطرق من وجهة نظر التلاحم مع البيتومين إلى نوعين: شرهة للماء وغير شرهة للماء مقارنة مع البيتومين.

إن تعرض الحصويات الشرهة للماء يؤدي إلى تشكيل طبقة رقيقة حول الحصويات وبالتالي يضـعف التلاحم بين الحصويات والرابط وهذا يسبب تخرب الطبقة التي تحتوي على هذا النوع من الحصويات بسرعة أما بالنسبة للحصويات الغير شرهة للماء فإنها تحتفظ بتلاحمها مع البيتومين وبالتـالي تقـاوم بشكل أفضل ولمدة أطول الإجهادات المطبقة.

من اجل معرفة قوة التلاحم وثبات المزيج البيتوميني عند وجود الماء يجب إجراء اختبـارات التحقـق ومنها اختبار مارشال وذلك بقياس درجة الثبات للعينات قبل وبعد الغمر في المـاء درجـة حرارتـه (60°) لمدة 24 ساعة

تنص المواصفات أن نسبة انخفاض درجة الثبات قبل وبعد الغمر يجب أن لا يتجاوز (25%)

3-3-8 الثبات الكيميائي:

هناك حصويات تؤثر على التركيب الكيميائي للمادة الرابطة فالحصويات الفعالـة كيميائيـاً يمكـن أن تسبب تفتت البيتون الإسفلتي أو الإسمنتي وهذا ما ينعكس على ديمومة البيتون والإسفلت، كما أن هناك حصويات تميل إلى التقشر نتيجة للنشاط الكيميائي ضمن تركيبها وبالتالي يؤدي هذا إلى تفتيت القميص الإسفلتي أو البيتون الإسمنتي.

3-4-تكوين الخلائط الحصوية .

إن الخلائط الحصوية المستعملة في إنشاء الطرق لا يوافق تركيبها في كثير من الأحيان التركيب الحبي ذو الثبات الميكانيكي الذي نرغب بالوصول إليه .

إن الحصول على ثبات جيد للخليط الحصوي يتم بفعل تأمين توازن بين نسبة العناصر الحصوية والرملية والناعمة الداخلة في تركيبه وبالتالي تستطيع أن تقاوم بشكل جيد الاجهادات والتشوهات الناجمة عن الحركة.

إن الخلائط الحصوية ذات المصدر الطبيعي أو الصناعي (المقالع) في كثير من الأحيان لا يوافق تركيبها الحبي التركيب الحبي ذو الثبات الميكانيكي الجيد ضمن الحزمة المقترحة وفق مواصفات طبقة الأساس أو ما تحت الأساس فإن ذلك يتطلب مزج أنواع محتلفة من المواد بنسب مختلفة وفق الطرق التالية:

1- الطريقة الحسابية.

2- الطريقة التخطيطية.

نعتمد الطريقة الأولى في حال مزج نوعين من الخلائط البحصية للحصول على الخليطة المعتمدة أما في حال مزج أكثر من نوعين فإنه يفضل استخدام الطريقة التخطيطية.

3-4-1 الطريق الحسابية .

إن هذه الطريقة سهلة عندما يراد مزج نوعين من الخلائط الحصوية من اجل الحصول على الخليطة المعتمدة .

إذا كان لدينا التركيب الحبي المتوفر لخليطيتين /B/, / A/ ويراد تشكيل خليطة /C/ بحيث يكون تدرجها الحبي موافقا للنسب المطلوبة كما في الجدول التالي :

الخليطة الناتجة	النسب المستخدمة		الفرق		التركيب الحبي المطلوب		المواد المتوفرة		فتحة المنخلmm
A + B	B	A	C-B	C-A	C	الحدود	B	A	

طريقة العمل :

1-نعتمد نسبة معينة للمار الكلي للبحص على أن تكون محصورة بين النسـب النظاميـة المطلوبـة (مواصفات الخليطة C).

2-نحسب الفرق بين نسب المار الكلي للخليطة C مع الخليط A أي C-A لكل فتحة ونأخذ مجمـوع الفروق .

3-نحسب الفرق بين نسب المار الكلي للخليطة C مع الخليط B أي C-B لكل فتحة ونأخذ مجمـوع الفروق .

4-نحسب النسبة A/B=C-A/C-B= x

وهي تعطي النسبة بين الخلطتين أي إذا اخذ من إحدى الخلطتين مقدار واحد يجـب أن نأخـذ مـن الأخرى مقدار مضروب بالنسبة ويكون المجموع مكون من النسبتين .

5-يجب أن يكون المجموع كنسبة من النسبة الكلية 100%

فان نسبة الخلطة الأولى % مجموع النسب +1/100=

نسبة الخلطة الثانية % مجموع النسب /النسبة =

الخليط يتألف من المزيج A + x B

3-4- 2الطريقة التخطيطية

هناك عدة طرق تخطيطية تستعمل لتعين نسب الخلط اللازمة لتحقيق التركيب الحبي المطلـوب وفـق المواصفات ولكن الأكثر استعمالا هي الطريقة الألمانية لرو ثفوكس .

ليكن لدينا المواد المتوفرة ذات التراكيب الحبية المبينة (C، B،A) ونرغب بتحديد النسـب الواجـب استعمالها من كل نوع من اجل الحصول على التركيب الحبي المطلوب .

الخلطة الناتجة	التركيب الحبي المطلوب		المواد المتوفرة			فتحة المنخل
	الوسطي	الحدود	C	B	A	mm

تتم عملية إيجاد النسب وفق المراحل التالية :

1-نرسم مستقيما مائلا يصل بين الصفر والمائة للنسب المارة والذي يمثل قطر المستطيل .تعين نقاط من المستقيم تمثل النسب المئوية المارة للمنحني المطلوب الحصول عليه ثم تسقط على المحور الأفقي فتحدد فتحات المناخل الموافقة أي النسبة المارة 100 %من المنخل رقم 40 وهكذا .

2-نرسم بهذا المقياس على نفس المخطط منحنيات التركيب الحبي للمواد C، B،A .

3-نرسم اقرب خط مستقيم لكل منحني من منحنيات المواد C، B،A بحيث تكون المساحات على طرفي المستقيم متكافئة .

4-نصل النهايات المتعاكسة لكل مستقيمين متجاورين فنحصل على مستقيمات جديدة وهذه المستقيمات تتقاطع مع المستقيم الأساسي O O .

تعين النسب المطلوبة من تراتيب نقاط التقاطع فتحصل على النسب المطلوبة ويتم التأكد من صحة المنحني الحاصل بعد خلط هذه النسب .

الخليط = A + B + C

المواد البيتومينية

4- 1المواد البيتومينية(Bituminous Materials)

لقد عرف الإنسان المواد البيتومينية منذ القديم واستخدمت كمواد في إنشاء الطرق وكمواقـع للرشـح وأهم مصادرها:

1- الإسفلت الطبيعي نحصل عليه من بحيرات الإسفلت الموجودة فـي بعـض منـاطق العـالم كجزيرتي برمودا و ترينيداد على شواطئ فنزويلا . .

2- الصخور الإسفلتية.هي صخور مسامية تحتوي على مواد بيتومينية وهي موجودة في القطر العربي السوري (جبل البشري في دير الزور ومنطقة كفرية قرب اللاذقية)

3- القطران.هي مواد بيتومينية يتم الحصول عليها من تقطير الفحم الحجري .

4- الإسفلت النفطي. يتم الحصول عليه من تقطير النفط .

4-1-1: البيتومين(Bitumen)

يمتلك البيتومين قدرة كبيرة على الالتصاق بأغلب المواد كالأحجار والخشب والمعادن ويعتبر عـازل جيد للصوت والحرارة يعتبر البيتومين جسم مرن ـ لزج وذلك حسب شروط التحميل.

فإذا كان التحميل سريعاً جداً فإن سلوكيته تشبه سلوكية الجسم المرن، أما عند التحميل البطـيء فإنـه يشبه الجسم اللزج.

وفي حال التحميل المتوسط فإن سلوكيته هي مزيج من المرونة واللزوجة يمتاز البيتومين بعدم قابليتـه للانحلال في الماء ولكن يمكن حله في بعض المحاليل العضوية كما أنه خامل كيميائياً بالنسبة لأغلـب المواد الكيميائية.

يتم الحصول على البيتومين بتكرير البترول الخام في أبراج المصافي .

4-1-2الاسفلت السائل :(Liquid Asphalt)

يعرف الإسفلت السائل بأنه البيتومين الذي أضيفت إليه بعض الزيوت الطيارة كالكازولين والكيروسين ،وبالتالي أصبح بالمكان استعماله بدرجة الحرارة الطبيعية أو تسخينه إلى درجة حرارة مقبولة .

إن دور الزيوت الطيارة في الحصول على الإسفلت السائل في الأعمال المختلفة للطرق كتثبيت التربة ومعالجة المكادم وتهيئة سطوح الرصف لاستقبال الخلطات الإسفلتية حيث تتبخر المواد الطيارة مخلفة وراءها البيتومين الذي يؤدي إلى ربط وتلاحم العناصر مع بعضها .

إن سلوكية الإسفلت السائل تتعلق بنوعية وكمية المواد الطيارة المستعملة في تحضـيره ويقسـم إلـى الإسفلت السائل إلى ثلاثة أنواع :

-سريع التطاير

-متوسط التطاير

-بطيء التطاير .

