Experimental Study of Using Synthetic Wax Additives (Sasobit) to Design Warm Mix Asphalt

Dr. Bassam Sultan*
Iyad Sakore**

(Received 22 / 4 / 2024. Accepted 25 / 6 / 2024)

□ ABSTRACT □

In the last years, many researchers studied production of warm asphalt concrete by using organic, chemical and water-bearing additive.
The purpose of this research is to evaluate the use of Sasobit additive in the manufacture of warm asphalt mixes and studying the changes in properties of warm mix asphalt compared to the properties of hot mix asphalt.
The bitumen binder and Sasobit additive samples used in this work has been characterized. Two types of asphalt mixtures were done according to the Marshall method: Hot mixtures and warm mixtures containing different percentage of Sasobit additive (1, 1.5, 2)% by weight of bitumen binder, then the changes in the properties of warm asphalt mixtures modified with Sasobit additive were investigated and compared with reference mixtures.
Results of Marshall tests showed an increase in the ideal asphalt ratio in warm
asphalt mixtures compared to hot, low stability and density of WMA and indicated to success of the Sasobit additive in manufacture of warm asphalt mixes, at a suggested percentage of 1.5% of the total weight of bitumen binder, in which the physical and mechanical properties of the warm mix asphalt were close to the properties of the hot mix asphalt, with the need to study WMA resistance against moisture damage.

Keywords: Hot mix asphalt, Warm mix asphalt, Organic additives, Sasobit.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakai, Syria.**
** **Master, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakai, Syria. iyadsakore@gmail.com**

دراسة تجريبية لإنتاج الخلطات البيتومينية الدافئة باستخدام إضافات الشمع الصناعي (Sasobit)

د. بسام سلطان*

اياد صقور**

(تاريخ الإيداع 22 / 4 / 2024. قُبِل للنشر في 25/ 6 / 2024)

□ ملخّص □

اتجهت الأبحاث الحديثة خلال السنوات القليلة الماضية نحو إنتاج الخلطات البيتومينية الدافئة باستخدام الإضافات العضوية والكيميائية والحاملة للماء، نظراً للفوائد البيئية والهندسية والاقتصادية المرجوة من إنتاج هذه الخلطات.

يهدف هذا البحث إلى دراسة إمكانية استخدام الشمع الصناعي (Sasobit) في إنتاج الخلطات البيتومينية الدافئة، وتحديد النسبة المثلى لهذا الاستخدام، ودراسة التغيرات الحاصلة في خواصها بالمقارنة مع خواص الخلطات البيتومينية الساخنة.

تم في هذه الدراسة توصيف عينات الرابط البيتومينى والشمع الصناعي المستخدمة، وتصميم نوعين من الخلطات البيتومينية وفق طريقة مارشال: الخلطات الساخنة المرجعية، والدافئة المعدلة بالشمع الصناعي وفق عدة نسب وزنية (1, 1.5, 2)% من وزن الرابط البيتومينى، ومن ثم تمت دراسة التغيرات الحاصلة في خواص الخلطات البيتومينية الدافئة المعدلة بالشمع الصناعي ومقارنتها مع الخلطات البيتومينية الساخنة المرجعية.

تُشير نتائج اختبارات مارشال إلى ازدياد نسبة الرابط البيتومينى المطلوبة لإنتاج الخلطات الدافئة بالمقارنة مع الساخنة، مع تناقص في قيم الثبات والكثافة، وإلى نجاح إضافة الشمع الصناعي (Sasobit) في إنتاج خلطات بيتومينية دافئة محلية عند نسبة مقترحة قدرها 1.5% من وزن الرابط البيتومينى، حيث اقتربت عندها الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخلطات الدافئة إلى حد كبير من خواص الخلطات الساخنة، وأوصت هذه الدراسة بضرورة دراسة ديمومة الخلطات الدافئة ضد خطر الرطوبة.

الكلمات المفتاحية: الخلطات البيتومينية الساخنة، الخلطات البيتومينية الدافئة، الإضافات العضوية، إضافة Sasobit.

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

* **استاذ – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.**

** **ماجستير - كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.iyadsakore@gmail.com**

مقدمة:

تصنف الخلطات البيتومينية المستخدمة في رصف الطرق وفقاً لدرجة حرارة انتاجها، حيث يتم إنتاج الخلطات الساخنة Hot Mix Asphalt (HMA) عند درجات حرارة تتراوح بين 150-180)°C)، والدافئة Warm Mix Asphalt (WMA) عند درجات حرارة 100-140)°C)، أما الخلطات نصف الدافئة فيتم إنتاجها عند درجات حرارة أقل من 100°C، والباردة عند درجات أقل من 30°C [1].

