مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد 39- العدد 2 (2023) 33-50

Damascus university Journal for engineering sciences
Vol 39 No.2 (2023) : 33-50

دراسة الخصائص الميكانيكية للخلطات الإسفلتية الباردة الحاوية على حصويات إسفلتية معادة التدوير RAP مع المستحلب البيتوميني والإسمنت أو بدونه

دانية الصفدي[1] د. رباب جوني[2]

[1]مهندسة في قسم هندسة النقل ومواد البناء، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق.

[2]دكتورة في قسم هندسة النقل ومواد البناء، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق.

الملخص

تقوم فكرة إعادة التدوير العميق على البارد في موقع العمل (CIR)، على طحن طبقة المجبول الاسفلتي المخرب مع جزء من طبقة الأساس الحصوي، ومن ثم إعادة خلطه مع مواد رابطة لإنشاء طبقة أساس حصوي جديد معالج على البارد.

تم في هذا البحث إحضار الحصويات الإسفلتية المعاد تدويرها (RAP) من أعمال صيانة طريق خربة غزالة- عتمان في محافظة درعا، حيث تم رفض الحصويات ذات المقاس الأكبر من 19mm، كما تم إحضار حصويات جديدة من مقالع جباتا الخشب في محافظة القنيطرة، واستخدم مستحلب بيتوميني متوفر محلياً، واسمنت بورتلاندي صنف CEM II/A-P .

تم في هذا البحث دراسة ثلاثة أنواع من الخلطات الإسفلتية الباردة: خلطة مرجعية مكونة من حصويات جديدة 100%NA ومستحلب بيتوميني بدون اسمنت، وخلطتين من الحصويات الإسفلتية المعاد تدويرها (RAP) بعد تعديل تدرجها الحبي بحصويات جديدة بنسبة (80%RAP-20%NA)، مع المستحلب البيتوميني والاسمنت أو بدون اسمنت على التوالي.

إن الهدف الرئيسي لهذا البحث هو تحديد مدى تأثير استخدام الحصويات الإسفلتية المعاد تدويرها RAP على النسبة المثالية للمستحلب البيتوميني، بالإضافة إلى دراسة الخصائص الميكانيكية للخلطات الثلاث من حيث: المقاومة على الشد غير المباشر ITS، ثبات وسيلان مارشال، النسبة على الشد غير المباشر TSR لقياس حساسية الخلطات للرطوبة، وتحديد مدى تأثير إضافة الإسمنت على الخصائص الميكانيكية للخلطة.

تاريخ الإيداع:2022/2/8
تاريخ القبول:2022/6/15

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص
CC BY-NC-SA 04

حيث بينت نتائج التجارب على الخلطات الحاوية على حصويات الـ RAP أن النسبة المثالية للمستحلب البيتومييني انخفضت بمقدار 2.9% مقارنة بالخلطة المرجعية 100%NA.

كما وجد أن استخدام الإسمنت بنسبة 3% من وزن الحصويات، مع النسبة المثالية للمستحلب البيتومييني 5.6% قد حقق الشروط والمواصفات الفنية المطلوبة لمعالجة طبقة الأساس الحصوي على البارد، وفق المواصفة الأمريكية لعام 2014 من حيث مقاومتها على الشد غير المباشر، وحساسيتها للرطوبة.

كما أظهرت النتائج أن الخلطة المرجعية الحاوية على نسبة 100%NA لها مقاومة أكبر على الشد غير المباشر مقارنة بالخلطات الحاوية على حصويات الـ RAP، إلا أنها تطلبت نسبة أكبر من المستحلب البيتومييني.

وبالنتيجة فإن عملية إعادة تدوير الرصف الإسفلتي على البارد باستخدام المستحلب البيتومييني مع الاسمنت بالنسب المثالية لهما من شأنها التوفير في نسبة المستحلب البيتومييني المطلوبة، مع إمكانية تحقيق الشروط والمواصفات الفنية المطلوبة لاستخدامه كطبقة أساس حصوي معالج على البارد.

الكلمات المفتاحية: إعادة التدوير على البارد في موقع العملCIR، حصويات إسفلتية معادة التدوير RAP، المقاومة على الشد غير المباشر ITS، الحساسية للرطوبة TSR.

Mechanical Characteristics Of Cold Asphalt Mixes Containing (RAP) With Bitumen Emulsion And/Without Cement

Dania Alsafadi[1] **Dr. Rabab Jouni** [2]

1 Engineer at department of Transportation and building materials, Faculty of Civil engineering, Damascus University.

2 Dr. at department of Transportation and building materials , Faculty of Civil engineering, Damascus University..

Abstract

The concept of deep cold in-place recycling (CIR) of asphalt pavement with bitumen emulsion is based on milling the upper damaged bituminous layers with a part of the granular base course, and then re-mix them with binder materials to form a cold treated base course. In this research the Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) were brought from Khirbet Ghazalah - Ataman road in Daraa city, where The grains of aggregates more than 19mm are rejected, and new aggregates were also brought from one of quarries in the same area, locally available bitumen emulsion and portland cement of the class CEM II/A-P were used. Three Cold Asphalt Mixes were studied, the first one used as reference mix which consists of 100%NA (New Aggregates) with bitumen emulsion/ without cement, and the other two mixes containing aggregates (RAP)(80%RAP-20%NA) with bitumen emulsion and/without cement, respectively. The aim of this study is to find the effect of using (RAP) aggregates on the optimum content of bitumen emulsion, and to study the mechanical characteristics of the mixes like: (Indirect Tensile Strength (ITS) and Indirect Tensile Ratio (TSR) to measure the mixture's sensitivity to moisture), also to study the effect of adding cement. It had been found that the optimum content of bitumen emulsion was reduced up to 2.9% with mixes containing recycled aggregates (RAP), comparing with the reference mix100%NA, Also it has been found that using cement with percentage 3% by aggregates weight, with the optimum content of bitumen emulsion (5.6%) has achieved the required technical requirements and specifications for cold treatment of the base course according to the 2014 American standard specifications, in terms of Indirect Tensile Strength (ITS) and Indirect Tensile Ratio (TSR). The results also showed that the mix containing 100%NA have higher value of (ITS), but it required a higher percentage of bitumen emulsion. Therefore the process of Deep Cold pavement Recycling with bitumen emulsion and cement, can be used for cold treatment of base course layer, with saving both of new aggregates, and bitumen emulsion.

Keywords: Cold in place recycling (CIR), Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Indirect Tensile Strength (ITS), Indirect Tensile Ratio (TSR).

Received: 8/2/2022
Accepted: 15/6/2022

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدمة

أدى التوسع الكبير في إنشاء الطرق وتزايد الطلب على المواد الأولية إلى استنزاف كبير للموارد الطبيعية، فضلاً عن التلوث البيئي الناتج عن تراكم نفايات الحصويات الإسفلتية المكشوطة (Recycled Asphalt Pavement) (RAP)، الناتجة عن أعمال صيانة الطرق، وشغلها لمساحات واسعة من الأراضي لرمي الأنقاض عليها.

هذه العوامل وغيرها من العوامل الأخرى خلقت تحد كبير لإنجاز عمل أكثر بموارد أقل، مما دفع إلى تطوير تقانات جديدة لتخفيف التكاليف من جهة، وحماية البيئة من جهة أخرى، مع المحافظة على الشروط والمواصفات الفنية المطلوبة .

من أهم هذه التقانات إعادة تدوير الرصف (Recycling Pavement) التي تعد أحد أشكال التنمية المستدامة.

