مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد 40- العدد 2 (2024) 235-248

Damascus University Journal For Engineering Sciences
Vol 40 No.2 (2024):235-248

تأثير إضافة النفايات البلاستكية على خواص الخلطات الإسفلتية الحاوية على حصويات ناعمة معادة التدوير

وداد سليمان[1]، أ.د. ماجد اسعد[2]، أ.د. اندرواس سعود [3]

1طالبة دراسات عليا –دكتوراه –قسم هندسة النقل ومواد البناء –كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق.

2أستاذ قسم هندسة النقل ومواد البناء –كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق .

3 أستاذ قسم هندسة النقل ومواد البناء –كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق .

الملخص:

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

النوع الأول: نفايات خرسانية تستخدم كمكون أساسي في الخلطة إلى جانب الحصويات الطبيعية والمادة الإسفلتية.

النوع الثاني: نفايات بلاستيكية تستخدم كإضافات بهدف تحسين مواصفات الخلطة المدروسة وقد استخدمنا البولي ايتيلين عالي الكثافة High Density Polyethylene (HDPE)كمثال على هذه النفايات.

وكنا اعتمدنا منهجية محددة في معالجة هذه النفايات توصلنا من خلالها إلى نتيجة البحث التي تفيد بأن إضافة(HDPE) إلى الخلطة الإسفلتية المكونة من (حصويات خشنة طبيعية وحصويات ناعمة معادة التدوير) قد رفع من كفاءة الخلطة الإسفلتية بحيث أن نسبة 0.33% من(HDPE) أدى ازدياد الثبات من 1113كغ إلى 1586كغ إي بحدود 43% وكذلك الكثافة ازدادت من 2.276غ/سم3 إلى 2.314/سم أي بحدود 1.7% وأما الفراغات الهوائية فقد انخفضت في الخلطة من5.65% تقريبا إلى4.056% إي بحدود 28 % و قيمة الانسياب تراوحت بين 3 و 4 مم ، مما سبق نستنتج أن إضافة(HDPE) إلى الخلطة الإسفلتية الساخنة بالطريقة الجافة انعكس ايجابيا على كافة خواص الخلطة الإسفلتية وبالتالي يعتبر تطبيقا جيدا في الخلطات الإسفلتية المستخدمة في بحثنا.

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

تاريخ الإيداع: 2022/8/8
تاريخ القبول: 2022/9/26

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

The Effect of adding plastic waste on the properties of asphalt mixtures containing recycled fine aggregates

Wedad Suleiman[1], Prof. Dr. Majed Asaad[2], Prof. Dr. Andrews Saud[3]

[1] Postgraduate student - PhD - Department of Transportation and Building Materials Engineering - Faculty of Civil Engineering - University of Damascus.
[2]Professor, Department of Transportation and Building Materials Engineering - Faculty of Civil Engineering - Damascus University.
[3] Professor, Department of Transportation and Building Materials Engineering - Faculty of Civil Engineering - Damascus University.

Abstract

The issue of waste recycling of all its sources and forms is an important issue and a demand sought by most countries of the world in order to support and supplement the sustainable development process. Our research focused on the use of two different types of waste in the design of hot mix asphalt: The first type: Concrete waste used as a main component in the mixture, in addition to natural aggregates and asphalt material. The second type: plastic waste used as additives in order to improve the specifications of the studied mixture, and we used High Density Polyethylene (HDPE) as an example of this waste. And we adopted a specific methodology in the treatment of this waste, through which we reached the result of the research according to which the addition of HDPE to the asphalt mixture consisting of (natural coarse aggregates and recycled fine aggregates) has increased the efficiency of the asphalt mixture so that the ratio of 0.33% of HDPE) led The stability increased from 1113 kg to 1586 kg, about 43%, and the density increased from 2.276 g/cm3 to 2.314/cm, up to 1.7%. As for the air spaces, it decreased in the mixture from 5.65% to 4.056%, up to 28%, and the flow value ranged between 3 and 4 mm, from the above, we conclude that the addition of HDPE to the hot asphalt mixture by the dry method has a positive impact on all properties of the asphalt mixture, and therefore it is considered a good application in the asphalt mixtures used in our research.

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

Received: 8/8/2022
Accepted: 26/9/2022

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

المقدمة:

تعتبر عملية تدوير النفايات (البلاستكية والخرسانية) أكثر الطرق نجاحا بين تلك الطرق المستخدمة في التخلص من هذه النفايات (كالحرق والطمر وغيرها من الوسائل الأخرى) الأمر الذي وجه المهتمين في مجال البحث إلى وضع الخطط وتطويرها للاستفادة من الكميات الهائلة من هذه النفايات بمختلف أنواعها وأشكالها وتحويلها من مشكلة ذات آثار سلبية من الناحية البيئية والصحية والاقتصادية إلى مكون فعال ومصدر للمواد الأولية للعديد من الأعمال وفي مقدمتها الأعمال الهندسية، وكانت أجريت أبحاث مكثفة في العديد من دول العالم لوضع مواصفات وشروط فنية خاصة باستخدام هذه النفايات، تعتبر الهند واليابان والولايات المتحدة الأمريكية وغيرها في مقدمة الدول التي اهتمت في هذا المجال.

أما في سوريا مازالت الخطوات بطيئة وحذرة في مجال استخدام النفايات والاستفادة منها، لذلك قمنا بهذا البحث بدراسة مواصفات أحد أنواع هذه النفايات وإمكانية أن تكون رديفة للمواد الطبيعية المستخدمة.