تتسبب درجات الحرارة المرتفعة التي يتم إنتاج الخلطات البيتومينية الساخنة عندها بخلق مشاكل بيئية عديدة تتمثل بانبعاث كميات ضخمة من الدخان والغازات، وأخرى اقتصادية تتمثل باستهلاك كبيرة من الطاقة [2]. وهذا ما دفع الباحثون إلى التركيز على النواحي البيئية والاقتصادية خلال مرحلة انتاج الخلطات البيتومينية المستخدمة لتعبيد الطرق، فاتجهت الدراسات إلى تقليل انبعاث الغازات واستهلاك الوقود المطلوبين لإنتاج الخلطات البيتومينية الساخنة عن طريق تقليل درجات حرارة خلطه ورصه، وإنتاج الخلطات الدافئة عند درجات حرارة 100-140)°C) [3,4].

تتعدد طرق إنتاج الخلطات البيتومينية الدافئة من خلال استخدام التقنيات الرغوية القائمة على إنتاج البيتومين الرغوي، بالإضافة إلى استخدام العديد من الإضافات المصنعة خصيصاً لإنتاجها (العضوية، الكيميائية، والحاملة للماء) [2].

استخدمت الإضافات العضوية لأول مرة في رصف الطرق في ألمانيا عام 1997، حيث تم استخدام الشمع الهيدروكربوني المسمى بإضافة (Sasobit®) في إنتاج المجبول البيتومينى الدافئ ورص طريق في مدينة هامبورغ [5]. ومن ثم ازداد الاهتمام بهذه الإضافات بشكل كبير في أوروبا وأستراليا، في حين بدأ الاهتمام بها في شمال أمريكا عام 2005 وتم نشر تقرير علمي حول استخدام إضافة الشموع الصناعية Sasobit في إنتاج الخلطات البيتومينية الدافئة [6,7].

تشير نتائج الدراسات السابقة المتعلقة بتعديل خواص الرابط البيتومينى بالشمع الصناعي (Sasobit) إلى التغيرات التالية [8-12]:

- ازدياد قساوة الرابط المعدل بالشمع وتناقص قيم غرزه، وارتفاع درجة حرارة تميعه.
- انخفاض لزوجة البيتومين المعدل بالشمع عند درجات الحرارة المرتفعة.

قيم Hurley and Prowell عام 2005 تأثير الشموع الصناعية (Sasobit, Sasoflex) في أداء الخلطات البيتومينية الدافئة، وتضمنت دراستهم إنتاج الخلطات الدافئة استخدام نوعين من الحصويات (الغرانيت والحجر الكلسي) ونوعين من الرابط البيتومينى (PG 58-28 ,PG 64-22)، وتم دمك العينات عند درجات الحرارة 149, 129, 110, 88)°C)، أما درجات حرارة الخلط فكانت أعلى بعشرين درجة من درجات حرارة الدمك. وأشارت نتائج هذه الدراسة إلى حدوث تغيرات هامة في خواص الرابط البيتومينى، حيث انتقل البيتومين غير المعدل PG 58-28 إلى الصنف PG 64-22 بعد تعديله بنسبة 2.5% من إضافة Sasobit، وإلى الصنف PG 70-22 بعد تعديله بنسبة 4% من إضافة Sasoflex، في حين انتقل البيتومين PG 64-22 إلى الصنف PG 76-22 بعد تعديله بنسبة 4% من إضافة Sasoflex، وأظهرت النتائج بأن زيادة نسبة إضافة تؤدي لانخفاض نسب الفراغات الهوائية وتحسن قابلية الرص للخلطات الدافئة المنتجة باستخدام جهاز الرص الدوراني، وإلى انخفاض تخدد البيتومين بسبب التأثير المثبت للشمع نتيجة الهيكل الصلب المتجانس المتشكل في البيتومين المعدل بالشمع [13].

تحقق Al-Jumaili وآخرون عام 2015 من إمكانية استخدام إضافة Sasobit في إنتاج الخلطات البيتومينية الدافئة وذلك عند نسبة إضافة قدرها 1.5% من وزن الرابط البيتومينيي، واستخدم الباحثون في دراستهم نوعين من الرابط البيتومينيي (50/40، 70/60)، وتوصلوا لحدوث بعض التغيرات الهامة في خواص الخلطات الدافئة كتناقص قيم الثبات والكثافة ومقاومة الشد غير المباشر، وازدياد نسبة الرابط المثلى المطلوبة لإنتاج الخلطات الدافئة وزيادة عمق التخدد، وفي العموم بقيت مجمل النتائج ضمن حدود المواصفات وقريبة من خواص المجبول الساخن، لكن خرجت قيم مقاومة الخلطات الدافئة ضد خطر الرطوبة عن حدود المواصفات المسموحة، والتي تشترط بأن تكون مقاومة الخلطات ضد خطر الرطوبة %80< [14].