يحضر النوع الأول بدمج البيتومين بمواد شديدة التطاير كالفازولين مثلا ، أمـا النـوع الثـاني يـتم الحصول عليه بدمج البيتومين بمواد اقل تطاير من الأولى كالكيروسين مثلا ،أما النـوع الثالـث يـتم الحصول عليه بدمج البيتومين بزيوت خفيفة تحوي قليلا أو قد لا تحتوي على مواد طيارة.

4-1-3المستحلبات (Emulsified Asphalt)

إن المستحلبات هي نوع من الروابط الفحمائية التي يمكن استخدامها في إنشاء الطرق بدرجة الحرارة الطبيعية.

يعرف المستحلب بأنه عبارة عن سائلين غير قابلين للانحلال فيما بينهما وممزوجين مـع بعضـهما البعض . إن البيتومين غير قابل للانحلال في الماء وبالتالي يمكن تحضير مستحلب من هذين السائلين وذلك بتسخين البيتومين والماء وامرارهما عبر مضخة نابذة خاصة ،تعمـل علـى توزيـع كريـات البيتومين ضمن الماء .

لكي لايتم التحام كريات البيتومين مع بعضها ،فانه يضاف إلى المزيج عنصر استحلاب وعادة يستعمل الصابون كعنصر استحلاب إذ يعمل على تخفيض الشد السطحي بين البتومين والمـاء وكـذلك يقـوم بتشكيل طبقة على سطح الكريات ذات شوارد سالبة أو موجبة وهذا يؤدي إلى تنافر الكريـات فيمـا بينها ويمكن أن نميز نوعين من المستحلبات.

1- المستحلبات المشرسبة .

2-المستحلبات المشرجبة

يستعمل احداهما بالاعتماد على الخواص الفيزيائية والكيميائية للمواد الحصوية .

إن ميكانيكية استعمال المستحلبات في الأعمال الطرفية تتلخص بأنه عندما ترش أو تمزج المستحلبات مع المواد الحصوية فان المستحلب يتحطم أي تتغير حالة المستحلب من كريات دقيقة موزعة ضـمن الماء إلى حالة يتوضع فيها البيتومين على سطح المواد الحصوية ويشكل طبقة ملتصقة بهـا .يمكـن تقسيم المستحلبات المشرسبة إلى /3/ أنواع :

1-سريعة التحطيم

2-متوسطة التحطيم

3-بطيئة التحطيم .

إن النوع الأول غير مستقر إذ يحتوي على كمية قليلة من عنصر الاستحلاب ولا يصلح للخلـط مـع المواد الحصوية لان زمن الخلط قصير جدا ويمكن استعماله لتامين التصاق طبقات الرصف فيما بينها .

أما النوع الثاني فانه يحتوي على كمية كافية من عنصر الاستحلاب ممـا يسـمح بخلطـه بـبعض التراكيب الحبية ويستعمل في صيانة الطرق .

إما النوع الثالث فانه يملك ثبات كيميائي وميكانيكي كافي لأعمال الطرق بما فيه خلطه مـع المـواد الحصوية .

أما المستحلبات المشرجبة فانه يمكن تصنيفها من حيث سرعة تحطيمها إلى سريعة ومتوسطة وبطيئة ولكن يبقى استعمالها في أعمال الطرق محدودا .

4-***1-4 قطران الطرق*** **(Road tar)**

يعرف القطران بأنه سائل لزج اسود اللون ، يتم الحصول عليه من تحليل وتقطير المـواد الطبيعيـة العضوية كالخشب والفحم الحجري والحصول على القطران الخام من الفحم الحجـري هـو الأكثـر والأوسع انتشارا ويمكن تلخيص مراحل الحصول على قطران الطرق كما يلي :

1-كربنة الفحم الحجري بغياب الهواء والحصول على القطران الخام .

2-تكرير القطران الخام وتقطيره .

3-مزج رواسب التقطير مع بعض الزيوت الناتجة عن التقطير والحصول على قطران الطرق .

يتم إنتاج قطران الطرق بأنواع مختلفة تعتمد على اللزوجة وعلى اختلاف في بعض الخواص الأخرى ، وهناك خمسة أنواع (RT-5..... RT-2 RT-1) ،يستعمل RT-1 في طلاء الطبقة السطحية في ظروف مناخية باردة ،أما RT-2 و RT-3 وRT-4 تستعمل في صيانة وكسـاء طبقـات الرصـف السطحية والمكادام أما RT-5 يستعمل من اجل أعمال الحقن .

4-2: خواص المواد البيتومينية:

إن الخواص للمواد البيتومنية يمكن جمعها بأربع خواص رئيسية :القوام –الديمومة –معـدل سـرعة التجمد –مقاومة فعل الماء .

4-2-1: القوام:

تعتبر خاصية القوام من الخواص الأساسية في اختيار المواد البيتومينية إذ أن للحرارة تأثير كبيـر على القوام وبالتالي يجب اختيار البيتومين الذي يتلاءم قوامه مع التغيرات الحرارية التـي يمكـن أن تتعرض لها المنطقة بحيث لا يصبح طرياً تحت أعلى درجة ولا أن يصبح هشاً عند أخفض درجة.

4-2-2: الديمومة أو المقاومة للعوامل الجوية :

يجب أن تتمتع المواد البيتومينية المستعملة في أعمال الطرق بخاصية مقاومة فعل العوامل الجويـة أي أن يحتفظ البيتومين بقوامه اللادن بعد سلسلة من التغيرات الجوية إذ أن البيتومين نتيجة تعرضه للعوامل

الجوية، فإنه يمكن أن تتشكل طبقة رقيقة تفقده شيئاً فشيئاً لدونته ويصبح هشاً وذلك بسبب تغير بعـض الخواص الفيزيائية والكيميائية للبيتومين.

4-2-3: معدل سرعة التجمد:

إن معدل سرعة التجمد يتعلق بنوع وكمية المحلول المستعمل، كلما كانت كمية المحلول المستعمل أقل كلما كان زمن التجمد اقل ويزداد زمن التجمد كلما كان البيتومين المستعمل فـي تحضـير الإسـفلت السائل أكثر طراوة ، ومن العوامل الخارجية المؤثرة على سرعة التجمد: درجـة الحـرارة وسـرعة الرياح وكذلك مساحة السطح المعرض لهذه العوامل.

4-2-4: مقاومة فعل الماء:

إن ديمومة الخلائط البيتومينية تتعلق بشكل كبير باستمرارية التحام البيتومين بالمواد الحصوية حيـث وجود الماء، إن ضياع بعض التلاحم بين البيتومين والمواد الحصوية يؤدي إلى تخريب الطريق بشكل مبكر يجب اختيار أنواع المواد الحصوية بحيث يكون هناك توافق مع المواد البيتومنيـة المسـتعملة ويمكن في بعض الأحيان إضافة مانع تعري وذلك من اجل المحافظة على التلاحم بين المواد البيتومنية والمواد الحصوية .

4-3: اختبارات المواد البيتومينية:

هناك أنـواع مختلفـة من المـواد البيتومينيـة ومن أجـل اختيار الأفضـل فقد أوصـت ASTM و AASHTO بإجراء التجارب التالية:

4-3-1: تجربة الغرز:

تستعمل هذه التجربة لتحديد قساوة أو ليونة البيتومين، تتلخص بالسماح لإبرة ذات أبعاد ووزن نظاميين من الإنغراز شاقولياً ضمن عينة من البيتومين درجة حرارته 25° C ولمدة خمس ثواني.

إن اختيار نوع البيتومين وفق درجة الغرز يتعلق بمناخ المنطقة التي سيستعمل فيها ففـي المنـاطق الحارة يستعمل البيتومين ذو درجة الغرز المنخفضة مثلا في سورية يفضل استعمال بيتومين (70/60) يعتبر مناسبا للاستعمال قي اغلب المناطق .

إن هذه التجربة تستعمل من اجل البيتومين فقط ولا يمكن استعمالها من اجـل القطـران أو الإسـفلت السائل لأنها تكون لينة جدا .

4-3-2: درجة اللزوجة:

إن خاصية اللزوجة لسائل ما هي تأخره بالسيلان بالنسبة لسائل آخر خلال فترة محددة وبالتالي يمكـن تعريفها عكس السيلان .

تقاس اللزوجة بمقاومة السائل للإسالة تحت تأثير الحرارة لأن درجة سيولة البيتومين أثناء مزجها بالعناصر البحصية تؤثر على ثبات المزيج.

عملياً توجد قيمة مثالية للزوجة تستعمل أثناء المزج أو أثناء الرصف إن انخفاض أو ارتفاع اللزوجة عن هذه القيمة يؤدي إلى انخفاض الثبات وتتعلق اللزوجة المثالية بنوعية وتدرج المواد الحصوية ونوعية البيتومين.

إن تجربة اللزوجة تستعمل بشكل خاص من اجل المواد البيتومينية السائلة كالإسفلت السائل والمستحلبات والقطران .

4-3-3: تجربة قابلية السحب (المطاوعة):

تعتبر من الخواص الهامة بالنسبة للبيتومين المستعمل في الخلائط الإسفلتية المستعملة في إنشاء الطرق لأن الطبقة السطحية للطريق تتعرض إلى تغيرات حرارية شديدة ويؤدي ذلك إلى تقلص وتمدد الرابط البيتوميني وكذلك الحركة المتكررة على الطريق تؤدي إلى تشوهات متكررة من شد وضغط إن وجود رابط بيتوميني ذو مطاوعة جيدة يمنع من حدوث تشققات ويزيد من عمر الطريق.

تتلخص تجربة قابلية السحب بقياس المسافة التي يمكن لعينة نظامية تحت شروط نظامية أن تتمدد دون أن تنقطع .