ونذكر في هذا المقالة العلمية بعض الدراسات المرجعية التي تناولت البحث في هذا المجال فقد أجريت دراسة في جامعة القادسية في العراق **للباحث باسم الشناوة** 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 ب(LDPE) 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– 3.4مم) وانخفضت كثافة مارشال بشكل طفيف من(2.310– 2.3غ/سم3)[1].

وفي نفس السياق أكدت دراسة **لمجموعة من الباحثين في الجامعة الأمريكية في دولة الإمارات العربية المتحدة** أن إضافة البولي ابتلين عالي الكثافة (HDPE) بنسب (0.2–0.5–1) %من وزن الحصويات إلى الخلطات الإسفلتية الساخنة المكونة من حصويات طبيعية خشنة وناعمة أن نسبة 0.2%قد حسنت من مواصفات الخلطة بشكل ملحوظ أكثر من النسبة 0.5%أما 1% قد أدى مفعول عكسي[2]

وتوصل **الباحث حسام حاج إبراهيم** في جامعة دمشق في سوريا من خلال بحثه حول تأثير إعادة استخدام المخلفات البلاستكية على تحسين خواص الخلطات الإسفلتية فقد استخدم أكياس النايلون كنوع من المخلفات البلاستكية وتوصل إلى إن نسبة10%للأكياس أعطت أفضل النتائج حيث إن الكثافة انخفضت بشكل منتظم وطفيف لا يتجاوز 1% و2% ولم تؤثر على أداء الخلطة الإسفلتية وازدادت الفراغات الهوائية وأما التماسك فقد ازداد بوجود هذه الإضافات مقارنة مع الخلطة دون إضافات مستخدما الطريقة الرطبة في الخلط بعد تقطيع أكياس النايلون.[3]

كما أجريت دراسة في جامعة المستنصرية في العراق **للباحث خالد مرشد عويد وأصدقاؤه** بعنوان الاستفادة من مخلفات قناني المياه البلاستيكية كمحسن لخصائص خلطة الإسفلت توصلوا من خلالها أن نسبة 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 .[4]

كذلك في دراسة أجراها **الباحث Anurag Tiwari [1] and Y R M Rao [2]** وأصدقاؤه في دوله الهند أن إضافة البولي ابتلين عالي الكثافة **(HDPE)** إلى الخلطات الإسفلتية المكونة من حصويات طبيعية وبالطريقة الجافة 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(1195–2551) كغ وكذلك انخفضت الفراغات الهوائية من (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 [5]

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من ضرورة إيجاد طرق للاستفادة من النفايات البلاستيكية والنفايات الخرسانية والتي تتزايد بكميات هائلة في مختلف أنحاء العالم والبحث في إمكانية استخدامها في الرصف المرن، مما يتيح استثمار المساحات الكبيرة التي تشغلها هذه النفايات من خلال دراسة إمكانية إنتاج خلطات إسفلتية ساخنة خاصة تأخذ هذه النفايات دورا كبيرا في مكوناتها وبالتالي تكون رديفة للخلطات الإسفلتية الطبيعية وتلبي المواصفات الفنية المعتمدة كما يهدف البحث إلى حماية مصادر الحصويات الطبيعية الغير متجددة (مقالع، شواطئ وغيرها) المتوفرة في القطر العربي السوري.

مشكلة البحث ومبرراته:

تكمن مشكلة البحث في استخدام النفايات الخرسانية حيث أن هذه النفايات عند تكسيرها إلى حصويات بإحجام مختلفة حسب الهدف من استخدامها تكون حاوية على الملاط الأسمنتي إما بشكل منفصل أو مغلف لهذه الحصويات وبالتالي تتصف بنسبة تشرب عاليه مما ينعكس سلبا على خواص الخلطات الإسفلتية الساخنة الحاوية على هذه الحصويات، الأمر الذي يتطلب إيجاد حلول لتحسين هذه الخواص، اخترنا في بحثنا النفايات البلاستيكية نوع (البولي ابتلين عالي الكثافة (HDPE) كنوع من الإضافات بهدف تحسين هذه الخواص.

خطة البحث:

اعتمدنا الطريقة التجريبية في البحث من خلال المراحل الآتية:

1. **التعريف بمواد البحث:** والتي تشمل الحصويات الطبيعية Natural Aggregates (NA) والحصويات الخرسانية المعادة التدوير RCA (Recycled Concrete Aggregates وكذلك النفايات البلاستكية Plastic 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 مدورة من (عنصر إنشائي –نفايات مخبريه – مخلفات بناء بلوك بلاط سيراميك وغيره...[6] في هذا البحث تم اعتماد النفايات المخبرية الخرسانية (المكعبية والاسطوانية الشكل عيار الاسمنت 350 كغ/م^3) لتكون إحدى مكونات الخلطة الإسفلتية المعتمدة في البحث.

النفايات البلاستيكية: ظهرت الصناعة البلاستيكية وازدهرت وأصبحت تحتل الصدارة بالنسبة للصناعات الحالية نظرا لاستخداماتها العديدة في الحياة اليومية ويعتبر البلاستيك أحد مشتقات النفط ويتم تصنيعه من خلال الخطوات التالية:

عند تكرير النّفط الخام والغاز الطّبيعي، تحدث عملية تُسمى تّكسير الروابط الكيمائية (cracking process) للحصول على المواد الخام الهيدروكربونيّة، وبعد ذلك تُعالج الهيدروكربونات كيميائيا للحصول على المونومرات

الهيدروكربونيّة، مثل: الإيثيلين، والبروبيلين، يتم ربط المونومرات وإعادة ربطها في سلاسل طويلة لتكوين البوليمرات، والتي يتم تجميعها ومعالجتها لتحسين خواصها، وتتضمّن المعالجة إضافة مثبطات اللهب الكيميائية وهي مواد تؤخّر تشكيل اللهب في حال حدوث حريق وكذلك الملدِّنات، والأصباغ، وتستخدم البوليمرات الاصطناعية مثل البولي إثيلين والبولي بروبلين والبولي فينيل كلورايد والنايلون وغيرها .... على نطاق واسع ولأغراض مختلفة.

