جامـــعة دمـــشق
كليـــــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

المواد البيتومينية واختباراتها

المحاضرة ٣

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

الفرق بين الإسفلت والبيتومين

أنواع المواد البيتومينية

خواص المواد البيتومينية

اختبارات المواد البيتومينية

تركيب الرابط الإسفلتي

الفرق بين الإسفلت والبيتومين

يعتبر الإسفلت مادة طبيعية أما البيتومين فهو مادة صناعية، ولكن يعتبر هذان المصطلحان مسميان لمادة واحدة وفي بعض المراجع يضعون أحد المصطلحين وذلك للتفريق بين المادة الطبيعية والصناعية، ولكن في دراستنا لا نهتم لهذا التمييز حيث نعتمد على تصنيف الآشتو الذي يستخدم مصطلح الإسفلت لكلا المادتين.

الإسفلت الطبيعي: موجود طبيعيا ضمن الصخور أو في البحيرات نتيجة الترسبات ، يتواجد في منطقة كفريا في اللاذقية، وفي دير الزور في جبل بشري وقد استعمل في الرصف الطرقي (مثل طرق زراعية أو درجة ثانية أو ثالثة).

البيتومين الصناعي: هو عبارة عن الإسفلت الناتج عن تقطير (تكرير) النفط ويعتبر العنصر الأساسي في العالم.

أنواع المواد البيتومينية

- البيتومين الصلب
- البيتومين (الإسفلت) السائل
- المستحلبات الإسفلتية
- القطران

البيتومين الصلب

صفات (مميزات) مادة البيتومين الصلب:

١) يعتبر عازل كهربائي و حراري و صوتي.

٢) له قدرة كبيرة على الالتصاق في مواد البناء (الحصويات ، الزجاج ، الخشب ....).

٣) غير قابل للانحلال بالماء ، ولكنه قادر على الانحلال بمحاليل عضوية (مواد ناتجة عن تكرير النفط مثل المازوت والغاز والبنزين... الخ).

٤) يعتبر جسم لزج مرن وذلك حسب شروط التحميل:

- إذا كان التحميل سريع: فإن الجسم يكون مرن.
- إذا كان التحميل بطيء: فإن الجسم يكون لزج.
- إذا كان التحميل متوسط : فإن الجسم يكون مزيج بين المرونة واللزوجة

٥) ذو تركيب كيميائي معقد جداً.

تصنيف البيتومين :

يتم تصنيف البيتومين بطريقتين:

حسب درجة الغرز: وتحدد وفق تجربة سندرسها في فقرة لاحقة، ونكتب القيمة عادة بجانب ماركة الإسفلت.

حسب اللزوجة: حيث يرمز للزوجة بالرمز AC – 40 .. حيث الرقم ٤٠ يتغير بتغيير لزوجة الإسفلت.

حيث يشير الرقم أمام (AC) إلى اللزوجة مقدرة بـ البواز (بعد ضربها بـ ١٠٠) مع هامش ($\pm$ 20%) .

مثلا: إذا كان لدينا إسفلت من النوع AC-10 فإن لزوجته تساوي : $(100 * 10)$
$1000 =$ بأخذ مجال الخطأ يكون$(200 = \frac{20}{100} * 1000)$ إذاً اللزوجة تكون:
1000 ± 200بواز.

البيتومين (الإسفلت) السائل أو (الكات باك):

تعريفه : هو بيتومين عادي مضافاً إليه أحد الزيوت الطيارة المشتقة من النفط (بنزين، ديزل، كازولين...الخ) بهدف زيادة سيولة الإسفلت لفترة أطول من الزمن ، و تخفيف لزوجة البيتومين.

الغاية أو الهدف من استخدام الزيوت الطيارة: إن الزيوت الطيارة تقوم بزيادة قابلية تشغيل البيتومين، وتستخدم كبديل للحرارة (تستخدم الحرارة لزيادة قابلية التشغيل ولكن الزيوت الطيارة تغني عن ذلك فهي تقوم بزيادة قابلية التشغيل تلقائياً) لذلك يمكن استخدام الإسفلت في درجات الحرارة العادية أو بعد تسخينه.