يقصد بعملية إعادة تدوير الرصف أي إعادة استخدام النفايات والمواد الثانوية الناتجة عن صيانة وتحسين الطرق المخربة في تصميم خليط متين ومتجانس، لاستخدامه في إنشاء طبقة الأساس أو ماتحت الأساس للطريق المخرب نفسه، أو لطريق آخر جديد.

هناك نوعان أساسيان لعملية إعادة تدوير الرصف الإسفلتي: إعادة التدوير الساخن وإعادة التدوير البارد.

وكلاهما يمكن أن يكون (سطحي أو عميق)، (في المجبل أو في موقع العمل) تبعا لنوعية وشدة العيوب الموجودة في الطريق والآليات المتوفرة [1].

يقع هذا البحث ضمن نطاق تقنية إعادة التدوير البارد للرصف الإسفلتي، والتي يمكن تصنيفها إلى ثلاث فئات أساسية:

تدوير سطحي: قد يصل إلى عمق 15cm، ويشمل:

– إعادة تدوير الطبقة البيتومينية السطحية (طبقة الاهتراء) لمعالجة الشقوق وشيخوخة المادة الرابطة.

يعتبر هذا النمط من عملية إعادة التدوير وسيلة للتخلص من خطر الشقوق في الطبقات الإسفلتية وتحسين جودة التراكب بين الطبقات.

كما يمكن أن يحسن هذا النمط من إعادة التدوير من القدرة الإنشائية للطريق وذلك من خلال الطبقة الإسفلتية السطحية التي تنفذ عادة فوق الطبقة المعادة التدوير.

تدوير عميق: أعماق تزيد على 15cm وقد تصل إلى عمق 40cm، ويشمل:

– إعادة تدوير كامل الطبقات الإسفلتية المخربة لتشكيل طبقة أساس جديدة.

– تثبيت أو معالجة أو إعادة تدوير طبقة الأساس الحصوي غير المترابطة للرصف المرن، مع الطبقات الإسفلتية السطحية المخربة لتشكيل طبقة أساس جديدة، بهدف زيادة القدرة الإنشائية للطريق.

– إعادة تدوير الطبقة السطحية مع بضعة سنتمترات من طبقة الأساس للرصف نصف الصلب، من أجل تصحيح الفواصل بين الطبقات وتشكيل سطح جديد.

– كما يمكن أن يتضمن التدوير العميق تثبيت ومعالجة كامل الطبقات المترابطة وغير المترابطة (طبقة الأساس وما تحت الأساس الحصوي)، ثم إعادة فرشها كطبقة جديدة (وهذا ما يسمى بالتدوير على كامل العمق FDR).

يعد الهدف الرئيسي لهذا النمط من عملية إعادة التدوير هو تقوية الرصف الإسفلتي المخرب كما أن الطبقة الإسفلتية التي تنفذ لاحقا فوق الطبقة المعاد تدويرها تساهم في تحسين الخصائص الوظيفية للرصف مثل مقاومة الانزلاق.

تحسين الطرق غير المعبدة (الحصوية): تنفذ بأعماق تتراوح بين 10-15cm:

يمكن تحسين الطرق الحصوية من خلال إعادة تدوير الحصويات الموجودة، مع المستحلب البيتوميني أو البيتومين الرغوي لتشكيل طبقات إسفلتية جديدة، وهذا يساهم بـ:

قيادة خالية من الغبار خلال الطقس الجاف، سطح أكثر أماناً وثباتاً خلال الطقس الممطر [3] ,[2].

* تركز هذا البحث حول التدوير البارد العميق للمواد الإسفلتية المكشوطة في موقع العمل (Cold In Place Recycling) (CIR)، باستخدام المستحلب البيتوميني مع الإسمنت أو بدونه، والتي تستخدم في معالجة مجموعة واسعة من العيوب السطحية والعميقة للطريق مثل: التخدد، الحفر، النزف، الانزلاق، التموجات، التعب والتشققات بالتالي تحسين جودة القيادة على الطريق.

وتتميز هذه التقنية مقارنة بالأساليب التقليدية لإعادة تأهيل الرصف بمجموعة من المزايا هي:

– الحفاظ على الموارد الطبيعية من خلال إعادة استخدام جزء أو كامل المواد الموجودة في الطريق المخرب.

– تقليل استهلاك الطاقة إذ لا تحتاج إلى تسخين المواد، وبالتالي حماية البيئة من الغازات الناتجة عن التسخين.

– تقليل الحاجة إلى نقل المواد، وبالتالي توفير في الوقت، وأجور النقل والعمال، كما أنها لا تسبب أضراراً للطرق القائمة نتيجة مرور آليات النقل عليها.

ومن وجهة نظر فنية فإن هذه التقنية تسمح بـ:

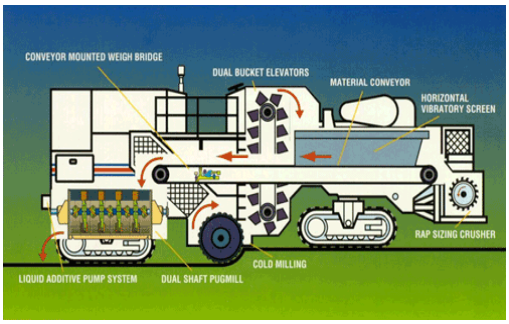
– إعادة تأهيل حارة مرور واحدة فقط إذا لزم الأمر، وبالتالي تقليل الاضطرابات المرورية إذ يمكن السماح بحركة المرور في الحارة المجاورة.

– إمكانية تصحيح العيوب في التصميم الهندسي للطريق.

– إعادة فتح الطريق للمرور مباشرة بعد الانتهاء من الفرش [1], [2].

تتمثل خطوات إعادة التدوير البارد في المكان بإعداد موقع العمل، ثم كشط وطحن الرصف الموجود، ثم إضافة المادة الرابطة المناسبة، والحصويات الجديدة إذا لزم الأمر، ومن ثم الخلط وإعادة الفرش والرص، وعادة ما يتم إضافة طبقة سطحية جديدة من خلطة إسفلتية ساخنة، لتقوية الطبقة المعاد تدويرها وزيادة متانتها.

يمكن أن تتم جميع هذه الخطوات من خلال آلية واحدة بمثابة مجبل متحرك تقوم بكافة الأعمال معاً [4]، كما هو مبين في الشكل (1).



الشكل (1) آلية التدوير البارد في موقع العمل[3]

وهي آلية متطورة جداً وحديثة، لا تتوفر محلياً في الوقت الحالي نظراً لكلفتها العالية، ولكن مع دراسة الجدوى الاقتصادية لكفاءة هذه الآلية، وقدرتها على إعادة تدوير 100% من الرصف المخرب بسرعة كبيرة، وتوفير كبير في المواد الأولية، بالإضافة إلى الميزات البيئية التي يمكن جنيها باستخدام هذه التقنية، نرى أنه من الضروري أن تتوفر مثل هذه الآليات محلياً في المستقبل.

اختيار نوع المادة الرابطة المستخدمة في عملية إعادة التدوير يتعلق بدرجة حرارة التدوير (بارد–ساخن)، وموقع العملية (في المجبل – في موقع العمل)، والجدول التالي يبين أنواع المواد الرابطة التي يمكن استخدامها في عملية إعادة التدوير للرصف الإسفلتي وفق جمعية الطرق العالمية (PIARC) [2]، حيث يشير الرمز + في الجدول إلى إمكانية استخدام المادة الرابطة، والرمز – إلى عدم إمكانية استخدامها.

