مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد42 العدد (3) – 2026: 126- 140

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 42 number (3) -2026: 126-140

تأثير درجة حرارة الخلط على سلوك الخلطات الإسفلتية الحاوية على حصويات (طبيعية ومعادة التدوير ونفايات بلاستكية)

وداد سليمان*[1] ماجد اسعد[2] اندرواس سعود[3]

*[1]. طالبة دراسات عليا، مهندسة، –دكتوراه –قسم هندسة النقل ومواد البناء –كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق–سورية.
wedadsoliman72@damascusuniversity.edu.sy

[2]. أستاذ، دكتور، مهندس، قسم هندسة النقل ومواد البناء –كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق –سورية.
majedasaad@damascusuniversity.edu.sy

[3]. أستاذ، دكتور، مهندس، قسم هندسة النقل ومواد البناء –كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق –سورية.
.andrewssaud@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

أصبحت مسألة تدوير النفايات على اختلاف مصادرها وأشكالها مسألة هامة ومطلب تسعى إليه معظم دول العالم بهدف دعم ورفد عملية التنمية المستدامة. تم في هذا البحث استخدام نوعين مختلفين من النفايات في تصميم الخلطات الإسفلتية الساخنة:

النوع الأول: نفايات خرسانية سوف تكون مكون أساسي في الخلطة إلى جانب الحصويات الطبيعية والمادة الإسفلتية.

النوع الثاني: نفايات بلاستيكية ستستخدم كإضافات بهدف تحسين مواصفات الخلطة المدروسة وقد تم استخدام بوليمير البولي ايتيلين عالي الكثافة High Density Polyethylene (HDPE)كمثال على هذه النفايات ، ومع هذه الخلطات الخاصة والمختلفة عن الخلطات التقليدية في مكوناتها كان لابد من مراقبة درجة الحرارة ومدى تأثيرها على خواص الخلطة المدروسة وصولا لتحديد درجة الحرارة الأفضل والأنسب ، تم اقتراح قيم مختلفة من االبوليمير ضمن اعتماد منهجية تجريبية وكذلك ثلاث قيم لدرجات الحرارة تتراوح بين(190-165-145) درجة مئوية وقد اختيرت هذه القيم بما يتناسب مع مكونات الخلطة والإضافات وتوصل البحث إلى نتيجة تفيد بأن إضافة بوليمر (HDPE) إلى الخلطة الإسفلتية المكونة من(حصويات خشنة طبيعية وحصويات ناعمة معادة التدوير) وبدرجه حرارة بحدود 5±165 وزمن خلط 90 ثانية قد رفع من كفاءة الخلطة الإسفلتية عند نسبة الإضافة 0.4% من(HDPE) التي أدت إلى ازدياد الثبات بحدود 35% وكذلك الكثافة ازدادت بحدود 1.54% وأما الفراغات الهوائية فقد انخفضت في الخلطة بنسبة 40 % تقريباً و قيمة الانسياب تراوحت بين 3 و 4 مم ، مما سبق نستنتج أن إضافة(HDPE) إلى الخلطة الإسفلتية الساخنة بالطريقة الجافة وبدرجة حرارة بحدود 165 درجة مئوية أعطت نتائج ايجابية بالنسبة لكافة خواص الخلطة الإسفلتية وبالتالي تعتبر تطبيقا جيدا في الخلطات الإسفلتية المستخدمة في البحث.

الكلمات المفتاحية: نفايات بلاستيكية، نفايات خرسانية، خلطات إسفلتية ساخنة، درجة حرارة الخلطات، الرصف الطرقي.

تاريخ الإيداع: 2023/9/5
تاريخ القبول: 2024/1/21

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

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index
ISSN (online): 2789-6854

The effect of mixing temperature on the behavior of asphalt mixtures containing (natural and recycled aggregates and plastic waste)

Wedad Suleiman1*[1] Majed Asaad[2] Andrews Saud[3]

*[1]. postgraduate student –Eng, Department of transportation engineering. Faculty of civil engineering, Damascus university- Syria.
wedadsoliman72@damascusuniversity.edu.sy

[2]. professor, Department of transportation engineering - Faculty of civil engineering -Damascus university- Syria.
majedasaad@damascusuniversity.edu.sy.

[3]. professor, Department of transportation engineering - Faculty of civil engineering -Damascus university- Syria.
andrewssaud@damascusuniversity.edu.sy.

Abstract:

issue of waste recycling in all its forms and sources has become an important issue and a demand sought by most countries of the world in order to support the process of sustainable development. In this research, two different types of waste were used in the design of hot mix asphalt the mixture, :The first type: concrete waste that will be a basic component with natural stones and asphalt material. The second type: plastic waste that will be used as additives in order to improve the characteristics of the studied mixture. We used High Density Polyethylene (HDPE) as an example of this waste. With these special mixtures, which are different from the traditional mixtures in their components, it was necessary to monitor the temperature and the extent of its effect on the properties of the studied mixture in order to determine the best and most appropriate temperature Different values of the polymer were proposed within the adoption of an experimental methodology, as well as three values of temperatures in the range of (145-165-190) degrees Celsius. Natural and fine recycled aggregates) and with a temperature of about 165 ± 5 and a mixing time of 90 seconds raised the efficiency of the asphalt mixture at a rate of 0.4% of HDPE)) increased stability by about 35%, as well as the density increased by about 1.54%, and the air voids decreased in the mixture by about 40 % and the value of flow ranged between 3 and 4mm From the above, we conclude that the addition of HDPE the hot asphalt mix by the dry method, at a temperature of about 165 degrees Celsius, gave positive results on all the properties of the asphalt mixture, and therefore it is considered a good application in the asphalt mixtures used in the research (HDPE) to

Keywords: plastic waste, concrete waste, hot asphalt mixes, road paving

Received: 5/9/2023
Accepted: 21/1/2024

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a

CC BY- NC-SA

المقدمة:

تزايد اهتمام الباحثين في مجال استخدام النفايات بمختلف أشكالها ومصادرها، وذلك باعتماد فكرة تدوير هذه المواد للاستفادة من الكميات الهائلة لهذه النفايات وتحويلها من مشكلة ذات آثار سلبية من الناحية البيئية والصحية والاقتصادية إلى مكون فعال ومصدر للمواد الأولية للعديد من الأعمال وفي مقدمتها الأعمال الهندسية.

تعتبر فكرة تدوير النفايات من أكثر الطرق نجاحا بين تلك الطرق المستخدمة في التخلص من هذه النفايات (كالحرق والطمر وغيرها من الوسائل الأخرى) فقد أجريت أبحاث مكثفة في العديد من دول العالم لوضع مواصفات وشروط فنية خاصة باستخدامها، وكانت الهند واليابان والولايات المتحدة الأمريكية وغيرها في مقدمة الدول التي اهتمت في هذا المجال.