استخدامات الإسفلت (البيتومين) السائل:

١) تثبيت التربة.

٢) تهيئة سطوح طبقات الرصف لاستقبال الخلطات البيتومينية.

- إن البيتومين السائل يضاف إلى طبقات الرصف ثم ننتظر حتى تتبخر الزيوت الطيارة منه ويبقى البيتومين الذي يؤمن الالتصاق الجيد و يعمل على ربط وتلاحم العناصر مع بعضها البعض .
- إن عملية تزفيت الطريق تعتمد على رش البيتومين السائل ثم بعد فترة يوضع الاسفلت ويرص بالمداحل.

أقسام الإسفلت (البيتومين) السائل:

ينقسم الإسفلت السائل حسب المادة المستعملة في إنتاجه إلى:

- سريع التطاير: Rapid Curing (R.C) : نضيف للإسفلت (البيتومين) مادة شديدة التطاير مثل الفازولين.
- متوسط التطاير: Medium Curing (M.C) : نضيف للإسفلت (البيتومين) مادة مذيبة أقل تطايراً مثل الكيروسين.
- بطيء التطاير : Slow Curing (S.C) :يتم الحصول عليه من خلال دمج البيتومين (الإسفلت) بزيوت خفيفة تحتوي قليلاً أو قد لا تحتوي على مكونات طيارة.

تصنيف الإسفلت (البيتومين) السائل:

يتم تصنيف حسب اللزوجة وحسب سرعة تطاير الزيوت ويوجد تصنيفين: قديم وحديث.

التصنيف القديم: هو التصنيف الذي يعتمد على الآشتو وينص على ما يلي:

- حسب اللزوجة: يعطي أرقام من ٠ ← ٥ وذلك باختلاف هذه الزوجة ، حيث الـ ٠ يدل على اخفض درجة لزوجة أما الـ ٥ يدل على أعلى درجة لزوجة.
- حسب سرعة التطاير: حسب الفقرة السابقة " أقسام الإسفلت " مع حفظ الرمز لكل نوع .

مثال: رمز الإسفلت السائل عالي اللزوجة وسريع التطاير وفق التنصيف القديم:

الجواب: RC-5

التصنيف الحديث:

- حسب اللزوجة: يعتمد على قياس اللزوجة في درجة حرارة $60°C$ مقدرة بـ (Centistockes) وهي واحدة القياس.
- حسب سرعة التطاير: حسب الفقرة السابقة " أقسام الإسفلت " مع حفظ الرمز لكل نوع .

أمثلة:

RC-70 :إسفلت سائل سريع التطاير وذو لزوجة ٧٠ (قليل اللزوجة).

MC-3000 :إسفلت سائل متوسط سرعة التطاير عالي اللزوجة.

نوع الإسفلت	التسمية القديمة (الدارجة)	التسمية الحديثة
إسفلت سائل سريع التطاير	RC -1	RC - 70
	RC -2	RC - 250
	RC -3 , RC -4	RC - 800
	RC -5	RC - 3000
اسفلت سائل متوسط التطاير	MC -0	MC - 30
	MC -1	MC- 70
	MC-2	MC - 250
	MC -3 , MC - 4	MC - 800
	MC - 5	MC -3000

المستحلبات الإسفلتية:

تعريف المستحلب: عبارة عن سائلين غير قابلين للانحلال فيما بينهما ، وممزوجين مع بعض.

مثال: مزج الماء والزيت ، فعند وضع كمية من الماء مع كمية من الزيت والقيام بتحريكهم تحدث عملية مزج ولكن في حال ترك الماء والزيت لفترة من الزمن ف سيؤدي إلى تجمع الزيت في الأعلى وبقاء الماء في الأسفل أي لم يتم الانحلال فيما بينهم.

تعريف المستحلب الإسفلتي: هو عبارة عن دمج البيتومين + ماء + مادة رغوية (صابون) بدرجة حرارة معينة .

