البحث في إمكانية تدوير المكشوط الاسفلتي وإعادة استخدامه في طبقات التغطية الاسفلتية

د. بسام سلطان*

علا ناصيف جندي**

(تاريخ الإيداع 18 / 8 / 2020. قُبِل للنشر في 9/ 3 / 2021)

□ ملخّص □

غاية البحث هي دراسة إمكانية تدوير المكشوط الاسفلتي وإعادة استخدامه في طبقات التغطية الاسفلتية ، وإلقاء الضوء على تكنولوجيا إعادة الاستخدام أو التدوير، مع التركيز على إعادة الاستخدام على الحار لكونها الأكثر ملائمة لشبكة الطرق في سوريا ،وشرح طريقة معهد الإسفلت في تصميم خلطات المكشوط الاسفلتي بشكل مفصل.

شمل البرنامج الاختباري (القسم العملي) لهذا البحث صناعة خلطات اسفلتية تقليدية وخلطات يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي، و إعداد عينات من الخلطات الاسفلتية التقليدية والخلطات التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي بنسب وزنية مختلفة للمكشوط الاسفلتي (30–20–10)% من مجمل الخلطة وذلك بالاعتماد على طريقة مارشال لتصميم الخلطات الاسفلتية .

ومن خلال التجارب التي أجريت على العينات تبين أن قيم الثبات ازدادت في الخلطات التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي عنها في الخلطات التقليدية ، فبلغت قيمة الثبات (2499.09 Kg) في الخلطات الحاوية على المكشوط الاسفلتي بنسبة (10%).

بينما لوحظ وجود انخفاض ملموس في قيمة الانسياب في الخلطات التي دخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي عنه في الخلطات التقليدية عند نسبة البيتومين المثالية ، وقد سجلت قيمة الانسياب الأقل عند نسبة (30%) للمكشوط الاسفلتي لتبلغ (3 mm).

الكلمات المفتاحية :المكشوط الاسفلتي ، طريقة مارشال ،الخلطات الاسفلتية الحارة، تدوير المواد الطرقية.

* استاذ مساعد – قسم هندسة المواصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية–جامعة تشرين –اللاذقية–سورية.

**طالبة ماجستير – قسم هندسة المواصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية–جامعة تشرين –اللاذقية–سورية.

Researching the Possibility of Recycling and Reusing the Asphalt Scraper in the Layers of Asphalt Covering

Dr. Bassam Sultan*
Ola Naseef Jendi**

(Received 18 / 8 / 2020. Accepted 9 / 3 / 2021)

□ ABSTRACT □

Research goal is to study the possibility of recycling the Reclaimed Asphalt , and reusing it in the Bituminous cover layers, Spotlight on rapid reuse or recycling technology Focusing on hot reuse as it is most suitable for the road network in Syria and Explanation of the method of asphalt institute in the design of Reclaimed Asphalt mixtures in detail.
The experimental program (practical section) for this research includes the manufacture of traditional bituminous mixtures and mixtures containing Reclaimed Asphalt , Preparing samples of conventional bituminous mixtures and mixtures containing Reclaimed Asphalt in different weight proportions for Reclaimed Asphalt (10-20-30%)from total mixture, depending on the Marshall method for designing bituminous mixtures.
Through experiments on mixtures, it was found that the stability values increased in mixtures containing Reclaimed Asphalt than in conventional mixtures, in mixtures containing Reclaimed Asphalt by 10% and the stability value was (2499.09 Kg).
While a significant decrease in the flow value was observed in mixtures containing Reclaimed Asphalt than in conventional mixtures at the ideal bitumen ratio, the lowest stability value was recorded at (30%) of the Reclaimed Asphalt to reach (3 mm).

Keywords: asphalt scrap, Marshall method, hot asphalt mixtures, road material recycling

*Associate Professor, Department of traffic and transportation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
**Master Student, Department of traffic and transportation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

حققت صناعة الرصف الاسفلتي نجاحا واسعا في مجال إعادة التدوير كتدوير الخلطات ، طبقات الرصف ، الزجاج ،والمطاط .أما عملية تدوير مواد طبقات الرصف فتعود إلى عام 1915 وأصبحت تطبيقا شائعا وفعالا في سبعينيات القرن الماضي بسبب إيقاف تصدير النفط العربي ، فتم العمل على تطوير التقنيات المستعملة في الرصف الاسفلتي بهدف تقليل الرابط الاسفلتي في الخلطات الاسفلتية لتقليل الكلفة ، والعديد من هذه التقنيات أصبحت تقليدا" في عمليات الرصف الاسفلتي . [1]

إن مصطلح إعادة الاستخدام أو التدوير تعني استخدام المواد الطرقية المكشوطة (حصويات+روابط) المستعادة من الأغطية القديمة التي تعرضت للتعب في إنتاج خلطة إسفلتية جديدة بمواصفات مقبولة، و تتألف خلطة إعادة الاستخدام من مزيج من المواد المكشوطة و الرابط الجديد الحصويات الجديدة(Asphalt hot) [2]

