الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية العظمى
اللجنة الشعبية العامة للمواصلات والنقل

مصلحة الطرق والجسور

دراسة تحديد المادة الرابطة الاسفلتية في ليبيا

تقرير المرحلة الاولى –الحرث 2008

عقد رقم (008/06/109)

اعداد

شركة العمران الهندسي للاستشارات

OCE

دراسة تحديد المادة الرابطة الاسفلتية في ليبيا

تقرير المرحلة الاولى– الحرث 2008

مقدم الى : مصلحة الطرق والجسور

ضمن متطلبات العقد رقم (008/06/109)

اعداد : شركة العمران الهندسي للاستشارات

96 شارع اول سبتمبر ، ص.ب.: 13189

طرابلس – ليبيا www.omran.com.ly

كافة الحقوق محفوظة ولا يسمح باستخدام هذا التقرير في أي صورة من الصور الا بأذن خاص من مصلحة الطرق والجسور

المحتويات

1. مقدمة 2

2. الرصف الأسفلتي 5

1.2 عام 5

2.2 الأسفلت (البيتومين) ASPHALT (BITUMEN) 6

1.2.2 مصادر الاسفلت 6

2.2.2 إنتاج الأسفلت النفطي Production of Petroleum Asphalt 7

3.2.2 التركيب الكيميائي للأسفلت 10

4.2.2 الخواص الطبيعية للأسفلت 12

5.2.2 خواص الانسياب للأسفلت Rheology of Asphalt 14

6.2.2 تصنيف الأسفلت Classification of Asphalts 16

3.2 الأسفلت 70/60 21

4.2 تصنيف الأسفلت وفقا للأداء PERFORMANCE GRADE, PG 23

3. أضرار الرصف الأسفلتي في ليبيا 27

1.3 عام 27

1.3 اضرار الرصف السائدة في ليبيا واسبابها 27

1.1.3 الشقوق العرضية و الطولية Transverse and Longitudinal Cracks 30

2.1.3 الشقوق الشبكية (تشققات الكتل) Block cracking 31

3.1.3 التشققات التمساحية Alligator Cracking 32

4.1.3 التخدد Rutting 33

5.1.3 النزف أو طفح الأسفلت Bleeding or Flushing 34

6.1.3 التطاير والتآكل Raveling and Weathering 35

7.1.3 بري أو صقل الركام Polished Aggregate 36

8.1.3 التموجات Corrugation 36

2.3 آلية (ميكانيكية) أضرار الرصف الأسفلتي 37

1.2.3 الاضرار الناتجة عن اخطاء تصميمية او هندسية: 38

2.2.3 الاضرار الناتجة عن اخطاء تشغيلية 39

3.2.3 الاضرار الناتجة عن التأثيرات البيئية 40

1.3.2.3 درجة الحرارة 41

2.3.2.3 الاشعاع الشمسي 44

3.3.2.3 الامطار والمياه الجوفية 44
3.3 الإجهاد الحراري 48
4. طريقة "سوبربيف" لتصميم الخلطة الأسفلتية SUPERPAVE METHOD FOR ASPHALT MIX DESIGN . 53
1.4 عام 53
2.4 طرق تصميم الخلطة الأسفلتية 55
3.4 طريقة "سوبربيف" لتصميم الخلطة الأسفلتية SUPERPAVE 57
1.3.4 عام 57
2.3.4 لماذا طريقة الرصف فائق الأداء "سوبربيف" Superpave 57
3.3.4 اختيار المواد Material Selection 59
4.3.4 إعداد العينات Specimen Preparation 62
5.3.4 تسجيل وعرض النتائج 65
6.3.4 تحليل نتائج التصميم بطريق سوبربيف 66
5. المؤشرات المناخية 71
1.5 مفهوم المناخ وأهميته في التعبير عن العوامل البيئية 71
2.5 التصنيف المناخي لليبيا 72
3.5 سجلات المعطيات المناخية 75
6. قياس درجة حرارة الرصف 82
1.6 عام 82
2.6 تركيب محطة قياس درجة حرارة الرصف والرصد الجوي 83
1.2.6 البلاطة الاسفلتية 84
2.2.6 اجهزة قياس وتسجيل درجة حرارة الرصف 85
3.2.6 اجهزة قياس وتسجيل الاشعاع الشمسي وسرعة الرياح 87
3.6 امثلة من المعطيات التي تم رصدها في المحطات 88
1.3.6 درجة حرارة الهواء الجوي ودرجة حرارة الرصف 88
2.3.6 الاشعاع الشمسي 91
7. خاتمة 94
8. المراجع 96
ملحق (أ): مواصفات المواد الاسفلتية 104
ملحق (ب): البيانات المناخية 118

1. مقدمة

1. مقدمة

مصلحة الطرق والجسور في ليبيا هي الجهة الرسمية في الدولة المناط بها إنشاء وصيانة شبكات الطرق الوطنية والإشراف عليها ومتابعة كل ما يتعلق بها من أمور فنية وإدارية. وتتبع المصلحة اللجنة الشعبية العامة للمواصلات والنقل وتعمل المصلحة من خلال إداراتها وأقسامها المتعددة والتي من بينها إدارة التصميم والبحوث وللمصلحة فروع في مختلف الشعبيات.

وسعيا من المصلحة لتطوير أساليب العمل في إنشاء وصيانة الطرق بغرض تحسين أداء شبكة الطرق والحد من الأضرار والعيوب التي تتعرض لها الطرق في ليبيا ، وذلك بالاستفادة من التقدم العلمي والتقني الذي تشهده صناعة الطرق في العالم فقد تبنت المصلحة عدد من السياسات الفنية والبحثية التي تهدف إلى إدخال طرق التصميم الحديثة وإصدار مواصفات فنية وطنية لأعمال الرصف والقيام بالأبحاث العلمية لدراسة المشاكل التي يتعرض لها الرصف في ليبيا وخاصة تلك المتعلقة بالظروف المناخية للمنطقة.

وفي هذا الإطار فان المصلحة ترغب في اعتماد طريقة "سوبربيف" Superpave لتصميم الخلطات الأسفلتية والتي تعتبر من احدث الطرق المعمول بها في هذا المجال والتي جاءت نتيجة لبرنامج أبحاث الطرق الاستراتيجي في أمريكا (SHRP) والذي أنجز خلال العقد الماضي. وتعود أهمية هذه الطريقة الجديدة إلى اعتبارها للعامل البيئي واعتمادها على فلسفة الأداء الواقعي للرصف. وحيث أن ذلك يتم من خلال إدخال درجة حرارة الرصف كأحد العناصر الأساسية في برنامج التصميم واختيار نوع المادة الرابطة الأسفلتية ، ونظرا لعدم وجود معلومات كافية عن درجة حرارة الرصف في ليبيا فأن المصلحة قررت إجراء دراسة علمية شاملة لقياس درجة حرارة الرصف وإنتاج نماذج رياضية للتبوء بها وأيضا تحديد نوع المادة الرابطة الأسفلتية المناسبة لمشروعات الرصف في مختلف إنحاء البلاد.

ولانجاز هذه الدراسة تعاقدت المصلحة مع "شركة العمران الهندسي للاستشارات" باعتبارها احد بيوت الخبرة الوطنية المتخصصة في مجال أبحاث ودراسات الطرق وذلك بموجب العقد رقم (008\06\109).

وينص العقد المذكور على إجراء دراسة خاصة لتحديد نوع ومواصفات المادة الرابطة الأسفلتية الملائمة للخلطات الأسفلتية في مختلف مناطق الجماهيرية، باختلاف ظروفها الجوية.

وبموجب هذا العقد تقوم شركة العمران الهندسي للاستشارات بتنفيذ عدة محطات أبحاث في مناطق مختارة من ليبيا تمثل مختلف الأقاليم المناخية والجغرافية. وسوف تقوم هذه المحطات

برصد درجة حرارة الرصف وعدد من البيانات المناخية مثل درجة حرارة الهواء الجوي والإشعاع الشمسي وسرعة الرياح. ومن المقرر أن تستمر عملية الرصد لمدة سنة كاملة يتم بعدها تحليل البيانات ودراستها لإنتاج النماذج الرياضية المطلوبة للتنبوء بدرجة حرارة الرصف اعتمادا على معلومات الأرصاد الجوية ، وفي المرحلة النهائية للدراسة يتم تحديد نوع المادة الرابطة الأسفلتية المناسب لكل إقليم من الأقاليم الجغرافية في ليبيا.

ويقسم العقد الدراسة الى ثلاثة مراحل هي:

- المرحلة الأولى: الدراسة وتجميع البيانات
- المرحلة الثانية: تحليل البيانات وإعداد النماذج الرياضية
- المرحلة الثالثة: تحديد نوع المادة الرابطة الأسفلتية المناسبة للرصف بمناطق الجماهيرية

ويقدم هذا التقرير نتائج الدراسة المبدئية وتجميع البيانات (المرحلة الأولى). وقد تمت هذه المرحلة بدراسة التقارير والمستندات الفنية المتوفرة لدى المصلحة والاستشاري والجهات العامة الأخرى ذات العلاقة وأيضا بالرجوع إلى الأبحاث العلمية والتقارير الفنية المنشورة سواء المحلية منها أو العالمية. كما يبين هذا التقرير جانب من الأعمال الميدانية التي تم انجازها في هذه الدراسة ونماذج من البيانات المتحصل عليها حتى تاريخ هذا التقرير.

ويتكون التقرير من جزء نظري في الفصول الثاني والثالث والرابع حيث يقدم خلفية عن الرصف الأسفلتي وتصميم الخلطات الأسفلتية ومواصفات الأسفلت والتطورات الحديثة في هذا المجال وخاصة التعريف بتصنيف المادة الرابطة وفقا للأداء Performance Grade (PG) وطريقة "سوبربيف" لتصميم الخلطات الأسفلتية Superpave Mix Design Method والجزء الثاني من التقرير (الفصلان الخامس والسادس) يهتم بشرح الدراسة الميدانية لقياس درجة حرارة الرصف في ليبيا ويعرض نماذج من البيانات المناخية التي تم تجميعها في هذه المرحلة ، كما يضم التقرير ملحقين ؛ (أ) ويحتوي على جداول للمواصفات الفنية للمواد الرابطة الاسفلتية و (ب) وهو مخصص للبيانات المناخية.

2. الرصف الأسفلتي

2. الرصف الأسفلتي

1.2 عام

الرصف هو المنشأ الفوقي للطريق وهو الطبقة أو مجموعة الطبقات التي توضع فوق الأساس الترابي والتي تتولى توفير سطح ملائم لسير المركبات ونقل الإجهادات المتولدة نتيجة لأحمال المرور إلى طبقة الأساس الترابي بأمان. و يتكون الرصف من عدد من الطبقات من مواد تختلف باختلاف نوع الطريق وأهميته. و يمكن أن يتكون الرصف من طبقة واحدة فقط أو من طبقات عديدة من مواد تتراوح في جودتها بين خليط من التربة العادية و الركام إلى الخرسانة الأسفلتية عالية الجودة أو حتى الخرسانة الأسمنتية المسلحة مروراً بأنواع عديدة من التركيبات الركامية المعالجة بالمواد الرابطة المختلفة مثل الجير والأسمنت و الأسفلت وغيرها.

وبناء على نوع وعدد تلك الطبقات وطريقة تنفيذها يقسم الرصف بشكل عام إلى قسمين أساسيين هما الرصف المرن والرصف الصلب. ويكمن الفرق الأساسي بين نوعي الرصف في السلوك الإنشائي وطريقة توزيع ونقل الإجهادات وفي نوع المادة الرابطة المستخدمة في تكوين طبقات الرصف. وفي حين يستخدم الاسمنت البورتلاندي كمادة رابطة في حالة الرصف الصلب فان المادة الرابطة في حالة الرصف المرن هي الأسفلت أو البيتومين.

وقد جاءت تسمية الرصف المرن من طبيعة طبقات هذا النوع من الرصف حيث يمكنها الانحناء قليلا والتشكل تحت تأثير الأحمال ويعود الفضل في قدرتها على ذلك للمادة الرابطة الأسفلتية والتي تسمح خواصها الميكانيكية بذلك.

الرصف المرن (الأسفلتي) هو الأكثر شيوعا في رصف الطرق والمطارات في العالم ، وفي ليبيا يمكن اعتبار أن نسبة 99% من رصف الطرق هو من النوع الأسفلتي. وفي هذا النوع من الرصف يستخدم الأسفلت في تصنيع الخرسانة الأسفلتية والتي تمثل الطبقة السطحية في الرصف وأيضا طبقة الأساس في بعض الأحيان ، كما يدخل الأسفلت في معالجة الطبقات الأخرى مثل الأساس والأساس المساعد المكونة من مواد حبيبية مفككة ، ويستخدم أيضا فيما يعرف بطبقات التشريب الأولي والثانوي والتي يتم فيه رش الأسفلت السائل على طبقة الأساس أو الأساس المساعد لربطها بالطبقة السطحية أو على طبقة أسفلتية قديمة لربطها بالطبقة الجديدة [1].

وفي الأجزاء التالية من هذا الباب سوف نقدم تعريفا مبسطا للمادة الرابطة الأسفلتية وكيفية إنتاجها وتصنيفها ومواصفاتها مع التركيز على النوع الشائع في مشروعات الرصف في ليبيا وهو ما يعرف بالأسفلت 70/60 ، كما سوف نستعرض مفهوم الخلطة الأسفلتية وتكوينها

وطرق تصميمها والتطورات العلمية والتقنية في هذا الشأن ، وسوف نركز بشكل خاص على طريقة "سوبربيف" Superpave لتصميم الخلطات الأسفلتية الساخنة .

2.2 الأسفلت (البيتومين) Asphalt (Bitumen)

1.2.2 مصادر الاسفلت

الأسفلت أو البيتومين هو المادة الرابطة التي تخلط مع الركام للحصول على الخلطات المكونة للأسطح المختلفة المستخدمة في رصف الطرق. وهو مادة شبه صلبة (مرنة – لزجة– لدنة) ذات لون بني قاتم إلى اسود وتتميز بخواص الالتصاق والعزل المائي. وكلا اللفظين الأسفلت أو البيتومين يعنيان نفس المادة والفرق يكمن في شيوع المصطلح الأول (الأسفلت) في الكتب والمطبوعات الصادرة من أميركا والمصطلح الثاني (البيتومين) في تلك الصادرة من بريطانيا.

هناك عدة أنواع من المواد الأسفلتية يمكن الحصول عليها من مصادر مختلفة أهمها الأسفلت الناتج من عمليات تكرير النفط الخام. وبشكل عام فان الأسفلت عبارة عن مواد كربوهيدراتية تذوب في محلول ثاني كبريتيد الكربون Carbon disulphide ، وهي في العادة تكون صلبة في درجات الحرارة العادية ولكنها تلين وتذوب عند تسخينها في درجات حرارة تزيد عن 120 °م.

وعند خلط الأسفلت مع الركام في الحالة السائلة فأنه يعمل على تغليف حبيبات الركام وملء جزء من الفراغات المحصورة بينها ، وبتصلبه فيما بعد يقوم بربط حبيبات الركام ببعضها مكونة سطح الرصف. وتمثل المادة الرابطة الأسفلتية حوالي 4 – 8% من وزن الخلطة الأسفلتية الساخنة وتكلف حوالي 25% من التكلفة الإجمالية للخلطة. ويتم الحصول على المواد الرابطة الأسفلتية المستخدمة في أعمال الرصف من المصادر التالية [1]:

- ***الأسفلت الطبيعي***: وهو ما يوجد في الطبيعة في هيئة بحيرات من الأسفلت مثل تلك الموجودة في جزيرة ترينيداد وغيرها من المناطق في البحر الكاريبي. وقد استخدم هذا النوع من الأسفلت في رصف بعض الطرق الأولى في القارة الأمريكية.
- ***الأسفلت الصخري***: وهي عبارة عن ترسبات صخرية تحتوي على المواد الأسفلتية جرى استخدامها في رصف الطرق في المناطق التي توجد بها هذه المواد.

- ***القار***: وهو مادة أسفلتية يتم الحصول عليها من تقطير الفحم.
- ***الأسفلت النفطي***: إحدى مشتقات النفط الخام. وهو حتى الآن يشكل معظم الأسفلت المستخدم في أعمال الرصف اليوم. وهو النوع الوحيد الذي سنتناوله في الفقرات الموالية.

2.2.2 إنتاج الأسفلت النفطي Production of Petroleum Asphalt

يتم الحصول على الأسفلت النفطي عن طريق التقطير الجزئي للنفط الخام Crude Oil . ويعتمد التركيب الكيميائي وبالتالي خواص الأسفلت المنتج بشكل كبير على مصدر النفط الخام. والخامات النفطية ذات الكثافة النوعية العالية هي التي تحتوي على نسبة أعلى من الأسفلت (انظر الجدول 1.2) [2] .

وتبدأ عملية تكرير النفط الخام بالتسخين في برج التقطير Pipe still تحت الضغط الجوي لإزالة المشتقات الخفيفة (مثل البنزين والكيروسين و زيت الديزل) ثم يمرر المتبقي من هذه العملية إلى وحدة التقطير بالتفريغ وهي أيضا برج تقطير حيث يتم فصل الزيوت ذات درجة الغليان العالية ويتبقى الأسفلت (شكل 1.2) [3].

واعتمادا على نوع النفط الخام الذي يتم تكريره ، يمكن إن يكون الأسفلت الناتج ذو قوام مناسب للاستخدام في أعمال الرصف وقد يكون لينا ويتطلب الأمر مزيدا من المعالجة لزيادة صلابته. وهناك طريقتان تستخدمان لتصليب الأسفلت المنتج في مصافي تكرير النفط هما [2]:

1. نفخ الأسفلت بالهواء في درجة حرارة عالية

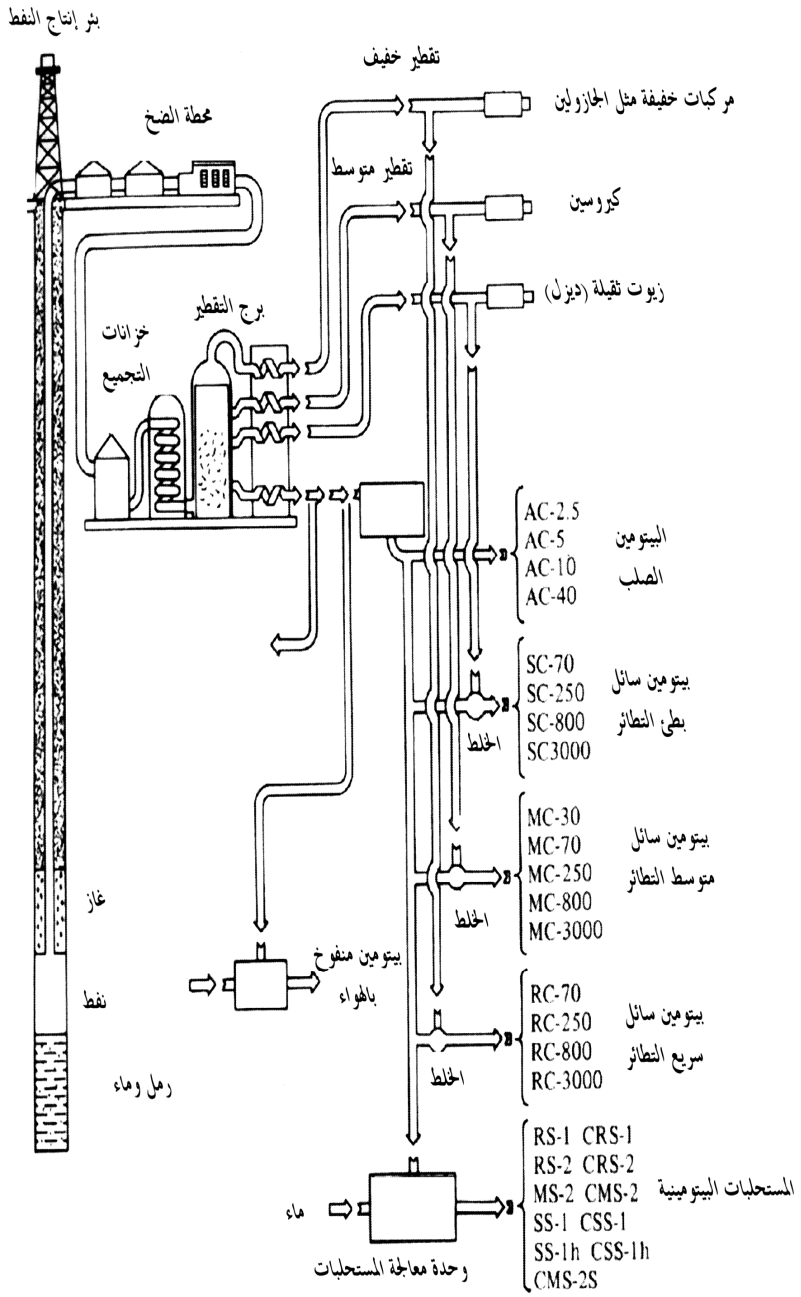
Blowing with air at high temperature: يطلق على هذه الطريقة أحيانا "التقويم باستخدام الهواءَ" ؛ ويتم فيها التفاعل بين الأسفلت والأكسجين في الهواء عند درجات حرارة تتراوح بين 200 و 300° م . حيث يتم إدخال الهواء في قاع برج التفاعل المملوء بالأسفلت المراد تقويمه ويتم التحكم في معدل إدخال الهواء بطريقة تسمح بتفاعل معظم الأكسجين مع الأسفلت.

2. المزج بالأسفلت المرسب بالبروبان

Blending with propane precipitated asphalt: تعتبر هذه الطريقة أحدث من الطريقة السابقة وجاءت نتيجة لان بعض أنواع الأسفلت المستخرج من مصادر نفطية معينة لدى معالجته بهذه الطريق تكون ديمومته أفضل مما لو تمت معالجته بنفخ الهواء. و يتم الحصول على الأسفلت المرسب بالبروبان (PPA) كمنتج ثانوي في عمليات تصنيع زيوت التشحيم. وتتلخص عملية المعالجة في خلط كمية من الأسفلت المرسب بالبروبان بالأسفلت المتبقي من عملية التقطير بنسب معينة للحصول على أسفلت بدرجة الصلابة المطلوبة.

جدول 1.2: المصدر والمحتوى الأسفلتي لبعض أنواع النفط الخام

بلد المصدر	اسم الخام	الكثافة النوعية	المحتوى الأسفلتي (%)
ليبيا	أمنة	0.841	33
	البريقة	0.814	16
	السرير	0.838	30
	ابو الطفل	0.810	9
العراق	البصرة	0.855	23
الكويت	الكويت – تصدير	0.869	29
الكويت – المنطقة المحايدة	الخفجي	0.884	35
	الوفرة – ايوسين	0.956	51
	الوفرة – رتاوي	0.901	42
	الوفرة – برقان	0.911	33
السعودية	العربي الثقيل	0.887	35
	العربي الخفيف	0.852	14
إيران	الإيراني الخفيف	0.857	20
	الإيراني الثقيل	0.871	25
	داريوس	0.855	20
	سايروس	0.942	60
فينزويلا	تايا جوانا	0.900	33



شكل 1.2: مخطط إنتاج الاسفلت النفطي [3]

3.2.2 التركيب الكيميائي للأسفلت

يتكون الأسفلت من خليط من المركبات العضوية معظمها من الكربوهيدرات تتراوح أوزانها الجزئية بين 400 و2000 (للجزء غير المتطاير) بنسب وتوزيعات متعددة تعتمد على مصدر النفط الخام المنتج منه الأسفلت وطرق التكرير والمعالجة المستخدمة في إنتاجه [4]. ويحتوي الأسفلت أيضا على كميات صغيرة ولكنها مؤثرة من عدد من العناصر الكيميائية الأخرى مثل الكبريت والنتروجين والأكسجين. ويبين الجدول 2.2 قائمة بهذه العناصر ونسبة كل منها.

ويعتبر التركيب الكيميائي للمواد الأسفلتية معقدا جدا ، إلا أن عدد من الطرق والتقنيات قد طورت لفصل وتحليل مكونات الأسفلت. معظم طرق التحليل تقسم الأسفلت إلى ثلاثة أجزاء رئيسة هي:

1. الأسفلتينات Asphaltenes: وتتراوح نسبتها بين ها بين 12 و 30%
2. الراتينجات Resins: وتتراوح نسبتها بين 25 و 40%
3. الزيوت Oils: وتتراوح نسبتها بين 45 و 55%

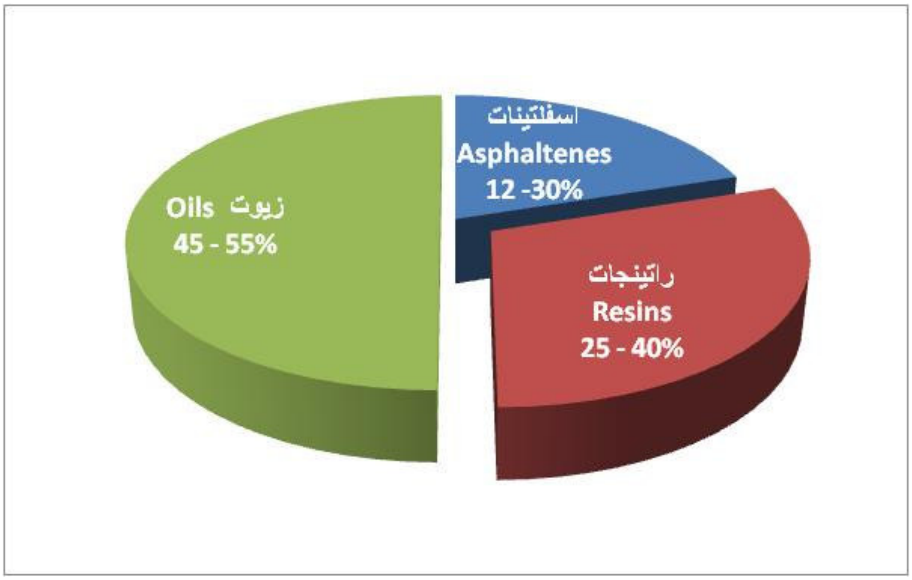
يوضح الشكل 2.2 التوزيع البياني لهذه المكونات ، وتؤثر نسبة وجود كل منها في خواص وسلوك الأسفلت وتعتمد على مصدر الأسفلت وطريقة تصنيعه.

وتمثل الأسفلتينات الجزء الأكثر كثافة في التكوين العام للأسفلت ، وتكون في هيئة تجمعات من المركبات ذات الأوزان الجزيئية العالية مرتبطة ببعضها بروابط هيدروجينية ضعيفة. وتكون هذه الوحدات المتجمعة معلقة ومغمورة في وسط من المركبات ذات الوزن الجزيئي الأقل (الزيوت) ، وتكون الوحدات المعلقة في الوسط الخفيف متزنة عن طريق امتصاص مركبات أخرى ذات وزن جزيئي متوسط على محيط الوحدات الثقيلة وهي الراتينجات.

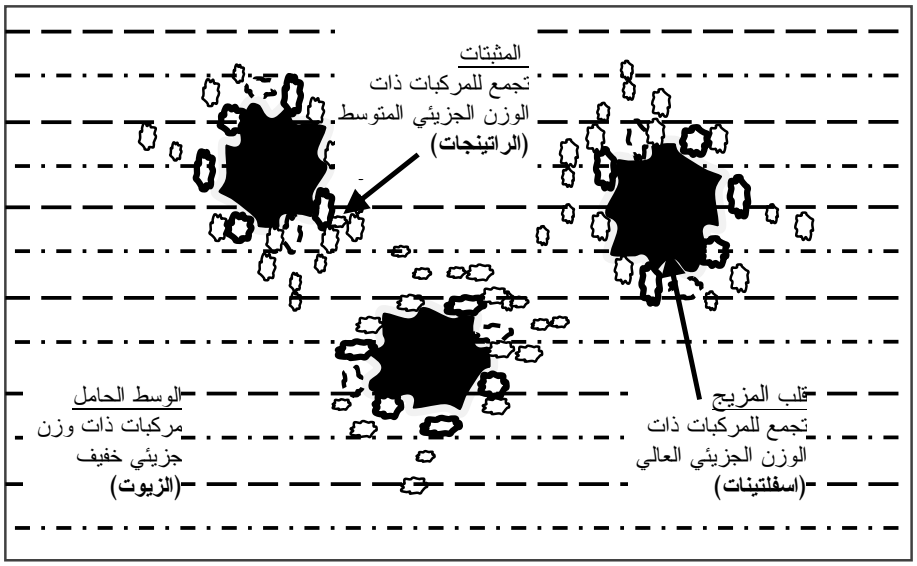
جدول 2.2: العناصر الداخلة في تركيب الأسفلت [4]

العنصر	النسبة
الكربون	82-88%
الهيدروجين	8-11%
الكبريت	0-6%
الأكسجين	0-1.5%
النيتروجين	0-1%

ويعتبر التكوين الأسفلتي بشكل عام محلول (Sol) بالرغم من إمكانية تحول بعض الاسفلتات البترولية إلى مادة شبه صلبة (Gel) ، ويبين الشكل رقم 3.2 رسم تخطيطي لهذا التركيب.



شكل 2.2: التوزيع البياني للمكونات الاساسية للاسفلت



شكل 3.2: تصوير لمفهوم التركيب الجزيئي للاسفلت البترولي

4.2.2 الخواص الطبيعية للأسفلت

من حيث الخواص الطبيعية والميكانيكية يعتبر الأسفلت من المواد المعقدة بسبب التغير الكبير والمستمر في هذه الخواص والذي يعود إلى حساسيته العالية للمؤثرات البيئية وخاصة التغير في درجات الحرارة وكذلك سلوكه تحت تأثير الأحمال باعتباره مادة انسيابية "مرنة–لزجة" Visco-elastic material.

الأسفلت كمادة رابطة في خلطات الرصف يجب أن يكون قابلا للتلين بالتسخين حتى يصبح سائلاً لزجاً يمكن ضخه أو رشه ، ويصبح من السهل خلطه ليغلف حبيبات الركام. وبعد استخدامه فإن الرصف يجب ألا يكون ذا حساسية عالية للحرارة بحيث ألا يصبح لينا بسبب ارتفاع درجات الحرارة في الصيف بما يؤدي إلى حدوث تشكلات في سطح الرصف. ومن جهة أخري يجب ألا يكون صلباً جداً في الشتاء حتى يصبح هشا قابلا للتكسير.

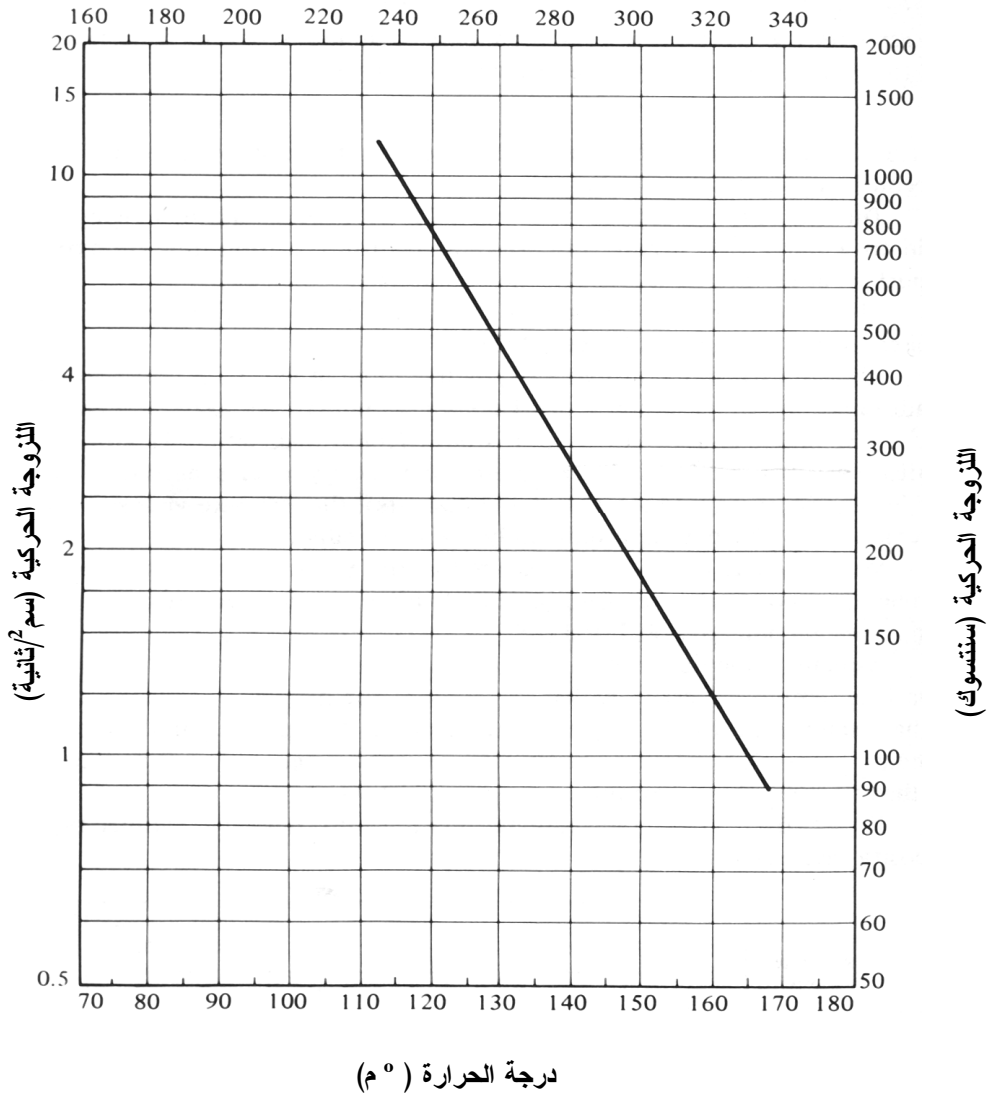
وبذلك فإن اللزوجة أو نسبة إجهاد القص إلى معدل القص للأسفلت تعتبر مهمة في مدى واسع من درجات الحرارة . وتأتى اللزوجة في مقدمة الخواص الطبيعية المهمة بالنسبة للأسفلت، حيث تعبر قيمة اللزوجة عن درجة القوام التي يوجد فيها الأسفلت.

ويعتمد تصنيف الأسفلت واستخدامه على درجة اللزوجة الموجود فيها. وتتغير لزوجة الأسفلت بشكل كبير بتغير درجة الحرارة ، حيث يمكن أن يوجد في حالات مختلفة بين الحالة الصلبة والحالة السائلة.

وتعتبر علاقة "اللزوجة–الحرارة" مهمة جدا بالنسبة لهذا النوع من المواد. تقل اللزوجة (تصبح المادة أكثر سيولة) بزيادة درجة الحرارة. المادة اللزجة جدا مادة "كثيفة" وهكذا. يوضح الشكل 4.2 علاقة "اللزوجة–درجة الحرارة" لنوع نمطي من الأسفلت.

اللزوجة المطلقة (الديناميكية) تقاس بوحدات باسكال.ثانية Pa.s وفقا للنظام الدولي وبالبويزPoise في الوحدات التقليدية (1 بويز= 0.1 باسكال.ثانية). واللزوجة الحركية Kinematic تقاس بالسنتمتر المربع لكل ثانية في الوحدات الدولية وبواسطة الستوك أو السنتستوك Stokes في الوحدات التقليدية (1ستوك=100 سنتسوك = 0.1 سم2/ ث).

وحيث إن اللزوجة الحركية تساوي اللزوجة المطلقة مقسومة على الكثافة (بالنسبة للأسفلت حوالي 1 جم/سم^3) فكلاهما له نفس القيمة تقريبا [5].



شكل 4.2: علاقة اللزوجة بدرجة الحرارة لنوع نمطي من الاسفلت [5,2,1]

من الناحية العملية عادة ما تقاس اللزوجة بواسطة جهاز سيبولت فيورال Saybolt Fural على إنها عدد الثواني التي يستغرقها حجم معين للانسياب من فتحة معينة في درجة حرارة محددة. ويمكن التحويل بين القيمتين بشكل تقريبي على أساس ثانية واحدة سيبولت فيورال "SSF" = 2

وهناك طريقة عملية أخرى لقياس درجة القوام ، وتعبر أيضا عن اللزوجة بشكل غير مباشر وهي ما يعرف بدرجة الغرز Penetration ، و هي قيمة عددية يتم الحصول عليها من اختبار معملي تقاس فيه المسافة التي تخترق فيها إبرة قياسية عينة من الأسفلت الصلب تحت شروط معينة.