4-3-4: تجربة نقطة التميع:

تمتاز المواد البيتومينية بخواص فيزيائية وكيميائية معقدة وبالتالي لا يوجد نقطة واضحة تنتقل عندها هذه المواد من الحالة الصلبة إلى السائلة وإنما يتناقص قوام المواد تدريجياً تبعاً لدرجة الحرارة وبالتالي فان تحديد درجة التميع هو موضوع اتفاقي ومن اجل مقارنة النتائج هناك تجارب محددة ونذكر منها طريقة الكرة الحلقية وطريقة كرا يمر –سارنو .

تنبع أهمية تحديد نقطة التميع بصورة خاصة في المناطق ، إذ يجب أن تكون درجة التميع أعلى بشكل جيد من درجة الحرارة التي يمكن أن تصل إليها المواد البيتومينية حين تعرضها لأشعة الشمس وعملياً فان درجة الحرارة أو نقطة التميع للبيتومين المستعمل في الخلائط الإسفلتية يتراوح ما بين $(35 – 70^{\circ} C)$

4-3-5: نقطة الوميض والاشتعال:

يمكن تعريف نقطة الوميض بأنها أخفض درجة حرارة تبدأ عندها أبخرة البيتومين بالالتهاب.

أما نقطة الاشتعال فهي أخفض درجة يشتعل عندها البيتومين بحد ذاته.

يمكن تحديد نقطتي الوميض والاشتعال باستخدام جهاز وعاء كليفلاند المفتوح .

إن تحديد نقطتي الوميض والاشتعال ذات أهمية لأنه أثناء رفع درجة حرارة المواد البيتومينية مـن أجل مزجها بالمواد الحصوية يجب أن تنقص نقطة وميض البيتومين بمقدار (25˚C) على الأقل عـن درجة حرارة الخلاطة ليكون الاستعمال ضمن حدود الأمان.

4-3-6: تجربة النقص في الوزن:

إن جميع المواد البيتومينية تحوي على بعض المواد الطيارة وبالتالي حين تسخين البيتـومين يكـون هناك تبخر للمواد الطيارة ويكون هناك نقص في الوزن من ناحية ويصبح البيتومين أكثر قساوة.

يجب أن تكون نسبة النقص بحدود 1% ويمكن تجاوز هذه القيمة في حالة البيتومين ذو درجة الغـرز (200-300).

يلاحظ أن درجة الغرز النظامية على البيتومين الذي تم تسخينه قد تناقصت بحدود 40% عن القيمة الأصلية .

4-3-7: تجربة الوزن النوعي:

تعتبر تجربة الوزن النوعي أساسية لأنها يمكن أن تستعمل في تصنيف الروابط البيتومينية لاسـتعمالها في الطرق وخاصة .أثناء تصميم الخلطات البيتومينية نحتاج لمعرفة حجوم المـواد المكونـة للخلطـة وبالتالي نحتاج للوزن النوعي .

إن تغير الـوزن النوعـي للمواد البيتومينيـة يتعلق بالتركـيب الكيميائي ويتراوح عـادة مـا بـين (1.03 – 1.01) للبيتومين الصافي واقل من هذه القيمة للإسفلت السائل وبالنسبة للقطران1.1-1.25

4-4: مواصفات البيتومين المستعمل في الطرق:

يبين الجدول التالي المواصفات التي يجب أن يحققها كل نوع من البيتومين حين مزجـه مـع المـواد الحصوية لتشكيل الخلائط التي ستستعمل في إنشاء طبقات الرصف.

إن تحقيق هذه المواصفات يمكن أن يساعد على الحصول على خلطة تلبـي المواصـفات الأساسـية المطلوبة وهي الثبات، الديمومة، المرونة وقابلية التشغيل.

المتطلبات العامة	طرق الاختبار حسب مواصفات AASHTO	أنواع البيتومين				
الغرز	T – 49	40 – 50	60- 70	80 – 100	120 - 150	200 - 300
اللزوجة بطريقة فيرول	E – 102 ASTM	120	100	85	70	50
قابلية السحب (المطاوعة)	T – 51	+ 100	+ 100	+ 100	+ 60	-
درجة الاشتعال (وعاء كليفلان المفتوح)	T – 48	232.8˚	232.2˚	232.2˚	-	-
النقص في الوزن الحد الأعلى (%)	T - 179	0.80	0.80	1.0	1.30	1.50

تصميم الخلائط الإسفلتية (HMA)

Hot Mix Asphalt-Mix Design

5-1 عموميات :

هناك أنواع متعددة من الخلائط البيتومنية وتختلف حسب الغاية منها لاستخدامها في أعمال إنشاء وصيانة الطرق .

إن اختيار احد الأنواع يتعلق بحجم الحركة على الطريق وبالكلفة وتوفر المواد المستخدمة والحالة المناخية لمنطقة المشروع .

تعتبر الخلطة البيتومنية مادة رصف جيدة إذا حققت الأمور الاقتصادية وسهولة التشغيل والنقل .

5-2 المتطلبات الأساسية للخلطات الإسفلتية :

هناك أربع خواص أساسية يجب تحقيقها حين تصميم الخلائط البيتومنية وبصورة خاصة في الطبقة السطحية للطريق وهذه الخواص هي :

-الثبات الديمومة -المرونة -مقاومة الانزلاق

5-2-1 الثبات(Stability)

المقصود بالثبات هو مقاومة مواد طبقات الرصف تجاه التشوهات التي تسببها الاجهادات الناتجة عن حمولة العربات والمصدر الرئيسي لهذه المقاومة هو الاحتكاك والتعشق الناتج عن تماس الحبيبات الحصوية من ناحية ،والتماسك الناتج عن وجود المواد الإسفلتية من ناحية أخرى لزيادة قيمة الثبات يجب أن تكون الحبيبات الحصوية ذات تدرج حبي جيد وحواف حادة ونسيج خشن .

كما أن نسبة معينة من الرابط البيتوميني تؤدي إلى تماسك الحبيبات البحصية وبالتالي رفع قيمة الثبات .

5-2-2الديمومة(Durability)

نقصد بالديمومة مقاومة القميص الإسفلتي للاهتراء للاجهادات الميكانيكية الناتجة عن الحمولات التي تولدها الحركة ، وكذلك الاجهادات الحرارية التي تولدها التغيرات المناخية وكلما استطاع الرابط البتوميني حماية الحبيبات الحصوية أكثر كلما كانت ديمومة الخلطة البيتومنية اكبر .

إن السبب الأساسي لشيخوخة البيتون الإسفلتي هو تبخر وتأكسد الرابط الإسفلتي بعد إنشائه وتعرضه للعوامل الجوية فان الماء والهواء يصبحان على تماس مباشر معه مما يؤدي إلى أكسدته وبالتالي إزاحة المركبات الخفيفة منه مخلفة وراءها مادة رابطة قاسية وهشة .

لكي نتمكن من معالجة شيخوخة البيتون الإسفلتي وتصلب المواد الرابطة والتقليل من تاثيرهما إلى أقصى حد من الضروري مراعاة مايلي :

1-تحديد درجة الحرارة الاعظمية أثناء عملية المزج بغية التقليل من تبخر المواد الخفيفة .

2-تحديد النسبة الاعظمية للفراغات الهوائية في الخلطة البيتومنية بغية التقليل من نفوذيتها وبالتالي من معدل الأكسدة .

3-تحديد النسبة الاصغرية من الفراغات في الحصويات المنيرالية بغية ترك فراغ كاف للرابط الإسفلتي الأمر الذي يساعد على التأكد من أن الغشاء الإسفلتي المحيط بحبيبات الحصويات ذو سماكة كافية بحيث تبقيه مطاوعا وليس هشا .

4-العمل على استعمال الروابط الإسفلتية الأكثر طراوة في تحضير الخلائط الإسفلتية كلما كان ذلك ممكنا مكن الناحية الفنية . كلما كان الرابط ذو طراوة اكبر (درجة غرز اكبر)كلما كان البيتون الإسفلتي ذو قابلية اقل للتشقق .

عمليا ينصح بان تكون نسبة الفراغات الهوائية (4%)وهذه النسبة يمكن أن تعطي بعض التوازن بين الخواص المختلفة .

3-2-5المرونة (Flexibility)

إن المرونة عامل هام جدا لان الأغطية التي تستخدم في إنشائها مرنة ،يجب أن تتمكن الخلائط البيتومنية من الانعطاف بشكل بسيط تحت تأثير الحمولات دون حدوث تشققات فيها وكذلك دون حدوث تغير في شكل الطبقات التي تستند عليها هذه الخلائط .

من اجل زيادة مرونة الخلائط الإسفلتية فان الدراسات قد أظهرت بأنه حين استعمال التراكيب الحبية المفتوحة تكون المرونة أفضل من التراكيب الحبية الكثيفة ومن هنا نرى أن استعمال التراكيب الحبية المفتوحة في تصميم الخلائط الإسفلتية يمكن أن يؤدي إلى زيادة المرونة من ناحية ، ولكن هناك انعكاس على انخفاض الثبات والديمومة من ناحية أخرى .وبالتالي يجب التقليل مالمكن من الآثار السلبية على الخواص الأخرى من ناحية أخرى.

4-2-5 مقاومة الانزلاق (Skid Resistance)

إن هذه الخاصية تعبر عن قدرة سطح طبقات الرصف من الخلائط البيتومنية على مقاومة انزلاق دواليب العربات عليها ،ومقاومة الانزلاق للخلائط الإسفلتية تعتمد على عاملين :

العامل الأول : نسيج المواد الحصوية الداخلة في تركيب الخلطة وقساوة هذه المواد .