درس Aburawi عام 2019 خصائص الخلطات البيتومينية الدافئة المحتوية على إضافات الشمع الصناعي (RH-WMA)، وتتكون هذه الإضافة من الشموع الصناعية التي تم تطويرها في الصين، وتم إضافة هذه المادة للرابط البيتومينيي ذي غرز 81 وفق عدة نسب وزنية %(3 ,2 ,0)، وإنتاج الخلطات الدافئة عند درجات حرارة رص مختلفة °C(95 ,115 ,125)، ودرجات حرارة خلط أعلى بخمس درجات من درجات حرارة الرص، وتوصل إلى انخفاض قيم الكثافة وزيادة نسبة الفراغات الهوائية مع زيادة نسب الإضافة، في حين انخفضت مقاومة الشد غير المباشر بشكل كبير مع انخفاض درجة حرارة الرص [15].

يؤدي تقليل درجات حرارة إنتاج الخلطات البيتومينية وإنتاج الدافئة منها إلى الحد من التعب القصير الأمد الذي يتعرض له البيتومين خلال مرحلة الإنتاج. وفي هذا الاتجاه، درس Julaganti وآخرون عام 2019 تعب البيتومين المعدل بإضافة Sasobit وفق عدة نسب وزنية %(3 ,2 ,1)، وذلك عند درجات حرارة تعب مختلفة °C(123 ,143 ,163)، حيث تم استخدام نوعي بيتومين (معدل بالبوليميرات، معدل بفتات المطاط)، وأشارت نتائج هذه الدراسة إلى أن تقليل درجات حرارة البيتومين خلال مرحلة الإنتاج يؤدي لتقليل لزوجته وصلابته وزيادة زاوية القص وفقاً لاختبارات جهاز القص الديناميكي (DSR)، وإلى زيادة مقاومة التشوه الدائم للربط المعدل بالشمع والمعرض للتعب عند درجات حرارة °C(123 ,143) بالمقارنة مع الرابط الأصلي المعرض للتعب عند درجات حرارة °C(163) [16].

تم في هذه الدراسة استخدام الشمع الصناعي (إضافة Sasobit) في إنتاج خلطات بيتومينية دافئة محلية وفق عدة نسب %(2 ,1.5 ,1) من وزن الرابط البيتومينيي، ودراسة التغيرات الحاصلة في خواص الخلطات الدافئة.

أهمية البحث وأهدافه:

يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات والنقل (اختصاص تحسين إنتاج الخلطات البيتومينية)، ويهدف إلى:

1. التحقق من إمكانية استخدام الشمع الصناعي (إضافة Sasobit) في إنتاج خلطات بيتومينية دافئة محلية.
2. أهداف اقتصادية وبيئة: من خلال تقليل استهلاك الطاقة وتقليل انبعاث الغازات خلال مرحلة إنتاج الخلطات البيتومينية الساخنة.

طرائق البحث ومواده:

1- مواد البحث Research materials:

1- بيتومين 60/70 إنتاج مصفاة بانياس مطابق للمواصفات ASTM.D-140.

2- حصويات كلسية مصدرها مدينة حسياء.

3- إضافات عضوية من الشمع الصناعي (إضافة Sasobit).

2. العمل المخبري:

اعتمد في هذا البحث سلسلة من الاختبارات المحددة بالمواصفات التالية:

1. تجربة الغرز Penetration وفق المواصفة ASTM D.5.
2. تجربة درجة حرارة التميع Softening Point (Ring & Bale) وفق المواصفة ASTM D.36.
3. تجربة قابلية السحب (المطاوعة) Ductility وفق المواصفة ASTM D.113.
4. تجربة الفاقد بالحرارة Lose Of Heating وفق المواصفة ASTM D.1754.
5. تجربة تحديد الوزن النوعي للبيتومين Specific Gravity وفق المواصفة ASTM D.3289.
6. تجربة الفاقد بالإهتراء للحصويات Resistance Of Abrasion وفق المواصفة ASTM C.535.
7. تجربة المكافئ الرملي Sand Equivalent وفق المواصفة ASTM D.2419.
8. تجارب تحديد الوزن النوعي للحصويات Specific Gravity وفق المواصفات(ASTM (C.127- D.188 .

تجربة مارشال Marshall Test وفق المواصفة ASTM D.1559.