5.2.2 خواص الانسياب للأسفلت Rheology of Asphalt

يعتبر الاسفلت كغيره من العديد من مواد الانشاء مادة انسيابية او "ريولوجية" rheological material أي ان خصائص التحميل للمادة (الاجهاد–الانفعال) تعتمد على الزمن. بالاضافة الى ذلك فان الاسفلت مادة ذات سلوك حراري–لدن thermo-plastic ، حيث ان قوام الاسفلت يتغير بتغير درجة الحرارة (أي ان لزوجة الاسفلت يمكن ان تتغير بمعدل 10 اضعاف لكل تغير في درجة الحرارة قدره 5 °م).

وذلك يعني ان كل من الزمن ودرجة الحرارة يجب اخذهما في الاعتبار عند تقويم الخواص الميكانيكية للاسفلت لاغراض التطبيقات الهندسية. وتعطي القيم التالية مؤشراً لزمن التحميل للمواد الاسفلتية في بعض التطبيقات الهندسية في مجال الطرق [6] :

- المرور السريع على الطرق 0.01 – 0.1 ثانية
- المرور في حالة توقف او تعجيل 0.1 – 1.0 ثانية
- المركبات المتوقفة 1.0 دقيقة – 10 ساعات

كما هو معروف تقليديا فان المواد في الغالب توصف بأنها مرنة وتخضع في تحليل وتقويم خواصها لقانون المرونة أو لزجة وتخضع لقانون اللزوجة. إلا انه وكما ذكر سابقا فان عدد من المواد ومن بينها الأسفلت يتغير سلوكها وفقا لدرجة الحرارة التي تكون فيها ولزمن التحميل المطبق ، وبالتالي فأنه لا يمكن لكل من قانوني المرونة واللزوجة التعبير عن سلوك المادة في هذه الحالة.

وقد جاء الحل عن طريق نظرية المرونة–اللزجة visco-elasticity باستخدام ما يعرف بـــ "الصلبية" Stiffness أو بـــ "معامل الصلبية" Stiffness Modulus وهو العلاقة بين الإجهاد والانفعال كدالة في كل من زمن التحميل ودرجة الحرارة.

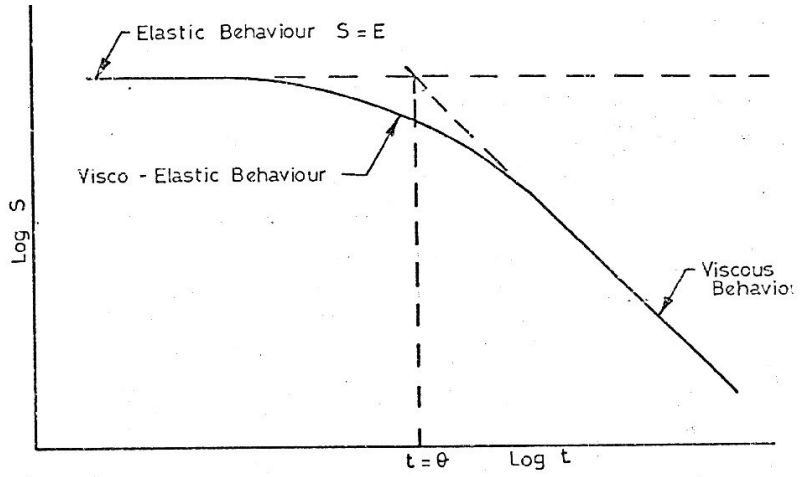
$$S_{(t,T)} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

حيث:

S = معامل الصلبية
σ = الإجهاد
ε = الانفعال
T = درجة الحرارة
t = زمن التحميل

وفي العديد من التطبيقات الخاصة بالخرسانة الأسفلتية يجب معرفة خصائص الصلبية ليس لغرض تقويم سلوك الخلطة الأسفلتية فقط ولكن لتقويم استجابة المنشأ الهندسي الذي يكون الأسفلت جزء من مكوناته مثل رصف الطريق او المهبط.

يبين الشكل 5.2 اعتماد معامل الصلبية على الزمن في درجة حرارة معينة. عند زمن التحميل القصير جدا لا يعتمد معامل الصلبية "S" على الزمن ويقترب من معامل المرونة E. وعند زمن التحميل الطويل يقل معامل الصلبية بمعدل منتظم ويكون سلوكه لزجا بالكامل ، بينما يكون السلوك في حالات التحميل المتوسطة لزج–مرن Visco-elastic.



شكل 5.2 : معامل الصلبية للمادة الانسيابية كدالة في زمن التحميل

6.2.2 تصنيف الأسفلت Classification of Asphalts

1.6.2.2 طرق تصنيف المادة الرابطة الاسفلتية

قدم روبيرتوس واخرون (1996) عرض لطرق تصنيف الاسفلت المستخدمة في صناعة الخلطات الاسفلتية الساخنة ، وهي الاساس لهذه المناقشة.

قبل سنة 1987 كانت المواد الرابطة الاسفلتية يتم اختبارها وتصنيفها بطريقتين رئيستين هما التصنيف بالغرز والتصنيف باللزوجة. نشرت الجمعية الامريكية لمسئولي الطرق في الولايات (AASHO) عام 1931 المواصفات القياسية للاسفلتات الصلبة المصنفة وفقا للغرز. وقد وضع نظام التصنيف بالغرز لايجاد درجات متعددة من الاسفلت لتناسب مختلف المناخات والتطبيقات. والاختبار الاساسي في نظام التصنيف بالغرز هو اختبار الغرز.

وهو اختبار مبنى على الخبرة لقياس القوام ، ويتم فيه قياس المسافة التي تخترقها ابرة قياسية في عينة اصلية من الاسفلت الصلب في درجة حرارة 25 مْ تحت تأثير حمل قياسي وفي مدة قياسية. وهناك اختبار غرز اخر ايضا يجرى على المادة الرابطة الاسفلتية بعد تعرضها لتقادم قصير (تصلب) في الفرن بطريقة الغشاء الرقيق. وتجرى اختبارات اضافية لتقويم درجة الوميض والنقاء واللدونة للاسفلت.

وكما سبق القول فان اختبار الغرز يعتمد على الخبرة ، ولم يتمكن من قياس قوام المادة الاسفلتية بوحدات علمية اساسية. كما ان اداء الاسفلت في درجة حرارة 25 مْ والتي يفترض بانها قريبة من درجة حرارة الرصف في الموقع قد لا يتفق مع اداء الاسفلت في درجات الحرارة الاقل او الاعلى اثناء الخدمة.

وقد سعت العديد من الوكالات المسئولة عن مواصفات الاسفلت في العالم الى استبدال نظام التصنيف المبنى على اختبار الغرز التقليدي باختبارات اللزوجة ذات الاساس العلمي. ويهدف نظام التصنيف الجديد الى قياس قوام الاسفلت في درجات حرارة قريبة من اقصى درجة حرارة لسطح الرصف. كانت بداية استخدام نظام اللزوجة لتصنيف الاسفلت في اوائل ستينات القرن الماضي وسرعان ما انتشر استخدامه في الولايات المتحدة الامريكية وفي العالم. نظام تصنيف الاسفلت الصلب بناء على اللزوجة يعتمد في تحديد خصائص الاسفلت على قياس اللزوجة عند درجة حرارة 60 مْ. بالنسبة لقوام الاسفلت في درجات حرارة الخلط / الدمك يتم تقويمه بقياس اللزوجة عند درجة حرارة 135 مْ.

كما سبقت الاشارة تقاس لزوجة الاسفلت عند درجة حرارة 25 مْ للتعبير عن قوام الاسفلت عند درجة حرارة الخدمة. كما تجرى اختبارات اللزوجة واللدونة على الاسفلت المعرض للتقادم في اختبار الغشاء الرقيق في الفرن. وتجرى ايضا اختبارات اضافية لتحديد درجة الوميض واللدونة والذوبان.

التصنيف وفقا لقياس اللزوجة للعينات المعرضة للتقادم في اختبار الغشاء الرقيق في الفرن RTFO يعرف بنظام تصنيف اللزوجة للمتبقي المصلب Aged Residue (AR). وهذا التصنيف ايضا يعتمد على قياس اللزوجة عند درجة حرارة 60 مْ. هناك مواصفات اضافية تشمل اقل غرز واقل لزوجة عند درجتي حرارة 25 مْ و 135 مْ على التوالي.

ومع ان نظام التصنيف طبقا للزوجة يعتبر تطويرا لنظام تصنيف الغرز الا انه ما زالت توجد به بعض العيوب. فان هذا النظام لم يتمكن بعد من توفير وسيلة لتقويم اداء الاسفلت في درجات الحرارة المنخفضة. كما ان النظام لم يأخذ في اعتباره تقويم الاسفلتات المعدلة بالاضافات ولا التقادم الذي يحدث للاسفلت على المدى الطويل.

شهدت الفترة من شهر 10 سنة 1987 وحتى شهر 3 سنة 1993 تنفيذ برنامج بحوث الطرق الاستراتيجي SHRP في الولايات المتحدة والذي استهدف تطوير طرق اختبار ومواصفات مبنية على الاداء لكل من المادة الرابطة والخلطات الاسفلتية. وادى هذا البرنامج الى التوصل الى نظام سوبربيف Superpave لتصميم الخلطات الاسفلتية الساخنة [7].

ومصطلح سوبربيف Superpave جاء من تجميع الاحرف الاولى للكلمات Superior Performing Asphalt Pavements والتي تعني الرصف الاسفلتي فائق الاداء. ويوفر نظام سوبربيف اسلوب مطور لتصميم وتحليل الخلطات الاسفلتية.

بالاضافة الى نظام سوبربيف تم ايضا تطوير اختبارات ومواصفات للمادة الرابطة اعتمادا على الاداء Performance Graded (PG) بغرض تقويم خواص واداء المادة الرابطة الاسفلتية ، وتم ذلك خلال برنامج SHRP. وقد طورت هذه المواصفات لمعالجة اوجه القصور التي كانت موجودة في انظمة تصنيف الاسفلت السابقة.

وتشمل اختبارات المادة الرابطة طبقا للاداء PG اربعة اختبارات طبيعية وطريقتين للتهيئة. وطريقتي التهيئة هما الغشاء الرقيق في الفرن الدوار RTFO و خزان الضغط للتقادم PAV. اما الاختبارات الطبيعية هي : مقياس اللزوجة الدوار RV و ريوميتر القص الديناميكي DSR و اختبار الشد المباشر DTT و ريوميتر انحناء القنطرة BBR.

وبشكل عام تصنف المواد الأسفلتية المستخدمة في أعمال الرصف تقليديا في ثلاث مجموعات رئيسة هي:

1. الأسفلت الصلب Asphalt Cement
2. الأسفلت السائل Cut- Back Asphalt
3. المستحلب الأسفلتي Asphalt Emulsion

وتضم كل مجموعة من هذه المجموعات عدداً من التصنيفات الفرعية كما سيتم توضيحه في الفقرات التالية.

2.6.2.2 الأسفلت الصلب

من أكثر أنواع الأسفلت استخداما في رصف الطرق ، وهو المنتج الرئيسي من المواد الأسفلتية أثناء عملية تكـــرير النفط. وينتج الأسفلت الصلب بدرجات لزوجة متعـــددة من اشـــهرها AC40, AC20, AC10, AC5, AC2.5 وهي تناظر تقريبا التصنيفات التالية وفقا لدرجة الغرز 50/40، 70/60، 100/85، 300/200 على التوالي. وتشير درجات اللزوجة إلى قيمة اللزوجة مقدرة بمائة بويز ± 20% مقاسه عند درجة حرارة 60°م[4,1].

على سبيل المثال AC2.5 يعني أسفلت صلب ذو لزوجة 250 بويز ± 50 و AC40 له لزوجة تبلغ 4000 بويز± 800. ويبين الجدول أ–1 مواصفات الأسفلتات الصلبة المصنفة وفقا لطريقة اللزوجة.

3.6.2.2 الأسفلت السائل

وهو أسفلت في الحالة السائلة ، ويتم الحصول عليه عن طريق خلط الأسفلت الصلب بمادة مذيبة لتقليل لزوجته حتى يمكن استخدامه بسهولة في درجات الحرارة العادية ويمكن إنتاجه مباشرة أثناء عمليات تكرير النفط في المصفاة. ويتم رش الأسفلت السائل على الركام أو فوق أسطح طبقات الرصف وبمجرد تبخر المادة المذيبة يتصلب الأسفلت ويقوم بربط قطع الركام ببعضها وتوفير الالتصاق المطلوب.

يـــعـــرف هـــذا النوع من الأسفلت أحيانا بالأسفلت المشذب أو الأسفلت المعاد أو الأسفلت المخفف و يتم الحصول علي أنواع الأسفلت بإضافة المذيبات النفطية إلي الأسفلت الصلب.

وتعتمد أنواع ودرجات الأسفلت السائل على نوع وكمية المادة المذيبة والتي تحدد معدل التبخر أو المعالجة ودرجة اللزوجة. وتتراوح نسبة المذيب بين 15% و 40 % من الكمية الكلية ، وذلك بناء على درجة اللزوجة المطلوبة.

ويبين الجدول أ–2 ملخص لدرجات اللزوجة للأصناف المختلفة من الأسفلتات السائلة. وتوجد ثلاثة أنواع من الأسفلتات السائلة هي:

1. الأسفلت السائل سريع التطاير(RC) Rapid Curing. يتم الحصول علي هذا النوع من الأسفلت بإضافة مذيب مثل البنزين أو النافثا (naphtha) إلي الأسفلت الصلب في درجة حرارة تتراوح بين (85 °م – 100°م) ، و تتفاوت درجة غليانه من 104 °م الى 121 °م ، لذا فهو سريع التبخر و يرمز له بالرمز (RC) و يوضح الجدول أ–3 أنواع و مواصفات الأسفلت سريع التطاير.
2. الأسفلت السائل متوسط التطاير(MC) Medium Curing وفيه يستعمل الكيروسين (kerosene) كمذيب ، حيث يضاف الى الاسفلت الصلب في درجة حرارة تتراوح بين (120 °م – 150 °م) و تتفاوت درجة غليانه بين ((163 °م – 279 °م) ، لذا فانه يتبخر بمعدل أبطأ من الأسفلت سريع التطاير و يرمز له بالرمز (MC) والجدول أ–4 يوضح أنواع و مواصفات الأسفلت متوسط التطاير. يستعمل هذا النوع من الأسفلت كمادة لاصقة علي شكل طلية أولية ترش فوق سطح طبقة الأساس الحبيبي ، حيث تتغلغل بين ثنايا أو فجوات الطبقة و تعطيها عزل مائي و تؤدي كذلك إلي ارتباط أجزاء طبقة الأساس الحبيبي مع الطبقة الأسفلتية التي تعلوها.
3. الأسفلت السائل بطئ التطاير(SC) Slow Curing. يسمي أحيانا زيت الطرق ، ويتم الحصول عليه علي شكل زيوت ترسبت في قاع أبراج التقطير للنفط الخام أو بواسطة مزج بعض الزيوت الخفيفة مع الأسفلت الصلب ، وهو أكثر لدونة من الأسفلت الصلب ولكنه أكثر لزوجة من الأصناف الخفيفة من زيوت التشحيم و يرمز له بالرمز (SC) والجدول أ–5 يبين أنواع و مواصفات الأسفلت بطئ التطاير ويستخدم هذا النوع من الأسفلت في العديد من أعمال الطرق و منها تثبيت التربة (stabilization).

3.6.2.2 الأسفلت المستحلب

المستحلب الأسفلتي عبارة عن مزيج من الأسفلت الصلب والماء. وباعتبار أن الأسفلت لا يذوب في الماء تتم إضافة ما يعرف بعامل الاستحلاب (وهو نوع من الصابون). ويتم في

عملية الاستحلاب تفتيت الأسفلت وتحويله إلى قطرات صغيرة داخل الماء الذي يقوم بدور الحامل.

وعند استخدام المستحلب الأسفلتي يتبخر الماء ويعود الأسفلت إلى التماسك والتصلب (الشك). ويحتوي المستحلب عادة على حوالي 75% أسفلت صلب وحوالي 3% عامل استحلاب والباقي ماء. وبناء على نوع عامل الاستحلاب المستخدم ويوجد نوعان من المستحلبات الأسفلتية ؛ هما المستحلب الموجب Cationic Emulsion ، وفيه تحمل جزيئات الأسفلت شحنة موجبة على سطحها ، والمستحلب السالب Anionic Emulsion والذي تكون فيه شحنة الجزيئات سالبة. ويلتصق المستحلب السالب بشكل أفضل مع قطع الركام ذات الشحنة السطحية الموجبة (مثل الحجر الجيري) ، بينما يلتصق المستحلب الموجب بالركام ذي الشحنة السالبة (مثل السليكا). كما أن المستحلبات الموجبة تفضل في حالات الركام المبلل وفي الطقس البارد.

ويمكن تلخيص الخواص الرئيسة التي يتطلب توفرها في أي مستحلب في النقاط التالية:

1. مدى ثبات المستحلب Stability of the Emulsion
2. خاصية الالتصاق للمستحلب The adhesively of the emulsion
3. درجة لزوجة المستحلب The viscosity of the emulsion

وتصنف المستحلبات الاسفلتية وفقا لتركيب المستحلب وخواصه بعدة طرق وذلك حسب الوكالة او المركز الذي يصدر هذه المواصفات ، ومن اشهرها المواصفات البريطانية والامريكية.

يتم تصنيف المستحلب حسب المواصفات البريطانية BS434 الجزء الأول 1984 [12]، حيث يعطى المستحلب رمز مكون من ثلاثة أجزاء ؛ الجزء الأول: مكون من حرف (A) أو حرف (K)؛ حيث يعني الأول مستحلب سالب والثاني مستحلب موجب. الجزء الثاني: مكون من أرقام من (1–4)؛ حيث يرمز كل رقم لمدى ثبات المستحلب فكلما زاد الرقم يعنى قيمة ثبات أعلى للمستحلب. الجزء الثالث: مكون من رقمين يتراوح من (40–70) حيث يرمز إلى المحتوى الأسفلتي بالمستحلب. على سبيل المثال مستحلب K1-70: يعني مستحلب موجب، قيمة ثباته منخفضة، ومحتواه الأسفلتي = 70%. مستحلب A2-50: يعني مستحلب سالب، قيمة ثباته متوسطة، ومحتواه الأسفلتي = 50%.

ويعتمد معدل تصلب المستحلب الأسفلتي على نوع وكمية عامل الاستحلاب المستخدم.

وتوجد ثلاثة درجات من نوعي المستحلبات الأسفلتية المذكورة هي:

1. سريع الشك Rapid setting (RS)
2. متوسط الشك Medium setting (MS)
3. بطيء الشك Slow setting (SS)

في أميركا تتولى كل من الجمعية الأمريكية للاختبار و المواد (ASTM) و الجمعية الأمريكية لمسئولي الطرق والنقل في الولايات (AASHTO) وضع مواصفات المستحلبات الاسفلتية ، والجدول أ–6 يلخص أصناف المستحلبات الأسفلتية.

وطبقا لهذه التصنيفات فان المستحلبات الأسفلتية تصنف علي أساس سرعة الالتحام ، أي بمعني رجوعها إلي أسفلت صلب ، و تستعمل المصطلحات (RS) و (MS) و (SS) لتبسيط ومقايسة هذا التصنيف و تعني علي التوالي، سريع و متوسط و بطئ الشك.

كما تقسم المستحلبات الأسفلتية بواسطة أرقام تسلسلية ذات علاقة بلزوجة المستحلبات وصلابة الأسفلت الأساسي ، فالحرف (C) أمام نوع المستحلب يرمز إلي الموجب ، بينما غياب الحرف (C) يشير إلي السالب أو إلي المتعادل ، فمثلا (RS-1) يعني سالب أو متعادل و (CRS-1) موجب ، الحرف (h) الذي يتبع بعض الأصناف يعني استخدام أسفلت أكثر صلابة ، والحرفان (HF) اللذان يتبعان بعض الأصناف يعنيان تعويم عالي والذي يقاس باختبار التعويم (float test; ASTM D130 , AASHTO T50) ، و للمستحلبات عالية التعويم جودة تسمح بالحصول علي غشاء أسفلتي سميك يغطي حبيبات الركام مع حد ادنى لاحتمال تصريف الأسفلت. و يتم الحصول علي هذه الجودة بإضافة مواد كيميائية معينة.

توضح الجداول أ–7 الى أ–10 المواصفات القياسية الامريكية للمستحلبات الأسفلتية.

3.2 الأسفلت 70/60

كما سبقت الإشارة فإن تصنيف الأسفلت حسب درجة الغرز يستخدم لأنواع الأسفلت التي لها لزوجة منخفضة حيث يصنف الأسفلت حسب العمق الذي تخترقه الإبرة القياسية في اختبار الغرز ، و بناء علي ذلك فان أنواع الأسفلت التي لها درجة اختراق عالية تستخدم في الأجواء الباردة ، فيما تستخدم أنواع الأسفلت التي لها درجة اختراق منخفضة في الأجواء الدافئة.

توجد خمس درجات للغرز متعارف عليها يتم علي أساسها تصنيف الأسفلت كما هو مبين في الجدول أ–11 ، و تتكون كل درجة من التصنيف من رقمين ، يدل احدهما على اعلي مسافة

للغرز و يدل الرقم الأخر علي اقل مسافة مطلوبة للغرز. فالأسفلت (70/60) ، تكون درجة الغرز المطلوبة حسب المواصفات من(6 مم) إلي (7مم).

الأسفلت 70/60 هو النوع المستخدم في رصف معظم الطرق في ليبيا وتعود التسمية الى تصنيف هذا الأسفلت الصلب وفقا لنظام الغرز.

ووفقا للخواص الطبيعية والميكانيكية لهذا النوع من الأسفلت كان المهندسون والخبراء في السابق يرونه مناسب للاستخدام في الظروف البيئية السائدة في معظم أنحاء ليبيا. وبناء على ذلك فانه يكاد يكون الصنف الوحيد المتوفر في السوق.

وبالرغم من ان التصنيف وفقا لطريقة اختبار الغرز القياسي يعتبر من الطرق السهلة وغير المكلفة الا انه يواجه العديد من الانتقادات و قد تحولت معظم الوكالات والهيئات المسئولة عن مواصفات الاسفلت في العالم الى طرق التصنيف الاخرى كما تمت الاشارة انفا.

ومن المآخذ التي تجدر الاشارة اليها في هذا السياق ان نتيجة اختبار الغرز لا تعني قياس لاية خاصية طبيعية او ميكانيكية للمادة وانما هو تعبير غير مباشر لحالة القوام والتي يمكن ان يوجد فيها اكثر من نوع من الاسفلت ولكن بخواص طبيعية وميكانيكية وكيميائية مختلفة.

اختيار درجة حرارة 25^0م لاجراء الاختبار على انها درجة الحرارة التي يوجد عندها الاسفلت في الخدمة ربما يكون مناسب في المناطق الباردة او المعتدلة المناخ ولكنه لا يناسب المناطق الحارة مثل ليبيا.

وحيث ان هذا التصنيف يأخذ في اعتباره اختبار المادة الرابطة في المختبر قبل عمليات التسخين والخلط وقبل بقائها في الخدمة مما يعني تجاهل التغيرات التي تحدث في خواص المادة نتيجة التصلب والتقادم الذي يحدث لها في المدى القصير اثناء انتاج الخلطة الاسفلتية او في المدى الطويل اثناء الخدمة خلال العمر التصميمي للرصف.

بالاضافة الى النتائج التي توصلت اليها الدراسات والابحاث الحديثة في مجال انتاج وسلوك المواد الاسفلتية وما اعقبها من تطورات في طرق واساليب الاختبار والتصميم واختيار المادة الرابطة الاسفلتية فان الخبرة العملية في ليبيا خلال العقود الخمسة الماضية والتي تم فيها استخدام الاسفلت 70/60 في رصف عشرات الآلاف من الكيلومترات من الطرق في مناطق متعددة من البلاد قد بينت ظهور العديد من المشاكل والعيوب التي تعود الى عدم قدرة هذا النوع من الاسفلت على مواجهة الظروف البيئية للمنطقة وخاصة تعرضه للتصلب السريع والتقادم المبكر الذى ادى الى ظهور ما يعرف بالتشققات السطحية المبكرة وغيرها من الأضرار الاخرى.

4.2 تصنيف الأسفلت وفقا للأداء Performance Grade, PG

كما سبقت الاشارة في الاجزاء السابقة فان انتاج وتصنيف المواد الرابطة الاسفلتية قد مر بمراحل تاريخية متعددة وشهد العديد من التطورات بدءا من التصنيف طبقا للغرز ومرورا بالتصنيف بناء على قيمة اللزوجة ووصولا الى التصنيف وفقا للاداء PG.

والاسلوب الجديد لتصنيف وتوصيف المادة الرابطة الاسفلتية وفقا للاداء يعتبر جزء من نظام سوبربيف لتصميم الخلطات الاسفلتية الساخنة Superpave ، ويحتوي ذلك ايضا على مجموعة من الاختبارات اللازمة لتطبيق هذا النظام.

ويستخدم مصطلح مواصفات المادة الرابطة بدلا من الاسفلت لانه يقصد بها استخدامها للاسفلت المحسن وغير المحسن على حد سواء. ويعرض الجدول أ–12 جزء من تلك المواصفات.

تعتمد مواصفات المادة الرابطة في نظام SHRP على الخواص الاساسية التي يتم قياسها في الواقع. والشئ المميز في هذه المواصفات الجديدة انها تعتمد على الاداء. فهي توصف المادة الرابطة على اساس المعطيات المناخية ودرجات الحرارة الفعلية التي سوف يتعرض لها الاسفلت في الموقع. في حين يتم الابقاء على متطلبات الخاصية الطبيعية دون تغير يتم تغيير درجة الحرارة التي يجب ان يحافظ فيها الاسفلت على تلك الخاصية.

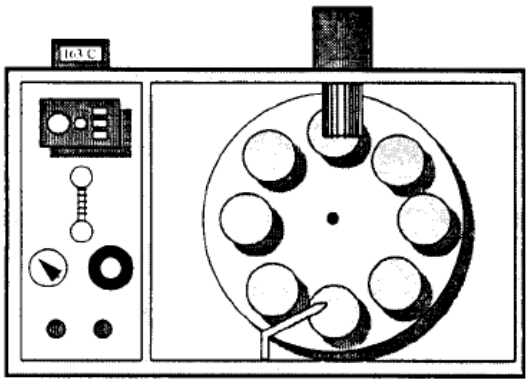
على سبيل المثال فان معامل الصلبية Stiffness Modulus للمادة الرابطة في درجة الحرارة العالية يجب الا يقل عن 1.00 ك. باسكال ، وان هذا الشرط يجب ان يتحقق في درجات حرارة اعلى اذا ما اريد استخدام المادة الرابطة في مناخ حار. وبتعبير اخر ، إذا كان هناك مشروعين احدهما يقع عند خط الاستواء و الأخر في الــقطب الشمالي ، فمن المتوقع أن يكون للأسفلت أداء جيد في كلا من الموقعين ، غير أن درجة الحرارة التي يتحقق عندها الأداء تكون مختلفة بشكل كبير.

وتعرف المادة الرابطة الأسفلتية حسب درجة الأداء (PG) برموز مثل PG64-22 حيث PG اختصار لمصطلح درجة الأداء (performance grade) و الرقم 64 يشير إلي أقصي درجة حرارة تتحملها االمادة الرابطة عند استخدامها في الرصف. و يشير الرقم 22– إلي اقل درجة حرارة. كما يؤخذ في الاعتبار كل من زمن التحميل (طريق خلوى ، شارع في المدينة ، تقاطع ..الخ.) و مقدار الحمل المروري.

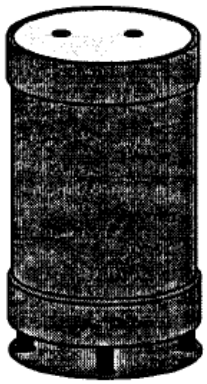
من الخصائص المهمة في نظام سوبربيف لتقويم المادة الرابطة قياس الخواص الطبيعية لها بعد ان يتم تعريضها للتقادم في المعمل ، وذلك لمحاكاة ظروف التقادم في حالة الرصف الحقيقي. كما تجري بعض القياسات للخواص الطبيعية على عينات لم تتعرض للتقادم.

وتجرى اختبارات اخرى على عينات يتم تعريضها للتقادم بواسطة اختبار يعرف بالغشاء الرقيق في الفرن الدوار (RTOF) وذلك لتقدير التصلب الناتج عن عمليات الاكسدة التي تحدث للمادة الرابطة اثناء عمليات الخلط والتنفيذ في الموقع.

هناك اختبار اخر يعرف باختبار التقادم في خزان الضغط (PAV) ويجرى لتعريض المادة الرابطة للتقادم في المعمل لمحاكاة التقادم الشديد الذي يحدث للمادة الرابطة بعد الخدمة عدة سنوات في الموقع. الشكل 6.2 يبين تخطيط مبسط لمعدات تلك الاختبارات.



Rolling Thin Film Oven (RTFO)



Pressure Aging Vessel (PAV)

شكل 6.2 اختبارات المادة الرابطة الاسفلتية وفق نظام سوبربيف.

ومن الناحية التطبيقية فانه لاختيار التصنيف المناسب للمادة الرابطة الاسفلتية وفقا لدرجة الاداء PG يتم التعبير عن درجة حرارة الرصف بواحدة من الطرق الثلاثة الاتية:

1. الموقع الجغرافي: وهذا الخيار يقتصر على المشروعات الوقعة في شمال أميركا والتي شملتها دراسة SHRP والتي تم تضمينها في منظومة سوبربيف Superpave.
2. درجة حرارة الرصف: حيث تستخدم اعلى درجة حرارة وادنى درجة حرارة للرصف في اختيار درجة الاداء المناسب PG. ويتطلب هذا وجود قياس مباشر لدرجة حرارة الرصف في منطقة المشروع.
3. درجة حرارة الهواء: تستخدم المعطيات المتوفرة عن درجة حرارة الهواء في التنبوء بدرجة حرارة الرصف باستخدام نماذج تنبوء خاصة للحصول على اعلى وادنى درجة حرارة. وتحتوي طريقة سوبربيف على نماذج التنبوء هذه. وقد اشارت العديد من الدراسات في مناطق مختلفة من العالم الى عدم ملائمة هذه النماذج للاستخدام في المناطق ذات الخصائص الجغرافية والمناخية المختلفة عن تلك السائدة في المنطقة التي شملتها دراسة SHRP.

ومنه يتضح انه بالنسبة لاقليم مثل شمال افريقيا والشرق الاوسط حيث يسود مناخ البحر المتوسط والمناخ شبه الصحراوي ، وبشكل خاص في ليبيا حيث يقع الجزء الاوسط والجنوبي منها في منطقة المناخ الحار جاف ، فان الخيارات الثلاثة المتوفرة في منظومة سوبربيف والمبينة اعلاه لا يمكن الاستفادة منها دون وجود معطيات كافية عن درجة حرارة الرصف وايضا وجود نماذج تنبوء خاصة بالاقليم.

3. أضرار الرصف الأسفلتي في ليبيا

3. أضرار الرصف الأسفلتي في ليبيا

1.3 عام

تمتلك ليبيا شبكة كبيرة من الطرق الاسفلتية تقدر بما يزيد عن 20,000 كم ما بين طرق رئيسة وفرعية وزراعية اضافة الى شوارع المدن والمحطات والساحات العامة ومهابط الطيران [8]. وقد تم تنفيذ معظم هذه الطرق خلا فترة السبعينات وبداية الثمانيات من القرن الماضي ، وبالتالي فان معظمها قد بلغت عمرها التصميمي. وبالنظر الى ضعف وغياب برامج الصيانة الدورية وتأخر عمليات الاصلاح للاضرار التي يتعرض لها الرصف في تلك الطرق فقد ظهرت على مر العقدين الماضيين العديد من العيوب والاضرار الوظيفية والانشائية في تلك الطرق.

وحيث ان تلك المشاريع قد تولى تصميمها وتنفيذها مكاتب وشركات عالمية متخصصة وذات خبرة طويلة في مجال هندسة الطرق ، وقد طبقت في تصميمها مناهج التصميم المشهورة والمتعارف عليها وفي مقدمتها طريقة الاشتو ومعهد الاسفلت وطريقة مارشال في تصميم الخلطة الاسفلتية ..الخ. وبالرغم من ذلك فان اداء تلك الطرق لم يكن في مستوى اداء مثيلاتها في الدول الاصلية التي جاءت منها تلك المكاتب الاستشارية والشركات المنفذة والتي طورت فيها طرق التصميم المشار اليها. ومنه يمكن استنتاج ان تلك المناهج التصميمية والمواصفات الفنية وخبرات التنفيذ والمواد الموردة لم تكن مناسبة للظروف البيئية المحلية وان تلك التقنيات والبرامج قد طورت لتلائم ظروف تلك الدول والتي تقع في معظمها في الجزء الشمالي من الكرة الارضية والتي تختلف مناخاتها وظروفها البيئية والتشغيلية كثيرا عن تلك السائدة في ليبيا.

تقدم الاجزاء التالية استعراض عام لانواع الاضرار السائدة التي تصيب الرصف في ليبيا وتركز بشكل خاص على الاضرار المتعلقة بالظروف البيئية المحلية وعلاقتها بالمادة الرابطة الاسفلتية المستعملة في رصف الطرق.

1.3 اضرار الرصف السائدة في ليبيا واسبابها

عند افتتاح الطرق تكون في العادة ذات مواصفات و جودة عالية ، وهي ما يعبر عنها بمعامل الخدمة الحالية للرصف Present Serviceability Index (PSI). ويجب ان تكون قيمة هذا المعامل بالنسبة لطرق الدرجة الاولى حوالي 4.8 (من المعلوم ان الدرجة القصوى لهذا المؤشر تبلغ 5.0). ولكن مع مرور الزمن ومع استخدام الطريق وبفعل اللأحمال المرورية المطبقة

علي الطريق بشكل يومي و مستمر و إضافة للعوامل الجوية كالأمطار و التغيرات اليومية والموسمية في درجات الحرارة ، فمن الصعب أن تحافظ الطريق علي نفس المواصفات التي كانت تمتلكها عند افتتاحها وتبدأ مشاكل الرصف بالظهور متمثلة في التشققات و التموجات والحفر ..الخ. ويبدأ مؤشر الخدمة المذكور في التناقص حتى يبلغ حداً يصبح بعده من الضرورى اعادة تأهيل الطريق باجراء صيانة شاملة له او باعادة الرصف بالكامل وعادة تكون تلك القيمة 2.5 بالنسبة للطرق الرئيسية و 2.0 بالنسبة للطرق الثانوية. وكما سبقت الاشارة فان تلك العيوب والاضرار قد تكون وظيفية او انشائية.

وتعرف العيوب الوظيفية بانها تلك الاضرار او العيوب التي تؤثر في قيام الطريق بوظيفته مع بقاء منشأ الطريق متماسك ؛ بحيث يصبح الرصف خشناً ويسبب الازعاج للمستخدمين او يشكل خطراً على المركبات ، وينعكس ذلك في الحد من سرعة المرور وزيادة مصاريف التشغيل للمركبات بسبب بلي الاطارت وانظمة الكبح وغير ذلك من نفقات الصيانة والاصلاح للمركبات وايضا زيادة زمن الرحلة واستهلاك الوقود.

اما العيوب الانشائية فهي تلك التي تؤدى الى انهيار بعض او كل مكونات الرصف بحيث يصبح غير قادر على اداء وظيفته ولا يمكن للمركبات السير عليه ، ولجبر تلك الاضرار يتطلب الامر اجراء اصلاحات جوهرية او اعادة بناء الرصف من جديد.

وللبحث في اسباب ظهور تلك العيوب والاضرار فانه يمكن مبدئيا ارجاعها الى اسباب فنية او هندسية او اخطاء تشغيلية او ادارية. والتي يمكن تلخيصها كما يلي:

- **أسباب هندسية او فنية:** و تتلخص في وجود عيب بجسم الطريق و ذلك بسبب عدم إنهاء سطح الرصف بشكل جيد أو سوء الخلطة الأسفلتية الموضوعة علي طبقة الأساس أو بسبب عيوب في طبقات الأساس أو الأساس المساعد.
- **أسباب تشغيلية:** وتتلخص في طريقة استخدام الطريق حيث أن الإهمال من قبل مستخدمي الطريق قد يؤثر علي طبقات الرصف ، فمثلا قد يتم إلقاء بعض المواد التي قد تؤدي إلي حدوث تحلل لطبقات الرصف أو مرور مركبات ذات أحمال اكبر من الحمل الذي تتحمله طبقات الرصف ، أو التعدي بالقطع بطريقة عشوائية علي سطح الرصف.
- **أسباب إدارية:** تتمثل هذه العيوب في اختيار المقاول المنفذ أو في اختيار المهندس المشرف علي إنشاء الطريق ، فعندما لا يمتلك المقاول الخبرة الكافية فمن الصعب أن ينجز العمل بشكل جيد. من جهة أخرى إذا كان المهندس المشرف غير متمرس فقد يتخذ قرارات خاطئة أثناء التنفيذ تؤدي في النهاية إلي الحصول علي طريق غير جيد.