في سوريا مازالت الخطوات حذرة في مجال استخدام النفايات والاستفادة منها، جاء هذا البحث لدراسة إمكانية أن تكون النفايات (البيتونية والبلاستكية) مساعدة للموارد الطبيعية في الخلطات الإسفلتية الساخنة المستخدمة بالرصف المرن

يهدف هذا البحث إلى إمكانية تدوير النفايات واستخدامها في الرصف المرن، من خلال الخوض في البارامترات المؤثرة في تصميم الخلطات الإسفلتية ومن ضمنها تحديد درجة الحرارة الأمثل بالنسبة لهذه الخلطات الإسفلتية الخاصة من خلال اقتراح ثلاثة قيم لدرجات الحرارة.

تم اختيار هذه القيم من درجات الحرارة بما يتناسب مع مكونات الخلطة المدروسة، بالنسبة للنفايات البلاستكية أشارت الدراسات بأنها تتحول إلى عجينة لينة ضمن درجة الحرارة بحدود (130–160) درجة مئوية وتراوحت درجة حرارة الخلط في الخلطات الإسفلتية ضمن المجال (160-190) درجة مئوية ومن خلال هذه الدراسات تم اقتراح ثلاث درجات من الحرارة بحدود -145 (165-190) درجة مئوية في الخلطة المدروسة للوصول إلى درجة الحرارة الأنسب والتي تعطي أفضل النتائج لهذه الخلطات المقالة للباحث"Mohd Ezre Abdullah" وزملاؤه في Malaysia".

الإسفلتية الخاصة بما يجعلها رديفة للخلطات الإسفلتية الطبيعية وتلبي المواصفات الفنية المعتمدة .

1. الدراسات المرجعية:

يعرض في هذا المقالة العلمية بعض الدراسات المرجعية التي تناولت البحث في هذا المجال وحددت درجات الحرارة لخلطات مشابهه فقد أجريت دراسة في جامعة القادسية في العراق للباحث Humeidawi Basim حول إضافة النفايات البلاستكية إلى الخلطات الإسفلتية المكونة من حصويات معادة التدوير فقد اختار الباحث,(LDPE) (بولي ايتيلين منخفض الكثافة) Low Density polyethylene

كأحد أنواع النفايات البلاستكية وبنسبة خلط 8% من وزن البيتومين مستخدما الطريقة الرطبة في الخلط واستخدم حصويات معادة التدوير من مخلفات الأبنية القديمة وتوصل إلى أن مواصفات الخلطة الإسفلتية المكونة من حصويات معادة التدوير وبيتومين معدل (LDPE) وبدرجة حرارة بحدود $150c^o$ درجة مئوية كانت أفضل من الخلطات الإسفلتية المكونة فقط من حصويات معادة التدوير وبيتومين غير معدل فقد ازداد الثبات بنسبة تتراوح (7–10%) بينما انخفض الانسياب من (4 – 3.4) مم وانخفضت كثافة مارشال بشكل طفيف من(2.310 – 2.3)غ/سم^3 حسب ما جاء في المقالة للباحث Al-Humeidaw Basim في سنه 2014 .

وفي نفس السياق أكدت دراسة لمجموعة من الباحثين في ماليزيا عام 2017 أن إضافة البولي ابتلين تريفاليت (PET) بنسب (10-8-6-4) % من وزن الرابط إلى الخلطات الإسفلتية الساخنة المكونة من حصويات طبيعية خشنة وناعمة حيث درجة حرارة الحصويات بحدود 195-170 درجة مئوية ودرجة حرارة الرابط بحدود 120 درجة مئوية لتكون نسبة الإضافة 8% هي النسبة المثالية فقد حققت أفضل النتائج بالنسبة لخلطة مارشال حسب ما جاء في

وبالاطلاع على دراسة في الهند أن عام2016 كانت قد استخدمت درجة حرارة $170c^o$ للحصويات و$160c^o$ درجة مئوية للبيتومين قد اعطت نتائج جيدة بالنسبة للخلطات

الاسفلتية التي تحتوي نفايات بلاستكية حيث حددت هذه الدراسة أن درجة تحول البوليمير إلى عجينة بدرجة حرارة تتراوح بين 160-130 درجة مئوية فقد كانت النسبة 9% من النفايات افضل النتائج بالنسبة لمارشال فقد وصل ثبات مارشال الى 2786 كغ وكذلك الكثافة 2.332 كغ/سم^3 والفراغات الهوائية بحدود 3.4% والانسياب بحدود 2.34 مم عند نسبة الاضافة 9% بحسب الباحثBrajesh Mishra في 2016 March.

وفي دراسة هندية أيضا عام 2017 تناولت إضافة البوليميرإلى الحصويات الطبيعية كانت درجة حرارة الخلطة بحدود 160c^{o}درجة مئوية للحصويات وكذلك درجة حرارة للسائل البيتوميني حيث أعطت أفضل النتائج من جهة الكثافة فقد انخفضت بشكل منتظم وطفيف لا يتجاوز 1% و2% ولم تؤثر على أداء الخلطة الإسفلتية وبالتالي ازدادت الفراغات الهوائية وأما التماسك فقد ازداد بوجود هذه الإضافات مقارنة مع الخلطة دون إضافات مستخدما الطريقة الرطبة في الخلط بعد تقطيع أكياس النايلون حسب ما ذكره الباحثون- Anurag Tiwari في الهند سنه No.2, 2017, pp.1-6.

كذلك في دراسة أجراها الباحث Ravi Shankar وأصدقاؤه في دوله الهند أن إضافة البولي ابتلين عالي الكثافة (HDPE) إلى الخلطات الإسفلتية المكونة من حصويات طبيعية وبالطريقة الجافة وبدرجة حرارة 160c^o وبنسب إضافة تتراوح من(0.2 –0.4–0.6–0.8–1%) من وزن الحصويات المستخدمة قد حقق تحسنا ملحوظا في مواصفات الخلطة وخاصة عند نسب الإضافة 0.8% من وزن الحصويات حيث ازداد الثبات من(1195الى2551) كغ وكذلك انخفضت الفراغات الهوائية في الخلطة من القيمة (5.53 - 3.19)% وكذلك كثافة مارشال ازدادت من (2.255 – 2.259) غ/سم^3 بينما ازداد الانسياب من (2.64–3.51) مم بحسب الباحثون Brajesh Mishra 1, Ravi Shankar Mishra في August 2015 .

