



الجمهورية العربية السورية
جامعة تشرين
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة المواصلات والنقل

دراسة استخدام المطاط في تعديل الخلائط البيتومينية في مدينة اللاذقية

رسالة علمية لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية اختصاص المواصلات والنقل

إعداد

م. فاتن امين فوز

إشراف

د.م. رامي حنا

د.م. رناء درويش أحمد

2014-2013

كلمة شكر

في ختام هذا البحث أتوجه بالشكر لكل من ساهم في إنجاز هذا العمل، شكر لجامعة تشرين التي احتوت هذا العمل وكلية الهندسة المدنية وأخص بالذكر قسم المواصلات والنقل وكادره التدريسي برئاسة الدكتور

أكرم رستم

وأتوجه بالشكر الخاص إلى السادة الدكاترة المشرفين على البحث الذين مدوا لي يد العون وأعطوا من وقتهم الكثير من أجل إنجاز هذا البحث أقدم لهم كل الحب والاحترام والتقدير

الدكتور المهندس : رامي حنا

الدكتورة المهندسة : رناء درويش أحمد

قُدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في قسم هندسة المواصلات والنقل من كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين.

This thesis has been submitted as a partial fulfillment of the requirement for the master degree, at the Tishreen University Faculty of Civil Engineering Department of Transportation.

تصريح

أصرح بأن هذا البحث " دراسة استخدام المطاط في تعديل الخلطات البيتومينية في مدينة اللاذقية " لم يسبق أن قُبل للحصول على شهادة، ولا هو مُقدم حالياً للحصول على شهادة أخرى.

فاتن فوز



تاريخ: 2014/9/15

DECLARATION

This is to declare that, this work "A Study about using rubber in modifying bituminous mixtures in Latakia city" has not been being submitted concurrently for any other degree.

Faten Fouz



Date: 15/9/2014

نوقشت هذه الرسالة بتاريخ 2014/09/15 وأجيزت.

لجنة الحكم

الدكتور بسام سلطان



أستاذ مساعد، قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين.

الدكتورة رناء درويش أحمد



مدرسة في قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين.

الدكتور فادي كنعان



مدرس في قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين.

شهادة

نشهد بأن هذا العمل الموصوف في هذه الرسالة "دراسة استخدام المطاط في تعديل الخلطات البيتومينية في مدينة اللاذقية" هو نتيجة بحث علمي قامت به المرشحة السيدة فاتن امين فوز بإشراف الدكتورة رناء درويش أحمد (مدرسة في قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية) والدكتور رامي حنا (أستاذ مساعد، قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية) وإن أي مرجع ورد في هذه الرسالة موثق في النص.

بإشراف

المرشح

د. رامي حنا

د. رناء درويش أحمد

فاتن فوز



تاريخ : 2014/9/15

CERTIFICATION

It is hereby certified that, the work described in this thesis "A Study about using rubber in modifying bituminous mixtures in Latakia city" is the results of Ms. Faten Ameen Fouz own investigations under the supervision of Dr.Rana Darweesh Ahmad (Lecturer in Department of Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria) and Dr. Rami Hanna (Associate professor, Department of Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria) and any reference of other researchers work has been duly acknowledged in the text.

Candidate

Supervisors

Faten Fouz

Dr.Rana Darweesh Ahmad

Dr. Rami Hanna



Date: 15/9/2014

الملخص

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية تعديل الخلطات البيتومينية المستخدمة في مدينة اللاذقية بالمطاط الناتج عن تدوير إطارات السيارات المطاطية التالفة، وذلك لتحسين أدائها، حيث أظهرت أبحاث عديدة حول العالم على جدوى استخدامها.

شمل البرنامج الاختباري لهذا البحث استخدام بيتومين (60-70) ومطاط ناتج عن تدوير الإطارات المطاطية التالفة الناتجة عن العربات السياحية ويعمر أقل من 5 سنوات، علماً أنه تم استخدام تركيبين حبيبين مختلفين من أقطار حبيبات فتات المطاط و بنسب وزنية مختلفة (0.2-0.3-0.4-0.5-10-15)% من البيتومين، وتم استخدام جهاز (ARMATEST) في عملية مزج فتات المطاط مع البيتومين وفق شروط محددة، كما أجريت مجموعة من التجارب لتحديد خواص البيتومين المعدل بالمطاط المدور وغير المعدل، وتم تصميم خلطات بيتومينية عند نسب مختلفة من المطاط، وعولجت نتائج التجارب باستخدام برنامج الإكسل. لقد بينت التجارب أنه و مع زيادة نسبة المطاط يتناقص الغرز والاستطالة وترتفع نقطة التميع، كما أظهرت الخلطات البيتومينية المعدلة بالمطاط زيادة في الثبات ونقصان في الانسياب عن الخلطات غير المعدلة.

الكلمات المفتاحية: فتات المطاط المعدل، الروابط البيتومينية المطاطية، الخلطات البيتومينية المضاف لها مطاط، الاختبارات التقليدية.

فهرس المحتويات

رقم
الصفحة

الموضوع

الفصل الأول: دراسة استخدام المطاط في تعديل الخلاط البيتومينية في مدينة اللاذقية

- 19 1-1- المقدمة
- 20 2-1- إشكالية البحث
- 20 3-1- الهدف من البحث
- 20 4-1- أهمية البحث
- 20 5-1- منهجية البحث

الفصل الثاني: الروابط البيتومينية والخلاط البيتومينية

- 24 1-2- الروابط البيتومينية
- 24 1-1-2- لمحة تاريخية عن الروابط البيتومينية
- 24 2-1-2- أهم أنواع الروابط البيتومينية المستخدمة في مجال أعمال الطرق
- 27 3-1-2- مكونات البيتومين
- 28 4-1-2- تصنيف البيتومين
- 29 2-2- الخلاط البيتومينية
- 29 1-2-2- المتطلبات الأساسية للخلاط البيتومينية
- 29 1-1-2-2- الثبات: (STABILITY)
- 29 2-1-2-2- الديمومة: (Durability)
- 29 3-1-2-2- المرونة: (Flexibility)
- 30 4-1-2-2- مقاومة الانزلاق: (Skid Resistance)
- 30 2-2-2- طرق تصميم الخلطة البيتومينية
- 31 3-2-2- مواصفات ومتطلبات المواد الحصوية
- 31 4-2-2- مواصفات ومتطلبات المواد البيتومينية
- 32 5-2-2- طريقة مارشال Marshall Method

الفصل الثالث: الدراسات المرجعية السابقة حول استخدام المطاط في تعديل البيتومين

والخلاط البيتومينية

- 36 1-3- الإضافات المستخدمة في تعديل خواص البيتومين

- 37 1-1-3- البيتومين المعدل بالكلس
- 37 2-1-3- البيتومين المعدل بالبوليميرات
- 39 3-1-3- البيتومين المعدل بالمطاط
- 39 1-3-1- لمحة تاريخية عن البيتومين المعدل بالمطاط
- 40 1-3-2- تعريف البيتومين المُعدَّل بفتات المطاط (CRMA)
- 40 1-3-3- تعريف فتات المطاط المُعدَّل: (CRM)
- 41 1-3-4- طرق تحويل الإطارات المطاطية التالفة إلى فتات مطاط ناعم.
- 44 1-3-5- العوامل المؤثرة على خصائص البيتومين المُعدَّل بالمطاط: (CRMAs)
- 44 1-3-6- فوائد استخدام فتات المطاط في تعديل البيتومين والخلائط البيتومينية
- 47 2-3- الدراسات المرجعية حول استخدام المطاط في تعديل البيتومين
- 61 3-3- الدراسات المرجعية حول استخدام المطاط في تعديل الخلائط البيتومينية
- القسم العملي**
- الفصل الرابع: تجميع البيانات عن الإطارات المطاطية التالفة في مدينة اللاذقية .**
- 70 1-4- تجميع البيانات عن أماكن تواجد إطارات السيارات المطاطية التالفة وطرق ترحيلها في مدينة اللاذقية.
- 71 2-4- كميات نفايات الإطارات التالفة وأعدادها في مدينة اللاذقية.
- 72 3-4- كيفية الحصول على فتات المطاط
- الفصل الخامس: البرنامج الاختباري والنتائج ومناقشتها**
- 75 1-5- إعداد العينات
- 76 1-1-5- إعداد عينات المواد الداخلة في تشكيل الخلطات البيتومينية غير المعدلة والمعدلة بالمطاط
- 76 2-1-5- إعداد عينات اختبار البيتومين غير المعدل والمعدل بالمطاط
- 77 3-1-5- طريقة مزج فتات المطاط مع البيتومين
- 78 2-5- التجارب المخبرية
- 81 3-5- النتائج ومناقشتها
- 81 1-3-5- تحديد خواص البيتومين المعدل بالمطاط وغير المعدل
- 81 1-1-3-5- تحديد خواص البيتومين غير المعدل (البيتومين AB)
- 81 2-1-3-5- تحديد خواص البيتومين المعدل بنسب مختلفة من المطاط ومعالجتها

- 91 5-3-2- مقارنة بين خواص البيتومين غير المعدل و البيتومين المعدل بالمطاط وفق التركيب الحبي الأول و البيتومين المعدل بالمطاط وفق التركيب الحبي الثاني
- 94 5-3-3- تحديد خواص الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطات البيتومينية الأولية والمعدلة
- 98 5-3-4- تصميم الخلطات البيتومينية المعدلة بالمطاط وغير المعدلة
- 98 5-3-4-1- تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين 60-70
- 101 5-3-4-2- تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين معدل بالمطاط بنسبة 0.3% وفق التركيب الحبي الأول للمطاط
- 104 5-3-4-3- تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين معدل بالمطاط بنسبة 0.5% وفق التركيب الحبي الأول للمطاط
- 107 5-3-4-4- تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين معدل بالمطاط بنسبة 5% وفق التركيب الحبي الأول للمطاط
- 110 5-3-4-5- تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين معدل بالمطاط بنسبة 10% وفق التركيب الحبي الأول للمطاط
- 113 5-3-4-6- تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين معدل بالمطاط بنسبة 15% وفق التركيب الحبي الأول للمطاط
- 117 5-3-5- الثبات والانسياب للخلطات البيتومينية عند كل نسبة بيتومين والنسب المختلفة لفتات المطاط.
- 117 5-3-5-1- الثبات والانسياب عند نسبة البيتومين 4.5%:
- 118 5-3-5-2- الثبات والانسياب عند نسبة البيتومين 5%:
- 119 5-3-5-3- الثبات والانسياب عند نسبة البيتومين 5.5%:
- 120 5-3-5-4- الثبات والانسياب عند نسبة البيتومين 6%:
- 121 5-3-5-5- الثبات والانسياب عند نسبة البيتومين 6.5%:
- 123 5-3-6- نتائج قياس الثبات والانسياب للمرة الثانية لعينات مارشال في الخلطات المعدلة بالمطاط بالنسب و(0.5-5-10-15)% :
- 123 5-3-6-1- قياس الثبات والانسياب للمرة الثانية لعينات مارشال في الخلطات المعدلة بالمطاط بالنسبة (0.5)%
- 124 5-3-6-2- قياس الثبات والانسياب للمرة الثانية لعينات مارشال في الخلطات المعدلة

	المطاط بالنسبة (5) %
125	3-6-3-5- قياس الثبات والانسياب للمرة الثانية لعينات مارشال في الخلطات المعدلة بالمطاط بالنسبة (10) %
126	4-6-3-5- قياس الثبات والانسياب للمرة الثانية لعينات مارشال في الخلطات المعدلة بالمطاط بالنسبة (15) %
128	4-5- الاستنتاجات
130	5-5- التوصيات
132	المراجع العربية والأجنبية
135	المحلق A مواصفات الرابط البيتوميني المعدل بالمطاط والخلائط البيتومينية المعدلة بالمطاط.

قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
32	مواصفات بعض المواد البيتومينية المستعملة في الطرق	الجدول (1-2)
33	عامل تصحيح تجرية مارشال	الجدول (2-2)
34	مواصفات تصميم HMA وفق معهد الإسفلت الأمريكي	الجدول (3-2)
38	يبين نتائج التجارب على البيتومين (50/70) A والخلطات البيتومينية قبل وبعد التعديل بـ SBS و EVA	الجدول (1-3)
47	خصائص الإسفلت الخام P160/220 والإسفلت الخام P50/70	الجدول (2-3)
49	تأثيرات نسبة الإسفلت على الخصائص المختلفة عند التمديد بالإسفلت (220/160) p	الجدول (3-3)
50	تأثيرات نسبة الإسفلت على الخصائص المختلفة عند التمديد بالإسفلت P(50/70)	الجدول (4-3)
50	الخصائص للبيتومين AH-70	الجدول (5-3)
50	البارامترات التقنية لعملية مزج البيتومين AH-70 بالمطاط	الجدول (6-3)
51	نتائج التجارب على البيتومين AH-70 المعدل بالمطاط مع النسب (24-20-16)%	الجدول (7-3)
56	خصائص البيتومين (100-80)	الجدول (8-3)
58	خصائص البيتومين 60/70 و البيتومين VB	الجدول (9-3)
59	نتائج التجارب الكلاسيكية للبيتومين 70/60 الممزوج مع البيتومين (VB) المعدل وفق النسب المختلفة للمطاط	الجدول (10-3)
62	الخصائص الفيزيائية للبيتومين P(60/70)	الجدول (11-3)
64	تصميم الخلطات البيتومينية وفق السوبر بيف	الجدول (12-3)
66	التركيب الحبي للحصويات المستخدمة للخلطات المعدلة بـ فتات المطاط و SBS	الجدول (13-3)
67	الخصائص الفيزيائية للبيتومين (160-220) B المعدل بالمطاط و SBS	الجدول (14-3)
67	الخصائص الفيزيائية للخلطات المعدلة بنسب مختلفة من المطاط و	الجدول (15-3)

SBS

- 71 إحصاءات عن أعداد العربات المسجلة في محافظة اللاذقية من عام 2002 إلى 2013 الجدول (1-4)
- 75 حزمة التركيب الحبي المطلوب من فتات المطاط المدور وفق المواصفة ASTM D (1151) الجدول (1-5)
- 76 رموز كافة عينات البيتومين غير المعدل والمعدل بالمطاط المستخدمة في هذا البحث. الجدول (2-5)
- 79 الخلطات البيتومينية المشكلة من البيتومين غير المعدل والمعدل. الجدول (3-5)
- 81 يبين نتائج التجارب التوصيفية للبيتومين غير المعدل الجدول (4-5)
- 82 نتائج تجربة الغرز بدرجة حرارة 25 °C للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (5-10-15)% الجدول (5-5)
- 83 نتائج تجربة الاستطالة للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (5-10-15)% الجدول (6-5)
- 84 نتائج تجربة نقطة التميع للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (5-10-15)% الجدول (7-5)
- 84 خصائص البيتومين (60-70) غير المعدل والمعدل بالمطاط الجدول (8-5)
- 85 نتائج تجربة الغرز بدرجة حرارة 25 °C للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول الجدول (9-5)
- 86 نتائج تجربة الاستطالة للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول الجدول (10-5)
- 87 نتائج تجربة نقطة التميع للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول الجدول (11-5)
- 88 نتائج تجربة الغرز بدرجة حرارة 25 °C للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني الجدول (12-5)
- 89 نتائج تجربة الاستطالة للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني الجدول (13-5)

90	الجدول (5-14) نتائج تجربة نقطة التميع للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب 0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني
94	الجدول (5-15) نتائج تجربة التحليل الحبي للحصويات المستخدمة في الخلطات البيتومينية الإسفلتية المعدلة وغير المعدلة
95	الجدول (5-16) مواصفات التدرج الحبي من أجل طبقة الاهتراء البيتومينية
96	الجدول (5-17) نتائج تجربة لوس أنجلوس للمواد الداخلة في تصميم الخلطة
96	الجدول (5-18) نتائج تجربة المكافئ الرملي للمواد الداخلة في تصميم الخلطة
97	الجدول (5-19) نتائج تجربة الوزن النوعي للحصويات
98	الجدول (5-20) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين غير المعدل (مرحلة استخلاص نسب البيتومين المثالية)
101	الجدول (5-21) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 0.3%
104	الجدول (5-22) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 0.5%
107	الجدول (5-23) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 5%
110	الجدول (5-24) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 10%
113	الجدول (5-25) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 15%
116	الجدول (5-26) قيم الثبات والانسياب الموافقين للنسبة المثالية للبيتومين في الخلطات البيتومينية غير المعدلة والمعدلة
123	الجدول (5-27) القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 0.5% مطاط
124	الجدول (5-28) القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 5% مطاط
125	الجدول (5-29) القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 10% مطاط
126	الجدول (5-30) القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 15% مطاط

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
22	منهجية الدراسة	الشكل (1-1)
42	تجميع الإطارات المطاطية التالفة ضمن ساحات مخصصة	الشكل (1-3)
42	عملية إزالة الاسلاك المعدنية من الإطارات المطاطية	الشكل (2-3)
42	الإطار بعد سحب السلك المعدني منه	الشكل (3-3)
42	السلك المعدني المسحوب من الإطار	الشكل (4-3)
43	المرحلة الأولى لتقطيع وتفتيت الإطار بواسطة المسننات الخاصة	الشكل (5-3)
44	عملية تتالي تقطيع وتفتيت الإطار إلى أحجام صغيرة وناعمة	الشكل (6-3)
44	فتات المطاط الناعم بعد عملية الطحن	الشكل (7-3)
45	مقارنة مقاومة التشققات بين الرصف التقليدي والرصف المعدل بالمطاط	الشكل (8-3)
45	عينة مزيج الإسفلت الحار بعد اختبار مقاومة الأخاديد بالإضافة إلى تحسين مقاومة الانزلاق	الشكل (9-3)
45	مقارنة الديمومة بين لرصف التقليدي والرصف المعدل بالمطاط	الشكل (10-3)
46	مقارنة الشقوق التماسحية بين الرصف التقليدي والرصف المعدل بالمطاط	الشكل (11-3)
46	توزيع الإطارات المطاطية لكل كيلو متر في حارة المرور	الشكل (12-3)
48	المخطط النهجي لعملية مزج البيتومين (P(160/220) والبيتومين p(70/50) مع المطاط	الشكل (13-3)
52	مقاطع الاختبار للخلطات البيتومينية المضاف لها مطاط	الشكل (14-3)
53	القوام السطحي للخلطات البيتومينية المختلفة المضاف لها مطاط على الطريق	الشكل (15-3)
54	تغير اللزوجة للبيتومين الخام المعدل بالمطاط مع تغير درجة الحرارة	الشكل (16-3)
55	تغير اللزوجة للبيتومين المعدل بالمطاط بعد اختبار (RTFO)	الشكل (17-3)

- مع تغير درجة الحرارة
- 55 الشكل (3-18) قيم الصلابة وفق اختبار BBR للبيتومين المعدل بالمطاط A و B في الدرجة (-12°C)
- 56 الشكل (3-19) قيم الصلابة وفق اختبار BBR للبيتومين المعدل بالمطاط A و B في الدرجة $^{\circ}\text{C} (-18)$
- 57 الشكل (3-20) تغير الاستطالة مع تغير نسبة فتات المطاط المضاف %
- 58 الشكل (3-21) تغير درجة الغرز مع تغير نسبة فتات المطاط المضاف %
- 62 الشكل (3-22) تأثير الخلائط (Ac20 - Ac10) المعدلة على معدل عمق التحدد
- 63 الشكل (3-23) تأثير الخلائط PA المعدلة المختلفة على معدل عمق التحدد
- 64 الشكل (3-24) مقارنة مقاومة التحدد للخلاطات المعدلة وغير المعدلة
- 65 الشكل (3-25) يبين شرائح الإطارات المطاطية مُقطعة ومُجهزة للطحن
- 66 الشكل (3-26) يظهر جزيئات المطاط المطحونة
- 77 الشكل (5-1) جهاز خلط البيتومين مع المطاط
- 82 الشكل (5-2) قيم درجة الغرز للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0-5-10-15)%
- 83 الشكل (5-3) قيم الاستطالة للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0-5-10-15)%
- 84 الشكل (5-4) قيم نقطة التميع للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0-5-10-15)%
- 85 الشكل (5-5) قيم درجة الغرز للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول
- 86 الشكل (5-6) قيم الاستطالة للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول
- 87 الشكل (5-7) قيم نقطة التميع للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول
- 88 الشكل (5-8) قيم درجة الغرز للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني

- 89 الشكل (9-5) قيم الاستطالة للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-
- 0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني
- 90 الشكل (10-5) قيم نقطة التميع للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-
- 0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني
- 91 الشكل (11-5) مقارنة قيم درجة الغرز للبيتومين المعدل وفق التركيبين الحبيين
- والنسب المختلفة للمطاط
- 92 الشكل (12-5) مقارنة قيم الاستطالة للبيتومين المعدل وفق التركيبين الحبيين
- والنسب المختلفة للمطاط
- 93 الشكل (13-5) مقارنة قيم نقطة التميع للبيتومين المعدل وفق التركيبين الحبيين
- والنسب المختلفة للمطاط
- 95 الشكل (14-5) منحنى التركيب الحبي للحصويات المستخدمة في الخلطات
- البيتومية المعدلة وغير المعدلة
- 99 الشكل (15-5) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين الغير معدل
- 99 الشكل (16-5) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين الغير معدل
- 99 الشكل (17-5) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين الغير معدل
- 100 الشكل (18-5) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين
- الغير معدل
- 100 الشكل (19-5) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة
- البيتومين الغير معدل
- 102 الشكل (20-5) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط
- المضاف بنسبة 0.3%
- 102 الشكل (21-5) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط
- المضاف بنسبة 0.3%
- 102 الشكل (22-5) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين المعدل
- بالمطاط المضاف بنسبة 0.3%
- 103 الشكل (23-5) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين
- المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.3%
- 103 الشكل (24-5) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير

- نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.3%
- الشكل (5-25) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.5%
- 105
- الشكل (5-26) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.5%
- 105
- الشكل (5-27) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.5%
- 105
- الشكل (5-28) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.5%
- 106
- الشكل (5-29) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.5%
- 106
- الشكل (5-30) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 5%
- 108
- الشكل (5-31) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 5%
- 108
- الشكل (5-32) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 5%
- 108
- الشكل (5-33) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 5%
- 109
- الشكل (5-34) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 5%
- 109
- الشكل (5-35) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 10%
- 111
- الشكل (5-36) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 10%
- 111
- الشكل (5-37) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 10%
- 111
- الشكل (5-38) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين
- 112

- المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 10%
- 112 الشكل (5-39) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 10%
- 114 الشكل (5-40) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 15%
- 114 الشكل (5-41) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 15%
- 114 الشكل (5-42) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 15%
- 115 الشكل (5-43) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 15%
- 115 الشكل (5-44) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 15%
- 117 الشكل (5-45) منحنى يوضح الثبات للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 4.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط
- 117 الشكل (5-46) منحنى يوضح الانسياب للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 4.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط
- 118 الشكل (5-47) منحنى يوضح الثبات للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 5% ونسب مختلفة لفتات المطاط
- 118 الشكل (5-48) منحنى يوضح الانسياب للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 5% ونسب مختلفة لفتات المطاط
- 119 الشكل (5-49) يوضح منحنى الثبات للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 5.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط
- 119 الشكل (5-50) منحنى يوضح الانسياب للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 5.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط
- 120 الشكل (5-51) منحنى يوضح الثبات للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 6% ونسب مختلفة لفتات المطاط
- 120 الشكل (5-52) منحنى يوضح الانسياب للخلطات البيتومينية عند نسبة

- البيتومين 6% ونسب مختلفة لفتات المطاط
- الشكل (5-53) منحني يوضح الثبات للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 6.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط
- 121
- الشكل (5-54) منحني يوضح الانسياب للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 6.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط
- 121

قائمة المصطلحات والرموز

Hot Mix Asphalt	HMA
Styrene–butadiene–styrene	SBS
Styrene–butadiene–rubber	SBR
Elvaloy ethylene vinyl acetate	EVA
Crumb Rubber Modified Asphalts	CRMA
Crumb rubber modifier	CRM
الفراغات الهوائية	Va
فراغات المواد الحصوية	Vma
الفراغات المليئة بالبيتومين	Vb
Small truck	ST
Heavy truck	HT
Tread truck	TR
Agriculture tire	AT
Penetration Index	PI
Polymer modified bitumen	PMB
Bending Beam Rheometer	BBR
Rolling Thin Film Oven Test	RTFO
Strategic Highway Research Program	SHRP
Dynamic Shear Rheometer	DSR
Rotational Viscosity	RV
Vacuum bottom	VB
Performance Grade	PG
Optimum bitumen content	OBC
Bulk specific gravity	BSG
Super pave gyratory compactor	SGC
Reclaimed asphalt pavement	RAP

تنظيم البحث

أعدت هذه الدراسة وفق خمسة فصول تم تنظيمها كالتالي:

الفصل الأول : دراسة استخدام المطاط في تعديل الخلائط البيتومينية في مدينة اللاذقية وتضمن:

المقدمة ، إشكالية البحث ، هدف البحث ، أهمية البحث ، منهجية البحث

الفصل الثاني: الروابط البيتومينية والخلائط البيتومينية وتضمنت :

- أهم أنواع الروابط البيتومينية المستخدمة في مجال أعمال الطرق ، مكونات البيتومين و تصنيف البيتومين
- المتطلبات الأساسية للخلائط البيتومينية ، طرق تصميم الخلطة البيتومينية ، مواصفات ومتطلبات المواد الحصوية ، مواصفات ومتطلبات المواد البيتومينية، طريقة مارشال Marshall Method

الفصل الثالث: حالة المعرفة والدراسات المرجعية السابقة حول استخدام المطاط في تعديل البيتومين والخلطات البيتومينية بالمطاط الناتج عن إطارات السيارات التالفة وتضمنت:

الإضافات المستخدمة في تعديل خواص البيتومين

الدراسات السابقة حول استخدام المطاط في تعديل البيتومين

الدراسات السابقة حول استخدام المطاط في تعديل الخلائط البيتومينية

الفصل الرابع : وهو بداية القسم العملي بعنوان تجميع البيانات عن الاطارات المطاطية التالفة في مدينة اللاذقية ويضم :

تجميع البيانات عن أماكن تواجد إطارات السيارات المطاطية التالفة في مدينة اللاذقية، والبحث عن استراتيجية خاصة بمجلس بلدية اللاذقية حول تجميع نفايات المطاط وترحيلها إلى مكبات نظامية خاصة أو عامة. تحديد كميات نفايات الإطارات التالفة والإحصاءات عن أعدادها وكمياتها ، تحديد كيفية الحصول على فئات المطاط من إعادة تدوير إطارات السيارات التالفة .

الفصل الخامس: البرنامج الاختباري والنتائج ومناقشتها ويضم:

إعداد العينات

التجارب المخبرية

النتائج ومناقشتها

الاستنتاجات

التوصيات

المراجع العلمية.

الفصل الأول

دراسة استخدام المطاط في تعديل الخلائط

البيتومينية في مدينة اللاذقية

1-1- المقدمة Introduction:

مع تطور حركة المواصلات ونتيجة الكثافة المرورية المتزايدة المولدة للإجهادات الحاصلة على سطح الطريق، دعت الحاجة إلى البحث الدائم والمستمر عن مواد جديدة مقاومة لتأثير العوامل المناخية والديناميكية التي يتعرض لها الطريق وخاصة في الطبقات العلوية (طبقات التغطية البيتومينية) التي يجب أن تؤمن المقاومة الكافية تجاه هذه العوامل والحماية اللازمة لطبقات الرصف الأدنى، وبما أن البيتومين هو أحد المواد الأساسية الداخلة في تشكيل الخلطات البيتومينية فكان لا بد من التركيز على طرق جديدة لتحسين خواص الرباط البيتوميني وبالتالي تعديل الخلطات البيتومينية وتحسين أدائها وذلك باستخدام العديد من الإضافات مثل الكلس -البوليميرات - المطاط- الأمينات وغيرها.

تمت تجربة استخدام الخلطات البيتومينية الإسفلتية المعدلة بالمطاط منذ القدم ، واستخدمت لأول مرة في هولندا سنة 1929م ، وفي الولايات المتحدة الأمريكية عام 1947م بولاية أوهايو [1] وأعطت نتائج جيدة وقام كارلوس مكدونالد في مدينة فينيكس أريزونا في 1960 و 1970 بالعمل على نطاق واسع بالبيتومين والمواد المطاطية وكانت ذات دور فعال في تطوير الطريقة الرطبة لإنتاج البيتومين المعدل بالمطاط التي سميت طريقة مكدونالد أيضاً (العملية الرطبة وهي إضافة المطاط كنسبة مئوية من وزن البيتومين) و كان كارلوس مكدونالد أول من استخدم البيتومين المعدل بالمطاط في الخلطات البيتومينية الحارة وفي تنفيذ المعالجات السطحية عند ترميم وصيانة الأغشية الطرقية . وبحلول عام 1995م كانت مدن ومقاطعات ولاية كاليفورنيا قد نفذت أكثر من 400 مشروع طرقي من البيتومين المعدل بالمطاط [2].

لقد زاد استخدام المطاط في خلطات البيتومين بشكل كبير في السنوات الأخيرة حول العالم و قد استخدمت بنجاح في بناء الطرق وصيانتها وإعادة تأهيلها وذلك في الولايات المتحدة وأوروبا لأكثر من 30 عام، وقد ذكر أن العديد من الطرق كانت بحالة جيدة بعد عدة سنوات من الخدمة بالمقارنة مع الرصف التقليدي، و منذ عام 1997 كانت 20% من الطرق في USA كانت تبنى من الرصف المحسن باستعمال المطاط المدور فهي أفضل من الناحية الاقتصادية والبيئية. [3] . إلا أن هذه التجارب المتعلقة بتعديل الخلطات البيتومينية بالمطاط لا تزال بعيدة عن الاختبار والتطبيق العملي في بلدنا بشكل عام وفي مدينة اللاذقية بشكل خاص.

وفي بحثنا هذا نركز العمل على تعديل البيتومين المحلي ، بإضافة فئات المطاط الناتج من تدوير الإطارات المطاطية التالفة الناتجة عن العربات السياحية وبعمر أقل من 5 سنوات ، واستخدمنا البيتومين المعدل بالمطاط في تصميم خلطات بيتومينية محققة لشروط تصميم الخلطة البيتومينية بحيث يحقق مواصفات فنية عالية لهذه الخلطات و يحسن من أدائها وخاصة في الطبقات العلوية (طبقات التغطية البيتومينية) من الرصف اللين.

1-2- إشكالية البحث

تأتي إشكالية البحث من أن بعض الخلطات البيتومينية التقليدية المستخدمة محليا في محافظة اللاذقية تعاني من قلة ديمومتها وصغر عمرها التصميمي وكثرة المشاكل المتعلقة بصيانة الأغطية الطرقية المنفذة منها . كما أن الإضافات على الخلطات البيتومينية أو البيتومين ما تزال قليلة التجربة في بلدنا رغم التجربة الواسعة في بلدان العالم.

وبسبب قلة الموارد المتاحة و الكلفة المرتفعة للمواد المضافة الجديدة كانت الدوافع لاستكشاف البدائل في مجال بناء الطرق محلياً. ولأن الإطارات المطاطية التالفة منتشرة على نطاق واسع في بلدنا. واستخدام هذه الإطارات كمضاف للخلطات البيتومينية له فوائد مضاعفة في التخلص من هذه النفاية التي تشكل عبئاً ثقيلاً على البيئة وعلى الهيئات المختصة وفي تحقيق الاستدامة الاقتصادية من خلال خفض تكلفة بناء الطرق وصيانتها.

1-3- الهدف من البحث

نهدف في بحثنا هذا التوصل الى منهجية مناسبة لاستخدام مادة المطاط المدورة من الإطارات المطاطية المستهلكة (المطاط المدور الناتج عن نفايات الإطارات المطاطية) في إنتاج خلطات بيتومينية معدلة جديدة تحقق مواصفات فنية عالية الجودة محلياً ، بالإضافة لتحقيق فوائد بيئية بالمساهمة في التخلص السليم من مشكلة نفايات الإطارات المطاطية وبأقل تكلفة ممكنة في محافظة اللاذقية.

1-4- أهمية البحث

تنتقل أهمية البحث من إيجاد خلطات بيتومينية معدلة بالمطاط ذات أداء عالي وديمومة كبيرة تساعد في حل بعض المشاكل المتعلقة بالخصائص الفنية والاقتصادية للخلطات البيتومينية التقليدية (HMA). وتحقيق وفورات كبيرة في المواد والمال والطاقة في مجال بناء الطرق وصيانتها ،بالإضافة إلى حل مشاكل نفايات الإطارات وانعكاساتها على البيئة.

1-5- منهجية البحث

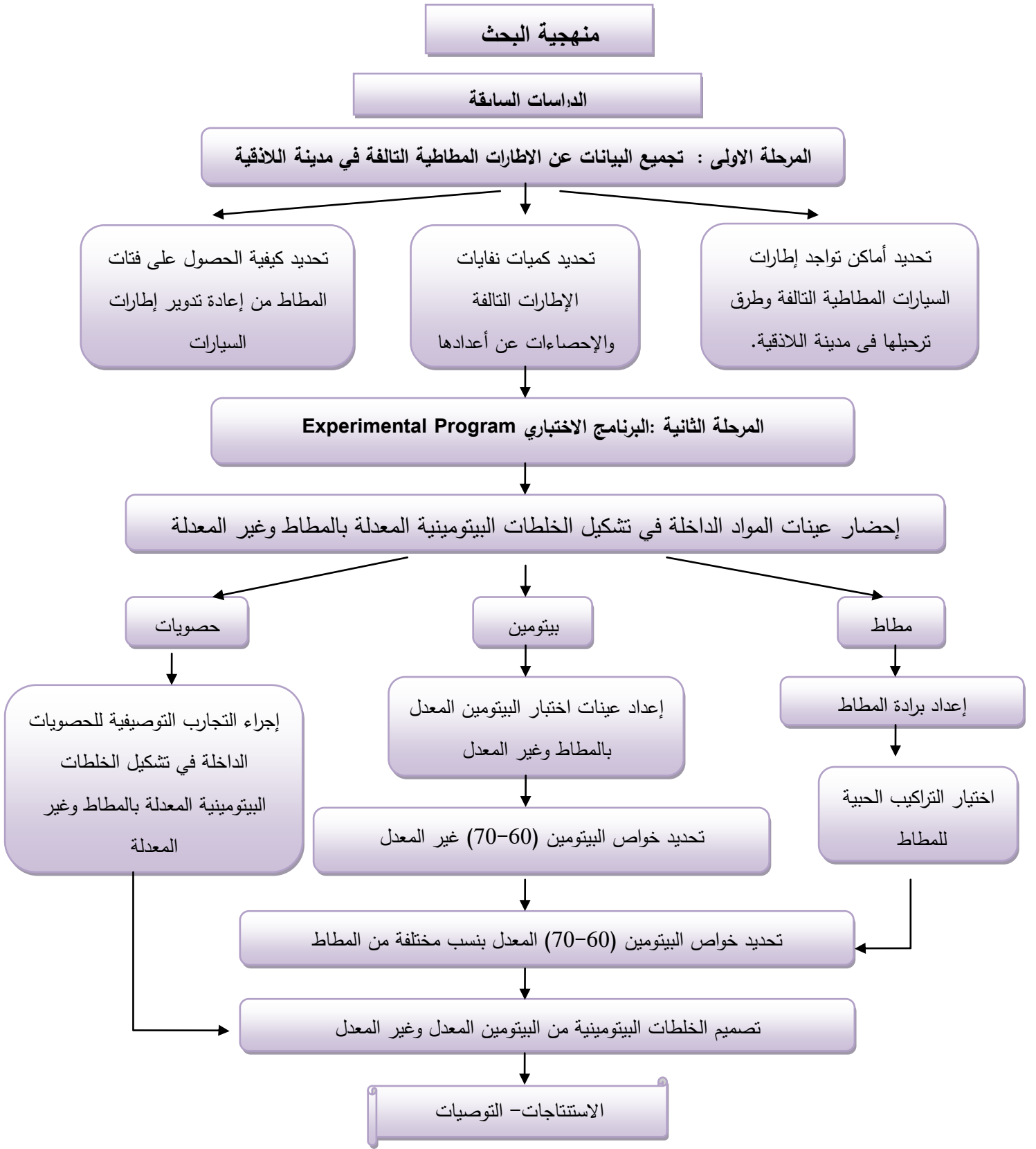
يوضح الشكل (1-1) المخطط النهجي لمنهجية البحث والمواد المستخدمة في البحث حيث تم تجميع الدراسات السابقة حول تعديل البيتومين والخلطات البيتومينية بمادة المطاط المدورة من إطارات السيارات التالفة، وبالاستناد إليها تم تحديد نسب المطاط التي تمت إضافتها في عمليات التعديل بالإضافة إلى بارامترات

التفاعل بين المطاط والبيتومين، وفي القسم العملي تم تجميع البيانات اللازمة عن الإطارات المطاطية وأماكن تواجدها وأعدادها وكمياتها وكيفية الحصول على فتات المطاط ومن ثم:

تم إحضار المواد إلى مخبر المواصلات في جامعة تشرين وإجراء التجارب التوصيفية لها.

تم إعداد العينات و إجراء التجارب المطلوبة من أجل تعديل البيتومين و الخلأط البيتومينية

وأخيراً: بعد الحصول على النتائج تمت مناقشتها ومقارنتها مع الدراسات السابقة ومن ثم الاستنتاجات والتوصيات.



الشكل (1-1) منهجية الدراسة

الفصل الثاني

الروابط البيتومينية

الخلاط البيتومينية

2-1-1- الروابط البيتومينية

2-1-1-1- لمحة تاريخية عن الروابط البيتومينية:

لقد عرفت المواد البيتومينية منذ القديم، وقد استخدمت في إنشاء الطرق وكموانع للرشوحات، وكان المصدر الوحيد للمواد البيتومينية، الصخور الكلسية والرملية المتشربة بالبيتومين (جبل البشري قرب محافظة الرقة ودير الزور، ومنطقة كفرية قرب اللاذقية) والبحيرات كما في جزر برمودا وترينداد لشواطئ فنزويلا، والمصدر الرئيسي للبيتومين المستعمل حالياً هو الناتج عن تقطير البترول في أغلب دول العالم. ويتم التفريق بين البيتومين الطبيعي، والبيتومين الناتج عن تقطير البترول بإطلاق كلمة إسفلت (ASPHALT) على البيتومين الطبيعي و بيتومين (Bitumen) بالنسبة للناتج عن تقطير البترول ولكن في الولايات المتحدة فان كلمة إسفلت تستعمل على السواء من أجل البيتومين الطبيعي والبيتومين الناتج عن البترول. [4]

2-1-1-2- أهم أنواع الروابط البيتومينية المستخدمة في مجال أعمال الطرق هي:

2-1-1-2-1- البيتومين :

يتم الحصول عليه بتكرير البترول الخام في مصافي البترول ، ونظراً للخواص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية التي يتمتع بها البيتومين فإنه يعتبر من المواد الأساسية التي تستخدم في المجالات الهندسية، إذ أن البيتومين يمتلك قدرة كبيرة على الالتصاق بأغلب المواد المستعملة كالأحجار و البيتون والخشب والمعادن والزجاج وغيرها من مواد البناء، كما أنه يعتبر عازلاً ممتازاً حين استعماله في العزل. إن البيتومين بصورة عامة يعتبر جسماً مرناً - لزجاً (visco-elastic) وذلك حسب شروط التحميل فإن كان التحميل سريعاً جداً فان سلوكيته تشابه سلوكية الجسم المرن، أما عندما يكون التحميل بطيئاً جداً فان سلوكيته تشابه سلوكية الجسم اللزج، وفي حالة التحميل المتوسطة فان سلوكيته تكون مزيجاً بين المرنة واللزوجة. إن البيتومين غير قابل للانحلال في الماء، ولكن ممكن حله في كثير من المحاليل العضوية مثل (البنزين - كلوريد الميثيل).

نظراً للتركيب الكيميائي المعقد للبيتومين فقد اتجه المنتجون والمستخدمون الأوائل إلى تحديد بعض خواصه من خلال التجارب فقط ، ولكن حالياً أصبح تحديد خواص البيتومين يعتمد على التجارب والدراسة معاً ، وكذلك فان تطور أجهزة التجريب المستعملة حديثاً سمحت بتحليل تأثير تركيبه على خواصه . [4] هذا وتعتمد خواص البيتومين على طبيعة النفط الخام وعلى عمليات التكرير المستخدمة . ومع ذلك فان أداء البيتومين غير مضمون النتيجة نظراً لهشاشته في الطقس البارد ولينه في البيئات الحارة. [5]

2-2-1-2- الإسفلت السائل (Liquid Asphalt) :

هو البيتومين الذي أضيف له بعض الزيوت الطيارة (Volatatile oil) كالكازولين والكيروسين وبالتالي أصبح بالإمكان استعماله بدرجة الحرارة الطبيعية أو بعد تسخينه إلى درجة حرارة مقبولة. إن دور الزيوت الطيارة في الحصول على الإسفلت السائل لا يكون فقط كبديل للحرارة من أجل تخفيف لزوجة البيتومين، ولكن يساعد أيضاً في زيادة سيولة البيتومين لفترة أطول من الزمن. بعد استعمال الإسفلت السائل في الأعمال المختلفة للطرق كتثبيت التربة ومعالجة المكادم أو تهيئة سطوح طبقات الرصف لاستقبال الخلطات البيتومينية فإن المواد الطيارة تتبخر مخلفة وراءها البيتومين الذي يؤدي إلى ربط وتلاحم العناصر مع بعضها. إن سلوكية الإسفلت السائل لأي عمل، تتعلق بنوعية وكمية المواد الطيارة التي استعملت في تحضيره وتبعاً لذلك فإن الإسفلت السائل يقسم إلى ثلاثة أنواع :

الإسفلت السائل بطيء التطاير (S.C) Slow curing :

وهو منتجات بترولية تتصلب ببطء شديد، يصنع من المتبقي بعد التقطير أو بتذويب الإسفلت الصلب بمذيبات ثقيلة، إن مجال درجات الحرارة لاستخدام هذا النوع تبدأ من درجات الحرارة العادية ليوم صيفي عادي فما فوق .