تتعرض طبقات الرصف إلي العديد من المشاكل تؤدي إلي التقليل من جودة الطريق وتقليل درجة الأمان والراحة لمستخدمي الطريق. بعض هذه المشاكل تحدث للطبقات الأسفلتية مثل التشققات و النزف والبعض الأخر يحدث لطبقات الطريق السفلى مثل الهبوط و الانتفاخ.

بينت الدراسات والابحاث [11,10,9] التي اجريت خلال العقدين الاخيرين بان اغلب المشاكل التي تتعرض لها الطرق الأسفلتية في ليبيا مرتبطة بشكل أساسي بالمناخ الحار جاف الصعب السائد في معظم المناطق الوسطى والجنوبية من البلاد.

وتتمثل أهم هذه المشاكل في التشققات بأنواعها المختلفة و تصلب و تطاير المواد الأسفلتية والتي تعود اساسا الى عدد من العوامل البيئية ؛ هي:

1. درجات الحرارة المرتفعة و خاصة في فصل الصيف.
2. المدى الحراري اليومي الكبير.
3. شدة الإشعاع الشمسي المرتفعة.

ومع ان الطرق في ليبيا تتعرض لمختلف انواع الاضرار التي يتعرض لها الرصف الاسفلتي في باقي مناطق العالم الا انها تتميز بظهور انواع معينة من الاضرار خاصة بهذه المنطقة وتعود اسبابها الى التأثير المدمر للعوامل البيئية التي سبق ذكرها. واهم هذه الاضرار التشققات السطحية المبكرة والتخدد ونزف الاسفلت.

تبدأ التشققات السطحية في الظهور في وقت مبكر من عمر الرصف ؛ حيث سجل ظهور تلك التشققات خلال السنة الاولى بعد انشاء الرصف في بعض الطرق وفي السنة الثانية او الثالة في باقي الطرق. وحيث ان تلك التشققات قد ظهرت في طرق نائية ذات مرور خفيف وفي قطاعات رصف مؤسسة على انواع مختلفة من التربة وفي الحارات السريعة في الطرق المزدوجة فان سبب ظهورها لا يعود الى احمال المرور او ضعف تربة الاساس وانما لاسباب بيئية.

تبدأ تلك التشققات عند الحافة الخارجية للرصف في اتجاه متعامد على اتجاه السير Transverse Cracking وعلى مسافات متساوية ومتكررة ؛ مما يشير الى انها ناتجة عن الاجهادات الحرارية المتولدة في الكتلة الاسفلتية بسبب انكماشها خلال فترة هبوط درجة الحرارة اليومية. ومن الاسباب الدافعة لحدوث تلك التشققات بشكل مبكر التصلب والتقادم السريع الذي تتعرض له المادة الرابطة الاسفلتية كما سوف يتم توضيحة لاحقا في هذا التقرير. وبمرور الزمن تتمدد وتتعمق هذه التشققات السطحية الجانبية بحيث تتجه الى مركز الطريق وتصبح بكامل عمق الطبقة الاسفلتية. وفي مرحلة لاحقة تظهر تشققات طـــولية متعـــامدة على

التشققات العرضية الاولى مكررة نفس السياق السابق مكونة ما يعرف بالتشققات الشبكية او تشققات الكتل Block Cracking. وبزيادة تدهور حالة الرصف وفي غياب الصيانة المناسبة تزيد تلك التشققات في التشعب وتتحول الى ما يعرف بتشققات التمساح Alligator Cracking.

وتعرض الفقرات التالية وصف لهذه الاضرار والاسباب المحتملة لها.

1.1.3 الشقوق العرضية و الطولية Transverse and Longitudinal Cracks

الشقوق العرضية تمتد بعرض الرصف تقريباً متعامدة مع محور الطريق اما الشقوق الطولية فهي شقوق تمتد موازية لمحور الطريق. يمكن ان تكون هذه الشقوق عيوب إنشائية (ضعف طبقة الرصف) وعيوب وظيفية (خشونة سطح الرصف) او تكون بسبب تأثيرات بيئية ، لذلك فهي من العيوب التي لا تتعلق بالأحمال المرورية ، لكن الأحمال والرطوبة تُعجل بتدهور هذه الشقوق. تظهر هذه التشققات في مستويات شدة متعددة كما يلي:

أ) مستوى الشدة المنخفض: يتضمن إحدى الحالات التالية:

- شقوق غير مملوءة بعرض أقل من10 ملم .
- شقوق بأي عرض تحوي مالئ الشقوق بحالة جيدة .

ب) مستوى الشدة المتوسط: ويشمل الحالات التالية:

- شقوق غير مملوءة بعرض يتراوح بين 10–75 ملم .
- شقوق غير مملوءة بعرض أقل من 75 ملم محاطة بشقوق ثانوية رقيقة.
- شقوق مملوءة بأي عرض ومحاطة بشقوق ثانوية رقيقة .

ج) مستوى الشدة العالي: يتضمن هذا المستوى إحدى الحالات التالية:

- شقوق مملوءة أو غير مليئة محاطة بشقوق متوسطة أو عالية الشدة.
- شقوق غير مملوءة بعرض أكبر من 75 ملم .
- شقوق بأي عرض تقريباً 100ملم ومحاطة بشقوق مكسرة.

تظهر الشقوق الطولية و العرضية للأسباب التالية:

- عدم جودة تنفيذ فواصل المسار (في حالة الشقوق الطولية) .

- انكماش سطح الخرسانة الأسفلتية نتيجة لانخفاض درجة الحرارة أو تصلب الأسفلت
- الشقوق الانعكاسية الناتجة عن الشقوق السفلية تحت الطبقة السطحية مثل شقوق البلاطات الخرسانية الأسمنتية (لكن لا تتضمن فواصل البلاطات الخرسانية).

تُقاس الشقوق الطولية والعرضية بحساب المساحة المتأثرة بالمتر المربع ، فمثلاً إذا كان شق واحد فمساحته هي طول الشق وبعرض متر واحد. وتحسب كثافة العيب بقسمة المساحة المتأثرة به على المساحة الكلية للمقطع الممسوح مضروباً بمائة.

2.1.3 الشقوق الشبكية (تشققات الكتل) Block cracking

الشقوق الشبكية هي شقوق متداخلة تقسم الطبقة إلى قطع مربعة بأبعاد تتراوح ابعادها بين 30×30 سم و 3×3 متر. وتختلف الشقوق الشبكية عن الشقوق التمساحية بأن الأخيرة تكون بشكل قطع صغيرة وبعدة أضلاع وزوايا حادة وتوجد في مسارات الإطارات، بينما توجد الشقوق الشبكية في كل مكان على سطح الرصف. وتكثر الشقوق الشبكية في الطرق والشوارع ذات الأحجام المرورية المتدنية وفي ساحات مواقف السيارات. وتنقسم مستويات الشدة لهذه التشققات في الاتي:

أ) منخفضة الشدة: ولتصنيف المستوى المنخفض للشقوق الشبكية يجب توفر إحدى الحالتين:

- الشقوق غير المملوءة (Non-Filled) بعرض أقل من (10 ملم).
- الشقوق المملوءة بمواد عازلة بأي عرض كانت في حالة مقبولة.

ب) متوسطة الشدة: ولتصنيف الشقوق الشبكية متوسطة الشدة يجب توفر إحدى الحالات التالية:

- يتراوح عرض الشقوق أكثر من 10ملم وأقل من 75 ملم.
- تكون الشقوق بعرض أقل أو يساوي 75 ملم ومحاطة بشقوق عشوائية خفيفة.
- شقوق مليئة بأي عرض ومحاطة بشقوق عشوائية خفيفة.

ج) عالية الشدة: ومن أجل تصنيف الشدة العالية للشقوق الشبكية يجب أن توجد إحدى الحالات

التالية:

- أي شقوق مليئة أو غير مليئة محاطة بشقوق عشوائية عالية أو متوسطة الشدة.
- عرض الشقوق غير المملوءة أكبر من 75 ملم .
- شقوق بعرض حوالي 100ملم ومحاطة بشقوق شديدة ومكسرة.

تُعتبر الشقوق الشبكية من العيوب الوظيفية والإنشائية والسبب الأساس لهذه الشقوق هو الانكماش الحراري للمواد الأسفلتية الرابطة نتيجة للانفعال والإجهاد الدوري كما يُشير ظهور هذه الشقوق إلى تصلب الأسفلت بدرجة كبيرة. غير أن الشقوق الشبكية من العيوب غير المتعلقة بالأحمال بالرغم من زيادة مستوى شدتها نتيجة لتأثير الأحمال، كما أن الخرسانة الأسفلتية الضعيفة تُعجل من بداية ظهور هذه الشقوق.

يتم قياس نسبة الضرر للشقوق الشبكية بحساب المساحة المتأثرة بالشقوق بالمتر المربع فمثلا إذا كان شق واحد فمساحته هي طوله بعرض واحد متر، أما إذا كان هناك منطقة تتداخل فيها مستويات الشدة الثلاثة فيتم اختيار مستوى الشدة الأكثر كثافة. وتقاس كثافة العيب بقسمة المساحة المتأثرة به على المساحة الكلية للمقطع الممسوح مضروباً بمائة.

3.1.3 التشققات التمساحية Alligator Cracking

وتحدث نتيجة للأحمال المرورية المتكررة وهو عيب إنشائي يدل ظهوره على أن هناك ضعفاً في قوة طبقات الرصف الأسفلتية . وعادة ما يبدأ تكون هذا النوع من العيوب من اسفل الطبقة الأسفلتية السطحية ثم ينتشر إلى الأعلى ليظهر على شكل قطع متعددة الأضلاع ذات مساحات صغيرة يشبه في شكلها جلد التمساح . وقد وجد أن هذا النوع من العيوب ينتشر عادة في المسارب البطيئة على الطرق الرئيسية مثل الطرق السريعة والشريانية وذلك نتيجة لحجم المرور اليومي العالي وارتفاع نسبة الشاحنات .

تختلف هذه الشقوق شدتها حسب الظروف التي تعرضت لها ، و هناك ثلاثة مستويات لهذه الشقوق هي:

أ) مستوى الشدة المنخفض: هو المستوى الذي تكون فيه الشقوق طولية شعرية وموازية لبعضها البعض مع تداخلات صغيرة ،كما تكون قليلة العرض والعدد

ب) مستوى الشدة المتوسط: و هو المستوى الذي تكون فيه الشقوق على شكل شبكة من الشقوق المتقاطعة، بدأ عرضها في الزيادة ولكن مازال ضمن الجزء السطحي للطبقة.

ج) مستوى الشدة العالي: هو المستوى الذي تكون فيه الشقوق كثيرة وعميقة وعريضة ومتداخلة مع بعضها حيث تصبح طبقة الرصف منقسمة إلى أجزاء منفصلة قابلة للحركة عندما تتعرض لحركة المرور.

تتضمن الأسباب المتوقعة للشقوق التمساحية سبب أو أكثر من الأسباب التالية:-

- تلف طبقة الخرسانة الأسفلتية نتيجة لتلف الطبقة السفلية بسبب الأحمال المرورية المتكررة.
- عدم ثبات طبقة الأساس الأسفلتي أو طبقة تحت الأساس بسبب هبوط زائد للسطح.
- ضعف طبقة الأساس مما يجعلها غير قادرة علي تحمل الهبوط الزائد الناتج عن الأحمال المرورية.
- تقادم المواد الأسفلتية بفعل الزمن.
- عدم كفاية سماكة طبقات الرصف.
- ضعف تصريف في طبقتي القاعدة وتحت الأساس.

يتم قياس نسبة الضرر للتشققات التمساحية بحساب المساحة المتأثرة بالشقوق بالمتر المربع فمثلا إذا كان شق واحد فمساحته هي طوله بعرض واحد متر، أما إذا كان هناك منطقة تـــتداخل فيها مستويات الشدة الثلاثة فيتم اختيار مستوى الشدة الأكثر كثافة. وتقاس كثافة العيب بقسمة المساحة المتأثرة به على المساحة الكلية للمقطع الممسوح مضروباً بمائة.

4.1.3 التخدد Rutting

يعرف ايضا بالتشكل الدائم ، وعادة ما يتكون هذا النوع من العيوب في المسارات البطيئة والتي تتعرض لأحمال محورية عالية وفي مسار عجلات المركبات . ويحدث هذا النوع من العيوب في الغالب نتيجة الدمك أو التكثيف الزائد لطـــبقات الرصف الأسفلتية وانضغاط طبقات الرصف السفلية والإزاحة الجانبية للمواد المكونة له ، وهو عيب إنشائي يدل ظهوره على أن هناك ضعفاً في قوة تحمل طبقات الرصف وعدم قدرتها على مقاومة الأحمال المرورية ، وينتشر هذا النوع من العيوب في الغالب في المسارب البطيئة في الطرق الرئيسية والمعرضة لحركة مركبات ثقيلة ، وتزيد درجة الحرارة العالية في مدى وسرعة حدوث هذا النوع من الخراب وذلك عن طريق تناقص درجة القساوة للخلطة الأسفلتية .

تنقسم مستويات الشدة في التخدد إلي ثلاثة مستويات:

أ) مستوى الشـــدة المنخفض: يتراوح متوسط العمق لهذا المستوى بين (6- 13 ملم).
ب) مستوى الشدة المتوسط: يتراوح متوسط العمق بين (14-25 ملم).
ج) مستوى الشدة العالي: يساوي متوسط عمق التخدد عند هذا المستوى أكثر من (25ملم).

يُساهم ضعف المواد أو ضعف مواد تصميم الخلطة في انضغاط الطبقات، إضافة إلى عدم كفاية الدمك أثناء التنفيذ، نعومة الخلطة الأسفلتية، ليونة مواد الطبقات السفلية نتيجة لتسرب المياه أو صدمات الإطارات (Studded tires)، سماكات طبقات الرصف كلها من مسببات التخدد .

يُقاس متوسط عمق التخدد بوضع قدمه طولها (1.2م) تتقاطع عمودياً على التخدد ويتم تسجيل أقصى عمق ثم تؤخذ متوسط القياسات كل 6 أمتار من طول التخدد لتحديد مستوى الشدة، وتقاس كثافة العيب بقسمة المساحة المتأثرة به على المساحة الكلية للمقطع الممسوح مضروباً بمائة.

5.1.3 النزف أو طفح الأسفلت Bleeding or Flushing

النزف هو انتقال علوي للمواد الأسفلتية الرابطة في طبقات الرصف الأسفلتي وتشكل هذه المواد على السطح طبقة زجاجية رقيقة عاكسة وهي عادة ما تجعله لامعاً ولزجاً .

يحدث النزيف نتيجة لزيادة كميات مواد الربط الأسفلتية أو زيادة الأسفلت في الخلطة الأسفلتية، كما أن زيادة رش المواد الأسفلتية (طبقة الدهان والطبقة اللاصقة) أو قلة الفراغات الهوائية يؤدي في الأجواء الحارة إلى تمدد الأسفلت وتعبئة الفراغات ومن ثم يتمدد إلى خارج السطح. لذلك فعملية النزيف ليس لها انعكاس أو تأثير في الأجواء الباردة ويتم تجمع الأسفلت على السطح.

مستويات الشدة في النزف تنقسم إلي ثلاثة مستويات:

أ) مستوى الشدة المنخفض: هي الحالة التي يكون فيها النزيف بدرجة طفيفة جداً ويُـشاهـد هذا فقط في أيام قليلة من السنة وعند هذا المستوى لا يلتصق الأسفلت بالحذاء أو بإطارات السيارات.
ب) مستوى الشدة المتوسط: هو المستوى الذي يلتصق فيه الأسفلت بالحذاء أو بإطارات السيارات ويحدث هذا خلال أسابيع قليلة في السنة.
ج) مستوى الشدة العالي: يكون النزيف عالي الشدة عندما يلتصق الأسفلت بالحذاء أو بإطارات السيارات لمدة لا تقل عن عدة أسابيع وتكون الحصى مغطاة بالكامل بطبقة الأسفلت.

يُقاس النزيف بالمتر المربع للمساحة المتأثرة ، وإذا تواجد عيب التخدد بالإضافة إلى النزف الأسفلتي، فإنـــه يسجل كعيب مستقل. وتقاس كثافة العيب بقسمة المساحة المتأثرة به على المساحة الكلية للمقطع الممسوح مضروباً بمائة.

6.1.3 التطاير والتآكل Raveling and Weathering

التطاير هو تفتت تدريجي لطبقة الرصف السطحية يعقبه طرد للحصى من مكانها وتتحول مواد الخلطة إلى مواد مفككة تشبه المواد الحجرية المفككة، أما التآكل فهو فقدان المواد الأسفلتية المغطية لسطح الطريق. تشير هذه العيوب إلى أن المواد الأسفلتية قد تصلبت أو أن الخلطة الأسفلتية المستعملة ضعيفة الجودة.

مستويات الشدة في التآكل و التطاير تنقسم إلي ثلاثة مستويات:

أ) مستوى الشدة المنخفض: هو المستوى الذي تبدأ الحصى الناعمة والمواد الرابطة في التطاير وفي بعض المواقع يبدأ السطح بالتنقير (تظهر نتوءات) كما تُشاهد بقع الزيت في حالة انسكاب الزيوت على السطح، ولكن لا يمكن اختراق السطح بحافة قطعة نقود.

ب) مستوى الشدة المتوسط: هو المستوى الذي تبدأ فيه الحصى والمواد الرابطة في التطاير بعيداً ويظهر السطح متأثراً بدرجة متوسطة من حيث الخشونة والنتوءات، أما في حالة انسكاب الزيوت فيصبح السطح ليناً ويمكن اختراقه بحافة قطعة النقود.

ج) مستوى الشدة العالي: الذي تكون فيه الحصى الخشنة والمواد الأسفلتية الرابطة قد تطايرت وأصبح مظهر السطح خشناً جداً وكله نتوءات كما تنشأ فراغات (تنقير Pit) صغيرة بقطر أقل من 10ملم وعمقها أقل من 13ملم، أما المنطقة التي تحوي فراغات أكبر من ذلك فتسمى حفر Potholes. كذلك تفقد المواد الأسفلتية خاصية الربط وتصبح الحصى مفككة.

يحدث التطاير للأسباب التالية:

- إجهاد القص الأفقي نتيجة الحركة المرورية.
- تأكسد أو تقادم المواد الأسفلتية الرابطة وانفصال الحصى، ونقص المواد والحرارة الزائدة للخلطة، وقلة المحتوى الأسفلتي وعدم كفاية الدمك واستخدام حصى ضعيفة في الخلطة الأسفلتية.

- وجود الماء (الذي تخلل إلى داخل الطبقة عن طريق الفراغات) والذي يؤدي إلى ضغط هيدروستاتيكي عند تأثير الحركة .
- انبعاث المواد الهيدروكربونية لفترة طويلة من محركات السيارات (تعمل المواد الهيدروكربونية كمذيب للمواد الأسفلتية) .

تُقاس المساحة المتأثرة بالمتر المربع ، وتحسب الكثافة بقسمة مساحة المنطقة المتأثرة بالعيب على المساحة الكلية للمقطع الممسوح مضروباً بمائة.

7.1.3 بري أو صقل الركام Polished Aggregate

هو تعري الركام من المادة الأسفلتية وزيادة نعومتها بسبب احتكاك عجلات السيارات مما يؤدي إلى صقل الركام وتناقص حجمها وبالتالي ضعف مقاومة الانزلاق.

ويُعتبر صقل الركام من العيوب الوظيفية التي يكون فيها الركام على سطح الرصف إما صغيراً جداً أو غير خشن وبدون حواف (أملس) حيث تضعف مقاومته للانزلاق في هذه الحالة.

لا توجد مستويات محددة للشدة وإنما يقوم المراقب بوصف الواقع. ويحدث البري للركام للأسباب التالية:

- الأحمال المرورية المتكررة .
- تعرية الحصى .

يُقاس صقل الركام بالمتر المربع للمساحة المتأثرة وتحسب الكثافة بـــقسمة المساحة المتأثرة بالعيب على المساحة الكلية للمقطع الممسوح مضروباً بمائة.

8.1.3 التموجات Corrugation

التموجات هي انخفاضات وارتـــفاعات متتالية ومتقاربة تحدث بمسافات منتـــظمة عادة ما تكون أقل من (3 م) على طول الرصف، وتكون الارتفاعات عمودية على اتجاه الحركة .

تعتبر التموجات من عيوب الأداء الوظيفي للرصف لأنها تُسبب خشونة للسطح مما يؤثر على جـــودة القـــيادة. ويمكن أن تحدث التموجات نتيجة لفعل القص (shear) على طبقة أو بين الطبقات السطحية وطبقة الأساس نتيجة للحركة وعادة تكون التموجات في المواقع التي يحدث

فيها تسارع للحركة (عند بداية السير) أو تباطؤ للحركة (عند التوقــف) ، كما تكون متقاطعة مع سطح الرصف وهي واضحة في مسارات الإطارات.

مستويات الشدة في حالة التموجات تنقسم إلي ثلاثة مستويات:

أ) مستوى الشدة المنخفض: وهو المستوى الذي يؤثر بشكل بسيط على مستوى جودة القيادة.
ب) مستوى الشدة المتوسط: وهو المستوى الذي يؤثر بشكل متوسط على مستوى جودة القيادة.
ج) مستوى الشدة العالي: وهو المستوى الذي يؤثر بشكل شديد على مستوى جودة القيادة.

الأسباب المحتملة لظهور التموجات في سطح الرصف هي:

- ضعف ثبات الخلطة الخرسانية الأسفلتية أو ضعف الأساس.
- الرطوبة الزائدة في طبقات التربة السفلية.
- زيادة الأسفلت أو زيادة المواد الناعمة في الخلطة أو استخدام خلطة بحصى مستديرة.
- تلوث الخلطة.

يُقاس عيب التموجات بالمتر المربع من مساحة السطح. وتحسب كثافة العيب بقسمة المساحة المتأثرة به على المساحة الكلية للمقطع الممسوح مضروباً بمائة.

2.3 آلية (ميكانيكية) أضرار الرصف الأسفلتي

تم في الجزء السابق (1.3) استعراض انواع الاضرار التي تصيب الرصف الاسفلتي بشكل عام وتلك التي تصيب الرصف الاسفلتي في المناخ الحار جاف (الصحراوي) بشكل خاص. كما تم تحديد الاسباب المحتملة لكل نوع من تلك الاضرار. ومن البديهي انه لتجنب حدوث تلك الاضرار او للحد منها يجب اولاً تحديد اسبابها او شروط حدوثها والاجابة عن بعض الاسئلة الاساسية مثل: متى يحدث الضرر؟ ولماذا يحدث؟ وكيف يحدث؟ وتمثل الاجابة عن هذه الاسئلة ما يعرف بآلية او ميكانيكية حدوث الاضرار.

وسوف يتم تناول هذا الموضوع من خلال تقسيمه الى انواع او مسببات الاضرار السائدة ومن تم شرح آليه حدوثها ، وسوف يتم التركيز بشكل خاص على الاضرار المتعلقة بالاسباب البيئية او المناخية وتحديدا تلك الناتجة عن تأثير المناخ الحار جاف والمتمثلة في درجات الحرارة المرتفعة. ولتسهيل العرض فقد تم تقسيم الاضرار ومسبباتها في ثلاثة مجموعات رئيسة هي:

1. اسباب تصميمية او هندسية
2. اسباب تشغيلية
3. اسباب بيئية

وتقدم الفقرات التالية تحليلا لالية حدوث الاضرار لكل نوع من الانواع المذكورة:

1.2.3 الاضرار الناتجة عن اخطاء تصميمية او هندسية:

يتم تصميم طبقات الرصف وتحديد مواصفات المواد المكونة لها وشروط تنفيذها بما في ذلك تصميم الخلطات الأسفلتية المستخدمة في الطبقات السطحية للطريق اعتمادا علي عدة عوامل من أهمها تلك المتعلقة بمنطقة إلانشاء مثل درجات الحرارة و العوامل المناخية بصفة عامة.

لإنشاء طريق في منطقة معينة من الضروري الأخذ بعين الاعتبار درجات الحرارة الصغرى و العظمي و كمية الأمطار ، إضافة لإجراء اختبارات علي طبقات التربة السفلية علي طول مقطع الطريق.

والغــرض الأساسي من كل هذه المعلومات تتمثل في تصميم طريق ذو مواصفات جيدة قدر الإمكان ، أي يتحمل الظروف التي سيتعرض لها في هذه المنطقة ، لضمان أطول عمر ممكن للطريق.

يضاف الى ذلك اهمية استخدام منهج علمي صحيح ومناسب لظروف المنطقة وخاصة فيما يخص النماذج المبنية على الخبرة والدراسات الميدانية والتي تستخدم في تحديد عناصر التصميم وتقويم النتائج والتنبوء بأداءَ منشأ الرصف.

وعليه فان مخالفة هذه المبادئ في عملية التصميم سوف يؤدي الى اعداد تصاميم غير مناسبة وسوف يتعرض الرصف الى مشاكل تؤثر على اداءه لوظيفته المنشأ من أجلها. ومن اهم هذه المشاكل تلك المتعلقة بكفاءة الخلطة و سمك الطبقات وهي عديدة و يمكن تلخيصها في النقاط التالية:

- **عدم كفاية سمك طبقات الرصف:** إن سمك طبقات الرصف يتناسب طرديا مع الأحمال المرورية ، و بناء علي ذلك في حالة استخدام طريق بطبقات ذات سمك اقل من المواصفات فسيؤدي ذلك بشكل مباشر إلي حدوث المشاكل المختلفة مثل الهبوط و التشققات.

- **عدم كفاية الدمك:** إن الغرض الأساسي من عملية الدمك يتمثل في تقليل نسبة الفراغات في الطبقة المدموكة و في حالة عدم دمك الطبقة بالصورة الملائمة فستكون نسبة الفراغات في هذه الطبقة عالية مما يسهل من عملية انسياب المياه إلي طبقات الطريق السفلية ، مما يؤدي إلي التقليل من درجة المقاومة للأحمال المطبقة و بالتالي ظهور المشاكل المرتبطة بذلك مثل الهبوط و التموجات.

- **ضعف الخرسانة الأسفلتية:** في حال استخدام مواد رديئة أو استخدام نسب خلط غير دقيقة للخلطة الأسفلتية ، فسيؤدي ذلك إلي الحصول علي طرق أسفلتية ضعيفة. ففي حالة زيادة نسبة الأسفلت في الخلطة ، فان ذلك سيؤدي إلي حدوث ما يسمي بظاهرة نزف الأسفلت ، وهي ظهور طبقة من المادة الرابطة الأسفلتية علي سطح الطريق. و في حال كون نسبة الأسفلت قليلة فسيزداد تأثير ظاهرة تطاير المواد الأسفلتية ، مما يؤدي إلي تعري الحصى و بالتالي تعرضه للبري أو الانفصال عن سطح الطريق. عند استخدام نسبة عالية من المواد الناعمة في الخلطة أو في حال كون الركام المستخدم ردئ ، فان ذلك يؤدي إلي تفتت سطح الطريق إضافة إلي نقص مقاومة الطريق للأحمال وقوى القص مما يسرّع من ظهور التشققات. ومن المشاكل المتعلقة بالخلطة الاسفلتية وجود مواد ملوثة في الخلطة الأسفلتية يؤدي للحصول علي خلطة غير متجانسة. والخلطة غير المتجانسة غير قادرة علي تحمل الأحمال المرورية بشكل جيد مما يؤدي إلي ظهور العديد من المشاكل مثل التموجات.

2.2.3 الاضرار الناتجة عن اخطاء تشغيلية

وهي المشاكل التي يتعرض لها الرصف بسبب مستخدمي الطريق او بسبب سوء الادارة في الجهات المسئولة عن تشغيل ومراقبة الطرق. سيتم التطرق في هذا المجال الى ثلاث نقاط مهمة هي :

- **الأحمال المرورية:** عند تصميم أي طريق يجب أن يؤخذ في الاعتبار الأحمال المرورية التي من المتوقع أن تمر علي الطريق ، فكلما كانت الأحمال المرورية المتوقعة عالية فان سمك طبقات الرصف يزداد ، و كذلك فان جودة المواد الداخلة في الخلطة يجب أن تكون عالية لضمان أداء أكثر كفاءة للطريق. في حالة كون الأحمال المرورية عالية واكبر من الحمل التصميمي للطريق فان ذلك سيؤدي إلي حدوث اجهادات عالية لا تستطيع طبقات الرصف أن تتحملها.

في حالة كون طبقات الطريق السفلى متينة و الطبقات العليا ضعيفة ، فان ذلك سيؤدي إلي حدوث تشوه في سطح الطريق و هو ما يعرف بالتخدد ، و في حال أن الطبقات السفلية ضعيفة و العليا قوية ، فان ذلك سيؤدي إلي حدوث تموج وهبوط في الطريق .

- **سوء استخدام الطريق:** إن بعض مستخدمي الطريق يقومون بالإضرار بسطح الطريق بعدة طرق ، فالمواد الهيدروكربونية المنبعثة من عوادم السيارات تعمل كمذيب للمادة الرابطة الأسفلتية المكونة لسطح الطريق مما يؤدي إلي حدوث تطاير للمواد الأسفلتية و بالتالي تعري حبيبات الركام مما يؤدي إلي صقلها فيصبح سطح الطريق أملس الأمر الذي يصعب من عمل كوابح السيارات. هــناك صور أخرى سيئة لمستخدمي الطريق تتمثل في إلقاء الزيوت و المواد الاخري التي تؤدي إلي تفتت سطح الطريق ، و كذلك التعدي بالقطع لغرض انجاز أعمال معينة و عدم صيانة هذه الحفر بالشكل الملائم.
- **غياب الصيانة الدورية والطارئة:** يحدث ذلك بسبب عدم وجود الخطط والبرامج المعتمدة لمراقبة حالة الرصف وبرمجة اعمال الاصلاح والصيانة المطلوبة في الوقت المناسب وذلك لضمان قيام الطريق بوظيفته والحد من احتمالات تدهور حالة الرصف. ويدخل في ذلك حماية الطريق من اي عبث يقوم به المستخدمين وغيرهم مثل مراقبة احمال الشاحنات و منح تراخيص قطع الرصف والاشراف على اعادة الطبقات لوضعها الاصلي وفق الطرق والمواصفات الفنية المعتمدة.

3.2.3 الاضرار الناتجة عن التأثيرات البيئية

كما سبقت الاشارة فان الرصف الاسفلتي يجب ان يصمم وينشأ لمواجهة التأثيرات البيئية السائدة في المنطقة الواقع بها الطريق. ويمكن التعبير عن التأثيرات البيئية بمعطيات المناخ و طبيعة الأرض والموقع الجغرافي للاقليم. وتأتي في مقدمة المؤثرات البيئية درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح والاشعاع الشمسي والأمطار و المياه الجوفية.

وبالنظر للطبيعة المركبة للرصف الاسفلتي وبسبب تعرضه بشكل مباشر ومستمر للعوامل الطبيعية فانه سوف يكون معرضا للعديد من التغيرات والتحولات في تركيبه وخواصه الطبيعية والكيميائية والتي سوف تؤدي بدورها لتغيرات اخرى في سلوك واداء الرصف الاسفلتي.

وبناء على مستوى التصميم والمواصفات الفنية للمواد المستخدمة في الرصف فان تلك التغيرات والتحولات في خصائص وسلوك الرصف قد تكون مقبولة ومتوقعة وبالتالي لن تؤثر على اداءه في المدى الطويل او تكون كبيرة وغير محسوبة وبالتالي تؤدي الى تضرر الرصف.

ويمكن تلخيص الاضرار الناتجة عن تأثير البيئة على الرصف الاسفلتي في الاتي:

- تقادم وتصلب المادة الرابطة
- نزف او طفح المادة الرابطة
- التشققات السطحية الناتجة عن الاجهادات الحرارية
- التخدد او التشكل الدائم في سطح الرصف
- تفكك وتفتت الخلطة الاسفلتية في سطح الرصف
- تآكل وبري الركام وتعرية السطح
- هبوط طبقة الاساس الترابي وطبقتي الاساس والاساس المساعد

وحيث ان موضوع الدراسة الحالية هو المادة الرابطة الاسفلتية ودرجة حرارة الرصف ، فاننا سوف نخصص الفقرات التالية لشرح تأثير درجة الحرارة والاشعاع الشمسي على خواص واداء المادة الرابطة الاسفلتية وما ينتج عن ذلك من اضرار للرصف الاسفلتي.

1.3.2.3 درجة الحرارة

للمناخ وبشكل خاص درجة الحرارة تأثير مهم على اداء ومعايشة منشأ الرصف الاسفلتي. ويعتبر الارتفاع او الانخفاض الشديد في درجة الحرارة والتغيرات الحرارية الدورية التي تحدث خلال اليوم او بين الفصول من العوامل البيئية التي تلعب دورا رئيساً في التدهور المستمر لاسطح الرصف الاسفلتي ، وبالتالي فهي تمثل اهمية كبيرة في تصميم الرصف وفي سلوكه اثناء الخدمة. بالنسبة للرصف المرن حيث الخرسانة الاسفلتية هي المكون الرئيسي ، وهي مادة لزجة – مرنة visco-elastic فأن الاجهادات المتولدة تحت احمال العجلات تعتمد على درجة حرارة الرصف. في الحالات التي تستخدم فيها المواد الاسفلتية على هيئة طبقات سطحية رقيقة في منشأ الرصف فأن مقاومتها في الظروف الساخنة وقدرتها على امتصاص الاجهاد عن طريق الانسياب في الظروف الباردة تعد من الخواص المهمة للخلطة الاسفلتية. في المناخ الذي تكون فيه درجة الحرارة مرتفعة بشكل عام يتعرض الرصف الاسفلتي للتصلب بسرعة وتزداد قيمة معامل الصلبية له مع الزمن ويؤدي ذلك الى تولد اجهادات حرارية عالية. وعند حدوث اسوأ احتمال للانحدار الحراري temperature gradient وللخواص الحرارية للمادة يمكن ان

يتولد اجهاد حراري كبير. وبتوالي التغيرات الحرارية اليومية والفصلية خلال العام تنتج اجهادات حرارية يومية قد تكون صغيرة في قيمتها مقارنة بتلك التي تحدث في الجزء الصعب من السنة ولكنها متكررة ومستمرة طول الوقت. ويمكن ان تنشأ التشققات تحت التأثير التراكمي لألاف الدورات والتي تعرف باجهاد الكلال الحراري [12].

في درجات الحرارة العالية يصبح الاسفلت لينا وتتضائل مقاومة الخلطة الاسفلتية للاحمال. ويسبب تكرار تطبيقات الاحمال في وجود ضغط عالي للاطار في حدوث انفعال حراري دائم يزيد عن المسموح به و تخدد في مسار الاطارات في حالة الخلطات الضعيفة. وتساهم درجة الحرارة العالية ايضا في تقادم المادة الرابطة الاسفلتية في المدى الطويل ، وذلك بزيادة التصلب الذي يحدث للاسفلت اثناء الخدمة بسبب تبخر المكونات الخفيفة والاكسدة المستمرة والتي تؤدي بدورها الى زيادة لزوجة الاسفلت مسببة تصلب الخلطة الاسفلتية والذي ينتج عنه تشقق وانهيار وتفتت اسطح الرصف.

وبشكل عام يمكن تلخيص الاضرار التي تسببها درجة الحرارة للرصف الاسفلتي في الاتي:

1. **التشققات الحرارية** ؛ تشقق سطح الرصف الناتج عن الاجهاد الحراري المتولد في مادة الرصف بسبب الانكماش الذي يحدث للطبقة الاسفلتية اثناء فترة الانحدار السلبي لدرجة الحرارة.
2. **تشققات الكلال الحراري** ؛ تشققات سطحية تنتج عن تراكم الاضرار اليومية التي تصيب الرصف بسبب الدورات الحرارية اليومية.
3. **تصلب الاسفلت** ؛ تصلب المادة الرابطة الاسفلتية بسبب فقد المركبات الخفيفة في درجات الحرارة العالية والاكسدة المستمرة لبقية المركبات.
4. **نزف الاسفلت** ؛ تجمع الاسفلت السائل فوق سطح الرصف ، ويحدث ذلك عندما تقل لزوجة الاسفلت بسبب ارتفاع درجة الحرارة و تتعرض الخلطة الاسفلتية للانضغاط تحت تأثير احمال المرور. والاسباب الرئيسية لذلك هي استخدام اسفلت دو درجة لينة في المناخ الحار وارتفاع محتوى المادة الرابطة في الخلطة و نقص الفراغات الهوائية.
5. **التخدد** ؛ التشكل الدائم في مسار العجلات والذي يحدث بسبب تلين المادة الاسفلتية الرابطة الناتج من ارتفاع درجة حرارة الرصف في الموقع.