وقد أعطيت أنواع الخلطات البيتومينية المستخدمة في هذا البحث الرموز التالية:

HMA: تشير إلى عينات الخلطات البيتومينية الساخنة.

WMA_{S1}: تشير إلى عينات الخلطات البيتومينية الدافئة المصممة باستخدام البيتومين المعدل بالشمع الصناعي (إضافة Sasobit) بنسبة وزنية 1%.

$WMA_{S1.5}$: تشير إلى عينات الخلطة البيتومينية الدافئة المصممة باستخدام البيتومين المعدل بالشمع الصناعي (إضافة Sasobit) بنسبة وزنية 1.5%.

WMA_{S2}: تشير إلى عينات الخلطة البيتومينية الدافئة المصممة باستخدام البيتومين المعدل بالشمع الصناعي (إضافة Sasobit) بنسبة وزنية 2%.

3. - منهجية البحث Research methodology:

تم تحديد الخواص الأولية لعينات البيتومين المختبرة وهو بيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس، وذلك بإجراء تجارب (الغرز عند درجة حرارة 25°C، الممطولية، تحديد درجة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة)، ثم أعيدت نفس الاختبارات السابقة على البيتومين بعد إجراء اختبار الفاقد بالحرارة، وذلك لإظهار سلوك البيتومين بعد التعرض للإجهاد الحراري. كما تم تحديد خواص الحصويات المستخدمة وهي حصويات كلسية مصدرها مدينة حسياء، من خلال إجراء تجارب (التركيب الحبي، المكافئ الرملي، الفاقد بالاهتراء وفق لوس أنجلوس، تحديد الوزن النوعي).

بعد ذلك تم تصميم الخلطة البيتومينية الساخنة المرجعية السابقة وفق طريقة مارشال لتصميم الخلطات البيتومينية، وذلك عند درجة حرارة خلط 160°C ودرجة حرارة رص 150°C. ثم تم التحقق من إمكانية استخدام الشمع الصناعي (Sasobit) في إنتاج خلطات بيتومينية دافئة، حيث تم إنتاج خلطات دافئة باستخدام البيتومين المعدل بالشمع عند ثلاثة نسب وزنية %(2 ,1.5 ,1)، وذلك عند درجة حرارة خلط °C(135) ودمك °C(125)، وأُضيف البيتومين المعدل بالشمع للحصويات المسخنة لدرجات الحرارة المطلوبة والخلط جيداً باستخدام خلاط ميكانيكي وتصميم المجبول البيتومين الدافئ باستخدام طريقة مارشال عند نسب رابط %(6-4)، ودراسة التغيرات الحاصلة في خواص الخلطات المصممة.

النتائج والمناقشة:

1 – تحديد مواصفات الإضافة المستخدمة Sasobit:

يظهر الجدول (1) الخصائص الفيزيائية لإضافة الشمع Sasobit المستخدمة في هذا البحث.

الجدول (1): الخصائص الفيزيائية للشمع المستخدم (إضافة Sasobit)

اللون	أبيض
المكونات	شمع هيدروكربوني أليفاتي
الشكل	حبيبات بقطر 5mm
درجة حرارة التميع	98°C
درجة حرارة الذوبان	>85°C
الوزن النوعي	0.9

2 – تحديد خواص البيتومين:

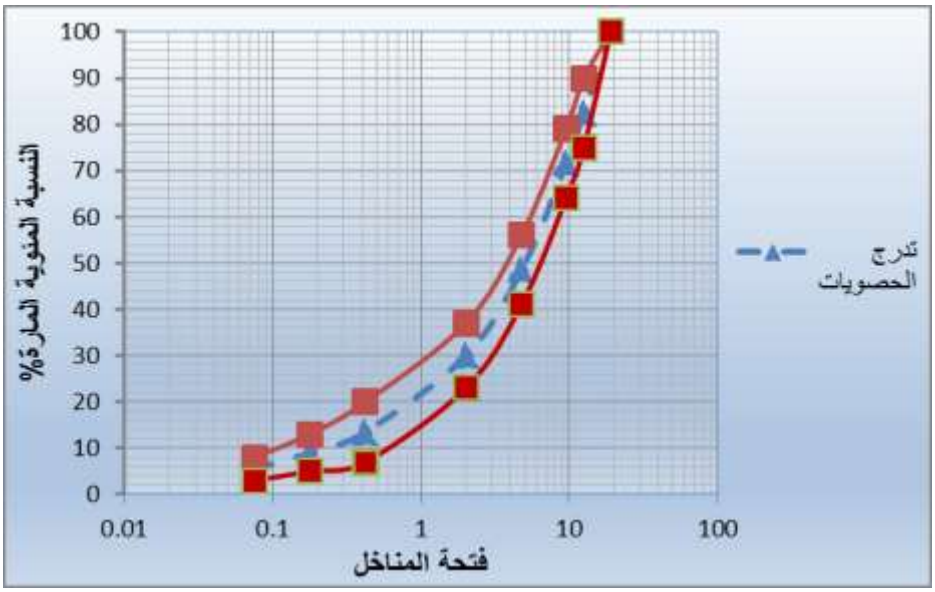
يظهر الجدول (2) خصائص البيتومين المدروس قبل وبعد التعرض لاختبار الفاقد بالحرارة، حيث أظهرت نتائج الاختبارات تطابقه مع القيم المسموحة المحددة بالمواصفات المحلية والعالمية ASTM [17,18].