العامل الثاني : نسبة البيتومين الداخلة في تركيب الخلطة .

كلما كانت نسبة المواد الناعمة عالية والمواد الحصوية طرية فان سطح الطريق سيصبح ناعما مع زيادة الحركة عليه وبالتالي يجب أن تكون المواد المستعملة ذات قساوة كافية وهذا يتطلب اختيار مواد حصوية أكثر قساوة للمحافظة على مقاومة الطبقة السطحية مدة أطول .

أما بالنسبة للعامل الثاني فكلما كانت نسبة الفراغات في الخلطة ضعيفة فانه نتيجة الحركة سيؤدي ذلك إلى رص هذه الخليطة من ناحية ، وذلك في الأشهر الحارة من السنة يكون هناك تمدد في الرابط الإسفلتي من ناحية أخرى .تجدر الإشارة إلى انه من اجل تغير واحد في درجات الحرارة فان الروابط البيتومنية تتمدد وتتقلص من 15 إلى 30 مرة أكثر من المواد الحصوية ،وبالتالي فان الرابط الإسفلتي سيصعد إلى سطح طبقة الرصف مشكلا واحات إسفلتية ذات سطح ناعم غير مقاوم للانزلاق .

لذلك لابد من وجود نسبة متدنية من الفراغات بحيث يمكن بواسطتها استيعاب الرابط الإسفلتي الفائض نيتجة زيادة كثافة البيتون البيتوميني تحت تأثير الحمولات .

إن المتطلبات الأساسية الأربعة التي ذكرناها سابقا هي متطلبات كلاسيكية لتصميم الخلائط البيتومنية ،إن الدراسات الحديثة أظهرت أن هناك خصائص أخرى يجب أن تتحقق في الخلائط الإسفلتية ، منها مقاومة الخلائط الإسفلتية لظاهرة التعب بسبب تعرض الطبقة السطحية لاجهادات ناظمية متكررة من شد وضغط وكذلك اجهادات مماسية متكررة وبالتالي تنهار المواد المكونة لطبقات الرصف نتيجة التحميل المتكرر تحت تأثير ظاهرة التعب .

لقد أدخلت سلوكية الخلائط الإسفلتية على التعب في الحسابات الحديثة لسماكات طبقات الرصف وبالتالي نرى أن هذه الخاصية دخلت في تصميم الخلائط الأكثر مقاومة لظاهرة التعب .

هناك خاصية أخرى تعنى بها الدراسات الأكثر تقدما وهي التشققات ومعدل انتشارها تحت تأثير الحرارة المنخفضة .

3-5 مراحل تصميم الخلائط الإسفلتية Step for Design of H M A

من اجل تصميم الخلائط الإسفلتية يمكن إتباع الخطوات التالية :

-اختيار المواد الحصوية

-اختيار التركيب الحبي

-تحديد نسب الحصويات

-تحديد الوزن النوعي للحصويات

-تحديد الوزن النوعي للبيتومين

-تحضير عينات الاختبار

- تحديد الكثافة ونسب الفراغات للعينات

-تحديد نسبة البيتومين الأصولية

-اختبار ثبات العينات .

5-3-1-اختيار المواد الحصوية Selection of A aggregate

إن المواد الحصوية المستعملة في الخلائط البيتومنية يجب أن تحقق الخواص المطلوبة سابقا كالمقاومة والصلابة والمتانة والديمومة وشكل الحبات يجب أن يكون مكعب الشكل وذو زوايا ذات حواف غير مستديرة .

يجب أن تشمل المقارنة بين مختلف المواد الحصوية النواحي الفنية والجانب الاقتصادي.

5-3-2-اختيار التركيب الحبي Selection of A aggregate Grading

تحقيقا للتوازن بين المتطلبات الأساسية للخلائط البيتومنية التي تم ذكرها سابقا فان اغلب العاملين في مجال إنشاء الطرق ينصحون باستعمال التدرج الحبي الكثيف ولا يفضلون التركيب الحبي المفتوح .

نبين في الجدول (5- 1) والجدول(5-2) نماذج التراكيب الحبية لطبقتي الأساس والاهتراء الإسفلتيتين وفق مواصفات وزارة المواصلات السورية -2002

قياس المنخل	التدرج (1) المقاس الأعظمي 37.5مم(1.5")	التدرج (2) المقاس الأعظمي 25 مم (1")	التدرج (3) المقاس الأعظمي 25 مم (1")
	النسبة المئوية للمار من المنخل	النسبة المئوية للمار من المنخل	النسبة المئوية للمار من المنخل
37.5مم (1.5")	100	-	-
25مم (1")	90– 75	100	100
19مم(4/3")	80-65	90-75	100 – 90
12.5مم(2/1")	70-50	80-65	93 – 78
9.5مم(8/3")	62-45	65-55	72 – 57
4.75مم(رقم4)	46-31	60-35	58 – 43
2مم(رقم10)	33-18	35-20	43 – 28
0.425مم (رقم40)	18-5	20-7	28 – 13
0.180مم (رقم80)	13-3	25-5	-
0.075مم (رقم200)	9-2	7-3	7 – 3

جدول (5-1)متطلبات تدرج الحصويات وفق طريقـة الاختبـار (AASHTO T-30-78 لطبقـة الأساس المكونة من الخرسانة البيتومينة (Bituminous base course)

قياس المنخل	التدرج (1) المقاس الأعظمي للحصويات 19 مم (4/3")	التدرج (2) المقاس الأعظمي للحصويات 19 مم (4/3")	التدرج (3) المقاس الأعظمي للحصويات 12.5مم (2/1")
	النسبة المئوية للمار من المنخل	النسبة المئوية للمار من المنخل	النسبة المئوية للمار من المنخل
19مم(4/3")	100	100	-
12.5مم (2/1")	90 – 75	100 – 90	100
9.5مم (8/3")	79 – 64	83 – 78	100 – 90
4.75مم (رقم4)	56 – 41	60 – 46	68 - 54
2.00مم(رقم10)	37 – 23	42 – 30	46 – 32
0.425مم (رقم 40)	20 – 7	25 – 14	25 – 14
0.180مم(رقم80)	13 – 5	16 – 8	16 – 8
0.0756مم (رقم200)	8 – 3	7 - 3	7 – 3

جدول (5- 2) متطلبات تدرج الحصويات وفق طريقة الاختبار (AASHTO T-30-77) لطبقة الإهتراء المكونة من الخرسانة البيتومينية (Bituminous wearing course**)**

إذا ثبتنا جميع العوامل الخاصة بالقساوة والشكل وغيرها فإننا نرى أن ثبات الخلطـة البيتومنيـة يزداد مع زيادة القطر الاعظمي للتركيب الحبي المستعمل ويجب أن لا يتجاوز القطر الاعظمـي للتركيب الحبي المستعمل 1/3 سماكة الطبقة التي سوف تستخدم فيها الخلطـة البيتومنيـة ،وهـذا يؤدي إلى اقتصاد في نسبة البتومين المستخدم بسبب انخفاض السطح النوعي .

5-3-3-تحديد نسب الحصويات Proportioning of Aggregates

إن نوعية طبقة الرصف وسماكتها وخواص المواد ومكان توفرها يجب أن تؤخذ بالحسـبان قبـل اختيار التركيب الحبي وبناء عليه يتم تحديد نسبة كل مادة من المواد الحصوية ثـم يـتم تكـوين التركيب الحبي المختار باستخدام الطرق الحسابية أو التخطيطية .

5-3-4 تحديد الوزن النوعي للحصويات Determination of S.G of the Aggregate

يعتبر تحديد الوزن النوعي للحصويات ضروريا لأننا لا نستطيع حساب نسبة الفراغات الهوائية في الخلائط الإسفلتية دون معرفة الوزن النوعي وهناك ثلاث قيم للوزن النوعي تستعمل في هذا المجال :

1- الوزن النوعي الظاهري(Gsa) Apparent specific Gravity

يعرف الوزن النوعي الظاهري (**Gsa**) بأنه حاصل قسمة الوزن الصاب (**Ws**) على الحجم الصاب بحد ذاته (**Vs**) دون اعتبار حجم المسامات التي يمكن أن تتشرب الماء خلال يوم كامل منسوبا إلى واحدة الحجم للماء (**γw**)

$$Gsa=W/Vs.$$

2-الوزن النوعي ألحجمي (Gsb)Bulk specific Gravity

يعرف الوزن النوعي ألحجمي (**Gsb**)بأنه حاصل قسمة الوزن الصاب (**Ws**)على الحجم الكلي الذي يشمل الحجم الصاب (**Vs**) وحجم المسامات (**Vpp**) الذي يمكن أن تمتلا بالماء حين غمر الحصويات ضمن الماء خلال يوم كامل منسوبا على وحدة الحجم للماء (**γw**)

$$Gsb=Ws/ (Vs+Vpp).$$

3-الوزن النوعي الفعال (Gse)Effective specific Gravity

يعرف الوزن النوعي الفعال (**Gse**) بأنه حاصل قسمة الوزن الصاب (**Ws**)على الحجم الكلي للحصويات ،دون اعتبار حجم المسامات التي يمكن أن تتشرب البيتومين (**Vap**)منسوبا على واحدة الحجم للماء (**γw**)

$$Gse=Ws/(Vs+ Vpp-Vap).$$

في اغلب الحالات العملية يكون استعمالنا القيمة الوسطية لمجموع الوزن الظاهري (**Gsa**)والوزن النوعي ألحجمي (**Gsb**)كافية وتكافئ تقريبا القيمة الحقيقية للوزن النوعي الفعال أي :

$$Gse=Gsa+Gsb/2$$

5-3-5 - الوزن النوعي للبيتومين S.G .of Bitumen

إن قيمة الوزن النوعي للبيتومين لا يطلب تحديدها لأنها تحدد عادة من قبل الجهة الصانعة .