وبالرغم من التأثير المهم لدرجة الحرارة وغيرها من العوامل البيئية الاخرى على اداء ومعايشة الخرسانة الاسفلتية فأن الطرق التقليدية الشائعة لتصميم الخلطات الاسفلتية والتصميم الانشائي للرصف في مختلف انحاء العالم كانت تعتمد على الخبرة العملية ولا تأخذ في اعتبارها تاثير العوامل البيئية بشكل مباشر. ويتم اعتبار العوامل البيئية في عملية تصميم الخلطة الاسفلتية من

خلال اختيار المواد الداخلة في تكوين الخلطة الاسفلتية. وعلى سبيل المثال يعتمد اختيار درجة الاسفلت على الخبرة السابقة وتاريخ الاداء للرصف القائم بدلا من الخواص الاساسية للخلطة او العوامل البيئية. الا انه هناك اهتمام عام في اوساط صناعة الرصف فيما يخص اعتمادية تلك التطبيقات التقليدية وقدرتها على توفير تصميم صالح لمجابهة الظروف الصعبة من التحميل و التأثيرات البيئية وامكانية التنبوء باداء الرصف في المدى القصير والمدى الطويل. وقد نشرت العديد من الابحاث والتقارير التي تشير الى تلك التحديات وتوصي بضرورة تطوير طرق التصميم والتحليل والتنبوء بادخال العوامل البيئية بشكل مباشر في طرق التصميم [14,13,12]. وعلى سبيل المثال فأن البرنامج الاستراتيجي لابحاث الطرق في الولايات المتحدة SHRP قد احتوى على العديد من الدراسات الموجهة لتطوير توصيات و توجيهات تخص التصميم الانشائي للرصف للطرق المهمة والتي تشمل الاهتمام بالتغيرات البيئية.

ويعنى هذا الاهتمام المتزايد بدرجة الحرارة كعامل بيئي في تصميم وتقويم الرصف انه هناك حاجة الى التنبوء بالنظام الحراري المتوقع حدوثه في منشأ الرصف في أي مكان ما ذو ظروف مناخية معروفة. كما ان ذلك يعني ايضا استخدام هذه المعلومات في تقويم تأثير درجة الحرارة على سلوك مواد الرصف. ويمكن تلخيص الحاجة الى معطيات درجة الحرارة في الاتي:

- لدراسة السلوك المرن–لزج للخلطات الاسفلتية تحت تأثير الظروف المناخية المختلفة وباختلاف خواص مواد الانشاء.
- لتوفير دليل لاختيار درجات الحرارة الملائمة للاختبارات والتحليلات المعملية .
- لتوفير معلومات عن تغيرات درجة الحرارة بتغير عمق الرصف لمختلف انواع المناخ والتي سوف تساعد في تحليل اداء الرصف وتطوير طرق تصميم اكثر دقة.

وحتى وقت قريب لم تكن هناك معلومات كافية عن الطرق والتقنيات التي يمكن استخدامها في التنبوء بالنظام الحراري في الرصف كما هو في الواقع. ونهجت المحاولات السابقة في هذا المجال في اتجاهين ؛ الاول يعتمد على الخبرة والتجربة empirical والثاني يعتمد على تكوين نماذج تحليلية مبنية على القوانيين الطبيعية [12].

وفي كل الاحوال توجد صعوبة في تبني ايا من هذين الاتجاهين في التنبوء بدرجات حرارة الرصف دون وجود معلومات واقعية عن درجات حرارة الرصف مقاسة في الطبيعة بدرجة من الدقة تكفي لتطوير نماذج التنبوء وتحقيق اية حسابات نظرية لتقدير درجة حرارة الرصف في أي موقع.

2.3.2.3 الاشعاع الشمسي

تقوم المادة الرابطة الأسفلتية أساسا بربط مكونات الخلطة مع بعضها البعض للحصول علي خلطة ذات مواصفات معينة ، بمرور الوقت و بسبب التعرض المستمر للأشعة فوق البنفسجية والتي هي من احدى مكونات أشعة الشمس ، فان الأشعة فوق البنفسجية تؤدي إلي تـــحطيم وتفكيك الروابط الكيميائية المكونة للمادة الرابطة الأسفلتية ، مما يؤدي إلي تحلل الأسفلت (تطاير المركبات الكيميائية) مؤديا إلي حدوث مشاكل في سطح الرصف.

إن أهم المواد التي تتعرض للتطاير هي المواد الهيدروكربونية Hydrocarbons و المواد الراتنجية resins ، في حالة تعرض سطح الرصف للأشعة المسلطة عليه بشكل مستمر ، فان هذه الأشعة تؤدي إلي أكسدة للمواد الأسفلتية و تطايرها ، وإن تطاير المادة الأسفلتية يؤدي إلي تعري حبيبات الركام المكونة لسطح الأسفلت فيصبح السطح خشن ، و ينتج عن ذلك أيضا انفصال حبيبات الركام عن سطح الرصف مما يؤدي إلي تناقص سمك الرصف الأسفلتي ، كذلك يصبح سطح الرصف صلب و يفقد مرونته فتبدأ الشقوق في الظهور ، في حالة وجود مياه علي سطح الرصف فإنها ستتغلغل في مسامات الرصف مما يؤدي إلي حدوث انهيار مبكر للطريق.

3.3.2.3 الامطار والمياه الجوفية

أن الأمطار الساقطة علي الأسطح الأسفلتية يكون تأثيرها كبير في حالة عدم وجود نظام تصريف ملائم لسطح الطريق. في حالة عدم وجود تصريف لمياه الأمطار من علي سطح الطريق ، فإنها تتجمع علي السطح و تتغلغل إلي طبقات الطريق السفلية عن طريق الفراغات مما يؤدي إلي تـــشـــبع طبـــقات الـــطريـــق السفلية بالرطوبة ، فتصبح ضعيفة و غير قادرة علي تحمل الأحمال المسلطة عليها.

و بناء على ذلك فان طبقات الطريق السفلية المتمثلة في الأساس الحبيبي يجب أن تنشأ من مواد قـــوية و مدموكة بشكل ممتاز ، لأنه بزيادة الدمك تقل نسبة الفراغات و بالتالي تزداد المقاومة للأحمال و الرطوبة.

في بعض الحالات يكون مصدر الرطوبة ناتج عن ارتفاع مستوي المياه الجوفية ، و لعلاج هذه الظاهرة يتم و ضع مواد بلاستيكية خاصة تحت الطبقات لحمايتها من التفتت ، أو إنشاء شبكات تصريف تحت الطريق لمنع صعود مستوي المياه الجوفية (W.T) إلي سطح الطريق.

4.3.2.3 تصلب وتقادم المواد الاسفلتية

يعتبر تصلب وتقادم المواد الاسفلتية في المناخ الحار جاف من العوامل الرئيسة المؤثرة في اداء ومعايشة الرصف الاسفلتي في المدى الطويل . من الناحية التطبيقية يستخدم الاسفلت في تغليف حبيبات الركام بواسطة اغشية رقيقة . ويعتبر مادة ربط ممتازة حيث يوفر الالتصاق والتماسك ويتميز بخاصية المعالجة الذاتية ومقاومته للتأكل والعزل المائي. وبمرور الزمن يتعرض الاسفلت الى فقد تدريجي لهذه الخواص المرغوبة. ويأتي هذا التراجع في الفاعلية بسبب التصلب الذي يحدث للاسفلت والذي ينتج من التعرض المستمر للحرارة والضوء والهواء والرطوبة وهي عناصر موجودة في البيئة المحيطة بالرصف.

ومن التحديات الرئيسة التي تواجه العاملين في صناعة الرصف امكانية التنبوء بسلوك منشأ الرصف في المدى الطويل وذلك اعتمادا على خواص المادة الرابطة .وقد شهدت الفترة الماضية نشر العديد من التقارير عن تدهور حالة الرصف الاسفلتي بسبب مشكلة التقادم المبكر للاسفلت. وتعود هذه المشكلة الى ان تقادم الاسفلت يؤدي الى زيادة معامل الصلبية للخلطة الاسفلتية ويقلل من انفعال التشقق الامر الذي يجعل سطح الرصف قابلا للتشقق. يمكن تجنب هذه المشكلة بالمحافظة على الانفعالات في المستوى المقبول الذي يوافق درجة التصلب التي يصل اليها الاسفلت خلال عمر الرصف. ولا يمكن تحقيق ذلك الا بتغيير مقاومة الاساس او سمك طبقة الرصف الاسفلتي. وفي الحالات التي يسود فيها التشقق الحراري فان هذا الحل لن يكون ممكن. والامكانية الوحيدة لتقليل احتمال التشقق الحراري تكمن في تقليل لزوجة الاسفلت والحد من تصلبه. ومن المتعارف عليه بشكل عام ان تصلب الاسفلت يعتبر مقياس جيد لمعايشة الرصف.

يحدث تصلب المادة الرابطة الاسفلتية في ثلاثة مراحل وبمعدلات مختلفة:

1. اثناء التخزين
2. اثناء الخلط الساخن و الدمك في الموقع
3. اثناء الخدمة

هناك العديد من العوامل التي تساهم في تصلب الاسفلت مثل ظروف التشغيل في الخلاط والموقع وخصائص الركام والاسفلت. ويحدث تصلب الاسفلت نتيجة لتأثير عدد من التفاعلات التي يتعرض لها اثناء الخدمة والتي ينتج عنها فقده لخواصه المرغوبة. وتتلخص هذه التفاعلات في الاتي:

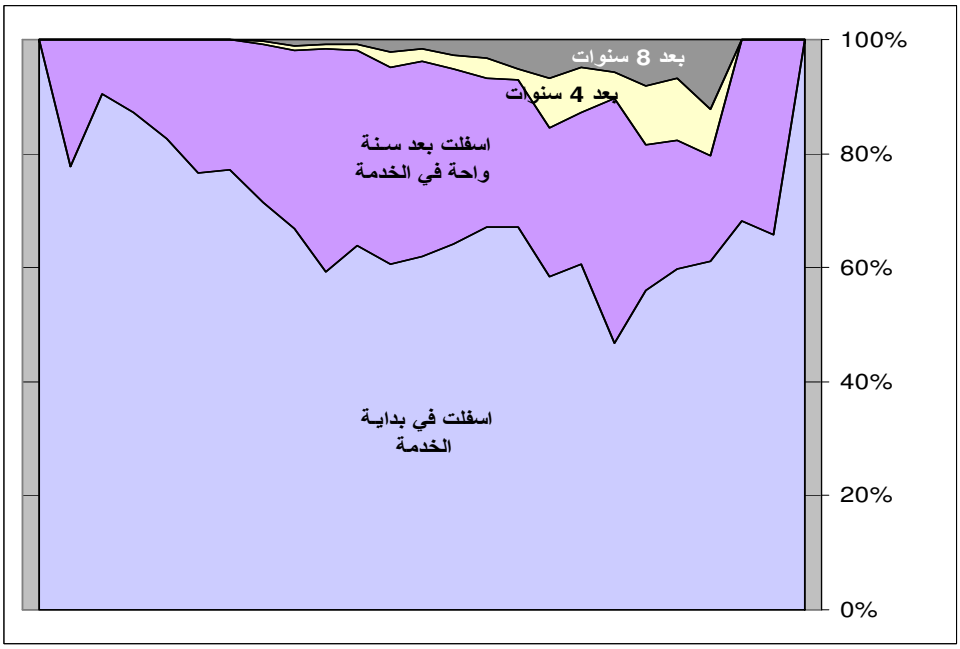
1. الأكسدة (وهي عملية فقد الاليكترونات ، وتكون في العادة باكتساب الاكسجين او فقد الهيدروجين)

2. التبخير (فقد المكونات الخفيفة)
3. التحول التركيبي الحراري "Thixotropy" (تحولات في القوام تحدث بسبب الاهتزاز وغيره من التأثيرات الميكانيكية ، على سبيل المثال قد تتحول المادة المتصلبة الى محلول بسبب الاهتزاز وتعود الى الحالة الصلبة بعد الاستقرار من جديد)
4. انفصال المكونات الصلبة عن السائلة بسبب الاستقرار(Syneresis)
5. التبلمر Polymerisation(الجزيئات الكبيرة والمكونة من وحدات انشائية متكررة)

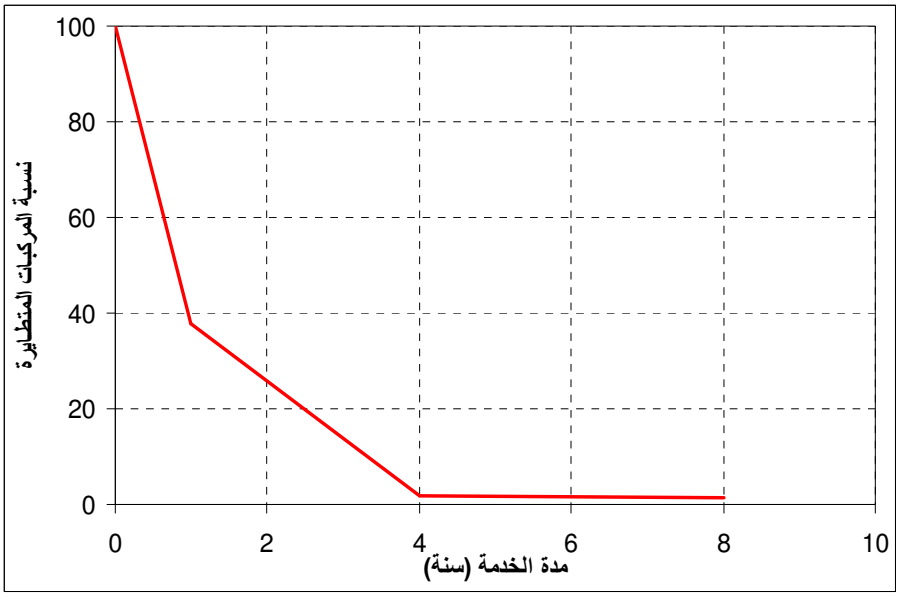
وبشكل عام هناك اجماع على ان تصلب المادة الرابطة اثناء الخدمة يكون في معظمه بسبب الاكسدة والتبخير وبدرجة اقل بسبب التحولات التركيبية والبلمرة.

وقد اشارت الدراسات التي اجريت حول تقادم المواد الاسفلتية في المناخ الحار جاف الى ان تقادم المادة الرابطة يتأثر بشكل اساسي بعمليات التأكسد الحراري والتبخير والتي تعود الى ارتفاع درجات الحرارة و معدلات التعرض للاشعاع الشمسي [16,15]. وبذلك فان معدل تصلب المادة الاسفلتية الرابطة اثناء الخدمة يعتمد بشكل كبير على النظام الحراري في الرصف. يكون التصلب في السطح اكبر بسبب ارتفاع درجات الحرارة والاشعة فوق البنفسجية.

وقد بينت الاختبارات ان لزوجة الاسفلت في عمق 10 مم من طبقة الرصف تزيد بنسبة 50% عنها في عمق 25 مم . ويتأثر التصلب بمحتوى الفراغات الهوائية وبنفاذية الخلطة الاسفلتية. وبذلك فان الرصف الذي توجد به تشققات ونسبة عالية من الفراغات الهوائية يكون معرض لدرجة اكبر من التصلب والتأكسد مقارنة بالرصف الخالي من التشققات والذي تكون نسبة الفراغات فيه قليلة. وفي دراسة سابقة [15] لمراقبة فقد المركبات الطيارة من المادة الاسفلتية اثناء الخدمة بسبب الاكسدة والتبخير باستخدام تقنيات التحليل الكيميائي الكروماتوغرافي Chromatographic Analysis تبين ان نسبة كبيرة من المركبات الخفيفة في الاسفلت والمسئولة عن توفير خصائص اللدونة والالتصاق في الاسفلت قد تم فقدها خلال السنوات الاولى من عمر الرصف كما هو مبين في الشكل 1.3. ويوضح الشكل 2.3 ذلك في علاقة خطية ، ويتضح من هذا الشكل أن الفقد في تلك المكونات قد حدث بشكل حاد خلال السنة الاولى ثم بشكل تدريجي خلال السنوات التالية. كما تجدر الاشارة الى ان الفقد يزيد بقرب الخلطة من سطح الرصف وذلك بسبب زيادة معدل التعريض للعوامل البيئية. وقد تأكدت ظاهرة التصلب والتقادم السريع للاسفلت في مناطق المناخ الحار جاف بدراسة اخرى [16] تم فيها قياس اللزوجة لعينات من الاسفلت المستخدم في رصف عدد من الطرق في جنوب ليبيا ، حيث افادت النتائج المتحصل عليها بزيادة قيمة اللزوجة بمعدلات مرتفعة بزيادة عمر الرصف وخاصة في الطبقات السطحية.



شكل 1.3 : فقد الاسفلت للمركبات الخفيفة اثناء الخدمة



شكل 2.3 : المركبات الطيارة المتبقية في الاسفلت مع تقدم العمر

3.3 الإجهاد الحراري

تتولد الاجهادات الحرارية في سطح الرصف نتيجة لعدم تمكن كتلة الرصف من الحركة عند حدوث تغييرات في درجة الحرارة. يتعرض الرصف الإسفلتي للإجهاد الحراري خلال الدورة اليومية لدرجة الحرارة. يتولد إجهاد الشد في الرصف بسبب انكماش الخلطة الإسفلتية خلال فترة التبريد في نهاية اليوم. ويكون الإجهاد الحراري في الاتجاه الطولي اكبر منه في الاتجاه العرضي. لا يمكن تجنب التغير في درجة الحرارة في الرصف الإسفلتي وبذلك فان الاجهادات الحرارية يمكن أن تتسب في أضرار بالغة.

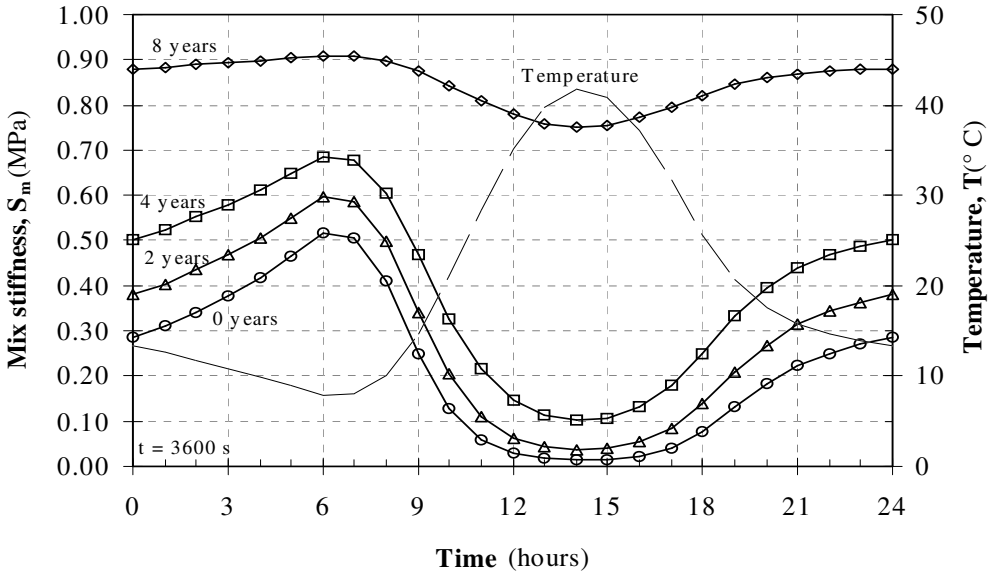
يتسبب الكلال الحراري الناتج من تكرار الاجهادات الحرارية اليومية في تراكم الضرر خلال عمر الرصف مؤديا الى ظهور التشققات في سطح الرصف عندما يزيد الكلال المتراكم عن مقاومة مادة الرصف للكلال.

المعاملات الاساسية في حساب الاجهاد الحراري هي :

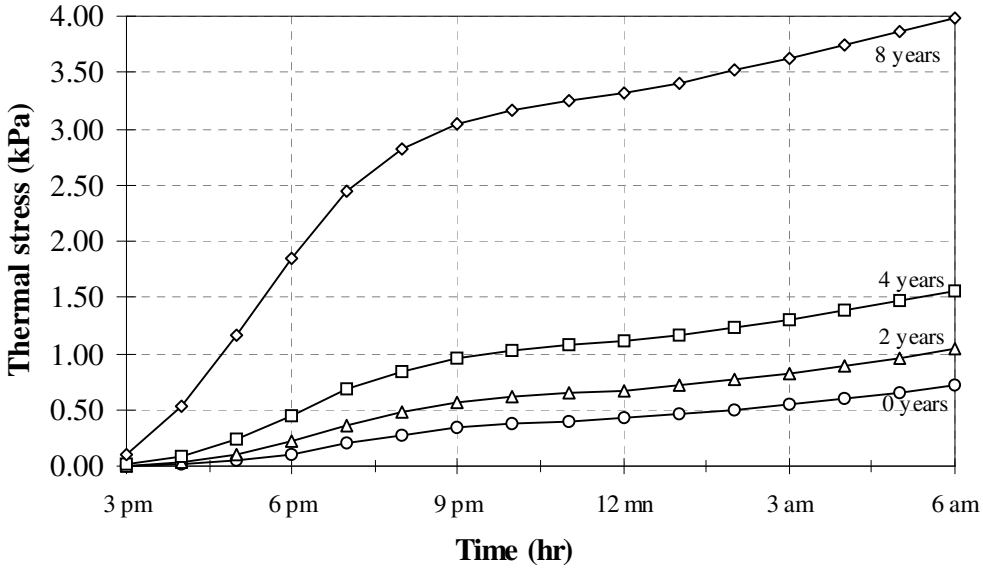
1. درجة حرارة الرصف
2. معامل الصلبية للخلطة الاسفلتية
3. معامل التمدد الحراري للمادة

توجد طرق ونماذج رياضية خاصة لحساب الاجهاد الحراري والتنبؤ بحدوثه. وبفحص المعاملات الثلاثة المذكورة اعلاه يتبين انه بالنسبة لاي اقليم ذو نظام حراري خاص به فان المتغير المهم في تحديد امكانية تولد الاجهاد الحراري هو معامل الصلبية. ومن المعروف ان معامل الصلبية يتغير بتغير درجة الحرارة وزمن التحميل وهما عاملان يمكن تحديدهما والتنبؤ بقيمة معامل الصلبية وفقا لهما. بالنسبة لمناطق المناخ الحار جاف هناك خصوصية مهمة جدا وهي التغير في معامل الصلبية بتقدم عمر الرصف بسبب التصلب والتقادم الذي يحدث للاسفلت كما تم توضيحه سابقا. وباعتبار ان هذا التصلب والتقادم يحدث بشكل سريع (مبكر) بالنسبة لعمر الرصف فان الرصف يكون عرضة لاجهادات حرارية عالية خلال السنوات الاولى من الخدمة الامر الذي يفسر ظهور التشققات السطحية المبكرة [16] .

يبين الشكل 3.3 التغير الذي يحدث في قيمة معامل الصلبية بتغير درجة الحرارة خلال ساعات اليوم ويلاحظ الارتفاع في قيمة معامل الصلبية خلال ساعات التبريد وايضا الزيادة الملحوظة بزيادة سنوات الخدمة. يعطي الشكل 4.3 مثال لتولد الاجهادات الحرارية في الرصف الاسفلتي في المناخ الحار جاف خلال فترة التبريد اليومية.



الشكل 3.3 :التغير في معامل الصلبية مع الزمن خلال فترة التبريد ولسنوات خدمة مختلفة



شكل 4.3: تراكم اجهادات الشد الحراري في الرصف الاسفلتي خلال فترة التبريد

وفي محاولة لشرح ميكانيكية تكسير الخلطات الاسفلتية بواسطة الاجهاد الحراري والكلال الحراري تم اجراء العديد من الابحاث والتحليلات ؛ منها دراسة النظام الحراري في الرصف الاسفلتي في المناخ الحار جاف وتصلب وتقادم الخلطات الاسفلتية وحساب الاجهادات الحرارية [16,15,12] ، والتي تمت الاشارة الى بعضها في الفقرات السابقة والتي مكنت من تكوين نموذج خاص للتنبؤ بحدوث التشققات الحرارية والذي يمكن استخدامه في تقويم الرصف الموجود في الخدمة او في تصميم الرصف للمشروعات الجديدة.

يظهر الضرر الذي يصيب الرصف الاسفلتي في المناخ الحار جاف بسبب التأثير الحراري في البداية بتكون التشققات في سطح الطبقات الاسفلتية. وتكون التشققات في العادة عرضية تبدأ من حافة الرصف وتمتد في الاتجاه المتعامد مع حركة المرور. وتظهر التشققات ايضا في الاتجاه الطولي خاصة في محور الطريق وعلى محيط خطوط العلامات البيضاء والصفراء.

ويمكن تعليل كون التشققات الحرارية عرضية بالاشارة الى ان الاجهادات الحرارية في الاتجاه الطولي اكبر منها في الاتجاه العرضي بسبب تقييد حركة كتلة الرصف في الاتجاه الطولي وامكانية انكماش الرصف في الاتجاه العرضي .

الاجهادات التي يمكن ان تتولد بسبب الانكماش الحراري اثناء فترة التبريد يتم في العادة امتصاصها بانسياب المادة الرابطة)بفضل مرونة الاسفلت .(واذا ما تصلب الاسفلت وكان هناك هبوط حاد في درجة الحرارة فان النتيجة هي تولد اجهاد الشد الحراري .ويكون سلوك الرصف الاسفلتي الصلب عند درجات الحرارة المنخفضة مشابه لسلوك البلاطة الصلبة ؛ ويحدث تكسر اغشية الاسفلت في المناطق الضعيفة وتتكون التشققات .ويحدث التشقق عندما تزيد قيمة الاجهاد الحراري عن مقاومة الشد للخلطة الاسفلتية. والامكانية الاخرى للتشقق الحراري هي عن طريق الكلال الحراري .وينتج من تكرار الاجهاد الحراري اليومي ويحدث عندما يزيد الكلال الذي تسببه دورات الاجهاد اليومي عن مقاومة الكلال للخلطة الاسفلتية.

بالنسبة للمراحل التالية من الضرر التي يتعرض لها الرصف الاسفلتي في المناخ الحار جاف فهي استمرار لعمل نفس الميكانيكة السابقة مع كون الرصف قد تعرض مسبقا لتشققات عرضية وطولية وتم تقسيمه الى كتل كبيرة يبدأ تكون تشققات جديدة فيها في اتجاهات متعامدة على الجوانب الطويلة لهذه الكتل وبذلك تظهر التشققات الكتلية ومن ثم تزداد وتتكون التشققات التمساحية.

ومن العوامل التي تؤدي الى التدهور السريع في حالة الرصف وتساهم في تحول الاضرار الوظيفية الى اضرار انشائية احمال المرور التي تعمل على رصف متشقق لفترات طويلة نسبيا دون صيانة وبعض العوامل البيئية الاخرى مثل تراكم الرمل داخل الشقوق وتكوين فواصل

عازلة صلبة وغير قابلة للانضغاط. حيث يمنع ذلك عمليات المعالجة الذاتية التي يمكن ان تحدث نتيجة لارتفاع درجة حرارة الرصف وتأثير حركة عجلات المركبات .ويؤدي وجود الرمل في التشققات العرضية والطولية الى منع الرصف من التمدد اثناء ارتفاع درجة الحرارة وبذلك ينثني الى الأعلى مكونا ما يشبه الاعتاب المرتفعة عن مستوى سطح الرصف والتي تزداد باستمرار وتكوّن عائق في طريق مرور العجلات مسببة ازعاج في القيادة على الطريق وقد تصل الى درجة الخطر ، وذلك كما هو موضح في الشكل 5.3.

شكل 5.3: ترسب الرمل في الشقوق وتكون الحواف المرتفعة (الاعتاب)

4. طريقة "سوبربيف" لتصميم الخلطة الأسفلتية

4. طريقة "سوبربيف" لتصميم الخلطة الأسفلتية
Superpave Method for Asphalt Mix Design

1.4 عام

كما سبقت الاشارة فان الخلطة الأسفلتية الساخنة تعد من أهم المواد المكونة للطبقات السطحية في الرصف المرن. والخلطات الأسفلتية تتنوع وتتعدد وفقا للمكونات النسبية لكل من الركام والاسفلت وكيفية اعداد تلك الخلطات وخواصها الميكانيكية والهندسية.

ومن اهم انواع الخلطات الاسفلتية واكثرها شيوعا في تكوين الطبقات السطحية للرصف المرن ما يعرف بالخرسانة الاسفلتية Asphalt Concrete والخلطة الاسفلتية الساخنة Hot Asphalt Mix (HMA) وغيرها.

بشكل عام تتكون الخلطة الاسفلتية من خليط من الركام المدرج Graded Aggregate المتماسك مع بعضه بواسطة المادة الرابطة الأسفلتية Asphalt Binder ، والتي تغلف حبيبات الركام بواسطة اغشية رقيقة من الاسفلت .

وفي حين يكون الركام جسم الخلطة ويوفر الثبات اللازم لها بمقاومته لقوى الضغط ويتحمل أوزان العجلات المطبقة فوق سطح الطريق ، فان الاسفلت يساهم في ثبات الخلطة بتوفير الالتصاق بين حبيبات الركام ويوفر لها الحماية بعزلها عن تأثير العوامل الخارجية وخاصة الرطوبة ، ويعطي الخلطة خاصية المرونة بان يسمح لحبيبات الركام بالحركة البينية وإعادة توجيه الحبيبات وتداخلها دون انفصال لمكونات الخلطة وذلك لما يتمتع به الأسفلت من مرونة ومقاومة لقوى الشد والقص التي تتعرض لها الخلطة.

ويتأثر أداء الخلطة بخواص المواد الداخلة كلا علي حدة ، و كذلك بخواص الخلطة نتيجة ارتباطها كنظام واحد. ويعتبر سلوك الخلطة الاسفلتية واداءها دالة في سلوك كل من الركام وسلوك المادة الرابطة وسلوك الخلطة المركبة.

لا يمكن حصر أنواع واصناف الركام المستخدم في إنتاج الخلطة الأسفلتية ؛ ويعتمد ذلك عادة على مصادر الركام المحلي المتوفرة في موقع المشروع. فالركام الطبيعي يتم الحصول عليه ببساطة من رواسب الوديان و الرواسب النهرية ومن تكسير الصخور الطبيعية ، إضافة لإمكانية استعمال بعض الأنواع الأخرى من الركام مثل الركام المعالج و الركام الصناعي.

وأي كان نوع الركام المستخدم في الخلطة الأسفلتية ، فانه يجب أن يوفر مقاومة قص كافية shear strength لمقاومة الأحمال المتكررة.

ومن اجل ضمان خليط ركامي قوي للخلطة الأسفلتية الساخنة ، يتم تحديد خواص الركام التي تعزز الاحتكاك الداخلي ، و هــذا يمكن تحقيقه من خلال تحديد نسبة معينة من الوجوه المكسرة crushed faces للجزء الخشن من الخليط الركامي ، و كذلك يتم تحديد كمية الرمل الطبيعي للجزء الناعم من خليط الركام ، لأن الرمال الطبيعية تكون دائرية مع احتكاك داخلي ضعيف.

أما بالنسبة لسلوك المادة الأسفلتية الرابطة فهناك ثلاثة خصائص مهمة بالنسبة لأداء الخلطات الأسفلتية ؛ وهي التأثر بالحرارة واللزوجة – المرونة visco-elasticity والتقادم أو التصلب aging and hadening.

من حيث سلوك الخلطة الأسفلتية فأن تطبيق حمل العجلة علي طبقات الرصف يؤدي الى نوعين اساسيين من الاجهاد في سطح الرصف هما:

- إجهاد الضغط الرأسي vertical compressive stress خلال الطبقة الأسفلتية.
- إجهاد الشد الأفقي horizontal tensile stress أسفل الطبقة الأسفلتية.

وبذلك يجب أن تمتلك الخلطة الأسفلتية القوة و المرونة اللازمتين لمقاومة أجهادات الضغط ومنع التشوهات الدائمة أسفل الطبقة الأسفلتية ، و في نفس الوقت يجب أن تمتلك المواد الداخلة في الخلطة الأسفلتية قوة الشد الكافية لتحمل أجهادات الشد عند أسفل الطبقة الأسفلتية وكذلك يجب أن تمتلك مرونة كافية لتحمل تكرار الأحمال دون حدوث تشققات. كما يجب أيضا أن تقاوم الأجهادات الحرارية التي تحدث بسبب التغيرات اليومية والفصلية في درجات الحرارة.

علي الرغم من أهمية دراسة وتحديد خواص كل مادة من مواد الخلطة الأسفلتية الا ان سلوك الخلطة الأسفلتية يجب تقويمه بدراسة الركام و الأسفلت عندما يعملان معا (الخلطة الأسفلتية).

وقد اجتهدت مختلف الطرق المعروفة سواء السابقة او الحديثة لتصميم الخلطة الاسفلتية في تحقيق ذلك من خلال الخلطات التجريبية والاختبارات والمعايير التي وضعتها لهذا الغرض.

في الاجزاء التالية سوف نتعرض لمناقشة تلك الطرق ونبين الاسباب والمبررات التي ادت الى تطوير طريقة "سوبربيف" وكيف تمكنت من حل هذه المشكلة.

2.4 طرق تصميم الخلطة الأسفلتية

الغرض من تصميم الخلطة الأسفلتية هو الحصول على خليط اقتصادي من الركام والمادة الرابطة. وأثناء عملية التصميم يأخذ المصمم في اعتباره كلا من التكلفة الأولية وتكلفة دورة الحياة للمشروع ويشمل ذلك تكلفة الأعمال المستقبلية أثناء فترة الخدمة مثل إضافة طبقات جديدة للرصف والصيانة الدورية وتكلفة التشغيل الناتجة عن تلك الأعمال ..الخ. حيث ان الاهتمام بالتكلفة المبدئية فقط قد ينتج عنه تكلفة أعلى لدورة الحياة للرصف.

وأيا كانت طريقة التصميم المستخدمة فأن الخلطة الناتجة والتي تستخدم في رصف الطريق يجب أن تحقق عدد من المتطلبات منها:

- أن يكون في الخلطة كمية كافية من الأسفلت لضمان رصف مقاوم ومدموك جيدا ، بحيث تقوم المادة الرابطة بتغليف الركام بالكامل وتوفير الربط والالتصاق المطلوب وأيضا العزل المائي.
- ثبات كاف لمواجهة متطلبات المرور دون حدوث أي إزاحة أو تشوه (تخدد).
- كمية كافية من الفراغات للسماح بقدر بسيط من الدمك الإضافي تحت تأثير أحمال المرور دون حدوث أي نزف أو فقد في الثبات. وبشكل عام يجب أن يكون حجم الفراغات قليل بما يكفي لتجنب تسرب الهواء والرطوبة إلى داخل الخلطة. وللوصول إلى هذا يتم عادة تصميم الخلطة عند نسبة فراغات هوائية 4% في المعمل وتدمك الى اقل من 7% في الموقع.
- تشغيلية workability كافية للسماح بوضع الخلطة ودمكها بشكل مناسب دون حدوث أي انفصال في مكونات الخلطة segregation.

من الناحية التاريخية تم استخدم العديد من طرق التصميم في أنحاء مختلفة من العالم. ومن طرق التصميم التي لاقت اهتماما كبيرا وشهدت تطورا مستمرا خلال القرن الماضي طريقتي مارشال Marshall و فيم Hveem. وتعتبر طريقة مارشال أكثر شهرة وانتشارا ، حيث كانت مستخدمة في معظم ادارات الطرق في الولايات الأمريكية وفي الوكالة الاتحادية للطيران لتصميم المهابط.

ظهرت طريقة مارشال في نهاية الثلاثينات من القرن الماضي بواسطة بروس مارشال Bruce Marshall من إدارة الطرق في ولاية الميسيسيبي. وقد شهدت تطورات لاحقة فيما يخص المعايير المستخدمة في تصميم الخلطات لمواكبة التغيرات الناتجة من زيادة أحمال

المرور وزيادة ضغط الاطارات المستخدمة في الشاحنات. وقد بقيت عملية التصميم بنفس الطريقة الاولى من حيث خطوات اعداد العينات واختبارها ..الخ.

ومن ايجابيات طريقة مارشال اهتمامها بالتحليل الخاص بالكثافة والفراغات والذي يسعى الى جعل الخواص الحجمية المهمة للخلطة عند افضل مستوياتها ، وذلك للحصول على خلطة اسفلتية مقاومة للتأثيرات الخارجية. ومن مزاياها ايضا ان المعدات المستخدمة تعتبر غير مكلفة وقابلة للنقل الامر الذي سهل استخدامها في عمليات مراقبة الجودة. اما عيوب طريقة مارشال فتتمثل في ان طريقة الدق المستخدمة في دمك العينات لا تحاكي الطريقة التي يتم بها تصليب الخلطة في الواقع ، كما ان المُعامل الذي يتم قياسه في اختبار القوة وهو الثبات لا يقيس مقاومة القص للخلطة الاسفلتية بشكل دقيق.