كما أجريت دراسة في جامعة المستنصرية في العراق للباحث خالد مرشد عويد وأصدقاؤه عام 2015 تتناول الاستفادة من مخلفات عبوات المياه البلاستيكية كمحسن لخصائص خلطة الإسفلت فقد تم إضافة(10%-8%-6%-4%-2%) من قطع االبوليمير PET إلى الإسفلت المسخن لدرجة حرارة بحدود 150درجة مئوية ووضعت السائل الإسفلتي بعد ذلك أضيفت إلى الحصويات المسخنة إلى درجة حرارة (170-160) درجة مئوية وتشكيل المزيج الإسفلتي و تم التوصل أن االبوليمير بنسبة 8 % من وزن الإسفلت قد أعطت أفضل ثبات وكذلك فراغات هوائية وانسياب بحدود اقل مقارنة مع الخليط العادي من دون إضافات ومقاومه أفضل ضد التشوهات حسب دراسة الباحثDr Awaeed Khalid 2015.

ومع هذا العرض للدراسات المرجعية يمكن القول بان اغلب درجات الحرارة في الدراسات المرجعية كانت بحدود -150 195درجة مئوية وحققت إضافة النفايات البلاستكية للخليط البيتوميني تحسن في اداء الخليط بشكل عام.

من خلال ما تم عرضه من الدراسات المرجعية التي سلطت الضوء على درجات الحرارة للخلطات الاسفلتية يمكن القول ان مجال درجات الحرارة تتراوح بين 130-195c^o وهذا المؤشر الذي سيتم التوقف عنده خلال البحث.

2. خطة البحث ومواده:

اعتمدنا الطريقة التجريبية في البحث من خلال المراحل الآتية:

التعريف بمواد البحث: والتي تشمل الحصويات الطبيعية (NA) Natural Aggregates والحصويات الخرسانية معادة التدوير RC (Recycled Concrete Aggregate وكذلك النفايات البلاستكيةPlastic Waste والمادة الإسفلتية.

الحصويات الطبيعية: تم إحضار الحصويات الطبيعية من مقالع حسياء بالقرب من مدينة حمص وتعرف هذه المقالع بجودة حصوياتها واستخدامها على مساحة واسعة في القطر ضمن شبكة الطرق في الرصف المرن.

الحصويات المعادة التدوير: تعرف الحصويات المعادة التدوير بأنها ناتجة عن إعادة تدوير نفايات المخابر و نفايات الهدم والبناء للمنشآت وللمباني المختلفة فهي تتألف من عدد كبير

من المكونات لذلك تعتبر غير متجانسة ويوجد اختلاف كبير في خصائصها الفيزيائية ، ويتم تصنيفها حسب مصدرها هل هي معادة التدوير من (عنصر إنشائي –نفايات مخبريه – مخلفات بناء بلوك بلاط سيراميك وغيره... في هذا البحث تم اعتماد النفايات المخبرية الخرسانية (المكعبية والاسطوانية الشكل عيار الاسمنت 350 كغ/م^3) لتكون إحدى مكونات الخلطة الإسفلتية .

تستخدم البوليمرات الاصطناعية مثل البولي إثيلين والبولي بروبلين والبولي فينيل كلورا يد والنايلون وغيرها .... على نطاق واسع ولأغراض مختلفة.

في البحث استخدمت النفايات البلاستكية والتي تتمثل بالعبوات المصنعة من البولي ايتيلين عالي الكثافة (HDPE) ذوالصيغة الكيمائية$(C_2H_4)_n$ ويتميز البولي ابتلين انه مادة سهلة التشكيل ورخيص الثمن وعند تسخينه يلين بدرجة حرارة 160-150 ليصبح عجينة طرية.

المادة الإسفلتية: تم إحضارها من مصفاة بانياس تم اجراء تجربة الوزن النوعي وكانت قيمته 1.015 غ/سم^3.

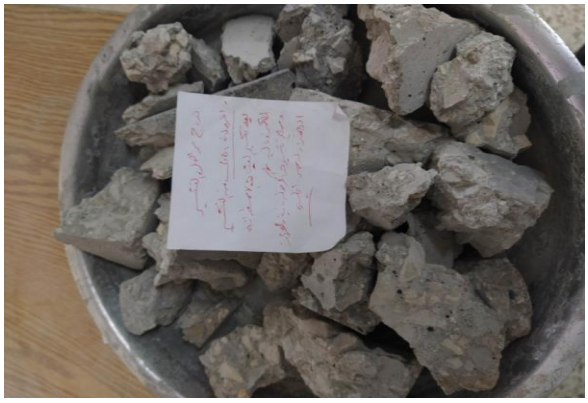
إحضار مواد البحث: تم إحضار المواد إلى المخبر وتجهيزها للمرحلة التالية وهي إجراء التجارب اللازمة لتحديد الخواص الفيزيائية لهذه الاحضارات:

الحصويات الطبيعية الخشنة المستخدمة في الخلطة تم إحضارها من مقالع مدينة حسياء وتم تكسيرها بوساطة كسارات المقلع بقطر أعظميmm19 .

أما الحصويات المعادة التدوير: تم إحضار النفايات الخرسانية وهي عبارة عينات بيتونية مكعبيه واسطوانية الشكل من مخبر نقابة المهندسين إلى مخبر المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية كما هو واضح بالصورة رقم (1).

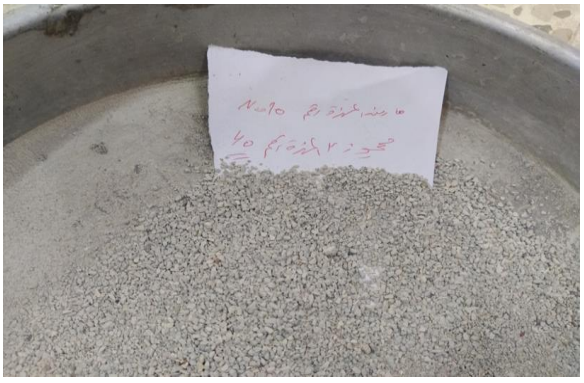
الصورة (1) النفايات الخرسانية قبل تكسيرها

بدأت عملية المعالجة لهذه العينات من خلال التكسير اليدوي باستخدام المطرقة لتحويلها إلى حجوم صغيرة تتيح لنا إمكانية استخدامها في جهاز الاهتراء المتوفر في المخبر كما في الصورة رقم(2) ثم ومتابعة تكسيرها وصولا إلى تدرج ناعم بقطر أعظمي 4.75mm كوننا سنستخدم هذه الحصويات كحصويات ناعمة في الخلطة الإسفلتية المدروسة كبديل عن الحصويات الطبيعية الناعمة كما أشارت له بعض الأبحاث بخصوص عدم جدوى استخدام الحصويات الخشنة المعادة التدوير في الخلطات الساخنة.