ويقسم البلاستيك إلى:

البلاستيك الحراري: وهو الذي يلين بالحرارة فيغير من شكله وبالتالي يمكن صهره وإعادة تشكيله وهذا النوع هو الأكثر استعمالا ومن أمثلة هذه البوليمرات البولي ابتلين عالي الكثافة والبولي ابتلين منخفض الكثافة ويستعمل هذا النوع في صناعة الأكياس والعبوات البلاستكية المستخدمة للمنظفات وأنابيب الصرف الصحي وبعض المعدات الهندسية

البلاستيك اللاحراري: يتحول هذا النوع من اللدائن بعد تشكيله إلى مواد غير منصهرة، لا يمكن إعادة تليينها وتشكيلها عند إعادة التسخين، ومن أمثلة هذه البوليمرات) وراتنجات الفينول وراتنجات اليوريا) ويستعمل هذا النوع من البلاستيك في تغليف الأسلاك الكهربائية ومقابض القدور.. في بحثنا استخدمنا النفايات البلاستكية الناتجة عن النوع الأول والتي تتمثل بالعبوات البلاستكية الناتجة عن 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 [3][2]، الشكل (1)

الشكل (1) النفايات البلاستيكية.

المادة الإسفلتية: تم إحضارها من مصفاة بانياس وتتصف بوزن نوعي(1.04) ودرجة غرز عند درجة حرارة 25 ووزن (100)غ بحدود 55-50.

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

الحصويات المعادة التدوير: تم إحضار النفايات الخرسانية وهي عبارة عينات بيتونية مكعبيه واسطوانية الشكل من مخبر نقابة المهندسينإلى مخبر المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية الشكل (2) .

الشكل (2) النفايات الخرسانية قبل تكسيرها

بدأت عملية المعالجة لهذه العينات من خلال التكسير اليدوي باستخدام المطرقة لتحويلها إلى حجوم صغيرة تتيح لنا إمكانية إدخالها في جهاز الاهتراء المتوفر في المخبر 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 لما أشارت له بعض الأبحاث بخصوص عدم جدوى استخدام الحصويات الخشنة المعادة التدوير في الخلطات الساخنة [6]. أما الحصويات الطبيعية الخشنة المستخدمة في الخلطة فقد تم

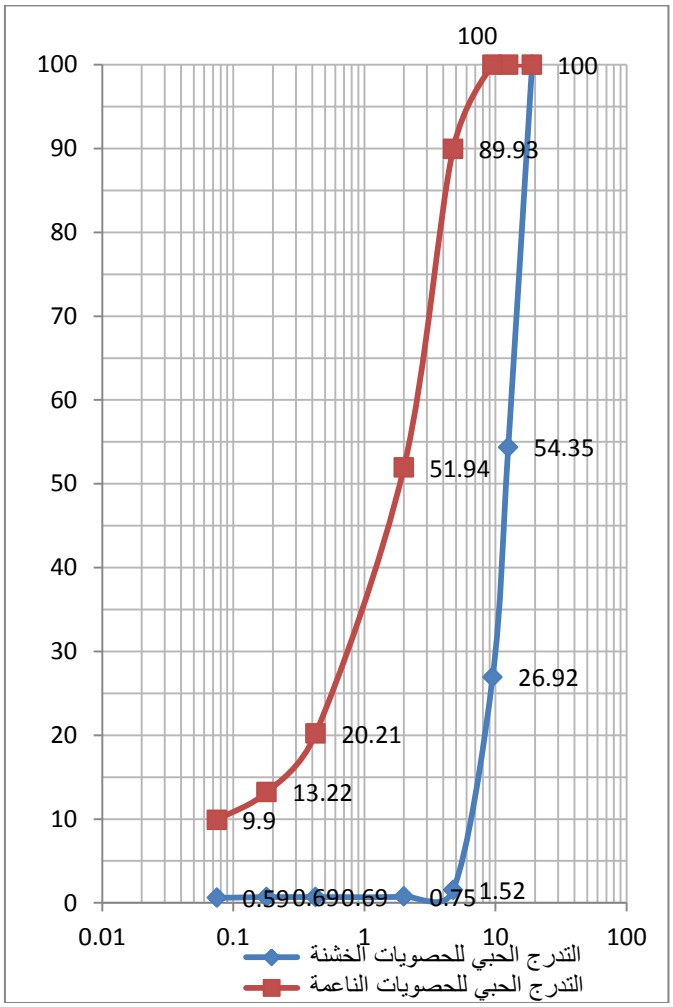
إحضارها من مقالع مدينة حسياء وتم تكسيرها بوساطة كسارات المقلع بقطر أعظميMM19 .وأحضرنا النفايات البلاستكية من أحد المعامل الخاصة بتجميع وفرز هذا النوع من النفايات حيث جمعنا العبوات البلاستكية المصنعة من البولي ابتلين عالي الكثافة والتي تتمثل (بعبوات الشامبو والزيت) بعد ذلك قمنا بتكسيرها بوساطة ماكينة خاصة في المعمل في المنطقة الصناعية بقياس يتراوح بين(1-0.075) MMووزن نوعي (0.972) الشكل (3).