طريقة فيم لتصميم الخلطة الاسفلتية تم تطويرها في ادارة الطرق بولاية كاليفورنيا في اواسط العشرينات من القرن الماضي بواسطة فرانسيس فيم Francis Hveem ، وينحصر استخدامها في ولايات الشاطئ الغربي من اميركا. وهي تشبه طريقة مارشال من حيث الاعتبارات التصميمية ، وهي تأخذ في اعتبارها الاسفلت الممتص بواسطة الركام. وتختلف عن طريقة مارشال من حيث اسلوب الدمك للعينات حيث يتم استخدام آلة دمك تعمل باسلوب العجن. ويتم تحديد الثبات بواسطة اختبار وجهاز خاص يعرف بجهاز فيم للثبات Hveem Stabilometer ويتم فيه قياس التشكل الافقي تحت تأثير الحمل المحوري. ويتم في هذا الاختبار تحميل العينة في اتجاه محور الدمك. وتستخدم المشاهدة والقياسات الحجمية ونتائج اختبار الثبات في اختيار المحتوى الامثل للاسفلت.

وتتميز طريق فيم بميزتين مهمتين هما: طريقة الدمك بالعجن والتي يعتقد معظم المهندسين بانها تحاكي اسلوب تصليب الخلطة في الواقع والقياس المباشر لمركب الاحتكاك الداخلي لمقاومة القص ، وهو يقيس قدرة العينة على مقاومة الازاحة الجانبية الناتجة من تطبيق حمل رأسي. اما عيوب طريقة فيم فهي: ارتفاع تكلفة آلة الاختبار وجهاز الدمك وان قياسات الثبات تتم لمدى محدود جدا.

تم في العام 1995 تقديم طريقة "سوبربيف" Superpave ، وقد جاءت امتداداً للمعرفة المكتسبة من الطريقتين السابقتين. ولعل الفروق الأساسية بين الطرق الثلاثة تتمثل في الآلات المستخدمة في دمك العينات واختبارات القوة المستخدمة في تقويم الخلطة.

وقد وضعت خطة طموحة تهدف الى تعميم استخدام طريقة سوبربيف في كافة الولايات الاميركية لتصميم الخلطات الاسفلتية وضبط الجودة في مشاريع الطرق ، والتي ظهرت الى حيز الوجود مع بداية القرن الحادي والعشرين.

3.4 طريقة "سوبربيف" لتصميم الخلطة الأسفلتية Superpave

1.3.4 عام

يعطي هذا الجزء فكرة عامة عن طريقة سوبربيف لتصميم الخلطات الاسفلتية الساخنة HMA بحيث يوفر فهم عام عن الأسلوب الأساسي للتصميم بهذه الطريقة والعلاقة بين هذا الأسلوب ومواصفات الرصف. وتفاصيل الطريقة مع أمثلة لكيفية تطبيقها معطاة في المرجع رقم 7.

كان الهدف الأساسي لكافة طرق تصميم الخلطات الأسفلتية خلال الخمسين سنة الأخيرة هو إيجاد طريقة تصميم يمكنها أن تحاكي الواقع الفعلي للرصف الأسفلتي وتسمح باستخدام ركام ذو حجم اكبر ويمكنها قياس عملية الدمك وتكون قابلة للاستخدام في المختبرات الحقلية ، وان تأخذ في اعتبارها مسائل المتانة والمعايشة مثل سمك الغشاء الأسفلتي والظروف البيئية.

ويمكن القول انه في الماضي قد سمح للقالب (العينة) بتصميم الطريق. وقد استخدمت طريقتي مارشال وفيم قوالب بقطر 4 بوصات (100 مم) بينما تستخدم طريقة سوبربيف قالب بقطر 150 مم وذلك بغرض استخدام ركام ذو حجم اكبر. وبفضل امكانية مراقبة تنفيذ عملية الدمك فأنه يمكن قياس الكيفية التي يتم بها دمك الخلطة اثناء التنفيذ. كما انه يفضل الحصول على اداوات يمكن استخدامها لاغراض مراقبة الجودة. وتقدم الفقرات التالية استعراض موجز لأهم مكونات طريقة "سوبربيف".

2.3.4 لماذا طريقة الرصف فائق الأداء "سوبربيف" Superpave

بينت الأبحاث والدراسات التقويمية لطرق التصميم التقليدية المعمول بها خلال القرن الماضي في تصميم الخلطات الأسفلتية الساخنة وبشكل خاص تلك التي أجريت في الولايات المتحدة على الطريقتين التين سبق التطرق إليهما في الأجزاء السابقة من هذا التقرير (طريقة مارشال وطريقة فيم) عدم قدرة تلك الطرق على الإيفاء بمتطلبات التصميم ومراقبة الجودة للوصول إلى الرصف الأسفلتي الجيد والقادر على الأداء المطلوب في ظروف التشغيل السائدة. ومن مظاهر ذلك القصور في تلك الطرق لجوء الوكالات المعنية بهندسة الطرق إلى اعتماد خطوات تصميم معملية و نظم إضافية لزيادة دقة التصميم. حيث عملت تلك الوكالات على تطوير معايير التصميم باستمرار وإدخال العديد من التعديلات في طرق الاختبار وذلك بناء على البيانات والمعلومات التي يتم استخلاصها من مراقبة الأداء للرصف القائم.

ومن المعروف أن الأبحاث والدراسات والخبرات التي بنيت عليها تلك الطرق كانت مقتصرة على المواد و الظروف البيئية والتشغيلية السائدة في تلك المناطق التي تمت فيها الاختبارات. لذلك فأن تعميم أو تطبيق تلك النتائج في أقاليم وظروف تشغيل مختلفة لم ولن يكن مضمون النتائج ، وكثيرا ما كان يتطلب مزيدا من الاجتهادات والتحويرات ، وفي كل الأحوال لا يتم الحصول على مستويات أداء جيدة.

ومع تزايد النقد لتلك المناهج والطرق في أوساط الخبراء والمختصين في صناعة الرصف ولمواجهة التحديات المتمثلة في ضرورة التوصل إلى طرق تصميم ومناهج تنبوء تعتمد على الأداء وتضمن الحصول على رصف مستدام ، انطلقت العديد من البرامج البحثية كان أبرزها برنامج البحث الاستراتيجي للطرق في الولايات المتحدة الأمريكية (SHRP) ، والذي انطلق عام 1987 واستمر لمدة 5 سنوات بمشاركة العديد من مراكز الأبحاث والجامعات والوكالات المسئولة عن الطرق. كان الهدف الرئيسي للبرنامج تطوير نظام جديد شامل لتصميم الرصف الأسفلتي ومراقبة الجودة وشمل ذلك دراسة المواد والظروف البيئية والمرور وطرق الاختبار ومناهج التصميم لكل من قطاعات الرصف والخلطات الأسفلتية.

وتضمن الناتج النهائي لهذا البرنامج نظام جديد لتصميم الرصف ، عرف **بالرصف فائق الأداء** **Su**perior **Per**formance **Pave**ments ، اختصر في مصطلح "**سوبربيف**" **Superpave**[7]. وهو في الحقيقة نظام كامل لاختبار واختيار المواد الأسفلتية و الركام و كذلك تطوير طريقة تصميم الخلطة الأسفلتية إضافة لنماذج للتحليل والتنبؤ بأداء الرصف.

يتدرج التحليل و التصميم في نظام "سوبربيف" في ثلاثة مستويات. وتتطور هذه المستويات باعتماد إجراءات التنبوء بالأداء للخلطة والتوسع في جمع المعلومات وإجراء الاختبارات اللازمة لذلك ، ويرتبط هذا التدرج بزيادة الحمل المروري المتوقع ان يستخدم الرصف . يبين الجدول 1.4 ملخص لتصنيف ومتطلبات المستويات الثلاثة. وهذه المستويات الثلاثة هي:

1. المستوى الأول Level 1 : عبارة عن نظام محسن لاختيار المواد الداخلة في الخلطة الأسفلتية و تصميم الخلطة بناء على تحليل علاقات الحجم – الكتلة ويعرف بالتصميم الحجمي Volumetric Design.
2. المستوى الثاني Level 2 : يستخدم التصميم الحجمي للخلطة من المستوى الاول كنقطة انطلاق و يتضمن مجموعة من اختبارات الأداء Performance Testing .
3. المستوى الثالث Level 3 : يتضمن المستويين السابقين بالاضافة الى اختبارات الاداء المحسنة Enhanced Performance Testing ، وهي مجموعة متقدمة من الاختبارات و النتائج المكثفة للوصول إلي مستوى تقدير أكثر واقعية لأداء الرصف.

جدول 1.4 : مستويات التصميم بطريقة سوبربيف لتصميم الخلطات الاسفلتية

حمل المرور Traffic, ESALs	مستوى التصميم Design Level	متطلبات الاختبار Testing Requirements
ESALs $\leq 10^6$	1	التصميم الحجمي
$10^6 <$ ESALs $\leq$	2	التصميم الحجمي + اختبارات التنبؤ بالاداء
ESALs $> 10^6$	3	التصميم الحجمي + اختبارات محسنة للتنبؤ بالاداء

وبناء على هذا التدرج في مستويات التصميم يمكن تلخيص خطوات التصيميم بطريقة "سوبربيف" في التالي:

1. اختيار المواد (المادة الرابطة والركام)
2. إعداد عينات تجريبية لتحديد نسبة المادة الرابطة
3. إجراء التحليل الحجمي للخلطة الأسفلتية (مستوى التصميم رقم 1)
4. إجراء اختبارات الأداء لاعتماد التصميم (المستويين رقم 2 و3)

وفيما يلي استعراض موجز لهذه الخطوات.

3.3.4 اختيار المواد Material Selection

تنهج طريقة "سوبربيف" اسلوب جديد كليا في اختيار واختبار وتوصيف المادة الرابطة الاسفلتية. في حين انه لم يتم تطوير اية اختبارات جديدة للركام فان الطرق الحالية لاختيار وتوصيف الركام قد تم تحسينها وتضمينها في نظام "سوبربيف" لتصميم الخلطة الاسفلتية ، وقد تأسست متطلبات "سوبربيف" للخلطات الاسفلتية على المعايير المستخدمة سابقا.

والسمة الرئيسة لنظام سوبربيف هي انه نظام مواصفات يعتمد علي الأداء ، حيث الاختبارات لها علاقة مباشرة بالأداء الحقلي. وفي هذا الجزء سوف نستعرض بشكل عام ومختصر الكيفية التي يتم بها اختيار المواد الداخلة في تركيب الخلطة الاسفلتية ، اما التفاصيل والتحليلات الاكثر عمقا فيمكن الاطلاع عليها في دليل "سوبربيف" لتصميم الخلطات الاسفلتية [7].

1.3.3.4 المادة الأسفلتية الرابطة Asphalt Binder (PG)

تعتمد طريقة سوبربيف مصطلح "**المادة الرابطة**" بدلا من الأسفلت ، ويشمل ذلك الأسفلت الصلب Asphalt Cement أو احد أنواع الأسفلت المعدل Modified Asphalt. وتعتبر مواصفات المادة الرابطة في هذه الطريقة فريدة من حيث أنها معتمدة علي الأداء ، إذ أن المادة الرابطة الأسفلتية يتم اختيارها علي أساس العامل البيئي (المناخ) climate و المرور traffic المتوقع أن تخدمه.

تقوم اختبارات المادة الرابطة الأسفلتية في هذا النظام بتقويم الخواص الطبيعية و التي يمكن أن تكون ذات علاقة مباشرة بالأداء الحقلي وذلك باستخدام المبادئ الهندسية. كما أن اختبارات المادة الرابطة تجرى عند درجات الحرارة الفعلية التي تواجهها طبقات الرصف أثناء الخدمة. والمبدأ الأساس هنا هو ثبات متطلبات الخواص الطبيعية لكل درجات (أصناف) المواد الرابطة ضمن مدى درجات الحرارة المتوقع أن تتعرض له أثناء الخدمة في موقع المشروع ، ويجب أن تحقق المادة الرابطة تلك المتطلبات. ويعد هذا المبدأ مهم جداً ، إذ أن أداء الأسفلت يتأثر بدرجات الحرارة المختلفة ، ودرجة اللزوجة التي تكون فيها المادة الرابطة ؛ ذلك ان درجة الحرارة تعتبر من أهم العوامل التي تؤثر في اداء الأسفلت. حيث أن الأسفلت يتصلب (ترتفع لزوجته) عند درجات الحرارة المنخفضة نسبيا ، كذلك فان سلوك الأسفلت يتأثر بزمن التحميل ، فيزداد "معامل الصلبية" Stiffness Modulus للأسفلت في حالة الحمل المطبق لفترة زمنية قصيرة ويقل بزيادة زمن التحميل. ويعود ذلك لتفسير ما يعرف بالسلوك "المرن– لزج" Visco-elastic behaviour للأسفلت ، فعند درجات الحرارة العالية التي تتجاوز 100°م يتصرف الأسفلت كمادة لزجة ، و عند درجات الحرارة المنخفضة (الأقل من 0°م) يتصرف الأسفلت كمادة مرنة (شبه صلبة) ، أما في درجات الحرارة المعتدلة فيكون سلوك الأسفلت وسطاً بين الاثنين "مرن–لزج" visco-elastic.

ومن الاعتبارات المهمة الاخرى التي سعت "سوبربيف" الى الاهتمام بها في اختيار درجة المادة الرابطة في تحديد الحد الاعلى لدرجة الحرارة التي سوف يتعرض لها الاسفلت اثناء الخدمة هي حماية الاسفلت من عمليات التصلب والتقادم التي يمكن ان يتعرض لها بسبب ارتفاع درجات الحرارة عن طريق عمليتي التبخير evaporation والاكسدة oxidation. حيث ان تلك العمليات الفيزيائية والكميائية ينتج عنها حدوث تغيرات في تركيب للمادة الأسفلتية يؤدي إلي زيادة تصلب الأسفلت.

إن تصنيف المواد الرابطة في طريقة الرصف الممتاز يعتمد علي درجتي الحرارة العظمى والصغرى التين تتحملها المادة الرابطة ، فمثلا المادة الرابطة التي تصنف (PG 64-22) يعني

ذلك أن المادة الرابطة يجب أن تحقق متطلبات الخواص الطبيعية عند درجة الحرارة العالية والتي يجب أن تكون علي الأقل (64) درجة مئوية ، و تحقق متطلبات الخواص الطبيعية عند درجة الحرارة المنخفضة و التي يجب أن تكون (-22) درجة مئوية على الأقل.

وهناك معلومات ضرورية نحتاج إليها لاختيار المادة الرابطة الملائمة لموقع معين طبقا لدرجات الحرارة العالية و المنخفضة ، و بناء على ذلك توجد ثلاث طرق لتحديد تدرج المادة الرابطة المطلوبة و هي:

1. الاقليم الجغرافي (Geographic Area): حيث يمكن للجهات المعنية بتصميم وتنفيذ الطرق أن تضع خريطة تبين عليها تدرجات المادة الرابطة ليتم استعمالها من قبل المصمم وذلك بناء علي الظروف البيئية والموقع الجغرافي لكل منطقة.
2. درجة حرارة الرصف (Pavement Temperature): في هذه الحالة يقوم المصمم بتحديد درجة حرارة الرصف التصميمية واستخدامها في اختيار المادة الرابطة المناسبة.
3. درجة حرارة الهواء (Air Temperature): في هذه الطريقة يقوم المصمم بتحديد درجات حرارة الهواء التصميمية و التي تحول إلي درجة حرارة الرصف التصميمية باستخدام نماذج رياضية خاصة للتنبوء بدرجة حرارة الرصف.

والى جانب العامل المناخي المتمثل في درجة الحرارة تأخذ طريقة "سوبربيف" في اعتبارها عند تحديد صنف المادة الرابطة (PG) عامل ضمان يعرف بالاعتمادية Reliability وايضا الحمل المروري المتوقع ان يستخدم الطريق والسرعة التصميمية لقطاع الرصف (طريق سريع او تقاطع طرق او محطة وقوف ..الخ.).

2.3.3.4 الركام Aggregates

تضمن البرنامج الاستراتيجي لأبحاث الطرق SHRP إجراء مسح شامل ومراجعة لتحديد الخواص المهمة للركام والتي يجب أخذها في الاعتبار أثناء تصميم الخلطة الأسفلتية. وكان هناك اتفاق عام حول الدور المهم الذي تلعبه خواص الركام في التغلب على مشكلة التشكل الدائم في الرصف Permanent Deformation ، اما بالنسبة للتشققات الحرارية وتشققات الكلال فإنها اقل تأثراً بخصائص الركام. واعتماداً على ذلك حدد خبراء SHRP مجموعتين من الخواص للركام التي يتطلب استخدامها في طريقة "سوبربيف" هما: خواص الإجماع

Consensus Properties وخواص المصدر Source Properties. بالاضافة الى ذلك تم تطوير طريقة جديدة لتوصيف تدرج الركام عرفت باسم " التركيب التصميمي للركام" Design Aggregate Structure.

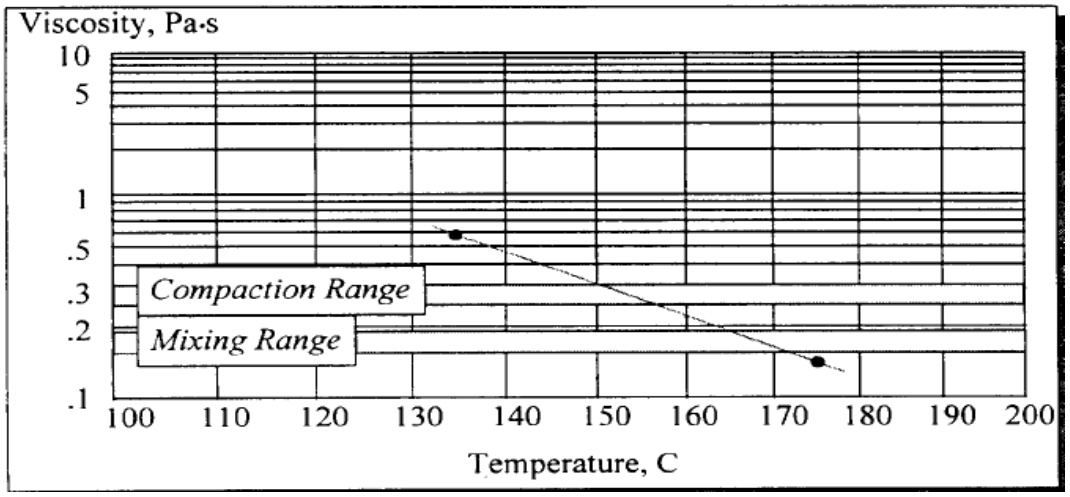
وللتعرف على خواص الاجماع وخواص المصدر للركام وكيفية تحديد مواصفات ومعايير تلك الخواص والتدرج "التركيب التصميمي للركام" يمكن مراجعة الجزء الخاص بذلك في دليل "سوبربيف" لتصميم الخلطات الاسفلتية [7].

4.3.4 إعداد العينات Specimen Preparation

يتم في طريقة سوبربيف تحضير نوعين من العينات ، الاول بارتفاع 115 مم لغرض تصميم الخلطة Mix Design وتقدر الكتلة اللازمة لهذا النوع بحوالي 4700 جم. والثاني بارتفاع 95 مم لغرض اختبار حساسية الخلطة للرطوبة Moisture Sensitivity وتقدر كتلتها بحوالي 3500 جم. وتوصي طريقة سوبربيف ايضا بتحضير عينتين بدون دمك لغرض تحديد الكثافة النوعية النظرية القصوى Maximum Theoretical Specific Gravity (Rice).

ولتحديد درجتي حرارة الخلط والدمك فانه من الضروري اعداد مخطط درجة الحرارة واللزوجة للمادة الرابطة (شكل 1.4).

ويتم ذلك بتحديد اللزوجة عند درجتين مختلفتين للحرارة ، عادة ما تكونان 135°م و 175°م.



شكل 1.4: مخطط درجة الحرارة واللزوجة للمادة الرابطة الاسفلتية

وبعد ذلك يتم تحديد قيمتي اللزوجة هاتين على الرسم ويتم رسم خط مستقيم بينهما.

مدى اللزوجة المفضل للخلط بين 0.19 Pa.s. – 0.15 وللدمك 0.31 Pa.s. – 0.25. ومن الرسم يمكن اختيار درجات حرارة الخلط والدمك ضمن مدى اللزوجة المشار اليه. ويمكن الحصول على هذه المعلومات من مصنعي المادة الرابطة او ايجاده ضمن عملية تصميم الخلطة.

تبدأ عملية الخلط بصب المادة الرابطة السائلة والركام مسبق التسخين في اناء خاص بالخلط ، تكون درجة الحرارة النمطية في حدود 160 - 175°م (ويعتمد ذلك على نوع المادة الرابطة المستخدم). يوضع بعدها الاناء في الخلاط الآلي ويتم الخلط حتى تتم تغطية الركام بالمادة الرابطة بشكل جيد. وقد بينت سنوات طويلة من الخبرة ضرورة استخدام مادة رابطة باقل سيولة ممكنة اثناء الخلط. وبذلك حددت طريقة سوبربيف لزوجة الاسفلت اثناء علمية الخلط لتكون 0.170 Pa.s.

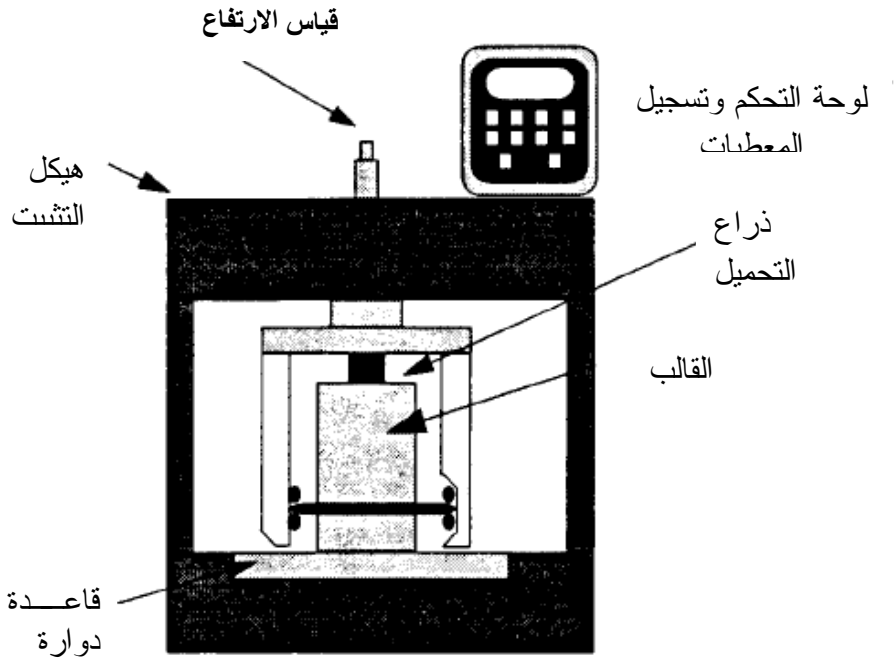
وبعد خلط الركام والاسفلت يتم تعريض الخلطة لما يعرف بالتقادم قصير المدى ؛ ويعني ذلك حفظ الخلطة في الفرن عند درجة حرارة 135°م ، بوضع الخليط في اناء مسطح بحيث يتوزع بمعدل 21كج/م^2 (وبينت الابحاث بانه حتى 50 كج/ م^2 يكون مقبول) وذلك لمدة ساعتين او اربع ساعات. وتستخدم مدة 4 ساعات في الحالات التي يبلغ فيها معدل امتصاص الركام للماء 2% او اكثر. ويعبر التقادم قصير المدى عن التقادم الذي يحدث خلال عمليتي تصنيع ووضع الخلطة الاسفلتية. كما أن التقادم قصير المدى يوفر فرصة مناسبة للركام لامتصاص المادة الرابطة ويساعد في تجنب الاختلافات التي يمكن ان تنتج في حسابات الاحجام ، حيث ان معظم القيم تعتمد على الاحجام التي تتغير بتغير بكمية (حجم) الاسفلت الممتص. كما ان التقادم يستخدم لمحاكاة ما يحدث في مصنع الخلطة الاسفلتية اثناء عمليات الخلط والتخزين وكذلك عمليات وضع ودمك الخلطة في الموقع.

بعد عملية التقادم قصير المدى تبدأ عملية الدمك بوضع ورقة عزل في اسفل القالب وتثبيت القمع فوق القالب ووضع الخليط في القالب (يتم ذلك دفعة واحدة مع العناية لمنع أي فصل لمكونات الخلطة). يبلغ قطر القالب 150 مم ويمكن استخدام ركام ذو حجم اقصى 37.5 مم. ولا يتم في هذه الطريقة دق الخلطة بالسيخ كما هو الحال في طريقة مارشال القديمة. ويجب اتمام العملية بالسرعة الممكنة لتجنب فقد الحرارة. توضع ورقة على سطح العينة وينقل القالب الى آلة الدمك وتبدأ عملية الدمك. وتوجد انواع عديدة من الآت الدمك المتوافقة مع طريقة سوبربيف في السوق وجميعها تعطي نتائج متقاربة.

تعرف آلة سوبربيف للدمك بآلة الدمك بالتدويم Gyratory Compactor وتتكون كما هو موضح في الشكل 2.4 من الاجزاء الرئيسة التالية:

1. هيكل معدني ثابت Reaction Frame
2. قاعدة دوارة Rotating Base
3. هيكل لتثبيت القالب قابل للتمييل Tilt Bar
4. القالب M0uld
5. ذراع التحميل Loading Ram
6. اداة قياس ارتفاع العينة Height Measurment
7. لوحة التحكم وتسجيل النتائج Control and Data Acquisition Panel.

ومن الناحية الفنية يتم دمك العينة (انضغاطها) تحت تأثير قوة رأسية (محورية) Axial وقوة قص Shearing. يبلغ الضغط الرأسي المطبق على سطح العينة 600 KPa وتبلغ سرعة دوران القاعدة 33 دورة في الدقيقة بزاوية ميل للقالب 1.25°.



شكل 2.4: المكونات الرئيسة لآلة سوبربيف للدمك بالتدويم

وخلال عملية الدمك يتم قياس ارتفاع العينة بشكل مستمر ، ويسمح ذلك بتقويم عملية التصلب اثناء الدمك.

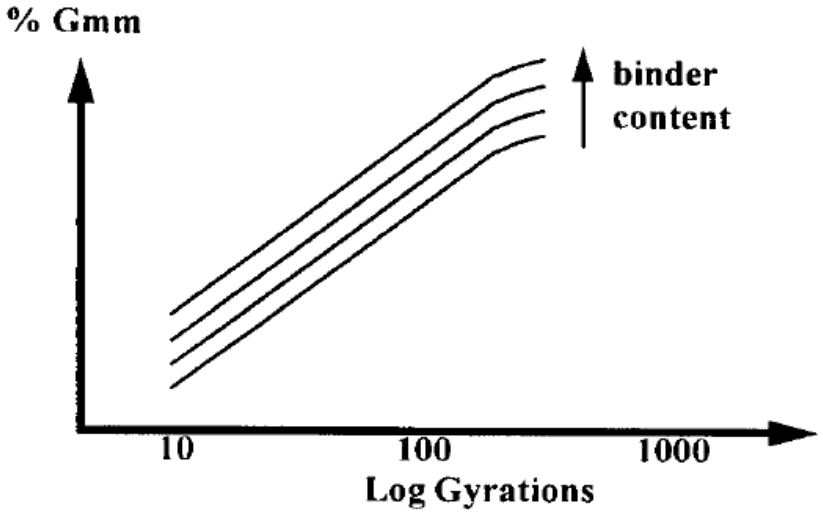
وعند الانتهاء من عملية الدمك يتم استخلاص العينة من القالب وتترك لتبرد لمدة 3 الى 5 دقائق. يتم بعدها نزع ورقة العزل وترقيم العينة لتسهيل المتابعة ، تم يجرى لها اختبار تحديد الكثافة النوعية الكلية Bulk Specific Gravity.

5.3.4 تسجيل وعرض النتائج

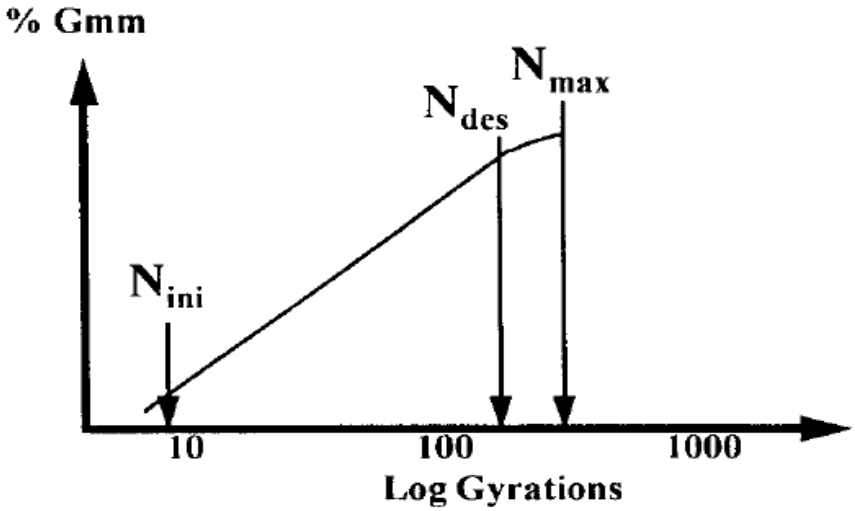
باستخدام اخر قيمة مقاسة للكثافة النوعية للعينة في آلة الدمك والتغير المسجل في ارتفاع العينة خلال عملية الدمك يمكن حساب التغير في الكثافة مع عدد الدورات ($\%\ G_{mm}$). وعادة ما يتم رسم تلك العلاقة بمقياس رسم نصف لوغارتمي كما هو مبين في شكل 3.4 .

وحيث ان الحسابات الاولية للكثافة تتم بافتراض السطح الخارجي العينة على انه اسطوانة ملساء يجري فيما بعد تصحيحها بناء على القيمة المقاسة للكثافة النوعية.

هناك ثلاثة نقاط مهمة على المنحنى الناتج من الدمك بآلة التدويم يتم تحليلها في طريقة "سوبربيف" هي العدد المبدئي والعدد التصميمي والعدد الاقصى للدورات N_{ini} , N_{des} & N_{max} وذلك كما هو مبين في شكل 4.4 . وتعود اهمية القيمة المبدئية لعدد الدورات N_{ini} الى انه يفضل عدم تحضير خلطات يتم دمكها بسهولة كبيرة. اما العدد الاقصى N_{max} فهو لتجنب انتاج خلطات يمكن ان



شكل 3.4: رسم العلاقة بين درجة الدمك وعدد دورات التدويم



شكل 4.4: عدد دورات التدويم المبدئية والتصميمية والقصوى

يستمر دمكها تحت تأثير احمال المرور. في البداية يتم تحديد عدد الدورات التصميمي N_{des} بناء على الظروف المناخية (متوسط درجة حرارة الجو التصميمية) ومستوى احمال المرور .

تم تحسب كل من N_{ini} & N_{max} باستخدام العلاقتين:

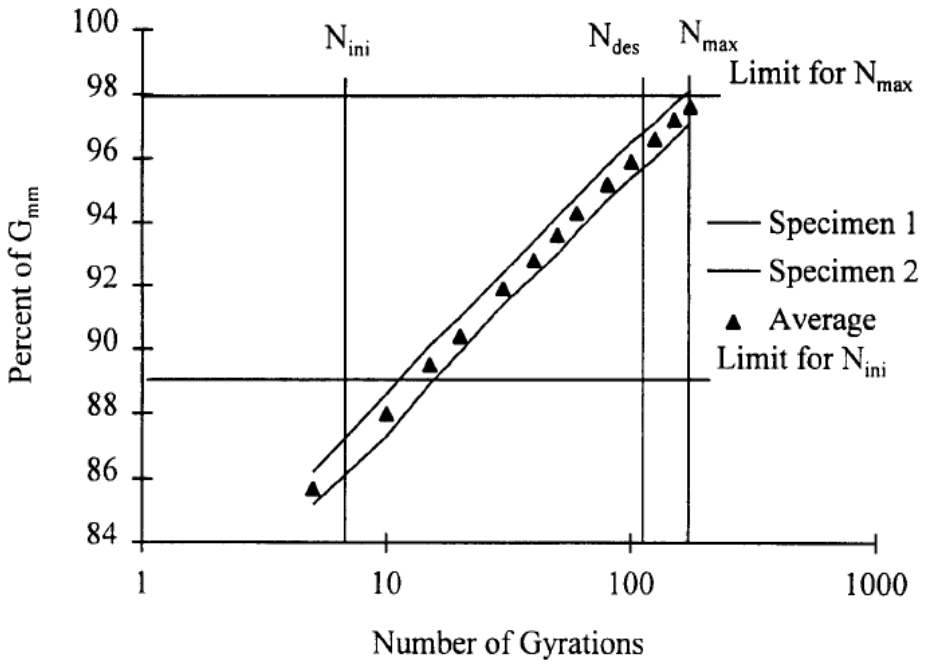
$$\text{Log } N_{max} = 1.10 \text{ Log } N_{des}$$

$$\text{Log } N_{ini} = 0.45 \text{ Log } N_{des}$$

وبما ان عملية الدمك باستخدام آلة سوبربيف للدمك بالتدويم تعتبر متكررة جدا ، يتم استخدام عينتين لكل خليط او لكل نسبة من المادة الرابطة يراد تقويمها. ويتم عرض النتائج بالصورة المبينة في شكل 5.4.

6.3.4 تحليل نتائج التصميم بطريق سوبربيف

بالانتهاء من عملية الدمك تبدأ عملية تحليل النتائج المتحصل عليها لتحديد المحتوى الامثل للاسفلت. وتكون المعطيات التالية موجودة او يتم حسابها لاتمام عملية التصميم وفق طريقة سوبربيف:



شكل 3.4: عدد دورات التدويم المبدئيه والتصميميه والقصوى

- ارتفاعات العينة
- الخصائص الحجمية للخلطة
  - الفراغات الهوائية (AV)
  - الفراغات في الركام المعدني (VMA)
  - الفراغات المملؤة بالاسفلت (VFA)
  - خصائص الكثافة للخلطة
- نسبة الغبار
- حساسية الخلطة للرطوبة

بمعلومية كتلة العينة وحجم العينة عند كل نقطة خلال عملية الدمك فأنه من الممكن حساب الكثافة النوعية الكلية للعينات (Bulk Specific Gravity) لكل نقطة على المنحنى.

$$G_{mb}\ (\text{estimated}) = W_m / (g_m.V_{mx})$$

حيث:

W_m = كتلة العينة (جم)

V_{mx} = حجم قالب الدمك (سم^3)

g_w = كثافة الماء (جم/سم^3)

وفي هذه الحسابات يفترض ان العينة عبارة عن اسطوانة ذات سطح خارجي أملس. وبسبب عدم انتظام السطح فإن حجم العينة يكون اقل قليلا من حجم الاسطوانة ، وبذلك فأنه من الضروري تحديد عامل تصحيح لكل عينة وتطبيقه لتصحيح القيم المحسوبة (التقديرية).