الجدول (1) أنواع المواد الرابطة المستخدمة في عملية إعادة تدوير الرصف الإسفلتي [2]

نوع المادة الرابطة		درجة حرارة التدوير		مكان عملية التدوير	
المجموعة	النوع	بارد	ساخن	في الموقع	في المجبل
مواد بيتومينية	نفطية	+	+	+	+
	مستحلبة	+	-	+	-
مستحلب مع إسمنت		+	-	+	+
مواد هيدروليكية	إسمنت	+	-	+	+
	خبث الأفران	+	+	+	+
	الجير	+	-	+	-
	الرماد المتطاير	+	+	+	+

2- مشكلة البحث:

تكمن المشكلة العلمية في هذا البحث في تدني مقاومة الخلطات الإسفلتية الباردة المعاد تدويرها باستخدام المستحلب البيتومينى لوحده، كما أن استخدام الإسمنت لوحده ينتج عنه تشققات، لذا تمت دراسة إمكانية تحسين مقاومة الخلطات المعالجة بالمستحلب البيتومينى، بإضافة الحد الأدنى لنسبة الاسمنت التي تتحقق عندها الشروط والمواصفات الفنية المطلوبة، وذلك للاستفادة من صلابة الإسمنت ومرونة الإسفلت.

3-هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير استخدام الحصويات الاسفلتية معادة التدوير (RAP) على كل من محتوى المستحلب البيتومينى المثالي، وعلى الخصائص الميكانيكية للخلطات الاسفلتية الباردة الحاوية عليها، بالإضافة إلى دراسة تأثير إضافة الإسمنت على الخصائص الميكانيكية للخلطة.

4- نطاق ومحددات البحث:

سوف تستخدم هذه الخلطات في إنشاء ومعالجة طبقة الأساس الحصوي، في الطرقات الاسفلتية منخفضة الغزارة المرورية، وفق المواصفة السورية لأعمال الطرق والجسور لعام 2002، والمواصفة الأمريكية لعام 2014 [**FP-14**].

5- محتوى البحث:

- **القسم الأول: ويتضمن:**
  - المقدمة، مشكلة البحث، هدف البحث، نطاق ومحددات البحث.
  - الدراسة النظرية:
    - ✓ أنواع عمليات التدوير للرصف الإسفلتي.
    - ✓ المقارنة بين التدوير البارد السطحي والعميق في المكان.
    - ✓ ميزات التدوير البارد للرصف الإسفلتي.
  - الدراسات المرجعية.
- **القسم الثاني (العمل المخبري): يتضمن:**
  - تحضير الحصويات
  - تحضير المواد الرابطة (الاسمنت، والمستحلب البيتومينى).
  - إجراء التجارب على الحصويات لتحديد خصائصها الفيزيائية والميكانيكية.
  - تحضير الخلطات.
  - إجراء التجارب على الخلطات.

6- الدراسات المرجعية:

قام عدد من الباحثين بدراسة تأثير إضافة الإسمنت على خصائص الخلطات الباردة من الرصف الإسفلتي المعاد تدويره

مع المستحلب البيتوميني، ففي دراسة أجراها (Y. Niazi *et al.*, 2008) حول تأثير الإسمنت البورتلاندي وإضافات الجير على الخلطات الباردة المعاد تدويرها مع المستحلب البيتوميني، أظهرت النتائج أن كلا من الإسمنت والجير يمكن أن يزيد من: ثبات مارشال، معامل المرونة، مقاومة الشد غير المباشر، مقاومة خلطات الـ (CIR) للرطوبة والتشوهات الدائمة، ولكن بسبب صعوبة إنتاج الملاط الجيري أوصت الدراسة باستخدام الإسمنت البورتلاندي [7].

كما درس (Simone Raschia *et al.*,2020) تأثير محتوى الماء والإسمنت على الخصائص الميكانيكية لخلطات الإسفلت المعاد تدويرها على البارد مع المستحلب البيتوميني.

حيث تم دراسة أربع أنماط من الخلطات، اختلفت فيما بينها من حيث المحتوى المائي، ووجود الإسمنت أو عدمه، (C+4W, 0C+2W, 2C+4W, 2C+2W0)

وقد أظهرت نتائج قياسات المعامل الديناميكي ذو الأهمية على طول المعالجة، زيادة في قيمة المعامل الديناميكي ذي الأهمية في الأيام السبعة الأولى لجميع الخلطات الأربعة، وبعد 14 يوماً كان للخلطات مع الاسمنت معامل أعلى من الخلطات بدونه، والتي لم تكن مختلفة فيما يتعلق بالمحتوى المائي [8].

بينما قامت الباحثة (R. Jouni, 2005) بدراسة تأثير بعض البرامترات على تحضير الخلطات من الحصويات المكسرة، مع المواد الاسفلتية المكشوطة ومعادة التدوير، فوجدت أن:

1)- التسلسل الأفضل للخلط هو حصويات- إسمنت- ماء- مستحلب بيتوميني.

2)- أثر تسلسل الخلط على عامل الصلابة على الشد غير المباشر، لكنه لم يؤثر على المقاومة على الشد غير المباشر.

3)- اعطى الرص بعد الخلط مباشرة افضل النتائج لعامل الصلابة على الشد غير المباشر.

4)- لم تتأثر قيم المقاومة على الشد غير المباشر بتغير الزمن الفاصل بين نهاية الخلط وبداية الرص.

5)- ممكن أن تكون حضانة العينات بعد الرص على الشكل التالي:

- بالنسبة للعينات غير الحاوية على اسمنت 3 أيام في فرن تجفيف بدرجة حرارة 60°.

- بالنسبة للعينات الحاوية على اسمنت 7 أيام في غرفة رطبة (الرطوبة أكبر من 98%)، ومن ثم يومين في فرن التجفيف بدرجة حرارة 60°.

6)- أظهر حفظ العينات في جو المخبر (الحرارة 22±2) والرطوبة (50-60%) أنه لا يؤثر على عامل الصلابة على الشد غير المباشر [5]، [6].

أما (Yinfei Du *et al.*, 2019) فقد درس سلسلة من العوامل المؤثرة على المقاومة على الشد غير المباشر المبكرة ITS، والمحتوى المثالي لكل من المستحلب البيتوميني والإسمنت للخلطات من الرصف الإسفلتي المعاد تدويره على البارد، مع المستحلب البيتوميني والإسمنت، بما في ذلك:

تركيبة الخليط من حيث: نوع المستحلب البيتوميني، والإسمنت في الخلطة.

بيئة المعالجة من حيث: درجة الحرارة، والرطوبة.

حيث بينت النتائج أن زيادة محتوى الإسمنت في الخلطة مع المحتوى المثالي لكل من الماء والمستحلب البيتوميني أدى إلى زيادة قيمة ITS، كما أثر نوع المستحلب البيتوميني على قيمة ITS، ووجد أن زيادة درجة حرارة المعالجة أدت لزيادة كبيرة في قيمة ITS، نتيجة زيادة معدلات إماهة الإسمنت، وتبخر الماء، وتفكك المستحلب كما تم دراسة تفاعل إماهة الإسمنت، وتفكك المستحلب من خلال إجراء صور مجهرية وتجارب مخبرية على الخلطات، وملاط الإسمنت والمستحلب، حيث أظهرت النتائج أن التأثير المزدوج لكل من الإسمنت

والمستحلب البيتوميني ساعد على زيادة قيمة ITS، مقارنة بالخلطات الحاوية على إسمنت لوحده أو مستحلب بيتوميني لوحده[13].