الجدول (2): الخصائص الفيزيائية للرابط البيتوميني قبل وبعد التعرض لاختبار الفاقد بالحرارة

الخاصية	النتائج	المواصفات
الغرز، 25°C	65.6	60/70
الاستطالة (cm)	140	>100
حرارة التميع °C	50.9	46-54
الوزن النوعي	1.015	
التغيرات بعد اختبار الفاقد بالحرارة		
الفاقد بالوزن %	0.55	<1
الغرز المتبقي %	73.17	Min 50%
الاستطالة المتبقية cm	104	-

3 – تحديد خواص الحصويات:

يظهر الشكل (1) والجدول (3) خواص الحصويات المستخدمة في هذا البحث:



الشكل (1): منحني التدرج الحبي للحصويات المستخدمة

الجدول (3): الخصائص الفيزيائية للحصويات المدروسة

الفاقد بالاهتراء	21.77%
المكافئ الرملي	74 %
الوزن النوعي الفعال للحصويات	2.660

4. دراسة تأثير الشمع الصناعي Sasobit في خواص الخلطات البيتومينية:

يظهر الجدول (4) نتائج تصميم الخلطات البيتومينية الساخنة والدافئة المنتجة باستخدام البيتومين المعدل بإضافة Sasobit وفق ثلاثة نسب وزنية %(1, 1.5, 2)، حيث لوحظ زيادة حاجة الخلطات الدافئة للرابط البيتوميني بالمقارنة مع الساخنة.

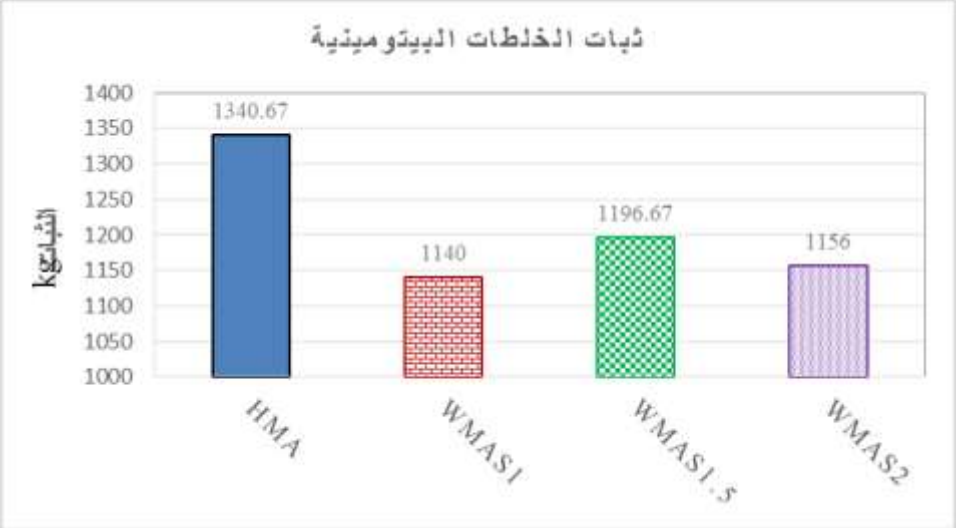
الجدول (4): عناصر مارشال للخلطات البيتومينية الساخنة والدافئة عند نسب البيتومين المثالية

الخلطة البيتومينية	نسبة الرابط المثالية %	الثبات kg	الانسياب mm	كثافة مارشال g/cm3	الفراغات المليئة vfa% حجما	الفراغات الهوائية va% حجما
HMA	5	1340.67	3.2	2.362	74.3	4
WMA_{S1}	5.46	1140	3.3	2.331	73.1	4.6
$WMA_{S1.5}$	5.56	1196.67	3.51	2.346	77	3.9
WMA_{S2}	5.63	1156	3.89	2.344	77.2	3.8

1.4. دراسة التغيرات الحاصلة في قيم ثبات مارشال:

يبين الشكل (2) تغير قيم ثبات مارشال للخلطات البيتومينية الدافئة بالمقارنة مع الساخنة عند نسب البيتومين المثالية وفقاً، ويتضح من هذا الشكل بأن قيم الثبات لجميع الخلطات البيتومينية الدافئة كانت ضمن حدود المواصفات المسموحة (>800 kg) بغض النظر عن نسبة الإضافة المستخدمة.