الشكل (3) النفايات البلاستكية الناعمة بعد تقطيعها

3 .**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 المواصفات الفنية للطرق والجسور [7] كما هو واضح في الجدول (1):

الجدول (1) التدرج الحبي للحصويات المستخدمة

فتحة المنخل		نسبة المار %	
الانش	(MM)	حصويات خشنة طبيعية	حصويات بيتونية ناعمة 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 (4) منحني التدرج الحبي للحصويات

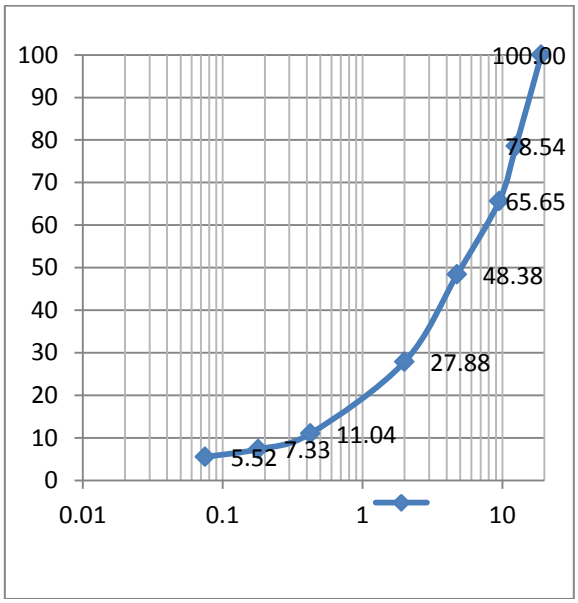
بعد إجراء تجربة التدرج قمنا بإجراء تجربة الوزن النوعي لكلا الحصويات الخشنة والناعمة بعد نقع الحصويات مدة 24 ساعة وحساب نسبة تشرب الحصويات وكذلك تجربة المكافئ الرملي للحصويات الناعمة فقط الحصويات المعادة التدوير وتجربة التآكل بالاهتراء للحصويات الخشنة الطبيعية ويبين الجدول رقم(2) الخواص الفيزيائية لهذه الاحضارات ومدى مطابقتها للمواصفات الفنية المعتمدة في البحث [7].

الجدول (2) الخواص الفيزيائية للاحضارات

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 %	12.6	–	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 %	1.643	–	Max≤2

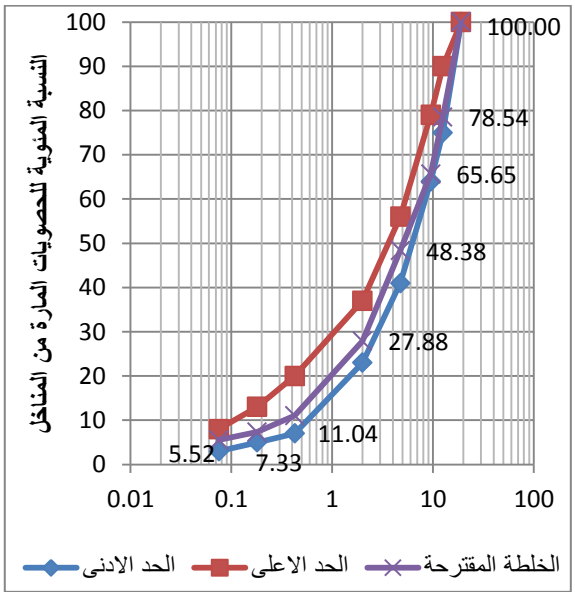
من خلال قراءة جدول الخواص الفيزيائية نلاحظ أن الوزن النوعي للحصويات المعادة التدوير الناعمة منخفض مقارنة مع الحصويات الطبيعية وكذلك نسبة التشرب عالية وهذا ما ذكرناه سابقا وبالتالي سوف تؤثر هذه الخواص سلبا على الخلطات الإسفلتية الساخنة وبالنسبة للمكافئ الرملي للحصويات المعادة التدوير فكان ضمن الحدود المسموح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

4 . **تصميم الخلطة الإسفلتية:** بعد تحديد الخواص الفيزيائية للاحضارات تم الانتقال إلى المرحلة الثالثة وهي تصميم الخلطة الإسفلتيةAالمكونة من (حصويات خشنة طبيعية و حصويات ناعمة معادة التدوير)بحيث تكون مطابقة للمواصفات والشروط الفنية للطرق والجسور عام 2002م حيث تم اختيار التدرج الأول من طبقة الاهتراء للخلطات الإسفلتية وقمنا بتنسيب الحصويات باستخدام طريقة التجريب وفق برنامج Excelو تم التوصل إلى تدرج حبي ضمن حدود الخلطة ومتوافق مع التدرج الحبي للحصويات [7]، كما هو واضح في الشكل (5) والشكل (6).



الشكل رقم (5) التدرج الحبي المقترح

ويبين الشكل (6) 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 .