كما قام (Bohdan Dolzycki *et al.*, 2022) بدراسة تأثير نوع الإسمنت المستخدم على الخصائص المبكرة للخلطات الإسفلتية من الرصف الإسفلتي المعاد تدويره على البارد مع المستحلب البيتوميني، حيث قام بدراسة نوعين من الخلطات لهما نفس التركيب، وباستخدام نفس النوع والنسبة من المواد الرابطة (مستحلب بيتوميني+ إسمنت)، وتختلف فيما بينها من حيث نوع الإسمنت فقط حيث تمت دراسة نوعين من الإسمنت:

1- الإسمنت البورتلاندي الشائع .CEM I 32.5 R

2- الإسمنت البورتلاندي مع الرماد المتطاير CEM II 32.5 B-V مع زمن تصلب طويل.

وتم تحديد قيم كل من المقاومة، ومعامل الصلابة على الشد غير المباشر لكلا الخلطتين بعد (7، 28، 90) يوماً من المعالجة، فأظهرت النتائج قيماً منخفضة لكل من المقاومة ومعامل الصلابة على الشد غير المباشر للإسمنت البورتلاندي مع الرماد المتطاير بعد 7 و28 يوماً، مقارنة بالإسمنت الشائع، ولكن بعد 90 يوماً أعطت قيم الخصائص لكلا النوعين قيماً متشابهة.

بما أن الخصائص الميكانيكية طويلة الأمد لكلا النوعين متماثلة، بالتالي فإن استخدام الإسمنت بطيء التصلب قد يؤدي إلى تقليل الشقوق الانعكاسية على سطح الرصف، في حال الطرق ذات حجم المرور المنخفض والمتوسط، إذ ليس هناك حاجة للرصف السريع للطبقات الإسفلتية، حيث ستتطلب الخلطة الباردة المعادة التدوير في هذه الحالة وقت أطول لتكتسب المقاومة الأولية المطلوبة [14].

من خلال الدراسات المرجعية السابقة وجد أن:

1. إضافة الإسمنت إلى خليط (CIR) يزيد من (ثبات مارشال، معامل المرونة، مقاومة الشد غير المباشر، مقاومة خلطات ال (CIR) للرطوبة، والتشوهات الدائمة).

2. إن استخدام الإسمنت مع المستحلب البيتوميني معاً في الخلطة، يجعلها أكثر مقاومة للماء من المستحلب لوحده، وأكثر مقاومة للتشققات من الإسمنت لوحده.

3. تتأثر الخصائص الميكانيكية المبكرة للخلطات بنوع الإسمنت المستخدم، بينما لا يوجد تأثير لنوع الإسمنت على الخصائص طويلة الأمد للخلطات، وهذا ما يجب أخذه بعين الاعتبار عند اختيار نوع الإسمنت المستخدم حسب الطريق.

4. قد تتأثر قيم عامل الصلابة على الشد غير المباشر بعدة برامترات هي:

- تسلسل الخلط والتسلسل المفضل هو حصويات، إسمنت، ماء، مستحلب بيتوميني.
- حضانة العينات (درجة الحرارة - نسبة الرطوبة بالنسبة للعينات مع الإسمنت - الفترة الزمنية لبقاء العينات في الفرن).
- الفترة الزمنية الفاصلة بين نهاية الخلط وبداية الرص.

7- مواد وتجهيزات البحث:

7-1- مواد البحث:

1. **حصويات إسفلتية مكشوطة** (RAP): تم إحضارها من أعمال صيانة طريق خربة غزالة عتمان في محافظة درعا، حيث تم تجفيفها أولا، ثم تم رفض الحصويات ذات المقاس الأكبر من 19mm.

2. **حصويات جديدة NA** لتعديل التدرج الحبي، تم إحضارها من مقالع جباتا الخشب في محافظة القنيطرة.

3. **مستحلب بيتوميني**، حيث يتوفر حاليا في السوق المحلية نوعان من المستحلبات البيتومينية:

- مستحلبات بيتومينية مع كلس.

- مستحلبات بيتومينية مع مطاط.

تم في هذا البحث اختيار المستحلب البيتوميني الحاوي على كلس نظراً لكون الكلس يعمل بشكل جيد مع الاسفلت، بالإضافة إلى كلفته المنخفضة نسبياً مقارنة بالمستحلب الحاوي على مطاط، وهو موضح في الشكل (2).

مكونات المستحلب البيتوميني المتوفر حاليا في السوق المحلية:

(35% كلس+ 25% ماء +40% إسفلت): إلا أن المستحلبات المستخدمة عادة في مجال الطرق تحتوي على 50% إسفلت أو أكثر، و50% ماء أو أقل، لذلك تم تعديل نسبة استخدام المستحلب المتوفر حيث تم اعتبار الكلس الموجود فيه جزءا من البودرة الموجودة في الحصويات المستخدمة، وبالتالي تصبح كل نسبة من المستحلب المعدل تقابلها مرة ونصف من المستحلب المتوفر مع كلس، لأن مجموع كل من الماء والإسفلت في المستحلب المتوفر يساوي 65%، أي: (100/65≈1.5) فتصبح نسبة الإسفلت فيه 60%، والماء 40%.

4. اسمنت بورتلاندي بوزولاني ماركة N 42.5، صنف CEM II/A-P، إنتاج معمل البادية في محافظة ريف دمشق، وهو يتكون حسب المواصفة الأوروبية (EN-197-1:2011) من الكلينكر بنسبة (80–94)%، البوزولانا الطبيعية (6–20)%، ومكون إضافي أساسي بنسبة %(0-5).

الشكل (2) المواد المستخدمة

7-2- أدوات وتجهيزات البحث:

أ- الأدوات والتجهيزات المستخدمة في دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات:

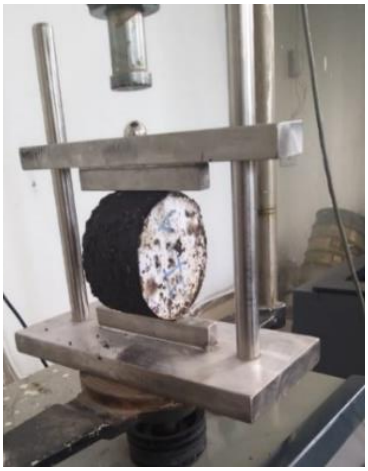
- مجموعة مهزات لإجراء تجربة التدرج الحبي.
- فرن تجفيف.
- ميزان حساس يقيس بدقة 0.1g.
- أدوات قياس الأوزان النوعية، وفق المواصفة.
- جهاز لوس أنجلوس لتحديد نسبة الاهتراء المئوية للحصويات.

ب- الأدوات والتجهيزات المستخدمة في دراسة الخصائص الميكانيكية للخلطات :

- جهاز مارشال:
  - مع رأس الكسر الموضح بالشكل (3) لقياس الثبات، والسيلان، وفق المواصفة (ASTM D1559):

الشكل (3) رأس الكسر في تجربة مارشال

❖ مع رأس الكسر الموضح بالشكل (4) لقياس المقاومة على الشد غير المباشر ITS، وفق المواصفة (EN 12697-23):



الشكل (4) رأس الكسر في تجربة الشد غير المباشر

8- العمل المخبري:

8-1-تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات:

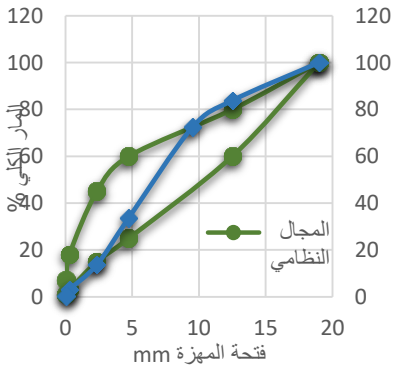
أ- التدرج الحبي:

تنص المواصفات السورية لإعادة تدوير الأساس الإسفلتي على البارد للعام 2002 [10]، أن تدرج الحصويات يجب أن يكون مطابق لمتطلبات التدرج والنوعية للأساس الحصوي المعالج بالمستحلب البيتوميني من النوع الثاني في المواصفة (AASHTO T- 30-93).