تستخدم الكثافة النوعية الكلية الحقيقية في تحديد عامل التصحيح (Correction Factor (C.

$$C = G_{mb} \text{ (measured)} / G_{mb} \text{ (estimated)}$$

$$\%G_{mm} = G_{mb} \text{ (estimated) } C / G_{mm} \text{ (measured)}$$

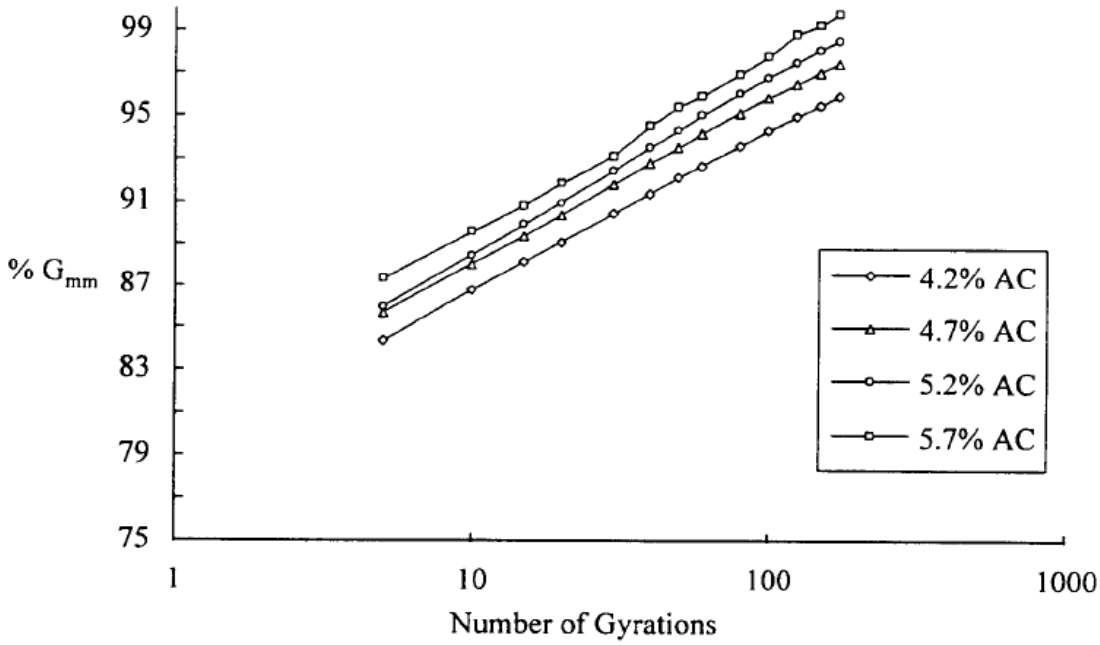
الخطوة التالية هي تحديد خواص الخلطة عند N_{design} ومقارنتها بالمعايير:

Air voids	4% (or 96%G_{mm})	الفراغات الهوائية
VMA	انظر الجدول	الفراغات في الركام المعدني
VFA	انظر الجدول	الفراغات المملؤة بالاسفلت
$\%G_{mm}$ @N_{ini}	<89%	معدل الدمك عند عدد الدورات المبدئية
$\%G_{mm}$ @N_{max}	<98%	معدل الدمك عند عدد الدورات القصوى
Dust proportion	0.6 – 1.2	نسبة الغبار

وتتضمن عملية التصميم بطريقة سوبربيف اعداد خلطات بمحتويات اسفلت متغيرة ويتم اختيار المحتوى الاسفلت التصميمي عند 96% من الكثافة النوعية القصوى (شكل 6.4). ويتم عند هذا المحتوى التصميمي التأكد من بقية المعايير.

وفي المرحلة الاخيرة من التصميم الحجمي (المستوى التصميمي رقم 1) يتم التأكد من حساسية الخلطة للرطوبة باجراء اختبار خاص بذلك (AASHTO T283). وفي المستويين 2 و3 يضاف

الى التصميم الحجمي اجراء اختبارات الاداء وفق الطرق القياسية المبينة في دليل "سوبربيف" لتصميم الخلطات الاسفلتية [7].



شكل 6.4: عدد دورات التدويم المبدئية والتصميمية والقصوى

5. المؤشرات المناخية

5. المؤشرات المناخية

1.5 مفهوم المناخ وأهميته في التعبير عن العوامل البيئية

للبيئة بشكل عام والمناخ بشكل خاص تأثير مهم على سلوك وأداء الرصف الأسفلتي. حيث أن الرصف الأسفلتي يجب أن يصمم وينشأ لمواجهة التأثيرات البيئية السائدة في المنطقة الواقع بها الطريق. ويمكن التعبير عن التأثيرات البيئية بمعطيات المناخ و طبيعة الأرض والموقع الجغرافي للإقليم. وتأتي في مقدمة المؤثرات البيئية درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح والإشعاع الشمسي والأمطار و المياه الجوفية. وبالنظر لطبيعة المواد المكون منها الرصف الأسفلتي ، وبسبب تعرضه بشكل مباشر ومستمر للعوامل الطبيعية فانه سوف يكون معرضا للعديد من التغيرات والتحولات في تركيبه وخواصه الطبيعية والكيميائية والتي سوف تؤدي بدورها لتغيرات أخرى في سلوك وأداء الرصف الأسفلتي.

وبناء على مستوى التصميم والمواصفات الفنية للمواد المستخدمة في الرصف فان تلك التغيرات والتحولات في خصائص وسلوك الرصف قد تكون مقبولة ومتوقعة وبالتالي لن تؤثر على أداءه في المدى الطويل أو تكون كبيرة وغير محسوبة وبالتالي تؤدي إلى تضرر الرصف. ولضمان تصميم ناجح لا بد من الحصول على معلومات صحيحة وكافية عن العوامل البيئية الداخلة في معادلة التصميم. وحيث أن المعلومات البيئية والمناخية تعتمد على تصنيف المناخ والموقع الجغرافي للإقليم فأن دراسة المناخ والتعرف على الخصائص والعوامل السائدة في منطقة التصميم تعتبر من الأمور الأساسية في هذا الشأن.

المناخ Climate مصطلح عام يقصد به خصائص الأحوال الجوية المميزة لمنطقة ما والسائدة خلال فترة زمنية طويلة نسبيا (لا تقل عن 30 سنة). اما الجوWeather فهو التغيرات التي تحدث بين الساعة والأخرى وبين يوم ويوم ضمن مناخ معين.

وتكون تلك الخصائص التي تحدد مناخ معين نتيجة لتأثير عدد من العوامل الحاكمة من أهمها:

1. كثافة الإشعاع الشمسي وتغيره وفقا لدوائر العرض
2. توزيع كتلة اليابسة والماء في الاقليم
3. التيارات المائية في المحيطات
4. الرياح السائدة
5. مواقع مناطق الضغط المرتفع والضغط المنخفض

6. الحواجز الجبلية
7. الارتفاع عن مستوى سطح البحر

وتتفاعل العناصر المناخية لتنتج تنوع كبير من المناخات بحيث لا يمكن ان يشترك مكانيين على سطح الأرض في نوع واحد من المناخ. وبشكل عام فان التشابه في المناخ ضمن أقليم أو منطقة معينة يمكن من تقسيم الكرة الأرضية إلى أقاليم مناخية محددة.

ولا يمكن تحديد مناخ مكان أو أقليم معين عن طريق عنصر واحد من عناصر المناخ مثل المتوسط السنوي لدرجة الحرارة أو معدل سقوط الأمطار ، وإنما يتم ذلك بأخذ التأثير المشترك لكافة العناصر في الاعتبار ، والتي تعطي الخصائص السائدة للجو. وبالتالي فان مناخ منطقة ما يمكن أن يفهم من خلال تحليل المعطيات المناخية المتحصل عليها من أجهزة الرصد القياسية ودراسة الخرائط الجوية للمنطقة. ويتم ذلك باستخدام البيانات المجمعة لفترة زمنية لا تقل عن 30 سنة وذلك لتوفير إحصائيات حقيقية يمكن الاعتماد عليها.

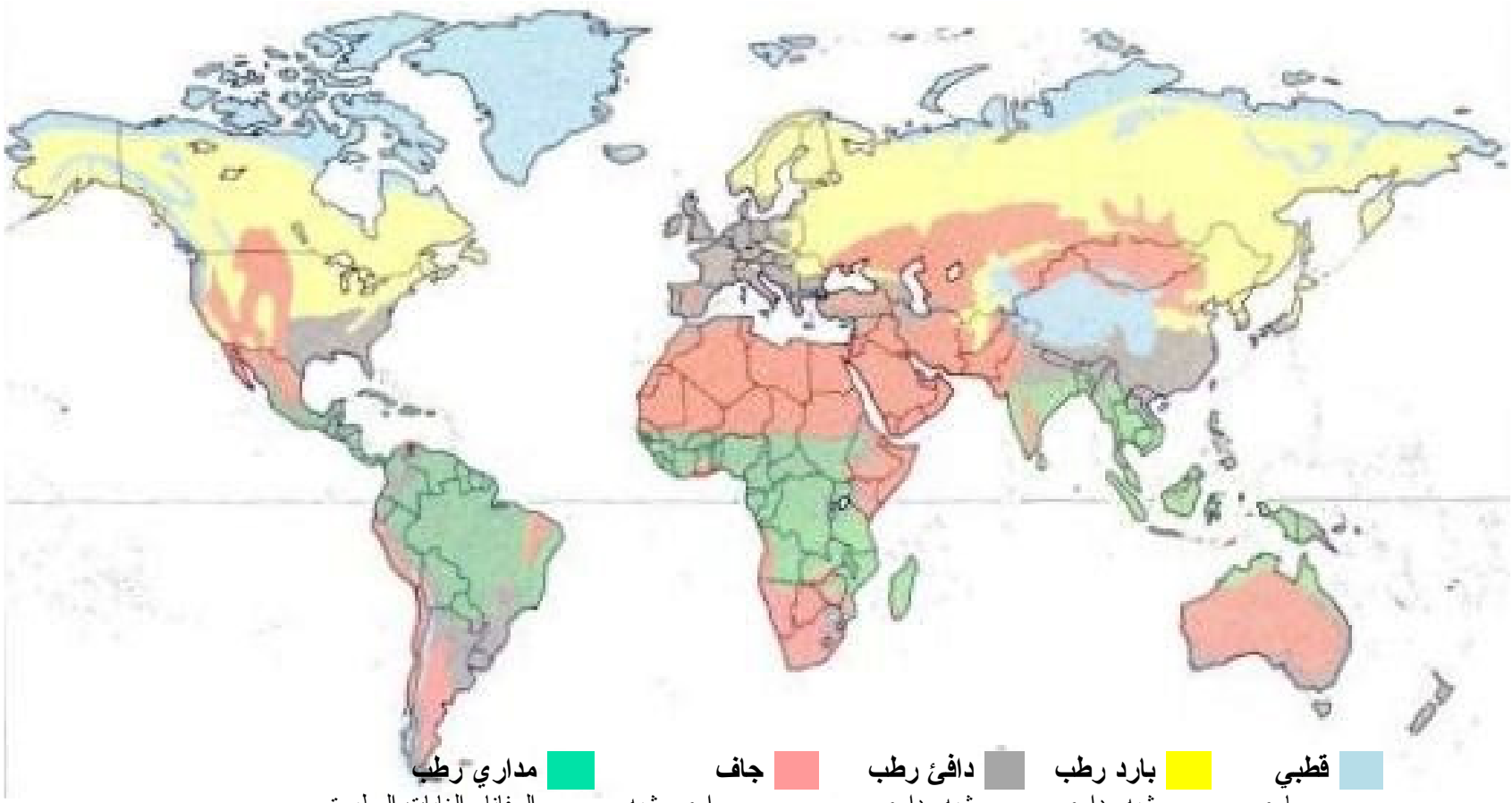
وبدراسة تأثير هذه العوامل تمكن علماء المناخ والباحثين من اقتراح عدد من التصنيفات المناخية للعالم وتطويرها في فترات زمنية مختلفة. من أشهر تلك التصنيفات ما يعرف بنظام "كوبين" Köppen والذي يستخدم المعلومات المناخية والبيولوجية في تقسيم الكرة الأرضية إلى أقاليم كبيرة متشابهة تفصل بينها حدود مناخية تعتمد على المتوسط السنوي والشهري لدرجات الحرارة ومعدلات سقوط الأمطار.

ويعطي هذا النظام الأقاليم المناخية الرئيسة حروف لاتينية كبيرة مثل .. A, B, C, متبوعة بأحرف صغيرة تمثل الأقاليم المناخية الفرعية مثل .. a, b, c, d, f, s, w. ويبين الشكل 1.5 توزيع هذه التصنيفات في قارات العالم المختلفة ويبين الجدول 1.5 قائمة بهذه التصنيفات وتعريف كل منها وخصائصه.

2.5 التصنيف المناخي لليبيا

يتسم المناخ بالاعتدال في الربيع والخريف و يكون الصيف حارا والشتاء باردا نسبيا، وهو متنوع يغلب عليه مناخ البحر المتوسط و شبه الصحراوي في الشمال، والمناخ الصحراوي في الجنوب أي بارد شتاء وحار صيفا و نادر الأمطار.

المناخ الصحراوي الحار يسود معظم البلاد، ولا يستثنى من ذلك إلا شريط ضيق يمتد على طول البحر المتوسط، وبعض البقع الجبلية الواقعة شمال البلاد أو جنوبها حيث تسقط الأمطار



شكل 1.5: نظام كوبين لتصنيف المناخ العالمي

جدول 1.5: نظام كوبين للتصنيف المناخي

الرمز			الخصائص المناخية	المعايير
3	2	1		
-	-	A	مداري رطب	متوسط درجة الحرارة لكل الشهور > 18°م
-	f		مداري مبلل (غابات مطيرة)	مبلل في كل الفصول؛ معدل سقوط الأمطار لا يقل عن 6سم في كل الشهور
-	w		مداري مبلل ورطب (السافانا)	فصل شتاء جاف ؛ معدل سقوط المطر في أكثر الشهور جفاف < 6سم وأيضا < P/25 -10 (P= المتوسط السنوي لسقوط المطر)
-	m		موسم جاف قصير ؛ معدل سقوط المطر في اكثر الشهور جفاف < 6 سم ولكنه يساوي او > P/25 – 10	
-	-	B	جاف	قدرة التبخير والنتح تزيد عن سقوط المطر. حد الجفاف / الرطوبة معرف بالعلاقات التالية: P=2t+28 عندما 70% سقوط المطر او اكثر يقع في ادفأ 6 شهور (شتاء جاف) P=2t عندما 70% سقوط المطر او اكثر يقع في ابرد 6 شهور (صيف جاف) P=2t+14 عندما لا يحتوي أي نصف للسنة على 70% او اكثر من سقوط المطر (p هي المتوسط السنوي لسقوط المطر و t المتوسط السنوي لدرجة الحرارة)
-	S		شبه جاف (سهل واسع خالي من الاشجار)	حد BS/BW تساوي ½ حد جاف/رطب
-	W		جاف (صحراوي)	-
h	-		حار جاف	المتوسط السنوي لدرجة الحرارة ≥ 18 °م
k	-		بارد جاف	المتوسط السنوي لدرجة الحرارة < 18 °م > 3- °م
-	-	C	رطب مع شتاء معتدل	المتوسط السنوي لدرجة الحرارة لابرد شهر < 18 °م
-	w		شتاء جاف	المتوسط السنوي لدرجة الحرارة لاكثر الشهور مطرا > 10 اضعاف اكثر شهور الشتاء جفاف
-	s		صيف جاف	متوسط سقوط المطر في اكثر شهور الصيف جفافا < 4 سم ؛ متوسط سقوط المطر لاكثر شهور الشتاء مطرا ≤ 3 اضعاف اكثر شهور الصيف جفافا
-	f		مبلل في كل المواسم	لا يمكن تحقيق معايير w و s
a	-		صيف طويل وساخن	متوسط الحرارة لادفأ شهر > 22 °م ؛ 4 شهور بمتوسط > 10 °م
b	-		صيف طويل وبارد	متوسط الحرارة لكل الشهور > 22 °م ؛ على الاقل 4 شهور بمتوسط > 10 °م
c	-		صيف قصير وبارد	متوسط الحرارة لكل الشهور> 22 °م ؛ 1-3 شهور بمتوسط > 10 °م
-	-	D	رطب وشتاء بارد	متوسط الحرارة لابرد شهر > 3- °م ؛ متوسط الحرارة لادفأ شهر > 10 °م
-	w		شتاء جاف	كما هو بالنسبة لـ Cw
-	s		صيف جاف	كما هو بالنسبة لـ Cs
-	f		مبلل في كل الفصول	كما هو بالنسبة لـ Cf
a	-		صيف حار وطويل	كما هو بالنسبة لـ Cfa
b	-		صيف طويل وبارد	كما هو بالنسبة لـ Cfb
c	-		صيف قصير وبارد	كما هو بالنسبة لـ Cfc
d	-		صيف قصير وبارد وشتاء قاسي	متوسط الحرارة لابرد شهر > 38 °م
-	-	E	مناخ قطبي	متوسط الحرارة لادفأ شهر > 10 °م
-	T		سهل قطبي	متوسط الحرارة لادفأ شهر > 0 °م ولكن > 10 °م
-	F		قمم جليدية	متوسط الحرارة لادفأ شهر 0 °م او اقل

كما أن موقع البلاد المدارى وشبه المدارى متوسطاً مساحات كبيرة من اليابس الإفريقي جعل درجة الحرارة لا تختلف اختلافاً كبيراً من منطقة إلى أخرى، حيث لا توجد السلاسل الجبلية الكبرى إلا في جنوب البلاد ، ولا تمر بسواحلها التيارات البحرية الباردة فهي عموماً مرتفعة إلى مرتفعة جداً في الصيف باستثناء شريط الساحل والجبل الأخضر، والجبل الغربي ومعتدلة إلى باردة في الشتاء ويزداد المدى الحراري بين الليل والنهار والصيف والشتاء مع الاتجاه نحو الجنوب بعيداً عن مؤثرات البحر المتوسط أما الرطوبة النسبية فهي مرتفعة خاصة في شهري 8 و9 على شريط الساحل بسبب هبوب الرياح الرطبة من جهة البحر ومنخفضة جداً بالمناطق الصحراوية بسبب قاحلية السطح والابتعاد عن المؤثرات البحرية.

أما فيما يخص الرياح السائدة على الساحل فيمكن تقسيمها إلى نوعين حسب فصول السنة فالاتجاه السائد في النصف الصيفي هو الشرقي يليه الجنوبي الشرقي ثم الشرقي والشمالي الغربي، أما في الشتاء فيغلب الاتجاه الشمالي والشمالي الغربي ثم الغربي والجنوبي أما في الأقاليم الجنوبية فالرياح التجارية الشمالية والشمالية الشرقية هي السائدة طوال العام.

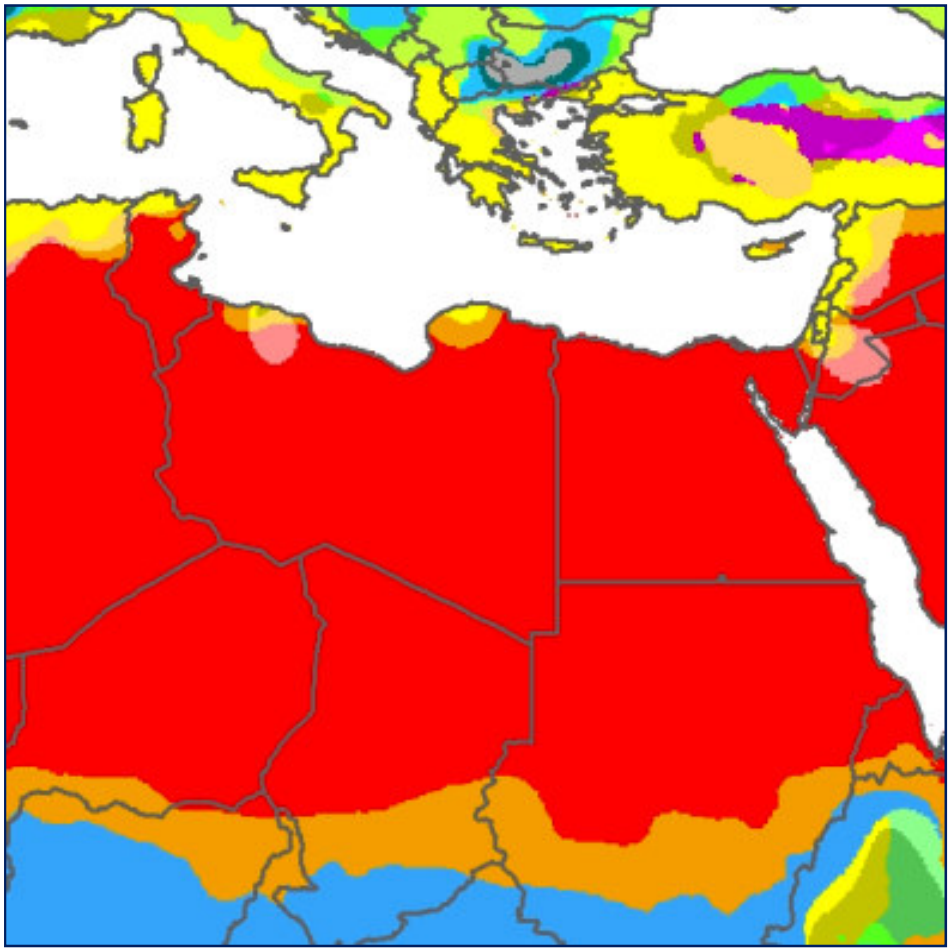
وعموماً يتصف المناخ الليبي في معظمه بمناخ الصحراء المدارية، حيث يغلب عليه الجفاف نتيجة لعدة عوامل متعلقة بطبيعة الجو والسطح والموقع الجغرافي.

يبين الشكل 1.5 موقع ليبيا ضمن التصنيفات المناخية وفقا لنظام كوبين. ومنه نلاحظ ان التصنيف المهيمن على مساحة ليبيا هو المناخ الحار الجاف (BWh) مع وجود جيوب صغيرة في الشمال الشرقي والشمال الغربي من المناخ البارد الجاف (BWk) في المناطق الجبلية كما هو موضح في الشكل 2.5 .

ويمكن ملاحظة وجود أكثر من 5 تصنيفات مناخية فرعية في ليبيا ، إلا أن المناخ المهيمن هو مناخ البحر المتوسط في الشمال والمناخ الصحراوي في الوسط والجنوب مع وجود مناطق انتقالية يمكن تسميتها مناطق المناخ شبه الصحراوي.

3.5 سجلات المعطيات المناخية

كما سبقت الإشارة فان التصنيف المناخي يعتمد على دراسة معطيات الرصد الجوي للمنطقة لمدة زمنية طويلة نسبيا (لا تقل عن 30 سنة). وقد اشتملت هذه المرحلة من الدراسة على جمع وتحليل البيانات المتوفرة لعدد من محطات الرصد في ليبيا والتي تمثل معظم المناطق المقترحة لاقامة محطات قياس درجة حرارة الرصف بها (وتشمل التي اقيمت خلال المرحلة الاولى وتلك



شكل 2.5 : المناخات السائدة في ليبيا حسب نظام كوبين

التي هي تحت الانشاء وسوف تدرج نتائجها في المرحلة الثانية). وتقع معظم محطات الرصد الجوي في نفس المواقع المقترحة ويقع بعضها قريب نسبيا من تلك المواقع.

تبين الجداول ب–1 الى ب–12 البيانات المناخية المتوفرة عن عدد من المواقع المختلفة في ليبيا وتغطي المناطق الشرقية والغربية والوسطى والجنوبية. ويلخص الجدول 2.4 أهم البيانات المناخية المسجلة ويبين الشكلين 3.5 و4.5 مستويات دراجات الحرارة الدنيا والقصوى ويبين الشكل 5.5 معدل سقوط المطر لمختلف المناطق في ليبيا. ومنها نرى ان المناطق الوسطى والجنوبية تقع في نطاق المناخ الحار جاف (الصحراوي) حيث معدلات درجة الحرارة القصوى تزيد عن 32 ^{o}م ومعدل سقوط المطر اقل من 250 مم. اما بعض المناطق الساحلية والجبلية فانها

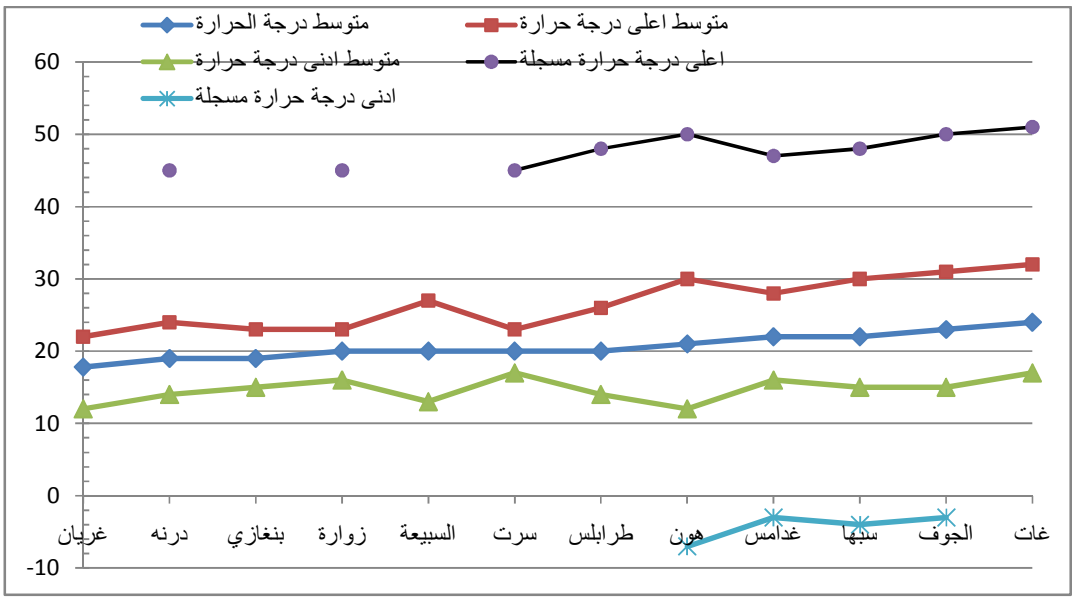
تقع ضمن المناخ المعتدل (البحر المتوسط) حيث معدلات درجة الحرارة القصوى اقل من 32 ^{o}م ومعدل سقوط الامطار اعلى من 250 مم. وهناك مناطق اخرى تمثل منطق انتقال بين هذين المناخين يمكن تسميتها بمناطق المناخ شبه الصحراوي.

ومن العوامل المهمة الاخرى المؤثرة في تحديد التصنيف الجغرافي والمناخي في مناطق المناخ الحار جاف الأشعاع الشمسي. ويعبر عن الأشعاع الشمسي بشدة الأشعاع (كمية الطاقة المسجلة بوحدات كيلو وات / ساعة Kw.h) وبمدة سطوع الشمس والتي تختلف حسب أشهر السنة. لتوضيح مدي الاختلاف في نسبة الإشعاع الشمسي في الأقاليم المناخية السائدة في ليبيا و التي هي موضوع هذه الدراسة ، فقد تم اختيار ثلاثة مناطق كلا منها يمثل إقليم معين و هي درنة وسرت وسبها كما هوموضح في الجدول 3.5. تبين الجداول ب–13 الى ب–15 بيانات الإشعاع الشمسي للمناطق الثلاثة المذكورة ، ممثلة بالمتوسط الشهري (kwh) ، وقد تم حساب هذه القيم باستخدام خمس أساليب (معاملات) مختلفة و هي كالتالي:

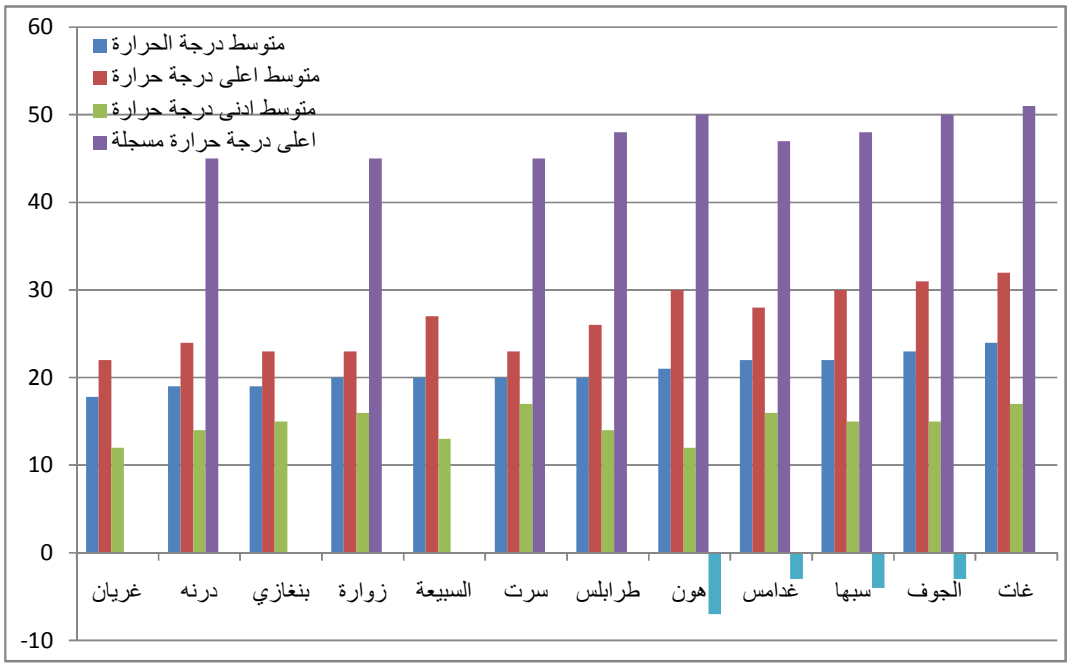
1. معامل هايس (Hay's).
2. معامل باربارروس (Barbaros).

جدول 2.5 : ملخص البيانات المناخية

البيانات	طرابلس	سرت	بنغازي	هون	درنه	الجوف	سبها	غدامس	السبيعة	غات	غريان	زوارة
متوسط درجة الحرارة	20	20	19	21	19	23	22	22	20	24	17.8	20
متوسط اعلى درجة حرارة	*26*	*23*	*23*	*30*	*24*	*31*	*30*	*28*	*27*	*32*	*22*	*23*
متوسط ادنى درجة حرارة	14	17	15	12	14	15	15	16	13	17	12	16
اعلى درجة حرارة مسجلة	48	45		50	45	50	48	47		51		45
ادنى درجة حرارة مسجلة				-7		-3	-4	-3				
متوسط عدد الايام التي اعلى من 32م	*111*	*25*		*158*	*15*	*191*		*159*				*21*
متوسط عدد الايام التي اعلي من 21م	263	232						269				
متوسط عدد الايام التي اقل من الصفر م				22		3	5	3				
متوسط عدد الايام الممطرة				4	25		1	21		1		
متوسط سقوط الامطار	34	18	26.2	3	28			2.7	21.4	1	38.1	23
اعلي سقوط امطار مسجل	75	42										45
ادني سقوط امطار مسجل	*4*	*5*						*21*				
متوسط عدد ايام العواصف الممطرة	14	5						2				
متوسط عدد ايام الضباب	107	91						6				48
متوسط الرطوبة النسبية صباحا	77	76		48	71	38	43	49		17		79
متوسط الرطوبة النسبية مساء	*48*	*65*						*23*				*69*
متوسط نقطة الندي	12	13		7	14	6	7	3		-6		14
متوسط سرعة الرياح	14	19						16				19



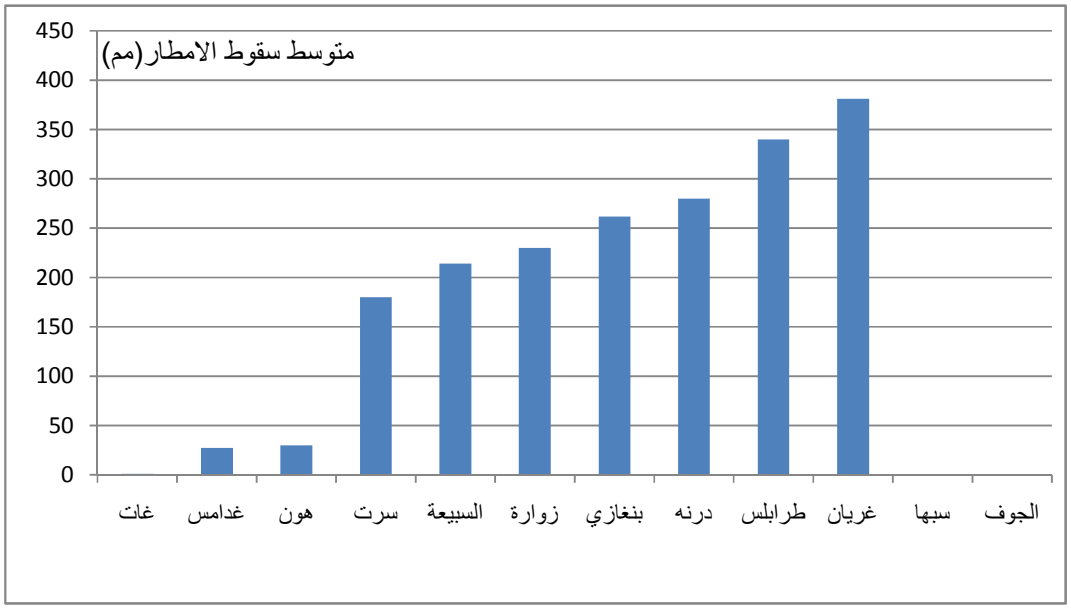
شكل 3.5: معدلات درجات الحرارة في مناطق مختلفة من ليبيا



شكل 4.5: معدلات درجات الحرارة في مناطق مختلفة من ليبيا

3. معامل سابهاك المعدلة (Modified Sabbhag's).
4. معامل سابهاك (Sabbhag's).
5. معامل سايس (Sayigh's).

يبين الجدول 4.5 المتوسط السنوي لشدة الأشعاع الشمسي. ويبين الشكل 6.5 التباين في كميات الأشعاع الشمسي لهذه المناطق. ومنهما يتبين الفرق في كميات الاشعاع الساقط على كل منطقة. ومن ذلك نستنتج اختلاف كمية الطاقة الشمسية التي يتعرض لها الرصف في كل منطقة من تلك المناطق وما ينتج عن ذلك من تأثير على درجة حرارة الرصف وخواصه.