5-3-6 تحضير عينات الاختبار Preparation of test Specimen

يتم في البداية تحديد طريقة الاختبار التي ستعتمد من اجل تحديد ثبات الخلطة ووفق ذلك يتحدد القالب المستعمل وحجم العينة ودرجة الرص وغيرها من المواصفات التي تنص عليها أنظمة الطريقة المختارة (المعتمدة).

مهما كانت الطريقة المعتمدة فانه يتم تحضير /3/ عينات من اجل كل نسبة من البيتومين ومن ثم تنقل هذه العينات إلى جهاز الاختبار .

5-3-7 تحديد الكثافة ونسبة الفراغات Density –Voids Analysis

إن خطوات الحل والعلاقات المستخدمة في إيجاد الكثافة ونسب الفراغات في الخلائط الإسفلتية تستخدم للعينات المرصوصة المحضرة في المخبر وكذلك العينات غير المخربة المستخرجة من طبقات الرصف في الحقل .

1-الكثافة الحجمية (γm) Bulk Densityالوزن النوعي ألحجمي للمجبول (Gmb).

إذا رمزنا ب (**W**)للأوزان وب (**V**) للحجوم و(**G**) للأوزان النوعية للمواد فان الوزن الكلي والحجم الكلي للعينة هما:

$$W=Ws+Wb$$

$$Vmb =Vma+Vsb$$

تعرف الكثافة الحجمية لعينة المجبول الإسفلتي (**Gmb**)هي العبارة الأكثر استخداما في علاقات المجبول الإسفلتي وهي عبارة عن الكثافة الحجمية بالنسبة لكثافة الماء :

$$Gmb = \gamma m / \gamma w$$

عمليا يتم تحديد الوزن النوعي ألحجمي للمجبول بإحدى الطرق التالية :

1-**طريقة الوزن الهيدرو ستاتيكي** :تستعمل هذه الطريقة في حال كون العينة كثيفة وذات سطح ناعم ،حيث نزن العينة في الهواء وليكن (**Wa**) ثم نزنها بالماء وليكن (**Ww**).

إن تفاضل الوزنين ونسبه إلى كثافة الماء (γw) هو عبارة عن الحجم الكلي لعينة وبالتالي فان الوزن النوعي الحجمي للمجبول وفق هذه الطريقة هو :

$$Gmb=Wa/(Wa-Ww)$$

2-**طريقة التغليف بالشمع** :تستعمل هذه الطريقة في حال كون العينة نفوذة نسبيا ،ويتم تحديد الوزن النوعي ألحجمي لها بوزنها في الهواء قبل تغليفها بالشمع وليكن (**Wa**) ثم نقوم بتغليفها بالشمع ونزنها في الهواء ثانية وليكن وزنها في الهواء مع الشمع (**Wa**) بعد ذلك نقوم بتحديد وزنها بالماء وليكن (**Ww**) وبمعرفة الوزن النوعي للشمع (**Gp**) فان الوزن النوعي ألحجمي للمجبول وفق هذه الطريقة هو :

$$Gmb= Wa/(Wa -Ww-(Wa-Wa)/Gp)$$

3-الطريقة الهندسية :

تستعمل هذه الطريقة في حال كون العينة كثيفة ولها شكل هندسي محدد يمكن قياس أبعادها بسهولة ، وبالتالي يمكن حساب حجم العينة وفق العلاقات الهندسية ،من اجل عينة اسطوانية ارتفاعها

(h) وقطرها **(d)** يمكن حساب الوزن النوعي الحجمي للعينة هو :

$$Gmb=Wa /(d2/4).h$$

2- تحديد الكثافة النظرية الأعظمية Maximum Theoretical Density (Gmm)

تعرف الكثافة النظرية الاعظمية لعينة من المجبول الإسفلتي ،بأنها نسبة الوزن الكلي على حجم العينة المرصوصة بشكل مثالي بحيث يؤدي ذلك إلى انعدام حجم الفراغات الهوائية (Va) أي ان الكثافة النظرية الاعظمية تعطى بالعلاقة :

$$Gmm=Ws+Wb/Vmm$$

$$Gmm=Pmm/(Ps/Gse+Pb/Gb)$$

حيث :

Pmm-النسبة الكلية وزنا لعينة المجبول الإسفلتي وتساوي 100%

Ps-هي النسبة المئوية وزنا للمواد المكونة لعينة المجبول ماعدا الإسفلت .

Pb-النسبة المئوية وزنا للإسفلت ضمن عينة المجبول الاسفلتي% .

Gse-هو الوزن النوعي الفعال للمواد المكونة للمجبول الإسفلتي عدا الإسفلت .

وبالتالي تعطى الكثافة النظرية الاعظمية بالعلاقة

$$Gmm=\frac{100}{\frac{Pb}{Gb}+\frac{Ps}{Gse}}$$

Pb – نسبة البيتومين في الخليط وزناً (%)

Ps – نسبة المواد الحصوية في الخليط (100-pb) %

Gb – الوزن النوعي للبيتومين

Gse – الوزن النوعي الفعال للمواد الحصوية المكونة للمجبول عدا الاسفلت

$$Gse=(P1+P2+P3)/(P1/Gse1+P2/Gse2+P3/Gse3)$$

حيث :

P1- P2-P3-النسب المئوية وزنا لنسب التركيب من الوزن الكلي للمزيج .

Gse1، Gse2، Gse3 –الوزن النوعي الفعال للمواد الداخلة في تركيب الخلطة ماعدا الإسفلت .

3-نسبة تشرب الإسفلت : Asphalt Absorption

يعبر عن التشرب كنسبة مئوية من وزن المواد الحصوية فقط دون الأخذ بعين الاعتبار وزن الإسفلت في المجبول وهكذا يمكن تحديد نسبة التشرب من العلاقة التالية :

$$Pba=100\ (Gse-GSb).Gb\ /Gsb.Gse$$

حيث:

Pba-النسبة المئوية للإسفلت المتشرب ،نسبة مئوية من وزن المواد الحصوية .

Gse-الوزن النوعي الفعال للحصويات .

Gsb-الوزن النوعي ألحجمي للحصويات .

Gb-الوزن النوعي للبيتومين .

تحدد **Gsb** الوزن النوعي ألحجمي بالعلاقة :

$$Gsb=(P1+P2+P3)/(P1/Gsb1+P2/Gsb2+ P3/Gsb3)$$

حيث:

P1-P2 -P3 -النسب المئوية وزنا لنسب التركيب من وزن الحصويات .

Gsb1، Gsb2 ،Gsb3 –الوزن النوعي ألحجمي للمواد الداخلة في تركيب الخلطة ماعدا الإسفلت .

4-**نسبة البيتومين الفعالة في المجبول الإسفلتي**:

Effective Asphalt Content of Paving Mixture

إن نسبة البيتومين الفعالة (**Pbe**) في المجبول الإسفلتي هي كامل نسبة البيتومين عدا النسبة المتشربة من قبل المواد الحصوية أي أنها نسبة البيتومين المتبقية لتغليق السطح الخارجي للمواد الحصوية .وتعتمد سلوكية المجبول الإسفلتي عمليا على هذه النسبة وتحسب من العلاقة :

$$Pbe=Pb - Pba.Ps/100$$

حيث :

Pbe-نسبة البيتومين الفعلية وهي نسبة مئوية من الوزن الكلي للمجبول الإسفلتي .

Pb-نسبة البيتومين من الوزن الكلي للمجبول الإسفلتي .

Pba-نسبة البيتومين المتشربة من الوزن الكلي للمواد الحصوية .

Ps-نسبة الوزن الكلي للمواد الصلبة (المواد الحصوية) من الوزن الكلي للمجبول الإسفلتي .

5- تحديد نسبة فراغات المواد الحصوية في المجبول الإسفلتي (V.M.A) .

Percent VMA in Compacted Paving Mixture

تعرف نسبة فراغات المواد الحصوية (**V.M.A**) بأنها الفراغ بين حبيبات المواد الحصوية في المجبول الإسفلت المدحول وتشمل الفراغات الهوائية وكمية البيتومين الفعال ويعبر عنها بنسبة من الحجم الكلي .

تحسب فراغات المواد الحصوية على أساس الوزن النوعي ألحجمي (**Gsb**) للمواد الحصوية ويعبر عنها كنسبة مئوية من الحجم الكلي للمجبول الإسفلتي المدحول يتم الحساب وفق العلاقة التالية :

$$V.M.A = 100 - Gmb .Ps/Gsb$$

حيث :

V.M.A-نسبة فراغات المواد الحصوية من الحجم الكلي للمجبول .

Gsb-الوزن النوعي ألحجمي للحصويات .

Gmb -الوزن النوعي ألحجمي للمجبول الإسفلتي المدحول (كثافة مارشال).

Ps-النسبة المئوية الوزنية للمواد الحصوية في المجبول الإسفلتي .