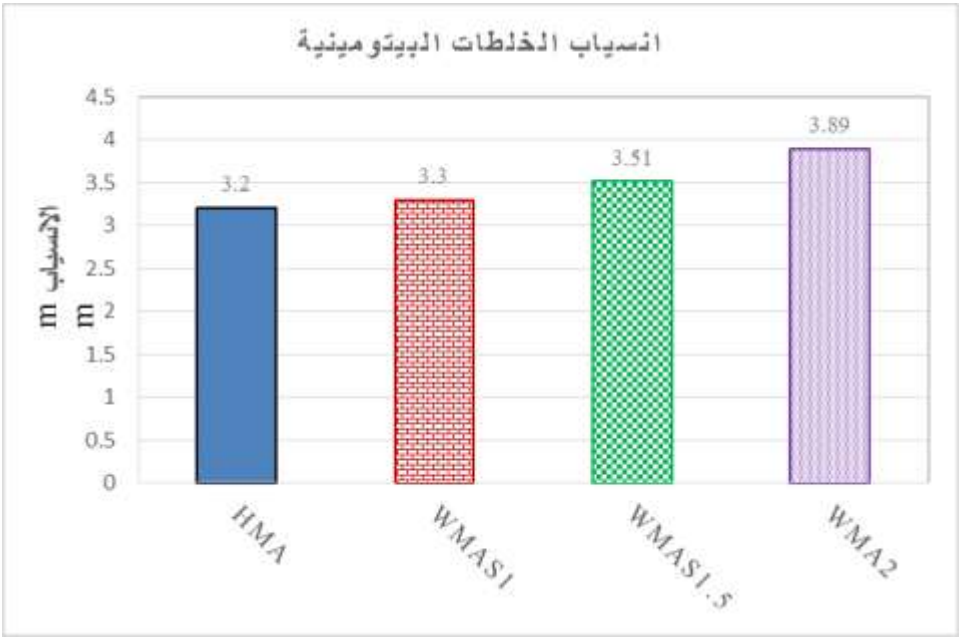
تشير نتائج ثبات مارشال الموضحة في الشكل (2) إلى انخفاض ثبات الخلطات البيتومينية الدافئة بالمقارنة مع الساخنة، وذلك بمقدار (15, 11, 14)% عند نسب الإضافة (1, 1.5, 2)% على التوالي ، حيث ازدادت قيم ثبات مارشال مع زيادة نسبة الشمع المضافة حتى النسبة 1.5% ثم تبدأ بعدها بالتناقص.



الشكل (2): ثبات الخلطات البيتومينية الساخنة والدافئة

2.4. دراسة التغيرات الحاصلة في قيم انسياب مارشال:

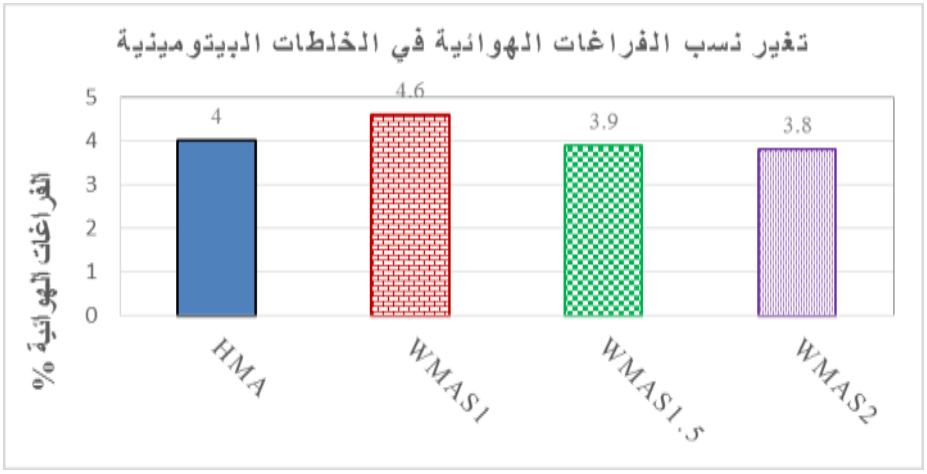
يظهر الشكل (3) انسياب الخلطات الدافئة بالمقارنة مع الساخنة عند نسب البيتومين المثالية، ويتضح منه بأن قيم الانسياب لجميع الخلطات الدافئة المصممة باستخدام الشمع الصناعي هي ضمن حدود المواصفات المسموحة (2–4) mm. كما يتضح ازدياد قيم انسياب مارشال للخلطات الدافئة المنتجة عند نسب الرابط المثلى، مع بقائها ضمن حدود المواصفات المسموحة عند النسب المثلى للرابط المعدل بالشمع.