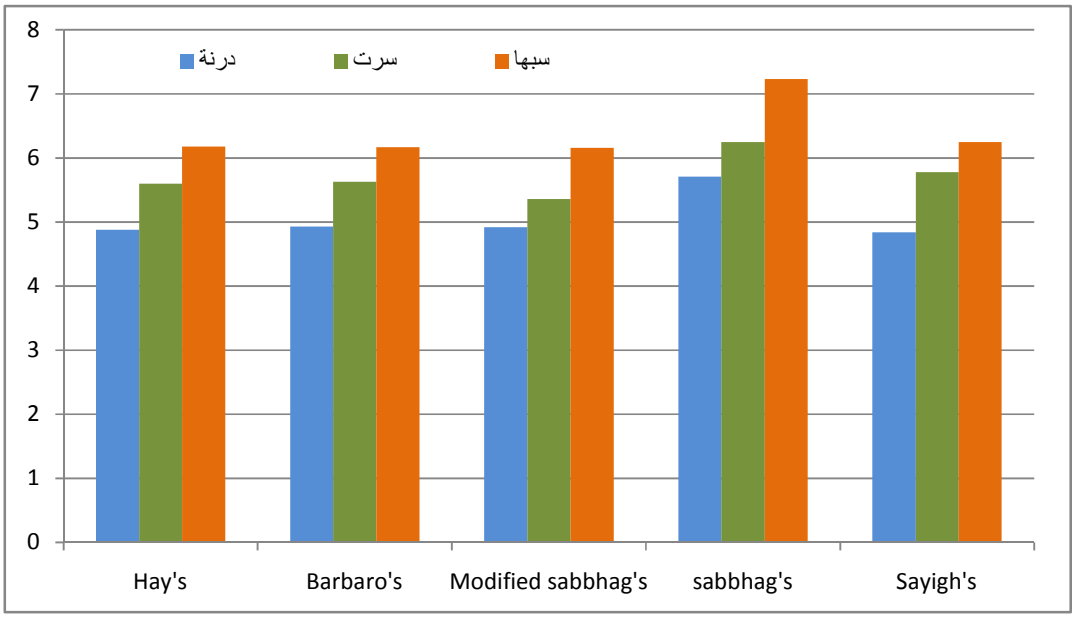
شكل 5.5: متوسط سقوط المطر في مناطق مختلفة من ليبيا

جدول 3.5: المواقع المختارة لتمثيل التصنيف المناخي في ليبيا

ت	المنطقة	الإقليم المناخي	خط الطول (شرقا)	دائرة العرض (شمالا)
1	درنة	البحر المتوسط	22.66	32.73^0
2	سرت	شبه صحراوي	16.59^0	31.20^0
3	سبها	صحراوي	14.49^0	27.01^0

جدول 4.5: المتوسط السنوي لكمية الإشعاع الشمسي

المنطقة	المتوسط السنوي لكمية الإشعاع (Kw.h)				
	Hay's	Barbaro's	Modified sabbhag's	sabbhag's	Sayigh's
درنة	4.88	4.93	4.92	5.71	4.84
سرت	5.60	5.63	5.36	6.25	5.78
سبها	6.18	6.17	6.16	7.23	6.25



شكل 6.5: المتوسط السنوي لشدة الاشعاع الشمسي (Kw.h)

6. قياس درجة حرارة الرصف

6. قياس درجة حرارة الرصف

1.6 عام

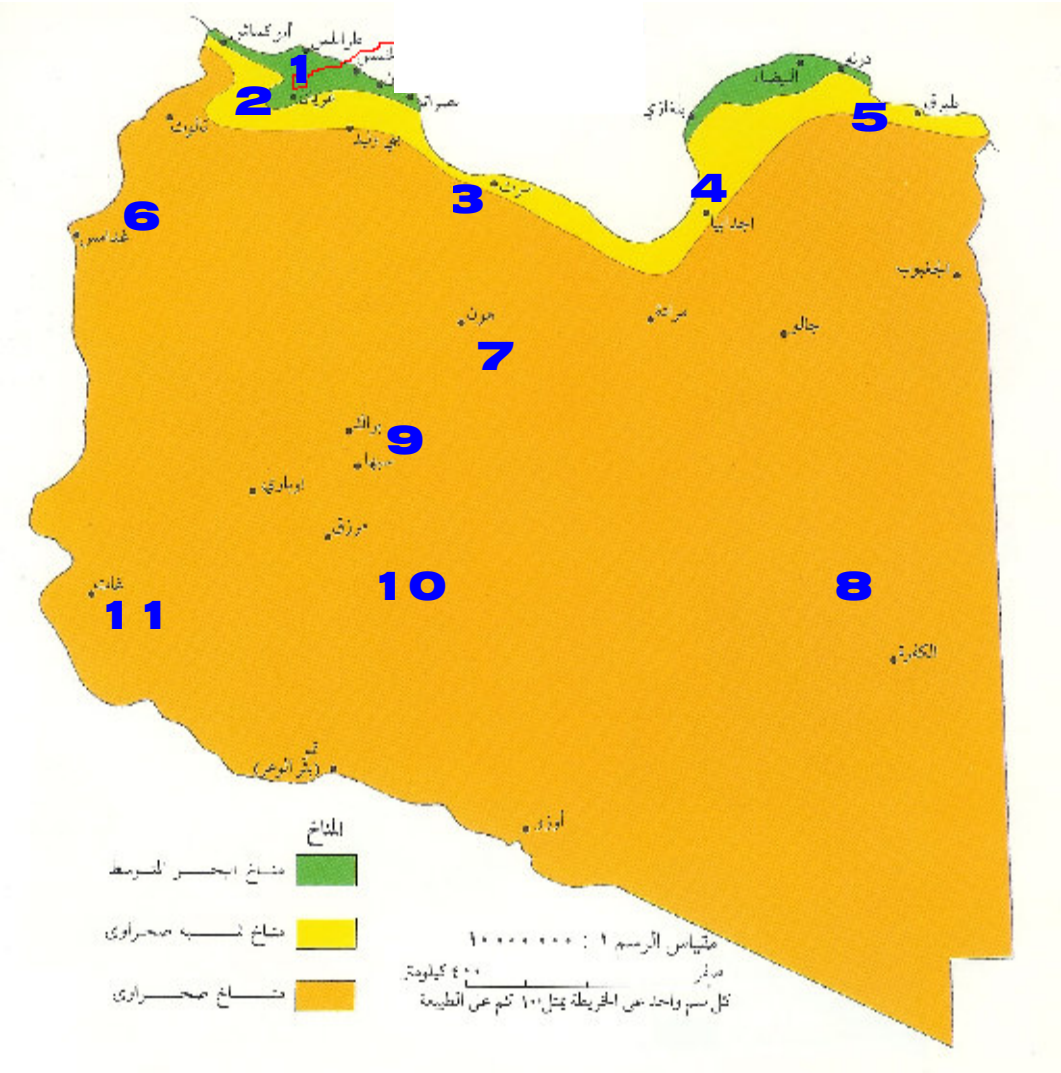
تُعنى هذه الدراسة اساساً بتكوين قاعدة بيانات تحتوي على المعطيات الخاصة بدرجات حرارة الجو ودرجات حرارة الرصف الاسفلتي وغيرها من العوامل البيئية الاخرى مثل الاشعاع الشمسي وسرعة الرياح اضافة الى المعلومات الجغرافية الخاصة بمواقع الدراسة والتي تمثل الاقاليم المناخية المختلفة في ليبيا.

وتقوم الدراسة على انشاء عدد من محطات الرصد المخصصة لتجميع هذه المعلومات والتي سوف تأتي نتائجها في تقرير المرحلة الثانية. يبين الجدول 1.6 قائمة بمواقع المحطات المشمولة في هذه الدراسة ، كما يوضح الشكل 1.6 مواقع تلك المحطات.

هذا الجزء يشمل استعراض جزء من النتائج التي تم تسجيلها حتى تاريخ هذا التقرير في المحطات التي بدأت العمل والتي تمثل نموذج للمعلومات التي سوف يتم تجميعها خلال المرحلة الثانية من الدراسة. حتى تاريخ اعداد هذا التقرير تمت تجربة قياس ورصد درجة حرارة الرصف في محطتين من ضمن المحطات الاحدى عشر المقرر انشائها هما : محطة ادي الهيرة في الشمال الغربي من البلاد ومحطة سبها في الجنوب.

جدول 1.6: محطات قياس درجة حرارة الرصف ورصد العوامل الجوية

م	المحطة	الموقع
1	وادي الهيرة	شمال غرب ليبيا
2	غريان	الجبل الغربي
3	سرت	المنطقة الوسطى
4	قمينس	بنغازي
5	التميمي	الجبل الاخضر
6	غدامس	غرب ليبيا
7	هون	الجفرة
8	الزيغن	الكفرة (جنوب شرق ليبيا)
9	تمنهنت	سبها
10	القطرون	جنوب ليبيا
11	غات	جنوب غرب ليبيا



شكل 1.6: مواقع محطات قياس درجة حرارة الرصف ورصد العوامل الجوية

2.6 تركيب محطة قياس درجة حرارة الرصف والرصد الجوي

حيث ان الغرض الاساسي من انشاء هذه المحطات هو قياس درجة حرارة الرصف الاسفلتي ودرجة حرارة الهواء الجوي وغيره من العوامل المناخية الاخرى المؤثرة في درجة حرارة

الرصف مثل الاشعاع الشمسي وسرعة الرياح ، فان هذه المحطات يجب ان تحتوي على المعدات والاجهزة اللازمة لاداء هذا الغرض. وتضم كل محطة العناصر الاساسية التالية:

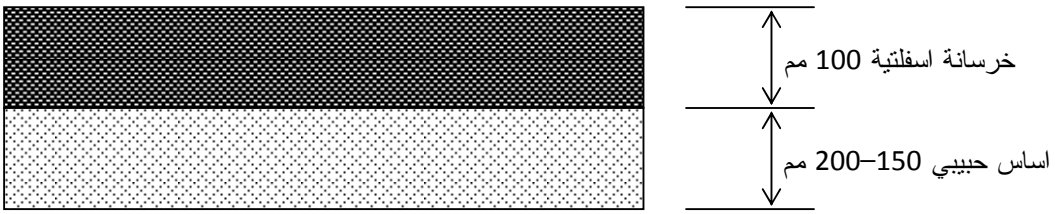
1. البلاطة الاسفلتية
2. اجهزة قياس وتسجيل درجة حرارة الرصف
3. اجهزة قياس وتسجيل الاشعاع الشمسي وسرعة الرياح

1.2.6 البلاطة الاسفلتية

يتم في كل محطة انشاء بلاطة من الخرسانة الاسفلتية تمثل منشأ الرصف الاسفلتي النمطي في الطرق الرئيسة في ليبيا. ويتم في بعض المواقع التي لا تتوفر فيها الامكانية العملية لانشاء تلك البلاطات تعويضها باستخدام قطاع رصف قائم في طريق رئيسي او في مهبط للطائرات او ساحة مرصوفة بالرصف الاسفلتي.

والبلاطة الاسفلتية عبارة عن طبقة من الخرسانة الاسفلتية ابعادها (8x10 متر) وبسمك 100 مم مؤسسة على طبقة من الأساس الحبيبي بسمك يتراوح بين 150 و 200 مم.

يبين الشكل 2.6 قطاع عرضي للبلاطة الاسفلتية ويبين الشكل 3.6 منظر عام للبلاطة التي تم تنفيذها في منطقة تمنهنت بالقرب من سبها.



قطاع عرضي في الرصف

شكل 2.6 قطاع عرضي في البلاطة الاسفلتية

شكل 3.6 منظر عام للبلاطة الاسفلتية في محطة تمنهنت – سبها

يتم تنفيذ البلاطة الاسفلتية باستخدام خلطات اسفلتية مشابهة لتلك المعمول بها في انشاء الطرق الرئيسة في ليبيا وبنفس المواصفات والتقنيات المتبعة في هذا الشأن . ويتم اثناء تنفيذ طبقة الاساس الحبيبي مد انبوب بلاستيك pvc بقطر 50 مم عبر عرض البلاطة منطلقاً من منتصف البلاطة حتى الحافة الخارجية وذلك لاستخدامه في تمرير الاسلاك الخاصة بالمجسات الحرارية.

بعد الانتهاء من تنفيذ الطبقة الاسفلتية يتم قطع مربع في منتصف البلاطة ابعاده 400x400 مم وبعمق كامل الطبقة الاسفتلية وحتى الوصول الى الانبوب البلاستيكي. يتم تثبيت المجسات الحرارية في المناسيب المحددة لها بالحفر الافقي في الطبقة الاسفلتية وباستخدام الاسفلت السائل لحقن تلك الحفر ولصق المجسات بشكل ثابت، وذلك كما هو مبين في الشكل 4.6.

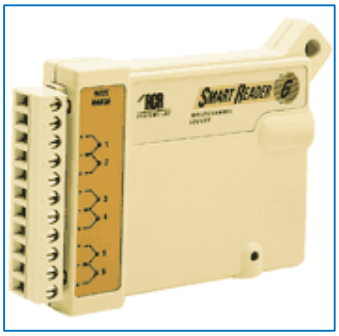
يتم بعدها اعادة رصف المربع الذي تم قطعه وتسوية السطح بشكل متجانس لضمان الانتقال الحراري الكامل خلال كتلة الخرسانة الاسفلتية.

2.2.6 اجهزة قياس وتسجيل درجة حرارة الرصف

يتم قياس درجة حرارة الرصف بواسطة مجسات حرارية Thermocouples يتم تثبيتها في نقاط محددة في قطاع الرصف بحيث يمكن قياس درجة الحرارة في اعماق مختلفة من طبقة الرصف تبدأ بسطح الرصف ثم على عمق 20 مم من السطح وتستمر مع العمق حتى طبقة الاساس الحبيبي.

شكل 4.6 تثبيت المجسات الحرارية في البلاطة

يتم توصيل المجسات الحرارية بواسطة اسلاك خاصة يتم امرارها داخل الانبوب البلاستيكي الى الجهاز الخاص بتسجيل القراءات Data Logger (انظر الشكل 5.6). يحتوي جهز تسجيل القراءات على عدد من القنوات الخارجية (6 قنوات) المعدة لاستقبال قراءات درجة حرارة الرصف المرسلة بواسطة المجسات الحرارية ، كما يحتوي على قناة داخلية لقياس وتسجيل درجة حرارة الهواء الجوي.



شكل 5.6: جهاز قياس وتسجيل درجات الحرارة متعدد القنوات

تقوم هذه الأجهزة بقياس درجة حرارة الهواء الجوي ، إضافة لقياس درجة حرارة الرصف الأسفلتي علي أعماق مختلفة كل (20 ملم) ، وذلك كل 15 دقيقة وتقوم بتخزينها في ذاكرة خاصة يمكنها الاحتفاظ بعدد 32,767 قراءة. يتم فيما بعد استعادتها بواسط الحاسب الالي باستخدام برنامج خاص بذلك.

3.2.6 اجهزة قياس وتسجيل الاشعاع الشمسي وسرعة الرياح

الى جانب جهاز تسجيل درجات حرارة الرصف والجو يوجد بكل موقع محطة صغيرة للارصاد الجوية تقوم برصد وتسجيل كل من شدة الاشعاع الشمسي وسرعة الرياح. وتتكون من جهاز تسجيل وتخزين المعلومات Data logger وجهاز خاص بقياس شدة الاشعاع الشمسي Silicon Pyranometer (Solar Radiation) Smart Sensor وجهاز خاص بقياس سرعة الرياح.

يبين الشكل 6.6 مكونات هذه المحطة المصغرة. وتقوم هذه الاجهزة بقياس وتسجيل التغيرات الطارئة في كل من الاشعاع الشمسي وسرعة الرياح كل 15 دقيقة خلال الاربع وعشرين ساعة. ويحتفظ جهاز التسجيل بالقراءات حتى تتم استعادتها بواسطة الحاسب الالي باستخدام برنامج خاص بالمحطة. وسوف تستخدم هذه المعطيات بالاضافة الى درجات الحرارة المسجلة للرصف والهواء الجوي في انتاج النموذج الخاص بالتنبوء بدرجة حرارة الرصف وذلك ضمن المرحلة الثانية من هذه الدراسة.

شكل 6.6 : مكونات محظة الارصاد الجوي المصغرة

3.6 امثلة من المعطيات التي تم رصدها في المحطات

كما سبق التنويه فأن هذه الدراسة تشمل اقامة عدد 11 محطة في مناطق متعددة من ليبيا تمثل مختلف الاقاليم المناخية والجغرافية. وقد تم حتى الان استكمال انشاء محطتين الاولى في وادي الهيرة بشمال غرب ليبيا والثانية في منطقة تمنهنت قرب مدينة سبها في الجنوب. ويجري العمل حاليا في استكمال بقية المحطات والتي يتوقع ان تبدأ العمل مع بداية العام القادم 2009.

ولإعطاء فكرة عامة عن طبيعة المعطيات والمعلومات التي يتم جمعها في هذه المحطات تبين الفقرات التالية بعض البيانات المسجلة في محطة سبها.

1.3.6 درجة حرارة الهواء الجوي ودرجة حرارة الرصف

تم ضبط أجهزة المحطة لبدء عمليات القياس والتسجيل لكل من درجة حرارة الهواء الجوي ودرجة حرارة الرصف عند اعماق مختلفة في تاريخ 2008.6.26 عند الساعة السابعة مساء لتقوم بتسجيل القراءات كل 15 دقيقة وسوف تستمر لمدة سنة كاملة إنشاء الله.

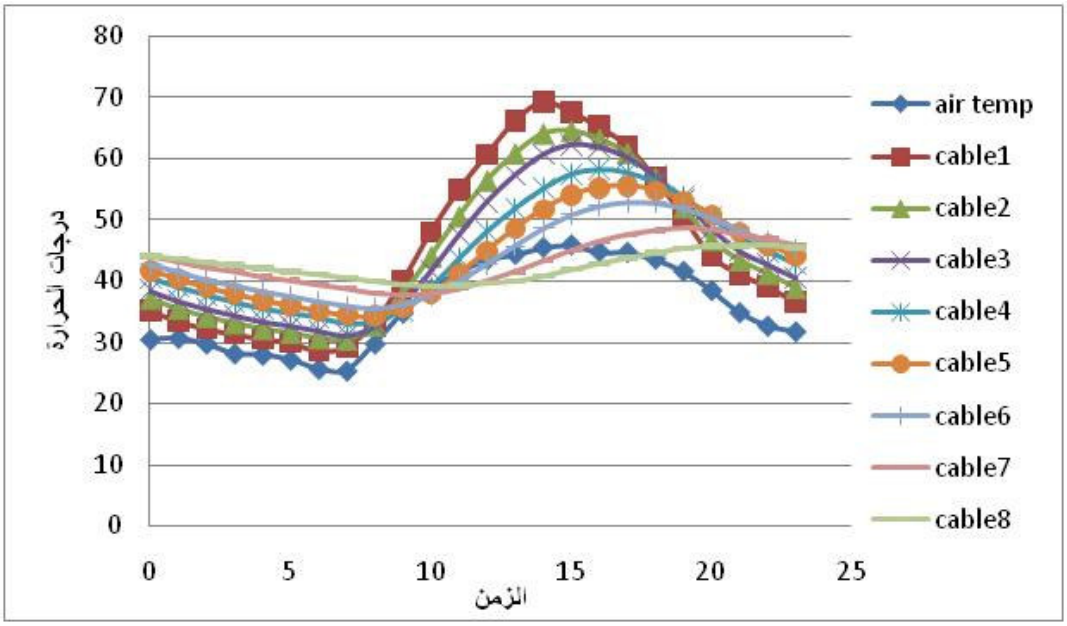
وفي هذا المثال نعرض القراءات المسجلة لمدة اسبوع واحد اعتباراً من 2008.6.19 ف حتى 2008.6.26 وهي محسوبة كمتوسطات لكل ساعة وتعتبر هذه الفترة من الموسم الساخن وذلك لدراسة النظام الحراري عبر طبقات الرصف خلال فترتي الليل والنهار.

يبين الجدول 2.6 تسجيل درجة حرارة الهواء والرصف ، والشكلان 7.6 و 8.6 يبينان ذلك بيانيا ، ومنهما نلاحظ أن هناك تناسباً طردياً بين درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة الرصف خصوصاً عند سطح الرصف وعلى عمق 20 مم. أي انه كلما زادت درجة حرارة الهواء ارتفعت درجة حرارة الرصف بشكل كبير والعكس صحيح. لذلك يمكن أن نعتبر أن درجة حرارة الهواء متغير مستقل ودرجة حرارة الرصف متغير تابع ، والبيانات المرصودة تأتى على هيئة منحنيات متكررة حيث يبدأ كل يوم عند اقل درجة حرارة وتكون عند الشروق (الساعة السادسة تقريباً) تم يبدأ المنحى في الصعود إلى أعلى درجة حرارة (قمة المنحنى) في اليوم ثم يبدأ بالهبوط عند الغروب حتى يصل إلى اقل درجة حرارة (قاع المنحنى) في اليوم التالي وهكذا.

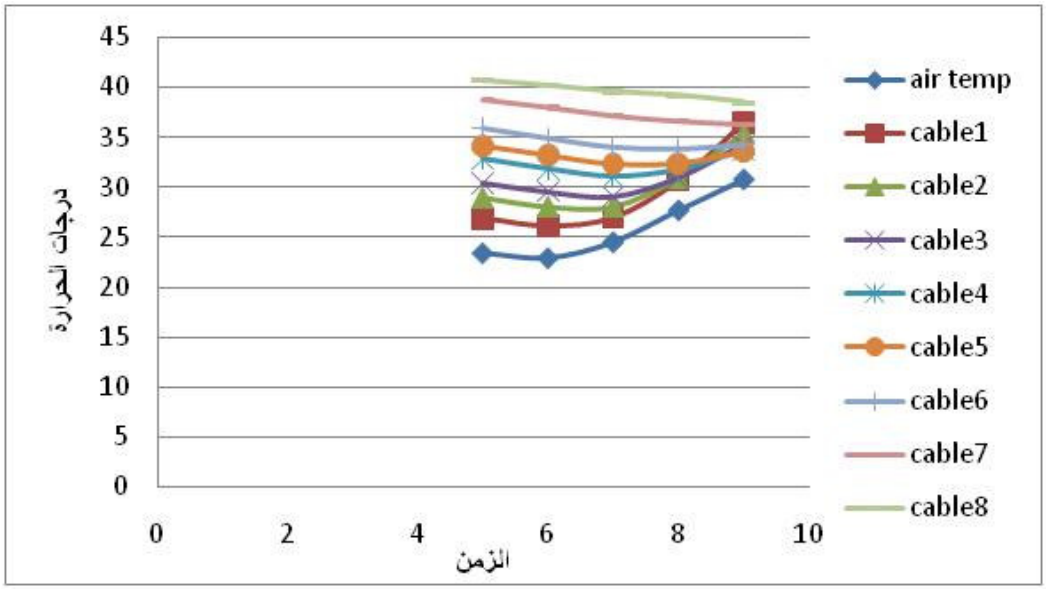
أعلى درجة حرارة رصف بالسطح تم رصدها في هذه الفترة كانت 69.45 °م عندما كانت درجة حرارة الهواء 45.5 °م عند الساعة الثانية ظهراً يوم 2008.6.20 ف.

جدول2.6: بين أقصى و ادني درجة حرارة سجلت لطبقات الرصف

النقاط	العمق (مم)	أقصى درجة حرارة يوم 2008/6/20 الساعة الثانية ظهرا	ادني درجة حرارة يوم 2008/6/25 الساعة السادسة صباحا
الهواء الجوى	المحطة	45.5	22.9
النقطة رقم (1)	بالسطح	69.45	26.07
النقطة رقم (2)	20	64.15	28.07
النقطة رقم (3)	40	60.8	29.54
النقطة رقم (4)	80	55.10	31.81
النقطة رقم (5)	100	51.72	33.28
النقطة رقم (6)	140	48.59	34.87
النقطة رقم (7)	220	43.31	38.03
النقطة رقم (8)	290	40.87	40.18



شكل 7.6: درجات حرارة الرصف والجو خلا 24 ساعة يوم 2008\6\20



شكل 8.6: ادني درجة حرارة سجلت لطبقات الرصف يوم 25\6\2008 الساعة 6 صباحا

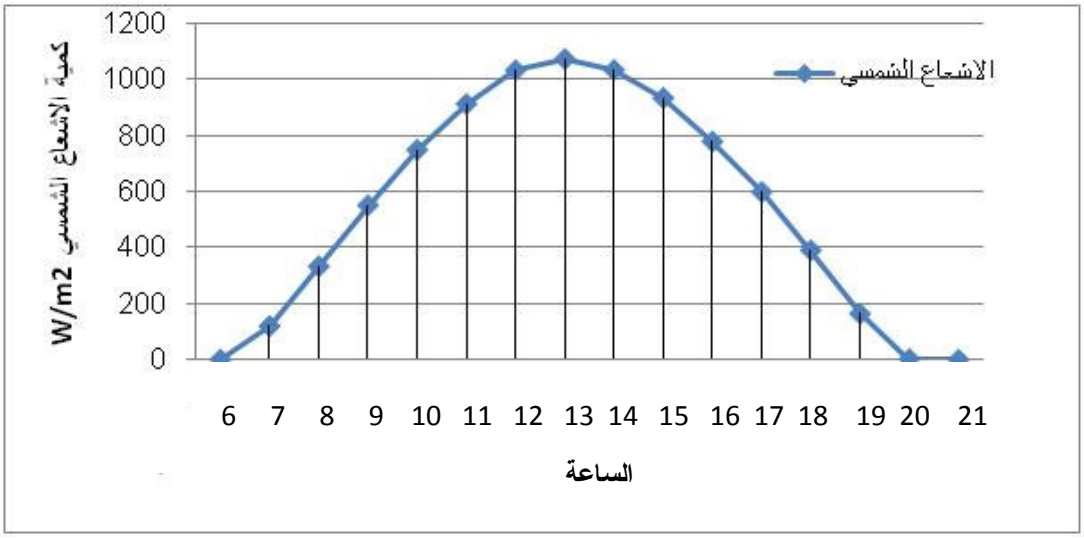
وكانت درجة حرارة الرصف عند عمق 20 مم 64.15 °م وعند عمق 290 مم (طبقة الأساس الترابي) 40.87 °م ، وهذا يدل على أنه يوجد إنحدار حراري و إنخفاض منتظم لدرجة حرارة الرصف كلما اتجهنا إلى أسفل بفترة النهار عندما تكون أعلى درجة حرارة عند السطح . أقل درجة حرارة للرصف تم رصدها بالسطح لنفس الفترة كانت 26.07 °م عندما كانت درجة حـــرارة الهواء 22.9 °م عند الساعة السادسة صباحاً يوم 2008.6.25 ف وعند عمق 20 مم كانت درجة حرارة الرصف 28.7 °م وعند عمق 290 مم (طبقة الأساس الترابي) كانت درجة الحرارة 40.18 °م.

وهذا يبين أن طبقات الرصف السفلى تحتفظ بحرارتها عندما تنخفض درجة حرارة الجو وتكون الطبقة السطحية أسخن قليلاً من درجة حرارة الجو أي أنه كلما اتجهنا إلي الطبقات السفلية زادت درجة الحرارة كما هو مبين بالجدول 2.6 والمخطط البياني بالشكل رقم 7.6 ، حيث أن الطبقات السفلية أقل تأثراً بدرجة حرارة الجو في هذه الحالة وهذا التأثير يبقى حتى يبدأ التسخين في اليوم التالي حيث يكتسب سطح الرصف طاقة حرارية جديدة من أشعة الشمس.

2.3.6 الاشعاع الشمسي

تم تشغيل جهازقياس الإشعاع الشمسي اعتبارا من 2008.6.19 متزامناً مع بداية قياس درجة حرارة الرصف. أقصى إشعاع شمسي تم رصده خلال هذه الفترة كان 1071.9 وات/ م^2 وأدنى كمية كانت 0.6 وات/ م^2 وتسجل هذه القيمة الدنيا كل يوم خلال فترة الليل إبتداء من غروب الشمس وحتى الشروق في اليوم التالي.

يبين الشكل 8.6 مخطط البيانات المرصودة خلال هذه الفترة ، ويلاحظ أن أقصى إشعاع شمسي قد سجل في الساعة الواحدة ظهراً يوم 2008/6/20 ف وهذا يتوافق مع أقصى درجة حرارة للرصف تم رصدها في هذا اليوم (والتي كانت في الساعة الثانية ظهراً). وذلك يعني أن سطح الرصف تعرض لهذه الكمية من الإشعاع لمدة ساعة كاملة من الواحدة ظهراً وحتى الثانية ظهراً لكي يصل إلي أقصى درجة حرارة مرصودة لهذه الفترة وهي 69.45 °م وهذا مؤشر على العلاقة الطردية بين كمية الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الرصف خلال فترة النهار.



شكل 8.6: كمية الإشعاع الشمسي من 6 صباحا الى 9 مساء ليوم 2008\6\20

يبين الجدول 3.6 جزء من البيانات المرصودة لكمية الإشعاع الشمسي في يوم 2008.6.20 ، وكانت في الفترة من الساعة السادسة قبل الشروق وحتى الساعة التاسعة مساء. وتجدر الإشارة هنا الى أنه عندما يكون هناك تيارات هوائية في الأيام التي يكون فيها الإشعاع الشمسي كبير جداً فإن هذه التيارات تعمل على تخفيض درجة حرارة الرصف نسبياً عن الأيام التي لا توجد فيها هذه التيارات. وسوف تتم مناقشة هذا الامر بالتفصيل عند عرض وتحليل النتائج في المرحلة الثانية من الدراسة.

جدول3.6: كمية الاشعاع الشمسي المسجلة في محطة تمنهنت يوم 2008/6/20

الســـاعـــة	كمية الإشعاع الشمسي w/m^2
6 صباحا	0.6
7 عند الشروق	120.6
8 صباحاً	333.1
9	550.6
10	748.1
11	911.9
12	1031.9
1 ظهراً	1071.9
2 ظهراً	1033.1
3 مساءً	933.1
4 مساءً	778.1
5 مساءً	598.1
6 مساءً	390.6
7 مساءً	164.4
8 مساءً	3.1
9 ليلاً	0.6

7. خاتمة

7. خاتمة

تضمن تقرير المرحلة الاولى من دراسة تحديد نوع المادة الرابطة الاسفلتية المستخدمة في رصف الطرق في ليبيا المقدم الى مصلحة الطرق والجسور بموجب العقد رقم (109\06\008) المبرم مع شركة العمران الهندسي للاستشارات دراسة شاملة لاوضاع الرصف الاسفلتي في ليبيا والاضرار التي تصيب الرصف في المناطق الصحراوية وخاصة تلك المرتبطة بتأثير العوامل البيئية.

وتطرق التقرير الى الدراسات السابقة حول الموضوع وما توصلت له من تحديد لأسباب الاضرار والية حدوثها. وتناول التقرير شرح لأنواع وتصنيفات المواد الرابطة الأسفلتية وخاصة الاسفت 70/60 المستخدم في رصف الطرق في ليبيا والتطورات التي طرأت على طرق تصنيف المادة الرابطة ومواصفاتها وصولاً الى تصنيف درجة الاداء PG. واحتوى التقرير جزء خاص للتعريف بطريقة "سوبربيف" لتصميم الخلطات الاسفلتية الساخنة.

وفيما يخص جمع البيانات أورد التقرير ملخص للمعطيات المناخية التي تم جمعها عن مختلف المناطق في ليبيا مع تحليل مبدئي لتلك المؤشرات وعلاقتها بالتصنيف المناخي للبلاد والتوزيع المقترح لمحطات رصد درجة حرارة الرصف.

وعن الدراسة الميدانية فقد عرض التقرير الاجراءات التي تمت خلال المرحلة الاولى والمتمثلة في تنفيذ محطات الرصد و توريد أجهزة القياس اللازمة للدراسة. كما تضمن التقرير أمثلة من المعطيات التي تم رصدها في أحدى المحطات التي بدأت العمل خلال الفترة الماضية.

وتجدر الإشارة الى أن تقرير المرحلة الأولى هذا سوف يتم تطويره مستقبلا ليكون جزء من التقرير النهائي للدراسة الشاملة وذلك بالاستفادة من المعلومات والبيانات التي سوف يتم جمعها وتحليلها في المرحلتين الثانية والثالثة من هذه الدراسة.

8. المراجع

8. المراجع

1. هندسة الرصف ، محمد عمران امبارك ومحمد خليفة علي ، مكتب العلوم الهندسية للبحوث والاستشارات ، كلية الهندسية ، جامعة الفاتح ، طرابلس ، ليبيا ، 2003.
2. Bituminous Mixtures in Roads Construction, Robert N. Hunter, Thomas Telford Services Ltd., London, UK, 1994.
3. Introduction to Asphalt, Manual Series No. 5, 8th ed. , Asphalt Institute, Lexington, KY, USA, 1993
4. Asphalt Its Composition, Properties and Uses, Traxler R N., Reinhold Publishing Corporation, London, 1961.
5. Highway Materials, Soils and Concretes, H. N. Atkins, Reston Publishing Company, Inc., 1980.
6. Rheological Properties of Asphaltic Materials, Poel
7. Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis, Asphalt Institute Research Center, Lexinfton, KY, 1994.
8. تقرير مجلس التخطيط العام بشأن مقترح سياسات النقل في ليبيا، مجلس التخطيط العام ، طرابلس ، ليبيا ، 2006.
9. محمد الشتيوي عمر ، الطاهر قنابة و موسى المودي ، " آلية حدوث الأضرار في الرصف الأسفلتي في المناطق الصحراوية الجافة" ،المؤتمر المغاربي الثاني للطرق، بسكرة ، الجزائر (8–9 الحرث 1994).
10. Imbarek M O, M K Ali, "Hardening and aging of bituminous materials in hot arid regions.", Performance of bituminous and hydraulic materials in pavements, Edited by Zoorob, Collop and Brown, Pub. Balkema, (2002).
11. “Performance of Highway Structures in Hot Arid Regions”, M. K. Ali and M. O. Imbarek, 9th Arab Conference for Structural Engineering, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 31 Nov. -1 Dec. , 2003.
12. Imbarek M O and Smith J W (1996). “A general method for calculating temperatures in layered highway pavements.” Proc.,

2nd Nat. Conf. on asphaltic mixtures and pavements, Thessaloniki, Greece, 2-4 April.

13. Essentials of Highway Engineering with reference to warm climates, F. J. Gichaga and N. A. Parker, ANSTI Technology Series, Nairobi, 1988.

14. El-Mudi M O, Omar M S and Ghnaba T H. (1996). "Distresses of Pavements in Hot Arid Areas." Msc. Thesis, Civil Engineering Department, University of Al-fateh, Tripoli (Libya).

15. Imbarek M O, Yudono B, Roberts D J and Smith J W (1996). "The Loss of Volatile Compounds of Asphalt Binder in Hot Arid Climates." Proc., 2nd Nat. Conf. on asphaltic mixtures and pavements, Thessaloniki, Greece, 2-4 April.

16. Imbarek M O and Smith J W (1996). "Rheology of Bituminous Materials in Hot Arid Climates." Abstract was submitted for the 2nd European Symposium on Performance and Durability of Bituminous Materials, 17-18 April 1997, Leeds, UK

ملحق (أ): مواصفات المواد الاسفلتية

جدول أ–1 : مواصفات الأسفلتات الصلبة المصنفة وفقا لدرجة اللزوجة [1،3]

الخاصية	درجة اللزوجة				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
قيمة الغرز (25 °م)	220–200	140–120	80–70	60–40	40–20
اللزوجة (60 °م) بويز	50±250	100±500	200±1000	400±2000	800±4000
اللزوجة (135 °م) سنستوك	125–80	175–110	250–150	300–210	400–300
نقطة الوميض °م	163	177	219	232	232
الذوبان في ثلاثي كلوريد الايثيلين	% 99	% 99	% 99	% 99	% 99
اللزوجة (60 °م) بويز*	1250	2500	5000	10000	20000
اللدونة (25 °م) سم (حد أدنى)**	100**	100**	75	50	25

* عينة الأسفلت من بقايا اختبار الغشاء الأسفلتي في الفرن.

** إذا كانت اللدونة اقل من 100، يعتبر الأسفلت مقبول بشرط ان تكون لدونته عند درجة حرارة 15.5°م = 100 ومعدل التحميل عند الاختبار =5 سم/دقيقة.