الجدول (2) تدرّج الحصويات حسب طريقة الجمعية الأمريكية لمسؤولي الطرق السريعة والنقل (AASHTO T- 30-93)

قياس المنخل	النوع الثاني أساس معالج بالمستحلبات ذي تدرج كثيف
	تدرج كثيف
37.5 مم (1.5 إنش)	100
25 مم (1 إنش)	100 - 90
12.5 مم ($\frac{1}{2}$ إنش)	80 - 60
4.75 مم (رقم 4)	60 - 25
2.36 مم (رقم 8)	45 - 15
0.30 مم (رقم 50)	18 - 3
0.075 مم (رقم 200)	7 - 1

وبإجراء تجربة التدرج الحبي على عينات من حصويات الـ RAP، وجد أن منحني التدرج الحبي لايقع ضمن المجال النظامي الشكل (5):

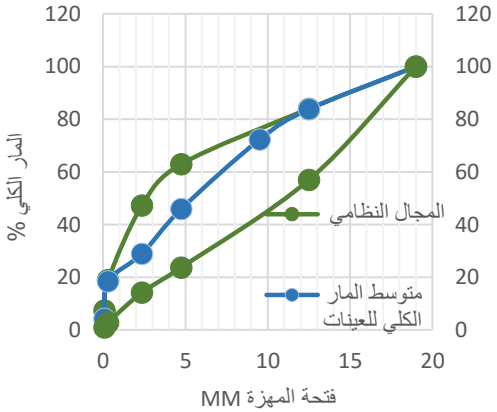


الشكل(5) منحني التدرج الحبي لحصويات (RAP) قبل التعديل.

لذا تم تعديل التدرج الحبي باستخدام حصويات جديدة NA، حيث تم فرض تدرج حبي للحصويات الجديدة يقع ضمن المجال النظامي المطلوب، وتجريب عدة نسب من (RAP+NA) للوصول إلى النسبة التي تحقق استخدام أكبر كمية ممكنة من حصويات الـ RAP.

فكانت النسب هي: 80%RAP +20%NA

فأصبح منحني التدرج الحبي بعد التعديل كما هو موضح في الشكل (6):

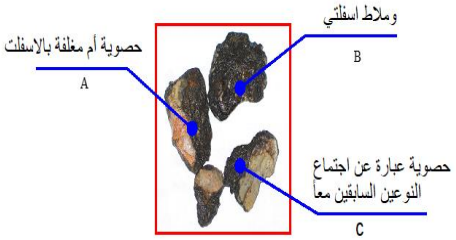


الشكل(6) منحني التدرج الحبي للخليط (80%RAP+20%NA) بعد التعديل.

تم إجراء تجربة الأوزان النوعية على الحصويات الخشنة وفق المواصفة (ASTM C127, T 85) للحصويات الاسفلتية المكشوطة (RAP)، والحصويات الجديدة (NA)، ووفق المواصفة (ASTM C128 – 01, T84) للحصويات الناعمة لكلا النوعين [10] ، فكانت نتائج وسطي 3 عينات من كل نوع من الحصويات كما هو مبين في الجدول(3):

يبين الجدول(3) أن الأوزان النوعية للحصويات المكشوطة أقل من الحصويات الجديدة لكلا النوعين الخشنة والناعمة، وهذا يعود لطبيعتها المركبة، حيث أن بنيتها الحبيبية مكونة من 3 أنواع من الحصويات كما هـ الشكل (7): A حصوية أم مغلفة بالاسفلت، B ملاط اسفلتي، C حصوية عبارة عن اجتماع النوعين السابقين معاً [1].

ب- الأوزان النوعية ونسبة الامتصاص:



الشكل(7) البنية المركبة لحصويات الـ RAP [1].

الجدول (3) نتائج تجربة الأوزان النوعية .

نوع الحصويات	G_{Sb}	G_{sa}	G_{ssD}	نسبة الامتصاص%
الحصويات الإسفلتية المكشوطة الخشنة	*2.43*	*2.5*	*2.46*	*1.11*
الحصويات الإسفلتية المكشوطة الناعمة	*2.22*	*2.31*	*2.26*	*1.8*
الحصويات الجديدة الخشنة	*2.59*	*2.78*	*2.66*	*2.7*
الحصويات الجديدة الناعمة	*2.48*	*2.75*	*2.58*	*4*

ت- مقاومة الاهتراء :

أجريت تجربة لوس أنجلوس على عينة من الحصويات الخشنة الإسفلتية المكشوطة RAP، وعينة من الحصويات الخشنة الجديدة NAوفق المواصفة ([10] (ASTM C-131، C وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول:

الجدول (4) نتائج تجربة لوس أنجلوس

نوع الحصويات	نسبة الاهتراء %
حصويات إسفلتية مكشوطة RAP	28.93
حصويات جديدة NA	20.74

حيث يبين الجدول [4] أن النسبة المئوية للاهتراء لكل من الـ RAP والـ NA >45% ، أي أن الحصويات تحقق المواصفات المطلوبة لطبقة الأساس الحصوي [AASHTO

T96-77]، ونستنتج من ذلك أن الحصويات الاسفلتية المكشوطة ذات مقاومة جيدة للاهتراء.

8-2- تحضير الخلطات الإسفلتية وتحديد خصائصها الميكانيكية:

– تم دراسة ثلاثة أنواع من الخلطات وهي :

خلطتين من الحصويات الإسفلتية المعاد تدويرها RAP بعد تعديل تدرجها الحبي بحصويات جديدة، وذلك بنسبة (RAP+20%NA%80) مع المستحلب البيتوميني:

1. الخلطة الأولى (بدون إسمنت): وتتكون من: (RAP%80+20%NA++مستحلب إسفلتي +ماء).
2. الخلطة الثانية (مع إسمنت): وتتكون من: (RAP%80+N%20+إسمنت+ماء +مستحلب إسفلتي)
3. الخلطة الثالثة (وهي خلطة مرجعية NA%100 بدون إسمنت): أي تتكون من: (NA%100+ماء +مستحلب).

وكانت منهجية العمل المخبري في كل خلطة من الخلطات الثلاث :

• تحديد نسبة السوائل المثالية (مستحلب+ماء): **وذلك بهدف الوصول إلى أعلى درجة رص ممكنة وفق منحني بروكتور.**

• تحديد نسبة المستحلب المثالية: وذلك بهدف الوصول إلى أعلى قيمة للتغليف والارتباط بين الحصويات.

ثم تمت مقارنة نتائج الخلطات الثلاثة.

حيث تمت دراسة الخصائص الميكانيكية للخلطات الثلاث من حيث المقاومة على الشد غير المباشر ITS، الثبات، النسبة على الشد غير المباشر TSR لقياس حساسية الخلطات للماء.

تم الاعتماد على المواصفة الأمريكية لعام 2014 (FP-14) [9]، لتصميم الخلطة الإسفلتية الباردة من الرصف الإسفلتي المعاد تدوير مع المستحلب البيتوميني والإسمنت والمبينة في الجدول (5).