- دمج البيتومين مع الماء من اجل سهولة قابلية التشغيل.
- استخدام مادة رغوية (صابون) في المستحلبات الإسفلتية لزيادة تشبث البيتومين ومنع التصاقه مع بعضه (أي انفصال البيتومين عن الماء) و تخفيض الشد السطحي بين البيتومين و الماء ويقوم بتشكيل طبقة على سطح البيتومين ذات شوارد سالبة أو موجبة

أنواع المستحلبات الإسفلتية:

المستحلبات المشرسبة: تكون ذات شوارد سالبة وهي التي تستخدم لحصويات سطوحها ذات شوارد موجبة (حصويات كلسية) وذلك حتى يحدث التصاق ، ولها عدة أنواع حسب سرعة تحطم المستحلب:

- سريعة التحطم: Rapid setting (R.S) تستخدم لالتصاق طبقات الرصف فيما بينها.
- متوسطة سرعة التحطم:(M.S) Medium setting تستخدم لصيانة الطرقات.
- بطيئة سرعة التحطم: (S.S) Slow setting تستخدم لأعمال الطرق في الشتاء.

المستحلبات المشرجبة: تكون ذات شوارد موجبة و هي التي تستخدم لحصويات سطوحها ذات شوارد سالبة (حصويات سيليسية) وتقسم أيضاً حسب سرعة التحطم إلى:

سريعة - متوسطة - بطيئة

لكن استعمالها محدود في مجال أعمال الطرق

القطران:

تعريفه: هو سائل أسود اللون ناتج عن تقطير المواد الطبيعية والعضوية كالخشب والفحم الحجري.

مراحل الحصول على قطران الطرق:

١) كربنة الفحم الحجري بغياب الهواء ← نحصل على القطران الخام .

٢) تكرير القطران الخام وتقطيره.

٣) مزج رواسب التقطير مع بعض الزيوت الناتجة عن التقطير والحصول على قطران الطرق.

يقسم حسب اللزوجة إلى خمسة أقسام: RT -1 , RT-2 , RT -3 , RT- 4 , RT -5

وتكون استعمالات الأنواع السابقة كما يلي:

- **RT -1 :** يستعمل في طلاء الطبقة السطحية في ظروف مناخية باردة.
- **RT -2 , RT -3 , RT -4 :** يستعمل في عمليات الصيانة.
- **RT -5:** يستعمل في أعمال الحقن.

خواص المواد البيتومينية:

١- القوام:

يعتبر القوام من الخواص المهمة للبيتومين ، حيث تلعب الحرارة دوراً مهماً في التأثير على القوام لذلك يجب اختيار البيتومين الذي يتلائم قوامه مع مناخ المنطقة المراد العمل بها (يعني قوام البيتومين في سوريا غير قوام البيتومين في السودان وذلك بسبب اختلاف درجات الحرارة) ، بمعنى آخر يجب تصميم البيتومين بحيث لا يكون طري تحت أعلى درجة حرارة ولا هش تحت أخفض درجة حرارة للمنطقة المدروسة.

يمكن التحكم بقوام البيتومين حتى يكون ملائماً للظروف المناخية للمنطقة المدروسة عن طريق إما إضافات خاصة (مثل : مواد طيارة أو مستحلبات إسفلتية) ، أو عن طريق عملية تكرير النفط (حيث إن اختلاف طريقة التكرير يؤدي إلى اختلاف نوعية البيتومين وخواصه).

٢- الديمومة او المقاومة للعوامل الجوية:

إن العوامل الجوية لها تأثير كبير على البيتومين حيث تشكل طبقة رقيقة تحيط بالبيتومين وتضعف من لدونته شيئاً فـ شيئاً ليصبح هشاً ، لذلك يجب دراسة العوامل الجوية وتأثيرها على الخواص الفيزيائية و الكيميائية من أجل استخدام نوع الإسفلت المناسب.

٣- معدل سرعة التجمد:

يتعلق بنوع وكمية المحلول المستعمل:

- كلما كانت كمية المحلول أقل ◄◄ قلت سرعة التجمد وقلت الطرواة.
- كلما زادت كمية المحلول أكثر ◄◄ زادت سرعة التجمد وزادت الطرواة.
- كما أنها تتعلق أيضاً بالعوامل الخارجية (سرعة الرياح – درجة الحرارة – مساحة السطح المعرض للعوامل الجوية) .