يعتبر العاملان الاقتصادي والبيئي العاملان الأساسيان لإعادة تدوير الرصف الاسفلتي حول العالم في ظل ازدياد الطلب على النقل ،ففي الولايات المتحدة الأمريكية أكثر من (90%) من الطرق السريعة و الشوارع يتم تنفيذها بطريقة الرصف الإسفلتي باستخدام الخلطات الاسفلتية الحارة (HMA) ، وبسبب ازدياد الطلب الواسع على النقل على الطرقات ومحدودية الموارد فقد تم اللجؤ لعملية إعادة تدوير المكشوط الاسفلتي، و كان أول استخدام للمكشوط الاسفلتي في الولايات المتحدة الأمريكية في الخلطات الاسفلتية المستخدمة في طبقات التغطية في ولايتي نيفادا وتكساس ، وقد تم التوصل إلى نتائج مثيرة للانتباه في العديد من الولايات حيث تم التوصل إلى أن استخدام المكشوط الاسفلتي (RAp)بنسبة (20–50%) من نسبة الخلطة يمكن أن تحقق وفرا اقتصاديا يصل إلى (14–34%) . [3]، وقد تم استعمال المكشوط الاسفلتي في الخلطات الاسفلتية بنسب مختلفة وصلت في بعض الحالات ل (80%) ،وبشكل نموذجي تتراوح النسبة للمكشوط الاسفلتي (20–50)% [4,5]

أجرى Gibney&Tabakovic وآخرون بحثا لتحديد نسبة الاسفلت المثالية في الخلطات الاسفلتية التقليدية والخلطات التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي بنسب مختلفة ، وقد تم تصميم الخلطات بطريقة مارشال و أجريت الاختبارات على أربع عينات لكل خلطة من الخلطات ، وقد لوحظ من خلال الاختبارات بأن نسبة الاسفلت المثالية قد تناقصت بازدياد نسبة المكشوط الاسفلتي في الخلطة [6].

قدم Arshad& Qiu دراسة قارنا من خلالها بين الخلطات التقليدية والخلطات التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي، وقد استخدما في الخلطات التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي مكشوطا" اسفلتيا" من مصدرين مختلفين وبنسب مختلفة ،وقد تم تحضير العينات باستخدام طريقة مارشال وتبين من خلال التجارب التي أجريت على عينات من الخلطات بأن ثبات مارشال يزداد بازدياد نسبة المكشوط الاسفلتي في الخلطات ،أما الانسياب فقد ازداد بازدياد المكشوط الاسفلتي، وبان النسبة المثالية التي يجب إضافتها للخلطات في الطرق ذات الحركة الثقيلة هي (30%)، أما للطرق ذات الحركة الخفيفة والمتوسطة فيمكن زيادة نسبة المكشوط الاسفلتي عن ذلك [7] .

كما قامت Amarnath وآخرون بدراسة على خلائط اسفلتية تقليدية وخلطات يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي، بعد أن تم تحديد خصائص المواد الحصوية والاسفلت الداخل في تركيب المكشوط الاسفلتي ، واختيار مواد حصوية خام واسفلت بخصائص مشابهة لخصائص مواد المكشوط ، وبعد اجراء تجارب مارشال على عينات تمثل الخلطات الاسفلتية أن الثبات يتناقص حتى نسبة 45% ثم يزداد بالتدريج ، والانسياب يزداد عندما تزداد نسبة المكشوط

الاسفلتي عن 30% ، أما نسبة الفراغات المليئة بالاسفلت فتبين أنها تبلغ قيمة عظمى عندما تكون نسبة المكشوط 45% والفراغات الهوائية تتناقص بعد نسبة 30% للمكشوط [8].

وفي دراسة قام بها M. Zaumanis وآخرون لتحديد مدى تأثير المكشوط الإسفلتي على الخلطات الاسفلتية المستخدمة في الطرقات ذات الحركة المتوسطة والثقيلة، واستخدم الباحثون لهذا الهدف المكشوط الاسفلتي من مصدرين مختلفين، وقد أظهرت التجارب بأن الانسياب في الخلطات الاسفلتية يختلف باختلاف المصدر من جهة، ومن جهة أخرى فإن الانسياب يزداد بازدياد نسبة المكشوط الإسفلتي للمصدر الواحد[9].

هناك هدفان أساسيان من استخدام المكشوط الاسفلتي في الخلطات :

1- الاستفادة من المواد المكشوطة (الحصويات + الرابط) في تشكيل خلطة جديدة وذلك بإعادة استخدام أعلى نسبة ممكنة من المواد المكشوطة مع الحفاظ على المواصفات الفنية المطلوبة

2- التخلص من المواد المكشوطة و التي تعد ملوثة بيئيًا[10]

أما عملية إعادة استخدام المكشوط الاسفلتي تتم وفق المراحل التالية :

1- الطحن (Milling) : في البداية يتم تحديد المواقع المعرضة للإجهاد والتشوهات لتحديد المواقع التي سيتم إزالة المكشوط الاسفلتي منها ، ثم تحديد عمق الطحن من خلال الاختبارات النظرية التي يتم اعتمادها لتحديد أماكن الضعف والتي تظهر عادة على السطح (كالتشققات –الأخاديد) ، حيث يجب إزالة الطبقات المعرضة للإجهاد.