جدول أ–2 درجات اللزوجة للأصناف المختلفة من الأسفلت السائل [6]

نوع ودرجة الأسفلت السائل	اللزوجة (ثواني) أختبارسيبولت فيورال		
	فتحة قطر 4 مم (25°م)	فتحة قطر 10مم (25°م)	فتحة قطر 10مم (40°م)
RC-0, MC-0, SC-0	75 - 25	----	----
RC-1, MC-1, SC-1	100 - 50	----	----
RC-2, MC-2, SC-2		20 - 10	----
RC-3, MC-3, SC-3	----	75 - 25	----
RC-4, MC-4, SC-4	----	----	45 - 14
RC-5, MC-5, SC-5	----	----	100 - 60

جدول أ–3: متطلبات الأسفلت سريع التطاير طبقا لمواصفات الجمعية الأمريكية للاختبارات و المواد (ASTM D 2028-76, 1992)

ر ، م	التسمية (designation)	طريقة الاختبار ASTM	الصنف							
			RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000	
			ادني	أقصي	ادني	أقصي	ادني	أقصي	ادني	أقصي
1	اللزوجة الحركية عند 60 م° سنتي ستوك Kinematic viscosity	D 2170	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
2	نقطة الوميض (الكأس المفتوح) م° Flash point (open-cup)	D 3143	....	.....	27+	.....	27+	.....	27+	.....
3	اختبار التقطير : distillation test	D 402								
1.3	القطارة *، النسبة الحجمية من القطارة الكلية إلي 360 م° Distillation, volume % of total distillation to 360 C^0									
1.1.3	To 190 C^0		10	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.1.3	To 225 C^0		50	.....	35	.....	15	.....	.....	.....
3.1.3	To 260 C^0		70	.....	60	.....	45	.....	25	.....
4.1.3	To 316 C^0		85	.....	80	.....	75	.....	70	.....
2.3	المتبقي من التقطير إلي (360م°) : النسبة الحجمية بالفرق		Residue from distillation to (360 C^0), percent volume by differences							
			55	.....	65	.....	75	.....	80	.....
4	الاختبارات علي المتبقي من التقطير: Tests on residue from distillation									
1.4	اللزوجة عند (60 م°)(بويز)[1] viscosity at (P^A) (60 C^0)		600	2400	600	2400	600	2400	600	2400
2.4	اللدونة عند (25C^0)(5 سم/ دقيقة) Ductility	D 113	100	.....	100	.....	100	.....	100	.....
3.4	الذوبانية في ثلاثي كلوريد الايثلين (%) solubility in trichloroethylene	D 2042	99	.....	99	.....	99	.....	99	.....
4.4	الماء (%) ، water (%)	D 95	.....	0.2	.....	0.2	.....	0.2	.....	0.2

*القطارة: الناتج المكثف لعملية التقطير & P^A بـــــدلا من اللزوجة للمتبقي ، يمكن لوكالة معينة تحديد قيمة الغرز عند (25 C^0) لمدة 5 ثواني ، 100 جم لـــغرز(120 –80) للأصناف (RC-800) (RC-250) (RC-70) (RC-3000)

جدول أ–4: متطلبات الأسفلت متوسط التطاير طبقا لمواصفات الجمعية الأمريكية للاختبارات و المواد (ASTM D 2027-76 , 1992)

م	التسمية (designation)	طريقة الاختبار ASTM	الصنف									
			RC-30		RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000	
			أدني	أقصي	أدني	أقصي	أدني	أقصي	أدني	أقصي	أدني	أقصي
1	اللزوجة الحركية عند (30 م°) Kinematic viscosity	D 2170	30	60	70	140	250	500	.....	99	3000	6000
2	نقطة الوميض (الكأس المفتوح) م^0 Flash point (open-cup)	D 3143	38	.....	38	.....	66	.....	66	.....	66	.....
3	اختبار التقطير Distillation Test	D 402										
1.3	القطارة*، النسبة الحجمية من القطارة الكلية إلي 360 م^0 Distillation, volume % of total distillate to 360 C^0											
1.1.3	To 225 C^0		.....	25	.....	20	.....	10	.....	.....	.....	.....
2.1.3	To 260 C^0		40	70	20	60	15	55	.....	35	.....	15
3.1.3	To 316 C^0		75	93	65	90	60	87	45	80	15	75
2.3	المتبقي من التقطير إلي (360م^0):النسبة الحجمية بالفرق Residue from distillation to (360C^0),% volume		50	.....		.....		.....		.....		.....
4	الاختبارات علي المتبقي من التقطير: Tests on residue from distillation											
1.4	اللزوجة عند (60 م^0) بويز[1] viscosity at (60C^0) P^A		300	1200	300	1200	300	1200	300	1200	300	1200
2.4	قابلية السحب عند (25 م^0) 5 سم / دقيقة Ductility	D 113	100	.....	100	.....	100	.....	100	.....	100	.....
3.4	الذوبان في ثلاثي كلورو الايثلين (%) Solubility in	D 2042	99	.....	99	.....	99	.....	99	.....	99	.....
4.4	الماء (%) water (%)	D 95	.....	0.2	.....	0.2	.....	0.2	.....			0.2

القطارة * : الناتج المكثف لعملية التقطير & P^A بدلا من اللزوجة للمتبقي ، يمكن لوكالة معينة تحديد قيمة الغرز عند (25 C^0) لمدة 5 ثواني ، 100 جم لغرز(120 –80) للأصناف (RC-30) (RC-70) (RC-250) (RC-800) (RC-3000)

جدول أ–5: متطلبات الأسفلت بطئ التطاير طبقا لمواصفات الجمعية الأمريكية للاختبارات و المواد (ASTM D 2026-76, 1992)

ر.م	الخاصية (property)	طريقة الاختبار (ASTM)	الصنف							
			Sc-70		Sc-250		Sc-800		Sc-3000	
			أدني	أقصي	أدني	أقصي	أدني	أقصي	أدني	أقصي
1	اللزوجة الحركية عند (30 م^0) (سنتي ستوك) Kinematic viscosity at (60C^0),cST	D 2170	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
2	نقطة الوميض (كليفلاند للكأس المفتوح)(م^0) Flash point (Cleveland open cup) (C^0)	D 92	66	.....	79	.....	93	.....	107	.....
3	اختبار التقطير: القطارة* الكلية إلي (360 م^0) بالنسبة الحجمية (%) Distillation test: total distillate to (360C^0), volume (%)	D 402	10	30	4	20	2	12	.....	5
4	الذوبانية في ثلاثي كلورو الايثلين(%) Solubility in trichloroethylene(%)	D 2042	99	.....	99	.....	99	.....	99	.....
5	اللزوجة الحركية علي المتبقي من التقطير عند (60 م^0) (سنتي ستوك)		4	70	8	100	20	160	40	350
6	الأسفلت المتبقي asphalt residue									
1.6	المتبقي لغرز(100%) residue of 100 penetration	D 243	50	.....	60	.....	70	.....	80	.....
2.6	قابلية السحب للمتبقي لغرز (100) عند (25 م^0) Ductility of 100 penetration residue at (25C^0), cm	D 113	100	.....	100	.....	100	.....	100	.....
7	الماء (%) water (%)	D 95	.....	0.5	.....	0.5	.....	0.5	.....	0.5

القــطارة *: الناتج الــمكثف لــعملية التقطير

جدول أ–6: أنواع المستحلبات الأسفلتية Emulsified Asphalt

مستحلبات اسفلتية موجبة Cationic Asphalt Emulsion	مستحلبات اسفلتية سالبة Anionic Asphalt Emulsions
CRS – 1	RS – 1
CRS – 2	RS – 2
–––––	HFRS – 2
–––––	MS – 1
CMS –2	MS – 2
CMS – 2h	MS – 2h
–––––	HFMS – 1
–––––	HFMS – 2
–––––	HFMS – 2h
–––––	HFMS – 2S
CSS – 1	SS – 1
CSS – 1h	RS – 1h

جدول أ–7: متطلبات الأسفلت المستحلب – سريع الشك (rapid setting) طبقا لمواصفات الجمعية الأمريكية للاختبارات و المواد (ASTM D 977-91 , 1992)

ر. م	النوع	سريع الشك Rapid setting					
		RS – 1		RS – 2		HFRS – 2	
	التدرج	أدني	أقصي	أدني	أقصي	أدني	أقصي
1	اللزوجة ، سيبولت فيرول (25 م°ثانية) viscosity , saybolt furol (25 ^{0}C)	20	100	.....	.....	.....	.....
2	اللزوجة ، سيبولت فيرول (50 م°ثانية) viscosity , saybolt furol (50 ^{0}C)	.....	.....	75	400	75	400
3	ثبات التخزين ، 24 ساعة ، (%)[1] storage stability , 24 hr , (%)^A	.....	1	.....	1	.....	1
4	Demulsibility , 35 ml , 0.02 N $CaCl_2$,(%)	60	.....	60	.....	60	.....
5	قدرة التغليف و مقاومة الماء coating ability & water resistance						
1.5	تغليف الركام الجاف dry aggregate coating	.....		.....		.....	
2.5	تغليف ، بعد الرش coating , after spraying	.....		.....		.....	
3.5	تغليف الركام المبلل wet aggregate coating	.....		.....		.....	
4.5	تغليف بعد الرش coating , after spraying	.....		.....		.....	
6	اختبار الخلط مع الاسمنت cement mixing test	.....	.....	.....	.....	.....	.....
7	اختبار الغربال (%) sieve test^A ,%	.....	0.10	.....	0.10	.....	0.10
8	المتبقي بالتقطير % distillation residue	55		63	.....	63	.....
9	الاختبارات علي المتبقي من اختبار التقطير: tests on residue from distillation						
1.8	الغرز عند 25 م^0 ، 5 ثواني، 100 جم (1\10 مم) penetration	100	200	100	200	100	200
2.8	اللدونة عند 25 م^0 5 سم / دقيقة ، سم ductility at 25 C^0 (5 cm\min) cm	40	.....	40	.....	40	.....
3.8	الذوبان في ثلاثي كلورو الايثلين (%) solubility in trichloroethylene (%)	97.5	.....	97.5	.....	97.5	.....
4.8	اختبار التعويم ، 60 م^0 ، ثانية float test ,	.....	.....	.....	.....	1200	.....

1: يصرف النظر علي متطلبات الاختبار علي عينات نموذجية في حالة الحصول استخدام ناجح للمادة عمليا.

جدول أ–8: متطلبات الأسفلت المستحلب – متوسط الشك (medium setting) طبقا لمواصفات الجمعية الأمريكية للاختبارات و المواد (ASTM D 977-91 , 1992)

ر. م	النوع / التدرج	medium setting					
		MS – 1		MS – 1		MS – 1	
		أدني	أقصي	أدني	أقصي	أدني	أقصي
1	اللزوجة سيبولت فيرول عند 25م^0 ، ثانية viscosity, saybolt furol at 25C^0	20	100	100	.....	100	.....
2	اللزوجة سيبولت فيرول عند 50م^0 ، ثانية viscosity, saybolt furol at 50 C^0	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	اختبار ثبات التخزين ، 24 ساعة ، (%) storage stability test ,24 h. (%)	.....	1	.....	1	.....	1
4	Demulsibility,35ml, 0.02 N$CaCl_2$,%	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	قدرة التغليف و مقاومة الماء coating ability & water resistance	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1.5	تغليف ، الركام الجاف coating , dry aggregate	Good		Good		Good	
2.5	تغليف،بعد الرش coating , after spray	Fair		Fair		Fair	
3.5	تغليف ، الركام المبلل coating , wet agg.	Fair		Fair		Fair	
4.5	تغليف، بعد الرش coating, after spray	Fair		Fair		Fair	
6	اختبار الخلط مع الاسمنت cement mixing test	.....	.....	.....	.....	.....	.....
7	اختبار الغربال[1]، sieve test^A, %	.....	0.10	.....	0.10	.....	0.10
8	متبقي بالتقطير ، residue by distill. %	55	.....	65	.....	65	.....
9	الاختبارات علي المتبقي من اختبار التقطير: tests on residue from distillation						
1.8	الغرز عند 25 م^0 ،5 ثواني ،100 جم ، (Penetration 25^{0}C,5 sec, 100 gm)	100	200	100	200	40	90
2.8	اللدونة عند25 م^0 ،5 سم \ دقيقة،سم cm, Ductility at 25C^0 (5cm\min)	40	.....	40	.....	40	.....
3.8	الذوبان في ثلاثي كلورو الايثلين (%) solubility in trichloroethylene (%)	97.5	.....	97.5	.....	97.5	.....
4.8	اختبار التعويم ، 60 م^0 ، ثانية float test , 60 C^0,s	.....	.....	.....	.....	.....	.....

1: يصرف النظر علي متطلبات الاختبار علي عينات نموذجية في حالة الحصول استخدام ناجح للمادة عمليا.

جدول أ–9: متطلبات الأسفلت المستحلب – بطئ الشك (slow setting) طبقا لمواصفات الجمعية الأمريكية للاختبارات و المواد (ASTM D 977-91 , 1992)

ر. م	النوع / التدرج	slow setting					
		SS – 2		SS – 1		HFSS – 2s	
		أدني	أقصي	أدني	أقصي	أدني	أقصي
1	اللزوجة سيبولت فيرول عند 25م^0 ، ثانية viscosity, saybolt furol at 25^{0}C	50	.....	20	100	20	100
2	اللزوجة سيبولت فيرول عند 50م^0 ، ثانية viscosity, saybolt furol at 50^{0}C	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	اختبار ثبات التخزين ، 24 ساعة ، (%) storage stability test ,24 h. (%)	.....	1	.....	1	.....	1
4	Demulsibility,35ml,0.02NCaCl$_2$	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	قدرة التغليف و مقاومة الماء coating ability& water resistance	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1.5	تغليف ، الركام الجاف coating , dry aggregate	Good		.....		.....	
2.5	تغليف،بعد الرش coating,after spray	Fair		.....		.....	
3.5	تغليف، الركام المبلل coating , wet aggregate	Fair		.....		.....	
4.5	تغليف، بعد الرش coating after spray	Fair		.....		.....	
6	اختبار الخلط مع الاسمنت cement mix	.....	.....	.....	.....	.....	.....
7	اختبار الغربال[1]، % sieve test^A	.....	0.10	.....	0.10	.....	0.10
8	المتبقي بالتقطير % residue by distill	55	.....	57	.....	57	.....
9	الاختبارات علي المتبقي بعد التقطير: tests on. residue from distill						
1.8	الغرز عند 25م^0 ،5 ثواني ،100 جم ، Penetration (25C^0,5 sec, 100 gm)	200	.....	100	200	40	90
2.8	قابلية السحب عند 25م^0 ،5 سم \ دقيقة،سم cm , ductility at (25C^0 5cm\min)	40	.....	40	.....	40	.....
3.8	الذوبانية في ثلاثي كلورو الايثلين (%) solubility in trichloroethylene	97.5	.....	97.5	.....	97.5	.....
4.8	اختبار التعويم ، 60 م^0 ، ثانية float test , 60 C^0,s	.....	.....	.....	.....	.....	.....

1: يصرف النظر علي متطلبات الاختبار علي عينات نموذجية في حالة الحصول استخدام ناجح للمادة عمليا.

جدول أ–10: متطلبات الأسفلت المستحلب السالب طبقا لمواصفات الجمعية الأمريكية للاختبارات و المواد (ASTM D 2397-91 , 1992)

م	النوع	سريع الشك (rapid -setting)				متوسط الشك (medium-setting)				بطئ الشك (slow -setting)			
		CRS-1		CRS-2		CMS-1		CMS-2		CSS-1		CSS-1	
	التدرج	أدنى	أقصى	أدنى	أقصى	أدنى	أقصى	أدنى	أقصى	أدنى	أقصى	أدنى	أقصى
ا	**الاختبار علي المستحلبات**												
1	اللزوجة سيبولت فيرول عند 25م^0 ، ثانية viscosity	100	100	.....	.....	.....	.....	.....	.....	20	100	20	100
2	اللزوجة سيبولت فيرول عند 50م^0 ، ثانية viscosity,	20	100	100	400	50	450	50	450	.....	.....	.....	.....
3	اختبار ثبات التخزين،24 ساعة،% storage stab.	.....	1	.....	1	.....	1	.....	1	.....	1	.....	1
4	اختبار التصنيف classif. test	Passed		Passed		.....		.....		.....		.....	
5	قدرة التغليف و مقاومة الماء coating & water resis.												
1.5	تغليف ، الركام الجاف coating , dry aggr	.....		.....		.....		Good		.....		.....	
2.5	تغليف،بعد الرش coating , after spray	.....		.....		.....		Fair		.....		.....	
3.5	تغليف ، الركام المبلل coating , wet aggr	.....		.....		.....		Fair		.....		.....	
4.5	تغليف،بعد الرش coating, after spray	.....		.....		.....		Fair		.....		.....	
6	اختبار شحنة الجزئي particle charge	Positive		Positive		Positive		Positive		Positive		Positive	
7	اختبار الغربال[1] sieve test, %	.....	0.1	.....	0.1	.....	0.1	.....	0.1	.....	0.1	.....	0.1
8	الخلط مع الاسمنت cement mixing test	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2.0	.....	2.0
9	التقطير distillation	55	.....	63	.....	63	.....						
1.9	الزيت ناتج التقطير (%) oil distillation	.....	3	.....	3	.....	12	.....	12	.....	.....	.....	.....
2.9	المتبقي بالتقطير ، % residue by distill. , %	60	.....	65	.....	65	.....	65	.....	57	.....	57	.....
ب	**الاختبارات علي المتبقي من التقطير tests on residue from distillation**												
1	الغرز (25 مْ ،5 ثواني ،100 جم) Penetration	100	250	250	100	250	100	90	40	40	90	100	250
2	اللدونة (25 مْ ،5 سم /دقيقة) ،سم ductility	40	.....	40	.....	40	.....	40	.....	40	.....	40	.....
3	الذوبان في ثلاثي كلورو الايثلين (%) solubility	97.5	.....	97.5	.....	97.5	.....	97.5	.....	97.5	.....	97.5	.....

1: يصرف النظر علي متطلبات الاختبار علي عينات نموذجية في حالة الحصول استخدام ناجح للمادة عمليا.

جدول أ–11: تصنيف الأسفلت الصلب وفقا لنظام الغرز

نوع الاختبار	درجة الغرز									
	50 – 40		70 – 60		100 – 85		150 – 120		300 – 200	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
الغرز عند 25^{0}م ، 100جم 5 ثواني	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
نقطة الوميض	450	---	450	---	450	---	425	---	350	---
الذوبان في ثلاثي كلوروالايثيلين (%)	99	---	99	---	99	---	99	---	99	---
اختبار الاختراق بعد اختبار الفرن TFOT	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
قابلية الاستطالة عند (25 ^{0}م) بعد اختبار الفرن TFOT	---	---	50	---	75	--	100	---	100	---

جدول أ–12: مواصفات المادة الرابطة – صنف الأداء

Performance Graded Asphalt Binder Specifications (from AASHTO, 2001)

Performance Grade	PG 46			PG 52							PG 58					PG 64					
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Average 7- day Maximum Pavement Design Temperature, °C[a]	< 46			< 52							< 58					< 64					
Minimum Pavement Design Temperature, °C[a]	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40
ORIGINAL BINDER																					
Flash Point Temp, T 48, Minimum (°C):	230																				
Viscosity, ASTM D 4402:[b] Maximum, 3 Pa's, Test Temp, °C	135																				
Dynamic Shear, TP 5:[c] G*/sinδ, Minimum, 1.00 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46			52							58					64					
ROLLING THIN FILM OVEN RESIDUE (T 240)																					
Mass Loss, Maximum, percent	1.00																				
Dynamic Shear, TP 5: G*/sinδ, Minimum, 2.20 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46			52							58					64					
PRESSURE AGING VESSEL RESIDUE (PP 1)																					
PAV Aging Temperature, °C[d]	90			90							100					100					
Dynamic Shear, TP 5: G*/sinδ, Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Physical Hardening[e]	Report																				
Creep Stiffness, TP 1 Determine the critical cracking temperature as described in PP 42	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Direct Tension, TP 3 Determine the critical cracking temperature as described in PP 42	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

تابع جدول أ–12: مواصفات المادة الرابطة – صنف الأداء

Performance Graded Asphalt Binder Specifications (from AASHTO, 2001)

Performance Grade	PG 70						PG 76					PG 82				
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, °C[a]	< 70						< 76					< 82				
Minimum Pavement Design Temperature, °C[a]	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-23	-34	-10	-16	-22	-28	-34
ORIGINAL BINDER																
Flash Point Temp, T 48, Minimum (°C)	230															
Viscosity, ASTM D 4402:[b] Maximum, 3 Pa·s, Test Temp, °C	135															
Dynamic Shear, TP 5:[c] $G^*/\sin\delta$, Minimum, 1.00 kPa Test Temp @ 10 rad/s °C	70						76					82				
ROLLING THIN FILM OVEN RESIDUE (T 240)																
Mass Loss, Maximum, percent	1.00															
Dynamic Shear, TP 5: $G^*/\sin\delta$, Minimum, 2.20 kPa Test Temp @ 10 rad/s °C	70						76					82				
PRESSURE AGING VESSEL RESIDUE (PP 1)																
PAV Aging Temperature °C[d]	100 (110)						100 (110)					100 (110)				
Dynamic Shear, TP 5: $G^*\sin\delta$, Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/s °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Physical Hardening[e]	Report															
Creep Stiffness, TP 1 Determine the critical cracking temperature as described in PP 42	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-13	-24	0	-6	-12	-18	-24
Direct Tension, TP 3 Determine the critical cracking temperature as described in PP 42	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-13	-24	0	-6	-12	-18	-24

ملحق (ب): البيانات المناخية

جدول (ب-1): البيانات المناخية لمحطة طرابلس

المحطة: طرابلس

المنسوب: 81 متر دائرة العرض: 32 40N خط الطول: 13 09E

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	12	13	15	18	22	26	27	28	27	23	17	13	20

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	17	18	21	25	29	33	35	35	33	28	22	18	26

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	6	7	9	12	16	19	20	21	20	17	11	8	14

اعلى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	32	33	37	41	43	47	47	48	46	42	37	31	48

ادنى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	***	1	2	2	7	11	12	14	12	***	1	***	***

متوسط عدد الايام التي اعلى من 32°م الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	1	5	11	18	23	26	17	9	1	***	111

متوسط عدد الايام التي اعلي من 21°م الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	4	8	15	24	30	30	31	31	30	30	21	9	263

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 112سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	6	4	2	1	***	***	***	***	1	3	6	8	34

اعلي سقوط امطار مسجل الفترة الاحصائية: 112سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	20	16	25	8	5	1	1	2	10	19	29	37	75

ادني سقوط امطار مسجل الفترة الاحصائية: 112سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	4

تابع جدول (ب-1): البيانات المناخية لمحطة طرابلس

متوسط عدد ايام العواصف الممطرة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	2	1	1	1	1	1	***	***	1	2	2	2	14

متوسط عدد ايام الضباب الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	6	7	9	8	10	9	13	14	9	9	7	6	107

متوسط الرطوبة النسبية صباحا الفترة الاحصائية: 20سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	84	82	81	75	68	67	71	75	78	79	82	82	77

متوسط الرطوبة النسبية مساء الفترة الاحصائية: 18سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	59	52	52	46	42	41	40	42	46	50	56	58	48

متوسط نقطة الندي الفترة الاحصائية: 19سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	6	6	8	10	12	15	17	18	17	14	10	7	12

متوسط سرعة الرياح الفترة الاحصائية: 19سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
كم/س	12	14	14	16	16	16	14	12	12	14	12	12	14

جدول (ب-2): البيانات المناخية لمحطة سرت

المحطة: سرت

المنسوب متر 13 دائرة العرض: 31 12N خط الطول: 16 35E

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	13	15	16	18	21	24	25	26	26	23	18	15	20

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	16	17	20	22	24	27	28	29	28	26	22	18	23

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	10	11	12	15	18	21	23	23	22	20	15	12	17

اعلى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	35	41	37	40	43	45	42	43	43	40	37	28	45

ادنى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	***	***	7	8	8	12	17	15	17	11	2	1	***

متوسط عدد الايام التي اعلى من 32°م الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	1	2	4	5	2	3	3	3	***	***	25

متوسط عدد الايام التي اعلي من 21°م الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	3	5	10	13	24	30	31	31	30	30	20	6	232

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 66سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	3	2	1	***	***	***	***	***	1	2	2	4	18

اعلي سقوط امطار مسجل الفترة الاحصائية: 66سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	15	10	7	3	2	1	***	***	15	21	15	16	42

ادني سقوط امطار مسجل الفترة الاحصائية: 66سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	5

تابع جدول (ب-2): البيانات المناخية لمحطة سرت

متوسط عدد ايام العواصف الممطرة الفترة الاحصائية: 17سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	1	***	***	***	***	***	***	***	1	1	1	1	5

متوسط عدد ايام الضباب الفترة الاحصائية: 17سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	3	4	5	6	10	13	13	13	9	9	3	3	91

متوسط الرطوبة النسبية صباحا الفترة الاحصائية: 16سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	77	73	74	73	75	76	80	81	78	77	74	74	76

متوسط الرطوبة النسبية مساء الفترة الاحصائية: 14سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	61	60	62	64	68	70	71	69	69	65	59	60	65

متوسط نقطة الندي الفترة الاحصائية: 14سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
°م	7	7	8	11	14	17	20	21	20	16	12	8	13

متوسط سرعة الرياح الفترة الاحصائية: 14سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
كم/س	20	20	20	20	19	17	17	17	17	17	19	19	19

جدول (ب-3): البيانات المناخية لمحطة بنغازي

المحطة:بنغازي

المنسوب: متر 25 دائرة العرض: 32 06N خط الطول: 20 0.0E

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 45سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
م°	13	14	16	18	21	24	25	25	24	23	19	15	19

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 45سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
م°	16	18	20	23	26	28	28	29	29	27	23	18	23

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 45سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
م°	9	10	11	14	17	19	21	21	20	18	14	11	15

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 118سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
سم	6.7	4	2.1	0.5	0.3	***	***	***	0.3	1.9	4	6.4	26.2

جدول (ب-4): البيانات المناخية لمحطة هون

المحطة:هون

المنسوب: متر 207 دائرة العرض: 29 08N خط الطول: 15 57E

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 10سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	11	13	16	20	24	27	28	28	27	23	17	13	21

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 10سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	20	22	26	30	33	37	38	38	36	32	26	21	30

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 10سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	2	5	7	10	15	18	19	19	18	14	9	5	12

اعلى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 12سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	30	33	40	43	47	49	50	48	47	41	39	32	50

ادنى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 11سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	-7	-5	-3	1	2	10	10	10	10	4	***	-6	-7

متوسط عدد الايام التي اعلى من 32°م الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	4	10	18	28	29	30	24	10	2	***	158

متوسط عدد الايام التي اقل من 0°م الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	9	5	2	***	***	***	***	***	***	***	***	5	22

متوسط عدد الايام الممطرة الفترة الاحصائية: 12سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	4

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 12سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	3

متوسط الرطوبة النسبية الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	58	55	47	42	39	35	40	42	45	53	55	59	48

متوسط نقطة الندى الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	1	2	2	5	7	9	11	11	11	10	6	3	7

جدول (ب-5): البيانات المناخية لمحطة درنة

المحطة: درنة

المنسوب: 9 متر دائرة العرض: 32 44N خط الطول: 22 38E

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 24 سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	13	13	15	17	19	22	24	25	23	21	18	15	19

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 24 سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	18	18	20	23	25	27	28	29	28	27	23	20	24

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 24 سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	8	8	10	12	14	17	20	21	19	16	13	10	14

اعلى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 24 سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	30	31	41	40	43	45	44	43	42	39	36	31	45

ادنى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 24 سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	1	***	1	2	6	11	11	13	12	8	3	1	***

متوسط عدد الايام التي اعلى من 32°م الفترة الاحصائية: 8 سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	***	1	3	3	***	1	1	3	***	***	15

متوسط عدد الايام الممطرة الفترة الاحصائية: 28 سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	5	4	2	1	***	***	***	***	***	1	3	5	25

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 28 سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	6	4	2	1	***	***	***	***	***	2	4	6	28

متوسط الرطوبة النسبية صباحا الفترة الاحصائية: 8 سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	72	70	72	72	71	72	75	75	73	70	68	67	71

متوسط نقطة الندي الفترة الاحصائية: 8 سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	8	8	10	11	13	17	20	21	18	16	13	9	14

جدول (ب-6): البيانات المناخية لمحطة الجوف

المحطة: الجوف

المنسوب: متر 382 دائرة العرض: 13N 24 خط الطول: 18E 23

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	12	14	18	23	27	30	29	30	27	24	19	14	23

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	20	23	27	32	36	38	37	38	35	32	27	22	31

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	5	6	10	15	19	22	22	23	20	16	11	7	15

اعلى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 11سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	32	37	40	43	47	50	43	46	42	41	38	32	50

ادنى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 11سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	-3	-1	***	7	8	15	16	17	13	3	2	-1	-3

متوسط عدد الايام التي اعلى من 32°م الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	1	5	17	25	30	31	31	27	16	4	***	191

متوسط عدد الايام التي اقل من 0°م الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	1	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	1	3

متوسط عدد الايام الممطرة الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

متوسط الرطوبة النسبية الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	53	48	41	34	32	27	28	28	33	37	45	52	38

متوسط نقطة الندي الفترة الاحصائية: 8سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	2	3	5	6	8	8	9	9	9	8	6	4	6

جدول (ب-7): البيانات المناخية لمحطة سبها

المحطة: سبها

المنسوب: متر 440 دائرة العرض: 27 01N خط الطول: 14 27E

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 4سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	11	14	18	23	27	31	30	30	28	24	19	11	22

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 4سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	17	22	26	31	36	40	38	37	36	32	26	16	30

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 3سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	5	7	10	15	19	23	23	23	21	17	12	7	15

اعلى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 12سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	28	36	37	42	44	45	45	43	48	40	37	31	48

ادنى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 12سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	-2	-4	1	6	10	14	17	16	13	8	2	-3	-4

متوسط عدد الايام التي اعلى من 32°م الفترة الاحصائية: 4سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	***	14	24	30	31	31	24	17	***	***	***

متوسط عدد الايام التي اقل من 0°م الفترة الاحصائية: 3سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	1	2	***	***	***	***	***	***	***	***	***	1	5

متوسط عدد الايام الممطرة الفترة الاحصائية: 11سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	1

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 11سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

متوسط الرطوبة النسبية صباحا الفترة الاحصائية: 5سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	54	51	40	38	35	29	36	40	43	42	50	55	43

متوسط نقطة الندي الفترة الاحصائية: 2سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	3	3	9	10	5	6	9	10	10	11	9	4	7

جدول (ب-8): البيانات المناخية لمحطة غدامس

المحطة: غدامس

المنسوب: متر 356 دائرة العرض: 30 08N خط الطول: 009 30E

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	11	13	17	22	27	32	32	32	28	24	16	12	22

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	16	19	22	28	33	38	38	38	35	30	22	17	28

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	6	8	11	16	20	25	25	25	22	18	11	7	16

اعلى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	28	34	36	43	45	47	46	47	45	40	35	30	47

ادنى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	-3	-1	-1	***	7	7	12	15	12	5	***	-2	-3

متوسط عدد الايام التي اعلى من 32°م الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	2	9	20	29	31	31	25	12	1	***	159

متوسط عدد الايام التي اعلي من 21°م الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	4	10	20	28	31	30	31	31	30	30	18	6	269

متوسط عدد الايام التي اقل من 0°م الفترة الاحصائية: 21سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	1	1	***	***	***	***	***	***	***	***	***	1	3

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 64سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	0.5	0.4	0.6	0.3	0.1	0.1	***	***	0.1	0.2	0.2	0.3	2.7

متوسط عدد الايام الممطرة الفترة الاحصائية: 14سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	3	3	2	2	2	1	***	***	1	2	2	3	21

تابع جدول (ب-8): البيانات المناخية لمحطة غدامس

متوسط عدد ايام العواصف الفترة الاحصائية: 14سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	2

متوسط عدد ايام الضباب الفترة الاحصائية: 14سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	1	***	1	***	***	***	***	***	***	***	2	2	6

متوسط الرطوبة النسبية صباحا الفترة الاحصائية: 16سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	69	58	53	43	40	34	35	38	46	50	64	68	49

متوسط الرطوبة النسبية مساء الفترة الاحصائية: 15سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	36	27	23	18	16	14	13	14	18	24	33	37	23

متوسط نقطة الندي الفترة الاحصائية: 14سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
° م	***	-1	***	***	3	5	6	6	7	6	3	1	3

متوسط سرعة الرياح الفترة الاحصائية: 15سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
km\h	14	17	17	19	19	19	17	16	16	14	14	14	16

متوسط عدد الايام ذات الرياح المحملة بالغبار و الرمل الفترة الاحصائية: 14سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	10	12	19	21	22	21	14	15	13	14	9	8	178

متوسط عدد الايام (بها دخان؟) الفترة الاحصائية: 14سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	1	1	1	1	***	***	***	***	***	1	1	1	7

متوسط عدد الايام التي فيها الرؤية غير واضحة الفترة الاحصائية: 14سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	10	12	19	21	22	21	14	15	13	14	9	8	178

جدول (ب-9): البيانات المناخية لمحطة السبيعة

المحطة: السبيعة

المنسوب: متر 112 دائرة العرض: 32 31N خط الطول: 13 01E

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 38سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
° م	11	13	15	19	23	27	28	29	27	24	17	12	20

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 38سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
° م	17	19	22	27	31	35	37	37	35	30	24	18	27

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 38سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
° م	5	6	8	11	15	18	20	20	19	17	11	6	13

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 34سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
سم	5.1	3.5	2.3	1	0.4	0.2	***	***	0.7	1.3	2.6	4.4	21.4

جدول (ب-10): البيانات المناخية لمحطة غات

المحطة: غات

المنسوب: متر 709 دائرة العرض: 24 55N خط الطول: 10 12E

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 7سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	13	16	20	25	29	33	33	32	31	26	21	15	24

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 7سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	20	24	28	33	37	41	41	40	38	34	28	22	32

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 7سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	6	8	12	17	22	26	25	25	24	19	14	8	17

اعلى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 7سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	28	33	37	42	43	49	51	46	46	39	37	36	51

ادنى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 7سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	***	***	3	5	15	18	18	17	16	12	3	***	***

متوسط عدد الايام التي اعلى من 32م الفترة الاحصائية: 7سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	7	19	31	30	31	31	30	21	6	***	***

متوسط عدد الايام الممطرة الفترة الاحصائية: 9سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	1

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 9سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	1

متوسط الرطوبة النسبية صباحا الفترة الاحصائية: 2 سنتين

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	29	21	15	12	8	6	10	10	12	17	31	38	17

متوسط نقطة الندي الفترة الاحصائية: 5 سنوات

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	-6	-8	-10	-8	-11	-11	-5	-5	-4	-2	1	***	-6

جدول (ب-11): البيانات المناخية لمحطة غريان

المحطة: غريان

المنسوب: 850 متر دائرة العرض: N 17 31 خط الطول: 00E 13

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 20 سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
م °	9	10.5	12.6	15.8	20.4	24.3	26	26.2	23.2	19.1	15.4	10.2	17..8

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 20 سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
م °	11	14	17	22	26	31	33	33	30	25	19	13	22

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 20 سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
م °	4	6	8	10	14	18	20	20	18	15	10	6	12

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 74 سنة

الشهر	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*السنوي*
سم	7	5.2	5.4	3.9	0.6	0.3	***	0.3	1.8	4.8	3.8	5.1	38.1

جدول (ب-12): البيانات المناخية لمحطة زوارة

المحطة: زوارة

المنسوب: 3 متر دائرة العرض: 32 53N خط الطول 12 05E

متوسط درجة الحرارة الفترة الاحصائية: 20سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	12	13	15	17	20	23	26	27	26	23	18	13	20

متوسط اعلى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 20سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	16	17	18	21	23	26	28	30	28	26	21	17	23

متوسط ادنى درجة حرارة الفترة الاحصائية: 20سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	9	10	12	14	17	21	23	24	23	20	14	10	16

اعلى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 20سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	28	32	37	39	42	45	42	45	43	40	35	30	45

ادنى درجة حرارة مسجلة الفترة الاحصائية: 20سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	***	2	2	2	9	10	14	18	13	10	1	***	***

متوسط عدد الايام التي اعلى من 32°م الفترة الاحصائية: 20سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	***	***	1	2	2	3	3	4	3	3	***	***	21

متوسط سقوط الامطار الفترة الاحصائية: 38سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	2	1	1	1	***	***	***	***	1	4	4	5	23

اعلي سقوط امطار مسجل الفترة الاحصائية: 38سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
سم	9	6	7	10	7	***	***	***	12	16	19	17	45

متوسط عدد ايام الضباب الفترة الاحصائية: 13سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
يوم	3	3	4	4	5	6	7	6	3	3	2	2	48

متوسط الرطوبة النسبية صباحا الفترة الاحصائية: 16سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	80	76	79	76	78	80	81	82	80	77	76	79	79

تابع جدول (ب-12): البيانات المناخية لمحطة زوارة

متوسط الرطوبة النسبية مساء الفترة الاحصائية: 15سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
%	65	63	70	69	72	74	74	73	72	69	62	64	69

متوسط نقطة الندي الفترة الاحصائية: 15سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
م °	7	7	10	12	15	18	21	22	21	17	11	8	14

متوسط سرعة الرياح الفترة الاحصائية: 15سنة

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	السنوي
km\h	16	16	22	22	22	20	19	19	19	20	16	16	19

جدول (ب– 13) كمية الإشعاع الشمسي الساقط علي منطقة درنة

كمية الإشعاع (Kw.h)					الشهر
Sayigh's	sabbhag's	Modified sabbhag's	Barbaro's	Hay's	
2.31	4.23	2.97	2.58	2.45	1
3.55	5.06	3.86	3.70	3.44	2
4.13	5.61	4.67	4.50	4.33	3
4.95	6.10	5.49	5.61	5.42	4
6.30	6.49	6.25	6.57	6.68	5
7.10	6.75	6.74	7.12	7.28	6
7.07	6.72	6.59	6.96	7.20	7
6.76	6.74	6.23	6.65	6.79	8
5.61	6.27	5.39	5.60	5.51	9
4.42	5.58	4.42	4.22	4.10	10
3.53	4.80	3.48	3.25	3.06	11
2.31	4.19	2.89	2.44	2.31	12
4.84	5.71	4.92	4.93	4.88	المتوسط السنوي

جدول (ب– 14) كمية الإشعاع الشمسي الساقط علي منطقة سرت

كمية الإشعاع (Kw.h)					الشهر
Sayigh's	sabbhag's	Modified sabbhag's	Barbaro's	Hay's	
3.05	4.73	3.36	3.23	3.04	1
4.35	5.56	4.27	4.34	4.06	2
5.44	6.36	5.30	5.43	5.31	3
5.87	6.63	5.95	6.24	6.15	4
6.15	6.57	6.27	6.53	6.64	5
8.29	7.30	7.21	7.87	8.14	6
8.78	7.50	7.29	8.05	8.42	7
8.29	7.51	6.91	7.68	7.91	8
6.48	6.75	5.80	6.24	6.19	9
5.07	5.97	4.75	4.74	4.62	10
4.30	5.27	3.86	3.87	3.62	11
3.29	4.81	3.35	3.29	3.04	12
5.78	6.25	5.36	5.63	5.60	المتوسط السنوي

جدول (ب– 15) كمية الإشعاع الشمسي الساقط على منطقة سبها لمدة عام كامل

كمية الإشعاع (Kw.h)					الشهر
Sayigh's	sabbhag's	Modified sabbhag's	Barbaro's	Hay's	
4.09	5.46	3.90	4.38	4.10	1
5.30	6.01	4.55	5.31	5.02	2
5.65	6.48	5.30	5.83	5.76	3
6.08	7.13	6.28	6.56	6.53	4
6.85	7.98	7.47	7.05	7.30	5
8.47	9.11	8.78	8.05	8.40	6
9.06	9.54	9.09	8.31	8.76	7
8.33	9.08	8.29	7.86	8.16	8
6.53	8.15	7.04	6.52	6.53	9
5.84	6.75	5.36	5.53	5.45	10
4.97	5.80	4.25	4.63	4.34	11
3.85	5.22	3.63	4.03	3.77	12
6.25	7.23	6.16	6.17	6.18	المتوسط السنوي