٤ـ مقاومة فعل الماء:

إن ديمومة الخلائط البيتومينية تتعلق بشكل كبير باستمرارية التحام البيتومين مع الحصويات حين وجود الماء، حيث ضياع بعض أو معظم التلاحم بين البيتومين والحصويات يؤدي إلى تخريب الطريق بشكل مبكر.

حيث أنه يوجد أنواع من الحصويات كارهة أو محبة للماء وبالتالي يجب أن يكون هناك توافق بين أنواع الحصويات والمواد البيتومينية المستعملة كي لا تحصل عملية تعري الحصويات من البيتومين.

في حال كانت الحصويات شرهة للماء أو معرضة لمياه الأمطار فيجب إضافة مانع تعري للخلطة من أجل المحافظة على التلاحم بين المواد البيتومينية والحصويات.

إن الخواص السابقة مترابطة مع بعضها البعض ، بحيث عند تصميم الخلطة يجب أخذ جميع الخواص بعين الاعتبار وذلك حسب المنطقة المراد تصميم الخلطة لها وما تتعرض له من ظروف مناخية و .. الخ .

اختبارات المواد البيتومينية:

تجربة الغرز:

تعريفها: هي تجربة تجرى في المخبر وتستخدم لتحديد قساوة أوليونة البيتومين الصلب.

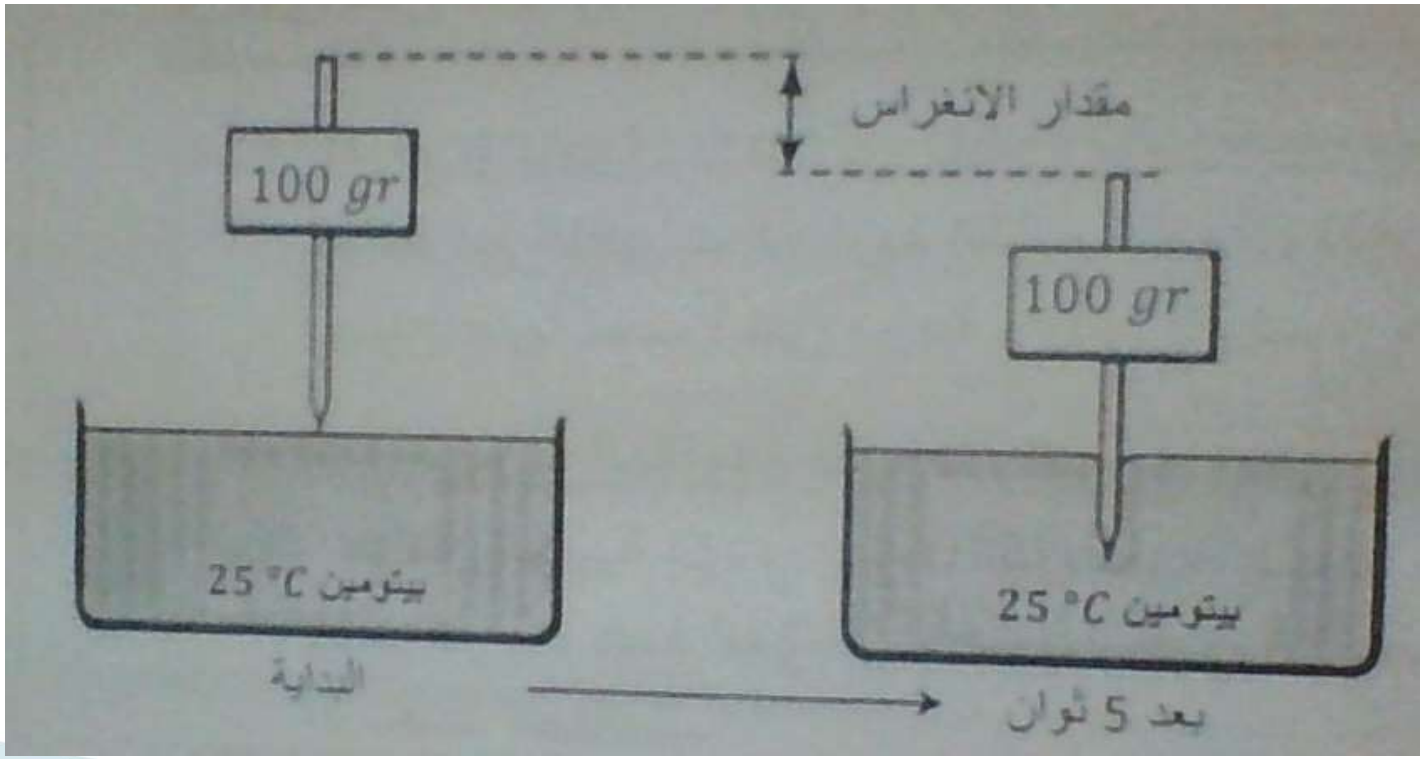
طريقة التجربة: يسمح لإبرة قطرها (1 mm) ووزنها (100 g)بالانغراس شاقولياً (أي سقوطها تحت تأثير ثقلها) ضمن عينة البيتومين الموجودة بدرجة حرارة $25°c$ ولمدة ٥ ثواني .