الإسفلت السائل متوسط التطاير (M.C) Medium curing :

وهو عبارة عن إسفلت صلب يتم تذويبه بخلطه بنواتج تقطير مثل الكيروسين أو زيت الديزل الخفيف، إن نقطة غليان هذه السوائل $^{\circ}C(163-180)$ وتمتاز هذه المنتجات بخاصيتها الممتازة في الترطيب مما يجعله كافياً لتغليف الحصى أو الركام ذي الغبار .

الإسفلت السائل سريع التطاير (R.C) Rapid curing :

هو عبارة عن إسفلت صلب يتم تذويبه في مذيب عضوي كالبنزين، إن مجال غليان هذا النوع يتراوح بين $^{\circ}C(121-140)$ ولذلك فهي سريعة التبخر. إن كل نوع من أنواع الإسفلت السائل الثلاث يحتوي على عدة درجات مختلفة تعتمد على نسب المواد الطيارة التي استعملت في تحضيره حيث تتراوح نسبها من (40-15)% وقد اعتمد على التصنيف الأمريكي القديم للإسفلت السائل على إعطاء أرقام من (0) إلى (5) حسب اختلاف اللزوجة ضمن النوع الواحد حيث الرقم (0) يعبر عن أخفض لزوجة والرقم (5) يعبر عن أعلى

لزوجة. [4]

2-1-2-3-المستحلبات الإسفلتية :

إن المستحلبات هي نوع من أنواع الروابط الفحمائية التي يمكن استعمالها في الطرق بدرجة حرارة طبيعية. ويعرف المستحلب : بأنه عبارة عن سائلين غير قابلين للانحلال فيما بينهما، وممزوجين مع بعض، أحد هذين السائلين موزع بشكل كريات مجهرية (قطر 2µ) ضمن السائل الآخر.

والمستحلبات الإسفلتية هي الخلائط التي تكون فيها كريات الإسفلت بين (50-77)% وزناً ونسبة المادة المستحلبة (0.1-5)% ونظراً لكون الإسفلت غير قابل للانحلال في الماء وبالتالي يمكن تحضير مستحلب من هذين السائلين وذلك بتسخين البيتومين والماء وإمرارهما عبر مضخة نابذة تعمل على توزيع كريات البيتومين ضمن الماء. ولكي لا يتم التحام كريات البيتومين مع بعضها يضاف إلى المزيج عنصر استحلاب يعمل على تخفيض الشد السطحي بين الماء و البيتومين وكذلك يقوم بتشكيل طبقة على سطح الكريات ذات شوارد موجبة أو ذات شوارد سالبة لذلك. فإننا نميز بين نوعين من المستحلبات : مشرجبة - مشرسبة .

1. إذا كانت سطوح المواد الحصوية ذات شوارد موجبة كالحصويات الكلسية مثلاً فإننا نستعمل المستحلبات المشرسبة.

2. إذا كانت هذه السطوح ذات شوارد سالبة كالحصويات السيليسية فإننا نستعمل الحصويات المشرجبة .

إن ميكانيكية استعمال المستحلبات في الأعمال الطرقية تتلخص بأنه عندما ترش أو تمزج المستحلبات مع بعض المواد الحصوية، فإن المستحلب يتحطم أي تتغير حالة المستحلب من كريات دقيقة موزعة ضمن الماء إلى حالة يتوضع فيها البيتومين على سطح المواد الحصوية ويشكل طبقة ملتصقة بها ويلاحظ بدء التحطيم عند تغير لون المستحلب من البني إلى الأسود. ويعتمد معدل سرعة تحطيم المستحلب على فاعلية عنصر الاستحلاب، وعلى الطبقة التي تكونت على سطوح الكريات البيتومينية الدقيقة، ووفق ذلك يمكن تقسيم المستحلبات المشرسبة الى ثلاثة أنواع:

- سريعة التحطيم Rapid setting : تحتوي هذه المستحلبات على كمية قليلة من عنصر الاستحلاب، ولا يصلح للخلط من المواد الحصوية لأنه يجعل زمن الخلط قصير جداً ويمكن أن يستعمل من أجل التصاق طبقات الرصف فيما بينها.

- متوسطة التحطيم Medium setting : تحتوي على كمية كافية من عنصر الاستحلاب مما يسمح خلطه ببعض التراكيب الحبية ويستعمل بشكل خاص في صيانة الطرق.

- بطيئة التحطيم Slow setting: يمتلك هذا النوع ثباتاً ميكانيكياً وكيميائياً كافياً لأغلب الاعمال بما فيها خلطه مع المواد الحصوية ويستعمل من أجل اغلب أعمال الطرق خلال فصل الشتاء. [4]

أما المستحلبات المشرجبة يمكن تصنيفها من حيث سرعة تحطيمها إلى سريعة ومتوسطة وبطيئة ولكن يبقى استعمالها في اعمال الطرق محدودة.

2-1-2-4- القطران (Tar) :

يعرف القطران بأنه سائل لزج أسود اللون، يتم الحصول عليه من تحليل وتقطير المواد الطبيعية العضوية كالخشب، والفحم الحجري، والحصول على القطران الخام من الفحم الحجري هو الأكثر والأوسع انتشاراً. ويمكن تلخيص مراحل الحصول على قطران الطرق كالتالي:

- كرىنة الفحم الحجري بغياب الهواء والحصول على القطران الخام.
 - تكرير القطران الخام وتقطيره.
 - مزج رواسب التقطير مع بعض الزيوت الناتجة عن التقطير والحصول على قطران الطرق.
- وعندما يتم التقطير نحصل على المواد التالية:
- بدرجة 170°C نحصل على الزيوت الخفيفة.
 - بدرجة $170-230^{\circ}\text{C}$ نحصل على الزيوت المتوسطة التي تحتوي على النفثالين والفينول.
 - بدرجة $230-270^{\circ}\text{C}$ نحصل على الزيوت الثقيلة.

ما تبقى من التقطير يسمى الزيت

يتم إنتاج قطران الطرق بأنواع مختلفة تعتمد على اللزوجة وعلى اختلاف في بعض الخواص وهناك عادة خمسة أنواع:

(RT-5, RT-2, RT-1, RT-1)، ويستعمل (RT-1) في طلاء الطبقة السطحية في ظروف مناخية باردة، أما (RT-2, RT-3, RT-4) فتستعمل في صيانة وكساء طبقات الرصف السطحية والماكدام، أما (RT-5) فيستعمل بصورة خاصة من أجل أعمال الحفن. [4]

2-1-3- مكونات البيتومين

البيتومين مركب هيدروكربوني بوزن جزيئي مرتفع تتراوح بين (1000-3000)mol ويدخل في تركيبه الكيميائي مجموعة من العناصر بنسب مختلفة وهي:

- الكربون Carbon(C) تتراوح نسبته بين % (82-87)
 - الهيدروجين Hydrogen(H) تتراوح نسبته بين % (10-15)
 - الأوكسجين Oxygen(O) تتراوح نسبته بين % (2-3)
 - الكبريت Sulfur(S) تتراوح نسبته بين % (0.2-7)
 - الآزوت Nitrogen(N) تتراوح نسبته بين % (0.1-1)
- إضافة إلى آثار خفيفة من بعض المعادن، مثل الفاديوم والنيكل والكوبالت والحديد.

إن التركيب البنوي للبيتومين معقد جداً، فهو عبارة عن سلاسل من الفحوم الهيدروجينية ذات التراكيب المختلفة، والتي تتجمع ضمن مجموعات رئيسية وهي [6]:

❖ الإسفلتين Asphaltene

وهو عبارة عن جزيئات بودة ضخمة سوداء أو بنية داكنة، ذات بنية جزيئية تتراوح بين $(1000-3000)\text{mol}$ ولها أحد الصيغتين $(\text{C}_n\text{H}_2n)_x, (\text{C}_n\text{H}_n)_x$.

❖ المالتين Maltene

هي جزيئات تحيط بجزيئات الاسفلتين، ولها تركيب قريب منها، لكن بنسبة هيدروجين أكبر من الكربون، ووزن جزيئي أقل يتراوح بين $(1200-700)\text{mol}$ ويقسم المالتين تبعاً إلى الوزن الجزيئي إلى مجموعتين:

• وزن جزيئي منخفض $(1000-700)\text{mol}$

• وزن جزيئي مرتفع $(1200-1000)\text{mol}$

ويحتوي الهيدروكربون الداخل في تركيب المالتين على الاوكسجين والازوت وبعض المعادن الاخرى وتتصف جزيئات المالتين بلون بني يميل إلى السواد، وتكون بحالات مختلفة من السائل اللزج إلى الجسم الصلب الهش، وتتراوح كثافتها بين $(0.99-1.088)\text{g/cm}^3$

❖ الزيت Oil

هو خليط من مركبات هيدروكربونية مشبعة، وغير مشبعة ذو بنية تتراوح بين $(600-200)\text{mol}$ ويتميز الزيت بلزوجة عالية، وبلون بني فاتح إلى بني غامق ، وتوجد في الزيت نسبة من البرافين الذي يعتبر تواجهه غير مفيد في البيتومين.

يعطي الإسفلتين القساوة، والهشاشة للبيتومين كما يعطيه المالتين اللزوجة والاستطالة والالتصاق ويعطي الزيت خاصة السيالان ، وبالاعتماد على المكونات الثلاثة ، تتحدد خواص البيتومين المختلفة ، وسلوكه عند تعرضها للعوامل المؤدية للتعب. [1]

2-1-4- تصنيف البيتومين

يمكن تصنيف البيتومين (Asphalt cement) بعدة طرق منها:

طريقة اللزوجة :

AC -5 ، AC -10 ، AC-20، AC -25، AC-40

طريقة الغرز :

200-300 ، 120-150 ، 85-100 ، 60-70 ، 40-50

والتصنيف الثاني هو الأكثر استخداماً في بلادنا. [4]

2-2- الخلائط البيتومينية

2-2-1- المتطلبات الأساسية للخلائط البيتومينية:

هناك خواص أساسية يجب تحقيقها عند تصميم الخلائط البيتومينية وهي (الثبات، الديمومة، المرونة، مقاومة الانزلاق) عملياً لا يمكن الوصول إلى الحالة المثالية لهذه الخواص ، ولذلك فإن التصميم الجيد هو التصميم الذي يجمع أكبر نسبة من هذه الخواص.[4]

2-2-1-1- الثبات: (STABILITY)

وهو المقاومة التي تبديها مواد طبقة الرصف تجاه التشوهات التي تسببها الاجهادات الناتجة عن حمولة العريات ، والمصدر الأساسي لتلك المقاومة هو الاحتكاك والتعشيق الناتج عن تماس الحبيبات الحصوية من جهة والتماسك الناتج عن وجود المواد الإسفلتية من جهة أخرى.

تتغير قيمة الثبات حسب شكل الحبيبات الحصوية و التدرج الحبي ونسبة الرابط البيتوميني . وإن التصميم الجيد الذي يعطي قيمة ثبات جيدة يمكن أن يساهم في تقوية الخواص الأساسية الأخرى.

2-2-1-2- الديمومة: (Durability)

تعود ديمومة الخلائط البيتومينية إلى مقاومة هذه الخلائط للإجهادات الميكانيكية الناتجة عن الحمولات التي تولدها الحركة وأيضاً للإجهادات الحرارية التي تولها التغيرات المناخية وكلما استطاع الرابط البيتوميني حماية الحبيبات الحصوية أكثر كلما كانت ديمومة الخلائط البيتومينية أكثر، فمن أجل زيادة خاصية الديمومة للخلائط البيتومينية يجب أن تكون نسبة الرابط البيتوميني كافية لأجل تغليف الحبيبات الحصوية من جهة وأن تكون جميع الفراغات بين الحبيبات الحصوية مليئة بالبيتومين من جهة أخرى.

2-2-1-3- المرونة: (Flexibility)

تعود مرونة الخلائط البيتومينية إلى قابليته للانعطاف دون حدوث تشققات ودون حدوث تغير في شكل الطبقات التي تستند إليها هذه الخلائط . تكون مرونة الخلائط البيتومينية أفضل عند استعمال تراكيب حبية مفتوحة مقارنة باستعمال تراكيب حبية كثيفة، مع الأخذ بعين الاعتبار عند زيادة المرونة التقليل ما أمكن من الآثار السلبية على الخواص الأخرى.

2-2-1-4- مقاومة الانزلاق: (Skid Resistance)

وهي قدرة سطح طبقة الرصف من الخلطات البيتومينية على مقاومة انزلاق دواليب العربات وتعتمد مقاومة الانزلاق على العاملين التاليين :

- العامل الأول: نسيج المواد الحصوية الداخلة في تركيب الخلطة وقساوة تلك المواد ،أي في حال كان نسيج المواد الحصوية يحوي نسبة لا بأس بها من المواد الناعمة وأيضاً المواد الحصوية الطرية فإن سطح الطريق سيصبح ناعماً وتزداد النعومة مع زيادة الحركة عليه .
- العامل الثاني: نسبة البيتومين الداخلة في التركيب ،في حال كانت نسبة الفراغات في المزيج ضعيفة فإنه نتيجة الحركة سترص الطبقة من ناحية وأيضاً في الأشهر الحارة من السنة يكون هناك تمدد في الرابط البيتوميني ، وبالتالي صعوده إلى السطح مشكلاً واحات بيتومينية ذات سطح ناعم غير مقاوم للانزلاق ، ولذلك يجب التركيز على النسبة المثالية للرابط البيتوميني التي تعطي أفضل الخواص للخلطة .

أظهرت الدراسات الحديثة خصائص أخرى يجب أن تتحقق في الخلطات البيتومينية منها:

- مقاومة الخلطات لظاهرة التعب : التي تنشأ نتيجة الإجهادات النازمية والمماسية المتكررة على منشأة الطريق.
- التشققات ومعدل انتشار هذه التشققات تحت تأثير الحرارة المنخفضة .
- قابلية التشغيل أي الحصول على خليط يمكن نقله وفرشه مع المحافظة على مواصفاته.[4]

2-2-2- طرق تصميم الخلطة البيتومينية :

هناك عدة طرق لتصميم الخلطات البيتومينية منها كلاسيكي قديم يستعمل على نطاق واسع في مختلف دول العالم حتى هذا اليوم، وطرق تصميم حديثة أصبح بعضها قيد الاستخدام العملي.

أهم الطرق الكلاسيكية المستخدمة حالياً:

طريقة مارشال

طريقة فيم

طريقة ثلاثي المحاور

أما أهم الطرق الحديثة فهي:

طريقة الرصف الممتاز (Super Pave)

طريقة السيلان الديناميكية (Esso)

إن طريقة مارشال وفيم تعتمدان على التجربة .أما السوبر بيف هي طريقة تجمع بين التجربة ومحاكاة الواقع بنفس الوقت.

الطرق الثلاث تتشابه باعتمادها على الخواص الحجمية للخلطة ولكنها تختلف بالمنهجية وطرق تحضير العينات ومؤشرات الأداء. أي هناك فروقات في كيفية اختيار مواد الخلطة وطرق إجراء التجربة وظروف التجارب نفسها . وأهم هذه الفروقات هو كيفية رص العينات ففي طريقة فيم يتم الرص بالضغط أما مارشال بالصدمة أما السوبر بيف فهو بطريقة التآرجح بالضغط الساكن وتعتبر أكثر تمثيلاً للواقع .

يتم تحديد مؤشر قوة عينات مارشال بالحمل اللازم لكسر العينة بواسطة رؤوس تحميل نصف دائرية أما تحديد مؤشر القوة في عينات فيم بقياس الضغط الأفقي الناتج عن تحميل العينة رأسياً.

أما كيفية التصميم فيتم أولاً اختيار المواد المناسبة مثل اختيار الحصىات واختيار الرابط البيتوميني ثم إجراء التجارب على كل منهما لاختيار الأفضل من بقية الأنواع ثم اختيار التدرج الأفضل للحصىات ثم اختيار نسبة الرابط البيتوميني المثلى ثم تحديد الفراغات الموجودة حسب المواصفات التي نعمل بها ثم إجراء الفحوصات لبيان مدى صلاحية الخلطة التي تم تصميمها.

قبل البدء بتجربة مارشال يجب تعيين ميزات مختلف العناصر الداخلة في تركيب الخلطة البيتومينية .

2-2-3 مواصفات ومتطلبات المواد الحصوية :

- يجب أن تكون جافة.
- أن يكون تركيبها الحبي واقع ضمن الحزمة النظامية.
- يجب أن يحدد الوزن النوعي الظاهري لكافة العناصر الحصوية ابتداءً من العناصر الناعمة وانتهاءً بالعناصر الخشنة.

2-2-4- مواصفات ومتطلبات المواد البيتومينية:

يجب أن يحقق كل نوع من أنواع البيتومين المستعمل في الطرق المواصفات والمتطلبات في الجدول اللاحق لكي يعطي نتائج مرضية عند مزجه مع المواد الحصوية لتشكيل الخلائط البيتومينية ويتحقق هذه المواصفات يمكن أن نحصل على المتطلبات العامة للخلائط البيتومينية.

الجدول رقم (1-2) مواصفات بعض المواد البيتومينية المستعملة في الطرق

أنواع البيتومين			طرق الاختبار حسب مواصفات AASHTO	المتطلبات العامة
85-100	60-70	40-50	(T 49)	الغرز
85	100	120	ASTM (E102)	اللزوجة بطريقة فيرول
232.2°	232.2°	232.2°	(T48)	الحد الأدنى لدرجة الوميض (الاشتعال)
1.00	0.80	0.80	(T179)	النقص في الوزن الحد الأعلى %
+100	+100	+100	(T51)	الممطولية (الاستطالة)
35° -70°	35° -70°	35° -70°	(T53)	نقطة التميع

وكذلك الوزن النوعي للبيتومين المستعمل يجب أن يكون معروفاً.

2-2-5- طريقة مارشال Marshall Method:

إن هذه الطريقة هي الأكثر استعمالاً وانتشاراً في العالم ويعود أصلها إلى السيد بروس مارشال تعتمد على العمل المخبري في تحضير العينات وقياس الثبات والانسياب يتم بصورة سهلة نسبياً . يتم تحضير العينات في قالب اسطواني الشكل قطره (4 inch) وارتفاعه (2.5 inch) وترص العينات ضمن القالب بسقوط مطرقة وزنها (10 lb) تسقط سقوطاً حراً من ارتفاع (18 inch) حيث يتم رص العينة على الوجهين، ويتعلق عدد الطرقات على كل وجه بكثافة المرور على الطريق وتستهمل عادةً:

- (35) طرقة للطرقات ذات الغزارة القليلة.
- (50) طرقة للطرقات ذات الغزارة المتوسطة.
- (75) طرقة للطرقات ذات الغزارة العالية.

يتم تحضير عادةً ثلاث عينات لكل نسبة من البيتومين المستعمل، وعادة خمس نسب من البيتومين تختلف كل واحدة عن الأخرى (1-0.5)%.

وفي اليوم الثاني لتحضير العينات يتم حساب الكثافات ونسبة الفراغ، وبعد ذلك تغمر العينات في حمام مائي بدرجة حرارة (60°) ولمدة (30) دقيقة، ثم تنقل العينات إلى جهاز الثبات لمارشال لقياس ثبات وانسياب العينة.

إن سرعة تحميل العينة تؤثر كثيراً في النتائج وهي محددة في جهاز مارشال ب (2 in/min)، حيث يتم تسجيل أكبر حمولة يتم الوصول إليها خلال التجربة، وهذه تدعى: بثبات مارشال (Marshall Stability) للعينة.

ويجب ضرب ثبات مارشال للعينه بعامل يسمى عامل التصحيح ويتعلق هذا العامل بحجم العينه وتكون قيمة هذا العامل (1) عندما يكون ارتفاع العينه نظامياً (2.5 inch).
 عامل تصحيح تجربة مارشال يحسب من الجدول (2-2).
 الجدول (2-2) عامل تصحيح تجربة مارشال

عامل التصحيح	حجم العينه cm^3	ارتفاع العينه cm
1.47	420-406	5.08
1.39	431-421	5.24
1.32	443-432	5.4
1.25	456-444	5.56
1.19	470-457	5.72
1.14	482-471	5.87
1.09	495-483	6.03
1.04	508-496	6.19
1	522-509	6.35
0.96	535-523	6.4
0.93	546-536	6.51
0.89	559-547	6.67
0.86	573-560	6.83

واعتماداً على النتائج المحسوبة والمقاسة يمكن إيجاد التالي :

- 1- العلاقة بين الكثافة الحجمية ونسبة البيتومين.
 - 2- العلاقة بين الثبات ونسبة البيتومين.
 - 3- العلاقة بين الانسياب ونسبة البيتومين.
 - 4- العلاقة بين نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين VFA ونسبة البيتومين.
 - 5- العلاقة بين نسبة الفراغات الهوائية ونسبة البيتومين.
 - 6- العلاقة بين نسبة الفراغات الحصوية VMA ونسبة البيتومين.
- وتحدد نسبة البيتومين الأصولية للخلطة البيتومينية (Optimum bitumen content) وفق تجربة مارشال بأخذ المتوسط للقيم التالية:

- نسبة البيتومين التي تعطي قيمة ثبات أعظمية .
- نسبة البيتومين التي تعطي الكثافة الجافة الأعظمية .
- نسبة البيتومين التي تكون عندها نسبة الفراغات الهوائية (4) %.

ومن أجل أن يكون تصميم الخلطة الإسفلتية وفق الطريقة مناسباً للأعمال الطرقية فإن معهد الإسفلت الأمريكي، يوصي باعتماد القيم الموضحة في الجدول (2-3):
الجدول رقم (2-3) مواصفات تصميم HMA وفق معهد الإسفلت الأمريكي

تصنيف الحركة على الطريق	عالية	متوسطة	خفيفة
عدد الطرقات على كل وجه للعينة	75	50	35
الثبات (N)	8006min	5338min	3336min
حدود الانسياب (1/100) inch	8-14	8-16	8-18
حدود نسبة الفراغات الهوائية %	3-5	3-5	3-5
حدود نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت %	65-75	65-78	70-80

الفصل الثالث

الدراسات المرجعية السابقة حول استخدام المطاط
في تعديل البيتومين والخلائط البيتومينية

3-1- الإضافات المستخدمة في تعديل خواص البيتومين

تحتاج بعض الروابط البيتومينية إلى إضافة مواد عليها من أجل تحقيق المواصفات المطلوبة ،وقد بدأ تعديل البيتومين منذ القدم ولكن الاهتمام به بشكل أكبر بدأ منذ فترة قريبة ويعود السبب في هذا الاهتمام للعوامل التالية[6]:

- في السنوات السابقة زاد الطلب على الخلائط البيتومينية المشغولة على الساخن ، رافقه زيادة في الحجم المرورية ، وزيادة الحمولات المستخدمة في عمليات النقل ، وبالتالي زيادة في قيمة ضغط الاطار على الرصف ، والتي بدورها سببت زيادة في ظهور العيوب المختلفة من تخذد وتشققات ، والعديد من الاضافات المستخدمة تستطيع زيادة قساوة الرابط البيتوميني في درجات الحرارة المختلفة ،وبالتالي زيادة في مقاومة التخذد، كما أن انخفاض قساوته عند انخفاض درجات الحرارة زاد من مقاومته للتشققات الحرارية.
 - ظهور المواصفات المتعلقة بخصائص الرابط البيتوميني حسب طريقة السوبر بيف في تسعينات القرن الماضي . والتي وضعت شروطا على الروابط البيتومينية لتفي بمتطلبات القساوة في درجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة، وفي المناطق ذوات المناخ القاسي لا يمكن استخدام الروابط البيتومينية دون تعديلها.
 - في مجال الاقتصاد والبيئة زاد التوجه لإعادة تدوير(تصنيع) المواد المستهلكة والمخلفات الصناعية (الإطارات ، الزجاج ،الرماد ، ومواد العزل ...) لزيادة القيمة المضافة لهذه المواد. ومن أجل الاستفادة من النواتج النهائية لعملية التصنيع ، بدون تأثير على البيئة، يجري استخدام هذه النواتج كإضافات في الخلائط البيتومينية المشغولة على الساخن.
 - تفضيل الوكالات العامة استخدام كلفة مبدئية عالية في عملية الرصف مع ديمومة أكبر أكثر من استخدام رصف ذو ديمومة قصيرة وكلفة منخفضة ، وبالتالي كان التوجه لاستخدام الروابط المعدلة ضرورياً لأنها تفي بهذه المتطلبات ، حيث أن الروابط المعدلة لها كلفة أولية كبيرة مقارنة بالروابط غير المعدلة ولكنها يجب أن يكون لها ديمومة أكبر وكلفة صيانة أقل.
- يوجد العديد من الإضافات التي يمكن استخدامها في تعديل الروابط البيتومينية ونقدم لمحة عن بعض هذه الإضافات.

3-1-1- البيتومين المعدل بالكلس

تم استخدام الكلس من أجل تحسين خواص البيتومين منذ زمن بعيد، حيث كان يستخدم مسحوق الأحجار الكلسية ، وتشير الأبحاث إلى أن إضافة الكلس، تؤدي إلى الحد من التغيرات التي يتعرض لها البيتومين نتيجة التعب ، ويعزز قوى الالتصاق بين البيتومين و الحصىات ، ويزيد من ممانعة انسلاخه نتيجة تأثير المياه وبالتالي زيادة الديمومة للرصيف.[7] فمثلا أظهر البيتومين (60-70)تحسناً في مجال اللدونة الحراري عند إضافة (4-8-12)%كلس وصل إلى قيمة 16.4%، كما أظهر تحسنا في درجة حرارة الكرة والحلقة وصل إلى 12.6% ، وتراجعا في مقاومة درجات الحرارة الباردة (درجة حرارة الكسر) وصل إلى 76% وهذا التراجع ليس بالأهمية الكبيرة في المناطق ذات المناخ الحار. كما أظهرت إضافة الكلس للبيتومين مقاومة أفضل للتقادم ظهرت بزيادة قيمة دليل الغرز. [8]

3-1-2- البيتومين المعدل بالبولىميرات:

البولىمير: إن مصطلح بوليمير لا يعني مادة صناعية ، بل يعني بشكل أساسي مجموعة كبيرة من الجزيئات الصغيرة المتشابهة. والبولىميرات هي عبارة عن مركبات كيميائية ذات سلاسل جزئية طويلة.

هناك عدد كبير من البولىميرات موجودة في الطبيعة، هذه البولىميرات يمكن أن تكون مواد عضوية أو معدنية، وأمثلة عن هذه البولىميرات (المطاط، الماس، الكبريت) حتى البيتومين يمكن أن يعتبر بوليمير بسبب طبيعة السلسلة الطويلة للبعض من جزيئاته العضوية التي تشكل الأجزاء الأساسية للبيتومين.

البولىميرات الصناعية: يتم إنتاج هذه البولىميرات بالمعالجة الكيميائية حيث يتم دمج الجزيئات بطريقة معينة لا تحدث طبيعياً، وبالرغم من أن البولىميرات الصناعية المختلفة لم تنتج في وقت مبكر من القرن العشرين إلا أنها البولىميرات الأكثر تطورا في الوقت الحالي و المستعملة في تعديل البيتومين وإنتاج الروابط البيتومينية الجديدة. والبولىميرات الجديدة هي نتيجة البحث و التطوير في الصناعات البتروكيميائية الكبيرة.

وأهم البولىميرات المستخدمة في تعديل وتحسين خواص البيتومين

1- المطاط : RUBBER

2- SBS : Styrene-butadiene-styrene

3- SBR : Styrene-butadiene-rubber

4- EVA : Ethylene vinyl Acetate

إن تعديل وتحسين خواص البيتومين باستخدام البوليمير استعمل بنجاح في مواقع الإجهادات والحمولات العالية مثل تقاطعات الشوارع المزدهمة، مهابط المطارات ، محطات وزن الشاحنات.[3]

عدلت البوليميرات بعض خصائص البيتومين مثل: نقطة التميع ، درجة اللزوجة ، درجة الغرز ، المطاوعة (الاستطالة)، كما أعطت الرابط تماسكاً و ثباتاً أكبر .[3]

وجد أن حدود درجة حرارة انصهار البوليمر تستخدم لمزج الإسفلت بالبوليمير. واعتمدت في بعض الأبحاث النسبة 3% للبوليميرات الداخلة في تصميم الخلطات البيتومينية. ومن المتوقع أن المزج بين اثنين من البوليميرات قد يعطي نتائج جيدة للخلطات البيتومينية.

إن تعديل البيتومين باستخدام البوليمير خفض من التشوه الدائم، وحسن مقاومة التشققات في درجات الحرارة العالية و المنخفضة. و نتج تحسن كبير في اختبار التعب من أجل مزيج طبقة الاهتراء وخاصة في درجات الحرارة العالية . [9]

إن مزج البوليميرات مع البيتومين يتم حسب تراكيز مختلفة للبوليمير وهذه التراكيز تختلف من تطبيق لآخر، وإن الخلطات التي تحتوي على بيتومين مع بوليمير بنسبة مرتفعة هي أكثر مقاومة لدرجات الحرارة المنخفضة وعادةً محتويات البوليميرات العالية من (5-6) % تقلل من حساسية درجة الحرارة . [10]

وفي مقارنة بين خصائص البيتومين A (50/70) المعدل بالبوليميرات SBS و EVA وجد أن البوليمير EVA يتفاعل في درجات حرارة منخفضة بالمقارنة مع البوليمير SBS الذي يتفاعل في شكله السائل عند درجة حرارة 135°م و أعلى من ذلك ، وكانت درجات الغرز للبيتومين المعدل ب(SBS) اقل من درجات الغرز للبيتومين المعدل ب (EVA) عند نفس النسب المضافة، بينما نقطة التميع للبيتومين المعدل ب(SBS) أعلى من نقطة التميع للبيتومين المعدل ب (EVA) عند نفس النسب المضافة.

وعند تعديل الخلطات البيتومينية بSBS و EVA زادت قيم الثبات للخلطات المعدلة ب(SBS) بينما تناقصت للخلطات المعدلة ب(EVA)، وبالرغم من أن الخلطات المعدلة بSBS و EVA أعطت قيم انسياب أعلى من الخلطات غير المعدلة إلا أن الخلطات المعدلة كانت أكثر مقاومة للتشوهات الدائمة. [10]

الجدول (1-3) يبين نتائج التجارب على البيتومين A (50/70) والخلطات البيتومينية قبل وبعد التعديل بSBS و EVA

7	6	5	4	3	2	البيتومين الغير معدل	النسبة المضافة %	
							الغرز 0.1mm	SBS
-	48	48	49	51	61	63	نقطة التميع C°	
	69	67	57	54	50	49	الثبات kg	
	1380	1390	1370	1280	1230	1190	الانسياب mm	
	3.45	3.4	3.17	2.75	2.4	2.2		

47	48	49	52	53	-	63	الغرز 0.1mm	EVA
62	61	59	57	54	-	49	نقطة التميع C°	
1100	1095	1090	1075	1060	-	1190	الثبات kg	
2.8	2.75	2.85	2.6	2.4	-	2.2	الانسياب mm	

أما البولييمير (SBR) عند إضافة الكبريت و البولي فوسفوريك له لتشكيل المركب

(. ستيرين بوتادين ستيرين (SBR) + الكبريت (S) + البولي فوسفوريك (PPA))

حسّن الخصائص الفيزيائية للبيتومين وساعد على استقرار التخزين في درجات الحرارة العليا، وحسّن خاصية التماسك و الالتصاق بين البيتومين المعدل و الحصىات . [10]

3-1-3- البيتومين المعدل بالمطاط.

3-1-3-1- لمحة تاريخية عن البيتومين المعدل بالمطاط

تمت تجربة استخدام الخلطات البيتومينية الإسفلتية المعدلة بالمطاط منذ القدم ، واستخدمت لأول مرة في هولندا سنة 1929 ، وفي الولايات المتحدة الأمريكية عام 1947 بولاية أوهايو [1]، وقام كارلوس ماكدونالد في مدينة فينيكس أريزونا في 1960 و 1970 بالعمل على نطاق واسع بالبيتومين والمواد المطاطية وكانت ذات دور فعال في تطوير الطريقة الرطبة لإنتاج البيتومين المعدل بالمطاط (التي سميت عملية ماكدونالد أيضاً والعملية الرطبة هي إضافة المطاط للخلطات البيتومينية كنسبة من البيتومين) وقد كان أول من استخدم البيتومين المعدل بالمطاط في الخلطات الإسفلتية الحارة وفي المعالجات السطحية للترميم والصيانة. وبحلول عام 1995 كانت مدن ومقاطعات ولاية كاليفورنيا قد شيدت أكثر من 400 مشروع للإسفلت المعدل بالمطاط [2].

ولقد زاد استخدام المطاط في خلطات البيتومين بشكل كبير في السنوات الأخيرة حول العالم وقد استخدمت بنجاح في بناء الأرصفة وصيانتها وإعادة تأهيلها وذلك في الولايات المتحدة وأوروبا لأكثر من 30 عام وقد ذكر أن العديد من الطرق كانت بحالة جيدة بعد عدة سنوات من الخدمة بالمقارنة مع الرصف التقليدي و منذ عام 1997 فان 20% من الطرق في الولايات المتحدة الأمريكية كانت تبنى من الرصف المحسن باستعمال الإطارات المدورة فهي أفضل من الناحية الاقتصادية والبيئية. [3]

3-1-3-2- تعريف البيتومين المعدل بفتات المطاط:

(CRMA) (Crumb Rubber Modified Asphalts) (asphalt rubber)

هو عبارة عن مزيج من البيتومين و المطاط ، والمطاط المستخدم غالباً ما يكون ناتج مطاط الإطارات التالفة المدورة. ويستخدم المزيج كرابط بيتوميني في الأنواع المختلفة من منشآت الرصف المرن المتضمن المعالجة السطحية والخلائط البيتومينية الحارة.[2]

إن البيتومين المضاف له مطاط يُحضر ويتفاعل في درجات الحرارة المرتفعة وزمن المزج الطويل، وذلك لضرورة حدوث التفاعل الفيزيائي بينه وبين المطاط و الحفاظ على جزيئات المطاط عالقة ضمن المزيج، ويتم إضافة مواد النفط المقطرة المختلفة أو الزيت الممدد لتخفيض اللزوجة للمزيج وزيادة قابلية التشغيل.[2] وفي تعريف آخر هو البيتومين المعدل بفتات المطاط (CRMAs) الذي يتم إنتاجه عن طريق مزج البيتومين الخام مع فتات المطاط الناتج من الإطارات التالفة في درجات الحرارة المرتفعة، وآلية التفاعل بين هاتين المادتين عبارة عن نشر المذيبات العضوية (البيتومين) داخل شبكة البوليمير (المطاط)، وعند إضافة المطاط إلى البيتومين الساخن فإن محتوى الزيت العطري (aromatic oil) من البيتومين ينتشر داخل المطاط فيؤدي إلى حدوث زيادة في حجمه وبالتالي انخفاض المحتوى الزيتي، إن انخفاض المحتوى الزيتي يزيد من لزوجة البيتومين ويشكل طبقة سميكة حول الحصىات في مزيج الخلائط البيتومينية الإسفلتية (HMA)، إن زيادة سماكة هذه الطبقة يعطي رصف أكثر ديمومة ومقاوم للشيخوخة والتخدد وتشققات التعب. [11]

3-3-1-3- تعريف فتات المطاط المعدل: (CRM)(Crumb rubber modifier)

مصطلح عام للمطاط الصغير الحجم الناتج عن الإطارات التالفة المعد للاستعمال كمُعدّل في مواد الرصف البيتوميني.

ويتضمن فتات المطاط أنواع عديدة منها:

1- فتات المطاط المطحون المعدل (Ground crumb rubber modifier): شكله غير منتظم وتكون جزيئات المطاط فيه مقطعة مع سطح نوعي كبير .

2- المطاط الطبيعي الصرف (High natural rubber): هو منتج نفاية المطاط المتضمن (40-48) % مطاط طبيعي وحد أدنى 50% مطاط مع هيدروكربون، أما مصادر المطاط الطبيعي الصرف فهي مطاط الإطارات التالفة الناتجة مثلاً من بعض أنواع إطارات الشاحنات الثقيلة، ولكن لا تقتصر مصادرها على ما ذكر، من المصادر الأخرى هي النفايات الناتجة عن كرات التنس و الدعاسات المطاطية.

3- النفاية المصقولة (Buffing waste): هو منتج عالي الجودة من مطاط الإطارات التالفة كونه نتيجة ثانوية عند تبريد نفايات الإطارات أثناء التحضير لإعادة التصنيع. ناتج المطاط المصقول لا يحوي معدن ولا ألياف.

4- المطاط في المنطقة الوسطية من الإطارات (Tread rubber): المنطقة من الإطار الملامسة لسطح الطريق (هو مطاط الإطارات التالفة المتضمن بشكل أولي المطاط tread مع نسبة أقل من 5% من مطاط الإطار الجانبي). (Side wall)

5- مطاط قشرة المنطقة الوسطية من الإطارات Traed peel: هو قطع من مطاط الإطارات التالفة الناتجة أيضاً بشكل ثانوي من عمليات إعادة التصنيع والتي قد تحتوي قليلاً من أسلاك الإطار.

6- مطاط الإطار الكامل (Whole tire rubber): هو مطاط الإطارات التالفة المتضمن (tread و Side wall). [2]

3-1-3-4 طرق تحويل الإطارات المطاطية التالفة إلى فتات مطاط ناعم.

هناك طرق مختلفة لهذه الغاية أبسطها عملية الصقل (الجلخ) حيث يتم جلخ الإطار بواسطة آلة جلخ للحصول على فتات ناعم من المطاط.

طريقة (Ambient) وهي الطحن في حرارة الجو: وهي عملية يتم فيها طحن نفاية الإطارات المطاطية أو معالجتها في درجة حرارة الغرفة العادية أو أكثر وتُطلب طريقة المعالجة هذه لإعطاء شكل غير منتظم للحبيبات المطاطية الناتجة مع سطح نوعي كبير نسبياً.

طريقة (Cryogenic) الطحن بالتبريد لدرجة حرارة عالية: وهي عملية يتم فيها استخدام النتروجين السائل لتجميد نفاية الإطارات المطاطية حتى تصبح هشّة وبعد ذلك تستخدم مطرقة لتحطيم المطاط المتجمد إلى جزيئات ناعمة ذات سطح نوعي صغير.

طريقة (Granulation) التحويل إلى حبيبات: وهي طريقة يتم فيها الحصول على شكل موحد لحبيبات المطاط مع سطح نوعي صغير.

طريقة (Shredding): وهي عملية تسبق عملية التحويل إلى حبيبات وعملية الطحن في حرارة الجو حيث يتم تحويل الإطارات التالفة إلى قطع صغيرة $(0.023)m^2$ أو أقل. [2]

بالاستعانة بالمواقع الالكترونية وجدنا الكثير من الطرق التي تحوّل الإطارات المطاطية التالفة إلى فتات ناعم، علماً أن هذه الطرق بسيطة من حيث المبدأ ولكنها صعبة التنفيذ لأنها تحتاج لتجهيزات ومعدات ضخمة ومكلفة .

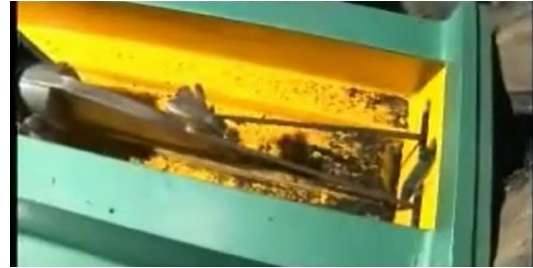
و إحدى طرق استخراج فتات المطاط من الإطارات المطاطية هو تفتيته وفق مراحل متتالية عبر مرور المطاط ضمن عدد من التجهيزات التي تضمن الحصول على الأحجام المطلوبة في النهاية. نبين فيما يلي مراحل تفتيت المطاط في إحدى المعامل بحيث تكون نموذج يمكن تطبيقه في بلدنا. [12]

1- مرحلة تجميع الإطارات المطاطية التالفة مع بعضها البعض ضمن ساحات مخصصة ضمن المعمل.



الشكل (3-1) تجميع الإطارات المطاطية التالفة ضمن ساحات مخصصة

2- مرحلة إزالة الأسلاك المعدنية من الإطارات المطاطية حيث يتم الكشف عن الأسلاك ومن ثم تقوم الآلة المبيّنة في الصورة بسحب السلك المعدني من الإطار المطاطي حيث يمكن الاستفادة من هذه الأسلاك وإعادة تصنيعها في معامل خاصة.



الشكل (3-2) عملية إزالة الاسلاك المعدنية من الإطارات المطاطية

الشكل (3-3) الإطار بعد سحب السلك المعدني منه



الشكل (3-4) السلك المعدني المسحوب من الإطار

3- وضع الإطارات المطاطية بين مسننات خاصة للتقطيع والتفتيت تدور باتجاهين متعاكسين مما يسمح بتفتيت الإطار المطاطي إلى قطع صغيرة حيث أن هذه المسننات تكون مركبة على محركات كهربائية باستطاعات كبيرة.



الشكل (3-5) المرحلة الأولى لتقطيع وتفتيت الإطار بواسطة المسننات الخاصة

4- نقل قطع المطاط الناتجة عن المرحلة السابقة وفق مراحل متتالية إلى تجهيزات ذات مسننات أصغر فأصغر وبالتالي الحصول على فتات أنعم في كل مرة.





الشكل (3-6) عملية تقطيع وتفتيت الإطار إلى أحجام صغيرة وناعمة

5- الحصول على فتات المطاط الناعم المطلوب في المرحلة الأخيرة بعد الطحن



الشكل (3-7) فتات المطاط الناعم بعد عملية الطحن

3-1-3-5-العوامل المؤثرة على خصائص البيتومين المعدل بفتات المطاط (CRMAs) :

- 1- نوع البيتومين
- 2- خصائص المطاط: المتضمنة (نوع المطاط - نسبة المطاط المضاف - حجم فتات المطاط - طريقة تحضير المطاط - مساحة السطح النوعي)
- 3- شروط التفاعل(المزج):المتضمنة (زمن المزج - درجة حرارة المزج - سرعة المزج)

3-1-3-6- فوائد استخدام فتات المطاط في تعديل البيتومين والخلائط البيتومينية

إن إضافة المطاط للبيتومين والخلائط البيتومينية له فوائد عديدة ومنها:

- تحسين الالتحام مع الحصىات.
- زيادة صلابة المزيج .