6- تحديد النسبة المئوية للفراغات الهوائية في المحبول الإسفلتي المدحول /Pa/

Percent Air Voids in Compacted Mixture

إن الفراغات الهوائية في المجبول الإسفلتي المدحول هي عبارة عن حجوم الفراغات الهوائية الصغيرة الكائنة بين الحبيبات المغلفة بالبيتومين ويمكن التعبير عن هذه الفراغات كنسبة من الحجم الكلي للمجبول ، وهكذا يمكن تحديد نسبة الفراغات الهوائية (Pa) من العلاقة التالية :

$$Pa=100\ (Gmm-Gmb\ )/Gmm$$

حيث :

Pa-النسبة المئوية للفراغات الهوائية من الحجم الكلي للمجبول الإسفلتي المدحول .

Gmb – الوزن النوعي ألحجمي للمجبول الإسفلتي المدحول .

Gmm – الوزن النوعي الاعظمي للمجبول الإسفلتي (الكثافة النظرية الأعظمية)

7- تحديد نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين (VFA)Percent (V FA)in Compacted Mixture

إن نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين هي عبارة عن نسبة الحجم الذي يشغله البيتومين من حجم الفراغات الحصوية (**VMA**) ولا يدخل في هذه النسبة ،نسبة البيتومين المتشرب ويمكن تحديد نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين من العلاقة التالية :

$$VFA=100(VMA-Pa)/VMA$$

حيث :

VFA-نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين معبرا عنها كنسبة مئوية من حجم الفراغات الحصوية (**VMA**).

VMA – نسبة الفراغات الحصوية معبرا عنها كنسبة مئوية من الحجم الكلي للمجبول الاسفلتي المدحول .

Pa – نسبة الفراغات الهوائية معبرا عنها كنسبة مئوية من الحجم الكلي للمجبول الإسفلتي المدحول .

5-3-8 -تحديد نسبة البيتومين الأصولية: Determination of Optimum Bitumen Content

في اغلب الأحيان يكون تحديد نسبة البيتومين في الخليط من العوامل الأساسية والتي تحدد مقدار التوازن بين المتطلبات الأربعة الأساسية للخلطات البيتومنية ،إن زيادة نسبة البيتومين يؤدي إلى زيادة الديمومة ولكن يؤثر سلبا على الثبات ومقاومة الانزلاق .

إن نسبة البيتومين الأصولية تتعلق بشكل أساسي بالتركيب الحبي للخلطة .من اجل التراكيب الحبية المفتوحة فان نسبة البيتومين اللازمة من اجل تغلف الحبيبات تكون اقل من حالة التراكيب الحبية المغلقة ،كذلك كلما كانت نسبة العناصر الخشنة اكبر كلما كانت نسبة البيتومين الأصولية اقل .

انطلاقا من ذلك فقد اعتمد العاملين في تصميم الخلطات الإسفلتية في تقدير نسبة البيتومين على التركيب الحبي ومن العلاقات المستخدمة علاقة مونتانا (**Montana**) التالية :

$$P=1.25\ (0.015a +0.03b +0.17\ c)$$

حيث :

P-نسبة البيتومين في الخليط وزنا .

a-نسبة المحجوز على المنخل رقم (10).

b-نسبة المار من المنخل رقم(10)والمحجوز على المنخل رقم (200).

c-نسبة المار من المنخل رقم (200).

هناك علاقات أخرى تعطي نسبة البيتومين السائل اللازمة ومنها العلاقة التالية :

$$P=0.02a + 0.045\ b + 0.18\ c$$

دلائل الرموز المستعملة في العلاقة هي نفسها ا المستعملة في علاقة مونتانا.

5-3-9 اختبار ثبات العينات : Stability Test on Specimen

إن اختبار ثبات العينات يتعلق بالطريقة المختارة من اجل تصميم الخلائط البيتومنية بالاعتماد على جهاز الطريقة المختارة ووفقا للمواصفات التي تنص عليها هذه الطريقة .

جامعة حماه
كلية الهندسة المدنية

تصميم طبقات الرصف الطرقي

د.م: أيمن لفلوف

عموميات:

إن تصميم **طبقات رصف الطرق** يعني التصميم الإنشائي لقارعة الطريق التي سوف تستقبل الغزارات العالية من حركة المرور والتي ستقاوم الاجهادات الناتجة عن الحمولات الستاتيكية والديناميكية والإجهادات التي ستولدها التغيرات الحرارية.

أنواع الرصف:

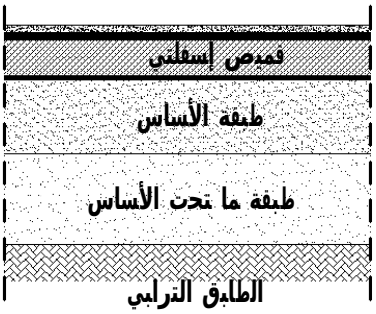
١. الرصف المرن.
٢. الرصف الصلب.
٣. الرصف نصف الصلب.

واختيارنا لأحد هذه الأنواع يتعلق بعدة عوامل:

١) حجم وطبيعة حركة المرور على الطريق.
٢) طبيعة تربة المسار.
٣) امكانية توفر مواد الرصف محلياً.
٤) برامج الصيانة أثناء الاستثمار.
٥) الشروط البيئية والمناخية لمنطقة المشروع.

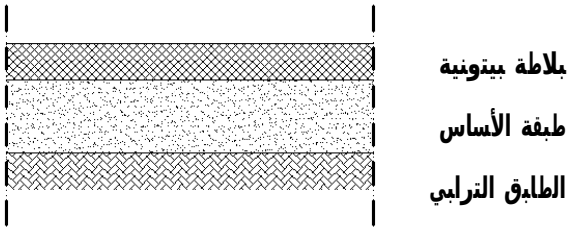
١- الرصف المرن:

هو الرصف الذي تكون طبقته السطحية من البيتون الإسفلتي أما طبقتي الأساس وما تحت الأساس فيمكن أن تكونا من مواد غير معالجة كالبحص المكسر والخلائط البحصية الرملية، أو من مواد معالجة بأحد الروابط الإسفلتية ، وقد تقتصر المعالجة على طبقة الأساس فقط أو تتعداها إلى طبقة ما تحت الأساس.



٢- الرصف الصلب:

هو الرصف الذي تكون طبقته السطحية من البيتون العادي أو المسلح أو المسبق الإجهاد، أو بعبارة أخرى هو الرصف الذي له مقاومة وصلابة على الانعطاف.



إن الاختلاف الأساسي في السلوكية الإنشائية للرصف الصلب والرصف المرن أن الأول تكون جودة الطبقة مقترنة بمقاومتها على الانعطاف، وفي الثاني فإن جودتها تقيّم من خلال قدرة توزيعها للإجهادات الشاقولية تبعا للعمق،

٣- الرصف نصف الصلب:

عندما نستعمل احد الروابط الهيدروليكية (الكلس، الاسمنت...الخ) في معالجة وتثبيت طبقة الأساس أو ما تحت الأساس فإن هذه الطبقات تقاوم إجهادات الانعطاف، والطبقة السطحية تبقى من البيتون الإسفلتي فإن هذا النوع من الرصف يدعى الرصف نصف الصلب.لأنه يختلف من الناحية الإنشائية عن الرصف المرن والرصف الصلب

دور طبقات الرصف:

١- دور الطبقة السطحية:

إن الطبقة السطحية تتحمل مباشرة فعل حركة المرور وفعل التغيرات المناخية لذلك يجب أن تقاوم:

١. الإجهادات الناظمية التي تتولد على سطح التماس بين الإطار المطاطي وسطح الطريق وتتراوح هذه الحمولات بين $1200-1500kn/m^2$ وبصورة عامة يعتبر ضغط نفخ الإطار يكافئ الإجهاد الناظمي الوسطي المطبق على سطح التماس.
٢. الاجهادات المماسية التي تتولد على سطح التماس أثناء سير العربات التي تبلغ شدتها الأعظمية حين الإقلاع أو الفرملة، وتتراوح قيمتها من (0.2-0.5) مرة من ضغط النفخ.
٣. الاهتراء الناتج عن الاحتكاك بين الإطار المطاطي وسطح الطبقة السطحية.

٤. الجهود الحرارية الناتجة عن تغير تغيرات درجة الحرارة اليومية والتي تصل في بعض مناطق القطر العربي السوري إلى 30° وكذلك التغيرات السنوية التي قد تصل إلى 70°

إضافة إلى الجهود الميكانيكية والحرارية فإن للطبقة السطحية دوراً هاماً في :

- تامين الراحة لمستعملي الطريق.
- المحافظة على أمان الحركة من خلال تامين التلاحم الجيد بين الإطار المطاطي وسطح الطريق بحيث لا يحدث انزلاق عند الفرملة أو الإقلاع.
- ضمان الكتامة لمنع تسرب المياه المطرية إلى جسم الطريق.

٢- دور طبقة الأساس:

إن دور طبقة الأساس هو إعطاء أكبر مقاومة لمنشأة الطريق وذلك من خلال:

١. تأمين حامل جيد للطبقة السطحية التي يجب أن ترد على كافة المتطلبات التي سبق ذكرها كالكتامة والراحة والأمان.... الخ.
٢. تخفيض الجهود الشاقولية الواصلة إلى تربة المسار.
٣. مقاومتها الإجهادات الحرارية التي يمكن أن تنشأ نتيجة الفروقات الحرارية اليومية أو السنوية.
٤. في حالة الرصف الصلب يكون دورها هو حماية الطبقة السطحية من حادثة الضخ (Pumping) التي تسبب صعود المواد الغضارية إلى سطح الطريق.
٥. في بعض الأحيان وخاصة في حالة الرصف الصلب يكون دورها الأساسي هو حماية تربة المسار من فعل الصقيع.