الجدول (5) المواصفات الفنية المطلوبة في انتاج الخلطة الإسفلتية الباردة المعادة التدوير وفق المواصفة (FP-14).

Material or Property	Requirement
Indirect tensile strength, AASHTO T 283 (1)	
Tensile strength dry	70 psi (480 kPa) minimum
Tensile strength ratio (TSR)	70% minimum
Raveling test, ASTM D7196, 4 hour cure at 50 °F (10 °C), 50% humidity(2)	
Average mass loss	5% maximum
(1) Follow the modified AASHTO T 283 procedures as indicated in FLH T 524.	
(2) Use the listed testing conditions for the raveling test, unless otherwise directed by the CO.	

تم في هذا البحث اعتماد البرامترات التالية وفقا للدراسات المرجعية السابقة [4]:

أ- تسلسل خلط المواد الداخلة في الخليط:

حيث تم اعتبار التسلسل المفضل للخليط هو إضافة الإسمنت إلى الحصويات ثم الماء، ثم المستحلب، كما أن هذا التسلسل سهل التطبيق.

ب- الفترة الزمنية الفاصلة بين نهاية الخلط وبداية الرص: من الممكن الرص مباشرة بعد نهاية الخلط والفرش.

ت- حضانة العينات المخبرية:

– للعينات الحاوية على إسمنت ومستحلب:

7 أيام في الغرفة الرطبة،2 يوم في فرن درجة حرارته 60،1 يوم في جو المخبر (20±2).

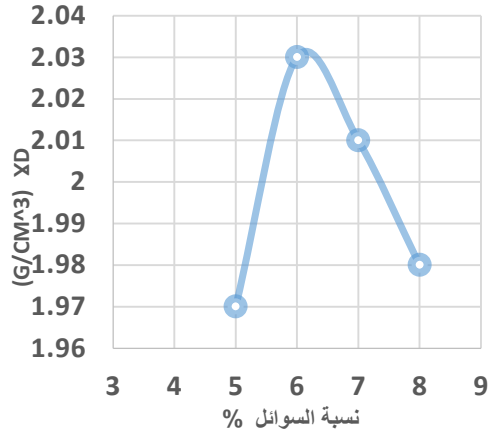
– العينات الحاوية على مستحلب فقط بدون إسمنت:

3 أيام في فرن درجة حرارته 60،1° يوم في جو المخبر.

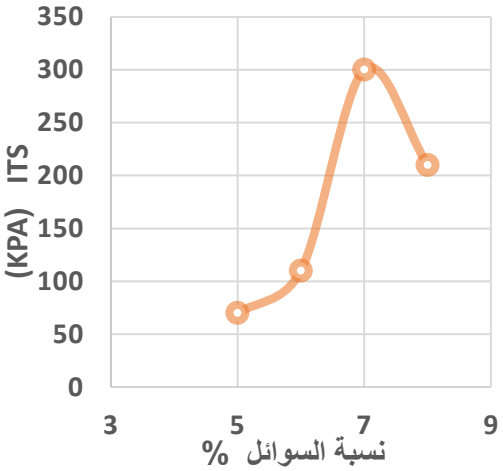
8-2-1- الخلطة الأولى (مستحلب بيتومين+ماء +80%RAP+20%NA):

أولا: تحديد نسبة السوائل المثالية (مستحلب+ماء):

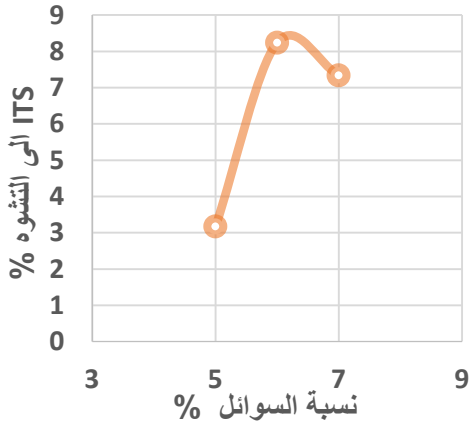
وذلك بدراسة ثلاثة مخططات وهي:



الشكل (9) تغير نسبة السوائل%، مع تغيرالكثافة الجافة



الشكل(10) تغير نسبة السوائل%، مع تغير ITS.



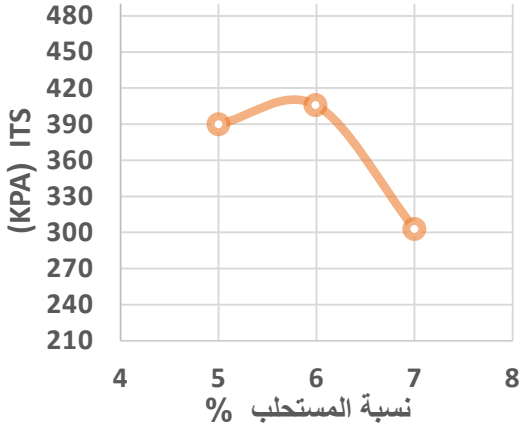
الشكل (11) تغير نسبة السوائل%، مع تغير نسبة ITS إلى التشوه الشاقولي%.

بناءً على المخططات الثلاثة السابقة (11), (10), (9) تم تحديد النسبة المثالية للسوائل والتي هي القيمة التي تتحقق معها أعلى كثافة، وأعلى مقاومة على الشد غير المباشر، وأعلى قيمة لمعامل الصلابة على الشد غير المباشر ITSM، والتي استعضنا عنها في بحثنا هذا بنسبة ITS الى التشوه كما هو مبين في الشكل (11)، وبالتالي بأخذ المتوسط الحسابي للقيم الثلاث كانت نسبة السوائل المثالية لهذه الخلطة هي: ω =%6.6 .

ثانياً: تحديد نسبة المستحلب المثالية:

في الخطوة الأولى تبين أن نسبة السوائل المثالية التي يجب إضافتها للخليط هي 6.6% من وزن الحصويات الجافة، وفي هذه الخطوة تم دراسة نسبة المستحلب البيتومين المثالية من نسبة السوائل، والتي تعطي أكبر قيمة للمقاومة على الشد غير المباشر ITS، حيث تمت دراسة عدة نسب من المستحلب: 5% مستحلب، 6% مستحلب، 7% مستحلب.

والنتيجة موضحة في الشكل التالي:



الشكل(12) تغير نسبة المستحلب البيتوميني %، مع تغير ITS (Kpa).

*** نتائج الخلطة الأولى:**

النسبة المثالية للمستحلب هي 5.6%

ITS = 410 Kpa

التشوه=3.67mm

نلاحظ أن قيمة ITS في الخلطة الأولى لا تحقق المواصفة المطلوبة (FP-14) ، لذلك تم إضافة الإسمنت في الخلطة الثانية بهدف زيادة قيمة المقاومة.

* كما أجري اختبار مارشال على 3 عينات من الخلطة الأولى فكانت النتائج:

الثبات = 270.5 Kg

السيلان = 7.64 mm

وهنا لا تشترط المواصفة (FP-14) أية قيمة للثبات والسيلان.

8-2-2- الخلطة الثانية (مستحلب بيتومين +ماء+ إسمنت+ 80%RAP+20%NA):

تم فيها دراسة مدى تأثير إضافة الإسمنت إلى الخليط على قيمة كل من ITS ،والثبات، والسيلان.