- تحسين مقاومة التحدد نتيجة للزوجة المرتفعة و انخفاض تكاليف صيانة الطريق.[13]
 - تحسين مرونة الخلطات البيتومينية وخاصة في درجات الحرارة المنخفضة .
 - توفير في الطاقة و الموارد الطبيعية عن طريق استخدام منتجات نفايات الإطارات المطاطية.[13]
 - تخفيض ضجة المرور الناتج عن احتكاك عجلات العربات مع سطح الطريق.[14]
- وفي دراسة قدمت في قسم الهندسة المدنية بجامعة كليمنسون عام (2002) ، إن استخدام فتات المطاط في الخلطات البيتومينية يعطي الأرصفة البيتومينية فوائد عديدة منها [15]:

1- تحسين مقاومة التشققات في الرصف المعدل بالمطاط



رصيف الإسفلت تقليدي



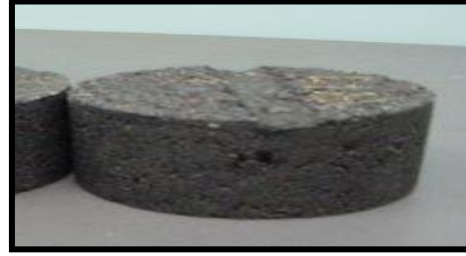
رصيف الإسفلت بالمطاط بنسبة 10% مطاط

الشكل (3-8) مقارنة مقاومة التشققات بين الرصف التقليدي والرصف المعدل بالمطاط

2- يحسن مقاومة تشكل الأخاديد في الرصف المعدل و يحسن مقاومة الانزلاق



يحسن مقاومة الانزلاق



عينة مزيج الإسفلت الحار بعد اختبار مقاومة الأخاديد

الشكل (3-9) عينة مزيج الإسفلت الحار بعد اختبار مقاومة الأخاديد بالإضافة إلى تحسين مقاومة الانزلاق

3- يزيد ديمومة الأرصفة البيتومينية



رصيف الإسفلت التقليدي



رصيف الإسفلت بالمطاط بعد 16 عام أداء

الشكل (3-10) مقارنة الديمومة بين الرصف التقليدي والرصف المعدل بالمطاط

4- يقلل تكاليف الصيانة بإعطاء ديمومة أطول للرصيف



الشقوق التمساحية في رصيف الإسفلت التقليدي



معالجة الشقوق التمساحية

الشكل (3-11) مقارنة الشقوق التمساحية بين الرصف التقليدي والرصف المعدل بالمطاط

5- يتم استخدام من (500 - 2000) إطارات تالفة لكل كيلومتر في حارة المرور و بالتالي هذا يساهم في تقليل حجم هذه النفاية في البيئة المحيطة.



الشكل (3-12) توزيع الإطارات المطاطية لكل كيلو متر في حارة المرور

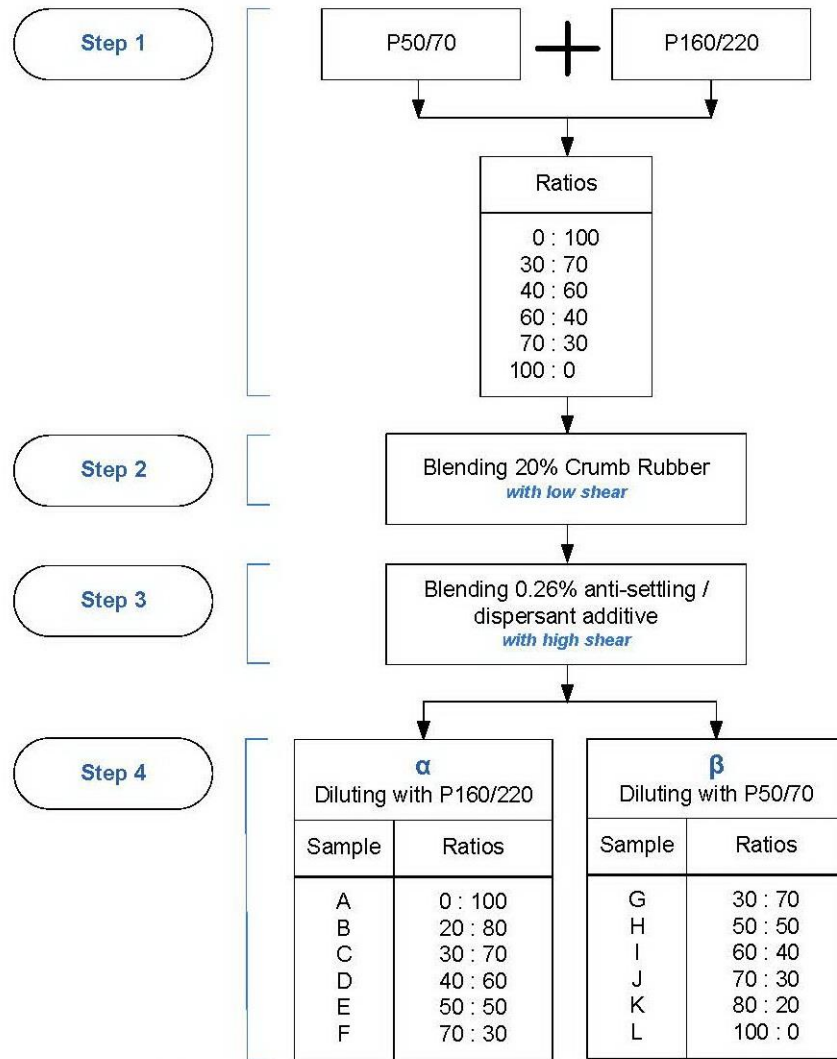
وعلى مدى السنوات القليلة الماضية ظهرت أبحاث عديدة تتعلق بإضافة المطاط المدور إلى الخلطات البيتومينية منها ما استخدم المطاط في تعديل البيتومين ومنها ما استخدمه في تعديل الخلطات البيتومينية ، وفي بحثنا هذا سنركز العمل على استخدام فتات المطاط (ناتج الإطارات المطاطية المدورة) في تعديل البيتومين و من ثم تعديل الخلطات البيتومينية.

3-2- الدراسات المرجعية حول استخدام المطاط في تعديل البيتومين:

❖ قام (seokim ,et al, 2008) : باستخدام نوعين من البيتومين الخام، الأول بدرجة غرز (220/160) والثاني (70/50) ، تظهر خصائص نوعي البيتومين الخام في الجدول (2-3) ، تم استخدام فتات مطاط منتج بطريقة (ambient) و بنسبة 20% بالوزن من الرابط البيتوميني وذات قطر أقل من 2mm [11] الجدول (2-3) خصائص البيتومين الخام P(160/220) والبيتومين الخام P(50/70)

Asphalt	P160/220	P50/70
Saturated, %	5	5
Aromatic, %	58	56
Resin, %	23	19
Asphaltene, %	14	20
Penetration at 25 °C, 0.1 mm	190	51
Softening point, °C	40	48
Fraass breaking point, °C	-15	-12
Ductility 25 °C, mm >100	>100	>100
Max. force, N	0.2	1.2
Elastic recovery at 25 °C, %	5	10
Viscosity at 135 °C, mPas	190	570
Viscosity at 180 °C, mPas	40	90
RTFO		
- change of mass, %	+0.050	+0.028
- change of penetration, %	78	68

تضمنت عملية المزج أربع خطوات لإنتاج (CRMAs) كما هو مبين في المخطط النهجي التالي:



Flow chart of sample preparation through four steps

الشكل (3-13) المخطط النهجي لعملية مزج البيتومين P(160/220) والبيتومين p(70/50) مع المطاط

الخطوة الأولى: تم مزج نوعين من البيتومين الخام وفق 6 نسب ، النوع الأول (p(220/160) والنوع الثاني p(70/50)

الخطوة الثانية: تم إضافة جزيئات المطاط وفق النسبة 20% من وزن الرابط وخطها بالخلاط على السرعة المنخفضة (700 دورة بالدقيقة، ودرجة حرارة تتراوح بين C° (180-240) .

الخطوة الثالثة: تم إضافة مادة لتحقيق الاستقرار ومضادة للترسيب بنسبة 0.26% وتم خطها بالخلاط على السرعة العالية (5000 دورة بالدقيقة) وبدرجة حرارة بين C° (180-160)

الخطوة الرابعة: تضمنت تمديد (CRMs) مع البيتومين (p(220/160) و p(70/50)

تظهر النتائج أن خصائص البيتومين المعدل بفتات المطاط تغيرت بشكل ملحوظ مع تغير نسبة ونوع البيتومين كما يظهر في الجدولين (3-3) و(4-3).

الجدول (3-3) تأثيرات نسبة البيتومين على الخصائص المختلفة عند التمديد بالبيتومين (220/160) p

Effects of asphalt ratio on different properties by diluting with P160/220

Sample	A	B	C	D	E	F	Δ*
Steps 1 to 3	0:100	30:70	40:60	60:40	70:30	100:0	-
Step 4 (α)	0:100	20:80	30:70	40:60	50:50	70:30	-
Softening point, °C	45	49	50	53	56	63	45-63
Penetration at 25 °C, 0.1mm	152	122	107	81	78	67	67-152
Fraass breaking point, °C	-28	-26	-26	-25	-24	-23	-28—23
Ductility 25 °C, mm	297	287	264	235	174	119	119-297
Max. force, N	0.95	0.76	1.05	2.02	2.63	5.23	0.95-5.23
Elastic recovery at 25 °C, %	43	49	53	62	68	70	43-70
Viscosity at 135 °C, mPas	1800	1950	2000	2350	2900	3370	1800-3370
Viscosity at 180 °C, mPas	350	360	340	380	460	480	350-480
Storage stab. upper part, °C	45	50	51	52	54	60	-
Storage stab. lower part, °C	51	56	59	59	61	67	-
ΔT, °C	6	6	8	7	7	7	-
RTFOT, change of mass, %	-0.25	-0.22	-0.18	-0.15	-0.09	-0.03	-0.25--0.03
RTFOT, change of penetration, %	58.5	58.9	60.4	63.1	75.6	71.0	58.5-75.6

الجدول (4-3) تأثيرات نسبة البيتومين على الخصائص المختلفة عند التمديد بالبيتومين (50/70) P

Effects of asphalt ratio on different properties by diluting with P50/70

Sample	G	H	I	J	K	L	Δ*
Steps 1 to 3	0:100	30:70	40:60	60:40	70:30	100:0	-
Step 4 (β)	30:70	50:50	60:40	70:30	80:20	100:0	-
Softening point, °C	51	56	60	65	68	71	51-71
Penetration at 25 °C, 0.1 mm	95	84	71	65	67	44	44-95
Fraass breaking point, °C	-27	-25	-24	-25	-22	-21	-27- -21
Ductility 25 °C, mm	248.2	146.6	118.9	93.8	127.2	73.4	73.4-248.2
Max. force, N	1.18	2.93	3.91	5.24	6.21	9.95	1.18-9.95
Elastic recovery at 25 °C, %	55	65	71	72	71	72	55-72
Viscosity at 135 °C, mPas	2175	2750	3925	3325	4350	6300	2175-6300
Viscosity at 180 °C, mPas	427	422	690	510	735	820	427-820
Storage stab. upper part, °C	50	54	58	60	62	71	-
Storage stab. lower part, °C	56	59	62	62	65	72	-
ΔT, °C	6	5	4	5	3	1	-
RTFOT, change of mass, %	-0.18	-0.13	-0.11	-0.09	-0.06	-0.02	-0.18--0.02
RTFOT, change of penetration, %	74	70	75.3	81	84.1	83.4	70-84.1

تتناقصت الاستطالة بشكل خطي مع زيادة نسبة البيتومين (70/50) p بسبب تناقص تركيز الراتنج في (CRMAS) ، ويظهر في النتائج أن زمن انقطاع العينة يتناقص مع زيادة القوة المطبقة في اختبار الاستطالة.

إن نقطة الانكسار ل البيتومين P (70/50) كانت أعلى بالمقارنة مع البيتومين P(220/160) ، ولم تنخفض نقطة الانكسار إلى أدنى من (-20°C)، هذا يشير إلى أن تأثير فتات المطاط كان أكثر هيمنة من تأثير أي نسبة من نسب البيتومين.

زادت نقطة التميع ونقصت درجة الغرز لكل العينات مع إضافة المطاط .

زادت اللزوجة في كلا درجتي الحرارة °C (180،135) ، كانت اللزوجة أعلى مع البيتومين P(70/50) أكثر من البيتومين p (220/160) ، واللزوجة الأعلى تساعد على منع حالة الانفصال للمواد المستخدمة في هذه الدراسة.[11]

❖ قام (liu, et al, 2009) : [13] في بحث تم في الصين باستخدام ثلاث نسب للمطاط (16-20-24)

%بالوزن من البيتومين، وأربعة أنواع من المطاط،

agriculture tire(AT), tread rubber(TR), heavy truck(HT), small truck(ST)

وحجمين مختلفين لأقطار فتات المطاط الحجم الأول محجوز على المنخل 60 ، والحجم الثاني محجوز على المنخل 80، وتم تحضير مزيج الإسفلت المعدل بالمطاط بالطريقة الرطبة.

و قد أحاطت الدراسة بنوع واحد من الرابط البيتوميني(AH-70)، وتظهر خصائصه في الجدول (3-5).

الجدول (5-3) الخصائص للبيتومين AH-70

Performance indexes	Test results
Penetration (25 °C, 100 g, 5 s) (0.1 mm)	64.7
Penetration index (PI)	-1.20
Softening point (R&B) (°C)	49.7
Ductility at 25 °C, 5 cm/min (cm)	>100
Density at 15 °C (g/cm ³)	1.037

وكانت البارامترات التقنية لعملية مزج البيتومين بالمطاط في هذا البحث ظاهرة في الجدول (3-6) على النحو التالي :

الجدول(6-3)البارامترات التقنية لعملية مزج البيتومين AH-70بالمطاط

°5±180	درجة حرارة التفاعل
30 دقيقة	مدة الخلط
700 دورة بالدقيقة	سرعة التفاعل

وتم إجراء ثلاث اختبارات: وهي نقطة التميع - الاستطالة في درجة الحرارة المنخفضة - درجة الغرز.

هذه الاختبارات تعتبر كمؤشرات تقييم أساسية في التحليل. النتائج مبينة في الجدول (3-7). ويتم حساب دليل الغرز من العلاقة التالية:

$$PI=(20-500A)/(1+50A)$$

$$A=(\text{Log}(\text{pen at } T1) - \text{Log}(\text{pen at } T2))/ (T1- T2)$$

حيث pen :اختصار لقيمة درجة الغرز

T1،T2 :درجات الحرارة المختلفة ويجب أن يكون T1>T2

الجدول(7-3)نتائج التجارب على البيتومين AH-70 المعدل بالمطاط مع النسب (16-20-24)%

Crumb rubber content (%)	Crumb rubber type	Softening point (°C)		Ductility at 5 °C (cm)		PI	
		60 mesh	80 mesh	60 mesh	80 mesh	60 mesh	80 mesh
16	HT	61.2	62.0	22.0	22.7	-0.2266	-0.5686
	ST	58.7	59.3	20.1	21.3	-0.2833	-0.1093
	AT	63.0	62.7	14.2	14.1	-0.3044	-0.2188
	TR	64.5	66.2	25.7	26.9	-0.0065	-0.0067
20	HT	68.5	69.0	19.7	19.0	0.5560	0.6644
	ST	66.3	67.4	18.5	18.9	0.6685	0.3664
	AT	69.2	71.3	10.1	11.2	0.3274	0.4034
	TR	68.2	68.7	22.3	22.9	0.6415	0.6876
24	HT	71.0	71.3	18.1	18.0	0.9328	1.0488
	ST	69.5	70.7	19.2	20.3	0.7290	0.7260
	AT	68.5	69.7	11.4	12.5	0.5879	0.5974
	TR	73.9	74.7	20.7	20.0	0.8511	0.8872

أظهرت النتائج أنه من بين العوامل الثلاثة نوع وحجم ونسبة المطاط، كانت نسبة المطاط هي العامل المؤثر الأول على أداء الإسفلت المعدل بالمطاط يتبعه نوع المطاط و من ثم حجم جزيئاته. وتبين النتائج أن عند نسبة المطاط 24% كان الإسفلت (HT-CRM) يظهر أكبر قيمة لدليل الغرز، وهذا يعني أداء أفضل من حيث التأثير بدرجة الحرارة، ومن أجل حجمي جزيئات المطاط المستخدمة زادت نقطة التميع ودليل الغرز مع زيادة فتات المطاط، بينما انخفضت الاستطالة بشكل ملحوظ في الدرجة 5 °C [13].

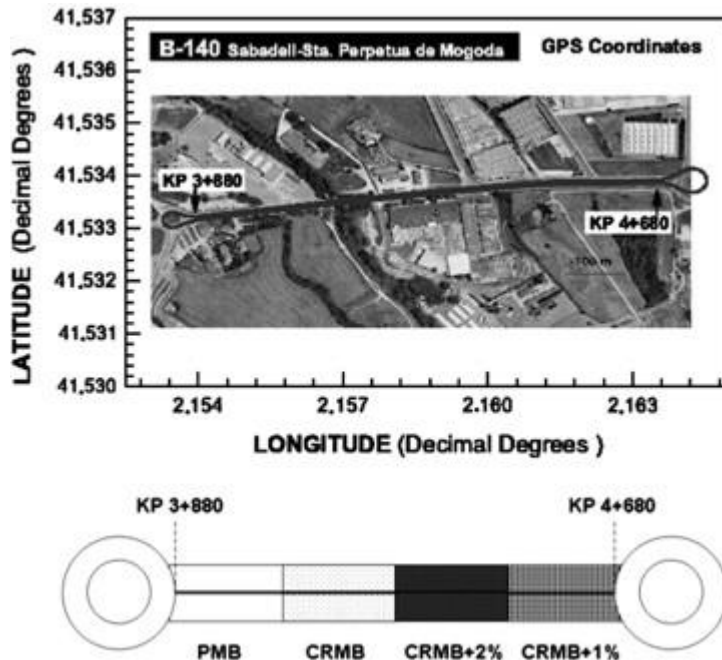
نجد في البحث الذي قام به Liu ازدياد قيمة دليل الغرز PI حتى القيمة 1.0488 وكان هذا ضمن الحدود (2+، 2-) وهي حدود المواصفات الألمانية وتختلف حدود دليل الغرز للبيتومين المستخدم في الطرق وفق المواصفات العالمية:

$-2 < PI < +2$	في المانيا
$-1 < PI < +0.7$	في النمسا
$-0.8 < PI < 0$	في امريكا

بينما تحدد المواصفات الاوروبية حدود الـ PI وفقاً للزوجـة. [16]

❖ في البحث الذي قدمه (Peja, et al, 2009): قاموا بتحديد خصائص الضجيج للخلطات البيتومينية الإسفلتية المعدلة بفتات المطاط المدور كإحدى طرق الحد من انبعاثات الضجيج عند المصدر. استخدمت طريقتين لدمج فتات المطاط في الخلطات البيتومينية، العملية الرطبة (إضافة المطاط كنسبة من البيتومين) والعملية الجافة (إضافة المطاط كنسبة من الحصويات).

وفقاً للإعداد التجريبي تم تعيين مستويات الصوت في عدة مقاطع للخلطات المحتوية على المطاط ومقارنتها مع الخلطات دون مطاط. فقد حدد مسار الاختبار على الطريق بطول 800 متر وقسم إلى أربعة مقاطع كان طول كل مقطع 200 متر وسجل مسار الاختبار بآلات قياس عربة الاختبار وبنيت جميع المقاطع بسماكة واحدة 3Cm وحجم حصويات أعظمي 10mm لكل نوع بيتومين [17]. ويظهر ذلك في الشكل (3-14)



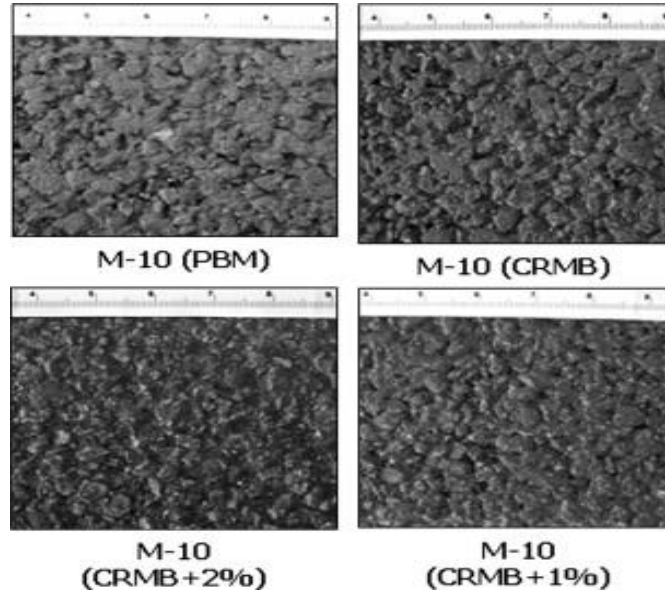
الشكل (3-14) مقاطع الاختبار للخلطات البيتومينية المضاف لها مطاط

المقطع الأول: مؤلف من بيتومين معدل بالبوليمير (PMB).

المقطع الثاني: بيتومين معدل بفتات المطاط بنسبة (9%) بالوزن من الرابط ممزوج بالعملية الرطبة (CRMB).

المقطع الثالث: مثل المقطع الثاني ولكن مع نسبة (2%) فتات مطاط وممزوج بالعملية الجافة (CRMB).
المقطع الرابع: مثل المقطع الثاني مع نسبة فتات مطاط 1% وممزوج بالعملية الجافة (CRMB).

وتم التقييم البصري للخلطات البيتومينية ويظهر الشكل (3-15) القوام السطحي للخلطات المختلفة على الطريق.



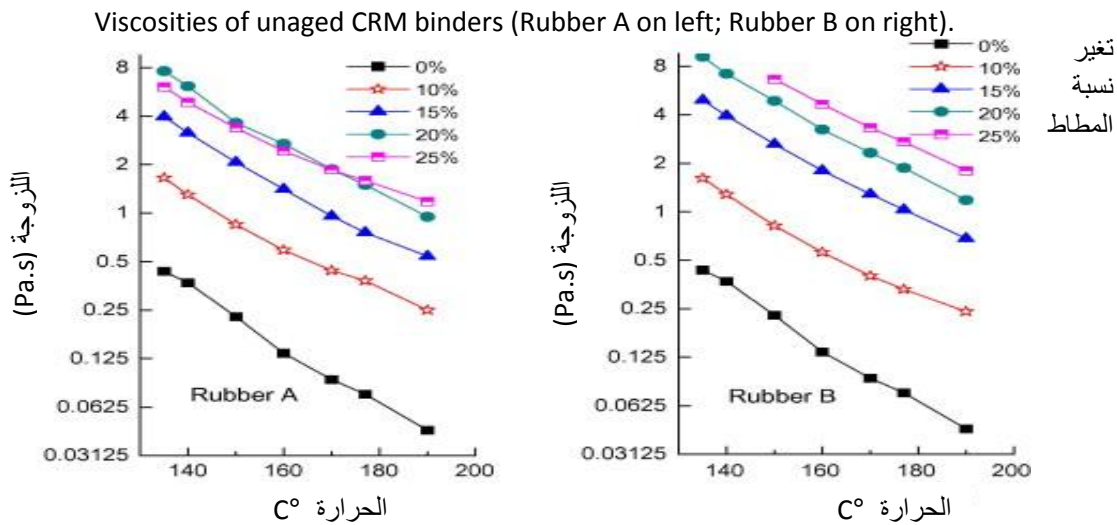
الشكل (3-15) القوام السطحي للخلطات البيتومينية المختلفة المضاف لها مطاط على الطريق

وأظهر التقييم أن الخلطات البيتومينية المعدلة بالبوليمير والخلطات البيتومينية المعدلة بالمطاط الممزوج بالعملية الرطبة ((M-10(PMB))-(M-10(CRMB))), تظهر خشونة أعلى من الخلطات المعدلة بفتات المطاط الممزوج بالعملية الجافة. حيث إن فتات المطاط المضاف بالعملية الجافة استبدل مكان الحصويات الناعمة التي لها حجم أعظمي 0.8mm .

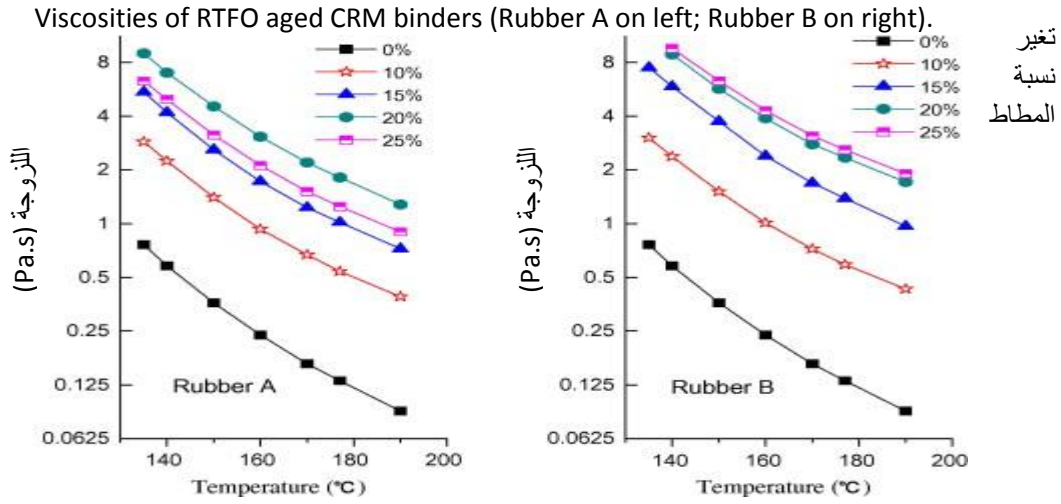
بينت النتائج أن الخلطات البيتومينية المعدلة بالمطاط والمصنعة بالطريقة الرطبة تحد من الضجيج بمقدار أقل من 0.5 ديسيبل (A) والخلطات المصنعة بالطريقة الجافة نجحت في تخفيض الضجيج الناتج من احتكاك العجلات مع سطح الطريق بمقدار 2 ديسيبل (A). [17].

❖ وفي بحث آخر في الصين قام (Wang,et al,2010): باستعمال فتات المطاط كمادة مضافة صديقة للبيئة لتحسين خصائص الروابط البيتومينية (اللزوجة والصلابة) في درجات الحرارة العالية والمنخفضة من أجل أرصفة الإسفلت. وتم استخدام فتات المطاط من مصدرين مختلفين مع تدرجات مختلفة ناعمة (B) وخشنة (A)، تمت إضافته بنسبة (10-15-20-25)% من وزن البيتومين. وتم إجراء اختبار اللزوجة للروابط البيتومينية (CRM) في درجات الحرارة (140-150-160-170-177-190)C° (اشتو T316). علاوة على ذلك تم تقييم مقاومة البيتومين لتشققات الحرارة المنخفضة باستخدام اختبار الانعطاف لجائز بيتوميني (BBR) (Bending Beam Rheometer) الذي تم إجراؤه في درجتي الحرارة (-12،-18)C° (اشتو T313).

أشارت النتائج إلى أن كل من درجة حرارة الاختبار ونسبة المطاط يملك تأثيراً كبيراً على لزوجة الروابط البيتومينية (CRM) وذلك من أجل البيتومين قبل وبعد إجراء اختبار تأثير الحرارة والهواء على الروابط البيتومينية (RTFO) (Rolling Thin Film Oven Test) [18] ويظهر ذلك في الشكل (3-16) والشكل (3-17).



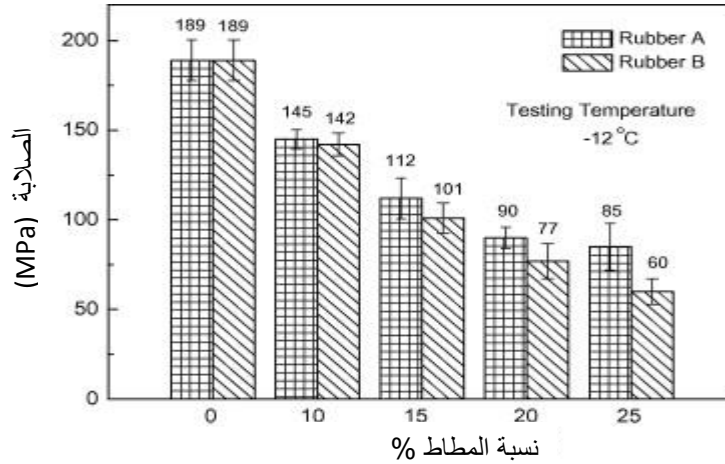
الشكل (3-16) تغير اللزوجة للبيتومين الخام المعدل بالمطاط مع تغير درجة الحرارة



الشكل (3-17) تغير اللزوجة للبيتومين المعدل بالمطاط بعد اختبار (RTFO) مع تغير درجة الحرارة

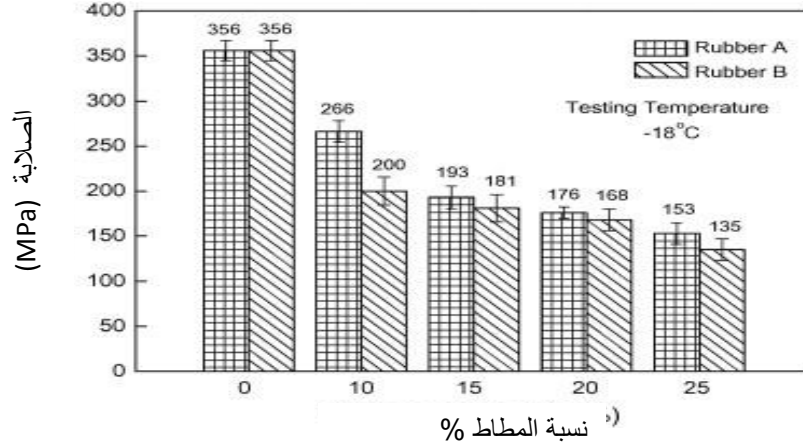
أظهرت الاختبارات أن إضافة فتات المطاط للرابط البيتوميني حسنت بشكل كبير لزوجة الرابط في درجات الحرارة العالية وخفض صلابة الزحف (creep stiffness) في درجات الحرارة المنخفضة، والمفيدة لتحسين كلاً من الاستقرار في درجات الحرارة العالية ومقاومة التشقق في درجة الحرارة المنخفضة للأرصفت البيتومينية. وتظهر الصلابة في الشكل (3-18) و(3-19)

Low temperature stiffness obtained by BBR tests on Rubbers A and B (-12 °C).



الشكل (3-18) قيم الصلابة وفق اختبار BBR للبيتومين المعدل بالمطاط A وB في الدرجة (-12 °C).

Low temperature stiffness obtained by BBR tests on Rubbers A and B (-18) °C



الشكل (3-19) قيم الصلابة وفق اختبار BBR للبيتومين المعدل بالمطاط A وB في الدرجة (-18) °C

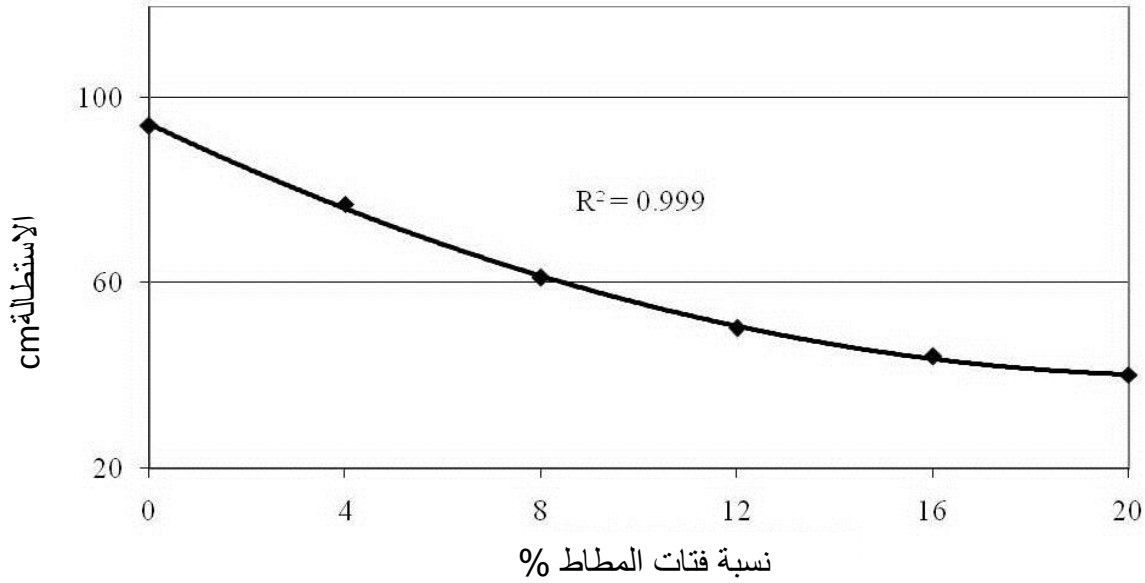
يعطي فئات المطاط الناعم لزوجة أعلى في درجات الحرارة المرتفعة وصلابة أقل في الحرارة المنخفضة. بينت النتائج إلى ضرورة عدم استخدام نسبة مطاط بنسبة أكبر من 20 % من نسبة البيتومين وذلك من وجهة نظر اقتصادية. بالاعتماد على علاقة اللزوجة - الحرارة وتصلب الزحف والعوامل الاقتصادية تم اقتراح نسبة مطاط من (15-20) % لإنتاج البيتومين المعدل بالمطاط (CRM). [18]

❖ في ماليزيا قامت (Mashaan,2011) [19]: باختبارات على مزيج البيتومين المضاف له مطاط وكان البيتومين المستعمل بدرجة غرز (80-100)، هذا البيتومين له استخدام واسع في مختلف المجالات وخاصة في ماليزيا ، وتظهر الخصائص الفيزيائية لهذا الرابط في الجدول التالي:
الجدول (3-8) خصائص البيتومين (80-100)

Test properties	Results
Viscosity at 135°C (Pa.s) - اللزوجة	0.65
G*/ sin δ at 64°C (kPa) - معامل المرونة/جيب زاوية التتابع	1.35
Ductility at 25°C (cm) - الاستطالة	>100
Softening point (°C) - نقطة التميع	47
Penetration at 25°C (d-mm) - درجة الغرز	88

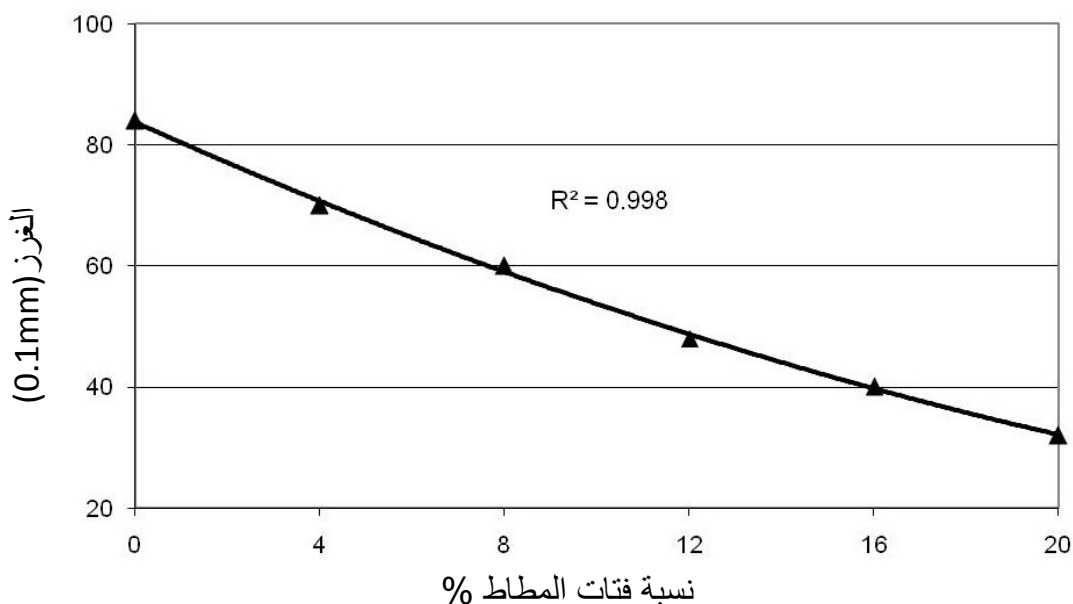
وكانت نسبة المطاط المضافة (20-16-12-8-4)% بالوزن من البيتومين، تم مزج البيتومين والمطاط لمدة ساعة في درجة الحرارة 180°C وسرعة المزج 200 دورة بالدقيقة. أظهرت النتائج انخفاضاً في قيم الاستطالة لعينات الرابط البيتوميني المعدل بالمقارنة مع الرابط البيتوميني غير المعدل بحوالي (18-57)% لنسبة الرابط (4-20)% على التوالي. قيمة النقصان في الاستطالة يمكن أن تعزى إلى الجزء الزيتي للبيتومين

الممتص من قبل بودرة المطاط وارتفاع كتلة جزيئات المطاط، والرابط المعدل أصبح أفسى بالمقارنة مع الرابط غير معدل . ويظهر ذلك في الشكل (3-20).



الشكل (3-20) تغير الاستطالة مع تغير نسبة فتات المطاط المضاف %

أما نتائج اختبار الغرز فقد انخفضت قيمتها مع زيادة نسبة المطاط حتى النسبة 20% ويظهر أن نسبة المطاط لها تأثير كبير على قيم الغرز وزيادة نسبة المطاط تزيد صلابة الرابط البيتوميني المضاف له مطاط وهذا يجعل الرابط أقل تأثراً لدرجة الحرارة ويؤدي إلى مقاومة عالية للتشوه الدائم مثل التخذد. الانخفاض في قيمة الغرز كان (61-16.5)% لفتات المطاط (4-20)% على التوالي ويبين الشكل (3-21) الانخفاض الهائل في قيمة الغرز، ويبرر هذا السلوك بأن إضافة المطاط تجعل البيتومين أكثر لزوجة وذلك بسبب زيادة الكتلة المطاطية خلال التفاعل وانتفاخ المطاط داخل البيتومين أثناء عملية المزج والتي أدت إلى تناقص درجة الغرز للبيتومين بعد إضافة المطاط. [19]



الشكل (3-21) تغير درجة الغرز مع تغير نسبة فتات المطاط المضاف %

❖ في إيران قام (Nejad, et al, 2011) [5]: بالبحث في خصائص فتات المطاط المُعدّل للبيتومين باستعمال طرق الاختبار الكلاسيكية والحديثة SHRP. الاختبارات الكلاسيكية تضمنت اختبار درجة الغرز والاستطالة ونقطة التميع ونقطة الانكسار واستعادة المرونة واستقرار التخزين والالتصاق، والتي نفذت بالاعتماد على معايير ASTM .

أما الاختبارات الحديثة كانت اختبار القص الديناميكي (dynamic shear rheometer (DSR) واختبار اللزوجة (rotational viscosity (RV) . يتكون المزيج البيتوميني الأساسي من نوعين مختلفين من البيتومين ممزوجين مع بعض الأول بنسبة 80% والثاني بنسبة 20%، النوع الأول يتكون من بيتومين (60/70) حيث أن هذا النوع له تطبيقات واسعة في معظم المناطق في إيران، والنوع الثاني بيتومين (vacuum bottom)VB و يحتوي على (97%) مالتين، وهو ضروري في زيادة حجم جزيئات المطاط. تظهر الخصائص الفيزيائية لأنواع البيتومين في الجدول (3-9) .

الجدول (3-9) خصائص البيتومين 60/70 والبيتومين VB

Property	60/70	VB	Base
Penetration (0.1 mm)	64.7	257.0	75.7
Softening point (°C)	50.6	38.5	45.5
Ductility (cm)	>100.0	87.9	–
Elastic recovery (%)	17.0	14.0	14.5

وكانت أبعاد جزيئات المطاط تتراوح من 1-0)mm وتمت إضافته كنسبة مئوية من البيتومين (60/70) وفق نسب مختلفة تظهر في الجدول (3-10). ومن أجل جميع العينات تمت عملية مزج المطاط مع البيتومين على مرحلتين:

1. تم خلط بيتومين 70/60 و بيتومين (VB) بدرجة حرارة 180C° ولمدة 5 دقائق.
2. ثم تم إضافة فتات المطاط لمدة 45 دقيقة وكانت سرعة المزج 7300 دورة بالدقيقة، ثم استمر الخلط لمدة ساعة وأكثر وكانت سرعة المزج 6500 دورة بالدقيقة.

الجدول (3-10) نتائج التجارب الكلاسيكية للبيتومين 70/60 الممزوج مع البيتومين (VB) المعدل وفق النسب المختلفة للمطاط

Specimen	Penetration (0.1 mm)	Softening point (°C)	Elastic recovery (%)	Ductility (cm)	Penetration index	Vialit adhesion (%)	Fraass breaking point (°C)
s	70.7	47.0	15	70.0	-1.16	70	-11
m6	67.4	50.9	24	-	-0.24	70	-8
m8	65.1	51.9	30	-	-0.07	72	-9
m10	62.4	53.5	36	-	0.13	76	-12
m12	59.8	54.2	38	17.5	0.24	80	-17
m14	58.5	54.8	40	-	0.32	80	-21
m16	57.3	55.7	42	-	0.47	86	-24
m18	55.7	57.0	45	-	0.68	90	-28
m20	54.0	58.4	50	14.3	0.90	96	-33
m22	52.1	60.5	56	-	1.23	96	-35
m24	49.6	63.1	62	-	1.61	96	-39
m26	47.7	65.7	70	12.7	1.98	98	-42

أظهرت نتائج الاختبارات الكلاسيكية أن إضافة فتات المطاط يخفض الغرز والمطولية (الاستطالة) والحساسية لدرجة الحرارة ويزيد نقطة التميع. أما دليل الاختراق (PI) للعينات فيزداد مع تزايد نسبة المطاط.

و تشير نتائج الاختبارات الحديثة أن البيتومين المعدل بالمطاط ثبات تخزينه ضعيف نسبياً، وهذا يعود إلى حالة عدم الاستقرار في جزيئات المطاط الغير ذائبة والتي تؤدي إلى زيادة الترسيب خلال فترة التخزين، بينما فقط العينات مع نسبة مطاط 26% كان استقرار تخزينها جيد.

إن اختبار القص الديناميكي (الحركي) dynamic shear rheometer (DSR) يتضمن البارامترات التالية:

G* (Complex shear modulus): معامل مرونة القص (معامل القص المعقد) وهو مقياس المقاومة الكلية لتشوّه المادة عندما تتعرض لإجهاد القص. وكلما كان أكبر زادت مقاومة الاخايد.