٣- دور طبقة ما تحت الأساس:

إن طبقة ما تحت الأساس يمكن الاستغناء عنها في حالة الرصف الصلب أما في حالة الرصف المرن لها دوراً أساسياً ولا يمكن الاستغناء عنها للأسباب التالية:

١. ناحية تنفيذية: حيث أن الاستغناء عنها يتطلب حسابات وتجارب تؤدي إلى اعتماد سماكات كبيرة لطبقة الأساس أو معالجتها بالروابط الهيدروليكية وذلك يؤدي صعوبات في التنفيذ.
٢. ناحية إنشائية: إن وجود هذه الطبقة يعطي استناداً جيداً لطبقة الأساس.
٣. تساعد طبقة ما تحت الأساس في توزيع الإجهادات الشاقولية إلى الأسفل بصورة أفضل.
٤. تساعد طبقة ما تحت الأساس في التخفيف من حادثة الضخ وفعل الصقيع.

٣- دور تربة المسار:

إن تربة المسار هي بالتعريف الطبقة العليا من التربة التي تستقبل الإجهادات المنقولة من طبقات الرصف والتي يجب أن لا تتجاوز قيمة الاجهادات المسموحة في التربة لذلك يجب تهيئة سماكة 50cm على الأقل من تربة المسار برصها بشكل جيد حتى الكثافة الجافة الأعظمية ودراسة خواصها الميكانيكية الجيوتكنيكية بشكل جيد بحيث يستطيع مهندس الطرق تقدير مقاومتها بشكل دقيق وبالتالي تحديد سماكة طبقات الرصف.

وبالإضافة لدورها الرئيسي كتربة حاملة فإنها تساعد في:

١. إعطاء سطح متجانس لطبقة ما تحت الأساس.
٢. التخفيف من توقفات الورشة نتيجة التغيرات المناخية.
٣. السماح بحركة آليات الورشة الخفيفة والثقيلة بشكل أفضل.
٤. حماية الطابق الترابي بين فترة الانتهاء من الأعمال الترابية وفترة إنشاء كبقات الرصف.

عوامل التصميم:

إن تصميم طبقات الرصف يتكون من جزئين:

- تصميم المواد التي ستستعمل في كل طبقة على حدى.
- تصميم سماكة كل طبقة على حدى تبعاً للمواد المستعملة وتصميم السماكة الكلية.

الجزء الأول تم دراسته سابقاً أما فيما يتعلق بالجزء الثاني فإن العوامل المؤثرة في تصميم سماكات طبقات الرصف:

١. الحمولة التصميمية والحركة.
٢. تربة المسار والمواد المكونة لطبقات الرصف.
٣. الشروط المناخية والبيئية.

١- الحمولة التصميمة والحركة:

بسبب ازدياد غزارة المرور على الطرق ونظراً لتنوع العربات التي تستخدم الطريق فإنه من الضروري الاستعاضة عن حمولة العربات بنظام تحميل بسيط يمكن استخدامه عند التصميم.

الحمولات التي تطبقها السيارات الشاحنة الثقيلة هي المستخدمة في تصميم طبقات الرصف وتختلف حسب المواصفات

في المواصفات الفرنسية 13t وفي المواصفات الروسية 10t

وفي المواصفات الأميركية 8.2t وفي المواصفات السورية 13t

وتجدر الإشارة هنا إلى أن المحور المعتمد في التصميم هو المحور المنفرد ذو الإطار المزدوج

ومن أجل تحديد الحمولة التصميمية نعتمد الاعتبارات التالية:

١) ضغط التماس.
٢) حمولة الإطار المعادل.ESWL
٣) تكافئ حمولات المحاور.ESAL
٤) تكرار تطبيق الحمولات.
٥) نمو الحركة.

١-ضغط التماس:

تعطى أبعاد سطح التماس بالعلاقة:

$$A = \frac{W}{P}$$

حيث: A مساحة سطح التماس.

W الحمولة الكلية للإطار.

P ضغط النفخ في الإطار.

إن أغلب الطرق تعتبر أن ضغط النفخ يكافئ الضغط على سطح التماس ويعد هذا مقبولاً عندما ضغط النفخ يساوي $7\ kg/cm^2$

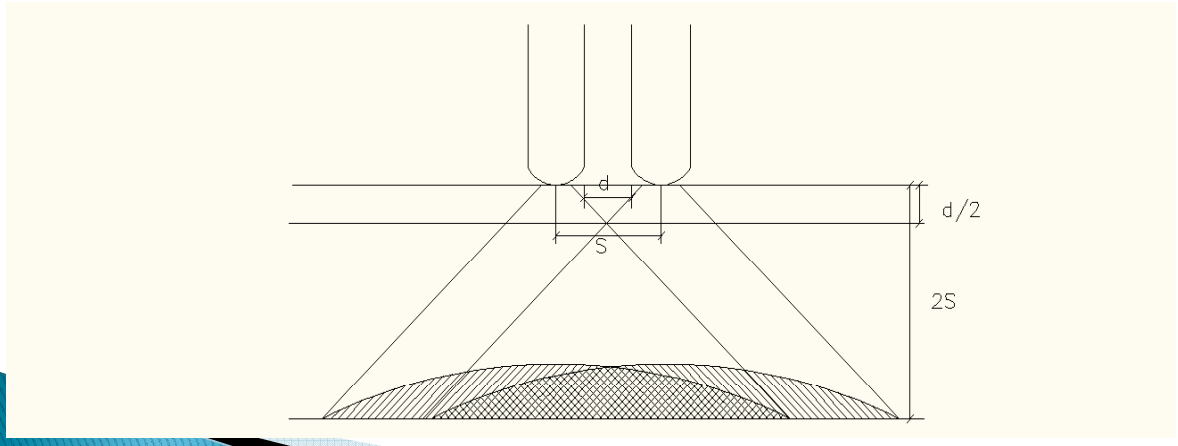
وفي الدول التي تعتمد وزن محور 13t (فرنسا وسوريا) فإن ضغط التماس يقترب من ضغط النفخ $7\ kg/cm^2$ $6.62\ kg/cm^2$

٢-حمولة الإطار المعادل ESWL: Equivalent Single Wheel Load

إن الغاية من حساب حمولة الإطار المعادل هي تحويل الحمولة المزدوجة إلى حمولة إفرادية.

من اجل الرصف المرن:

حتى عمق d/2 فإن تأثير كل إطار مستقل عن الآخر ثم يحدث تداخل وعند عمق 2S فإن الإجهادات الناتجة عن الإطارين تصبح معادلة تقريباً لإطار واحد حمولته 2P .



يحدد الحمل المعادل لعجلة واحدة ESWL بتحديد النقطتين A(d/2,p) وB(2S,2p) على مقياس لوغاريتمي ونرسم المستقيم AB الذي يمثل المحل الهندسي لجميع النقاط التي يتساوى فيها الإجهاد الناتج عن ESWL والإطار المزدوج

مثال: احسب ESWL لإطار مزدوج باعتبار حمولة الإطار الواحد2000Kg والتباعد بين مركزي الإطارين 25cm والمسافة بين أوجه الإطارين 10cm وذلك للسماكات 12,18,24 cm .

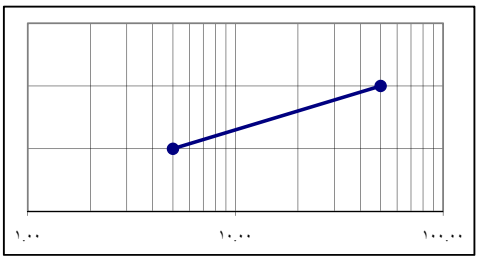
$P=2000 \Rightarrow 2p=40000$

$S=25 \Rightarrow 2s=50$

$d=10 \Rightarrow d/2=5$

نحدد النقطتين (5,2000)

(50,4000)



من المخطط نجد:

السماكة CM	ESWL kg
12	2590
18	2900
24	3200

من اجل الرصف الصلب:

إن معظم طرق حساب الرصف الصلب تعتمد على مبدأ وسترغارد في في تحليل الاجهادات، ويعتمد وسترغارد على المساواة بين الاجهادات التي تسببها حمولة الإطار المزدوج والإجهاد الذي تسببه حمولة الإطار المعادل. وهناك عدة عوامل تؤثر في تحقيق هذه المساواة (الحمولة الكلية، تباعد الإطارات، ضغط التماس، سماكة الرصف، عامل بواسون، عامل المرونة، عامل رد فعل التربة) لذلك تم اختيار نصف قطر القساوة النسبية الذي يربط بين خواص المواد المستعملة وتربة المسار ويعطى بالعلاقة:

$$l = \sqrt[4]{\frac{E.h^3}{12(1-\upsilon^2)k}}$$

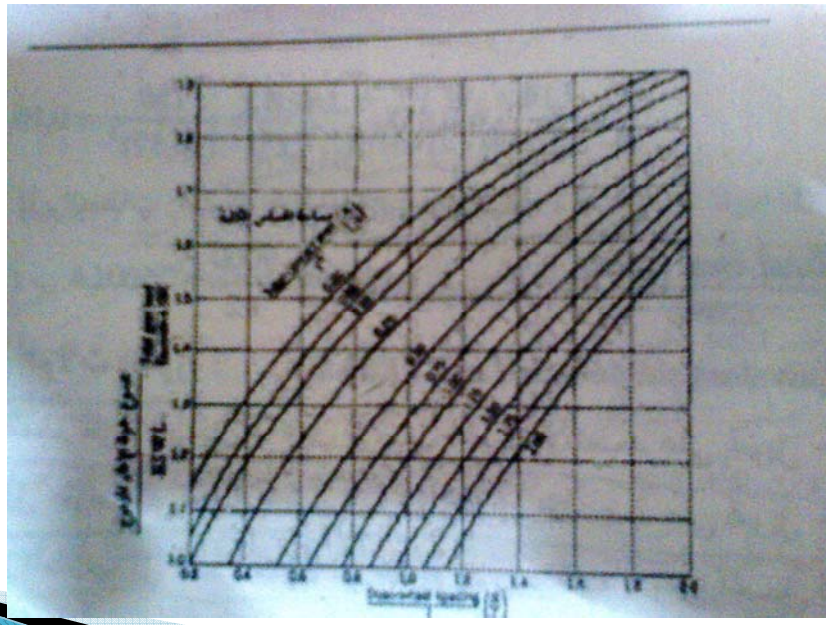
حيث: E عامل مرونة البيتون.