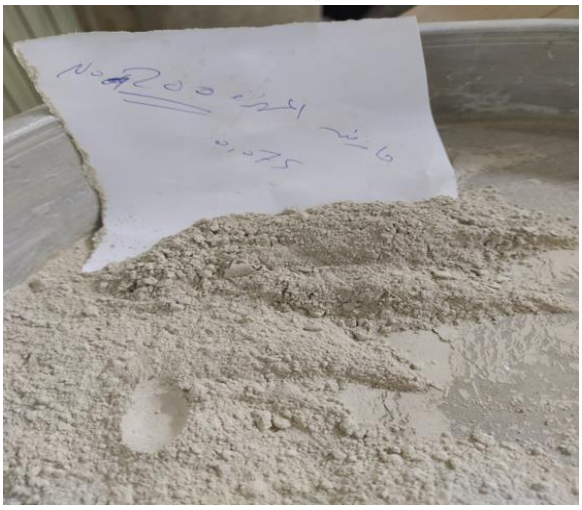


الصورة (2) النفايات الخرسانية بعد تكسيرها

توضح الصور (4-3) شكل الحصويات المعادة التدوير بعد تكسيرها بجهاز الاهتراء ونخلها على المناخل النظامية .



الصورة (3) شكل الحصويات بعد تكسيرها بجهاز الاهتراء



الصورة (4) شكل الحصويات بعد تكسيرها بجهار الاهتراء

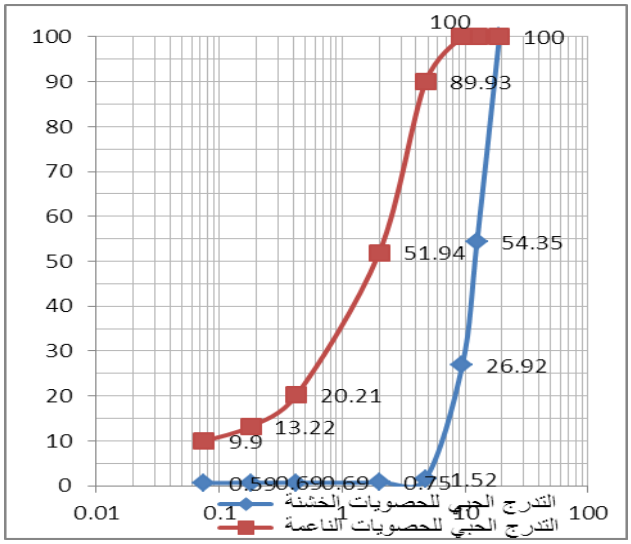
تم تقطيع النفايات البلاستكية بقياس يتراوح من(1-0.075) mm كما في الصورة (5).

الصورة (5) النفايات البلاستكية الناعمة بعد تقطيعها

التجارب المخبرية: توصيف الحصويات المعادة التدوير والحصويات الطبيعة من خلال إجراء التجارب التالية (التدرج الحبي – المكافئ الرملي – الوزن النوعي –نسبة التشرب – الاهتراء للحصويات الخشنة فقط) وذلك من أجل تحديد الخواص الفيزيائية للاحضارات ومدى مطابقتها للمواصفات الفنية المعتمدة في البحث وهي المواصفات الفنية للطرق والجسور عام 2002 وإمكانية استخدامها بالخلطة الإسفلتية بالنسبة لتجربة التدرج الحبي تم تحضير العينات ووزنها ثم غسلها على المنخل رقم 200 بعد ذلك تجفيفها بالفرن بدرجة حرارة 110-105 درجة مئوية ونخلها على المناخل النظامية حسب ما ورد في المواصفات الفنية للطرق والجسور سوريا 2002 كما هو واضح في الجدول (1) والشكل (1) يوضح منحني التدرج الحبي للحصويات الخشنة الطبيعية والحصويات الناعمة المعادة التدوير .

الجدول (1) التدرج الحبي للحصويات المستخدمة

فتحة المنخل		نسبة المار %	
الانش	(MM)	حصويات خشنة طبيعية	حصويات ناعمة بيتونية معادة التدوير
¾	19	100	100
½	12.5	54.35	100
3/8	9.5	26.92	100
No.4	4.75	1.52	89.93
No.10	2	0. 75	51.94
No.40	0.425	0.69	20.21
No.80	0.180	0.69	13.22
No.200	0.075	0.59	9.9



الشكل رقم (1) منحني التدرج الحبي للحصويات

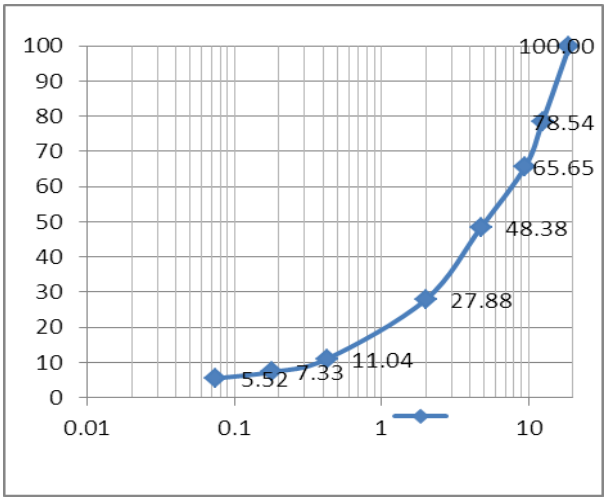
يوضح الجدول رقم(2) الخواص الفيزيائية لهذه الاحضارات ومدى مطابقتها للمواصفات الفنية المعتمدة في البحث حسب ما ورد في المواصفات الفنية للطرق والجسور سوريا 2002.

الجدول (2) الخواص الفيزيائية للإحضارات

نوع الاختبار	حصويات طبيعية خشنة	حصويات معادة التدوير ناعمة	المواصفات الفنية (الطرق والجسور)
المكافئ الرملي %	-	63.37	min>45 %
اختبار الاهتراء (لوس انجلوس)النقص بالتآكل %	17.6	-	Max<35
الوزن النوعي للحصويات الناعمة	-	2.547	–
الوزن النوعي للحصويات الخشنة	2.676	-	–
نسبة التشرب للحصويات الناعمة%	-	4.213	Max≤2
نسبة التشرب للحصويات الخشنة %	1.63	-	Max≤2

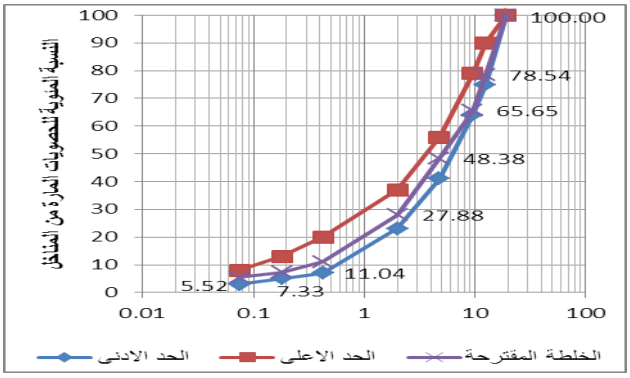
من خلال قراءة جدول الخواص الفيزيائية نلاحظ أن الوزن النوعي للحصويات المعادة التدوير الناعمة منخفض مقارنة مع الحصويات الطبيعية وكذلك نسبة التشرب عالية وهذا ما ذكرناه سابقا، وبالتالي سوف تؤثر هذه الخواص سلبا على الخلطات الإسفلتية الساخنة وبالنسبة للمكافئ الرملي للحصويات المعادة التدوير فكان ضمن الحدود المسموح بها.