δ (Phase Angel): زاوية التتابع.

$G^*/\sin\delta$: تم تحديده كمؤشر الصلابة لتقييم مقاومة التخدد، ويعرف التخدد بأنه التراكم التدريجي للتشوه الدائم لكل طبقة من طبقات الرصف تحت التحميل المتكرر.

$G^*\cdot\sin\delta$: هو مؤشر على ظاهرة التعب في الأرصفة الاسفلتية:

$\tan\delta$: زاوية الميل مؤشر عن الكميات النسبية للتشوهات المرنة وغير المرنة، ومع زيادة زاوية الميل ينتقل سلوك المادة من المرنة إلى اللزوجة. وتعطي مؤشر للتأثر بدرجة الحرارة والمقاومة الحرارية فكلما كانت زاوية الميل أقل كلما كانت المقاومة الحرارية أفضل. وبينت النتائج أن البارامتر $(\tan\delta)$ يتناقص مع تزايد محتوى المطاط. [5]

وكانت المقارنة بين نتائج الاختبارات الكلاسيكية وسوبر بيف على البيتومين المعدل بالمطاط كالتالي:

1- الغرز ، البارامتر G^* : لم يكن هناك علاقة ارتباط بين نتائج الغرز والرسوم البيانية ل (G^*) .

2- $\tan\delta$ ، PI : يتبين وجود علاقة ارتباط سلبية بين (PI) و $(\tan\delta)$. حيث أنه مع زيادة نسبة المطاط يزداد دليل الغرز (PI) ويتناقص البارامتر $(\tan\delta)$.

3- نقطة التميع ، درجة الحرارة العالية :

درجة حرارة PG الأعظمية من أجل عينات البيتومين قبل وبعد التعب هي درجة الحرارة الموافقة للبارامتر $(G^*/\sin\delta)$ (معامل المرونة / جيب زاوية التتابع)

هناك علاقة ارتباط ايجابية بين درجة حرارة PG الأعظمية ونقطة التميع .حيث أنه مع زيادة نسبة المطاط يزداد كل من البارامتر $(G^*/\sin\delta)$ ونقطة التميع.

4- مرونة الخليط والزحف.

تشير النتائج إلى وجود علاقة بين الزحف ومرونة الخليط، حيث يتناقص الزحف للعينات بزيادة نسبة المطاط بينما تتراد مرونه الخليط بزيادة نسبة المطاط. [5]

وجد في هذا البحث الذي قدمه Nejad الانخفاض الكبير الحاصل في درجة حرارة الكسر الذي وصل إلى $(-42^\circ C)$ عند نسبة المطاط المضافة 26% وهذا دليل على المقاومة الكبيرة لدرجات الحرارة الباردة الأمر الذي يشجع على استخدام المطاط في تعديل البيتومين في المناطق الباردة.

3-3 الدراسات المرجعية حول استخدام المطاط في تعديل الخلائط البيتومينية.

❖ قام الباحث (Rahman,2004): [20] بتعديل البيتومين والخلطات البيتومينية حيث تم إضافة المطاط إلى نوعين مختلفين من البيتومين الخام وبأربع درجات غرز مختلفة و بالاعتماد على النتائج تم اختيار نوع وواحد من البيتومين للاستخدام في تعديل الخلطات البيتومينية ،و قام الباحث بإضافة المطاط إلى الخلطات البيتومينية باستخدام الطريقة الجافة. رغم أن الطريقة الرطبة أكثر انتشارا ومستخدمة بشكل أوسع إلا أن الطريقة الجافة مماثلة بشكل اكبر لطريقة تصميم الخلطات التقليدية كما أنها تستهلك كميات أكبر من فئات المطاط مما يساعد على حل مشكلة الإطارات التالفة من الناحية البيئية. أظهرت النتائج أنه عند إضافة المطاط للبيتومين يمتص المطاط البيتومين وينتفخ، مقدار الانتفاخ مرتبط بالطبيعة الكيميائية للبيتومين ودرجة حرارة التفاعل وحجم الجزيئات ومدة المزج. واجه البيتومين تغير في الخصائص الكيميائية والريولوجية من ناحية زيادة الصلابة و المرونة واللزوجة وتناقص الغرز.

ومن أجل الخلطات المعدلة بالطريقة الجافة تبين أن إضافة المطاط للحصويات وفق النسبة المحددة تتطلب زيادة نسبة البيتومين في الخلطة عن الخلطات التقليدية حوالي 10% وذلك ليتم تفاعل البيتومين والمطاط خلال مرحلة التقادم قصير الأمد، كما أن الخلطات المعدلة تحتاج إلى ضغط إضافي للوصول إلى الكثافة المطلوبة، بسبب طبيعة جزيئات المطاط المتحركة، بالإضافة إلى أن العينات تتطلب البقاء داخل القوالب مدة أطول لتصل العينة لدرجة حرارة الغرفة و ليكتسب البيتومين القوة الكافية التي تمنع المطاط من العودة إلى حالته الطبيعية.

وتمت دراسة الخصائص الميكانيكية التالية: معامل الصلابة - مقاومة شقوق التعب - مقاومة التشوه الدائم. وفق الشروط التالية : أضيف المطاط بنسبة (3-5)% من نسبة الحصويات الكلية، وشروط التقادم قصير الأمد كانت (0-5-6)ساعة، و نسبة الفراغات الهوائية (4-8)%. وبينت النتائج أن جزيئات المطاط ذات الأقطار (2 إلى 8)mm المستبدلة مكان الحصويات تعمل على تخفيض كبير في معامل الصلابة بنسبة تقريبا من 25% لنسبة المطاط 3% إلى 45% لنسبة المطاط 5%. وتظهر مقاومة التعب لكل الخلطات المعدلة أداء أفضل من الخليط غير المعدل قبل وبعد التقادم قصير الأمد، تبين ان نسبة فئات المطاط تؤثر على التشوه الدائم في الخلطات المعدلة التي تكون أكثر عرضة للتشوه الدائم في درجات الحرارة العالية. [20]

❖ قام (Wong and Wong , 2006) [21]: بدراسة في الصين بحثت تأثير الأحجام المختلفة لفئات المطاط المعدل (CRM) بدرجة الحرارة العالية على ثلاث أنواع من خلائط الطبقة السطحية (PA-Ac20- Ac10). وتم استخدام نسبة 10 % (CRM) من وزن البيتومين .والمغيرات في هذه الدراسة تتضمن ثلاث

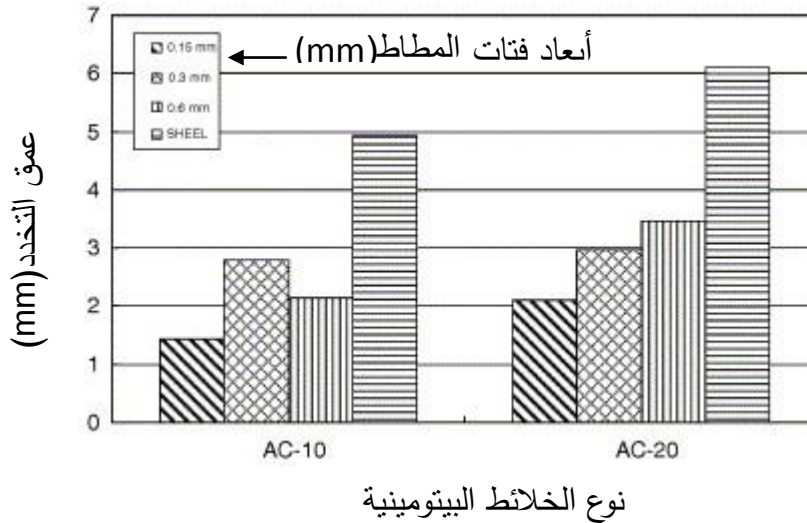
أحجام من (CRM) وهي (0.15-0.3-0.6)mm. وتمت المقارنات وفق شقين: أولاً: تم إجراء مقارنة بين خصائص البيتومين المعدل وغير المعدل على نطاق واسع من اختبار درجات الحرارة وظروف التقادم. ثانياً: تمت مقارنة مقاومة التحدد بين الخلطات المعدلة بفتات المطاط والخلطات التقليدية .

تم استخدام بيتومين PG(60/70) والخصائص الفيزيائية له في الجدول التالي

الجدول (11-3) الخصائص الفيزيائية للبيتومين P(60/70)

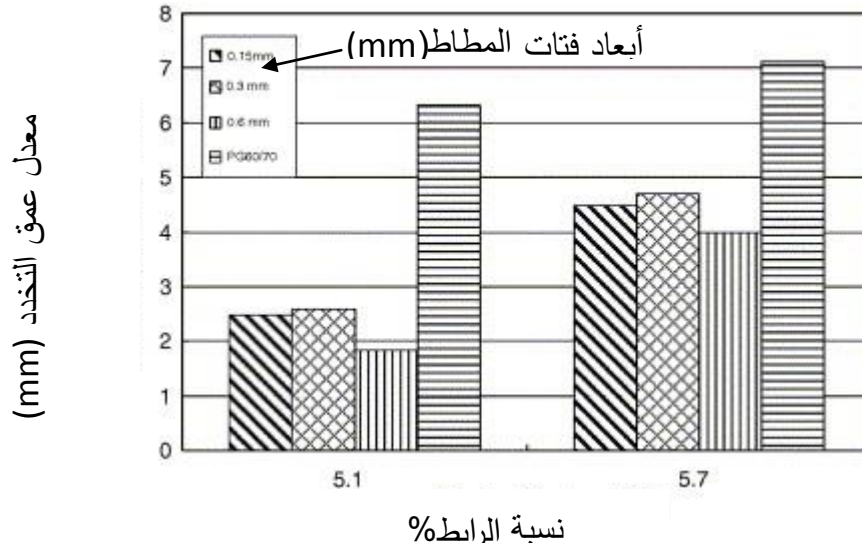
Properties of conventional P60/70	
Penetration (25 °C, 5 s, 100g)	66.67
Softening point (Ring and Ball)	49.45
Ductility (15 °C 50 mm/min)	>100
Specific gravity	1.029

وتشير نتائج اختبار نقطة التميع أن البيتومين المعدل بفتات المطاط يقدم أداء أفضل في مقاومة تأثيرات درجة الحرارة العالية من البيتومين غير المعدل. وضمن نتائج وتحليل اختبار الخلطات البيتومينية تم تحليل اختبار تتبع العجلة الذي استخدم لتحديد التحدد للعينات وسجل العمق كل دقيقة أثناء الاختبار، وقيم التشوه الدائم تم الحصول عليها من اختبار تتبع العجلة في الشكل (3-22) والشكل (3-23).



The effect of modified mixtures on mean rut depth

الشكل (3-22) تأثير الخلائط المعدلة على معدل عمق التحدد (Ac20 - Ac10)



The effect of PA mixtures with different modified binders on mean rut depth

الشكل (3-23) تأثير الخلائط PA المعدلة المختلفة على معدل عمق التخذد

وتظهر خلطات التدرج الحبي الكثيف المعدلة بـ (CRM) لكل من (Ac20 - Ac10) تحسناً كبيراً في مقاومة التخذد بالمقارنة مع الخلطات غير المعدلة عند نفس نسبة البيتومين. بالإضافة لذلك (Ac10) يقدم أداء مقاوم للتخذد أفضل من (Ac20). وأظهرت الخلائط المعدلة بالحجم (0.15 mm) من (CRM) أقل عمق للشق وأفضل مقاومة لدرجة الحرارة العالية. أما خلطات البيتومين (PA)، تشير النتائج أن الخلطات المعدلة حسنت بشكل ملحوظ مقاومة التخذد، ويبين الشكل (3-2) أن الخليط غير المعدل يعطي أكبر عمق للشقوق الناتجة. والخلطات المعدلة بالحجم (0.6 mm) من (CRM) أظهرت أفضل تأثير على الخليط ذو التدرج الحبي المفتوح للأسفلت المسامي (PA) حيث تعطي أقل عمق للشق الناتج ويعتبر أدائها هو الأفضل بين كل الخلطات. [21]

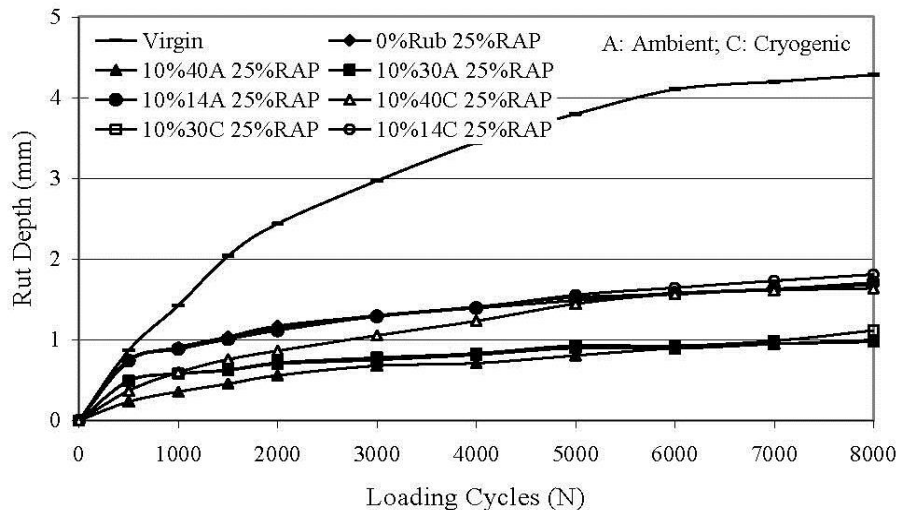
❖ قام (Xiao, et al, 2007) : [22] بدراسة تأثيرات حجم ونوع فتات المطاط على خلطات الرصف البيتومينية المدورة. تضمن التصميم التجريبي لهذه الدراسة استعمال نوعين من المطاط منتجين بطريقة (cryogenic-ambient)، وثلاثة أحجام مختلفة (0.425mm - 0.6 mm - 1.35mm) لكل نوع مطاط في خليط يحتوي على 25% خلطات (RAP)، تضمن الرابط : الرابط الجديد ((PG(64-22)) والرابط القديم المستخرج من (RAP) (الرصف الإسفلتي المعاد الاستخدام)، التدرجات للحصويات المختلفة تضمنت حصويات جديدة وحصويات مصدرها (RAP) أخذت من نفس المنطقة الجغرافية لضمان أن لها نفس الخصائص للحصويات الجديدة. تم إجراء مجموعة 8 تصاميم لمزيج Superpave وكان الحجم الأعظمي الاسمي (9.5mm) وحددت نسبة الرابط البيتوميني الأمثل ككمية مطلوبة للحصول على 4% فراغات هوائية كعدد معطى في دورات التصميم (Ndes=75).

تم استخدام جهاز Superpave gyratory compactor (SGC) لضغط العينات بقطر (150mm) (ESALS) لكل الخلطات وقيم (Nmax - Ndes - Nini) المستخدمة في هذه الدراسة هي على التوالي (115-75-7) . وأشارت نتائج التجارب أن إضافة فتات المطاط بالرغم من أنه يزيد نسبة البيتومين الاصلوية (OBC) قليلا لكنه يساعد في زيادة نسبة الفراغات بين الحبيبات الحصوية (VMA) بسبب حجم جسيماته الصغيرة.

الجدول (3-12) تصميم الخلطات البيتومينية وفق السوبر بيف

Superpave mix design								
Testing property	Virgin	25% RAP						
		No rubber	10% 40 mesh		10% 30 mesh		10% 14 mesh	
			Ambient	Cryogenic	Ambient	Cryogenic	Ambient	Cryogenic
BSG	2.345	2.364	2.339	2.362	2.352	2.332	2.348	2.347
VMA (%)	16.6	14.7	15.6	16.0	15.7	15.8	15.6	17.1
VFA (%)	73.9	74.4	73.7	75.3	73.1	74.1	75.8	76.5
OBC (%)	5.40	4.70	5.08	5.35	5.08	5.18	5.23	5.80

وكان حجم المطاط ونوعه له تأثيرات واضحة على أداء الخلطات المعدلة، وإضافة فتات المطاط في تصميم مزيج السوبر بيف يحسن مقاومة الأخاديد ويساعد في زيادة مقاومة التعب بغض النظر عن نوع وحجم المطاط، وهذه الإضافة من المواد المعادة التدوير تحسن بشكل ملحوظ قدرات الأداء في درجات الحرارة العالية لـ (HMA) وتشجع للاستخدام في المناطق ذات المناخ الحار. [22]



Rutting behavior of modified mixtures

الشكل (3-24) مقارنة مقاومة التحدد للخلطات المعدلة وغير المعدلة

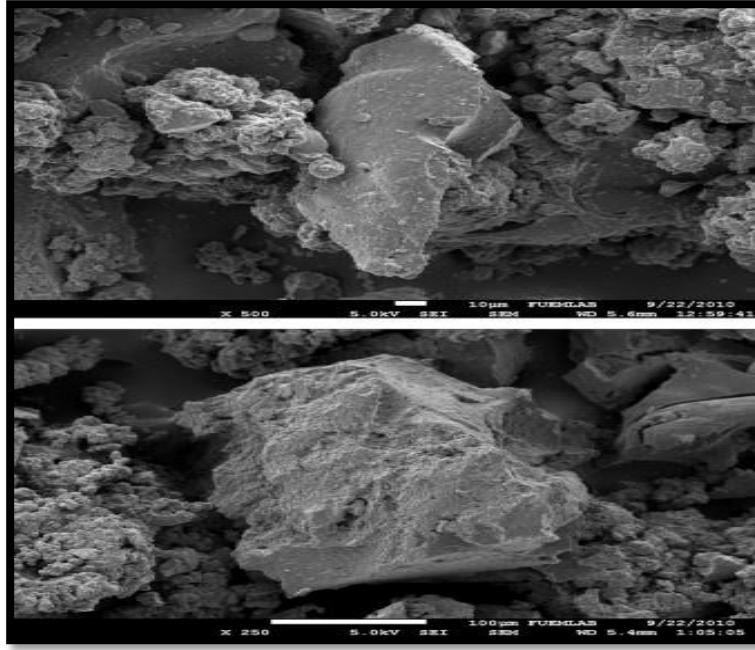
❖ قام (Kök and Çolak , 2010) : [23] ببحث في تركيا قدم فيه مقارنة بين فئات المطاط و SBS المُعدّلين للبيتومين وللخلطات البيتومينية الحارة. وتم فيه تقييم البيتومين المعدل بفتات المطاط من خلال مقياس اللزوجة (RV) (rotational viscometry) واختبار القص الديناميكي (DSR) dynamic shear rheometry واختبارات البيتومين التقليدية. وتم تقييم الخلطات البيتومينية الحارة المعدلة بفتات المطاط من خلال تحديد خصائص التعب والثبات ومعاملات الصلابة للخلطات المعدلة وغير المعدلة، استُخدم في هذه الدراسة البيتومين B(220-160) الذي تم الحصول عليه من مصافي البترول التركبية، واستخدام البولييمير (SBS) (Kraton-D1101) المقدم من قبل شركة شل للمواد الكيماوية. وتمت إضافة المطاط للخلطات بالطريقة الرطبة.

يمكن معالجة اطارات النفايات من خلال تقنيات الطحن البيئية ambient أو تقنيات الطحن عالية التبريد. بالطريقة الاولى يتم طحن الاطارات المطاطية أو معالجتها عند أو فوق درجة حرارة الغرفة العادية، أما بالطريقة الثانية يستخدم النيتروجين السائل لتجميد شرائح الاطارات في الدرجة $120C^{\circ}$ - قبل تحويلها إلى جزيئات صغيرة. كان فئات المطاط المستخدم في هذه الدراسة مطحون بطريقة المعالجة البيئية (ambient).



الشكل (3-25) يبين شرائح الإطارات المطاطية مُقطعة ومجهزة للطحن

وكانت جزيئات فئات المطاط التي تم الحصول عليها بعمليات الطحن هذه لها شكل غير منتظم مع سطح نوعي كبير الشكل (3-26).



الشكل (3-26) يظهر جزيئات المطاط المطحونة

استعملت الحصى الكلسية في مزيج الخلطة الإسفلتية، وتم اختيار حصويات خشنة وناعمة والقطر الأعظمي للحصويات كان (19mm)، والتدرج الحبي للحصويات يظهر في الجدول التالي.

الجدول (3-13) التركيب الحبي للحصويات المستخدمة للخلطات المعدلة ب فتات المطاط و SBS

Aggregate gradation.										
Sieve size (mm)	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
Passing (%)	100	95	88	65	39	24	18	14	9.5	5

وتم إجراء اختبائي الغرز ونقطة التميع للبيتومين المعدل بالمطاط و SBS وتم حساب دليل الغرز و نتائج الاختبارات مبينة في الجدول (3-14):

وكانت معادلة دليل الغرز [22]:

$$PI = \frac{1952 - 500 * \log(Pen25) - 20 * SP}{50 * \log(Pen25) - SP - 120}$$

حيث Pen25: هو درجة الغرز للبيتومين في الدرجة 25

SP: هو نقطة التميع للبيتومين

الجدول رقم (3-14) الخصائص الفيزيائية للبيتومين (220-160) B المعدل بالمطاط وSBS

Physical properties of the bitumens.											
	Pure	SBS content (%)					CR content (%)				
		2	3	4	5	6	3	6	9	12	15
Penetration	190	128	97	82	64	53	116	100	81	62	53
S.point (°C)	41.5	47.8	53.8	58.2	62.7	68.6	46.4	52.0	56.3	62.2	67.9
PI	0.365	0.922	1.576	2.047	2.219	2.755	0.130	1.222	1.585	2.032	2.637

وتم تصميم خلطات بيتومينية بموجب تصميم مزيج مارشال القياسي. رصت العينات باستخدام 75 ضربة على كل وجه للعينات الاسطوانية ذات القطر 101.6 mm، وارتفاع 63.5 mm. تم الحصول على نسبة البيتومين الاصولية ليكون 5% بالوزن من إجمالي الخلطات البيتومينية غير المعدلة. تم اختيار هذه النسبة لكل الخلطات بحيث تكون كمية البيتومين لا تؤثر على تحليل بيانات الاختبار. ومن أجل الاختبارات الميكانيكية تم مزج (SBS) المعدل للخلطات بنسب (2-3-4-5) %، وفتات مطاط بنسب (4-6-8-10) % بالوزن من البيتومين.

الخصائص الفيزيائية للخلطات مثل الفراغات الهوائية (VA) والفراغات المليئة بالإسفلت (VFA) والفراغات الحصوية (VMA) وثبات مارشال وقيم الانسياب تظهر في الجدول (3-15).

الجدول رقم (3-15) الخصائص الفيزيائية للخلطات المعدلة بنسب مختلفة من المطاط وSBS

Physical properties of the mixtures.							
Mixture type	Mixing temp. (°C)	Compaction temp. (°C)	Va (%)	Vma (%)	Vf (%)	Marshall stability (kN)	Flow (mm)
Base	145	130	4.07	14.90	72.64	17.1	2.89
4%CR	168	154	4.17	15.33	72.76	17.3	2.73
6%CR	178	165	4.16	15.30	72.78	18.4	2.68
8%CR	191	178	4.14	15.27	72.85	19.0	2.71
10%CR	202	189	4.12	15.23	72.94	19.2	2.64
2%SBS	165	151	4.08	15.00	72.75	17.6	2.92
3%SBS	174	162	4.09	15.01	72.74	18.2	2.68
4%SBS	185	173	4.13	15.06	72.52	19.3	2.87
5%SBS	191	179	4.10	15.05	72.72	21.3	3.04

أظهرت النتائج عند المقارنة بين نسب فتات المطاط ونسب SBS المعدلين للبيتومين والخلطات الإسفلتية:

أنه من أجل انجاز نفس الأداء للخلطات البيتومينية الإسفلتية يجب استخدام نسب فتات مطاط CR أكبر بكثير من نسبة البوليمير SBS.

بناءً على اختبارات البيتومين التقليدية يظهر البيتومين المعدل بـ CR و SBS انخفاض تأثيره لدرجة الحرارة وذلك مع زيادة نسبة إضافتهما وكان هذا الأمر أكثر وضوحاً في البيتومين المعدل بـ SBS.

زاد الثبات وتناقص الانسياب للخلطات البيتومينية المعدلة بالمقارنة مع الخلطة البيتومينية غير المعدلة، ونلاحظ أن الزيادة في الثبات والنقصان في الانسياب كان مترافقاً بشكل خطي مع زيادة نسبة المطاط و SBS المضافة.

يوجد تشابه كبير بين نسبة 3% SBS و 6% CR المعدلة للخلطات وذلك فيما يتعلق بقيم الإجهاد المتراكم. وأظهر اختبار معامل الصلابة أن المزيج المعدل بـ 8% CR قدم أداءً مشابهاً للمزيج المعدل بـ 4% SBS. يفضل استخدام فتات المطاط على SBS في التعديل لأنه يمكن أن يقدم وفورات كبيرة في التكاليف نظراً لارتفاع سعر SBS، وزد على ذلك سيمنع تراكم نفايات المطاط في الطبيعة [23].

القسم العملي

الفصل الرابع

تجميع البيانات عن الإطارات المطاطية التالفة في

مدينة اللاذقية

بعد الاطلاع على الدراسات المرجعية تبين أن معظم الأبحاث تشير إلى استخدام مادة المطاط الناتج عن تدوير إطارات السيارات المطاطية التالفة من أسواق خاصة تتواجد فيها هذه المادة بكميات كبيرة وبأحجام مختلفة لفئات المطاط تكون جاهزة للاستخدام حسب الطلب ووفق الشروط المطلوبة.

وانطلاقاً من بحثنا هذا كان بالبحث عما يلي:

أولاً: أماكن تواجد إطارات السيارات المطاطية التالفة في مدينة اللاذقية، والاستراتيجية المتبعة من قبل بلدية اللاذقية المتمثلة في تجميع نفايات الإطارات المطاطية وترحيلها إلى مكبات نظامية خاصة أو عامة.

ثانياً: تحديد كميات نفايات الإطارات المطاطية والبحث عن إحصاءات تتعلق بكميات المادة.

ثالثاً: كيفية الحصول على فئات المطاط، من خلال معامل خاصة أو عامة تعمل على إعادة تدوير إطارات السيارات التالفة حسب الغرض من استخدامها.

1-4 - تحديد أماكن تواجد إطارات السيارات المطاطية التالفة وطرق ترحيلها في مدينة اللاذقية.

تم اجراء استطلاع ميداني في مدينة اللاذقية لمعرفة أماكن تجمع نفايات إطارات السيارات التالفة و تبين انه:

لا توجد أماكن محددة ومخصصة تتجمع فيها هذه الإطارات التالفة، لكن لوحظ تواجدها في مكبات النفايات العامة كمكب البصة والمكبات العشوائية الموزعة على أطراف المدينة، إضافة إلى الإطارات التالفة المتواجدة في محلات استبدال وإصلاح إطارات السيارات الموزعة في المنطقة الصناعية وفي أماكن متفرقة في مدينة اللاذقية كشارع الجمهورية وشارع ميسلون.

أما حول استراتيجية تجميع نفايات المطاط وترحيلها إلى مكبات نظامية خاصة أو عامة، بالعودة إلى الجهات المسؤولة تبين عدم وجود استراتيجية خاصة تعمل على تجميع نفايات الإطارات التالفة وفرزها في أي مكبات لا خاصة ولا عامة، هذا يعني أن الإطارات التالفة تعامل معاملة القمامة وترحل إلى مكب البصة، أصحاب ورش استبدال وإصلاح إطارات السيارات أفادوا بأنهم هم من يقوموا بترحيل الإطارات التالفة إلى حاويات النفايات القريبة من محلاتهم بشكل يومي، وان هذه الإطارات التالفة تشكل عبئاً عليهم في محلاتهم وذلك لصعوبة ترحيلها منها.

4-2- تحديد كميات نفايات الإطارات التالفة والإحصاءات عن أعدادها وكمياتها

توجد الإطارات المطاطية التالفة في جميع بلدان العالم بشكل كبير، فمثلاً في الصين أدى التطور السريع لصناعة السيارات في السنوات الأخيرة إلى زيادة كبيرة في حجم نفايات الإطارات، ووفقاً للإحصاءات عام 2004 بلغ إنتاج الإطارات الجديدة 239 مليون إطار، وبلغ عدد الإطارات التالفة 112 مليون إطار، أما في عام 2006 فبلغ إنتاج الإطارات الجديدة 280 مليون إطار، أما الإطارات التالفة فبلغت 140 مليون إطار. وعلى ضوء هذه النتائج فإن البحث والتطبيق في فئات المطاط المعدل للإسفلت في هندسة الطرق بالصين يكتسب المزيد من الاهتمام حيث وضعت بعض المدن بالفعل معاييرها التكنولوجية الخاصة بذلك.[12]

في الولايات المتحدة الأمريكية بلغت أعداد الإطارات المطاطية التالفة في عام 2006 أكثر من 300 مليون إطار.[24]

في الدول العربية لا توجد إحصاءات و بيانات واضحة حول أعداد الإطارات المطاطية التالفة.

بهدف تقدير أعداد الإطارات التالفة في مدينة اللاذقية تمت الاستعانة ببعض البيانات المتوفرة لدى مديرية النقل والمواصلات باللاذقية، تحدد هذه البيانات أعداد العربات المسجلة في محافظة اللاذقية خلال السنوات العشر الأخيرة، علماً أنه لا توجد أي إحصاءات جاهزة عن كميات الإطارات التالفة لعدم وجود أي جهة مختصة بذلك ولا يمكن الاعتماد على المعلومات المتوفرة من ورشات إصلاح واستبدال الإطارات وذلك بسبب عشوائيتها وعدم دقتها.

الجدول (4-1) إحصاءات عن أعداد العربات المسجلة في محافظة اللاذقية من عام 2002 إلى 2013

العام	عدد السيارات التراكمي	عدد السيارات الافرادى	عدد الإطارات سنويا	عدد الإطارات التالفة
المسجل لغاية نهاية 2013	148388	1215	4860	-
المسجل لغاية نهاية 2012	147173	1958	7832	-
المسجل لغاية نهاية 2011	145215	16823	67292	-
المسجل لغاية نهاية 2010	128392	24806	99224	99224
المسجل لغاية نهاية 2009	103586	10287	41148	41148

48300	48300	12075	93299	المسجل لغاية نهاية 2008
79888	39944	9986	81224	المسجل لغاية نهاية 2007
74856	37428	9357	71238	المسجل لغاية نهاية 2006
64536	32268	8067	61881	المسجل لغاية نهاية 2005
59292	19764	4941	53814	المسجل لغاية نهاية 2004
39612	13204	3301	48873	المسجل لغاية نهاية 2003
			45572	المسجل لغاية نهاية 2002
506856	411264	102816		المجموع

[25]

تم حساب أعداد الإطارات التالفة باعتبار تغيير إطارات العربات كل ثلاث سنوات لكل عربة، وبالتالي فإن القيمة التقديرية لأعداد الإطارات التالفة في محافظة اللاذقية خلال السنوات العشر الأخيرة بلغ 506856 إطار، وبالتالي فإن القيمة الوسطية التقديرية لأعداد الإطارات التالفة هو 50685.6 إطار سنوياً.

تبين مما سبق أن كمية الإطارات التالفة بشكل سنوي في محافظة اللاذقية - وهي محافظة صغيرة من حيث عدد السكان - هي كمية لا يمكن الاستهانة بها، الأمر الذي يعطي مؤشرات أولية عن الكميات التي من الممكن الحصول عليها فيما لو تم اعتماد جميع هذه الإطارات التالفة على مستوى القطر.

4-3- تحديد كيفية الحصول على فئات المطاط من إعادة تدوير إطارات السيارات:

تتمثل الصعوبات في استخدام المطاط ضمن الخلائط البيتومينية في بلدنا بمعالجته قبل الاستخدام، هذه المعالجة تتركز في طريقة تفتيته و تحويله إلى أحجام صغيرة مختلفة ملائمة للاستخدام.

تعتبر مرحلة الحصول على المطاط الناعم من أصعب المراحل التي واجهتنا، وذلك لعدم وجود أسواق أو معامل خاصة يتم الحصول منها على فئات المطاط، كما ان استيراد فئات مطاط من إحدى الدول يحتاج لوقت وكلفة كبيرة.

أما في مشروعنا هذا فقد تم استخراج فئات المطاط من الإطارات باستخدام طريقة الصقل (الجلخ) للإطارات المطاطية باستخدام الصاروخ وهذه الطريقة غير ملائمة للاستخدام على نطاق واسع حيث يمكن استخدامها لاستخراج كميات قليلة فقط، وهذه الكميات كانت كافية لإجراء التجارب المخبرية الخاصة بالبحث.

الفصل الخامس
البرنامج الاختباري
النتائج ومناقشتها
الاستنتاجات
التوصيات

المرحلة الثانية: البرنامج الاختباري Experimental Program

إحضار عينات المواد الداخلة في تشكيل الخلطات البيتومينية المعدلة بالمطاط وغير المعدلة

حصويات

بيتومين

مطاط

إجراء التجارب التوصيفية للحصويات
الداخلة في تشكيل الخلطات البيتومينية
المعدلة بالمطاط وغير المعدلة

إعداد عينات اختبار البيتومين
المعدل بالمطاط والغير معدل

إعداد برادة المطاط

اختيار التراكيب
الحبية للمطاط

تحديد خواص البيتومين (60-70) الغير معدل

تحديد خواص البيتومين (60-70) المعدل بنسب مختلفة من المطاط

تصميم الخلطات البيتومينية من البيتومين المعدل وغير المعدل

الاستنتاجات

التوصيات

5-1- إعداد العينات

5-1-1- إعداد عينات المواد الداخلة في تشكيل الخلطات البيتومينية غير المعدلة و المعدلة بالمطاط.

- تم إعداد عينات البيتومين (60-70) ناتج مصفاة بانياس بحيث تكون ممثلة للبيتومين المنتج في سوريا، فوفقاً لـ (WRI) (Western Research Institute) معهد البحوث العلمية، فإن نوع البيتومين الخام هو المتغير الأكثر أهمية المؤثر على الخصائص الفيزيائية للبيتومين المعدل بفتات المطاط (CRMAs) . [11]
 - الحصويات من أحد مجابيل مؤسسة تنفيذ الإنشاءات العسكرية العاملة في محافظة اللاذقية وهي حصويات مصدرها مدينة حسياء.
 - المادة المعدلة للبيتومين وهي فتات المطاط الناتج من تدوير عدة إطارات مطاطية عائدة لسيارات سياحية ذات عمر أقل من 5 سنوات.
- تم إعداد برادة المطاط عن طريق جليخ إطارات المطاط في ورشة خاصة ومن ثم إحضار العينات إلى مخبر المواصلات في جامعة تشرين وذلك لاختبار توزيع أقطار الحبيبات من خلال نخلها على سلسلة المناخل التالية، التدرج وفق المواصفة (ASTM D 1151) . نبين على الجدول رقم (5-1) الحزمة المطلوبة لتوزيع حبيبات المطاط. [26]

الجدول (5-1) حزمة التركيب الحبي المطلوب من فتات المطاط المدور وفق المواصفة (ASTM D 1151)

قياس المنخل	النسبة المئوية المارة من المنخل
(N8) 2.36 mm	100
(N10) 2.00 mm	95 - 100
(N30) 0.6 mm	0 - 10
(N50) 0.3 mm	0 - 2

تم في هذه الدراسة اختيار تركيبين حبيين مختلفين من فتات المطاط

- التركيب الحبي الأول: المار من المنخل (N50) 0.3 mm
- التركيب الحبي الثاني: المار من المنخل (N30) 0.6 mm والمحموز على (N50) 0.3 mm

5-1-2- إعداد عينات اختبار البيتومين غير المعدل والمعدل بالمطاط:

أولاً: تم اختيار نسب وزنية من فتات المطاط مقدارها (5-10-15) % من وزن البيتومين علماً أن التركيب الحبي لفتات المطاط يقابل المار من المنخل (N50) 0.3mm .

ثانياً: تم اختيار نسب فتات المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5) % بالوزن من البيتومين وتم استخدام (تركيبين حبيين) لفتات المطاط :

التركيب الأول المار من المنخل (N50) 0.3 mm

التركيب الثاني المار من المنخل (N30) 0.6 mm والمحجوز على (N50) 0.3 mm

وتم ترميز كافة عينات البيتومين غير المعدل والمعدل بالمطاط والمستخدم في هذا البحث بالرموز التالية المبينة بالجدول(5-2):

الجدول(5-2) رموز كافة عينات البيتومين غير المعدل والمعدل بالمطاط المستخدمة في هذا البحث.

رمز العينة	نوع البيتومين	نسبة المطاط%	التركيب الحبي للمطاط
AB	70-60	-	-
AB5	70-60	5	مار من المنخل (N50) 0.3 mm
AB10	70-60	10	مار من المنخل (N50) 0.3 mm
AB15	70-60	15	مار من المنخل (N50) 0.3 mm
AB2,1	70-60	0.2	مار من المنخل (N50) 0.3 mm
AB3,1	70-60	0.3	مار من المنخل (N50) 0.3 mm
AB4,1	70-60	0.4	مار من المنخل (N50) 0.3 mm
AB5,1	70-60	0.5	مار من المنخل (N50) 0.3 mm
AB2,2	70-60	0.2	مار من المنخل (N30) 0.6 mm والمحجوز على (N50) 0.3 mm
AB3,2	70-60	0.3	مار من المنخل (N30) 0.6 mm والمحجوز على (N50) 0.3 mm
AB4,2	70-60	0.4	مار من المنخل (N30) 0.6 mm والمحجوز على (N50) 0.3 mm
AB5,2	70-60	0.5	مار من المنخل (N30) 0.6 mm والمحجوز على (N50) 0.3 mm

5-1-3- طريقة مزج فتات المطاط مع البيتومين:

- قمنا بمزج البيتومين والمطاط في جهاز الخلط، تم تسخين البيتومين في البداية إلى الدرجة 180 C° ،حيث أن درجة حرارة المزج في مواصفات تعديل البيتومين بالمطاط في أغلب المناطق تتراوح من (165-226) C° [27] ،ومن ثم إضافة فتات المطاط تدريجياً إلى البيتومين وكذلك المادة الممددة (زيت سيارات محروق) بنسبة 2.5% من وزن الخليط، ومن ثم تم الخلط لمدة 45 دقيقة.



الشكل (5-1) جهاز خلط البيتومين مع المطاط

وصف جهاز الخلط :

في قسمه العلوي خلاط يتألف من وعاء معدني سعة 5 كغ ، وأداة الخلط، وشاشة رقمية، يتم فيها معايرة مدة المزج، أما القسم السفلي عبارة عن مسخن يعمل على تسخين الوعاء المعدني بعد تثبيته مباشرة تحت الوعاء بواسطة نوابض تعليق جانبية، ويحتوي شاشة رقمية يتم معايرة درجة الحرارة وفقها.

ملاحظة: يمكن استخدام الجهاز لعملية المزج فقط ويمكن استخدامه لعمليتي المزج والتسخين معاً.

5-2- التجارب المخبرية

اعتمد في هذا البحث سلسلة من التجارب المحددة بالموصفات التالية:

- 1- تجربة الغرز للبيتومين Penetration وفق المواصفة AASHTO T-49 في درجة الحرارة 25°C
- 2- تجربة تحديد نقطة التميع للبيتومين Softing Point (Ring & Bale) وفق المواصفة AASHTO T-53.
- 3- تجربة الممتولية للبيتومين (الاستطالة) Ductility وفق المواصفة AASHTO T-51 .
- 4- تجربة تحديد درجة الوميض والاشتعال للبيتومين Flash and fire Point وفق المواصفة AASHTO T-48.
- 5- تجربة الفاقد بالحرارة للبيتومين Lose Of Heating وفق المواصفة AASHTO T-47 .
- 6- تجربة تحديد الوزن النوعي للبيتومين Specific Gravity وفق المواصفة AASHTO T-228.
- 7- تجربة الاهتراء للمواد الحصوية Resistance Of Abrasion وفق المواصفة AASHTO T-96
- 8- تجربة المكافئ الرملي للمواد الحصوية Sand Equivalent وفق المواصفة AASHTO T-176.
- 9- تجربة الوزن النوعي للحصويات Specific Gravity وفق المواصفة AASHTO T-84.
- 10- تجربة مارشال (تصميم الخلطات البيتومينية الإسفلتية) Marshal Test وفق المواصفة AASHTO T-245.

وكانت مراحل العمل وفق التجارب المخبرية كالتالي:

- 1- تحديد خواص البيتومين (60-70) غير المعدل:

تم تحديد الخواص الأولية لعينات البيتومين غير المعدل وذلك بإجراء تجارب الغرز في درجة الحرارة 25°C، تجربة درجة التميع، تجربة الممتولية، تحديد درجة حرارة الوميض والاشتعال، الوزن النوعي للبيتومين، الفاقد بالحرارة.

2- قمنا بتحديد خواص البيتومين المعدل بالمطاط وفق نسب مختلفة من المطاط، بإجراء تجارب الغرز في درجة الحرارة 25°C، تجربة درجة التميع، تجربة الممتولية، حيث ركزنا في بحثنا هذا على تعديل الخلطات البيتومينية من مبدأ تعديل مادة البيتومين الداخلة في صناعة الخلطة البيتومينية الإسفلتية.

a- قمنا بإضافة فتات المطاط بنسب (5-10-15) % من وزن البيتومين. وكانت جزيئات فتات المطاط من التركيب الحبي الأول وهو المار من المنخل 0.3 mm (N50)، وهو التركيب الحبي الأنعم وفق

سلسلة المناخل المعتمدة لأن فتات المطاط الناعم يجعل المزج والتفاعل مع البيتومين أكثر سهولة [27]، وأجريت عملية مزج البيتومين مع المطاط في جهاز الخلط وفق شروط المزج المحددة بالموصفات (درجة الحرارة - زمن الخلط - سرعة المزج).

b- اخترنا نسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% لتعديل البيتومين كمحاولة للتفتيش عن الحدود الدنيا لنسب إضافة المطاط ومعرفة تأثيرها على خواص البيتومين ،فحددنا خواص البيتومين المعدل بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% من وزن البيتومين وذلك وفق تركيبين حبيين مختلفين لأقطار فتات المطاط المستخدم في التعديل، التركيب الأول المار من المنخل 0.3 mm (N50)، والتركيب الثاني المار من المنخل 0.6 mm (N30) والمحجوز على 0.3 mm (N50).

c- أجرينا المقارنة بين خواص البيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% عند اختلاف التركيب الحبي للمطاط المستخدم في التعديل.