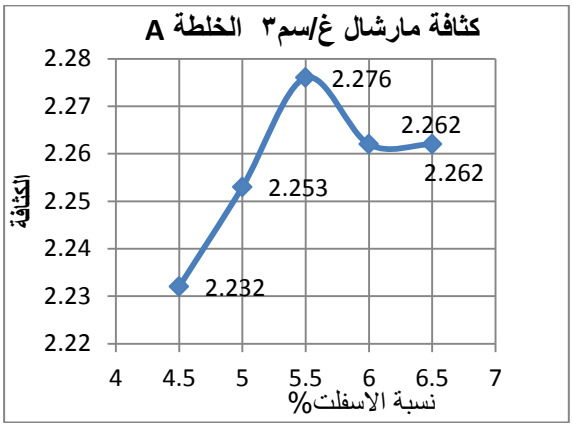


الشكل رقم (6) التدرج الحبي للخلطة التصميمية والمقترحة

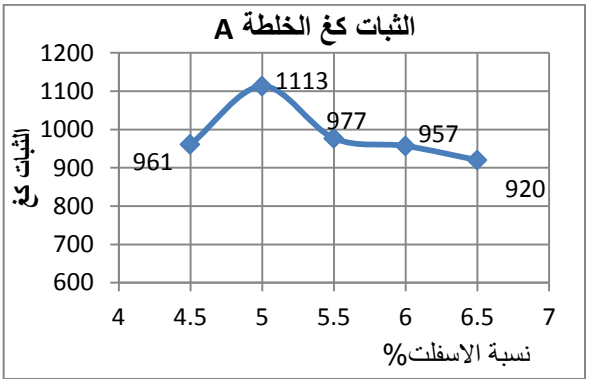
تم تحضير 15 قالب من الحصويات المحضرة وفق التدرج المقترح حسب تصميم مارشال للخلطات الإسفلتية الساخنة من خلال اقتراح خمس نسب إضافة من الإسفلت (4.5%-5%-5.5%-6%-6.5%) [7]

الشكل (7) نسب الحصويات حسب التدرج المقترح للخلطة A

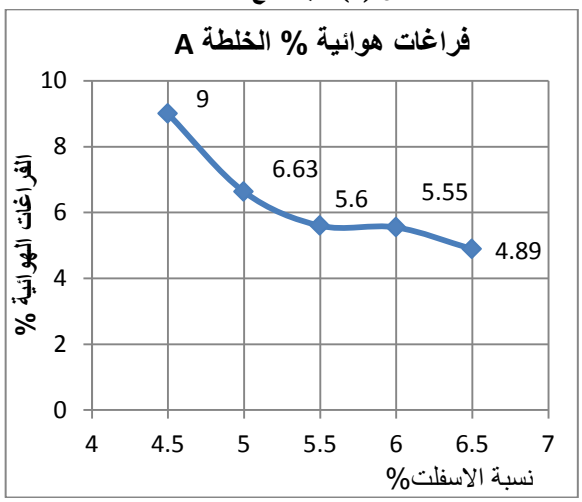
ومخططات الأشكال من (8)إلى (11) توضح نتائج الخلطة المتمثلة بكثافة مارشال وكذلك الثبات والانسياب والفراغات الهوائية والتي تدخل في تحديد النسبة المثالية للبيتومين اللازم إضافته إلى الخلطة.



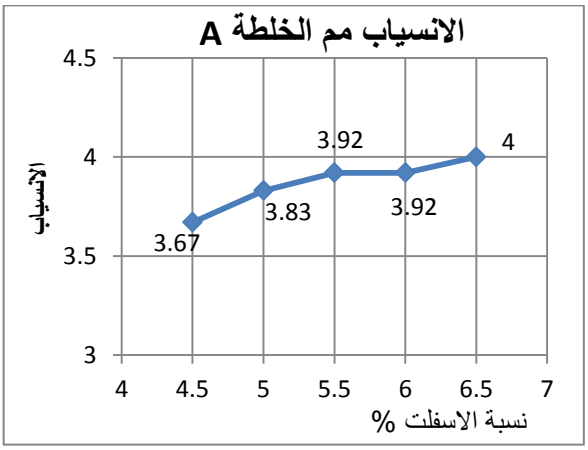
الشكل (8) كثافة مارشال غ/سم^3 الخلطة A



الشكل (9) الثبات كغ الخلطة A



الشكل (10) فراغات هوائية %الخلطة A



الشكل (11) الانسياب مم الخلطة A

من قراءة المخططات التابعة للخلطة A 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

الجدول (3) نتائج الخلطة A 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

الشكل (12) قوالب مارشال للخلطة المرجعيةA

بعد ذلك 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%).[8] الشكل (12).

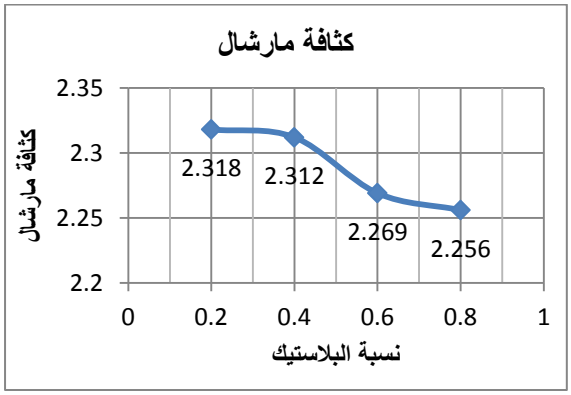
انتقلنا في المرحلة التالية إلى تصميم الخلطة الثانيةBالمكونة من حصويات خشنة طبيعية وحصويات ناعمة بيتونية معادة التدوير ونفايات بلاستكية بنسب إضافة (0.2%– 0.4% –0.6% – 0.8%) من وزن الحصويات مع استخدام نفس التدرج الحبي للخلطة المرجعية Aوكذلك نفس نسبة البيتومين الأصولية للخلطةAللوقوف على تأثير النفايات البلاستكية على مواصفات الخلطة.