تصميم الخلطة الإسفلتية : بعد تحديد الخواص الفيزيائية للاحضارات تم الانتقال إلى المرحلة الثالثة وهي تصميم الخلطة الإسفلتية A1 المكونة من (حصويات خشنة طبيعية وحصويات ناعمة معادة التدوير) بحيث تكون مطابقة للمواصفات والشروط الفنية للطرق والجسور عام 2002 م حيث تم اختيار التدرج الأول من طبقة الاهتراء للخلطات الإسفلتية (AASHTO T-30-77)وتم التنسيب للحصويات باستخدام طريقة التجريب وفق برنامج Excel و التوصل إلى تدرج حبي ضمن حدود الخلطة ومتوافق مع التدرج الحبي للحصويات ، كما هو واضح في الشكل (2) والشكل (3).



الشكل رقم (2) التدرج الحبي المقترح

ويبين الشكل (3) حدود الخلطة الأعلى والأدنى مع التدرج الحبي المقترح للحصويات حسب التدرج الأول من طبقة الاهتراء طبقا للمواصفات الفنية المعتمدة في البحث والتي تتطابق مع دفتر الشروط والمواصفات الفنية لأعمال الطرق والجسور 2002م.

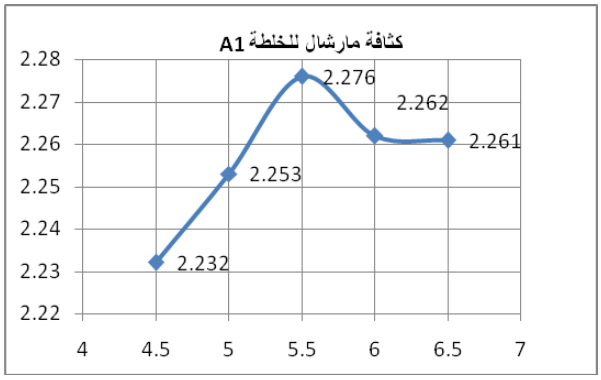


الشكل رقم (3) التدرج الحبي للخلطة التصميمية والمقترحة

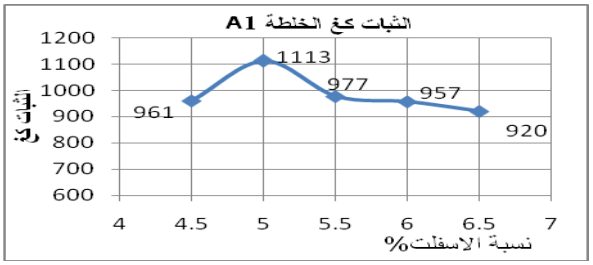
تم تحضير 15 قالب من الحصويات المحضرة وفق التدرج المقترح حسب تصميم مارشال للخلطات الإسفلتية الساخنة من خلال اقتراح خمس نسب إضافة من الإسفلت (4.5%-5%-5.5%-6%-6.5%) حسب ما ورد في المواصفات الفنية للطرق والجسور سوريا 2002. وهذا موضح بالصورة رقم (6)

الصورة (6) نسب الحصويات حسب التدرج المقترح للخلطة A1

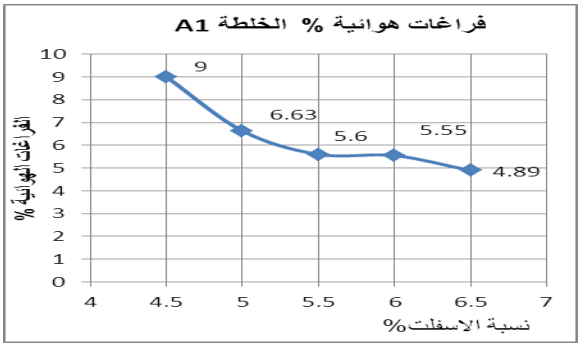
ومخططات الأشكال من (10) إلى (13) توضح نتائج الخلطة المتمثلة بكثافة مارشال وكذلك الثبات والانسياب والفراغات الهوائية والتي تدخل في تحديد النسبة المثالية للبيتومين اللازم إضافته إلى الخلطة.



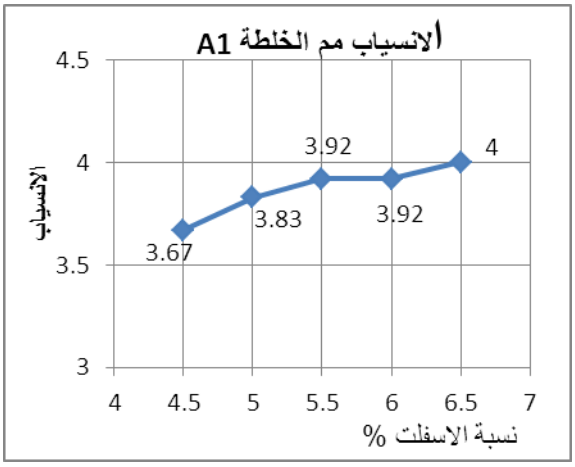
الشكل (4) كثافة مارشال غ/سم^3 الخلطة A1



الشكل (5) الثبات كغ الخلطة A1



الشكل (6) فراغات هوائية %الخلطة A1



الشكل (7)الانسياب مم الخلطة A1

من قراءة المخططات التابعة للخلطة A1 نجد أن قيمة الثبات في الحد الأدنى حسب المواصفات الفنية وكذلك الفراغات الهوائية في الحد الأعلى رغم نسبة الإسفلت التي تجاوزت الحدود الممسوحة حسب المواصفات المعتمدة في الجدول رقم (3) وكثافة مارشال بحدود 2.276 كغ/سم^3

كما يبين الجدول (3) نتائج الخلطة A1 .

الجدول (3) نتائج الخلطة A1 والمواصفات الفنية المعتمدة .