3- إجراء التجارب التوصيفية للحصويات الداخلة في تشكيل الخلطات البيتومينية:

قمنا بتحديد خواص الحصويات المستخدمة، حيث تم تحديد التركيب الحبي والمكافئ الرملي و تجربة الفاقد بالاهتراء وفق لوس انجلوس و الوزن النوعي للحصويات.

4- تصميم الخلطات البيتومينية من البيتومين المعدل وغير المعدل.

بعد الانتهاء من التجارب على البيتومين غير المعدل والمعدل بالمطاط وعلى الحصويات، تم تصميم الخلطات البيتومينية غير المعدلة و المعدلة بالنسب (0.3-0.5-10-15)% مطاط ذو التركيب الحبي الأول المار من المنخل 0.3 mm (N50) وبالتالي لدينا 6 خلطات بيتومينية مبينة بالجدول (3-5):

الجدول (3-5) الخلطات البيتومينية المشكلة من البيتومين غير المعدل والمعدل.

نسبة المطاط المضاف %	نوع البيتومين	رقم الخلطة البيتومينية
-	(70-60)	1
0.3	(70-60)	2
0.5	(70-60)	5
5	(70-60)	4
10	(70-60)	5
15	(70-60)	6

تم خلط الحصىيات المحققة للحزمة الفنية المطلوبة بعد تسخينها إلى الحرارة المطلوبة مع البيتومين المسخن وفق نسب البيتومين (4.5-5-5.5-6-6.5)% عند كل نسبة من نسب المطاط المضاف، حيث تم إعداد ثلاث قوالب من قوالب مارشال عند كل نسبة بيتومين وفق المتطلبات الفنية لطريقة مارشال، بحيث تم تشكيل 90 قالب وكان عدد الطرقات 50 طرقة على كل وجه وفقاً لتصنيف الحركة على الطريق (حركة متوسطة)، وبعد نزع العينات من القوالب، تم تحديد كل من الثبات والانسياب والنسب المثالية للبيتومين ومن ثم تمت المقارنة بين النتائج.

5- ومن أجل الخلطات المشكلة وفق النسب (0.5-5-10-15)% مطاط وبعد قياس الثبات والانسياب للعينات، قمنا بتدوير هذه العينات في جهاز مارشال بزواوية 90 درجة، و من ثم قمنا بقياس الثبات والانسياب للمرة الثانية ومن ثم أخذ النتائج ومعالجتها.

5-3- النائج ومناقشتها.

5-3-1- تحديد خواص البيتومين المعدل بالمطاط وغير المعدل

5-3-1-1- تحديد خواص البيتومين غير المعدل (البيتومين AB):

نبين بالجدول (4-5) النائج الوسطية لثلاث تجارب توصيفية للبيتومين غير المعدل (ناج مصفاة بانياس) :
الجدول (4-5) يبين نائج التجارب التوصيفية للبيتومين غير المعدل

65.78	الغرز (Penetration Test): 25 mm×0.1°C
124.67	الاستطالة أو الممطولية للبيتومين (Ductility) (cm):(Test)
52.05	نقطة التميع (Softening Point Test) : (c°)
0.4	النقص في الوزن (LOSS On Heating) : (gr)
درجة الوميض 305c° ودرجة الاشتعال 310c°	نقطة الوميض والاشتعال (Flash and Fire Point) c°:(rest)
1.020	الوزن النوعي للبيتومين

من الجدول (4-5) نجد أن خواص البيتومين تتطابق مع المواصفات الفنية في الجدول (1-2).

5-3-1-2- تحديد خواص البيتومين المعدل بنسب مختلفة من المطاط ومعالجتها .

5-3-1-2-1- تحديد خواص البيتومين بعد إضافة المطاط بالنسب (5-10-15)% وفق التركيب

الحبي الأول:

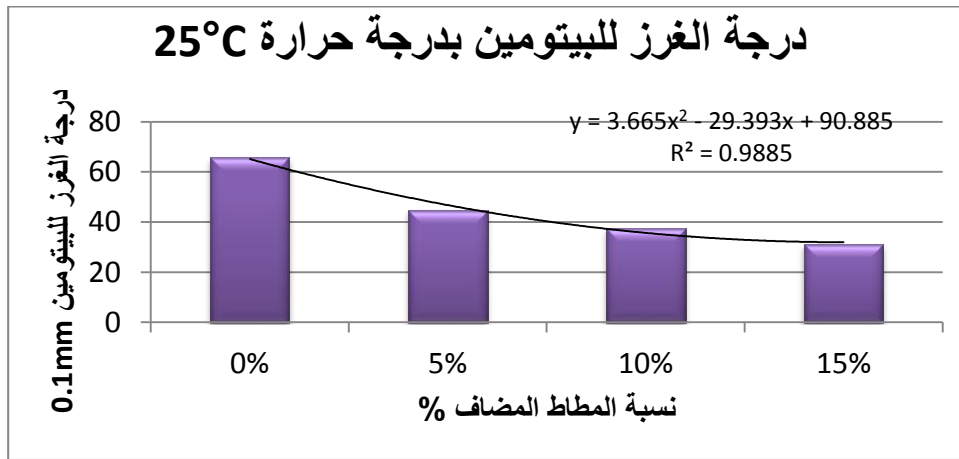
تمت إضافة المطاط إلى البيتومين بنسبة (5-10-15)% من وزن البيتومين وأجريت تجربة الغرز في الدرجة 25°C وتجربة الاستطالة وتجربة نقطة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة.

1- تحديد درجة الغرز للبيتومين المعدل بدرجة حرارة 25°C×0.1mm: أخذت 3 عينات وفق كل نسبة من المطاط وتم إجراء ثلاث قراءات على كل عينة بشرط التباعد بين كل قراءة و أخرى 1Cm، ثم أخذ الوسطي لها. نائج تجربة الغرز للبيتومين المعدل بالمطاط موضحة بالجدول (5-5).

الجدول (5-5) نتائج تجربة الغرز بدرجة حرارة 25 C° للبيثومين المعدل بالمطاط بالنسب (15-10-5)%

AB15			AB10			AB5			AB			نوع البيثومين
3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	رقم العينة
32	30	32	36	38	35	45	50	44	65	65	66	
33	31	32	38	40	34	46	46	44	66	66	66	
30	28	34	39	41	37	42	45	42	67	64	67	
31.7	29.7	32.7	37.7	39.7	35.3	44.3	47.0	43.3	66	65	66.3	الوسطي
31.33			37.56			44.89			65.78			الوسطي الكلي للغرز

نبين بالشكل (2-5) تخطيطياً العلاقة بين نسبة المطاط المضاف للبيثومين ودرجة الغرز للبيثومين.



الشكل (2-5) قيم درجة الغرز للبيثومين الموافقة لنسب المطاط (15-10-5-0)%

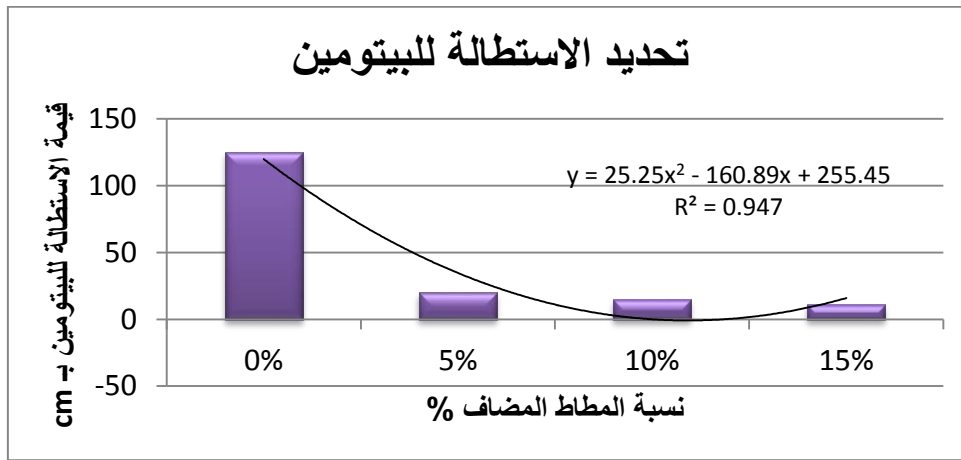
من الشكل رقم (2-5) نجد أن درجة الغرز للبيثومين المعدل تناقصت بشكل كبير بالمقارنة مع البيثومين الغير معدل و يبرر هذا السلوك إلى أن إضافة المطاط للبيثومين يزيد من لزوجته وذلك بسبب زيادة كتلة المطاط ضمنه، حيث انخفضت قيم الغرز من المجال (60-70) إلى المجالين (30-40) و (40-50). بلغت النسبة المئوية لانخفاض قيم الغرز (32 و 43 و 52)% المقابلة لنسب فتات المطاط المضافة (5 و 10 و 15)% على التوالي. وكانت هذه النتيجة مماثلة لنتائج أبحاث عديدة ومختلفة ففي بحث تم إجراؤه في ماليزيا كان البيثومين المستعمل بدرجة غرز (80-100) وكانت نسبة المطاط المضاف (20-16-12-8-4)% ووزناً من البيثومين و تظهر نتائج اختبار الغرز للبيثومين المعدل انخفاض في قيم الغرز مع زيادة نسبة المطاط وكان الانخفاض في قيمة الغرز (61-16.5)% لفتات المطاط (4-20)% على التوالي. [19]

2- تحديد الاستطالة (المطولية) للبيتومين Cm:

الجدول (5-6) نتائج تجربة الاستطالة للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (5-10-15)%

العينة	AB	AB5	AB10	AB15
	128	20	13	10
	122	22	15	11
	124	18	16	12
الوسطي	124.7	20	14.7	11

نمثل نتائج الجدول (5-6) بالشكل (3-5):



الشكل (3-5) قيم الاستطالة للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0-5-10-15)%

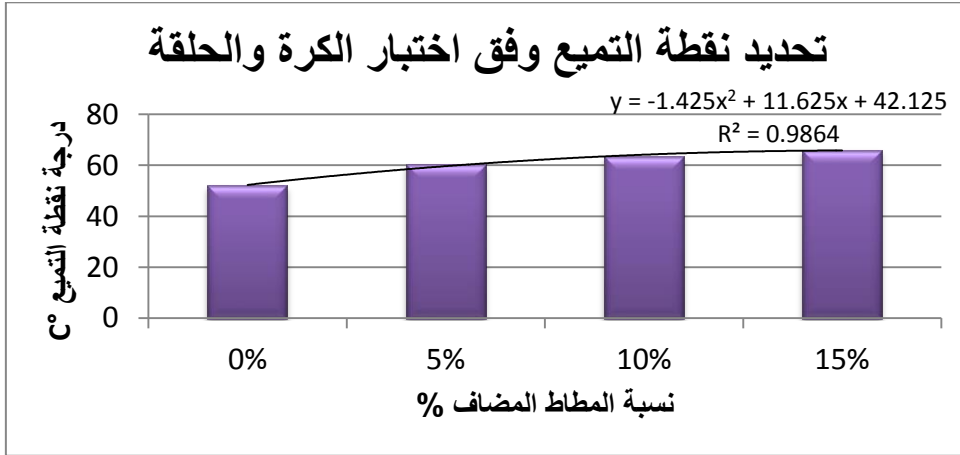
من الشكل رقم (3-5) نجد أن انخفاض قيمة الاستطالة كان كبيراً جداً لعينات البيتومين المعدل بالمقارنة مع البيتومين الغير معدل ويعود السبب للجزء الزيتي في البيتومين والممتص من قبل جزيئات المطاط ، مما يكسب البيتومين قساوة كبيرة، وتناقصت قيمة الاستطالة للعينات المعدلة بشكل تدريجي مع زيادة نسبة فتات المطاط وكانت النسبة المئوية لتناقص الاستطالة بين (84 و 91)% المقابلة لنسبة فتات المطاط (5 و 15)% على التوالي وهناك فرق بسيط في انخفاض الاستطالة لا تتجاوز 7% عند الانتقال من نسبة مطاط 5% إلى النسبة 15% وفي بحث مشابه تم إجراءه في ماليزيا استخدم المطاط في تعديل بيتومين (80-100) وتظهر نتائج اختبار الاستطالة تناقص قيمة الاستطالة للبيتومين المعدل بشكل تدريجي مع زيادة نسبة فتات المطاط وكانت النسبة المئوية لتناقص بحوالي (18-57)% لنسبة البيتومين (4-20)% على التوالي. [19]

3- تحديد نقطة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة بـ C°:

الجدول (7-5) نتائج تجربة نقطة التميع للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (15-10-5)%

AB15		AB10		AB5		AB		العينة
65.9	66.3	64	62.7	60.3	60.7	51.5	52.6	درجة التميع C°
66.1		63.35		60.5		52.05		الوسطي

نمثل نتائج الجدول (7-5) بالشكل (4-5):



الشكل (4-5) قيم نقطة التميع للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (15-10-5-0)%

من الشكل (4-5) نجد أن درجة نقطة التميع ارتفعت مع زيادة نسبة المطاط وهذا يدل على أن البيتومين أصبح أكثر قساوة حيث ارتفعت درجة التميع بنسبة (16.2 و 26.9)% المقابلة لنسب فتات المطاط المضافة (5 و 15)% على التوالي وهذا مرتبط باختلاف لزوجة المطاط عن لزوجة البيتومين.

الخلاصة :

يبين الجدول (8-5) خصائص البيتومين (60-70) غير المعدل والمعدل:

الجدول (8-5) خصائص البيتومين (60-70) غير المعدل والمعدل بالمطاط

نقطة التميع C°	الاستطالة cm	الغرز 0.1mm	نوع البيتومين
52.05	124.67	65.78	البيتومين AB
60	20	44.89	AB5
63.35	14.7	37.56	AB10
66.1	11	31.33	AB15

نستنتج من الجدول (5-8) تناقص درجة الغرز و الممطولية وتزايد نقطة التميع للبيتومين المعدل بالمطاط بالمقارنة مع البيتومين الغير معدل ، وكان التناقص لدرجة الغرز والممطولية والزيادة لنقطة التميع مترافق بشكل تدريجي مع زيادة نسبة المطاط المضاف.

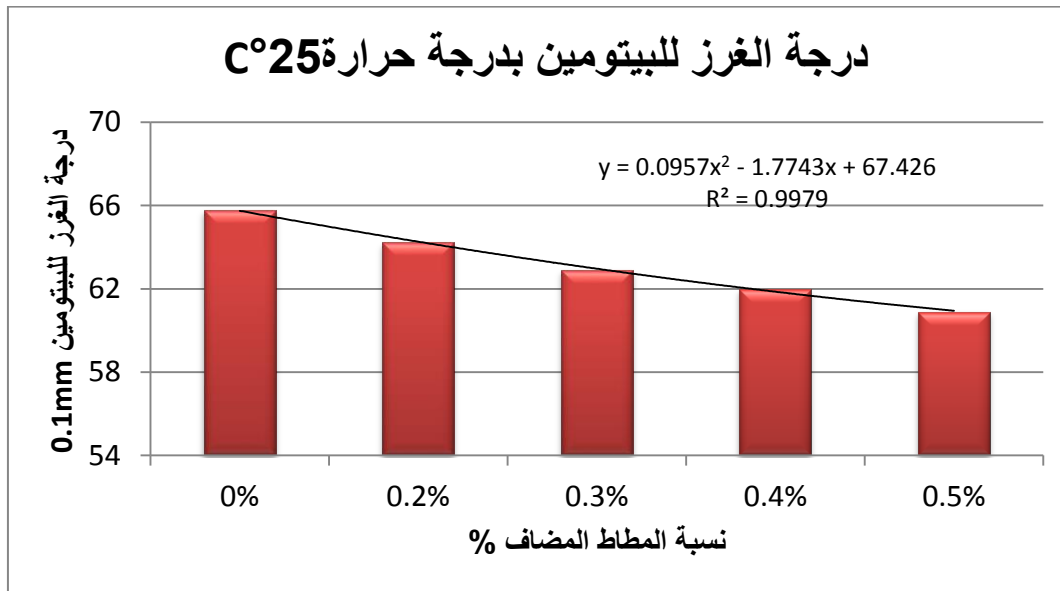
5-3-1-2- تحديد خواص البيتومين بإضافة المطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول:

1- تحديد درجة الغرز للبيتومين المعدل بدرجة حرارة $25^{\circ}\text{C} \times 0.1\text{mm}$:

الجدول (5-9) نتائج تجربة الغرز بدرجة حرارة 25°C للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول

AB5,1			AB4,1			AB3,1			AB2,1			AB			نوع البيتومين
3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	رقم العينة
60	62	63	63	62	63	63	63	62	64	64	64	65	65	66	
62	58	59	61	61	64	62	65	64	65	63	66	66	66	66	
63	60	61	59	61	64	62	62	63	63	65	64	67	64	67	
61.7	60	61	61	61.3	63.7	62.3	63.3	63	64	64	64.7	66	65	66.3	الوسطي
60.89			62			62.89			64.2			65.78			الوسطي الكلي للغرز

نمثل نتائج الجدول (5-9) بالشكل (5-5).



الشكل (5-5) قيم درجة الغرز للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول

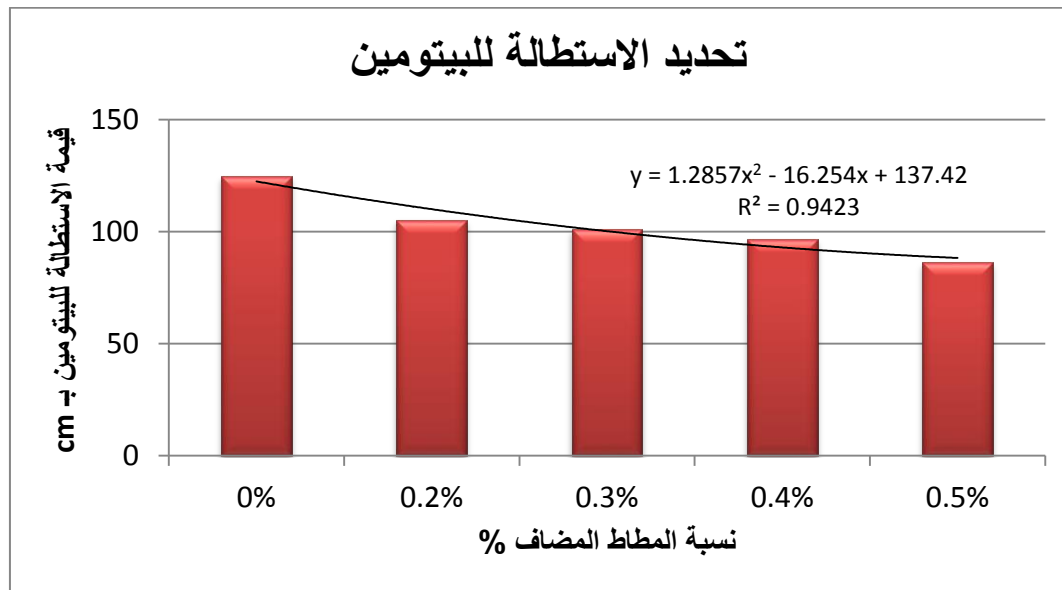
من الشكل رقم (5-5) نجد أن درجة الغرز للبيتومين المعدل تناقصت بالمقارنة مع البيتومين الغير معدل ونلاحظ أن درجة الغرز للبيتومين المعدل تناقصت مع زيادة المطاط المضاف. ولكنها بقيت ضمن مجال الغرز (60-70)

2- تحديد الاستطالة للبيتومين Cm:

الجدول (5-10) نتائج تجربة الاستطالة للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول

العينة	AB	AB2,1	AB3,1	AB4,1	AB5,1
	128	105	102	97	84
	122	108	98	95	86
	124	103	103	98	89
الوسطي	124.7	105.3	101	96.7	86.3

تمثل نتائج الجدول (5-10) بالشكل (5-6):



الشكل (5-6) قيم الاستطالة للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول

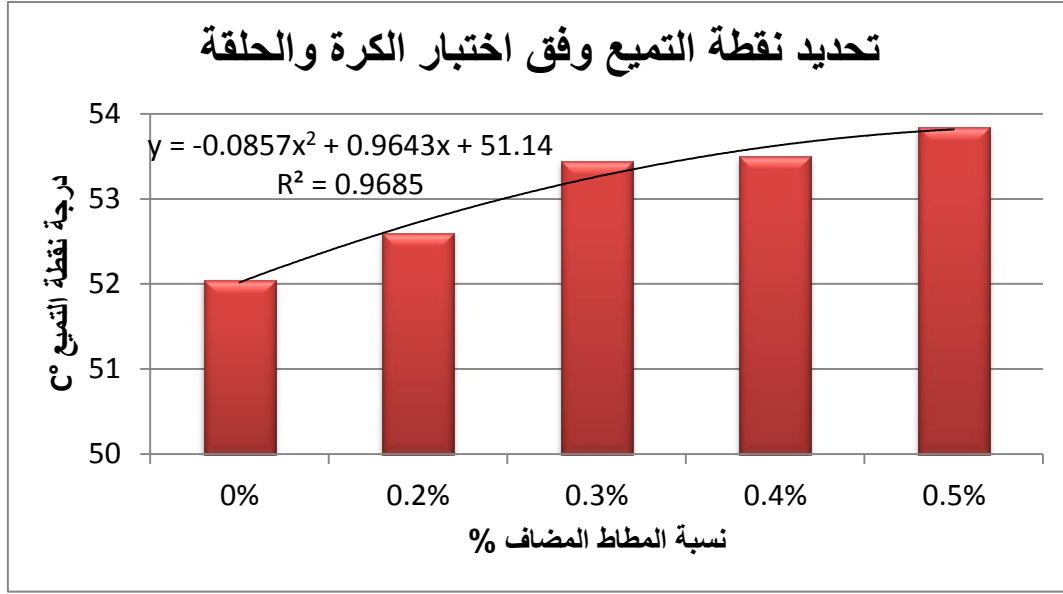
من الشكل (5-6) نجد أن الاستطالة للبيتومين المعدل تناقصت بالمقارنة مع البيتومين الغير معدل ونلاحظ أن الاستطالة للبيتومين المعدل تناقصت مع زيادة نسبة المطاط .

3- تحديد نقطة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة بـ C°:

الجدول (11-5) نتائج تجربة نقطة التميع للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول

AB5,1		AB4,1		AB3,1		AB2,1		AB		العينة
54	53.7	53.3	53.7	53.3	53.6	52.7	52.5	51.5	52.6	درجة التميع C°
53.85		53.5		53.45		52.6		52.05		الوسطي

نمثلة نتائج الجدول (11-5) بالشكل (7-5):



الشكل (7-5) قيم نقطة التميع للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الأول

من الشكل (7-5) نجد أن درجة التميع للبيتومين المعدل ارتفعت قليلاً بالمقارنة مع البيتومين الغير معدل ونلاحظ أن درجة التميع للبيتومين المعدل ازدادت مع زيادة نسبة المطاط .

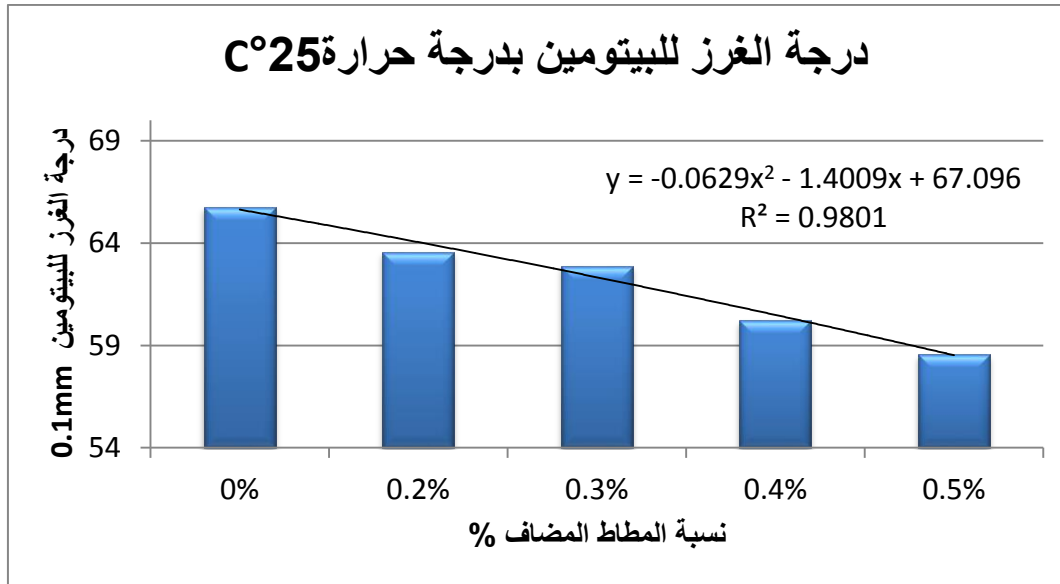
3-2-1-3-5 تحديد خواص البيتومين بعد إضافة المطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني:

1- تحديد درجة الغرز للبيتومين بدرجة حرارة 25C° × 0.1mm:

الجدول (5-12) نتائج تجربة الغرز بدرجة حرارة 25 C° للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني

AB5,2			AB4,2			AB3,2			AB2,2			AB			نوع البيتومين
3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	رقم العينة
58	57	61	60	59	60	63	61	65	63	65	65	65	65	66	
59	56	60	60	58	61	64	62	63	62	63	64	66	66	66	
60	57	59	61	61	62	62	61	65	62	64	64	67	64	67	
59	56.7	60	60.3	59	61	63	61.3	64.3	62.3	64	64.3	66	65	66.3	الوسطي
58.56			60.22			62.89			63.56			65.78			الوسطي الكلي للغرز

نمثلة نتائج الجدول (5-12) بالشكل (5-8):



الشكل (5-8) قيم درجة الغرز للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني

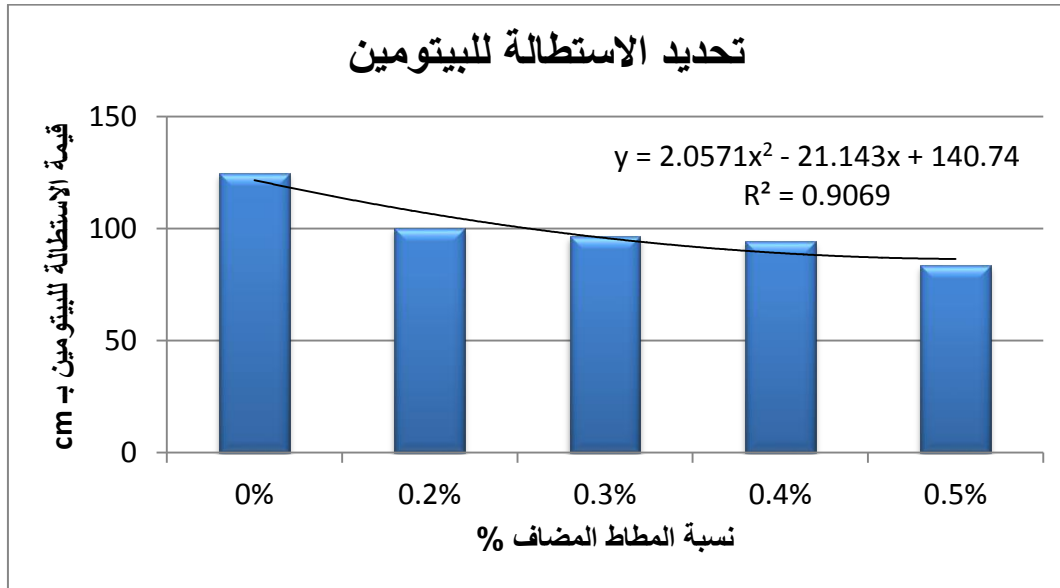
من الشكل (5-8) نجد أن درجة الغرز للبيتومين المعدل تناقصت بالمقارنة مع البيتومين الغير معدل ونلاحظ أن درجة الغرز للبيتومين المعدل تناقصت مع زيادة نسبة المطاط و بقيت ضمن مجال الغرز (60-70) من أجل النسب (0.2-0.3-0.4)% أما النسبة 0.5% انخفضت فيها قيمة الغرز إلى المجال (50-60).

2- تحديد الاستطالة للبيتومين باء Cm:

الجدول (5-13) نتائج تجربة الاستطالة للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني

العينة	AB	AB2,2	AB3,2	AB4,2	AB5,2
	128	98	100	97	82
	122	99	96	94	84
	124	104	94	92	85
الوسطي	124.7	100.3	96.7	94.3	83.7

نمثل نتائج الجدول (5-13) بالشكل (5-9):



الشكل (5-9) قيم الاستطالة للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني

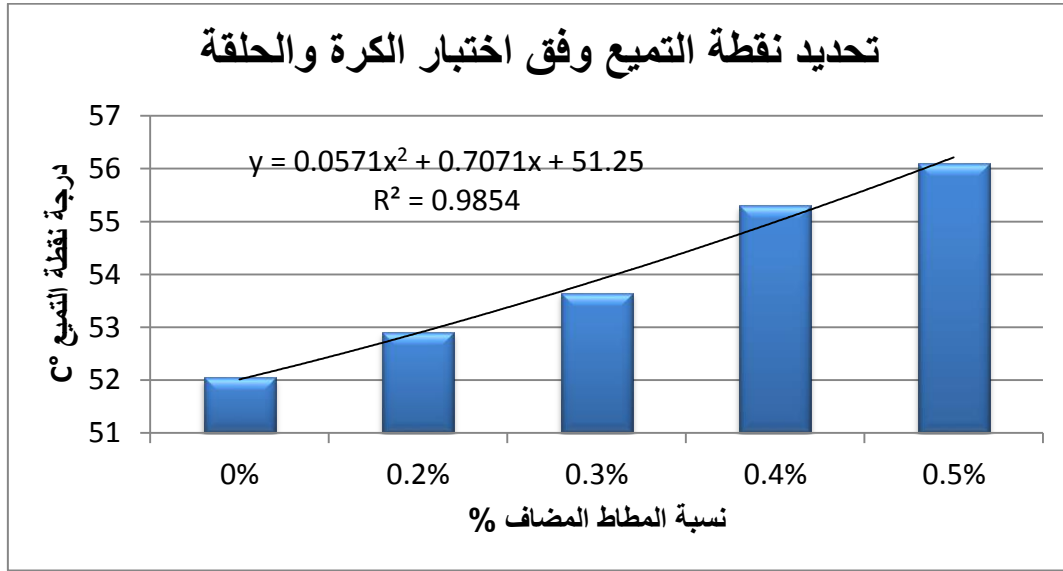
من الشكل (5-9) نجد أن الاستطالة للبيتومين المعدل تناقصت بالمقارنة مع البيتومين غير المعدل ونلاحظ أن الاستطالة للبيتومين المعدل تناقصت مع زيادة نسبة المطاط .

3- تحديد نقطة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة بـ C°:

الجدول (5-14) نتائج تجربة نقطة التميع للبيتومين المعدل بالمطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني

AB5,2		AB4,2		AB3,2		AB2,2		AB		العينة
55.9	56.3	55.9	54.7	53.2	53.8	53.2	52.6	51.5	52.6	درجة التميع C°
56.1		55.3		53.5		52.9		52.05		الوسطي

نمثل نتائج الجدول (5-14) بالشكل (5-10):

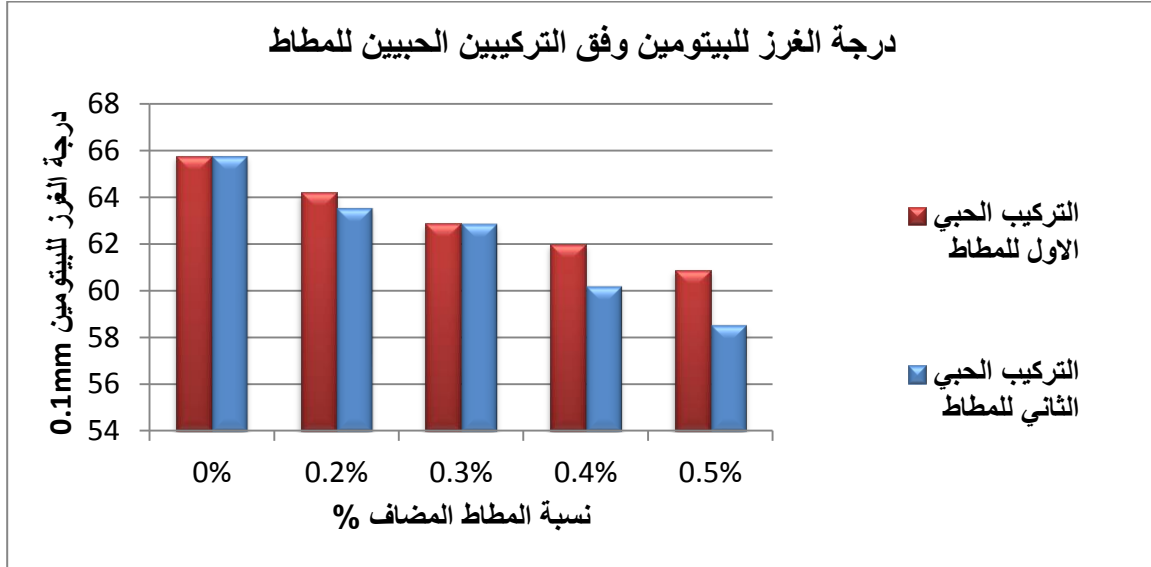


الشكل (5-10) قيم نقطة التميع للبيتومين الموافقة لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% وفق التركيب الحبي الثاني

من الشكل (5-10) نجد أن درجة التميع للبيتومين المعدل ارتفعت قليلاً بالمقارنة مع البيتومين الغير معدل ونلاحظ أن درجة التميع للبيتومين المعدل ازدادت مع زيادة نسبة المطاط.

5-3-2 - مقارنة بين خواص البيتومين الغير معدل و البيتومين المعدل بالمطاط وفق التركيب الحبي الأول و البيتومين المعدل بالمطاط وفق التركيب الحبي الثاني عند نسب المطاط المضاف (0.2-0.3-0.4-0.5)%.

1- درجة الغرز للبيتومين



الشكل (5-11) مقارنة قيم درجة الغرز للبيتومين المعدل وفق التركيبين الحبيين والنسب المختلفة للمطاط

من الشكل رقم (5-11) نلاحظ انخفاض قيم الغرز للبيتومين المعدل بالمطاط بالمقارنة مع البيتومين الغير معدل.

نلاحظ أن البيتومين المعدل بالمطاط من التركيب الحبي الأول يعطي قيم غرز أعلى من البيتومين المعدل بالمطاط من التركيب الحبي الثاني.

نلاحظ تماثل في قيم الغرز للبيتومين المعدل بالمطاط من التركيب الحبي الأول والثاني عند نسبة المطاط 0.3%.

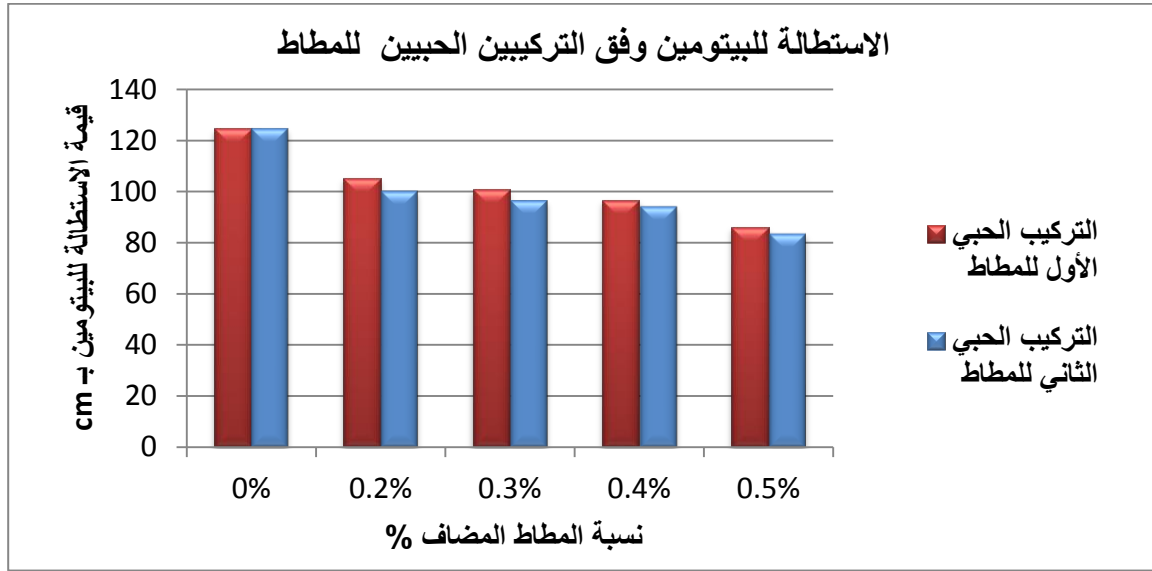
ونجد أن النسبة المئوية للتناقص في الغرز للبيتومين المعدل عن البيتومين الغير معدل كانت

وفق التركيب الحبي الأول (7.43 - 5.74 - 4.39 - 2.36)

ووفق التركيب الحبي الثاني (10.98 - 8.45 - 4.39 - 3.38)

وذلك لنسب المطاط (0.2-0.3-0.4-0.5)% على التوالي.

2- الاستطالة للبيتومين



الشكل (5-12) مقارنة قيم الاستطالة للبيتومين المعدل وفق التركيبين الحبيين والنسب المختلفة للمطاط

من الشكل رقم (5-12) نجد انخفاض قيم الاستطالة للبيتومين المعدل بالمطاط بالمقارنة مع البيتومين الغير معدل.

نلاحظ أن البيتومين المعدل بالمطاط من التركيب الحبي الأول يعطي قيم استطالة أعلى من البيتومين المعدل بالمطاط من التركيب الحبي الثاني.

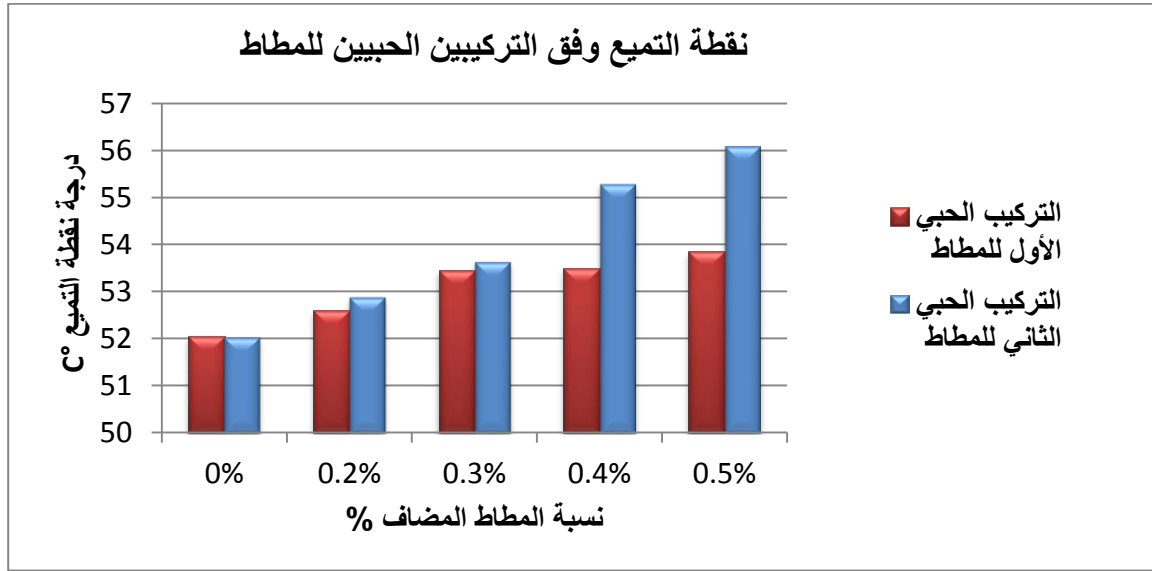
نلاحظ تماثل في قيم الاستطالة للبيتومين المعدل بالمطاط من التركيب الحبي الأول ونسبة 0.4% مع البيتومين المعدل بالمطاط من التركيب الحبي الثاني وبنسبة 0.3%.

ونجد أن النسبة المئوية للتناقص في الاستطالة للبيتومين المعدل عن البيتومين الغير معدل كانت

وفق التركيب الحبي الأول (30.75-22.46-18.98-15.5)

ووفق التركيب الحبي الثاني (32.89-24.33-22.46-19.5)

وذلك لنسب المطاط (0.5-0.4-0.3-0.2)% على التوالي.



الشكل (5-13) مقارنة قيم نقطة التميع للبيتومين المعدل وفق التركيبين الحبيين والنسب المختلفة للمطاط

من الشكل (5-13) نجد ارتفاع في قيم نقطة التميع للبيتومين المعدل بالمطاط بالمقارنة مع البيتومين الغير معدل.

نلاحظ أن البيتومين المعدل بالمطاط من التركيب الحبي الأول يعطي قيم لنقطة التميع أقل من البيتومين المعدل بالمطاط من التركيب الحبي الثاني وذلك لأنه مع زيادة النعومة تنتشت حرارة التميع بشكل أسرع منها للمواد الخشنة.

ونجد أن النسبة المئوية للتزايد في نقطة التميع للبيتومين المعدل عن البيتومين الغير معدل كانت

وفق التركيب الحبي الأول (3.46-2.78-2.69-1.06)

ووفق التركيب الحبي الثاني (7.78-6.24-3.07-1.63)

وذلك لنسب المطاط (0.5-0.4-0.3-0.2) % على التوالي.

الخلاصة:

عند إضافة المطاط بالنسب (0.5-0.4-0.3-0.2) % ووفق التركيبين الحبيين نجد أن خواص البيتومين بقيت ضمن حدود مواصفات البيتومين (60-70) باستثناء قيم الاستطالة عند النسبة (0.5-0.4) من التركيب الحبي الأول ، وقيم الاستطالة عند النسبة (0.5-0.4-0.3) من التركيب الحبي الثاني وقيمة الغرز عند النسبة 0.5 من التركيب الحبي الثاني ، وهذا يدل على أن البيتومين يكتسب قساوة عند إضافة المطاط حتى ولو كانت النسب المضافة قليلة.