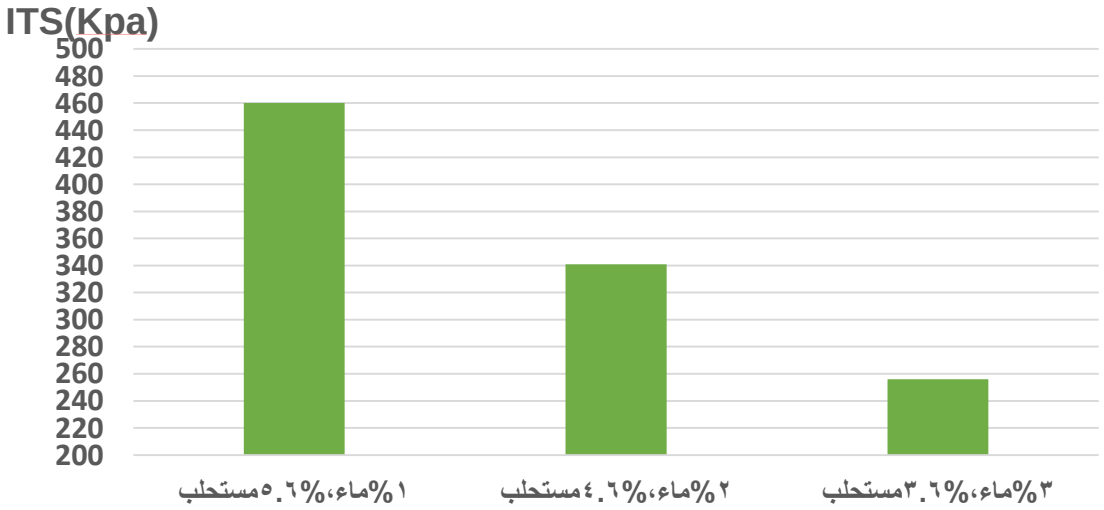
أولاً: تحديد نسبة المستحلب البيتوميني المثالية:

* عند إضافة الإسمنت إلى الخليط لابد من دراسة نسبة المستحلب البيتوميني المثالية من نسبة السوائل المثالية التي تم التوصل إليها في الخلطة الأولى والتي كانت تساوي6.6% .

تم الانطلاق من النسبة 2% إسمنت بناءً على الدراسات السابقة، على اعتبار انها لا تتسبب بظهور التشققات[3]،[1].

وبدراسة عدة نسب من المستحلب البيتومين: 3.6%، 4.6%، 5.6%، وما يقابلها من نسب الماء اللازمة (1، 2، 3)% من وزن الحصويات لاكمال نسبة السوائل

المثالية الى القيمة 6.6% من وزن الحصويات، كانت قيم ITS المقابلة لها على التوالي كما هو مبين في الشكل (13).



الشكل(13) تغير نسبة المستحلب البيتوميني%، مع تغير ITS (Kpa) مع النسبة 2% إسمنت.

*** نتائج الخلطة الثانية:**

– يبين الشكل (13) أن النسبة 5.6% مستحلب بيتوميني تعطي أعلى قيمة للمقاومة على الشد غير المباشر ITS، وبالتالي فهي النسبة المثالية للمستحلب البيتوميني.

كما بينت النتائج أن قيمة كل من:

ITS= 460Kpa<480 Kpa.

التشوه=2.47mm

نلاحظ من قيمة ITS أن الخلطة الثانية لا تحقق المواصفة (FP-14) أيضا عند النسبة 2% إسمنت.

لذلك تمت دراسة النسبة 3% إسمنت، وبتكرار نفس الخطوات السابقة كانت قيمة كل من:

ITS= 496 Kpa>480 Kpa

التشوه=2.23 mm

– أي أن الخلطة الثانية تحقق المواصفة (FP-14) عند النسبة 3% إسمنت من حيث قيمة ITS، لذا تم دراسة حساسية الخلطة للماء وتحديد قيمة TSR.

ثانياً: دراسة حساسية الخلطات للماء من خلال تحديد قيمة TSR(نسبة المقاومة على الشد غير المباشر (AASHTO T 283):

تم تشكيل 6 عينات بالنسب المثالية لكل من المستحلب والماء، والإسمنت، أي وفق النسب التالية:

80%RAP +20%NA +3% إسمنت+1% ماء

+5.6%مستحلب بيتوميني

حيث وضعت العينات في غرفة رطبة لمدة 7 أيام، ثم وضعت في الفرن لمدة يومين، ثم:

(3) عينات تركت في جو المخبر لمدة يوم كامل، ثم تم اختبارها على جهاز الشد غير المباشر.

(3) عينات غمرت بالماء لمدة يوم كامل، بدرجة حرارة 25°، ثم تم اختبارها على جهاز الشد غير المباشر.

$$TSR=\frac{ITS_\omega}{ITS_\gamma}=\frac{349}{496}=70.4\%$$

ITS_ω: المقاومة على الشد غير المباشر في الحالة الرطبة.

ITS_d: المقاومة على الشد غير المباشر في الحالة الجافة.

* أظهرت النتائج أن قيمة TSR تحقق المواصفة الأمريكية (FP-14) حيث TSR=70.4% > 70%.

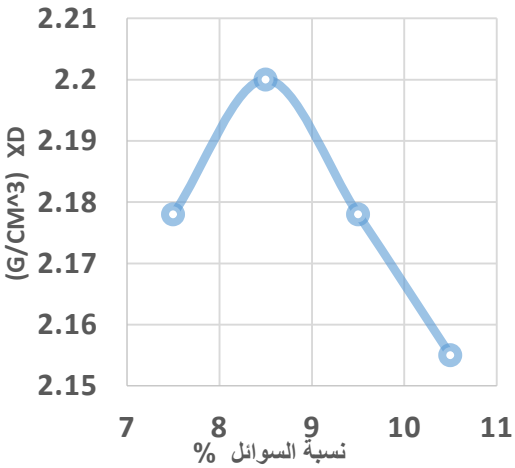
8-2-3- الخلطة الثالثة (الخلطة المرجعية) (مستحلب +ماء +100%NA):

* بما أن نسبة الامتصاص للحصويات الجديدة NA أكبر منها لحصويات RAP، لذا كان لابد من دراسة نسبة السوائل المثالية في العينة المرجعية.(100%NA)

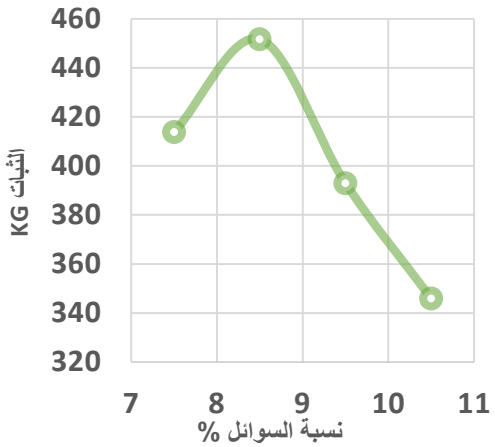
* أي تم تكرار نفس الخطوات المتبعة في الخلطة الأولى من أجل الخلطة المرجعية 100%NA.

أولا: تحديد نسبة السوائل المثالية (مستحلب بيتوميني **+ماء):**

وذلك بدراسة المخططات التالية:



الشكل (14) تغير نسبة السوائل% ،مع تغير الكثافة الجافة γd.



الشكل(15) تغير نسبة السوائل%، مع تغير الثبات.