ν عامل بواسون للبيتون.

h سماكة الرصف.

K رد فعل التربة.

من المخطط أدناه نضع s/l على المحور الأفقي ونختار قيمة A/l^2 على المنحنيات ثم من المحور الشاقولي يتم معرفة ESWL/حمولة الإطار المزدوج ومنها يتم معرفة ESWL



٣-تكافؤ حمولات المحاور ESAL: Equivalent Single Axle Load

إن معظم طرق تصميم سماكات الرصف تعتمد على تحويل حمولات المحاور إلى عدد مكافئ من حمولات محور مرجعية ومن أجل رد حمولة محور ذي حمولة L إلى حمولة محور مكافئ ESAL نعتمد العلاقات:

$$\Sigma ESAL = \Sigma(W_L \square F_L)$$

$$FL = 10^{0.11833(L-18)}$$

حيث L حمولة المحور المنفرد ذو الإطار المزدوج أو0.57 من حمولة المحور المزدوج مقدرة (kip) حيث kip=0.454t

مثال:

إذا كان المتوسط اليومي لعدد أوزان المحاور التي تسير على طريق ما هي كما يلي:

محور مزدوج		محور منفرد	
المتوسط اليومي	الحمولة kip	المتوسط اليومي	الحمولة kip
110	16-20	1270	10-14
230	20-24	980	14-18
75	24-32	410	18-22

فما هو المتوسط اليومي المكافئ لحمولة محور 18kip على هذا الطريق؟

حالة محور منفرد			
عدد المحاور المكافئة ESAL	عامل التكافؤ F_L	عدد المحاور W	الحمولة الوسطية kips
248	0.195	1270	12
568	0.580	980	16
707	1.724	410	20
حالة محور مزدوج			
13	0.121	110	0.57((16+20)/2)=10.26
52	0.226	230	12.54
43	0.573	75	15.96
1631	المجموع		

٤-تكرار تطبيق الحمولات:

إن تأثير حمولة محور واحد على الطريق تسبب تشوهاً ضعيفاً لكن تكرار تطبيق الحمولات عدة مرات سيؤدي إلى تشوه مستمر في طبقات الرصف ويؤدي إلى ظهور التشققات بسبب التشوه التراكمي.

استناداً إلى ذلك فإنه من الضروري تعيين عدد مرات حمولات المحاور المكافئة ΣESAL أو عدد حمولات الإطار المعادل ΣESWL التي يمكن أن يتعرض لها الطريق خلال عمره التصميمي.

وأظهرت الدراسات أن العلاقة بين عدد مرات التحميل N_F والتشوهات ε_tهي من الشكل:

$$\epsilon_t = K.N_f^a$$

أو $\log\varepsilon_t = \log K - a.\log N_f$

أي أن العلاقة بين عدد مرات التحميل والتشوهات خطية عند تمثيلها على مقياس لوغاريتمي.

٥-نمو الحركة:

إن تصميم طبقات الرصف لا يعتمد على عدد حمولات المحاور في اليوم الأول أو السنة الأولى من وضع الطريق في الخدمة وإنما يجب الأخذ بعين الاعتبار تطور الحركة على الطريق خلا سنين قادمة.

فإذا كان عدد المحاور المكافئة لليوم الأول من وضع الطريق في الخدمة $ESAL_0$ فإن عدد المحاور المكافئة للسنة الأولى هو $365 .ESAL_0$

وباعتبار نمو الحركة السنوي i منتظم من اجل n سنة فإن عدد المحاور المكافئة خلال n سنة يمكن أن يحسب من المعادلة:

$$(ESAL)_n=(ESAL)_0.\ (1+i)^n.365$$

وهذه العلاقة تعطي قيمة خلال العام نفسه أما الشكل العام للمعادلة من أجل حساب ESAL في نهاية العام n فهي كما يلي:

$$\sum_0^n ESAL = \frac{ESAL_0(365)}{\log_e(1+i)}\left[(1+i)^n - 1\right]$$

مثال:

إذا كان متوسط المحاور المكافئة في اليوم الأول من وضع الطريق في الخدمة $(ESAL)_0 = 1632$ احسب العدد الكلي للمحاور المكافئة خلال خمس سنوات علماً أن النسبة المئوية لنمو الحركة السنوية 5.5%.

الحل:

بتطبيق العلاقة السابقة:

$$\sum_0^n ESAL = \frac{ESAL_0(365)}{\log_e(1+i)}\left[(1+i)^n - 1\right]$$

$$\sum_0^n ESAL = \frac{1632\ .(365)}{\log_e(1+0.055)}\left[(1+0.055)^5 - 1\right] = 3415661$$

ويمكن الحل بحساب العدد في نهاية كل سنة وأخذ المجموع بتطبيق المعادلة

$$(ESAL)_n=(ESAL)_0.\ (1+i)^n.365$$

٢- تربة المسار والمواد المكونة لطبقات الرصف:

إن تربة مسار الطريق والمواد المكونة لطبقات الرصف تخضع ضمن حدود معينة من الاجهادات إلى قوانين نظرية المرونة أو إلى قوانين نظرية المرونة-اللزوجة، إن الترب السيلتية والترب الغضارية نتيجة احتوائها على الماء فإنها تظهر بعض السلوكية اللزجة حين تغيير نسبة الرطوبة فيها، كما أن البيتون الإسفلتي وجميع المواد المعالجة بالروابط الإسفلتية تظهر سلوكية لزجة تتعلق بنوعية الرابط وبدرجة الحرارة، وهذا يعني ان:

• العلاقة بين الإجهاد والانفعال لتربة المسار ولطبقات الرصف يمكن أن تخضع لقوانين نظرية المرونة-اللزوجة وبالتالي تكون متغيرة تبعاً للزمن.

•إن الانهيار أو التشقق يحدث في طبقات الرصف عندما تصل الإجهادات أو الانفعالات المحسوبة تبعاً لقوانين المرونة أو قوانين المرونة- اللزوجة قيماً حدية .

٣- التغيرات المناخية والبيئية:

إن احد العوامل الهامة التي تؤثر في فعالية طبقات الرصف هو التغيرات المناخية والبيئية في منطقة المشروع، واهم التغيرات التي تؤثر في تربة المسار هي:

•تغيرات كمية الرطوبة.

•فعل الجليد.

•تغيرات درجات الحرارة.

١. تغيرات كمية الرطوبة:

إن تغير الرطوبة يؤدي إلى تغير في قدرة تحمل التربة لذلك يجب المحافظة على نسبة رطوبة ثابتة في التربة من خلال كتامة الطبقة السطحية والجوانب واعتماد نظام تصريف جيد لطبقات الرصف الأخرى

٢. فعل الجليد:

إن تأثير الجليد في طبقات الرصف يكون مزدوجاً إذ أثناء انخفاض درجة الحرارة دون الصفر فإن تجمد الماء يؤدي إلى رفع طبقات الرصف، أما اثناء الذوبان فإنه يؤدي إلى إنخفاض قدرة تحمل التربة، وفي الحالتين يؤدي إلى تشوه أو تشقق في طبقات الرصف.

وللتخفيف من فعل الجليد يجب إتباع الإجراءات التالية:

١. اعتماد نظام تصريف فعال للطبقات السطحية.
٢. إنشاء الطبقات من مواد حصوية ذات حساسية منخفضة نحو فعل الجليد.
٣. في حال قرب البساط المائي (عمق< 1.5m من سطح الطريق) يجب وضع نظام إيقاف الصعود الشعري كوضع طبقة عالية النفوذية أو وضع طبقة من المواد الكتيمة كالصفائح البلاستيكية أو خيش مشبع بالبيتومين.
٤. إذا كانت تربة المسار ذات حساسية نحو فعل الجليد فيجب تثبيتها أو استبدالها بتربة ذات حساسية ضعيفة.
٥. بعد الانتهاء من تصميم طبقات الرصف يجب التأكد من أن عمق الجبهة الجليدية هو ضمن طبقات الرصف كما ذكرنا في أبحاث سابقة.

٢. تغيرات درجات الحرارة:

إن شدة التغيرات الحرارية على طبقات الرصف تعتمد على نوعية الرصف ففي الرصف المرن فإن التغيرات الحرارية تؤدي إلى تغيرات في صلابة هذه الطبقة .

أما في الرصف الصلب فإن التغيرات الحرارية تؤدي إلى ظهور إجهادات حرارية يجب أخذها بعين الاعتبار حين تصميم سماكة بلاطة الرصف الصلب

شكرا لإصغائكم