2 – فحص المواد المطحونة للتأكد من أن المواد المكشوطة خالية من التربة أو من مواد الأساس أو أي مواد يمكن أن تغير من مواصفات المكشوط الاسفلتي

3- تكسير المواد الناتجة للحصول على المواد الحصوية بحيث تكون صالحة للاستخدام في الخلطات الاسفلتية ،وهذه العملية هي السبب في التدرج الحبي الناتج للمواد الحصوية

4- تحديد السلوك المتوقع المكشوط الاسفلتي عند استخدامه في خلطات إعادة الاستخدام وهذا يتطلب إجراء التجارب اللازمة لتحديد خواص المواد الداخلة في المكشوط الاسفلتي وهي كما يلي :

- محتوى الاسفلت .
- التدرج الحبي للمواد الحصوية .
- التحقق من عدم وجود إضافات في الخلطة المكررة[11]

أهمية البحث وأهدافه:

تنطلق أهمية هذا البحث من تصميم خلائط اسفلتية تحتوي على المكشوط الاسفلتي وتحقق المواصفات والمتطلبات الفنية المطلوبة في طبقات التغطية الاسفلتية، إضافة لتحقيق وفر اقتصادي في المال والمواد ،وايجاد حل صديق للبيئة لعمليات التخلص من المكشوط الاسفلتي.

يهدف البحث لتحديد إمكانية استعمال المكشوط الاسفلتي في عمليات الرصف الاسفلتي في محافظة اللاذقية ،وتحديد المنهجية الملائمة لاستخدام المكشوط في الخلطات المدورة ،ودراسة تأثير استعمال المكشوط الاسفلتي على خصائص الخلطات المستعملة في طبقات التغطية الاسفلتية.

طرائق البحث ومواده:

تم انجاز البحث بالاعتماد على التجارب المخبرية التجريبية من خلال تصميم خلائط اسفلتية تقليدية وخلائط يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي بنسبة (30%-20-10%) من الوزن الاجمالي باستخدام طريقة مارشال وفق المراحل التالية:

1- **تحديد الخصائص الاسفلت (70-60) الداخل في تركيب الخلطات :**

- حددت الخصائص الأولية لعينات الاسفلت التقليدية وذلك بإجراء تجارب الغرز في درجة الحرارة C°25، تجربة درجة التميع، تجربة الممطولية، تجربة الوميض والاشتعال، الوزن النوعي للاسفلت، الفاقد بالحرارة .
- تحديد نسبة الاسفلت الداخلة في تركيب المكشوط الاسفلتي عن طريق تجربة الاستخلاص.
- تحديد نسبة الاسفلت الخام التي المضاف اليها الى الخلطات المدورة (الخلطات التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي)

2- إجراء التجارب اللازمة لتوصيف الحصويات الداخلة في تركيب الخلطات الاسفلتية :

- أجريت تجربة التحليل الحبي ،المكافئ الرملي ، الفاقد بالاهتراء وفق تجربة لوس أنجلوس والوزن النوعي للحصويات المدورة .
- تحديد نسبة الحصويات الخام التي ستضاف إلى الخلطات الاسفلتية المدورة .

3- تحضير عينات من الخلطات الاسفلتية التقليدية وفق طريقة مارشال ، وعينات من الخلطات يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي والتي تحتوي على نسب (30%-20-10%) وزنا :

بعد الانتهاء من التجارب أنفة الذكر حضرت عينات من الخلطات الاسفلتية التقليدية بالكامل ، ثم حضرت عينات من الخلطات التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي بنسب (30%-20-10%) ومما سبق يكون لدينا أربع خلطات اسفلتية تم إعدادها وهي موضحة بالجدول رقم (1) :

الجدول (1) الخلطات الاسفلتية المشكلة من الخلطات التقليدية و الخلطات التي يدخل في تركيبها المكشوط :

رمز الخلطة الاسفلتية	نوع الاسفلت	نسبة المكشوط الاسفلتي
A0	60-70	0%
A1	60-70	10%
A2	60-70	20%
A3	60-70	30%

أما المواد المستخدمة في تصميم الخلطات الاسفلتية فهي :

1 – الاسفلت : تم استخدام نوع واحد من الاسفلت في تصميم عينات البحث ،و الاسفلت المستخدم ذو صنف (60-70) ناتج مصفاة بانياس وتم اختياره وفق المواصفات السورية ويبين الجدول (2) النتائج التوصيفية للاسفلت المستخدم .

من نتائج الجدول(2) تبين أن الاسفلت المستخدم محقق للمتطلبات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل لعام 2002

الجدول(2)نتائج اختبار الاسفلت

نوع الاختبار	نتائج الاختبار	المتطلبات الفنية وفق ASTM D946
الغرز (Penetration Test):0.1×mm 25°C AASHTO T- 49- 78	63.43	60-70
الاستطالة أو الممطولية للبيتومين (Ductility Test):(cm) AASHTO T51-74	120	100.0 min
نقطة التميع (Softening Point Test): (c◦)	52.00	52-48
النقص في الوزن (LOSS On Heating): (%)	0.4	Max 1%
نقطة الوميض والاشتعال (Flash and Fire Point rest):c° AASHTO T- 48-78	درجة الوميض 305°c	min(232c)
	درجة الاشتعال 309°c	

2 – الحصويات : الحصويات من أحد مجابل مؤسسة الاسكان العسكرية العاملة في محافظة اللاذقية ، ويبين الجدول (3) المواصفات التوصيفية للحصويات المستخدمة في الخلطات :

الجدول (3) نتائج اختبار الحصويات

نوع الاختبار	نتيجة الاختبار
المكافئ الرملي %	62.43
فاقد الاهتراء وفق لوس انجلس %	24.91
الوزن النوعي	2.458

نلاحظ من الجدول (3) أن الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطات الاسفلتية محققة للمتطلبات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية لعام 2002