الاختبار	المواصفات المعتمدة طبقة الاهتراء البيتومينية حسب التدرج الأول	نتيجة الاختبار
الثبات كحد أدنى كغ	1100	1113
الانسياب مم	2-4	3.83
الفراغات الهوائية %	3-5	4.89
المادة البيتومينية بالمائة من الوزن الكلي	4-6	5.7

تم تحديد نسبة البيتومين المثالية للخلطة بشكل تقريبي من حساب المتوسط الحسابي لنسبة البيتومين التي تعطي أعلى قيمة لكثافة مارشال وكذلك أعلى قيمة للثبات وفراغات هوائية بحدود 4% حيث لاحظنا أن الفراغات الهوائية مازالت مرتفعة رغم نسبة البيتومين المضافة بحدود 6.5% لذلك أدخلنا هذه النسبة في حساب المتوسط الحسابي لنسبة البيتومين المثالية فكانت بحدود (5.7%).والصورة رقم (7) توضح قوالب مارشال للخلطة الإسفلتية A1.

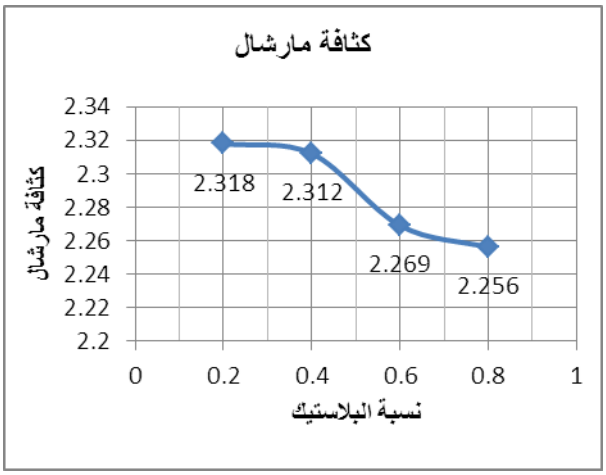
الصورة (7) قوالب مارشال للخلطة A1

ويمكن القول أن الهدف من الخلطةA1 هو تحديد نسبة البيتومين الأصولية ليتم الانتقال للمرحلة التالية وهي تصميم الخلطة الثانية A2 المكونة من (حصويات خشنة طبيعية وحصويات ناعمة بيتونية معادة التدوير) حيث تم استخدام نفس التدرج الحبي للخلطة المرجعية A1 وكذلك نفس نسبة البيتومين الأصولية للخلطة A1(5.7)% مع إضافة النفايات البلاستكية (HDPE) بنسب إضافة (0.2%- 0.4%- 0.6% - 0.8%) من وزن الحصويات للوقوف على تأثير هذا البوليمير على مواصفات الخلطة:

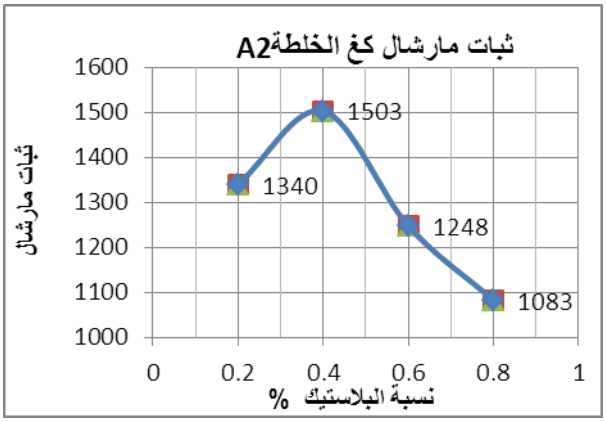
تم بنفس الخطوات السابقة تحضير 12 قالب من الحصويات حسب التدرج المقترح، ثم إضافة HDPE إلى الحصويات الساخنة حسب الطريقة الجافة للخلط الصورة (8)، حيث أوضحت بعض الدراسات المرجعية أن الطريقة الجافة أفضل من الطريقة الرطبة للخلط وبحسب هذه الطريقة يتم خلط النفايات البلاستكية (االبوليمير) مع الحصويات الساخنة مباشرة، أما في الطريقة الرطبة فيتم إضافة (البوليمير) إلى السائل الإسفلتي أثناء تسخينه إلى درجة الحرارة المطلوبة.

الصورة رقم (8) الخلط بالطريقة الجافة

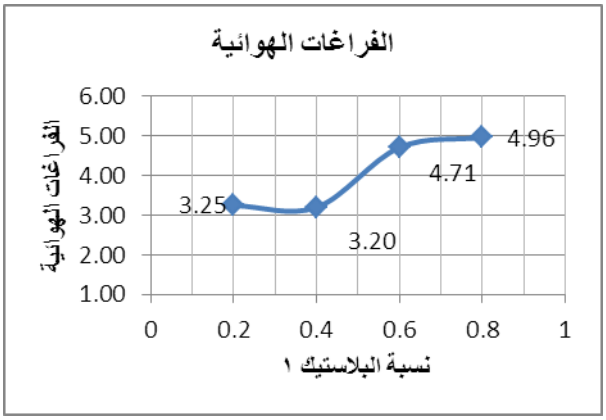
تم دراسة خواص الخلطة A2 كما هو واضح في المخططات من الشكل (8) إلى الشكل (11) لكل نسبة من نسب االبوليمير المقترحة لنفس نسبة البيتومين (5.7)%.



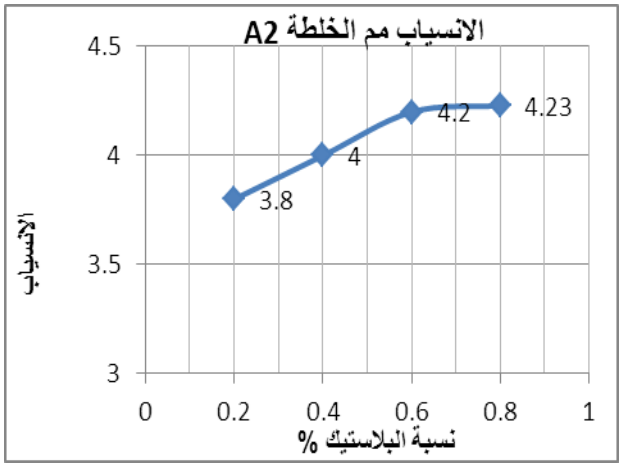
الشكل (8) كثافة مارشال الخلطة A2



الشكل (9) ثبات مارشال الخلطة A2



الشكل (10) الفراغات الهوائيةالخلطة A2



الشكل (11) الانسياب الخلطة A2

من قراءة المخططات نلاحظ تأثير إضافة النفايات البلاستكية إلى الخلطة حيث ارتفعت الكثافة وكذلك ازدادت قيمة الثبات وانخفضت الفراغات الهوائية وبالتالي تحسن خواص الخلطة الإسفلتية بإضافة االبوليمير HDPE الذي أعطى أعلى كثافة وأعلى ثبات وفراغات هوائية بحدود 4% وكذلك الانسياب محقق عند نسبة البوليمير بحدود 0.4% من وزن الحصويات المستخدمة.