الشكل (3): انسياب الخلطات البيتومينية الدافئة والساخنة

3.4. دراسة التغيرات الحاصلة في نسب الفراغات الهوائية:

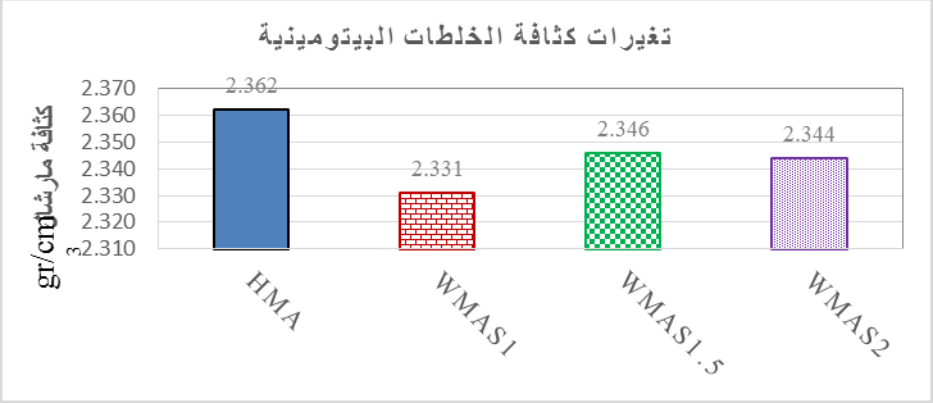
يبين الشكل (4) التغيرات الحاصلة في قيم الفراغات الهوائية للخلطات البيتومينية، حيث يلاحظ تناقص قيم الفراغات الهوائية للخلطات الدافئة بالمقارنة مع الساخنة مع بقائها ضمن حدود المواصفات المسموحة %(5-3) وذلك للعينات المصممة عند النسب المثلى للرابط البيتوميني. كما يتضح فعالية استخدام الشمع الصناعي في تحسين قابلية رص المجبول الدافئ عند نسبة الإضافة 1.5%، والتي تم الحصول عندها على أعلى ثبات للخلطات الدافئة وعلى نسبة فراغات هوائية قريبة من تلك التي تمتلكها الخلطات الساخنة.



الشكل (4): تغير نسب الفراغات الهوائية للخلطات البيتومينية الدافئة والساخنة

4.4. دراسة التغيرات الحاصلة في قيم كثافة مارشال:

يوضح الشكل (5) التغيرات الحاصلة قيم كثافة مارشال للخلطات البيتومينية الدافئة بالمقارنة مع الساخنة عند نسب الرابط المثلى، حيث يلاحظ بأن أعلى كثافة للخلطات الدافئة تتحقق عند نسبة الإضافة 1.5%، وهذا مؤشر على تحسن قابلية تشغيل المجبول البيتوميني الدافئ المعدل بإضافات الشمع الصناعي العضوية.



الشكل (5): قيم كثافة الخلطات البيتومينية الدافئة والساخنة

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- زيادة نسبة الرابط البيتوميني المثلى للخلطات الدافئة بالمقارنة مع الساخنة، حيث بلغت نسبة الرابط المثلى للخلطات الساخنة 5%، وازدادت في الخلطات الدافئة لتصبح (5.46, 5.56, 5.63)% عند نسب الإضافة (1, 1.5, 2)% من الشمع الصناعي (Sasobit) على التوالي.

2- انخفاض ثبات الخلطات الدافئة بالمقارنة مع الساخنة، وذلك بمقدار (15, 11, 14)% عند نسب الإضافة (1, 1.5, 2)% من الشمع الصناعي (Sasobit) على التوالي.

3- انخفاض كثافة الخلطات الدافئة بالمقارنة مع الساخنة، حيث بلغت كثافة الخلطات الساخنة 2.362 g/cm3 ، وانخفضت في الخلطات الدافئة لتصبح (2.331, 2.346, 2.342) g/cm3 عند نسب الإضافة (1, 1.5, 2)% من الشمع الصناعي (Sasobit) على التوالي.