يقاس عمق انغراس الإبرة ضمن العينة بـ (1/100 cm) ، مثلا من أجل بيتومين يمتلك درجة غرز (٦٠) حذا يعني أن إبرة الجهاز انغرست بالعينة (0.60 cm).

نقوم بإجراء هذه التجربة ٣ مرات (أي في ثلاث مواقع) بحيث كل موقع يبعد عن الآخر مسافة (١ سم) ثم نأخذ الوسطي من أرقام التجارب الثلاث فيكون هو درجة الغرز.

يتم استخدام البيتومين الصلب فقط في هذه التجربة ولا يمكن استعمال القطران أو البيتومين السائل وذلك لأن العينة ستكون لينة جداً.

في المناطق الحارة يستخدم بيتومين ذات درجة غرز منخفضة ، وفي سوريا يستخدم صنف ذو درجة غرز ٦٠ أو ٧٠



تجربة اللزوجة:

خاصية اللزوجة لسائل: هي تأخر السائل بالسيلان بالنسبة لسائل آخر خلال فترة زمنية محددة (أي هي عكس السيلان).

تتعلق اللزوجة بـ:

١) درجة الحرارة أثناء الخلط والرصف

٢) نوعية وتدرج المواد الحصوية

٣) نوع البيتومين.

يعتمد على قياس اللزوجة النسبية وليس المطلقة .

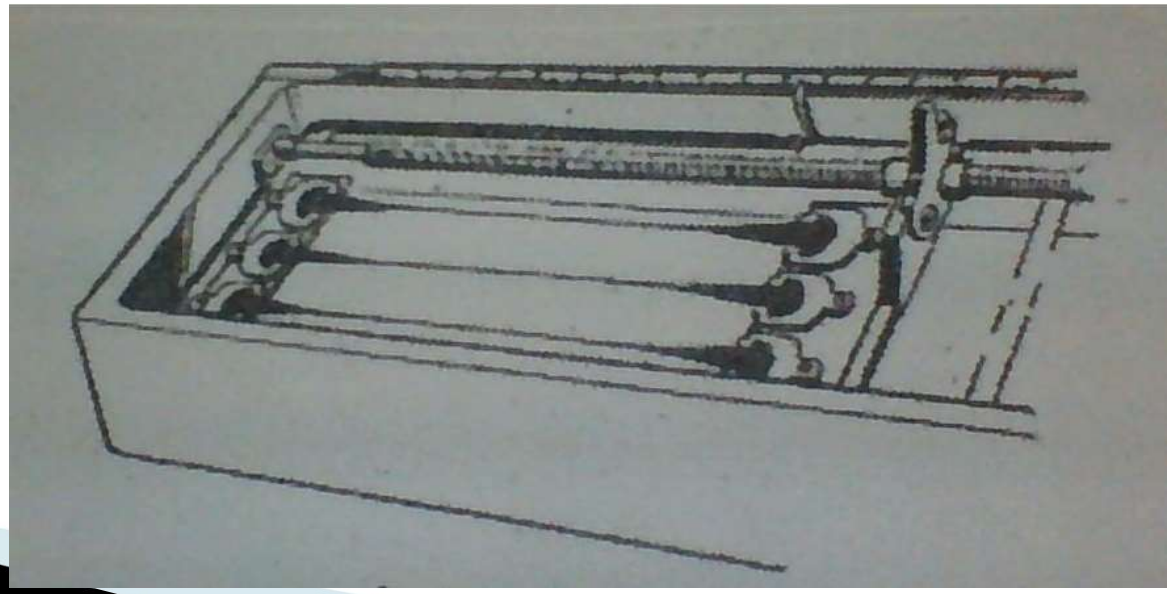
اللزوجة النسبية: هي النسبة بين الزمن اللازم لخروج حجم معين من المواد البيتومينية في درجة حرارة معينة من ثقب معين إلى الزمن اللازم لخروج نفس الحجم من الماء المقطر من نفس الثقب.