الخلطة الثالثة في البحث A3 (حصويات طبيعيه خشنة وحصويات ناعمة معادة التدوير) سيتم في هذه الخلطة اعتماد التدرج الحبي ذاته في الخلطتين A1 وA2 وكذلك نسبة البيتومين الاصوليه ونسبة البوليمير المضافة 0.4% من وزن الحصويات التي تم التوصل إليها في الخلطة A2، تتميز الخلطة A3 بدراسة تأثير درجة الحرارة على مواصفات الخلطة الإسفلتية المدروسة من خلال اقتراح ثلاث درجات من الحرارة وهي:

درجة حرارة الخلطة الأولى $A3_1$ 5± 145 درجة مئوية ودرجة حرارة الخلطة الثانية$A3_2$ بحدود 5± 165 درجة مئوية ودرجة حرارة الخلطة الثالثة $A3_3$ بحدود 5± 190 درجة مئوية.

وكما تم عرضه في الدراسات المرجعية فان اقتراح درجات الحرارة يعود إلى مكونات الخلطة الإسفلتية المدروسة فقد تم تحضير (6) قوالب مارشال لكل درجة حرارة باعتماد زمن خلط موحد وهو بحدود 90 ثانية بعد تبيت كافة البارامترات في

التجربة فيما يتعلق بالتدرج الحبي المقترح للخلطة ونسبة البيتومين الأصولية وكذلك النسبة المقترحة من النفايات البلاستكيةٍ والصور من رقم (9) وحتى (12) توضح صورا أثناء العمل المخبري لدرجات الحرارة المقترحة في الخلطة وأما نتائج مارشال كما هي في المخططات من الشكل 24 وحتى الشكل

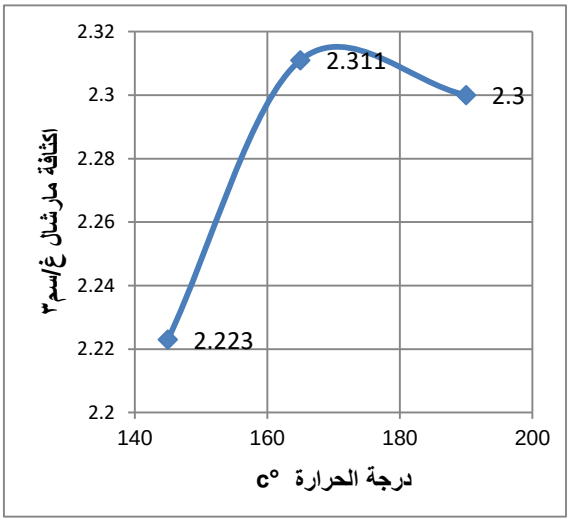
الشكل (9) الخلطة $A3_3$ درجة الحرارة 190 c^o

الصورة (10) للخلطة $A3_1$ درجة الحرارة 145 c^o

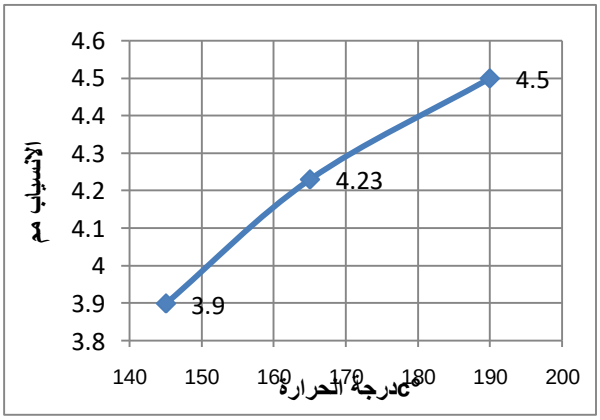
الصورة (11) عينات الخلطة $A3_2$ درجة حرارة 165 c^o

الصورة (12)عينات مارشال للخلطة $A3_1$ 145 c^o

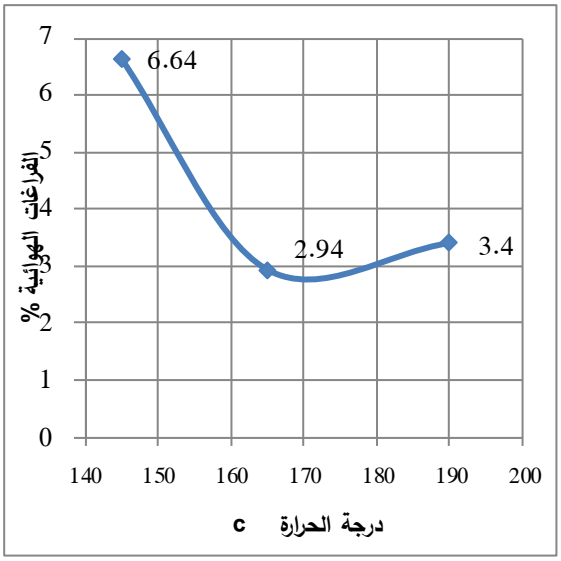
توضح الأشكال (12-16) نتائج الخلطات الإسفلتية لدرجات الحرارة المدروسة والتي توصل إلى أن درجة الحرارة 145±5 لم تلبي المواصفات الفنية المعتمدة من حيث (الكثافة والثبات وكذلك الفراغات الهوائية) وأما درجة الحرارة 165±5 درجة مئوية فكانت النتائج أفضل فالكثافة ازدادت إلى القيمة 2.2311 غ/سم^3 وكذلك قيمة الثبات والفراغات الهوائية لتعود وتنخفض الكثافة عند درجة الحرارة 190±5 مما أدى إلى زيادة الفراغات الهوائية ، كذلك الثبات انخفض عند هذه الدرجة من الحرارة وازداد الانسياب الى القيمة 4.5 مم.