عند المقارنة بين التركيبين الحبيبين لفئات المطاط وعند إضافة النسب (0.2-0.3-0.4-0.5) % نجد أن قيم درجة الغرز والاستطالة ونقطة التميع كانت متقاربة . وبالتالي نستنتج أن نسبة المطاط المضافة لها تأثير أكبر من التركيب الحبي المختلف للمطاط وذلك في تعديل خواص البيتومين.

5-3-3- تحديد خواص الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطات البيتومينية الأولية والمعدلة:

تم إحضار المواد الحصوية المستخدمة في الخلطة الإسفلتية من أحد المجالس البيتومينية في محافظة اللاذقية، نبين فيما يلي نتائج الاختبارات التوصيفية الوسطية لها :

التحليل الحبي (Grain Size Analysis):

تم إجراء تجارب التحليل الحبي على الحصويات المحضرة والنتائج مبينة في الجدول (5-15) .

الجدول (5-15) نتائج تجربة التحليل الحبي للحصويات المستخدمة في الخلطات البيتومينية الإسفلتية المعدلة وغير المعدلة

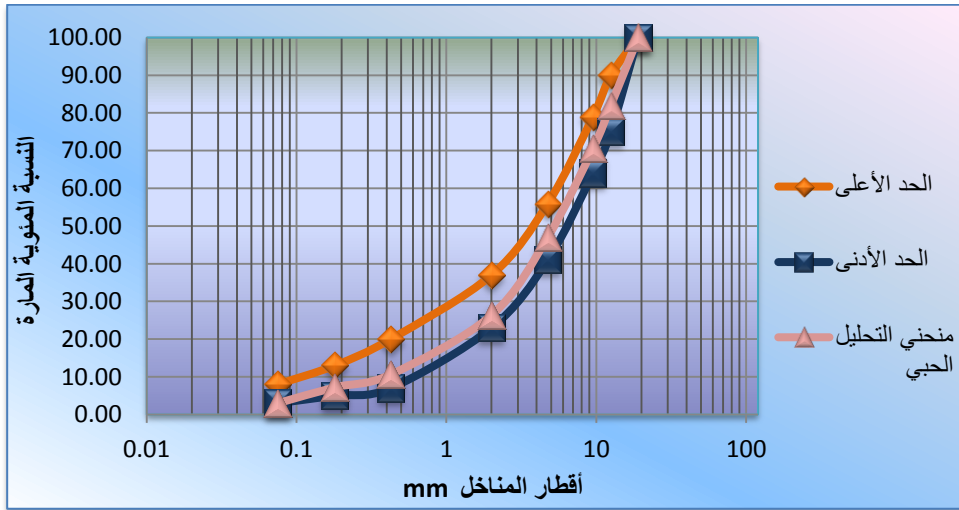
الجزء الخشن	فتحة N\mm	الوزن المحجوز KG	الوزن المحجوز المصحح	النسبة المئوية المتبقية %	النسبة المئوية التكاملية %	النسبة المئوية المارة %
الجزء الخشن	1	0.000	0.000	0.00	0.00	100.00
	3\4	0.000	0.000	0.00	0.00	100.00
	1\2	0.900	0.902	18.04	18.04	81.96
	3\8	0.570	0.571	11.42	29.46	70.54
	N04	1.170	1.172	23.45	52.91	47.09
الجزء الناعم	N10	1.035	1.037	20.74	73.65	26.35
	N40	0.785	0.787	15.73	89.38	10.62
	N80	0.170	0.170	3.41	92.79	7.21
	N200	0.210	0.210	4.21	96.99	3.01
	البودرة	0.150	0.150	3.01	100.00	0.00
	الإجمالي	4.990	5.000			

وتمت مقارنة النتائج مع الحزمة النظامية لمواد طبقة الاهتراء البيتومينية المنصوص عنها بالمواصفات الصادرة عن وزارة النقل والمواصلات في الجمهورية العربية السورية لعام 2002الجدول (5-16). [29].

الجدول (5-16) مواصفات التدرج الحبي من أجل طبقة الاهتراء البيتومينية

الحزمة المطلوبة %	فتحة المنخل mm	قياس المنخل (inch)
100	19	3/4
90-75	12.5	1/2
79-64	9.5	3/8
56-41	4.75	N04
37-23	2	N10
20-7	0.42	N40
13-5	0.177	N80
8-3	0.075	N200

نبين على الشكل رقم (5-14) منحنى التحليل الحبي للحصويات المستخدمة في الخلطات البيتومينية الإسفلتية المعدلة وغير المعدلة :



الشكل (5-14) منحنى التركيب الحبي للحصويات المستخدمة في الخلطات البيتومينية المعدلة وغير المعدلة

نجد أن منحنى التحليل الحبي يقع ضمن الحزمة النظامية وبالتالي فالمواد الحصوية تحقق التدرج الحبي المطلوب للخلطات الإسفلتية المستخدمة في طبقة الاهتراء.

تجربة لوس أنجلوس (Los Angeles Test):

من خلال تجربة التحليل الحبي تبين أن التركيب الحبي للمواد الحصوية من النموذج (B).

نأخذ (gr2500) مار من (3/4 in) ومحجوز على (1/2 in).

نأخذ (gr2500) مار من (1/2 in) ومحجوز على (3/8 in).

عدد الكرات المطلوبة (11) كرة، عدد الدورات المطلوبة (500) دورة.

جدول (5-17) نتائج تجربة لوس أنجلوس للمواد الداخلة في تصميم الخلطة

رقم التجربة	وزن العينة قبل التجربة gr	وزن العينة بعد التجربة (المحجوز على المنخل N12)	نسبة الاهتراء %	المتوسط %
1	5000	3760	24.8	23.45
2	5000	3895	22.1	

بمقارنة النتائج مع المواصفات القياسية السورية نجد أن المواد الحصوية تصلح للاستخدام في الطبقة السطحية.

تجربة المكافئ الرملي (Sand Equivalent):

نبين في الجدول التالي (5-18) نتائج تجربة المكافئ الرملي لثلاث عينات.

الجدول (5-18) نتائج تجربة المكافئ الرملي للمواد الداخلة في تصميم الخلطة

أرقام التجربة	1	2	3
المكافئ الرملي % SE	80.39	86.86	83.33
متوسط القراءات الثلاث %	83.53		

نجد أن قيمة المكافئ الرملي محققة حيث أنها من أجل الطبقة السطحية يجب أن تكون لا تقل عن (45-50)

تجربة الوزن النوعي الظاهري للحصويات (Apparent Specific Gravity):

M1: وزن الوعاء وهو فارغ مع السدادة

M2: وزن الوعاء والتربة الجافة والسدادة

M3: وزن الوعاء والتربة و الماء المقطر والسدادة

M4: وزن الوعاء والماء المقطر والسدادة.

نحسب الوزن النوعي من العلاقة التالية:

$$\gamma_s = \frac{M2 - M1}{(M4 - M1) - (M3 - M2)}$$

ملاحظة: إذا كانت درجة حرارة الغرفة مخالفة للدرجة 20 يحسب الوزن النوعي عند درجة الحرارة المسجلة ثم تعدل للدرجة 20 باستخدام العلاقة:

$$\gamma_s' = \gamma_s \frac{\gamma_{wt}}{\gamma_{sw20}}$$

γ_s' : الوزن النوعي عند درجة حرارة 20

γ_s : الوزن النوعي عند درجة الحرارة t

γ_{wt} : الوزن النوعي للماء عند درجة الحرارة t

γ_{sw20} : الوزن النوعي للماء عند درجة الحرارة 20

وكانت القيم وفق سير التجربة كالتالي:

الجدول (5-19) نتائج تجربة الوزن النوعي للحصويات

رقم العينة	1	2
M1	170gr	170gr
M2	425gr	420gr
M3	830gr	830gr
M4	670gr	670gr
درجة حرارة الغرفة	t=27	t=21
γ_s	2.684	2.778
عامل التصحيح	0.996542	0.998021
الوزن النوعي عند الدرجة 20	2.679	2.777
الوزن النوعي الوسطي = 2.728		

نجد أن الوزن النوعي محقق ويقع ضمن القيم (2.6-2.9).

5-3-4- تصميم الخلطات البيتومينية المعدلة بالمطاط وغير المعدلة

5-3-4-1- تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام البيتومين 60-70 الغير معدل:

نبين بالجدول (5-20) نتائج تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين 60-70 الغير معدل:

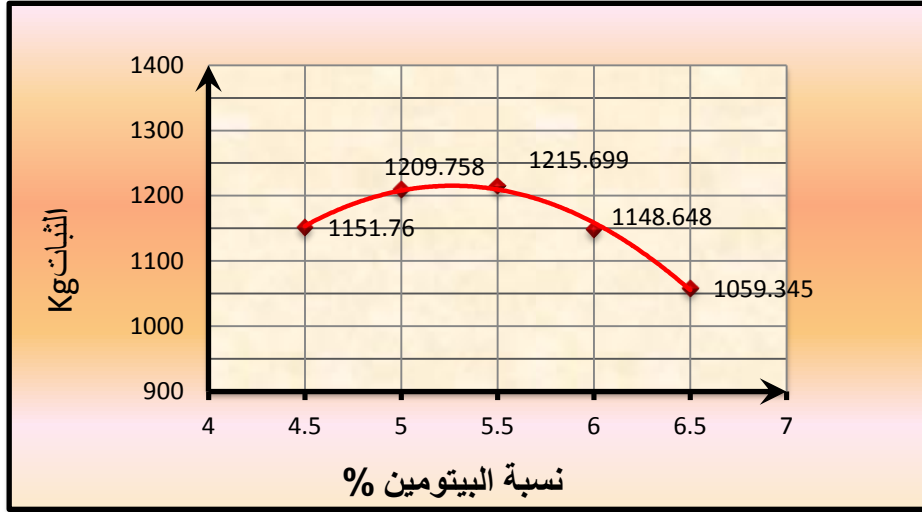
الجدول (5-20)تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين غير المعدل (مرحلة استخلاص نسب البيتومين المثالية)

الانسياب mm	الثبات المصحح " kg "	الفراغات المليئة بالبيتومين %"vb"	الفراغات الهوائية %"Va"	كثافة مارشال gr/cm ³ "	الحجم "cm ³ "	وزن العينة "gr"		نسبة البيتومين وزنا %	رقم المحاولة
						في الماء	في الهواء		
3.8	1141.44	62.309	6.364	2.377	503.2	693	1196.2	4.5	1
3.1	1180.245	62.423	6.286	2.381	507	700	1207	4.5	2
3.9	1133.595	62.652	6.324	2.377	499	687	1186	4.5	3
3.6	1151.760	62.462	6.325	2.378				4.5	المتوسط
4.1	1311.835	64.357	6.426	2.357	507	688	1195	5	1
3.7	1127.04	69.718	5.069	2.393	504	702	1206	5	2
3.8	1190.4	71.816	4.590	2.406	503	707	1210	5	3
3.9	1209.76	68.630	5.362	2.385				5	المتوسط
3.9	1134.528	76.831	3.882	2.405	502.6	706	1208.6	5.5	1
4	1236.225	77.728	3.688	2.410	502.8	709	1211.8	5.5	2
4.1	1276.344	76.754	3.912	2.403	501	703	1204	5.5	3
4.0	1215.699	77.104	3.827	2.406				5.5	المتوسط
4.8	1113.6	77.420	4.096	2.379	502.6	693	1195.6	6	1
3.8	1111.68	80.336	3.442	2.396	502	701	1203	6	2
3.6	1220.665	83.900	2.715	2.415	499	706	1205	6	3
4.1	1148.648	80.552	3.417	2.397				6	المتوسط
4.3	994.766	87.031	2.270	2.408	502	707	1209	6.5	1
3.9	1086.949	80.009	3.780	2.369	505.5	692	1197.5	6.5	2
4.3	1096.32	83.729	2.948	2.391	504	701	1205	6.5	3
4.2	1059.345	83.590	2.999	2.389				6.5	المتوسط

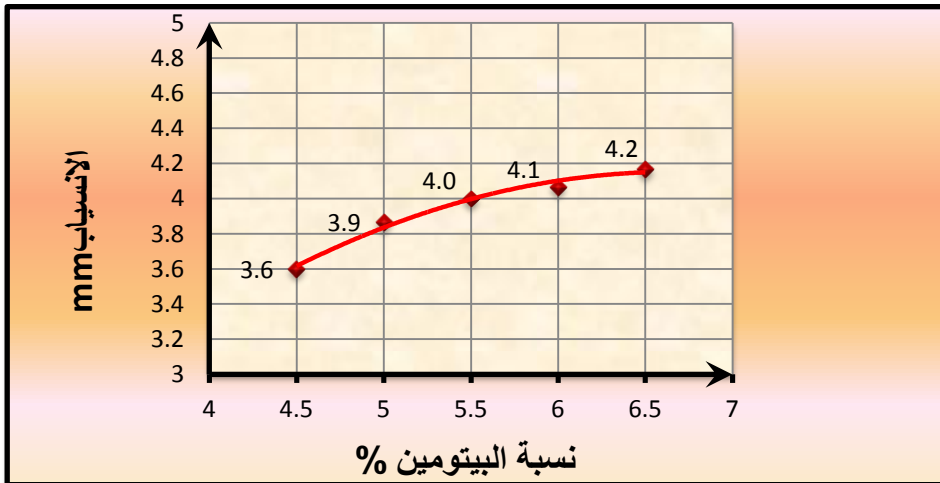
نمثل نتائج الجدول (5-18) على منحنيات مارشال



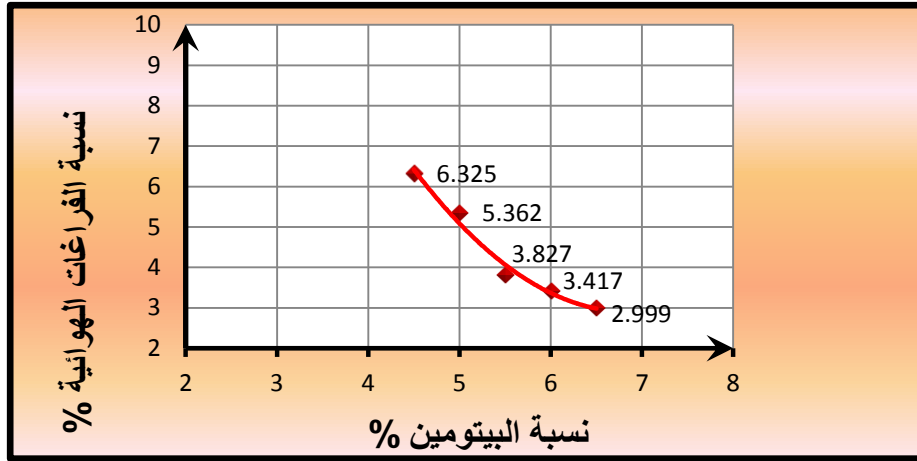
الشكل (5-15) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين الغير معدل



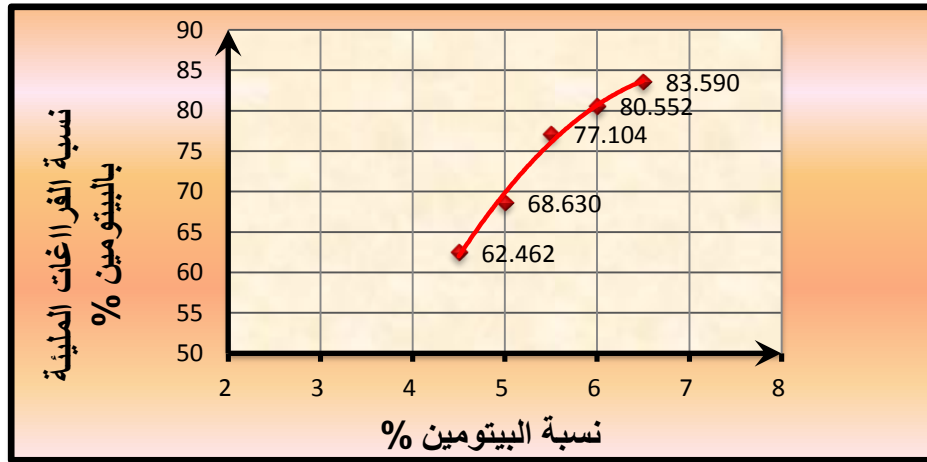
الشكل (5-16) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين الغير معدل



الشكل (5-17) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين الغير معدل



الشكل (5-18) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين الغير معدل



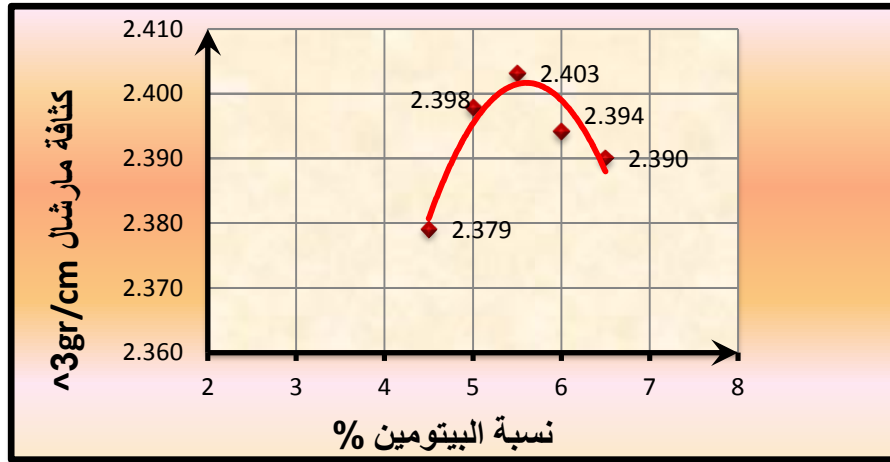
الشكل (5-19) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة البيتومين الغير معدل

النسبة المثالية للبيتومين وفق مارشال = 5.48%

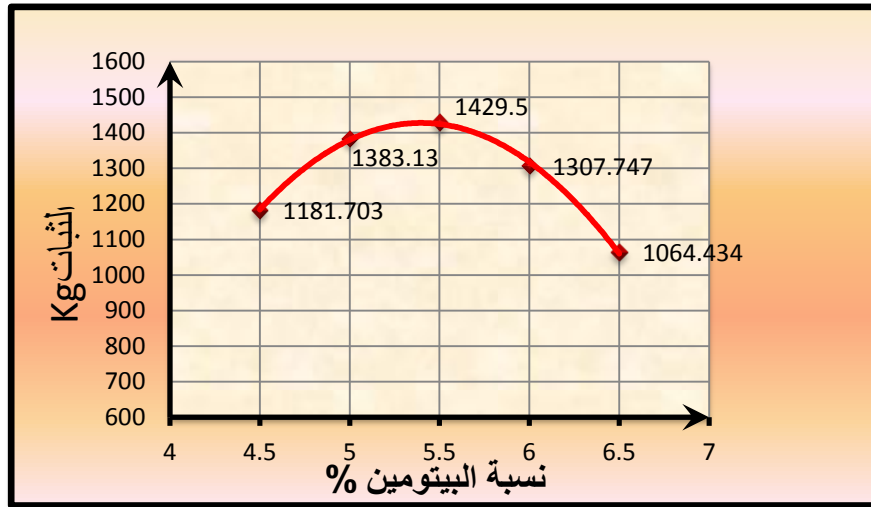
5-3-4-2- تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين معدل بالمطاط بنسبة 0.3% وفق التركيب الحبي الأول للمطاط:

الجدول (21-5) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 0.3%

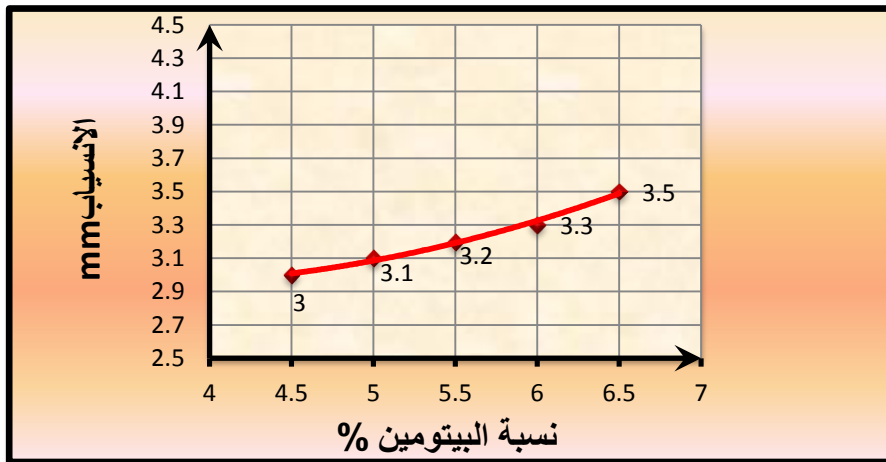
الانسياب mm	الثبات المصحح " kg "	الفراغات المليئة بالبيتومين "vb"	الفراغات الهوائية "Va"	كثافة مارشال gr/cm ³ "	الحجم "cm ³ "	وزن العينة "gr"		نسبة الأسفلت %	رقم المحاولة
						في الماء	في الهواء		
3.2	1154.068	61.756	6.549	2.370	505	692	1197	4.5	1
2.7	1228.8	63.977	6.024	2.382	499.1	690	1189.1	4.5	2
3.1	1162.24	64.024	5.979	2.385	501.9	695	1196.9	4.5	3
3	1181.703	63.252	6.184	2.379				4.5	المتوسط
3.1	1410.096	68.101	5.514	2.378	503.6	694	1197.6	5	1
3.4	1339.788	71.022	4.818	2.396	502	701	1203	5	2
2.8	1399.5	75.451	3.889	2.419	496	704	1200	5	3
3.10	1383.128	71.525	4.740	2.398				5	المتوسط
3.5	1269.289	74.968	4.322	2.391	503.4	700	1203.4	5.5	1
3.1	1526.4	74.784	4.377	2.388	502	697	1199	5.5	2
2.9	1492.8	82.981	2.704	2.431	494.2	707	1201.2	5.5	3
3.2	1429.496	77.577	3.801	2.403				5.5	المتوسط
3.2	1306.24	77.230	4.162	2.375	503.3	692	1195.3	6	1
3.3	1141.059	81.691	3.184	2.400	500	700	1200	6	2
3.4	1475.941	83.106	2.892	2.408	499.4	703	1202.4	6	3
3.3	1307.747	80.676	3.413	2.394				6	المتوسط
3.4	1089.6	84.143	2.869	2.391	505.3	703	1208.3	6.5	1
3.3	876.087	83.489	3.032	2.385	501.8	695	1196.8	6.5	2
3.9	1227.616	84.505	2.793	2.394	502.1	700	1202.1	6.5	3
3.5	1064.434	84.046	2.898	2.390				6.5	المتوسط



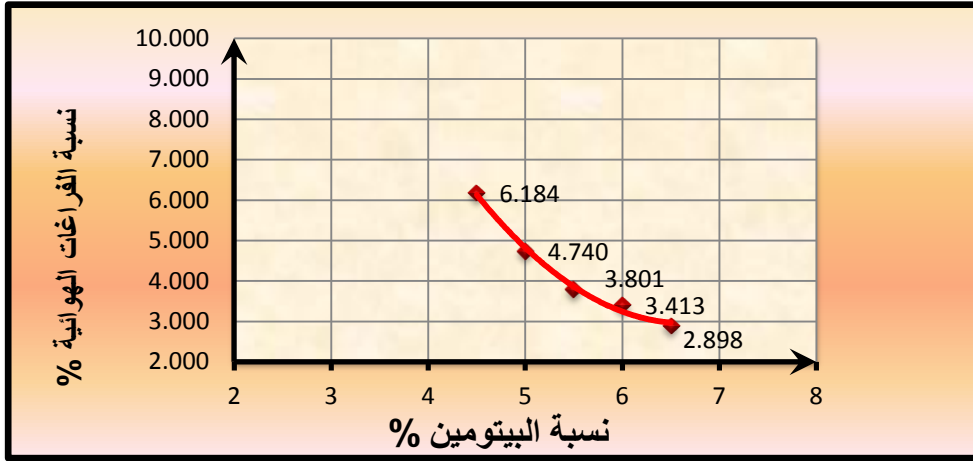
الشكل (20-5) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.3%



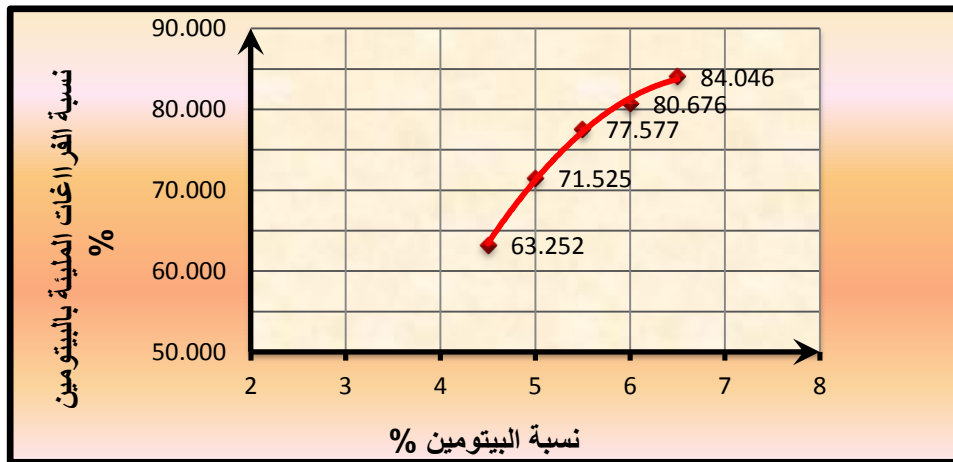
الشكل (21-5) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.3%



الشكل (22-5) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.3%



الشكل (5-23) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.3%



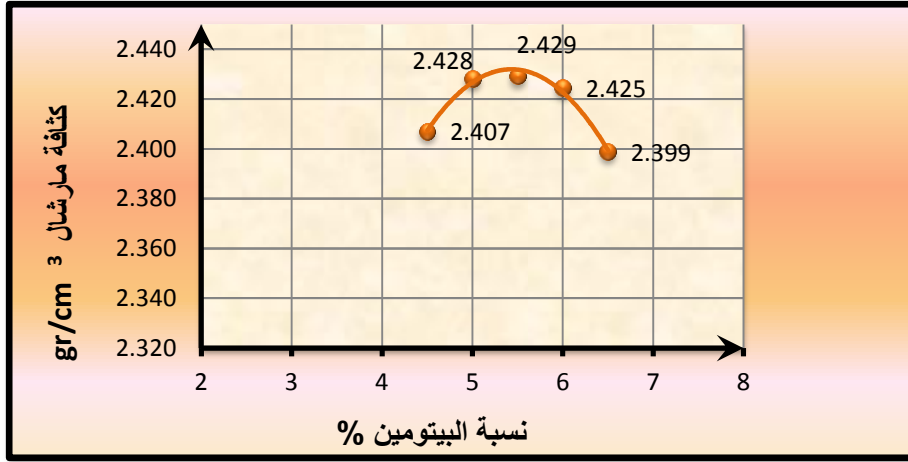
الشكل (5-24) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.3%

النسبة المتألية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة $0.3\% = 5.47\%$

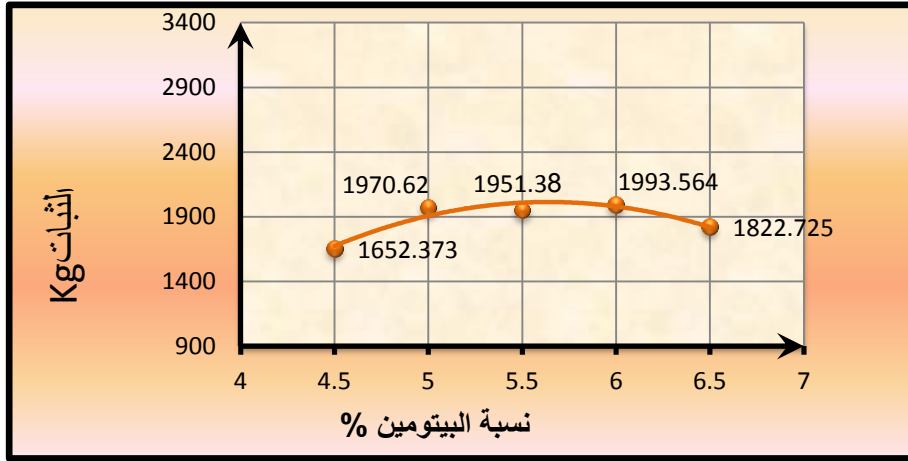
5-3-4-3- تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين معدل بالمطاط بنسبة 0.5% وفق التركيب الحبي الأول للمطاط:

الجدول (5-22) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 0.5%

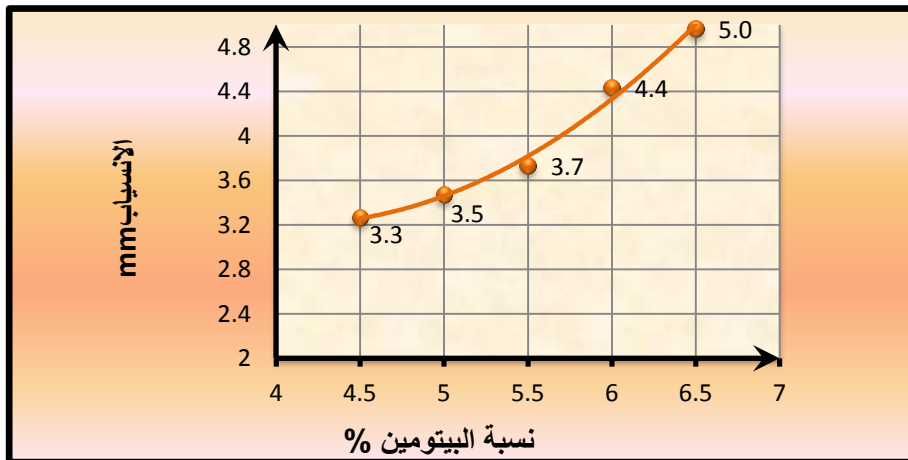
الانسياب mm	الثبات المصحح " kg "	الفراغات المليئة بالبيتومين "vb"	الفراغات الهوائية "Va"	كثافة مارشال gr/cm ³ "	الحجم "cm ³ "	وزن العينة "gr"		نسبة الأسفلت %	رقم المحاولة
						في الماء	في الهواء		
2.8	1550.4	63.296	6.091	2.385	504	698	1202	4.5	1
4.2	1551.916	69.912	4.608	2.422	494.4	703	1197.4	4.5	2
2.8	1854.803	68.026	4.971	2.414	500.6	708	1208.6	4.5	3
3.267	1652.373	67.078	5.223	2.407				4.5	المتوسط
3.12	2027.013	75.846	3.789	2.424	494.4	704	1198.4	5	1
3.6	1893.297	75.449	3.858	2.423	496.2	706	1202.2	5	2
3.7	1991.558	78.453	3.272	2.438	493.8	710	1203.8	5	3
3.5	1970.62	76.583	3.639	2.428				5	المتوسط
3.2	1862.907	83.024	2.673	2.434	495	710	1205	5.5	1
4.2	2009.792	82.133	2.846	2.429	494.6	707	1201.6	5.5	2
3.8	1981.428	81.132	3.044	2.424	494.4	704	1198.4	5.5	3
3.7	1951.38	82.096	2.854	2.429				5.5	المتوسط
4.8	1857.603	90.572	1.500	2.443	489.8	707	1196.8	6	1
5.1	1961.168	83.121	2.889	2.409	496.2	699	1195.2	6	2
3.4	2161.92	85.752	2.372	2.422	494.4	703	1197.4	6	3
4.4	1993.564	86.482	2.254	2.425				6	المتوسط
4.3	1934.83	87.031	2.294	2.405	496.8	698	1194.8	6.5	1
4.4	1874.05	86.698	2.367	2.402	495.6	695	1190.6	6.5	2
6.2	1659.294	83.924	2.929	2.389	500.2	695	1195.2	6.5	3
5.0	1822.725	85.884	2.530	2.399				6.5	المتوسط



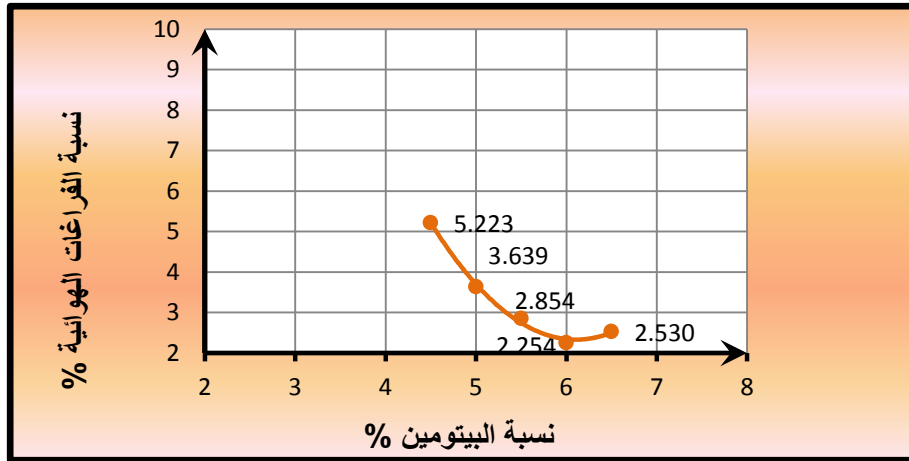
الشكل (25-5) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.5%



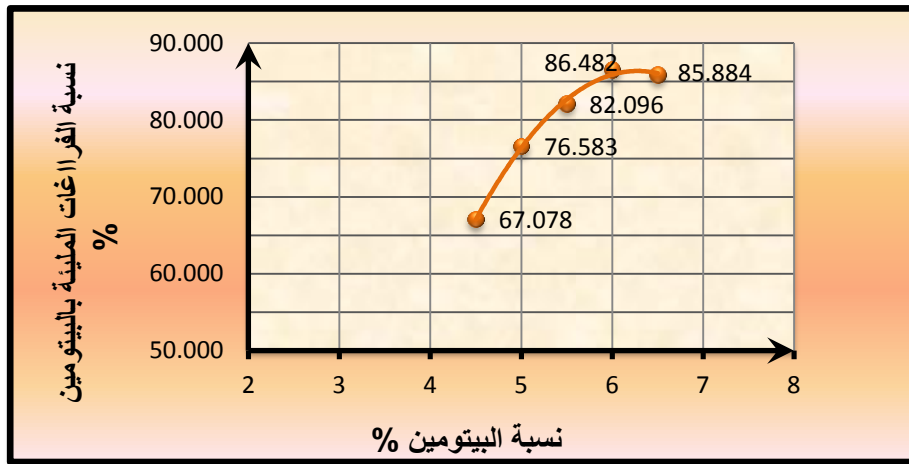
الشكل (26-5) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.5%



الشكل (27-5) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.5%



الشكل (5-28) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.5%



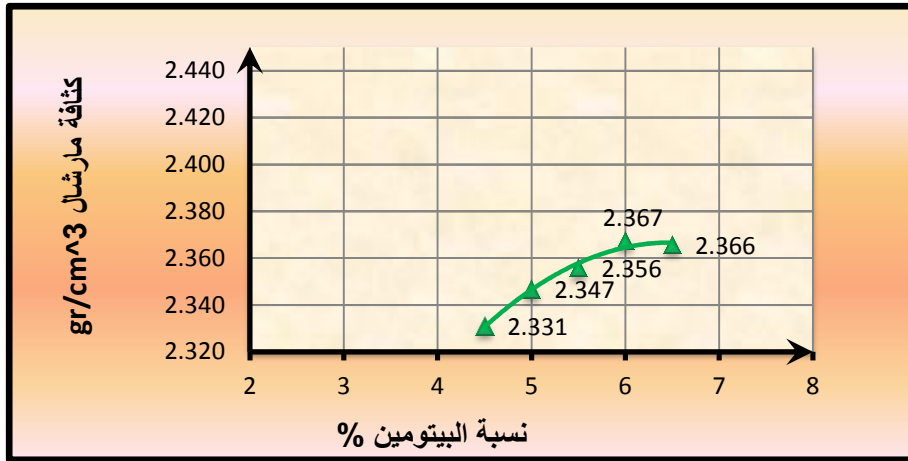
الشكل (5-29) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 0.5%

النسبة المثالية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 0.5% = 5.42%

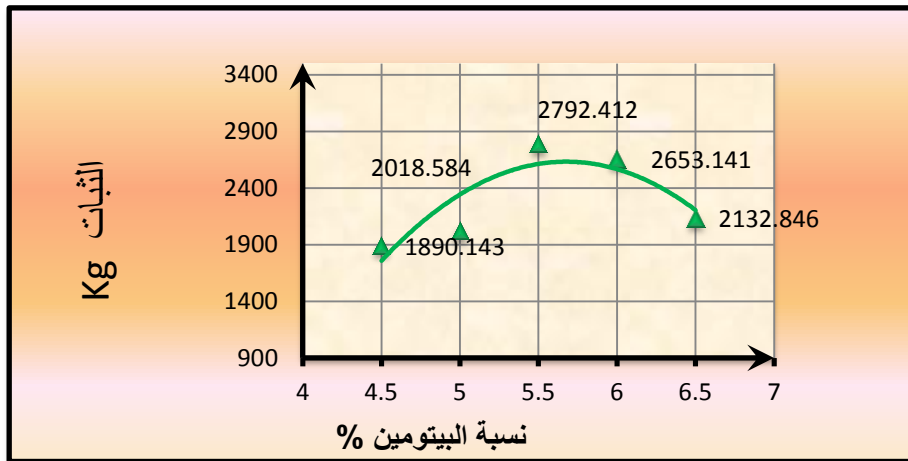
5-3-4-4-4 - تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين معدل بالمطاط بنسبة 5% وفق التركيب الحبي الأول للمطاط:

الجدول (5-23) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 5%

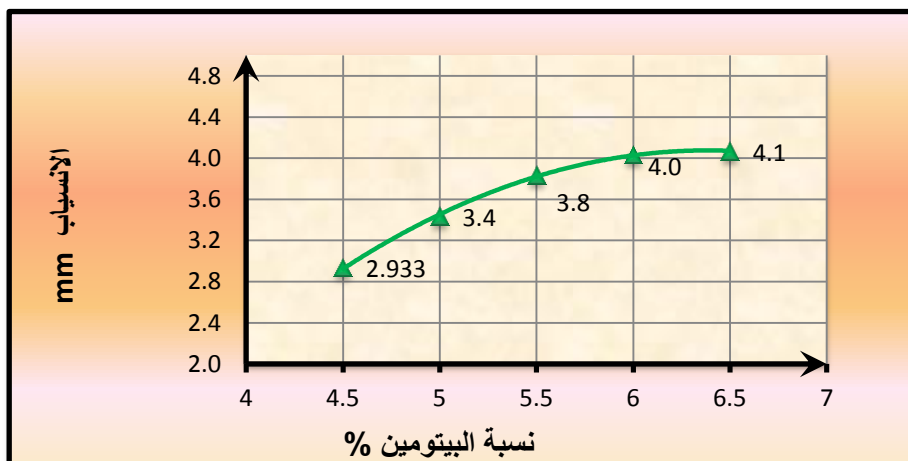
الانسياب mm	الثبات المصحح " kg "	الفراغات المليئة بالبيتومين "vb"	الفراغات الهوائية "Va"	كثافة مارشال gr/cm ³ "	الحجم "cm ³ "	وزن العينة "gr"		نسبة الأسفلت %	رقم المحاولة
						في الماء	في الهواء		
3.1	1702.5	56.031	8.089	2.334	513.6	685	1198.6	4.5	1
2.8	1891.332	55.281	8.297	2.329	516.2	686	1202.2	4.5	2
2.9	2076.596	55.382	8.258	2.330	516.5	687	1203.5	4.5	3
2.933	1890.143	55.565	8.214	2.331				4.5	المتوسط
2.8	1836.884	62.461	6.921	2.345	510.8	687	1197.8	5	1
4.3	1989	62.960	6.783	2.348	510.2	688	1198.2	5	2
3.2	2229.87	62.517	6.883	2.347	512.4	690	1202.4	5	3
3.4	2018.584	62.646	6.862	2.347				5	المتوسط
3.9	2705.7	65.560	6.585	2.337	516.2	690	1206.2	5.5	1
3.8	2791.536	70.102	5.422	2.365	509	695	1204	5.5	2
3.8	2880	70.112	5.425	2.365	508.4	694	1202.4	5.5	3
3.8	2792.412	68.591	5.811	2.356				5.5	المتوسط
3.8	2496.708	74.530	4.752	2.363	507.6	692	1199.6	6	1
3.2	2519.1	77.456	4.060	2.381	506	699	1205	6	2
5.1	2943.615	73.567	4.989	2.357	508.4	690	1198.4	6	3
4.0	2653.141	75.184	4.600	2.367				6	المتوسط
3.3	1851.096	78.739	4.038	2.365	511.4	698	1209.4	6.5	1
4.4	2247.597	78.979	3.997	2.365	509.2	695	1204.2	6.5	2
4.5	2299.845	79.511	3.882	2.367	507.6	694	1201.6	6.5	3
4.1	2132.846	79.076	3.972	2.366				6.5	المتوسط



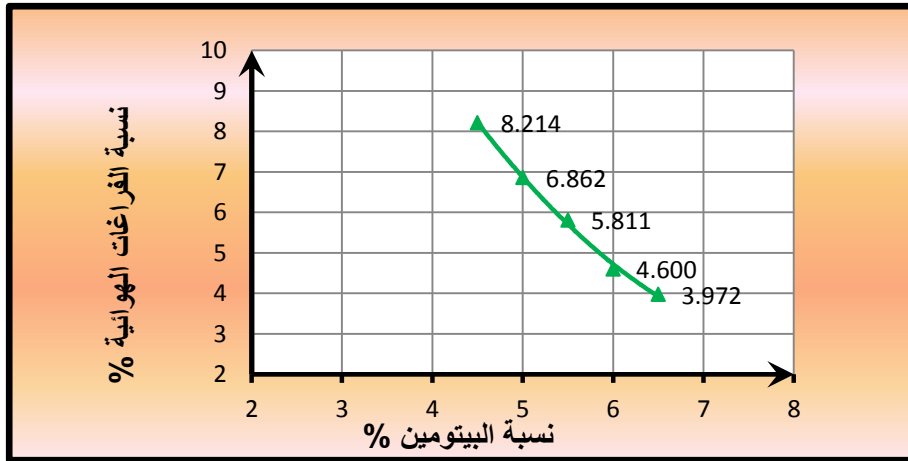
الشكل (5-30) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 5%