3– المكشوط الاسفلتي ناتج إعادة التأهيل لأحد طرق مدينة اللاذقية من قبل المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية ، ويبين الجدول (4) نسبة البيتومين في المكشوط الاسفلتي والتي تم تحديدها بواسطة تجربة الاستخلاص وعمر الغطاء وغرز البيتومين المستعمل في الخلطة الاساسية :

الجدول (4) نسبة البيتومين في المكشوط

عمر الغطاء	الغرز في الخلطة الاسفلتية الاساسية	نسبة الاسفلت في المكشوط الاسفلتي
4سنوات	70–60	2.335

1- التصميم وفق طريقة مارشال :

1–1– تصميم الخلطة التقليدية :

تم تحضير الحصويات المحققة للتدرج الحبي المعتمد والموافقة للحزمة النظامية المعتمدة ، ومن ثم تجفيفها وتنخيلها لدرجة الحرارة المطلوبة والمحافظة على هذه الحرارة حتى البدء بعملية الخلط ، ومن ثم تسخين الرابط الاسفلتي الى الدرجة اللازمة لتغليف كامل ، ثم تسخين الرابط الاسفلتي المسخن بالنسب التالية وزنا (6–5.5–5–4.5–4)، وإعداد

ثلاثة قوالب من قوالب مارشال لكل نسبة ممن النسب وفق المتطلبات الفنية لطريقة مارشال ، وكان عدد الطرقات لكل قالب من القوالب (50) طرقة لكل وجه ، وبعد نزعها تم غمرها بجام مائي لمدة (30min) بدرجة حرارة (60`c)ثم يتم تحديد نسبة الاسفلت المثالية والثبات والانسياب والفراغات الهوائية والفراغات المليئة بالاسفلت ، ورسم المنجنيات الموافقة

1-2-تصميم الخلطات التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي :

تم إعداد الخلطة وفق طريقة معهد الإسفلت الأمريكي وفق الخطوات التالية :

1- تسخين الحصويات الجديدة لدرجة حرارة (28)أعلى مند رجة حرارة الخلط القياسية

2- تسخين المواد المكشوطة إلى درجات حرارة الرصف وفق مواصفة, ASTM D1559.وهي درجة الحرارة الموافقة للزوجة مقدارهاCST30-+280)

3- خلط الحصويات الجديدة والمواد المكشوطة لمدة 30 ثانية.

4- إضافة الإسفلت الجديد المسخن مسبقا "إلى درجة حرارة الخلط الحصويات الجديدة والمواد لمكشوطة و خلطها لمدة 60ثانية.

5 -نقل كامل الخلطة ووضعها في فرن تم الحفاظ على درجة حرارة الرصف فيه على الأقل لمدة ساعة واحدة ولا تتجاوز ساعتين قبل رص العينات.

6- تحضير القوالب المطلوبة بنسب إسفلت جديد أعلى أو أخفض بمقدار (% 0.5)من القيمة المحسوبة.

1-3-العمليات الحسابية المستخدمة لحساب مكونات الخلطات التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي:

1- حساب نسبة الحصويات الخام اللازمة (r):

تم حساب نسبة الحصويات الجديدة (r) والتعبير عنها كنسبة مئوية من نسبة الحصويات الكلية في خلطة اعادة الاستخدام عن طريق تطبيق العلاقة التالية :

$$r = \frac{Pns * 100}{Psm - \frac{Psm * PSb}{100} + Pns}$$

[12]

r :الحصويات الجديدة والمعبر عنها كنسبة مئوية من نسبة الحصويات الكلية في خلطة اعادة الاستخدام .

Pns : الحصويات الجديدة في خلطة اعادة الاستخدام معبر عنها كنسبة مئوية .

Psb : النسبة المئوية للبيتومين في المواد المكشوطة والتي يتم تحديدها عن طريق تجربة الاستخلاص .

Psm : نسبة المواد المكشوطة في خلطة اعادة الاستخدام معبرا عنها كنسبة مئوية .

2- **حساب الكمية التقريبية من الاسفلت اللازمة لربط الحصويات :**

$$P= 0.035*a+0.045*b+k*c+f$$

P: الكمية التقريبية من الاسفلت اللازمة لربط الحصويات مقدرة بنسبة مئوية وزنيا من الخلطة الكلية .

K=0.18 : من أجل نسبة (6-10%) مار من المنخل رقم 200(0.75مم)

K=0.2 : من اجل نسبة (5%) أو أقل مار من لمنخل رقم 200(0.75مم)

a: النسبة المئوية للحصويات المينرالية المحجوزة على المنخل رقم 8(2.36مم)

b: النسبة المئوية للحصويات المينرالية المارة من المنخل رقم (2.36مم) والمحجوز على المنخل رقم 200(0.75مم)

C: النسبة المئوية للحصويات المينرالية المارة من المنخل 200(0.75مم)

f : تتراوح قيمته (0–2%) بالاعتماد على نسبة الامتصاص الخفيفة أو الثقيلة وتم اعتمادها /1/ s[12]

3- حساب نسبة الاسفلت الجديد في الخلطة :

$$Pnb = \frac{(100^2 - Psb * r) * Pb}{100(100 - Psb)} - \frac{(100 - r) * Psb}{(100 - Psb)} \quad (12)$$

Pnb: الاسفلت الجديد في خلطة اعادة الاستخدام مقدرة بنسبة مئوية

r :الحصويات الجديدة والمعبر عنها كنسبة مئوية من نسبة الحصويات الكلية في خلطة اعادة الاستخدام.