4- النسبة المثالية لاستخدام الشمع الصناعي (Sasobit) في إنتاج المجبول الدافئ هي 1.5% من وزن الرابط البيتوميني، حيث يتحقق عندها أعلى قيمة للثبات والكثافة وتكون قيم الانسياب والفراغات الهوائية أفضل ما يمكن وضمن حدود المواصفات المسموحة، وتبدي الخلطات الدافئة عند هذه النسبة سلوكاً مشابهاً لسلوك الخلطات الساخنة.

التوصيات:

1. متابعة البحث حول إمكانية استخدام الإضافات العضوية في إنتاج المجبول البيتوميني الدافئ.
2. دراسة ديمومة المجبول البيتوميني الدافئ ضد خطر الرطوبة والعمل على تحسينها.
3. البحث في تأثير أنواع أخرى من الإضافات في خواص المجبول البيتوميني الدافئ كالإضافات الكيميائية والتقنيات الرغوية.

References:

1) Al-Hdabi, A. *High Strength Cold Rolled Asphalt Surface Course Mixture*. PHD Thesis, Liverpool John Moores University, 2014, 267p.

2) GANDHI, T. *Effects Of Warm Asphalt Additives On Asphalt Binder And Mixture Properties*. Clemson University, PHD thesis, 2008, 144p.

3) YI-QIU, T; LIE, Z; WEI-QIANG, G; MENG, G. *Investigation of the effects of wax additive on the properties of asphalt binder*. Construction and Building Materials, VOL. 36, 2012, 578–584.
4) RUBIO, C; MARTINEZ, G; BAENA, L; MORENO, F. *Warm mix asphalt: an overview*. Journal of Cleaner Production. VOL. 24, 2012, 76–84.
5) CHOWDHURY, A; BUTTON, G. *A review of warm mix asphalt*. Texas A&M, University System College Station, Texas Transportation Institute, Texas 77843-3135, 2008, 61p.
6) Hurley, G.C; Prowell, B. D. *Evaluation of Aspha-min® zeolite for use in warm mix asphalt*. National Center for Asphalt Technology, NCAT Report 05-04, Auburn University, USA, 2005.
7) Hurley, G.C; Prowell, B.D. *Evaluation of Sasobit® for use in warm mix asphalt*. National Center for Asphalt Technology, NCAT Report 05-06, Auburn University, USA, 2005.
8) Zaumanis, M. *Warm Mix Asphalt Investigation*. Master of Science thesis, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark, 2010.
9) Zou, Y. *Research on Rheological Properties of warm mix asphalt binders*. Advanced Materials Research, Vol 689, pp 363-367,© (2013) Trans Tech Publications, Switzerland, 2013.
10) Bozorgzad, A; Chon, B; Sampath, A; Kim, Y; Lee, H. *Impacts of WMA Additives on Viscosity and Cracking of Asphalt Binder*. Advances in Civil Engineering Materials, 2018.
11) Kefei1, Y; Linfei, D; Jiayu, Z. *Nanoscale Study on Water Damage for Different Warm Mix Asphalt Binders*. International Journal of Pavement Research and Technology, 2016.
12) Zhang, J; Kim, Y. *Effects Of Warm-Mix Asphalt Additives On Asphalt Mixture Characteristics And Pavement Performance*. MSc thesis, University of Nebraska, 2010.
13) Hurley, G.C; Prowell, B.D. *Evaluation of Sasobit® for use in warm mix asphalt*. National Center for Asphalt Technology, NCAT Report 05-06, Auburn University, USA, June 2005.
14) Al-Jumaili, M; Al-Jameel, H. *Influence of Selected Additives on Warm Asphalt Mixtures Performance*. Kufa Journal of Engineering, Vol 6, No. 2, June, 2015, P.P.49-62.
15) Aburawi, B. *Effects of Reduction Construction Temperature on Volumetric and Mechanical Properties of Warm Mix Asphalt Incorporating a Synthetic Wax Additive*. International Science and Technology Journal (ISTJ), Elmergib University, Libya, 2019.
16) Julaganti, A; Choudhary, R; Kumar, A. *Permanent Deformation Characteristics of Warm Asphalt Binders under Reduced Aging Conditions*. KSCE Journal of Civil Engineering, 23(1), 2019, 160-172.
17) ASTM, 2003. *Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures*. Annual Book of ASTM Standard, D3515-01, Vol. 04.03.
18) Transportation Ministry. *Standard Specifications for Roads and Bridges*, Damascus, Syria, 2002.