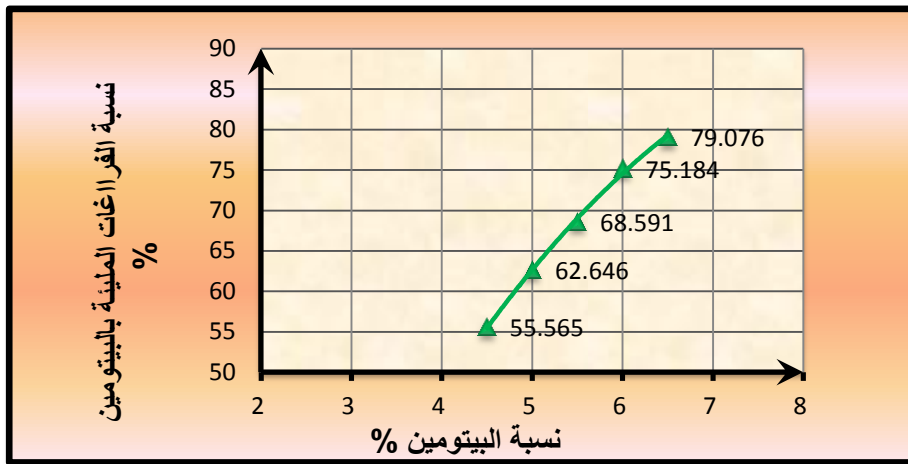
الشكل (5-31) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 5%



الشكل منحنى (5-32) يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 5%



الشكل (5-33) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 5%



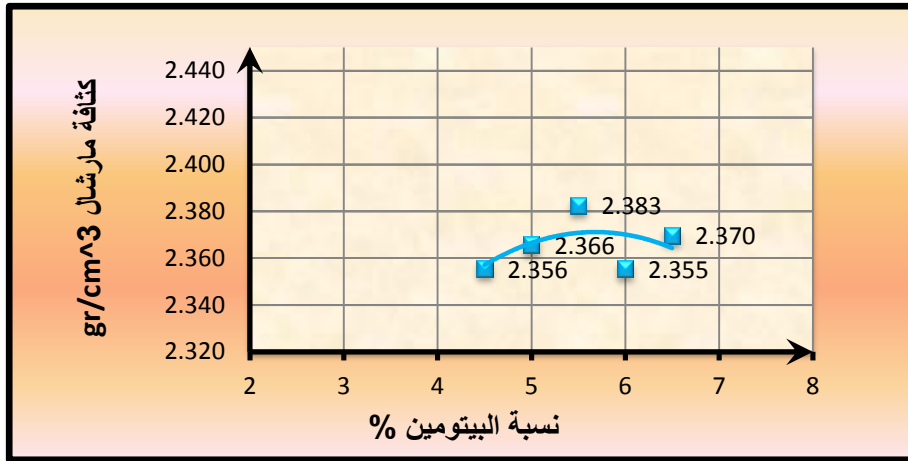
الشكل (5-34) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 5%

النسبة المثالية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 5% = 6.13

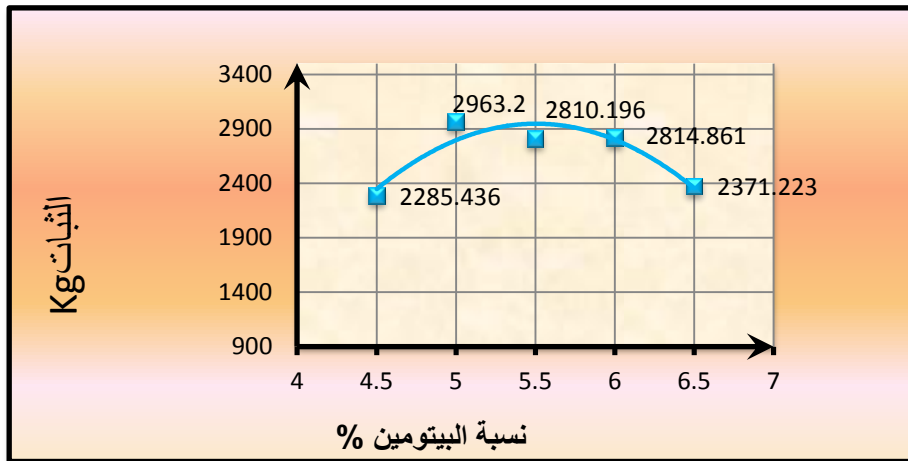
5-4-3-5 - تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين معدل بالمطاط بنسبة 10% وفق التركيب الحبي الأول للمطاط:

الجدول (24-5) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 10%

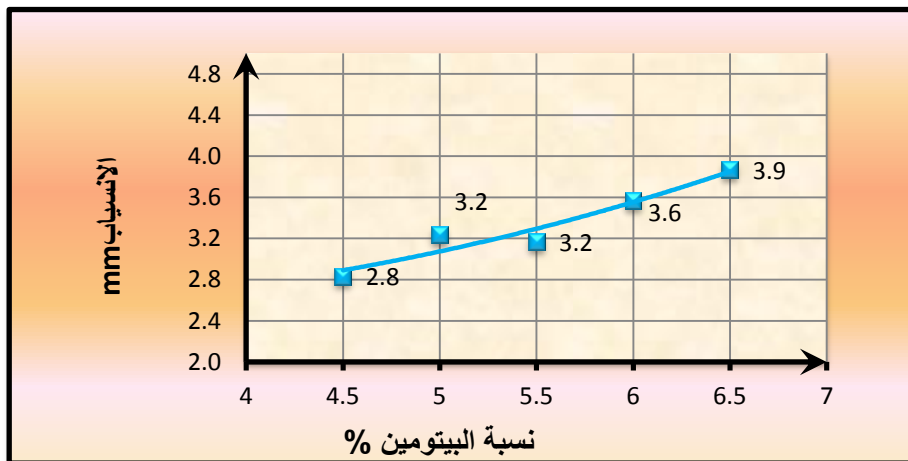
الانسياب mm	الثبات المصحح " kg "	الفراغات المليئة بالبيتومين "vb"	الفراغات الهوائية "Va"	كثافة مارشال gr/cm ³ "	الحجم "cm ³ "	وزن العينة "gr"		نسبة الأسفلت %	رقم المحاولة
						في الماء	في الهواء		
2.7	2075.688	58.208	7.398	2.353	513.8	695	1208.8	4.5	1
2.9	2428.9	58.065	7.453	2.351	513	693	1206	4.5	2
2.9	2351.72	59.678	6.986	2.363	512	698	1210	4.5	3
2.8	2285.436	58.650	7.279	2.356				4.5	المتوسط
2.9	3013.44	69.349	5.341	2.378	486.8	671	1157.8	5	1
2.9	3126.72	64.517	6.437	2.355	502.6	681	1183.6	5	2
3.9	2749.44	60.937	6.809	2.363	553.8	755	1308.8	5	3
3.2	2963.2	64.934	6.196	2.366				5	المتوسط
3.6	2513.502	73.926	4.535	2.387	503.2	698	1201.2	5.5	1
3	3004.26	74.045	4.515	2.387	502.4	697	1199.4	5.5	2
2.9	2912.826	70.424	5.256	2.373	517	710	1227	5.5	3
3.2	2810.196	72.798	4.769	2.383				5.5	المتوسط
3.9	2611.467	71.735	5.411	2.348	514	693	1207	6	1
3.9	2849.382	73.223	5.042	2.357	512	695	1207	6	2
2.9	2983.734	73.925	4.888	2.360	509.4	693	1202.4	6	3
3.6	2814.861	72.961	5.113	2.355				6	المتوسط
3.9	2588.215	80.549	3.644	2.373	506.8	696	1202.8	6.5	1
3.8	2290.515	79.546	3.848	2.370	511	700	1211	6.5	2
3.9	2234.939	78.945	3.991	2.366	511	698	1209	6.5	3
3.9	2371.223	79.680	3.828	2.370				6.5	المتوسط



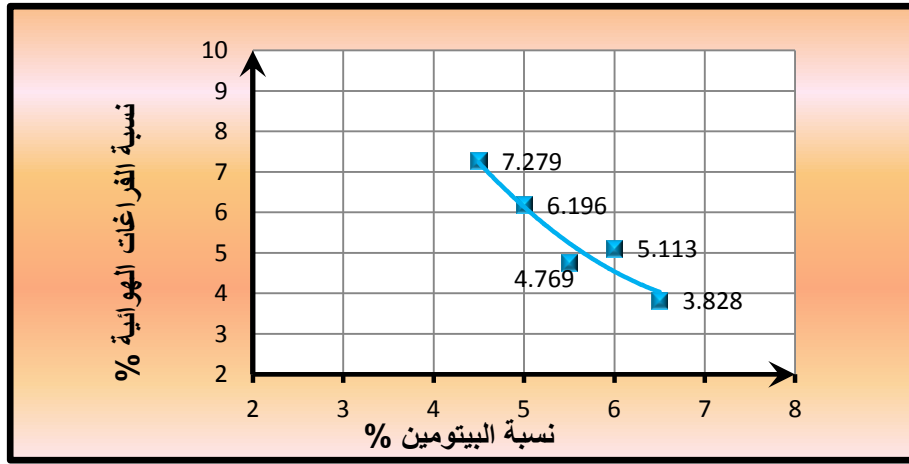
الشكل (5-35) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 10%



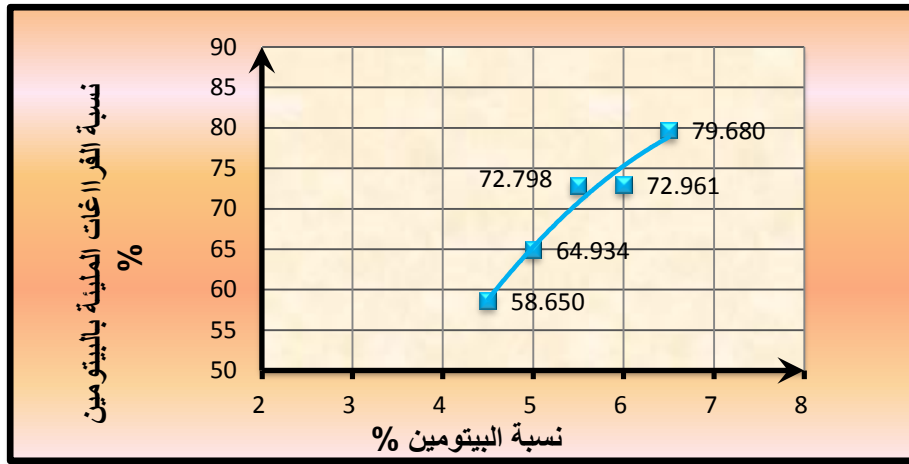
الشكل (5-36) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 10%



الشكل (5-37) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 10%



الشكل (5-38) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 10%



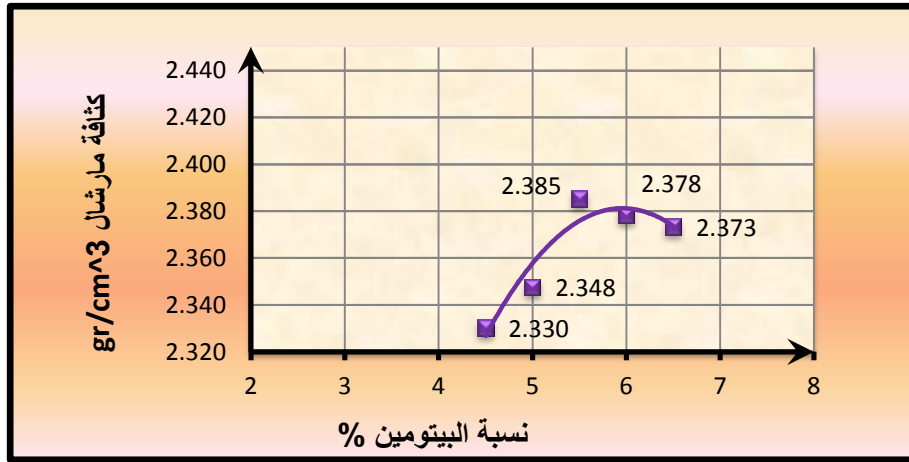
الشكل (5-39) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 10%

النسبة المثالية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 10% = 5.93

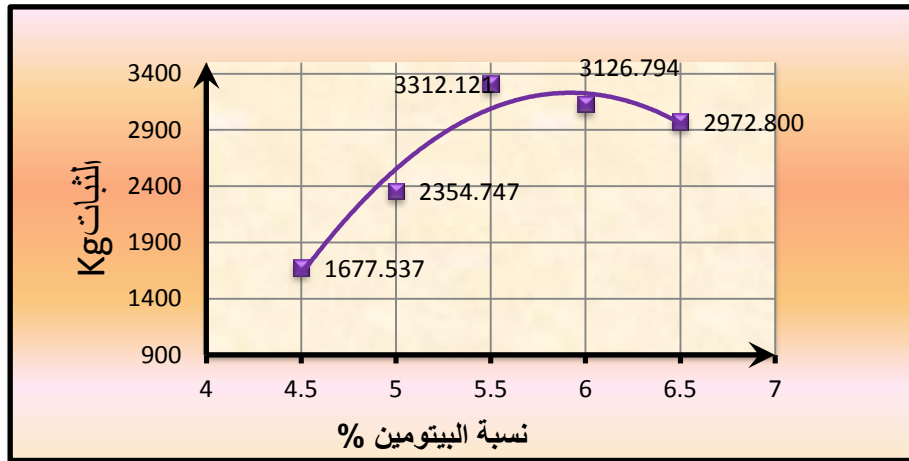
5-3-4-6- تصميم الخلطة البيتومينية باستخدام بيتومين معدل بالمطاط بنسبة 15% وفق التركيب الحبي الأول للمطاط:

الجدول (5-25) تصميم الخلطة البيتومينية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 15%

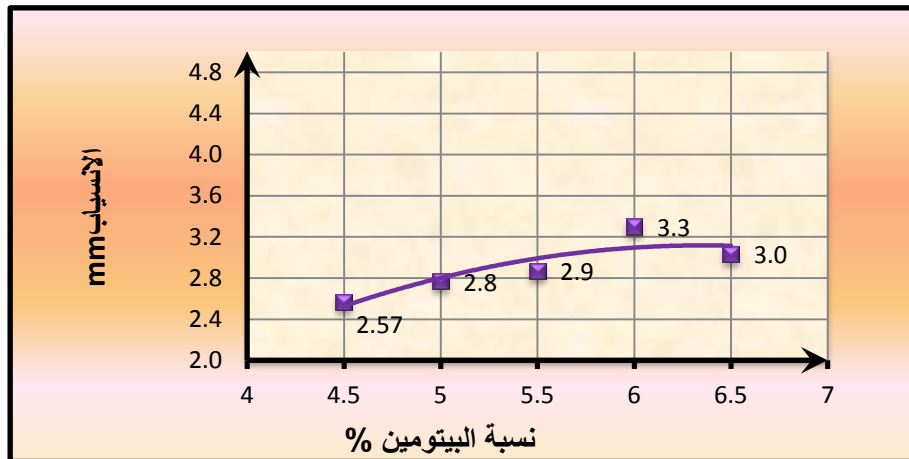
الانسحاب mm	الثبات المصحح " kg "	الفراغات المليئة بالبيتومين "vb"	الفراغات الهوائية "Va"	كثافة مارشال gr/cm ³ "	الحجم "cm ³ "	وزن العينة "gr"		نسبة الأسفلت %	رقم المحاولة
						في الماء "vb"	في الهواء		
2.6	1421.472	54.789	8.460	2.325	516.4	684	1200.4	4.5	1
2.8	1745.9	57.060	7.754	2.343	513.8	690	1203.8	4.5	2
2.3	1865.24	54.574	8.523	2.323	517	684	1201	4.5	3
2.57	1677.537	55.474	8.246	2.330				4.5	المتوسط
2.7	2287.252	62.016	7.015	2.343	513.6	690	1203.6	5	1
2.6	2328.112	62.932	6.767	2.350	512	691	1203	5	2
3	2448.876	63.017	6.745	2.350	511.8	691	1202.8	5	3
2.8	2354.747	62.655	6.842	2.348				5	المتوسط
3.9	2917.404	73.219	4.707	2.382	502.8	695	1197.8	5.5	1
2.2	3311.217	73.172	4.696	2.384	505.2	699	1204.2	5.5	2
2.5	3707.742	74.453	4.416	2.390	502.8	699	1201.8	5.5	3
2.9	3312.121	73.615	4.606	2.385				5.5	المتوسط
3.6	2951.079	77.696	4.017	2.382	504.4	697	1201.4	6	1
3.4	3202.989	77.684	4.015	2.382	505	698	1203	6	2
2.9	3226.314	76.057	4.404	2.371	504.6	692	1196.6	6	3
3.3	3126.794	77.146	4.145	2.378				6	المتوسط
2.9	3105.6	79.106	3.978	2.365	507.8	693	1200.8	6.5	1
2.4	2952.96	82.646	3.192	2.384	503	696	1199	6.5	2
3.8	2859.84	80.347	3.692	2.372	506.6	695	1201.6	6.5	3
3.0	2972.800	80.700	3.621	2.373				6.5	المتوسط



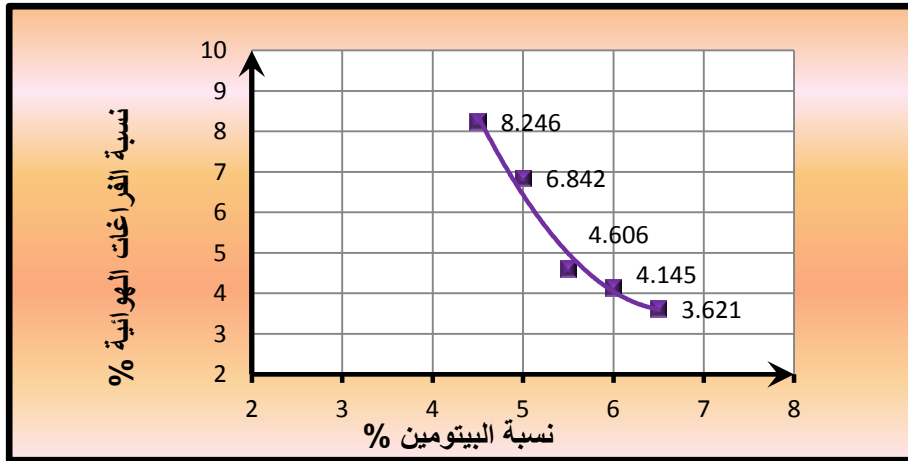
الشكل (5-40) منحنى يوضح تغير الكثافة بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 15%



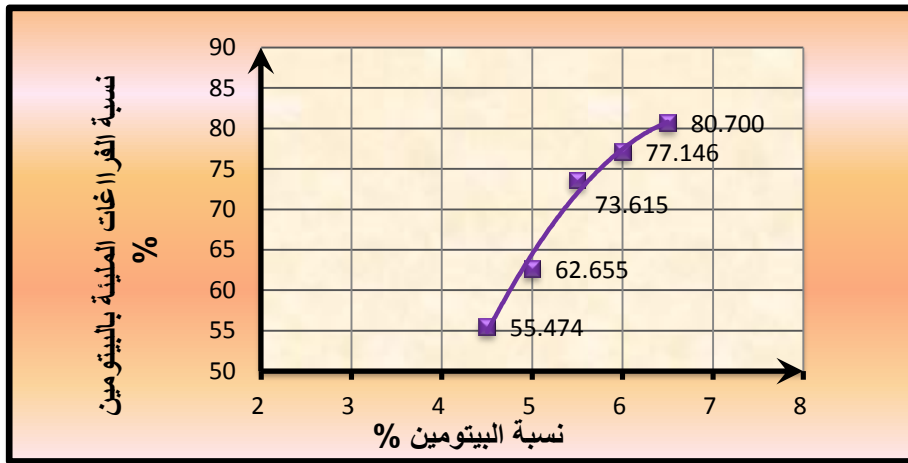
الشكل (5-41) منحنى يوضح تغير الثبات بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 15%



الشكل (5-42) منحنى يوضح تغير الانسياب بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 15%



الشكل (5-43) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 15%



الشكل (5-44) منحنى يوضح تغير نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين بتغير نسبة البيتومين المعدل بالمطاط المضاف بنسبة 15%

النسبة المتألية للبيتومين المعدل بالمطاط بنسبة 15% = 5.97

الخلاصة

عند المقارنة بين نتائج الخلطات غير المعدلة و المعدلة بالمطاط فيما يتعلق بالنسبة المثالية للبيثومين والثبات والانسياب الموافقين لها، نبين النتائج بالجدول(5-26).

الجدول(5-26) قيم الثبات والانسياب الموافقين للنسبة المثالية للبيثومين في الخلطات البيثومينية غير المعدلة والمعدلة بالمطاط.

الانسيابmm	الثبات Kg	النسبة المثالية للبيثومين%	الخلطة البيثومينية
3.99	1210.7	5.48	باستخدام بيثومين 60-70 غير المعدل
3.18	1423.6	5.47	باستخدام بيثومين معدل بالمطاط بنسبة 0.3%
3.74	1997.6	5.42	باستخدام بيثومين معدل بالمطاط بنسبة 0.5%
4.08	2504.4	6.13	باستخدام بيثومين معدل بالمطاط بنسبة 5%
3.51	2835.3	5.93	باستخدام بيثومين معدل بالمطاط بنسبة 10%
3.1	3227.7	5.97	باستخدام بيثومين معدل بالمطاط بنسبة 15%

نستنتج من الجدول(5-26): تناقصت النسبة المثالية للبيثومين% بشكل بسيط في بعض الخلطات المعدلة وزادت بشكل اكبر في خلطات أخرى، وكان معدل التناقص والتزايد للنسبة المثالية للبيثومين في الخلطات المعدلة بالمقارنة مع الخلطة غير المعدلة ((-0.18)، (-1.09)، (11.86)، (8.21)، (8.94)) بشكل مقابل لنسب المطاط (0.3-0.5-10-15)%.

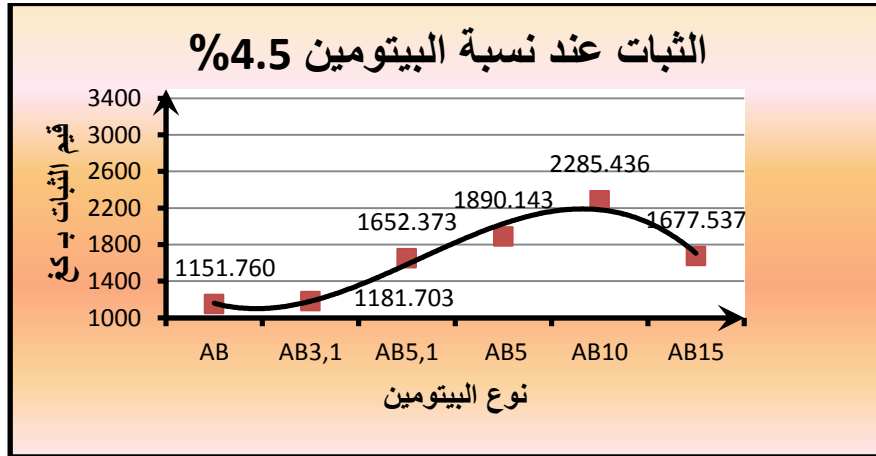
زاد الثبات للخلطات المعدلة جميعها بالمقارنة مع الخلطات غير المعدلة، وكان الثبات متزايد بشكل مترافق مع زيادة نسبة المطاط في الخلطات جميعها ، فكانت نسبة التزايد في قيم الثبات بالمقارنة مع الخلطة غير المعدلة (17.59 ، 64.99 ، 106.86 ، 134.19 ، 166.59)% وذلك لنسب المطاط (0.3-0.5-10-15)% على التوالي. وذلك من أجل النسبة المثالية للبيثومين في كل خلطة.

أما الانسياب للخلطات المعدلة تتناقص بالمقارنة مع الخلطات غير المعدلة ما عدا الانسياب عند نسبة المطاط 5% زاد وذلك عند القيمة المثالية للبيثومين في جميع الخلطات ، فكانت النسبة المئوية للتغير في الانسياب (20.3 ، 6.3 ، (+2.3) ، 12 ، 22.3)% بشكل مقابل لنسب المطاط (0.3-0.5-10-15)%.

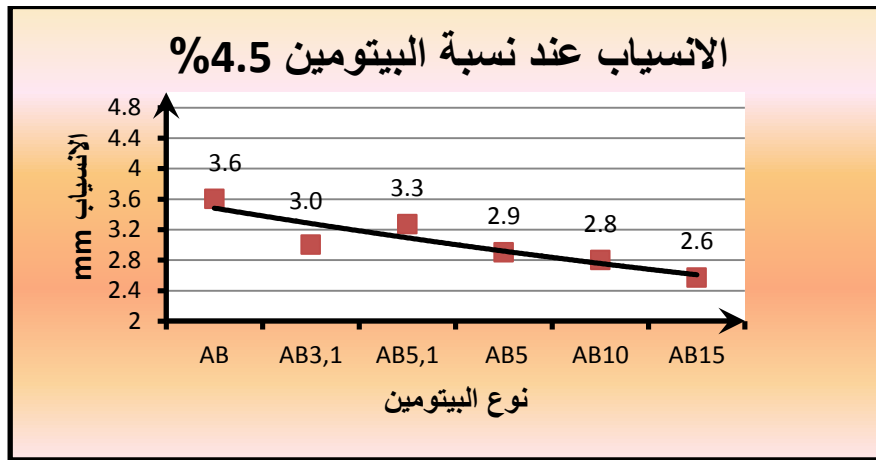
وبالتالي نوصي باستعمال نسبة المطاط 15% في الخلطات المعدلة لأنها أعطت ثبات أعلى وانسياب أقل بالمقارنة مع الخلطات الأخرى المعدلة وغير المعدلة.

5-3-5- الثبات والانسياب للخلطات البيتومينية عند كل نسبة بيتومين والنسب المختلفة لفتات المطاط.

1-5-3-5- الثبات والانسياب عند نسبة البيتومين 4.5%:



الشكل (5-45) منحنى يوضح الثبات للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 4.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط

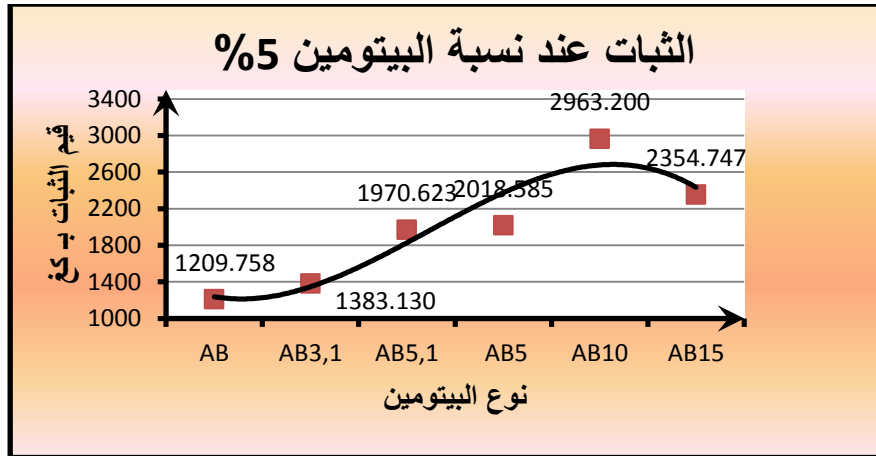


الشكل (5-46) منحنى يوضح الانسياب للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 4.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط

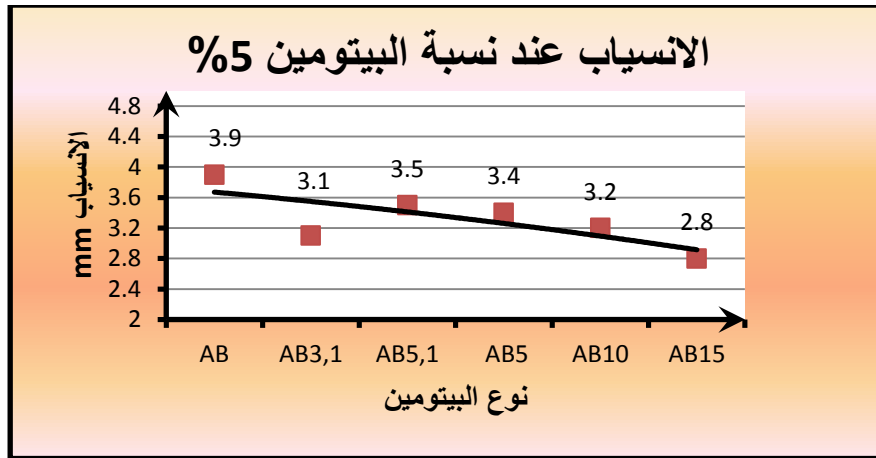
من أجل نسبة البيتومين 4.5% نلاحظ في الشكل (5-45) تزايد في قيمة الثبات للبيتومين المعدل بالمطاط عن البيتومين غير المعدل، وكانت نسبة الزيادة في الثبات للخلطات المعدلة عن الخلطة غير المعدلة (2.6، 43.46، 64.1، 98.4، 45.65%) المقابلة لأنواع الخلطات البيتومينية على التوالي (AB15-AB10-AB5- AB5,1- AB3,1) ونجد الثبات يزداد بشكل متوافق مع زيادة نسبة المطاط المضاف حتى قيمة معينة ليعود ويتناقص. وكانت أعلى نسبة للزيادة في الثبات 98.4% الموافقة للخلطة البيتومينية المعدلة بـ 10% مطاط.

ونلاحظ في الشكل(5-46) تناقص في قيمة الانسياب للبيتومين المعدل بالمطاط عن البيتومين غير المعدل، كان معدل التناقص مترافق مع زيادة نسبة المطاط المضاف. كانت نسبة التناقص في الانسياب للخلطات المعدلة عن الخلطة غير المعدلة (16.7 ، 9.1 ، 19.4 ، 22.2 ، 28.6)% المقابلة لأنواع الخلطات البيتومينية على التوالي (AB3,1- AB5,1- AB10-AB15)، وكانت أعلى نسبة للانخفاض في الانسياب 28.6% الموافقة للخلطة البيتومينية المعدلة بـ 15% مطاط.

5-3-5-2- الثبات والانسياب عند نسبة البيتومين 5%:



الشكل (5-47) منحنى يوضح الثبات للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 5% ونسب مختلفة لفتات المطاط



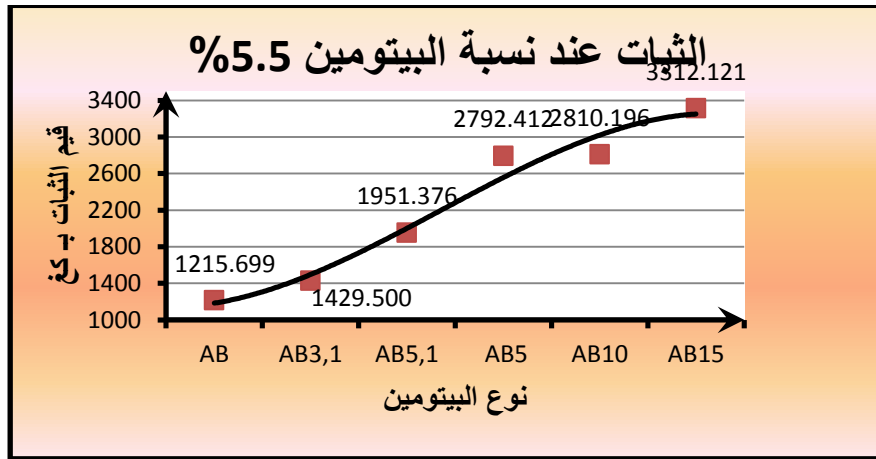
الشكل (5-48) منحنى يوضح الانسياب للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 5% ونسب مختلفة لفتات المطاط

من أجل نسبة البيتومين 5% نلاحظ في الشكل(5-47) تزايد في قيمة الثبات للبيتومين المعدل بالمطاط عن البيتومين غير المعدل، وكانت نسبة الزيادة في الثبات للخلطات المعدلة عن الخلطة غير المعدلة (14.3 ، 62.89 ، 66.56 ، 144.9 ، 94.65)% المقابلة لأنواع الخلطات على التوالي

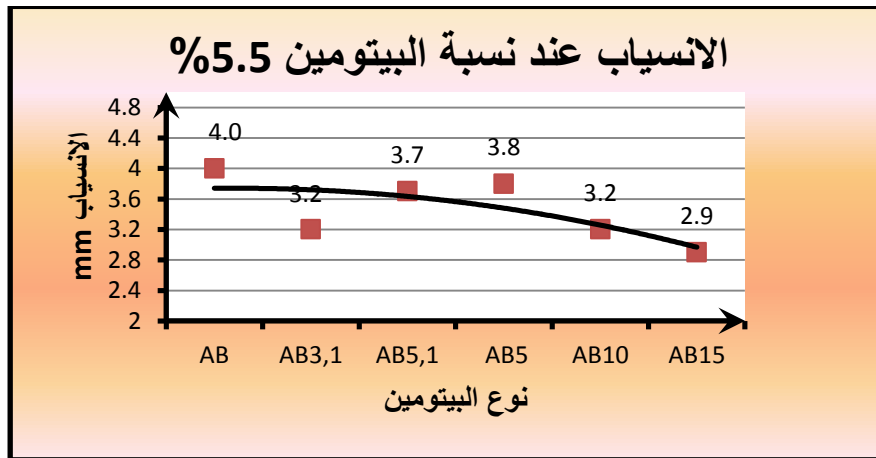
(AB15-AB10-AB5- AB5,1- AB3,1) كان الثبات يزداد بشكل مترافق مع زيادة نسبة المطاط المضاف حتى قيمة معينة ليعود ويتناقص مرة ثانية. كانت أعلى نسبة للزيادة في الثبات 144.9% الموافقة للخلطة البيتومينية المعدلة ب10% مطاط، كذلك نلاحظ في الشكل (5-48) تناقص في قيمة الانسياب للبيتومين المعدل بالمطاط عن البيتومين غير المعدل وكان معدل التناقص مترافق مع زيادة نسبة المطاط المضاف. كانت نسبة التناقص في الانسياب للخلطات المعدلة عن الخلطة غير المعدلة (20.5 ، 10.3 ، 12.8 ، 18 ، 28.2) % المقابلة لأنواع الخلطات البيتومينية على التوالي (AB15-AB10-AB5- (AB5,1 AB3,1

وكانت أعلى نسبة للانخفاض في الانسياب 28.20% الموافقة للخلطة البيتومينية المعدلة ب 15% مطاط.

5-3-3-5 - الثبات والانسياب عند نسبة البيتومين 5.5%:



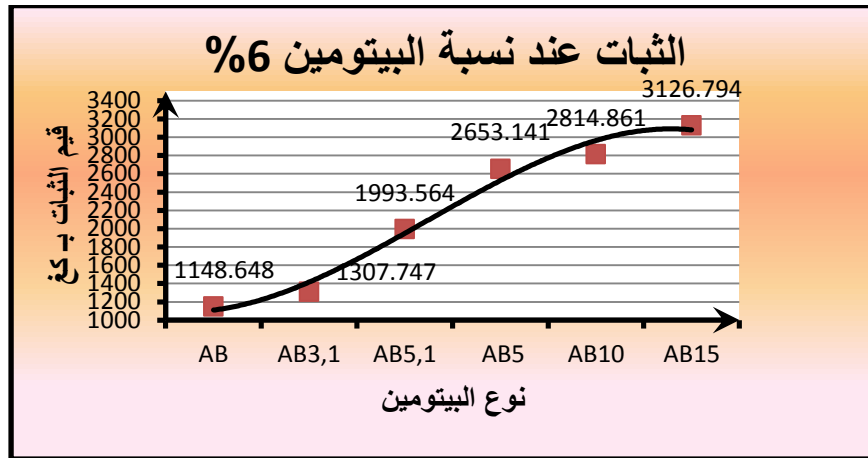
الشكل (5-49) منحنى يوضح الثبات للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 5.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط



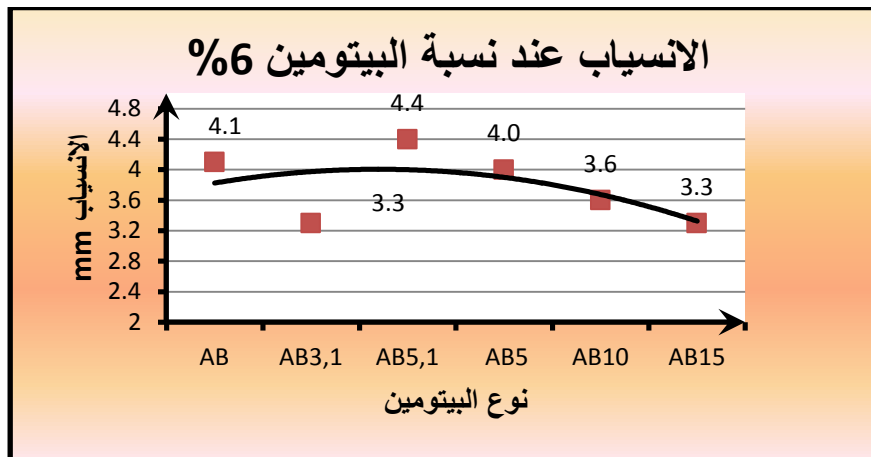
الشكل (5-50) منحنى يوضح الانسياب للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 5.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط

من أجل نسبة البيتومين 5.5 % نلاحظ في الشكل (5-49): تزايد في قيمة الثبات للبيتومين المعدل بالمطاط عن البيتومين غير المعدل، وكانت نسبة الزيادة في الثبات للخلطات المعدلة عن الخلطة غير المعدلة (172.45-131.16-129.7-60.5-17.59) % المقابلة لأنواع الخلطات على التوالي (AB15-AB10-AB5- AB5,1- AB3,1). كانت أعلى نسبة للزيادة في الثبات 172.45 % الموافقة للخلطة البيتومينية المعدلة ب15% مطاط، كذلك نلاحظ في الشكل (5-50) تناقص في قيمة الانسياب للبيتومين المعدل بالمطاط عن البيتومين غير المعدل، وكان معدل التناقص مترافق مع زيادة نسبة المطاط المضاف. وكانت نسبة التناقص في الانسياب للخلطات المعدلة عن الخلطة غير المعدلة (20 ، 7.5 ، 5 ، 20، 27.5) % المقابلة لأنواع الخلطات البيتومينية على التوالي (AB15-AB10-AB5- AB5,1- AB3,1). كانت أعلى نسبة للانخفاض في الانسياب 27.5 % الموافقة للخلطة المعدلة ب 15% مطاط.

5-3-5-4 - الثبات والانسياب عند نسبة البيتومين 6%:



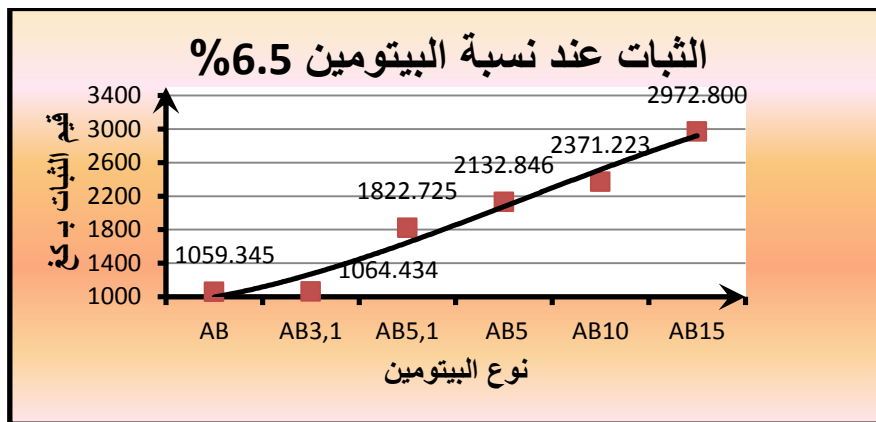
الشكل (5-51) منحنى يوضح الثبات للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 6% ونسب مختلفة لفتات المطاط



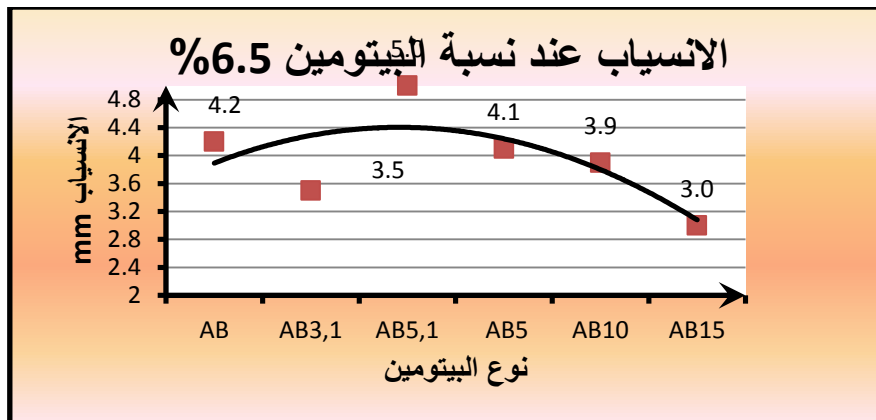
الشكل (5-52) منحنى يوضح الانسياب للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 6% ونسب مختلفة لفتات المطاط

من أجل نسبة البيتومين 6% نلاحظ في الشكل (5-51): تزايد في قيمة الثبات للبيتومين المعدل بالمطاط عن البيتومين غير المعدل، وكانت نسبة الزيادة في الثبات للخلطات المعدلة عن الخلطة غير المعدلة (13.9 ، 73.6 ، 131 ، 145.1 ، 172.2)% المقابلة لأنواع الخلطات على التوالي (AB15-AB10-AB5- AB3,1-AB5,1). كانت أعلى نسبة للزيادة في الثبات 156.2% الموافقة للخلطة البيتومينية المعدلة ب15% مطاط، كذلك نلاحظ في الشكل (5-52) تناقص في قيمة الانسياب للبيتومين المعدل بالمطاط عن البيتومين غير المعدل، وكان معدل التناقص مترافق مع زيادة نسبة المطاط المضاف. كانت نسبة التناقص في الانسياب للخلطات المعدلة عن الخلطة غير المعدلة (19.5 ، 12.5 ، 2.4 ، +7.3، 19.5)% المقابلة لأنواع الخلطات البيتومينية على التوالي (AB15-AB10-AB5- AB5,1- AB3,1). نلاحظ أنه من أجل نسبة المطاط المضافة 0.5% زاد الانسياب ولم يتناقص ، بينما كانت أعلى نسبة للانخفاض في الانسياب 19.5% الموافقة للخلطة البيتومينية المعدلة ب15% مطاط.