تجربة اللزوجة تستعمل بشكل خاص من أجل الإسفلت السائل والمستحلبات والقطران.

تجربة قابلية السحب أو (المطاوعة):

تعريفها: هي تجربة مخبرية وهي لقياس مقدار الاستطالة التي تتحملها العينة دون أن تنقطع.

طريقة التجربة: تتلخص التجربة بقياس المسافة التي يمكن لعينة نظامية وتحت شروط نظامية أن تتمدد دون أن تنقطع. نأخذ ٣ أو ٤ عينات حيث مقطع كل عينة يكون $1\ cm^2$ وتوضع العينة ضمن حمام مائي بدرجة حرارة ٢٥ وتبقى لمدة ٨٥ دقيقة وبعدها نقوم بإجراء التجربة حيث تكون سرعة الشد هي $5\ cm\ /min$ وتوجد قيمة قابلية السحب بأخذ المتوسط الحسابي للعينات المخبرية.



وتعتبر هذه التجربة مهمة بالنسبة للبيتومين المستعمل في صناعة خلائط الطرق لسببين:

- لأن الطبقات السطحية للطريق تتعرض لتغيرات حرارية شديدة والتي تؤدي إلى حالات تمدد وتقلص الرابط الاسفلتي.
- لأن الحركة المتكررة على الطريق تؤدي إلى حالات الشد والضغط

تجربة نقطة التميع:

تعريفها: هي النقطة التي تنتقل عندها المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة.

كما ذكرنا سابقا أن التركيب الكيميائي للبيتومين معقد جداً لذلك من الصعب تحديد نقطة تميع واضحة له فتم اللجوء إلى الطريقتين التاليتين:

طريقة الكرة والحلقة:

هي وضع كرة من الفولاذ فوق عينة من البيتومين موضوعة ضمن حلقة معدنية وتتعلق المجموعة ضمن سائل حيث يتم تسخينه بسرعة ثابتة $5°C/min$ وعندها يتم تعريف نقطة التميع حسب طريقة الكرة والحلقة بأنها درجة الحرارة التي تستطيع عندها الكرة بإحداث تشوه شاقولي محدد تحت تأثير وزنها الذاتي.

طريقة كرايمر وسارنو:

هي بنفس طريقة الكرة والحلقة حيث نضع 5gمن الزئبق فوق عينة البيتومين الموضوعة ضمن حلقة معدنية ويتم التسخين ضمن حمام مائي وبسرعة ثابتة وعندها يتم تعريف نقطة تميع حسب طريقة كرايمر وسارنو بأنها درجة الحرارة التي يصل فيها الزئبق إلى قعر الحمام المائي بعد اجتياز عينة البيتومين.

تجربة نقطتي الوميض والاشتعال:

تعريف نقطة الوميض: هي أخفض درجة تبدأ عندها أبخرة البيتومين بالالتهاب.

تعريف نقطة الاشتعال: هي أخفض نقطة يشتعل عندها البيتومين بحد ذاته.

تكمن أهمية هذه التجربة المخبرية بأنها عند خلط المواد البيتومينية مع الحصويات فإننا نقوم برفع درجة حرارة هذه المواد لكي تصبح لينة وتمتزج مع الحصويات وتغلفها، ولكن نتيجة رفع درجة الحرارة إلى حدود الوميض والاشتعال فإن ذلك سيؤدي إلى اشتعال المواد ، وبالتالي سيكون هناك خطر على الخلطة وحياة المخبري لذلك يجب أن تكون درجة حرارة المزج اقل من درجة حرارة الوميض بمقدار $25°C$ حتى يكون استعمال الخلطة ضمن حدود عامل الأمان.