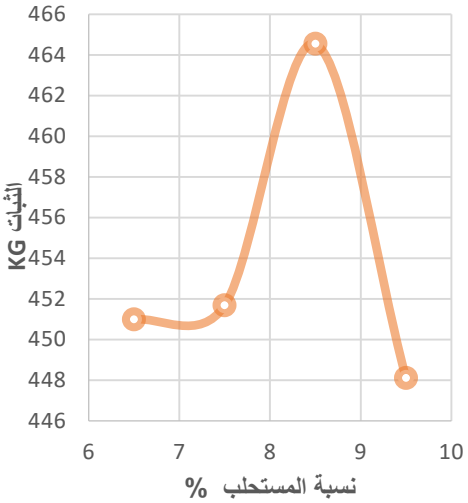
وبأخذ متوسط الذروتين فإن نسبة السوائل المثالية تساوي ω = %8.5 .

ثانياً: تحديد نسبة المستحلب المثالية:

* في الخطوة السابقة تبين أن نسبة السائل المثالية التي يجب إضافتها للخليط هي 8.5% من وزن الحصويات الجافة والتي تعطي أكبر قيمة للثبات.

* تمت دراسة عدة نسب من المستحلب البيتوميني: 6.5%، 7.5% ، 8.5%، 9.5%.

والنتيجة موضحة في الشكل (16):



الشكل (16) تغيرن سبة المستحلب %، مع تغير الثبات.

*** نتائج الخلطة الثالثة:**

من الشكل (16) يلاحظ أن النسبة 8.5% مستحلب تعطي أعلى قيمة للثبات في الخلطة المرجعية 100%NA، وبالتالي فهي النسبة المثالية للمستحلب البيتوميني، وهي أعلى من النسبة المثالية للخلطة الحاوية على حصويات معادة التدوير RAP، وهذا يعود إلى كون نسبة امتصاص الحصويات الجديدة NA أعلى من نسبة امتصاص حصويات الـ RAP كما تبين من خلال نتائج التجارب على هذه الحصويات، وبالتالي فإن إعادة التدوير للرصف الإسفلتي من شأنها التوفير في نسبة المستحلب البيتوميني المطلوبة.

كما بينت النتائج قيمة كل من:

الثبات=Kg465

السيلان =mm5.03

أجري أيضاً اختبار الشد غير المباشر على 3 عينات من الخلطة المرجعية، فكانت النتيجة:

ITS= 480Kpa

التشوه = 3.81 mm

يلاحظ أن قيمة ITS في الخلطة المرجعية تحقق المواصفة (FP-14) حيث ITS=480Kpa.

وهي أعلى من قيمة ITS للخلطة الحاوية على حصويات إسفلتية معادة التدوير RAP لأن بنية حصويات الـRAP هشة مقارنة بالحصويات الجديدة NA.

9- النتائج:

1. حققت حصويات RAP المواصفات المطلوبة لطبقة الأساس الحصوي [AASHTO T96-77] من حيث نسبة الاهتراء، نستنتج من ذلك أن الحصويات الاسفلتية المكشوطة ذات مقاومة جيدة للاهتراء.

2. إن الأوزان النوعية لحصويات الـRAP أقل منها لحصويات الـ NA وهذا يعود لطبيعتها المركبة الشكل(7)

كما أن نسبة الامتصاص للRAP أقل منها للNA وهذا يعود إلى كونها مغلفة بالإسفلت.

3. إن استخدام المستحلب البيتوميني لوحده في الخلطات الإسفلتية المعادة التدوير على البارد والمكونة من (80%RAP+20%NA)، غير كاف، حيث لم تحقق قيمة ITS الشروط والمواصفات الفنية المطلوبة وفق المواصفة الأمريكية [FP-14].

4. النسبة 3% اسمنت هي أقل نسبة اسمنت حققت المواصفات الفنية المطلوبة [FP-14]، مع النسبة المثالية للمستحلب البيتوميني 5.6% في الخليط المعاد تدويره على البارد، من حيث قيمة المقاومة على الشد غير المباشر ITS، والحساسية للماء TSR.

5. تتطلب الخلطات الحاوية على حصويات RAP نسبة مستحلب بيتوميني أقل من الخلطة المرجعية NA100% بنسبة 2.9%، أي أن إعادة تدوير الرصف الإسفلتي جيد من الناحية الاقتصادية.

6. مقاومة الخلطة المرجعية (100%NA) على الشد غير المباشر ITS أعلى من مقاومة الخلطات الحاوية على حصويات RAP بنسبة 17%، وهذا يعني أنه كلما زادت نسبة NA في الخلطة ستزداد المقاومة، ولكن بالوقت نفسه ستزداد معها الكلفة المادية نظراً لتشربها العالي مقارنة بحصويات RAP.

10- المراجع Reference

1. Jouni, Rabab. (2006), Mechanical Properties of Recycled Asphalt Pavement By Bitumen Emulsion and/without Cement. PHD. Department Of Transportation Planning And Engineering. Faculty Of Civil Engineering. The National (Metsovian) Technical University Of Athens. Athens: Greece.

2. Daru Widyatmoko, R Elliott. (2002) Asphalt Pavement Recycling for Hong Kong. Road Pavement Recycling Seminar, Warsaw: Poland.

3. Wirtgen. (1998) Cold Recycling Manual. Windhagen: Germany. Wirtgen GmbH. Page: 138.

4. Fedral Highway Administration (FHWA). (1997) Pavement recycling Guidelines for state and local governments. Washington: United States. Prithvi S. Kandhal, Rajib B.Mallick. Page: 301.

5. Jouni, Rabab. (2005). Mechanical Properties of Mixtures of Milled Bituminous Materials and Crushed Aggregates Recycled with Bitumen Emulsion and/without Cement. France.

6. Jouni, Rabab. (2005). Study The Effect Of Some Parameters On Preparing Sample Of Milled Bituminous Materials And Crushed Aggregates Recycled With Bitumen Emulsion And/Without Cement, Greece.

7. Y.Niazi, Morteza Jalili. Effect Of Portland Cement And Lime Additives On properties Of Cold In Place Recycled Mixtures With Asphalt Emulsion. Sciencedirect. July, 2008. The Link: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061808002110

8. Simone Raschia, Alan Carter, Andrea Graziani, and Daniel Perraton. (2020). Effect of water and cement content on the mechanical properties of Cold Recycled Mixtures (CRM) with bitumen emulsion. Proceedings Of 5th International Symposium On Asphalt Pavement & Environment (APE). Italy.

9. Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects, 2014.

10. المواصفات القياسية السورية لأعمال الطرق والجسور، سورية، 2002

11. Rossberg K. (2001). In-Situ Pavement Recycling Using Cement and Bitumen Combined as Binder-Strength Parameters and Long-Term Preformance,1st International Symposium on Subgrade Stabilisation and In situ Pavement Recycling Using Cement, vol.2, Session 5, Spain, Salamanca.

12. AJN, Lewis, And DC, Collings. (1999). Cold in place recycling: A relevant for road rehabilitation and upgrading. 7th conference on asphalt pavement for southern africa, South Africa.

13. Yinfei Du, Lingxiang Kong, and Tangzhong Wei. (2019). Laboratory Investigation into Early-Age Strength Improvement of Cold Recycled Asphalt Mixture Containing Asphalt Emulsion and Cement. Hindawi Journal, Vol. 2019, London: United Kingdom. Zahid Hossain.

14. Bohdan Dolzycki, Mariusz Jaczewski, Cezary Szydlowski. (2020). The Influence Of cement Type On Early Properties Of Cold In-Place Recycled Mixtures. RILEM International Symposium On Bitumen Materials ISBM Lyon 2020 Conference. Lyon: France