5-5-3-5- الثبات والانسياب عند نسبة البيتومين 6.5%:



الشكل (5-53) منحنى يوضح الثبات للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 6.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط



الشكل (5-54) منحنى يوضح الانسياب للخلطات البيتومينية عند نسبة البيتومين 6.5% ونسب مختلفة لفتات المطاط

من أجل نسبة البيتومين 6% نلاحظ في الشكل (5-53) تزايد في قيمة الثبات للبيتومين المعدل بالمطاط عن البيتومين غير المعدل، كانت نسبة الزيادة في الثبات للخلطات المعدلة عن الخلطة غير المعدلة (-0.48- 72.0-101.3-123.8-180.63)% المقابلة لأنواع الخلطات على التوالي (-AB5-AB10-AB15 AB3,1- AB5,1) كانت أعلى نسبة للزيادة في الثبات 180.63% الموافقة للخلطة البيتومينية المعدلة بـ 15% مطاط، كذلك نلاحظ في الشكل (5-54) تناقص في قيمة الانسياب للبيتومين المعدل بالمطاط عن البيتومين غير المعدل وكان معدل التناقص مترافق مع زيادة نسبة المطاط المضاف. وكانت نسبة التناقص في الانسياب للخلطات المعدلة عن الخلطة الغير معدلة (16.7 ، +19 ، 2.4 ، 7.1 ، 28.6)% المقابلة لأنواع الخلطات البيتومينية على التوالي (AB15-AB10-AB5- AB5,1- AB3,1). نلاحظ أنه من أجل نسبة المطاط المضافة 0.5% زاد الانسياب ولم يتناقص ، وكانت أعلى نسبة للانخفاض في الانسياب 28.6% الموافقة للخلطة البيتومينية المعدلة بـ 15% مطاط.

الخلاصة:

وجد أن قيم الثبات في جميع الخلطات المعدلة زادت عن قيم الثبات للخلطات غير المعدلة وعند جميع نسب البيتومين، وكانت محققة لمواصفات تعديل الخلطات البيتومينية بالمطاط [27،28]. وأعطت الخلطات البيتومينية المعدلة بنسبة 10% مطاط، أعلى قيمة للثبات عند نسبي البيتومين (4.5-5) %، أما الخلطات البيتومينية المعدلة بـ 15% مطاط، أعطت أعلى قيمة للثبات عند نسب البيتومين (5.5-6-6.5)%، قد يعود السبب إلى نسبة البيتومين والمطاط في الخلطة وتأثيرهما على الثبات.

أما قيم الانسياب تناقصت في جميع الخلطات المعدلة بالمقارنة مع قيم الانسياب للخلطات غير المعدلة ومن أجل جميع نسب البيتومين، باستثناء الخلطة المعدلة بـ 0.5% مطاط تزايد فيها الانسياب بالمقارنة مع الخلطة غير المعدلة وذلك فقط عند نسبي البيتومين (6 ، 6.5) % ولكنه بقي ضمن حدود المواصفات [27]، والخلطات البيتومينية المعدلة بـ 15% مطاط أعطت أعلى نسبة للتناقص في الانسياب وذلك من أجل جميع نسب البيتومين.

5-3-6- نتائج قياس الثبات والانسياب للمرة الثانية لعينات مارشال في الخلطات المعدلة بالمطاط بالنسب و(0.5-5-10-15)% :

قمنا بقياس الثبات والانسياب مرة ثانية للعينات في الخلطات المعدلة بنسب المطاط (0.5-5-10-15)% (نقص الثبات اللحظي) وذلك بعد تدويرها في جهاز مارشال بزاوية 90 درجة لمعرفة الثبات المتبقي كمحاكاة لديمومة أطول للخلطات البيتومينية ثم تمت مقارنة النتائج:

- مع قيم الثبات والانسياب في القياس الاول للعينات ذاتها للخلطات المعدلة عند نفس نسب المطاط.
- مع قيم الثبات والانسياب للخلطات غير المعدلة.

5-3-6-1- قياس الثبات والانسياب للمرة الثانية لعينات مارشال في الخلطات المعدلة بالمطاط بالنسبة 0.5%

الجدول (5-27) القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 0.5% مطاط

القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 0.5% مطاط				
الانسياب الثاني /الانسياب الأول	الثبات الثاني /الثبات الأول	الانسياب	الثبات	
			المقاس	المصحح
2.25	0.573	6.3	925	888
1.50	0.621	6.3	952	964.376
2.11	0.532	5.9	975	987.675
1.89	0.573	6.167	950.67	946.68
2.44	0.700	7.6	1400	1418.2
2.00	0.615	7.2	1150	1164.95
1.73	0.671	6.4	1320	1337.16
2.03	0.663	7.067	1290	1306.77
1.97	0.571	6.3	1050	1063.65
1.74	0.542	7.3	1075	1088.975
1.68	0.533	6.4	1043	1056.559
1.79	0.548	6.667	1056	1069.73
1.52	0.660	7.3	1314	1225.962
1.53	0.682	7.8	1320	1337.16
1.71	0.622	5.8	1400	1344
1.57	0.653	7.000	1344.67	1302.37
1.56	0.639	6.7	1220	1235.86
1.48	0.598	6.5	1107	1121.391
1.26	0.580	7.8	950	962.35
1.41	0.607	7.000	1092.33	1106.53

تناقصت قيم الثبات وزادت قيم الانسياب للعينات في القياس الثاني عن قيم الثبات والانسياب في القياس الأول وذلك نتيجة تشوه العينة بعد إجراء القياس الأول للثبات و الانسياب. وكانت النسبة المئوية للتناقص في الثبات هي (33.7، 42.7، 45.2، 34.7، 39.3)% وللزيادة في الانسياب (78.6، 103.5، 88.8، 57.1، 40.9)% وذلك لكل من نسب البيتومين (4.5، 5، 5.5، 6، 6.5)% على التوالي

أما بمقارنة نتائج القياس الثاني للعينات مع نتائج القياس للعينات مع البيتومين الغير معدل نجد أن الثبات تراوح بين زيادة ونقصان وذلك حسب نسبة البيتومين فكانت النسبة المئوية (17.8، 12، 13.4، 4.45)، وزاد الانسياب لجميع العينات وكانت النسب المئوية للزيادة (71.3، 82.8، 66.7، 71.3، 68) الموافقة لنسب البيتومين (4.5، 5، 5.5، 6، 6.5)% على التوالي.

5-3-6-2- قياس الثبات والانسياب للمرة الثانية لعينات مارشال في الخلطات المعدلة بالمطاط بالنسبة (5) %

الجدول (5-28) القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 5% مطاط

القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 5% مطاط					
الانسياب الثاني / الانسياب الأول	ثبات الثاني / الثبات الأول	الانسياب	الثبات الثاني		
			المصحح	المقاس	
1.548	0.773	4.8	1316.6	1450	
1.750	0.713	4.9	1348.2	1400	
1.724	0.787	5	1635.308	1801	
1.670	0.758	4.900	1433.37	1550.33	
1.893	0.766	5.3	1407.4	1550	
1.140	0.689	4.9	1370.2	1550	
1.563	0.669	5	1492.8	1600	
1.476	0.705	5.100	1423.47	1566.67	
1.179	0.552	4.6	1492.8	1600	
1.368	0.568	5.2	1586.1	1700	
1.632	0.567	6.2	1632	1700	
1.391	0.562	5.333	1570.30	1666.67	
1.553	0.598	5.9	1492.8	1600	
1.875	0.556	6	1399.5	1500	
1.176	0.507	6	1492.8	1600	
1.479	0.551	6.000	1461.70	1566.67	
1.818	0.692	6	1281.8	1450	
1.341	0.643	5.9	1446.15	1550	
1.333	0.649	6	1492.8	1600	
1.467	0.660	5.970	1406.92	1533.33	

تناقصت قيم الثبات وزادت قيم الانسياب للعينات في القياس الثاني عن قيم الثبات والانسياب في القياس الأول وذلك نتيجة تشوه العينة بعد إجراء القياس الأول للثبات و الانسياب. وكانت النسبة المئوية للتناقص في الثبات هي (24.2، 29.5 ، 43.8 ، 44.9 ، 34)% وللزيادة في الانسياب (67 ، 47.6 ، 39.1 ، 47.9، 46.7) % وذلك لكل من نسب البيتومين (4.5 ، 5 ، 5.5 ، 6 ، 6.5)%على التوالي

أما بمقارنة نتائج القياس الثاني للعينات مع نتائج القياس للعينات مع البيتومين الغير معدل نجد أن الثبات ازداد لجميع العينات فكانت النسبة المئوية للزيادة (24.5، 17.7 ، 29.2 ، 27.3 ، 32.8) ، وزاد الانسياب لجميع العينات وكانت النسب المئوية للزيادة (36.1، 31 ، 33.3 ، 46.7 ، 43.2) الموافقة لنسب البيتومين (4.5 ، 5 ، 5.5 ، 6 ، 6.5)%على التوالي.

5-3-6-3- قياس الثبات والانسياب للمرة الثانية لعينات مارشال في الخلطات المعدلة بالمطاط بالنسبة (10) %

الجدول (5-29) القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 10% مطاط

القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 10% مطاط				
الانسياب الثاني /الانسياب الأول	الثبات الثاني /الثبات الأول	الانسياب	الثبات	
			المصحح	المقاس
2.15	0.696	5.8	1443.72	1590
2.00	0.708	5.8	1718.844	1893
1.48	0.676	4.3	1589	1750
1.87	0.693	5.300	1583.855	1744.333
1.93	0.586	5.6	1766.4	1840
1.93	0.568	5.6	1776	1850
1.26	0.635	4.9	1747.2	1820
1.66	0.595	5.367	1763.200	1836.667
1.64	0.631	5.9	1586.1	1700
1.63	0.590	4.9	1772.7	1900
2.14	0.570	6.2	1660.74	1780
1.79	0.595	5.667	1673.180	1793.333
1.51	0.679	5.9	1772.7	1900
1.54	0.622	6	1772.7	1900
2.00	0.563	5.8	1679.4	1800
1.65	0.619	5.900	1741.600	1866.667
1.74	0.646	6.8	1671.45	1650
2.05	0.726	7.8	1662.606	1782
1.49	0.667	5.8	1491.07	1790
1.76	0.678	6.800	1608.375	1740.667

تتناقصت قيم الثبات وزادت قيم الانسياب للعينات في القياس الثاني عن قيم الثبات والانسياب في القياس الأول وذلك نتيجة تشوه العينة بعد إجراء القياس الأول للثبات و الانسياب. وكانت النسبة المئوية للتناقص في الثبات هي (30.7، 40.5، 40.5، 38.1، 32.1)% وللزيادة في الانسياب (87.1 ، 66 ، 78.9 ، 65.4 ، 75.9) % وذلك لكل من نسب البيتومين (4.5 ، 5 ، 5.5 ، 6 ، 6.5)% على التوالي.

أما بمقارنة نتائج القياس الثاني للعينات مع نتائج القياس للعينات مع البيتومين الغير معدل نجد أن الثبات زاد لجميع العينات وكانت النسبة المئوية للزيادة (37.5، 45.7 ، 37.6 ، 51.6 ، 51.8) ، وزاد الانسياب لجميع العينات وكانت النسب المئوية للزيادة (47.2 ، 38.8 ، 41.7، 45.1، 63.2) الموافقة لنسب البيتومين (4.5 ، 5 ، 5.5 ، 6 ، 6.5)% على التوالي.

5-3-6-4- قياس الثبات والانسياب للمرة الثانية لعينات مارشال في الخلطات المعدلة بالمطاط بالنسبة (15) %

الجدول (5-30) القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 15% مطاط

القياس الثاني للثبات والانسياب للخلطات المعدلة بنسبة 15% مطاط				
الانسياب الثاني /الانسياب الأول	الثبات الثاني /الثبات الأول	الانسياب	الثبات الثاني 15%	
			المقاس	المصحح
2.308	0.703	6	1130	998.92
1.714	0.720	4.8	1422	1257.048
2.435	0.806	5.6	1700	1502.8
2.130	0.747	5.467	1417.33	1252.92
2.111	0.763	5.7	1922	1745.176
2.077	0.739	5.4	1895	1720.66
1.733	0.742	5.2	2000	1816
1.964	0.748	5.433	1939.00	1760.61
1.641	0.685	6.4	2200	1997.6
3.045	0.564	6.7	2000	1866
2.680	0.528	6.7	2100	1959.3
2.302	0.586	6.600	2100.00	1940.97
1.472	0.727	5.3	2300	2145.9
1.853	0.626	6.3	2150	2005.95
2.034	0.653	5.9	2257	2105.781
1.768	0.667	5.800	2235.67	2085.88
2.000	0.662	5.8	2140	2054.4
2.833	0.715	6.8	2200	2112
2.158	0.712	8.2	2120	2035.2
2.286	0.695	6.933	2153.33	2067.20

تناقصت قيم الثبات وزادت قيم الانسياب للعينات في القياس الثاني عن قيم الثبات والانسياب في القياس الأول وذلك نتيجة تشوه العينة بعد إجراء القياس الأول للثبات و الانسياب. وكانت النسبة المئوية للتناقص في الثبات هي (25.3 ، 25.2 ، 41.4 ، 33.3 ، 30.5)% وللزيادة في الانسياب (113، 96.4 ، 130.2 ، 76.8 ، 128.6) % وذلك لكل من نسب البيتومين (4.5 ، 5 ، 5.5 ، 6 ، 6.5)%على التوالي.

أما بمقارنة نتائج القياس الثاني للعينات مع نتائج القياس للعينات مع البيتومين الغير معدل نجد أن الثبات زاد لجميع العينات فكانت النسبة المئوية للزيادة (8.8 ، 45.5 ، 59.7 ، 81.6 ، 95.1) ، وزاد الانسياب لجميع العينات وكانت النسب المئوية للزيادة (51.9 ، 40.5 ، 65 ، 43.4 ، 66.4) الموافقة لنسب البيتومين (4.5 ، 5 ، 5.5 ، 6 ، 6.5)%على التوالي.

الخلاصة

نلاحظ مما سبق أن الثبات عند إجراء القياس الثاني كان أقل من الثبات في القياس الأول للعينات المعدلة ولكنه كان أكبر وفي جميع العينات من الثبات في الخلطات غير المعدلة الأمر الذي يشجع على تعديل الخلطات بالمطاط.

5-4-الاستنتاجات

1. نلاحظ في الخلطات البيتومينية المعدلة بالمطاط المدور من إطارات السيارات تحسناً في قيم الثبات وانخفاضاً ملحوظاً في قيم الانسياب و هذا يعكس بشكل ايجابي وجيد على أداء أفضل وديمومة أطول للخلطات البيتومينية.
2. نجد أن قيم الثبات في جميع الخلطات المعدلة زادت عن قيم الثبات للخلطات غير المعدلة وعند جميع نسب البيتومين. وأعطت الخلطات البيتومينية المعدلة بنسبة 10% مطاط، أعلى قيمة للثبات عند نسبي البيتومين (4.5-5) %، أما الخلطات البيتومينية المعدلة ب15% مطاط أعطت أعلى قيمة للثبات عند نسب البيتومين (5.5-6-6.5) %.
3. تناقصت قيم الانسياب في جميع الخلطات المعدلة بالمقارنة مع قيم الانسياب للخلطات غير المعدلة ومن أجل جميع نسب البيتومين، باستثناء الخلطة المعدلة ب0.5% مطاط ، تزايد فيها الانسياب بالمقارنة مع الخلطة غير المعدلة وذلك فقط عند نسبي البيتومين (6 ، 6.5) %، الخلطات البيتومينية المعدلة ب15% مطاط أعطت أعلى نسبة للتناقص في الانسياب وذلك من اجل جميع نسب البيتومين.
4. نلاحظ أن التحسن في قيم الثبات والنقصان في قيم الانسياب عند إضافة المطاط للخلطة البيتومينية كان متوافقاً مع نتائج أبحاث عديدة ومتنوعة تتناول موضوع إضافة المطاط المدور للخلطات البيتومينية .
5. اختلفت النسبة المثالية للبيتومين في الخلطات المعدلة بالمطاط ما بين زيادة ونقصان عن النسبة المثالية للبيتومين في الخلطات غير المعدلة، فتناقصت النسبة المثالية للبيتومين بشكل بسيط من أجل الخلطات المعدلة ب(0.3-0.5)% مطاط، وزادت من أجل الخلطات المعدلة ب (5-10-15)% مطاط، فكانت النسبة المثالية للبيتومين في الخلطة غير المعدلة 5.48%، أما النسبة المثالية للبيتومين في الخلطات المعدلة بالنسب (0.3-0.5-10-15)% كانت (5.42-5.47 - 6.13-5.93-5.97) % على التوالي .
6. كان معدل التناقص والتزايد للنسبة المثالية للبيتومين في الخلطات المعدلة بالمقارنة مع الخلطة غير المعدلة ((-0.18)-(-1.09)-(11.86)-(8.21)-(8.94)) بشكل مقابل لنسب المطاط (0.3-0.5-10-15) %.
7. عند مقارنة الثبات والانسياب الموافق للنسبة المثالية للبيتومين في الخلطات المعدلة وغير المعدلة، نجد تزايد الثبات وتناقص الانسياب بشكل عام في الخلطات المعدلة جميعها بالمقارنة مع الخلطات

- غير المعدلة. وكانت نسبة التزايد في قيم الثبات للخلطات المعدلة بالمقارنة مع الخلطات غير المعدلة (17.59 ، 64.99 ، 106.86 ، 134.19 ، 166.59) % ، وكانت النسبة المئوية للتغير في الانسياب للخلطات المعدلة بالمقارنة مع الخلطات غير المعدلة (20.3 ، 6.3 ، +2.3) ، 12 ، (22.3) % بشكل مقابل لنسب المطاط (0.3-0.5-10-15) %.
8. تتميز الخلطات البيتومينية المصنوعة من البيتومين AB ودرجة غرز (60-70) بخواص جيدة وقيم ثبات وانسياب جيدة.
9. نلاحظ أن قيم الثبات في القياس الثاني كانت أقل من قيم الثبات في القياس الأول للعينات المعدلة ولكنها كانت أكبر وفي جميع العينات من قيم الثبات في الخلطات غير المعدلة، الأمر الذي يشجع على تعديل الخلطات بالمطاط. ولكن بالمقابل أيضاً زاد الانسياب في القياس الثاني لجميع العينات عن قيم الانسياب في القياس الأول وعن قيمه في الخلطات غير المعدلة.
10. تتناقص درجة الغرز و الممطولية وتزداد نقطة التميع للبيتومين المعدل بالمطاط بالمقارنة مع البيتومين غير المعدل ، وكان التناقص لدرجة الغرز والممطولية والزيادة لنقطة التميع مترافق بشكل تدريجي مع زيادة نسبة المطاط المضاف.
11. نلاحظ من خلال استخدام المطاط بالنسب (5-10-15) % وزناً من البيتومين أن قيمة الغرز بدرجة حرارة 25°C انخفضت بنسبة (32 و 43 و 52) % على التوالي لـ (5-10-15) % مطاط ليتغير مجال درجة الغرز من المجال (60-70) للبيتومين غير المعدل إلى المجالين (30-40) و (40-50) للبيتومين المعدل بالمطاط وهذا يظهر القساوة الكبيرة التي يكتسبها البيتومين بإضافة المطاط.
12. نلاحظ من خلال استخدام المطاط بالنسب (0.2-0.3-0.4) % وزناً من البيتومين وفق التركيب الحبي الثاني لفتات المطاط أن قيمة الغرز بدرجة حرارة 25°C بقيت ضمن مجال الغرز (60-70) للبيتومين المعدل أما النسبة 0.5% انخفضت فيها قيمة الغرز إلى المجال (50-60).
13. عند المقارنة بين التركيبين الحبيين لفتات المطاط وعند إضافة النسب (0.2-0.3-0.4-0.5) % نجد أن قيم درجة الغرز والاستطالة ونقطة التميع كانت متقاربة .
14. من النتائج نجد أن نسبة المطاط المضافة لها تأثير أكبر من التركيب الحبي المختلف للمطاط وذلك في تعديل خواص البيتومين.

5-5- التوصيات:

- 1- التأكيد على استخدام البيتومين المعدل بالمطاط المدور في صناعة الخلطات البيتومينية في سورية لما لها من فوائد على ديمومة الخلائط وتقليل صيانتها وفوائد بيئية نتيجة استخدام الإطارات المطاطية المدورة .
- 2- بالاستناد إلى نتائج البحث نوصي باستعمال نسبة المطاط 15% في الخلطات المعدلة لأنها أعطت ثبات أعلى وانسياب أقل بالمقارنة مع الخلطات الأخرى المعدلة وغير المعدلة.
- 3- ضرورة البحث في حدود نسب المطاط المضافة في التعديل ومحاولة إيجاد النسب المثلى للمطاط وفق أنواع البيتومين المختلفة .
- 4- ضرورة البحث في التراكيب الحبية المختلفة لفتات المطاط المضاف في التعديل وإجراء دراسات على الطريقة الجافة للمطاط المضاف للخلطات البيتومينية.
- 5- إجراء الدراسات على استخدام المطاط في تعديل الخلطات البيتومينية كوسيلة للحد من انبعاثات الضجيج على الطرق.
- 6- ضرورة إجراء الأبحاث والدراسات على تعديل البيتومين والخلطات البيتومينية وفق طرق الاختبار الحديثة (طريقة السوبر بيف).
- 7- اقتراح وجود منهجية مناسبة لتجميع نفايات الإطارات المطاطية ونقلها إلى مكبات نظامية وخاصة.
- 8- البحث في إمكانية وجود معامل خاصة تعمل على إعادة تدوير نفايات الإطارات المطاطية حسب الغرض من استخدامها .
- 9- البحث في إمكانية إيجاد سوق دائم لمنتجي فتات الإطارات المطاطية وبالتالي تطوير التكنولوجيا الجديدة المستفيدة من هذه المواد.

Modified bituminous asphalt mixtures used in the province of Lattakia with recycled rubber from car tires

Abstract

the aim of this research to study the possibility of modification of asphalt mixtures used in the city of Lattakia from recycled rubber tires, rubber consuming to improved its performance which research showed that many around the world on the feasibility of their use.

The experimental program included the test for this search using bitumen (60-70) and the output of recycled rubber tire damaged caused by tourist vehicles and under the age of 5 years, knowing that we used two different aggregate grading of diameters granulated rubber crumbs and different ratios grains (0.2-0.3-0.4-0.5-5-10-15)% of bitumen.

crumbs according to specific parameters and conducted a series of experiments to determine the properties of recycled rubber modified bitumen and unmodified bituminous mixtures were designed when different ratios from rubber additives and processed the results of experiments using the Excel program.

Experiments showed that with the increase in the proportion of rubber the penetration and ductility decreased and softening point rise , showed rubber-modified asphalt mixtures increase in stability and decrease in the flow rate from the mixture of others.

Keywords:

Modified crumb rubber, , rubber bitumen binder, Rubber added bituminous mixtures, classical experiments.

المراجع العربية والأجنبية

1-SHARP-A-341.(DC1993) *Fundamental Properties of Asphalt –Aggregate Interaction Including Adhesion And Absorption*. Highway Research Program National Research Council Washington.

2- California Department of Transportation.(2003)*ASPHALT RUBBER USAGE GUIDE* , ,January, 2003.

3- YILDIRIM , Y. *Polymer modified asphalt binders*. Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 1, January 2007, Pages 66-72.

4- د.عاصي ، مروان . هندسة طبقات الرصف . جامعة حلب . سوريا ، 2003

5-NEJAD ,F. M ؛ AGHAJANI , P ؛ MODARRES , A ؛ FIROOZIFAR , H . *Investigating the properties of crumb rubber modified bitumen using classic and SHRP testing methods*. Construction and Building Materials ,Volume 26, Issue1, January 2012, Pages 481–489.

6- د.سلطان ، بسام .ديمومة الخلطات البيتومينية المستخدمة في بلاد المناطق الحارة .جامعة وارسو، 1991، مترجم أطروحة دكتوراه.

7-Serjy ,N ؛ Bill .*Recyclability of Moisture Damaged Flexible Pavements*. Civil Engineering, Volume5, Issue4 , November 1993.

8- م . قرحالي ، عقبة . المساهمة في الحد من تأثير المناخ الحار على ديمومة الرابط الإسفلتي و الخلطات الإسفلتية في مرحلة الاستخدام . جامعة تشرين ، رسالة ماجستير، 2012

9-MOHAMMOD , I. A. *Performance Modification of Saudi Asphalt Binders Using SABIC Polymers*. King Fahd University of Petroleum &Minerals ,Master in Civil Engineering , Saudi Arabic ,November2002.

10-SENGOZ , B ؛ ISIKYAKAR , G . *Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen* . Construction and Building Materials 22 (2008) 1897–1905.

11-SEO KIM , H ؛ GEIGER , A؛ AMIRKHANIAN, S ؛ SOON PARK , T؛WOO KIM , k. *effects of asphalt ratios on properties of crumb rubber modified asphalts* ,6th ICPT, Sapporo, Japan, July 2008.

12- مراحل تفتيت المطاط الناتج من الإطارات المطاطية التالفة WWW.Jenan-sa.com

13- LIU,S ; CAO,W ; FANG,J ; SHANG.,S .*Variance analysis and performance evaluation of different crumb rubber modified (CRM) asphalt* .Construction and Building Materials, Volume 23, Issue 7, July 2009, Pages 2701–27084.

14- Ecopath Industries. *Reduction of Road Noise with Crumb Rubber Modified (CRM) Asphalt*. International Road Federation Innovative Practices for Greener Roads.

15-*Benefits of Rubberized asphalt*. CLEMSON Department of civil engineering.

16-Hans-Günther Wiehler u.a. *Strassen Bau , Konstruktion und Ausführung* +verlog für Bauwesen-Berlin 1995.

17- PAJE, S.E ; BUENO,M ; TERAN,F ; MIRO,R ; PEREZ,F ; MARTINEZ,A.H. *Acoustic field evaluation of asphalt mixtures with crumb rubber*. *Applied Acoustics*, Volume 71, Issue 6 , June 2010, Pages 578–582.

18- WANG,H ; YOU,Z ; BEALE,G ; HAO,P. *Laboratory evaluation on high temperature viscosity and low temperature stiffness of asphalt binder with high percent scrap tire rubber* . Construction and Building Materials, Volume 26, Issue 1, January 2012, Pages 583–590.

19- MASHAAN, N. ; Ali, A. ; ABDELAZIZ, M. R. K. M . *Effect of crumb rubber concentration on the physical and rheological properties of rubberised bitumen binders*. International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(4),2011, pp. 684-690 .

20-RAHMAN,M. *CHARACTERISATION OF DRY PROCESS CRUMB RUBBERMODIFIED ASPHALT MIXTURES*. University of Nottingham, December 2004.

21-WONG,C.C ; WONG,W.G. *Effect of crumb rubber modifiers on high temperature susceptibility of wearing course mixtures*. Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 8 , August 2007, Pages 1741–1745.

22-XIAO,F ; AMIRKHANIAN ,S ; SHEN,G ; PUTMAN ,B . *Influences of Crumb Rubber Size and Type on Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Mixtures*. Construction and Building Materials, Volume 23, Issue 2, February 2009, Pages 1028–1034.

23- KOKA , B . V ; ÇOLAKB , H. *Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt*. Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 8, August 2011, Pages 3204–3212.

24-XIAO,F ؛ AMIRKHANIAN ,S ؛ PUTMAN ,B ؛ JUANG,H . *Feasibility of Superpave gyratory compaction of rubberized asphalt concrete mixtures containing reclaimed asphalt pavement*. Construction and Building Materials, Volume 27, Issue 1, February 2012, Pages 432–438.

25- مديرية النقل والمواصلات باللاذقية (2014). *إحصاءات عن أعداد العربات المسجلة* . محافظة اللاذقية

26- الشروط والمواصفات الفنية العامة للطرق والجسور، وزارة المواصلات ، دمشق ، سورية .

27- Cheng, D ؛ Hicks, G. *Summary of Rubber Modified Asphalt Product Specifications around the World*. October 3, 2012.

28-Sangita ؛ Tabrez Alam Khan b ؛ Sabina b ؛ D.K. Sharma. *Effect of waste polymer modifier on the properties of bituminous concrete mixes*. Construction and Building Materials .Volume 25, 2011, Pages 3841–3848.

29- المواصفات القياسية لمواد بناء الطرق، الصادرة عن المؤسسة العامة للمواصلات الطرقيه، سورية، دمشق، 2002.

30-Jeff Smith .*Asphalt Rubber & RAC MATERIALS and MIX DESIGN*. International Surfacing Systems.

31-Rubberized Asphalt Concrete. *Design and Specification Guide*. Technology Transfer Series.

الملحق A

مواصفات الرابط البيتوميني المعدل بالمطاط
والخلاط البيتومينية المعدلة بالمطاط.

مواصفات الرابط البيتوميني المعدل بالمطاط والخلائط البيتومينية المعدلة بالمطاط.

1- أميركا الشمالية، الصين:

1-1- مواصفات فتات المطاط (Crumb Rubber) في بعض الوكالات المختلفة ضمن أميركا الشمالية و الصين : تظهر في الجدول (1) الذي يبين مصدر فتات المطاط المستخدم، الطريقة التي تم تفتيته بها ، والتدرج الحبي لفتات المطاط ، الإضافات المستخدمة معه والتي يتم إضافتها عند استخدامه في التعديل .

الجدول (1-A) مقارنة لمواصفات فتات المطاط ضمن أميركا الشمالية والصين.

ملاحظات أخرى	الإضافات	التدرج الحبي للمطاط	مصدر المطاط	الوكالات
الوزن النوعي للمطاط 1.2-1.1	لا يوجد إضافات	التركيب الحبي المنخل 8:(100) المنخل 10:(100) المنخل 16:(80-100) المنخل 30:(40-60) المنخل 50:(5-15) المنخل 100:(0-10)	-إطارات سيارات الركاب فقط غير المعالجة بالكبريت . -طريقة الطحن في حرارة الجو العادية أو بالتبريد العالي أو الاثنين معاً. يجب أن يكون المطاط جاف.	اونتاريو كندا
الوزن النوعي للمطاط 1.2-1.1	يجب إضافة 3% من كربونات الكالسيوم أو من البودرة.	- يجب أن لا يتجاوز طول جزيئات المطاط 4.75 mm - تدرج مطاط الإطارات التالفة. المنخل 8:(100) المنخل 10:(98-100)	- الإطارات التالفة و المطاط الطبيعي. - طريقة الطحن في حرارة الجو العادية.	كاليفورنيا (كالترانس)

		<p>المنخل 16 (45-75) المنخل 30 (2-20) المنخل 50 (0-6) المنخل 100 (0-2) المنخل 200 (0) تدرج المطاط الطبيعي المنخل 8 (100) المنخل 10 (100) المنخل 16 (95-100) المنخل 30 (35-85) المنخل 50 (10-30) المنخل 100 (0-4) المنخل 200 (0-1)</p>		
الوزن النوعي للمطاط 0.05±1.05	يجب إضافة كربونات الكالسيوم بنسبة تصل إلى 4% من وزن المطاط	<p>يوجد تركيبين حبيين: التدرج A: المنخل 8 (100) المنخل 10 (95-100) المنخل 16 (0-10) التدرج B: المنخل 10 (100) المنخل 16 (65-100) المنخل 30 (20-100) المنخل 50 (0-45) المنخل 200 (0-5)</p>	-الإطارات التالفة أو الإطارات المفتتة من السيارات، الشاحنات ، أو أي معدات أخرى موجودة في الولايات الأمريكية المتحدة.	أريزونا
		<p>يوجد ثلاث تراكيب حبية: التدرج A: المنخل 8 (100) المنخل 10 (95-100)</p>	-إطارات السيارات أو الشاحنات. - طريقة الطحن في حرارة الجو العادية.	تكساس

		<p>المنخل 50:(0-10) التدرج B: المنخل 10:(100) المنخل 16:(70-100) المنخل 30:(25-60) المنخل 200:(0-5) التدرج C: المنخل 16:(65-100) المنخل 30:(90-100) المنخل 40:(45-100)</p>	<p>يجب أن يكون المطاط خالي من الشوائب. لا يسبب رغوة عند إضافته إلى الرابط البيتوميني.</p>	
<p>فلوريدا</p>	<p>- طريقة الطحن في حرارة الجو العادية أو أعلى. -المطاط يجب أن يكون جاف بما فيه الكفاية وأن يكون خالي من الشوائب.</p>	<p>يوجد ثلاث تراكيب حبية: التدرج A: المنخل 50:(100) المنخل 100:(50-80) التدرج B: المنخل 30:(100) المنخل 50:(40-60) التدرج C: المنخل 16:(100) المنخل 30:(70-100) المنخل 50:(20-40)</p>	<p>بودرة بنسبة تصل الى 4% من وزن المطاط. أو مادة أخرى تمنع الالتصاق وتكتل الجزيئات المطاطية.</p>	<p>-حد أعلى أسيتون 25%. -هيدروكربون (40-55)%. حد أعلى رماد 8%. -نسبة الكربون الأسود (20-40). -مطاط طبيعي (16-45)%.</p>
<p>نيوجيرسي</p>	<p>- فتات المطاط المطحون بطريقة الطحن في حرارة الجو</p>	<p>المنخل 8:(100) المنخل 16:(65-100) المنخل 30:(20-100)</p>	<p>إضافة كربونات الكالسيوم</p>	

	بنسبة تصل إلى 4% وذلك لمنع التصاق جزيئات المطاط مع بعض.	المنخل 50:(0-45) المنخل 200:(0-5)	يجب أن يكون خالي من الأسلاك والمواد الشائبة الأخرى. -الإطارات التالفة أو الإطارات المفتتة من السيارات ،أو الشاحنات ،أو المعدات الأخرى في الولايات المتحدة الأمريكية	
	-الكثافة ± 1.15 0.05 g/cm3. -كربونات الكالسيوم بنسبة 4%	المنخل 8:(100) المنخل 10:(95-100) المنخل 16:- المنخل 30:(0-10) المنخل 50:(0-5)	-المطاط بشكل حبيبات مكبرت ومنتج بطريقة الطحن في حرارة الجو العادية.	ماساتشوستس
	-الكثافة ± 1.15 0.05 g/cm3. -كربونات الكالسيوم بنسبة 4%	المنخل 10:(100) المنخل 16:(65-100) المنخل 30:(20-100) المنخل 50:(0-45) المنخل 200:(0-5)	خالي من الأسلاك والمواد الشائبة الأخرى . -النسيج يجب أن يكون أقل من 0.5%.	الصين (تجايينكس بروفنس)

[27]

2-1- مواصفات البيتومين المعدل بفتات المطاط: تظهر في الجدول (2) الذي يبين نسب المطاط التي يتم إضافتها إلى البيتومين، ومدة المزج مع البيتومين، ودرجة حرارة المزج ، وبعض الخصائص الفيزيائية للبيتومين المعدل الناتج.

الجدول (2-A): مقارنة لمواصفات البيتومين المعدل بفتات المطاط ضمن أميركا الشمالية والصين.

الملاحظات الأخرى	لزوجة المزيج سنتي بواز، والاختبارات الأخرى.	وقت المزج بالدقيقة	درجة حرارة المزج C°	نسبة المطاط المضافة %	الوكالة
	-اللزوجة (4000-1500) -درجة الغرز (70-25) -نقطة التميع C°(74-52) F°(165-125)	45دقيقة	180 °C (356°F)	20-18%	اونتاريو كندا
البيتومين المعدل يضاف إلى الرابط بنسبة (6-2.5) % من أجل الرصف الطرقي، وهو ذات نقطة وميض عالية ،	-اللزوجة (4000-1500) -درجة الغرز (70-25) -نقطة التميع C°(74-52) F°(165-125)	الحد الأدنى 45دقيقة	-عند إضافة المطاط 190 -226°C (375-440°F) -أثناء المزج 190-218°C (375-425°F)	20±2% -75%مطاط الإطارات التالفة و25%مطاط طبيعي.	كاليفورنيا

أريزونا	الحد الأدنى 20%	- عند إضافة المطاط 180-205°C (350-400°F) - أثناء المزج 165-190°C (325-375°F)	الحد الأدنى 60 دقيقة	- اللزوجة (4000-1500) CP - درجة الغرز حد أدنى (25-10) - نقطة التميع حد أدنى (52-) C°(57 F°(135-125)	يُسلم تصميم البيتومين المعدل من قبل مخبر معتمد.
تكساس	الحد الأدنى 15%	-	-	- اللزوجة (4000-1500) CP - درجة الغرز (75-25) للخلائط البيتومينية الحارة (100-50) للمعالجة السطحية - نقطة الوميض 232°C(54) F°0	حدود درجة حرارة التطبيق (165-220°C) (325-425°F) - الحد الأعلى لدرجة حرارة التخزين (220°C(4 25°F).
فلوريدا	الحد الأدنى 20%	168-190°C (335-375°F)	الحد الأدنى 30 دقيقة	- اللزوجة CP 1500 - تدرج المطاط من النوع C	
نيوجيرسي	الحد الأدنى 17%	عند إضافة المطاط 180-205°C	الحد الأدنى 60 دقيقة	CP 4000-2000	

			(350-400°F) أثناء المزج 165-190°C (325- 375°F).		
إضافة زيت أقل من 7.5%.	CP 5000-2000	-	عند إضافة المطاط 175-220°C (347-430°F) -أثناء المزج يجب أن تكون درجة الحرارة فوق 160°C (320°F)	23±2%	ماساتشوستس
المادة المضافة إما اسمنت أو كلس رطب.	CP 4000-2000 -درجة الغرز حد أدنى 25 - المرونة المستعادة في الدرجة 25°C حد أدنى 60%	-	165-180°C (325-350°F)	-	الصين (تجايكس بروفنس)

[27]

3-1- مواصفات الخلائط البيتومينية المعدلة بالمطاط: يبين الجدول (2) طريقة تصميم المزيج ، نسبة الرابط البيتوميني ونوعه، تدرج الحصىات و الفراغات الهوائية .

الجدول (3-A) بارامترات تصميم المزيج ضمن أميركا الشمالية والصين.

ملاحظات	تدرج الحصىات - الفراغات الهوائية	نسبة الرابط ونوعه	طريقة التصميم للمزيج	الوكالة
	تدرج الحصىات من النوع (Gap). 9.5 mm، 12.5 mm 4% فراغات هوائية. 18% حد أدنى فراغات بين الحبيبات الحصىية.	نسبة الرابط 6.5% من أجل 12.5 mm، 7% من أجل 9.5 mm بالوزن من المزيج الكلي. نوع الرابط PG58-28	السوبر بيف	اونتاريو كندا
بحلول 2014 ستطبق كالترنس طريقة السوبر بيف. تسمح كالترنس باستعمال تقنية المزيج الدافئ من أجل الرصف في الطقس البارد وفي الليل.	-تدرج الحصىات من النوع (Gap). -18% حد أدنى فراغات بين الحبيبات الحصىية. -حد أدنى لقيمة الاستقرار 23.	(7-9)% بالوزن من الحصىات الجافة. PG64-16	طريقة تصميم فيم	كاليفورنيا

أريزونا	طريقة تصميم مارشال	فراغات هوائية %1±5.5	-تدرج الحصويات من النوع (Gap). -حد أدنى 19% فراغات بين الحبيبات الحصوية. -نسبة تشرب الإسفلت المضاف له مطاط %(1-0)
الصين	طريقة تصميم مارشال	-تدرج الحصويات من النوع (Gap) 13.2 .mm - (23-18) % حد أدنى فراغات بين الحبيبات الانسياب الانسياب 8000 نيوتن ثبات مارشال (50-20)	الانسياب الانسياب الانسياب

[27]

2- مواصفات الخصائص الميكانيكية للخلائط البيتومينية المعدلة وفقا لكونغرس الطرق الهندية:

يبين الجدول (4) مواصفات الثبات والانسياب و قساوة مارشال وغيرها.

الجدول (4-A) الخصائص الميكانيكية للخلائط البيتومينية المعدلة وفقا لكونغرس الطرق الهندية

الخصائص	المواصفات			طريقة الاختبار
	المناخ الحار	المناخ البارد	المناخ الماطر بشدة	
ثبات مارشال، 75 ضربة 60°C، الحد الأدنى بـ Kg .	1200	1000	1200	ASTM D:1559-1979
الانسياب بـmm، 60°C	2.5-4.0	3.5-5.0	3.0-4.5	ASTM D:1559-1979

قساوة مارشال kg/mm	250-500			ASTM D:1559-1979
الفراغات الهوائية %	3.0-5.0			
الحد الأدنى للثبات المتبقي % بعد 24 ساعة بالماء في الدرجة 60°C	99	95	100	ASTM D:1075-1979

[28]

3-متطلبات الخصائص الفيزيائية لنوعي الرابط البيتوميني المعدل بالمطاط حسب ASTM:

حيث أن النوع الأول من الرابط المعدل يتم تعديله بمطاط ناتج من الإطارات المطاطية التالفة فقط ، ومن أماكن استخدامه في أريزونا وتكساس، أما النوع الثاني من الرابط البيتوميني المعدل يتم تعديله بمطاط يحتوي على 75% مطاط ناتج من الإطارات المطاطية التالفة و25% مطاط طبيعي، ومن أماكن استخدامه كاليفورنيا.

الجدول (5-A): متطلبات الخصائص الفيزيائية للنوع 1 والنوع 2 من الرابط البيتوميني المعدل بالمطاط .

التجارب	طريقة الاختبار وفق ASTM (الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد)	حدود المواصفات	
		الحد الأدنى	الحد الأعلى
درجة الغرز, (77°F), 25 °C, 1/10 mm	D 217	25	70
المرونة%, (77°F), 25 °C,	D 5329	25	-
نقطة التميع °C	D 36	52 (125 °F)	74 (165 °F)
اللزوجة [190°C], 375°F, CP	-	1500	4000

[31-30]

Tishreen University
Faculty of Civil Engineering
Department of Transportation



A Study about using rubber in modifying bituminous mixtures in Latakia city

A Thesis submitted to the Faculty of Civil Engineering at Tishreen University for the degree of Master of science in Civil Engineering

Prepared by
Eng. Faten Ameen Fouz

Supervised by
Dr.Rana Darweesh Ahmad

Dr. Rami Hanna

2013-2014