طريقة التجربة: يتم إجراء هذه التجربة باستعمال وعاء كليفلاند المفتوح حيث تملأ العينة البيتومينية بالوعاء وتسخن بمعدل $(5^0C/min)$ ثم نقوم بتقريب اللهب على العينة لقياس نقطتي الوميض والاشتعال.

تجربة النقص في الوزن أو تجربة التطاير:

طريقة التجربة:

تؤخذ عينة من البيتومين 50 g وتسخن مدة ٥ ساعات إلى درجة حرارة 136°C بفرن خاص ثم يعاد وزن العينة بعد التسخين. حيث نقوم بإيجاد النسبة بين الوزن الأصلي والوزن المفقود ويجب أن تكون بحدود 1% → 0.5 %

$$\frac{\text{الوزن بعد التسخين} - \text{الوزن الأصلي}}{\text{الوزن الأصلي}} = (0.5\% \rightarrow 1\%)$$

تجربة الوزن النوعي:

تعريف الوزن النوعي: هو النسبة بين كتلة محددة الحجم من البيتومين بدرجة حرارة 25°C وكتلة نفس الحجم من الماء بدرجة الحرارة 25°C

أهمية معرفة الوزن النوعي للبيتومين: من أجل تصنيف الروابط البيتومينية، ومن أجل تصميم الخلائط البيتومينية.

طريقة التجربة:

نحدد الوزن النوعي بجهاز البكنومتر أو بتهيئة عينات مكعبة الشكل من البيتومين نصف الصلب أو الصلب ووزنه بالماء والهواء أيضاً

تتراوح قيمة الوزن النوعي للبيتومين الصافي بين (1 .1 – 1.03) %

أما بالنسبة للقطران فهي بين (1.25 – 1.1)%

تركيب الرابط الإسفلتي:

ذكرنا سابقا أن البيتومين (الإسفلت) ذو تركيب كيميائي معقد جداً لذلك تم تقسيمه لثلاث أنواع من الرابط الكربوهيدرات وهي:

الإسفلتين (Asphaltens): هو العنصر الأساسي وهي مواد ناعمة سوداء اللون.

الريزين (Resins): هي مواد راتنجية (مطاطية) تحيط بالإسفلتين وتعطيها خاصتي المطاوعة والالتصاق

الزيوت الطيارة (Oile) : تكون مواد الإسفلتين والريزين معلقة في هذا الوسط الزيتي حيث تعطي الزيوت الخاصة السيلان للإسفلت.

يعتمد قوام وصلابة الإسفلت على نسب المواد السابقة، **فمثلاً** إذا كان الريزين بنسبة قليلة فإن البيتومين يكون صلب أما إذا كان الريزين بنسبة كبيرة فيكون البيتومين مرن .

ويكون سبب الشيخوخة (تعب البيتومين مع العمر) أو تصلب الإسفلت إلى تأخر أو تأكسد الزيوت الطيارة الموجودة فيه خلال عملية المزج بحرارة عالية و وصول التأكسد من الزيوت إلى المواد الراتنجية ومع مرور الوقت إلى الإسفلتين.

طرق معالجة مشكلة الشيخوخة وتصلب الروابط الإسفلتية:

١) تحديد درجة الحرارة العظمى المناسبة لنوعية الإسفلت المستخدم أثناء عملية خلط المجبول الإسفلتي من أجل تقليل تبخر المواد الخفيفة للرابط الإسفلتي.

٢) تحديد النسبة العظمى للفراغات الهوائية في الخلطة بهدف التقليل من نفوذيتها وبالتالي التقليل من معدل التأكسد.

٣) تحديد النسبة الصغرى من الفراغات في الحصويات المينرالية VMA لترك فراغ كافي للرابط الإسفلتي لكي يغلف حبيبات الحصويات بغشاء ذو سماكة كافية بحيث تبقى الخلطة مرنة وليست هشة.

٤) العمل على استخدام الروابط الإسفلتية المناسبة من حيث اللزوجة، درجة الغرز للمنطقة التي سيتم فيها التنفيذ.