Pb: النسبة المئوية للاسفلت اللازم لربط الحصويات

Psb: النسبة البيتومين في المواد المكشوطة مقدرة بنسبة مئوية .

النتائج والمناقشة:

1- نتائج الخلطات التقليدية:

بحسب نتائج التصميم يتم رسم منحنيات مارشال وتحديد نسبة الاسفلت المثالية المحققة للكثافة العظمى والثبات الأعظمي ونسبة الاسفلت التي يكون عندها نسبة الفراغات الهوائية (4%) ، وقد جاءت نسبة الاسفلت المثالية هي ، وقد جاءت نسبة البيتومين المثالية هي 4.35.

الشكل (1) منحني الكثافة – نسبة الاسفلت في الخلطة التقلدية

الشكل (2) منحني الثبات – نسبة الاسفلت في الخلطة التقليدية

الشكل (3) منحني الانسياب – نسبة الاسفلت في الخلطة التقليدية

الشكل (4) منحني الفراغات الهوائية – نسبة الاسفلت في الخلطة التقليدية

الشكل (5) منحني الفراغات المليئة بالاسفلت – نسبة الاسفلت في الخلطة التقليدية

وقد جاءت نسبة الاسفلت المثالية للخلطات التقليدية 4.35%

2-نتائج الخلطات الحاوية على المكشوط الاسفلتي:

2-1-نتائج الخلطة التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي بنسبة (10%):

باستخدام المعادلات التي جرى ذكرها آنفا تم تحديد نسبة الحصويات الجديدة وجاءت النسبة (90.21) ونسبة الاسفلت الجديد من المحتوى الكلي للاسفلت (91.70)، ثم تم تحضير القوالب وإجراء تجارب مارشال عليها لتحديد نسبة الاسفلت المثالية (5.76%) وكانت نتائج الثبات والانسياب والكثافة كما هو موضح في المنحنيات التالية :

الشكل (6) منحني الكثافة – نسبة الاسفلت

الشكل (7) منحني الثبات– نسبة الاسفلت

الشكل (8) منحني الانسياب – نسبة الاسفلت

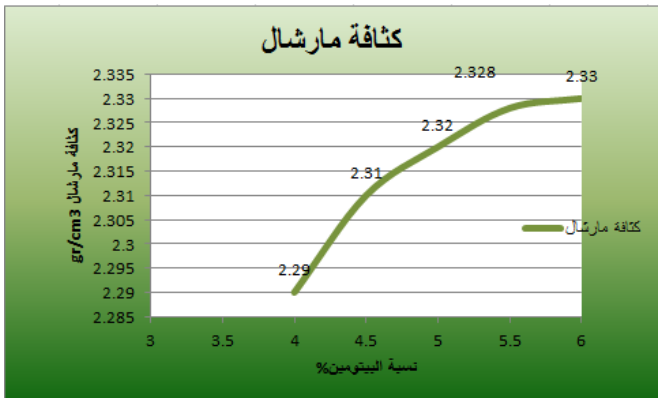
الشكل (9) منحني الفراغات الهوائية – نسبة الاسفلت

الشكل (10) منحني الفراغات المليئة بالاسفلت – نسبة الاسفلت

نسبة الاسفلت المثالية كانت (5.67%) وقد تبين وجود زيادة بقيم الثبات عنه في الخلطات التقليدية بنسبة (57.22%)، وانخفاض بقيم الانسياب فبلغت قيمة الانسياب عند نسبة الاسفلت المثالية (3.31mm)

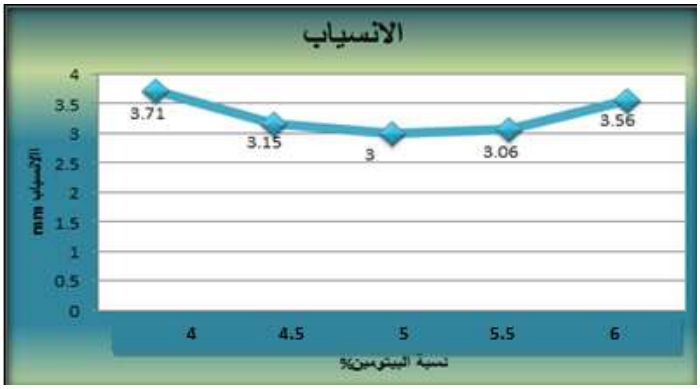
2-2 -نتائج الخلطة التي يدخل في تركيبها المكشوط الاسفلتي بنسبة (20%):

باستخدام المعادلات التي جرى ذكرها آنفا تم تحديد نسبة الحصويات الجديدة وجاءت النسبة (80.04) ونسبة الاسفلت الجديد من المحتوى الكلي للاسفلت (80.32)، ثم تم تحضير القوالب وإجراء تجارب مارشال عليها لتحديد نسبة الاسفلت المثالية (5.64%) وكانت نتائج الثبات والانسياب والكثافة كما هو موضح في المنحنيات التالية :