وبنفس الخطوة السابقة تم تحضير 12 قالب من الحصويات حسب التدرج المقترحكما هو في الشكل (13) وتم إضافة البلاستيك إلى الحصويات الساخنة حسب الطريقة الجافة للخلط الشكل (14) حيث أوضحت بعض الدراسات المرجعية أن الطريقة الجافة أفضل من الطريقة الرطبة للخلط [2]

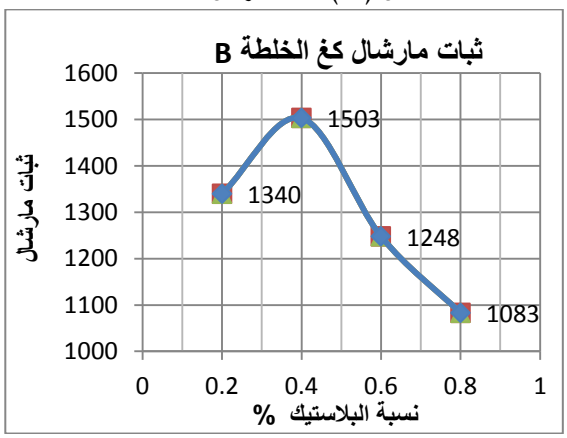
الشكل (13) نسب الحصويات حسب التدرج المقترح للخلطة B

الشكل (14) الخلط بالطريقة الجافة

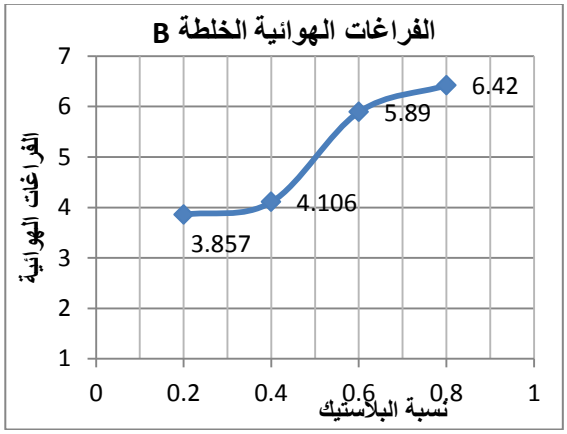
فكانت نتائج الخلطة B كما هو واضح في المخططات من الشكل (15) إلى الشكل (18):