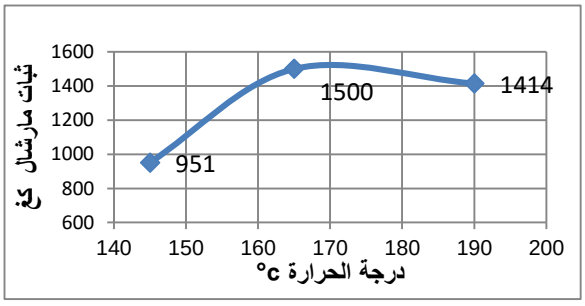
الشكل (12) كثافة مارشال للخلطة A3



الشكل (13) الانسياب للخلطة A3

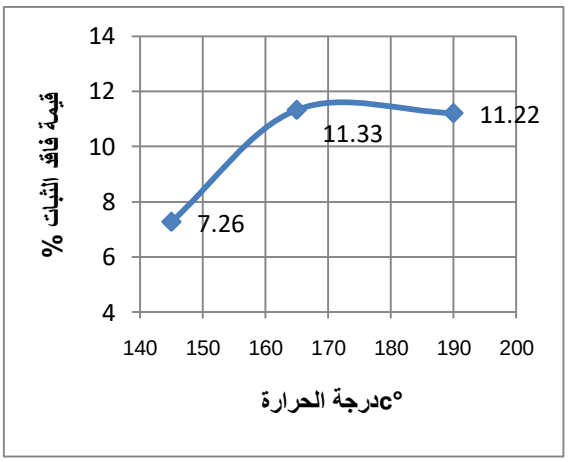


الشكل (14) الفراغات الهوائية للخلطة A3



الشكل (15) ثبات مارشال للخلطة A3

كما تم إجراء اختبار فاقد الثبات للعينات المجهزة حسب المواصفات بوضع العينات في الحمام المائي بدرجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة 24 ساعة فكانت قيمة فاقد الثبات كما في المخطط رقم (16)



الشكل (16) قيمة فاقد الثبات % للخلطة A3

يوضح:

الجدول رقم (4) المقارنة بين الخلطات الثلاث A1-A2-A3

الاختبار	$A3_1$	$A3_2$	$A3_3$
كثافة مارشال غ/سم^3	2.223	2.311	2.3
ثبات مارشال كغ	951	1500	1414
الفراغات الهوائية %	6.64	2.94	3.4
الانسياب مم	3.9	4.23	4

يوضح الجدول رقم (5) المقارنة بين الخلطة A1 والتي تعتبر الخلطة المرجعية والخلطة $A3_2$ التي تم التوصل اليها نتيجة البحث كافضل خلطة بين الخلطات المدروسة بالنسبة لخواص مارشال في التصميم.

الجدول رقم (5) المقارنة بين الخلطة A1 والخلطة$A3_2$

الاختبار	A1	$A3_2$
كثافة مارشال غ/سم^3	2.276	2.311
ثبات مارشال كغ	1113	1500
الفراغات الهوائية %	4.89	2.94
الانسياب مم	3.83	4.23

توضح الصورة (13) شكل التصاق حبيبات البوليمير بالحصويات الساخنة حيث جزء من هذه الحبيبات يغلف الحصويات وقسم يملأ جزء من الفراغات الهوائية بين

الحصويات وهذا ما انعكس ايجابا على خواص الخلطة الاسفلتية عند اضافة البوليمير.

الصورة (13) شكل التصاق النفايات البلاستكيه بالحصويات

النتائج:

من خلال البحث يمكن ملاحظة أن درجة الحرارة التي كانت بحدود 5±145 أدت الى انخفاض قيمة الكثافة وازدياد الفراغات الهوائية وكذلك انخفضت قيمة الثبات في الخلطة A3 ، بينما عند درجة الحرارة 5±165 فقد تغيرت نتائج الخلطة نحو الافضل حيث ازداد الثبات بحدود 35% ، و تحسنت كثافة مارشال للعينات بنسبة 1.54% وانخفضت الفراغات الهوائية بحدود 40% وهذا توافق عند زمن الخلط 90 ثانية وبدرجة حرارة بحدود 165 درجة مئوية أما فيما يخص درجة الحرارة 5±190 فيمكن ملاحظة انخفاض الثبات قليلا وكذلك الكثافة وهذا انعكس على الفراغات الهوائية لتزداد عما كانت عليه في الدرجة السابقة 5±165.

يمكن التوصل الى أن الدرجة 5±165 هي الدرجة الامثل مع زمن الخلط 90 ثانية لهذا التوع من الخلطات الإسفلتية المكونة من (حصويات طبيعية خشنة وحصويات ناعمة معادة التدوير ونفايات بلاستكية) وبذلك يمكن التوصل الى ان تغير محتويات الخلطة في هذا البحث وادخال النفايات بنوعيها البيتونية والخرسانية لم يؤثر على درجة حرارة الخلط المعتمدة في المواصفات الفنية.

من خلال هذا البحث تم التوصل إلى نتيجة تفيد بأن إضافة(HDPE) إلى الخلطة الإسفلتية المكونة من (حصويات خشنة طبيعية وحصويات ناعمة معادة التدوير) قد رفع من كفاءة الخلطة الإسفلتية عند استخدام نسبة 0.4% من(HDPE).

استخدم النفايات البلاستكية وكذلك النفايات الخرسانية سينعكس ايجابيا على الناحية الفنية وكذلك الاقتصادية والبيئية ويدعم عملية التنمية المستدامة في العديد من المجالات ويوفر الحماية للمصادر الطبيعية خاصة في مجال الرصف الطرقي.

التوصيات:

اعتمد في البحث المواصفات الفنية للطرق والجسور عام 2002 باختيار التدرج الأول من طبقة الاهتراء في الرصف المرن ممكن اختيار تدرجات أخرى من المواصفات حسب الهدف والغرض من استخدام هذه الخلطات.

خصص هذا البحث لاستخدام النفايات البلاستكية نوع البولي ايتيلين عالي الكثافة، يمكن التوسع بدراسة أنواع أخرى من البولي ايتيلين PE واقتراح نسب إضافة جديدة ودراسة مدى تأثير ذلك على سلوك الخلطات الإسفلتية.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

1 Al-Humeidawi Basim "Utilization of Waste Plastic and Recycle Concrete Aggregate in Production of Hot Mix Asphalt" Al-Qadisiya Journal for Engineering Sciences, Vol. 7……No. 4 ….14 OctoA2er 2014.

2 Mohd Ezree Abdullah1, Siti Aminah Abd Kader "Effect of Waste Plastic as Bitumen Modified in Asphalt Mixture" 7 Department of Civil Engineering, Politeknik Ungku Omar, 31400 Ipoh, Malaysia-2017.

3 Brajesh Mishra –"Use of Plastic Waste in Bituminous Mixes of Flexible Pavements by Wet and Dry Methods A Comparative Stud" March 2016 | 41.

4 Anurag V. Tiwari and Y R M Rao " Study of Plastic Waste Mixed Bituminous Concrete Using Dry Process for Road Construction" No.2, 2017, pp.1-6.

5 Brajesh Mishra 1, Ravi Shankar Mishra 2 " A Study on Use of Waste Plastic Materials in flexible Pavements" 8, August 2015.

6 Dr Awaeed Khalid Mershed ،Fahad ، Rasool " Utilization of Waste Plastic Water Bottle as a Modifier For Asphalt mixture Properties"Journal of Engineering and Development, Vol.20, No.2,march. 2015, ISSN 1813- 7822.

7 المواصفات الفنية للطرق والجسور عام 2002

8 AASHTO T-30-77 . American Association of State Highway and Transportation Officials .AASHTO Standard Test Method for Bituminous wearing Course.