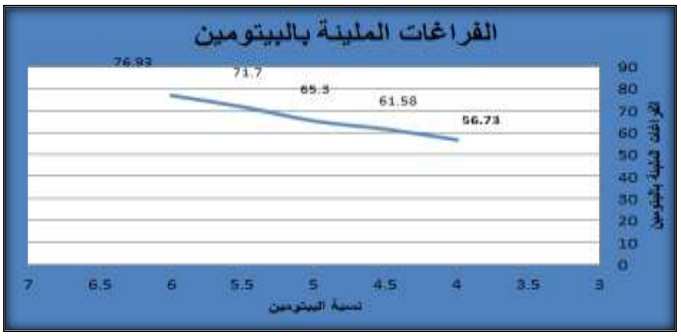
الشكل (11) منحني الكثافة – نسبة الاسفلت

الشكل (12) منحني الثبات – نسبة الاسفلت



الشكل (13) منحني الانسياب – نسبة الاسفلت

الشكل (14) منحني الفراغات الهوائية – نسبة الاسفلت



الشكل (15) منحني الفراغات المليئة بالاسفلت – نسبة الاسفلت

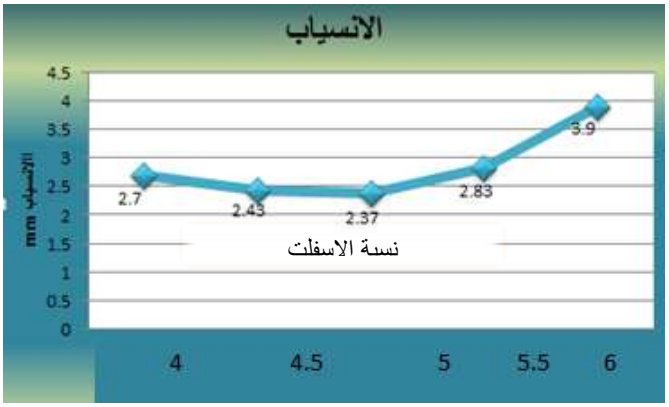
نلاحظ من المخططات بأن الثبات قد ازداد في الخلطات التي دخل فيها المكشوط الاسفلتي بنسبة (20%) ووصلت الزيادة لنسبة (74.62%)، وكان المحتوى المثالي من الاسفلت (5.64%)

2- 3-نتائج الخلطة الحاوية على المكشوط الاسفلتي بنسبة (30%):

باستخدام المعادلات التي جرى ذكرها آنفا تم تحديد نسبة الحصويات الجديدة وجاءت النسبة (70.49) ونسبة الاسفلت الجديد من المحتوى الكلي للاسفلت(75%)، ثم تم تحضير القوالب وإجراء تجارب مارشال عليها لتحديد نسبة الاسفلت المثالية (5.6%) وكانت نتائج الثبات والانسياب والكثافة كما هو موضح في المنحنيات التالية :

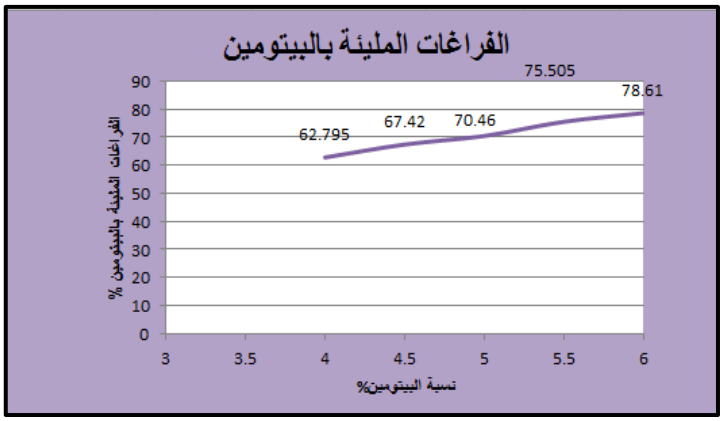
الشكل (16) منحني الكثافة – نسبة الاسفلت

الشكل (17) منحني الثبات – نسبة الاسفلت



الشكل (18) منحني الانسياب – نسبة الاسفلت

الشكل (19) منحني الفراغات الهوائية– نسبة الاسفلت



الشكل (20) منحني الفراغات المليئة بالاسفلت – نسبة الاسفلت

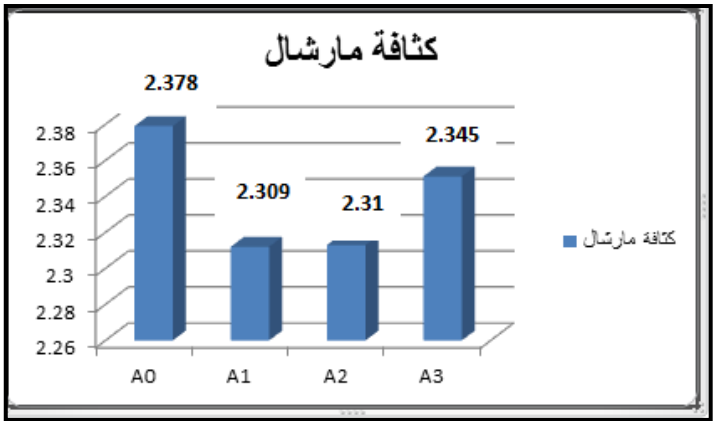
في الخلطات التي دخل فيها المكشوط الاسفلتي بنسبة (30%) كان المحتوى المثالي من البيتومين (5.6%)،وقد تناقص الانسياب في هذه الخلطة عنه في الخلطات التقليدية بينما ازدات قيمة الانسياب

مقارنة النتائج:

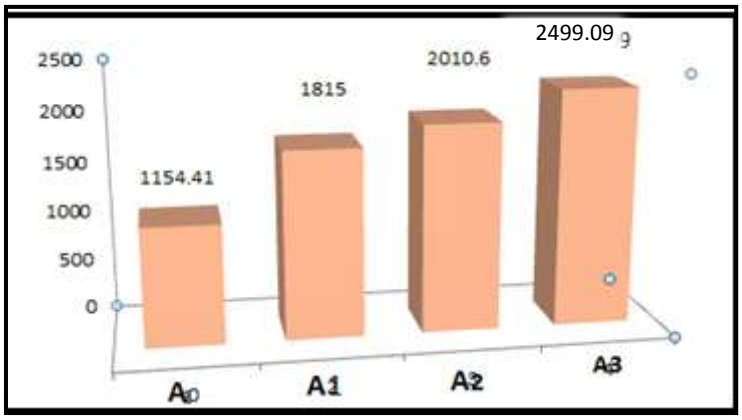
- عند المقارنة بين نتائج الخلطات التقليدية والخلطات الحاوية على المكشوط الاسفلتي نلاحظ بأن نسبة الاسفلت المثالية قد ازدادت في الخلطات الحاوية على المكشوط الاسفلتي عن الخلطة التقليدية ، إلا أن هذه النسبة تتناقص بازدياد نسبة المكشوط الاسفلتي شكل تدريجي وهذه النتيجة تختلف عما تمت الاشارة اليه في الابحاث المرجعية .

1- ازداد وفي جميع الخلطات الحاوية على المكشوط الإسفلتي زيادة في قيم الثبات عن قيم الثبات في الخلطة التقليدية وعند جميع نسب البيتومين ، وقد أعطت أعلى قيمة للثبات لخلطات المكشوط(A3،A2،A1)عند نسبة بيتومين المثالية ، وقد أعطت قيمة (2499.09Kg) عند نسبة البيتومين المثالية في الخلطة الحاوية على المكشوط الاسفلتي بنسبة (30%) وهو ما ينسجم مع النتائج التي أظهرتها الابحاث المرجعية .

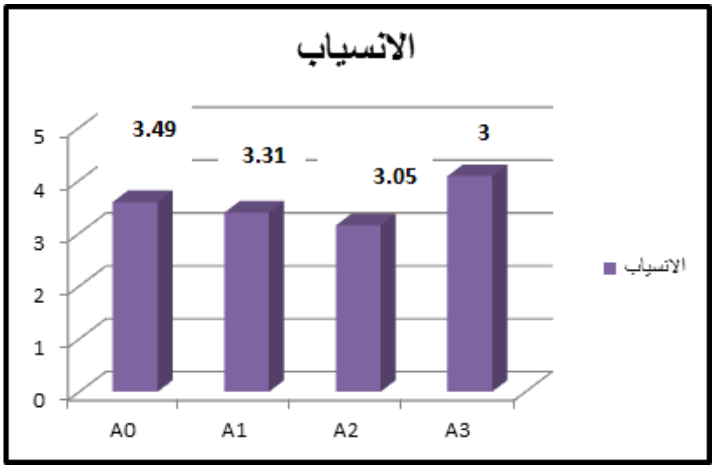
- تتناقص قيمة الانسياب في الخلطات الحاوية على المكشوط عن الخلطة التقليدية لتبلغ أدنى قيمة لها عند نسبة مكشوط :



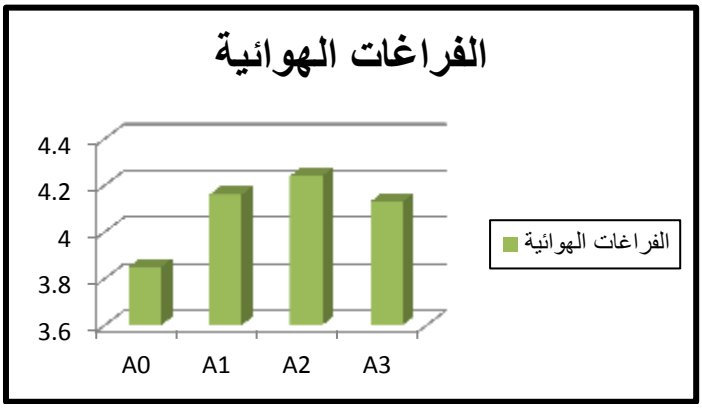
الشكل (21) منحني كثافة مارشال بحسب نوع الخلطة



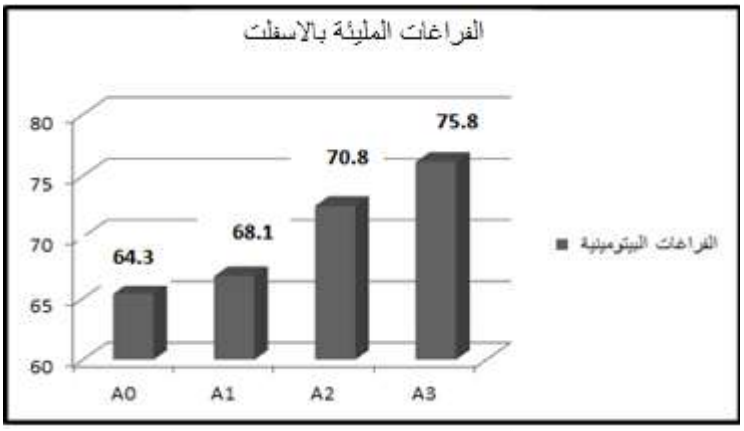
الشكل (22) منحني الثبات بحسب نوع الخلطة



الشكل (23) منحني الانسياب بحسب نوع الخلطة



الشكل (24) منحني الفراغات الهوائية بحسب نوع الخلطة



الفراغات المليئة بالاسفلت

الشكل (25) منحني الفراغات المليئه بالاسفلت بحسب نوع الخلطة

الاستنتاجات والتوصيات:

1- نلاحظ في الخلطات الحاوية على المكشوط الاسفلتي **زيادة واضحة بقيم الثبات وانخفاضا ملموسا في قيم الانسياب** ،الأمر الذي سينعكس بشكل جيد على الأداء والديمومة .