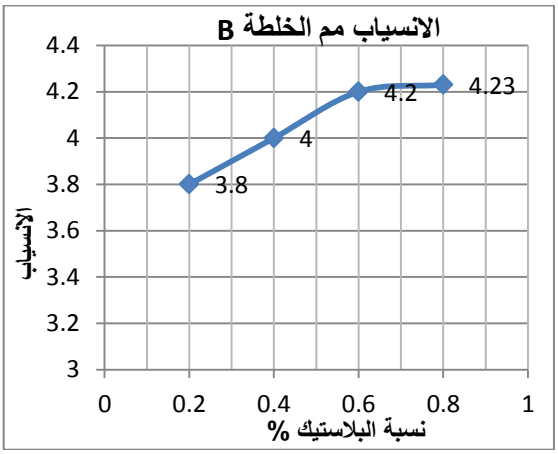
الشكل (15) كثافة مارشال الخلطة B



الشكل (16) ثبات مارشالالخلطة B

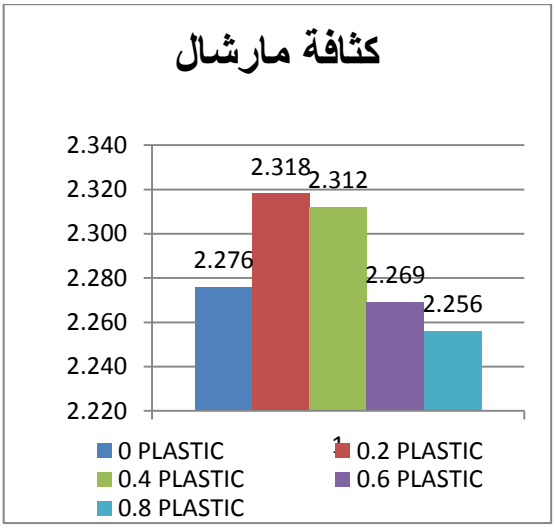


الشكل (17) الفراغات الهوائيةالخلطة B

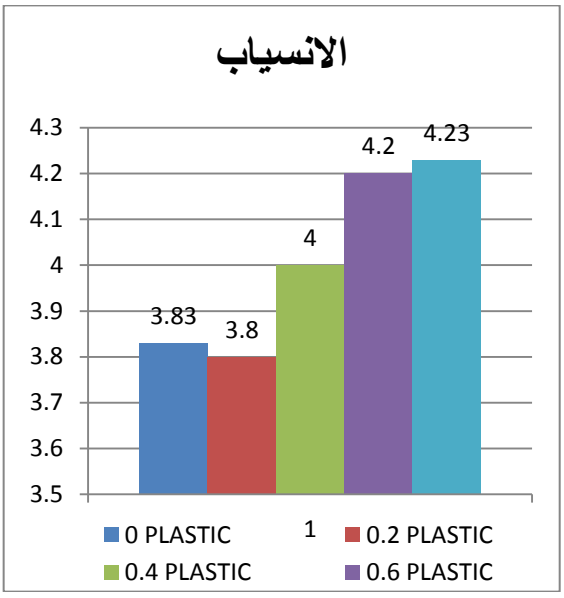


الشكل (18) الانسياب الخلطة B

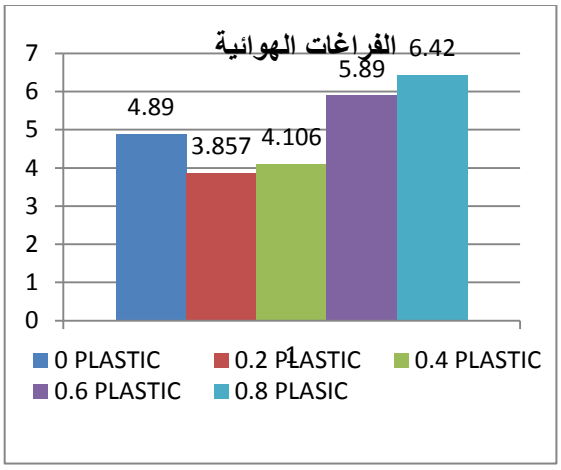
توضح المخططات من الشكل (19)إلى (22) تأثير إضافة النفايات البلاستيكية على مواصفات الخلطة الإسفلتية.



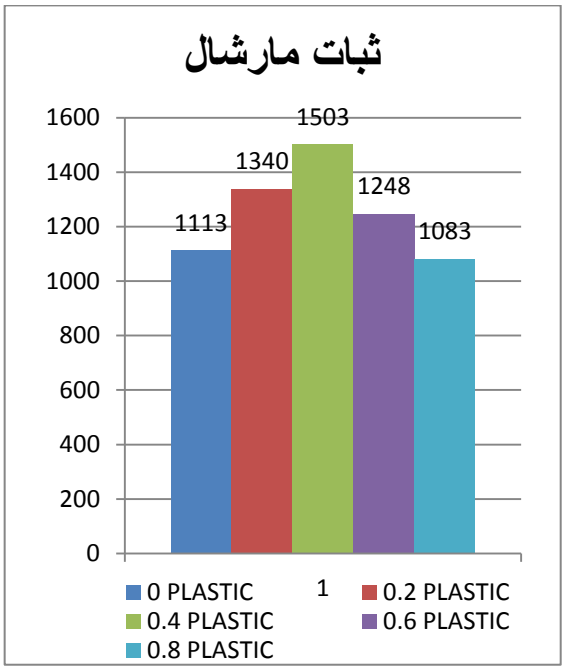
الشكل (19) تأثير (HDPE) على كثافة مارشال



الشكل (20) تأثير (HDPE) على الانسياب



الشكل (21) تأثير (HDPE) على الفراغات الهوائية



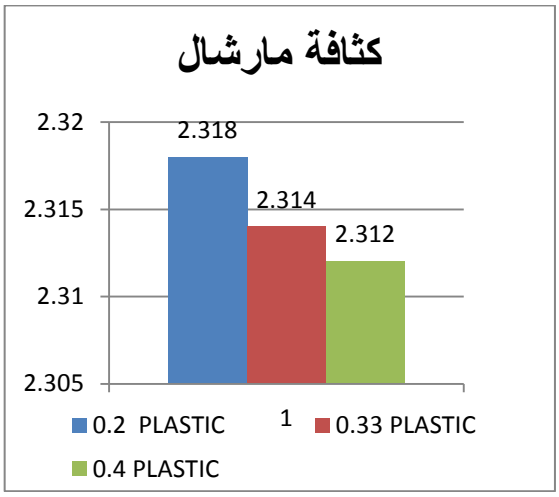
الشكل (22) تأثير (HDPE) على الثبات

من قراءة المخططات نلاحظ تأثير إضافة البلاستيك إلى الخلطة حيث ارتفعت الكثافة وكذلك ازدادت قيمة الثبات وانخفضت الفراغات الهوائية وبالتالي تحسن خواص الخلطة الإسفلتية وحاولنا الحساب بشكل تقريبي نسبة البلاستيك الأفضل من خلال حساب المتوسط الحسابي لنسبة البلاستيك التي أعطت أعلى كثافة وأعلى ثبات وفراغات هوائية بحدود 4% لتكون نسبة البلاستيك المثالية0.33%من وزن الحصويات المستخدمة

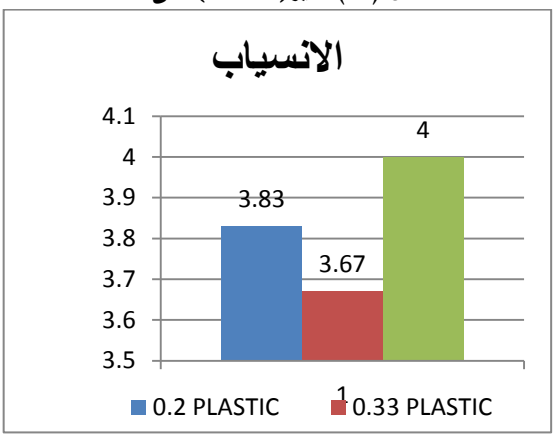
5 . الخطوة التالية في البحث قمنا بتجهيز ثلاث قوالب مارشال بنفس التدرج الحبي المعتمد ونسبة البيتومين المقترحة وإضافة (HDPE) بنسبة 0.33% من وزن الحصويات ودراسة النتائج ووصولا إلى النسبة الأفضل الشكل(22).