2- أظهرت نتائج الخلطات الحاوية على المكشوط الإسفلتي أن قيم الثبات كانت عالية بالنسبة للخلطات التقليدية وقد أعطت قيمة (1145.41 kg) عند نسبة البيتومين المثالية (4.5%) في الخلطة التقليدية

3- نلاحظ وفي جميع الخلطات الحاوية على المكشوط الإسفلتي زيادة في قيم الثبات عن قيم الثبات في الخلطة التقليدية وعند جميع نسب البيتومين ، وقد أعطت أعلى قيمة للثبات لخلطات المكشوط(A3،A2،A1)عند نسبة بيتومين المثالية ، وقد أعطت قيمة (2499.09Kg) عند نسبة البيتومين المثالية في الخلطة الحاوية على المكشوط الاسفلتي بنسبة (30%).

4- تناقصت قيم الانسياب في الخلطات الحاوية على المكشوط الإسفلتي بنسبة مكشوط (30-20%) عند جميع نسب البيتومين ،أما بالنسبة لخلطة بنسبة مكشوط (10%)فقد ازدادت قيمة الانسياب عند جميع قيم البيتومين عدا (6%) عن قيمة الانسياب في الخلطة التقليدية.

5- ازدادت نسبة البيتومين المثالية في الخلطات الحاوية على المكشوط الإسفلتي عن نسبة البيتومين المثالية في الخلطات الخام ، حيث كانت نسبة البيتومين المثالية في الخلطات (30-20-10-0%) على التوالي (4.35,5.67,5.64,5.6)

6- نلاحظ أن نسبة الفراغات المليئة البيتومينية قد ازدادت في الخلطات الحاوية على المكشوط الإسفلتي عن نسبة الفراغات المليئة البيتومينية في الخلطة التقليدية ، حيث كانت نسبة الفراغات المليئة البيتومينية في الخلطات(0-10-20-30%) على التوالي (64.3, 68.1,70.8,75.8 %)

7- نلاحظ بأن نسبة الفراغات الهوائية قد ازدادت في الخلطات الحاوية على المكشوط الإسفلتي عن نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة التقليدية، حيث كانت نسبة الفراغات الهوائية في الخلطات (0,10,20,30%)على التوالي (4.21,4.1 , 4.13 ,3.82%)

8- بالاستناد لنتائج البحث نوصي باستخدام نسبة (30%) للمكشوط الاسفلتي لأنها أعطت ثباتا أعلى وانسيابا أقل من باقي الخلطات

9- التركيز على دراسة الثبات والانسياب في الخلطات الحاوية على المكشوط الاسفلتي .

10- ضرورة التوسع في إجراء الأبحاث المتعلقة بدراسة تأثير استخدام المكشوط الاسفلتي على ديمومة الخلطات الاسفلتية .

References:

1- Randy C. West . "*RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT MANAGEMENT BEST PRACTICES"* . Federal Highway Administration . August 2010

2- - Al-Qadi, I.L., Elseifi, M. & Carpenter, S.H.. *Reclaimed Asphalt Pavement - A \ Literature Review*. Series No. 07-001. Illinois Center for Transportation, University of Illinois. 2007

3- Kandhal, P. S., and R. B. Mallick*, "Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments – Participant's Reference Book"*. National Center for Asphalt Technology.1997

4- Kim, S et al "*Evaluation of Use of High Percentage of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for Superpave Mixtures*" Research Report FL/DOT/SMO/07-507, Florida, USA. . (2007).

5- Solaimanian, M. And Tahmoressi, M" *Variability Analysis of Hot-mixed Asphalt Concrete Containing High Percent Reclaimed Asphalt Pavements***"** Presented . 1996

6- - Tabakovic, Amir; Gibney, Amanda; McNally, Ciaran;Gilchrist, M. D. The influence of recycled asphalt pavement on the fatigue performance of asphalt concrete base courses . American Society of Civil Engineers.2010

7- - Hussain Arshad , yanjun Qiu. LABORATORY EVALUATION OF ASPHALT MIXTURES CONTAINING VARIOUS PERCENTAGES OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT . Southwest Jiaotong University, Chengdu-610031, CHINA.2012

8- Shunyashree, Amarnath , M.R.Archana , Tejas Bhavimane **.** EFFECTOFUSE OF RECYCLED MATERIALS ON INDIRECT TENSILE STRENGTH OF ASPHALT CONCRETE MIXES. 2013

9- - Klasa , M. Zaumanis, R. Izaks . *Hot Mix Asphalt With High RAP Content* . Riga Technical University .2013

10- - MCDANIEL, R . ANDERSON , R , RECOMMENDED USE OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT IN THE SUPERPAVE MIX DESIGN METHOD TECHNICIANS MANAUAL, WASHINGTON: NATIONAL AC

11 -Papers from a Workshop. Application of Reclaimed Asphalt Pavement and Recycled Asphalt Shingles in Hot-Mix Asphalt **.** Washington, D.C**.** January 12, 2014