الشكل (22) قوالب نسبة البلاستيك (0.33%)

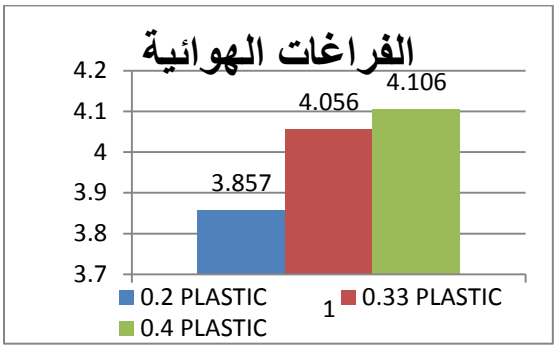
والمخططات من الشكل من (23) إلى الشكل(26)توضح نتائج نسبة 0.33 %من (HDPE) من وزن الحصويات المستخدمة ومقارنتها مع نسبة 0.2% و0.4%



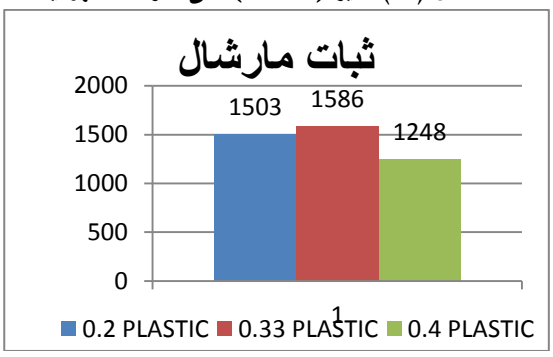
الشكل (23) تأثير(HDPE) على الكثافة



الشكل (24) تأثير (HDPE) على الانسياب



الشكل (25) تأثير (HDPE) على الفراغات الهوائية



الشكل (26) تأثير (HDPE) على الثبات

نلاحظ ازدياد الثبات بشكل أكبر والفراغات الهوائية كانت الأفضل بين النسب الثلاث والانسياب أعطى قيمه وسطيه تقريبا وتأثرت الكثافة بشكل طفيف .

النتائج والتوصيات:

من خلال هذا البحث توصلنا إلى نتيجة تفيد بأن إضافة(HDPE)إلى الخلطة الإسفلتية المكونة من (حصويات خشنة طبيعية وحصويات ناعمة معادة التدوير) قد رفع من كفاءة الخلطة الإسفلتية باستخدام نسبة 0.33% من (HDPE) بحيث: ارتفع الثبات من 1113كغ إلى 1586كغ إي بحدود 43%وكذلك الكثافة ازدادت من 2.276غ/سم3 إلى 2.314/سم أي بحدود 1.7% وأما الفراغات الهوائية فقد انخفضت في الخلطة من 5.65% تقريباً إلى4.056% إي بحدود 28 %

وقيمة الانسياب تراوحت بين 3و 4 مم ومما سبق نستنتج أن إضافة(HDPE) إلى الخلطة الإسفلتية الساخنة بالطريقة الجافة انعكس ايجابيا على كافة خواص الخلطة الإسفلتية ويمكن تفسير ذلك حسب المشاهدة المخبرية أن HDPE عمل كجسر بين الحصويات حيث ملا جزء من الفراغات الهوائية نتيجة انكماش واتحاد بعض جزيئاته بسبب الحرارة كما غلف جزء من الحصويات من جهة أخرى وربط بينها مما أدى إلى زيادة الثبات وتقليل الفراغات الهوائية وزيادة الكثافة وكذلك الانسياب بالحدود المطلوبة والتالي(HDPE) يعتبر تطبيقا جيدا في الخلطات الإسفلتية التي تحتوي على الحصويات البيتونية المعادة التدوير المستخدمة في بحثنا .

مما تقدم نلاحظ أن كلا من نسب(0.33% (0.4%-0.2%) من(HDPE) جميعها أعطت نتائج جيدة فنيا وضمن المواصفات أكثر من النسب الأخرى المستخدمة لذلك يمكن استخدامها ضمن هذا المجال من الخلطات كما يمكن العمل على اقتراح أصناف أخرى من النفايات البلاستكية مثلا البولي ايتيلين منخفض الكثافة أو البولي البروبلين.... ودراسة تأثيرها في الخلطات الإسفلتية وبالتالي إمكانية إدخالها بنسب مختلفة والذي سينعكس ايجابيا على الناحية الفنية وكذلك الاقتصادية والبيئية ويدعم عملية التنمية المستدامة في العديد من المجالات ويوفر الحماية للمصادر الطبيعية في مجال الرصف الطرقي.

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

المراجع 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 October 2014
2. Ahmad M. Abu Abdo " **Investigation The Effects Of Adding Waste Plastic On asphalt Mixes Performance**" VOL. 12, NO. 15, AUGUST 2017 ISSN 1819-6608ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences- United Arab Emirates
3. **إبراهيم –حاج –حسام ""تأثير إعادة استخدام المخلفات البلاستكية على تحسين خواص الخلطات الإسفلتية " جامعة دمشق – قسم هندسة النقل ومواد البناء**
4. 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
5. Anurag V. Tiwar[i1] and Y R M"Stud**y of Plastic Waste Mixed Bituminous Concrete Using Dry Process for Road Construction"** The Asian Review of Civil Engineering ISSN: 2249 - 6203 Vol. 6 No.2, 2017, pp.1-6, Tamil Nadu, India
6. Alkul Abdel **Kader" Using The Recycled Concrete Aggregates In Hot Mix Asphalt" Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (5) 2015**
7. الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور 2002م
8. عاصي مروان دكتوراه في ميكانيك التربة وإنشاء الطرق "تصميم طبقات الرصف الطرق 2" منشورات جامعة حلب– كلية الهندسة المدنية