مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد(1) – 2025: 245-258

Damascus University Journal for engineering sciences
258-245 number (1) -2025: 1 Vo 4

تأثير التدرج الحبي للنفايات البلاستيكية المضافة على خواص الخلطات الإسفلتية الساخنة

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

*[1]. طالبة دراسات عليا، دكتوراه، مهندسة في قسم هندسة النقل ومواد البناء، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، سورية. wedadsoliman72@gmail.com

[2]. دكتور، استاذ قسم هندسة النقل ومواد البناء، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، سورية. MajedAsaad@Damascusuniversity.edu.sy

[3]. دكتور، استاذ قسم هندسة النقل ومواد البناء، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، سورية. AndrewsSaud@Damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تنتشر النفايات البلاستكية بشكل واسع في كافة أنحاء العالم نتيجة الانتشار المتزايد للصناعة البلاستكية مما ينجم عن ذلك مخلفات بكميات هائلة وبالتالي مشكلة بيئية واقتصادية وصحية كبيرة.تدوير هذه النفايات وإعادة استخدامها كإضافات في المشاريع الهندسية وخاصة الطرقية منها (الرصف المرن) يعتبر احد الحلول الايجابية للتخلص من هذه النفايات بدلا من الطمر أو الحرق وغيرها من الطرق الأخرى وخاصة إذا انعكس ذلك ايجابيا على خواص الخلطات الإسفلتية.

تم البحث في هذه المقالة العلمية فكرة إضافة النفايات البلاستكية إلى الخلطات الإسفلتية من خلال استخدام البولي ايتيلين عالي الكثافة (High Density Polyethylene (HDPE) كمثال على هذه النفايات بهدف التركيز على نعومه النفايات البلاستكية ومدى تأثيرها على خواص الخلطة الإسفلتية ، واستنادا على ذلك تم دراسة تدرجين مختلفين من(HDPE) التدرج الأول: بقياس يتراوح من (MM4.75- 0.425) والتدرج الثاني: بقياس يتراوح من(MM 1- 0.075). تم إضافة كلا التدرجين بنسب (1% - 0.8% -0.6% -0.4%) من وزن الحصويات المستخدمة في البحث.

اتبعت المنهجية التجريبية في البحث التي تم من خلالها التوصل إلى أن إضافة البوليمر (HDPE) بالتدرجيين الأول والثاني أدى إلى زيادة الثبات مقارنة مع الخلطة المرجعية ولكن حجم الحبيبات في التدرج الأول أدى إلى انتشار البوليمر بطريقة غير متجانسة ضمن الخلطة عند نسب الإضافة المختلفة مما انعكس على نتائج خلطة مارشال وأما التدرج للبوليمر الثاني فقد أعطى نتائج أفضل بالنسبة لخواص الخلطة بشكل عام (الثبات والفراغات الهوائية وكذلك الكثافة) عند نسبة الإضافة 0.8 %من وزن الحصويات مقارنة مع التدرج الأول والخلطة المرجعية حيث ازدادت قيمة الثبات1037 إلى 1322.4 kg تقريبا أي بحدود 27% بينما انخفضت الكثافة والفراغات الهوائية بشكل طفيف، لذلك يعتبر التدرج الثاني بشكل عام تطبيقا أفضل لمثل هذه الإضافات في الخلطات الإسفلتية.

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

تاريخ الايداع: 2021/12/1
تاريخ القبول:2023/2/26

حقـــوق النشـــر: جامعـــة دمشـــق – ســـورية، يحـــتفظ المؤلفـــون بحقـــوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

Effect of the granular gradient of plastic waste added on the properties of hot asphalt mixtures

Wedad Abdulmajeed Suleiman*[1] Majed Asaad[2] AndrewsSaud[3]

*[1]. postgraduate student – Eng, Department of transportation engineering. Faculty of civil engineering, Damascus university- Syria.
wedadsoliman72@gmail.com
[2]. professor, Dr, Department of transportation engineering - Faculty of civil engineering -Damascus university- Syria.
MajedAsaad@Damascusuniversity.edu.sy
[3]. professor, Dr, Department of transportation engineering - Faculty of civil engineering -Damascus university- Syria.
AndrewsSaud@Damascusuniversity.edu.sy

Received: 1/12/2021
Accepted: 26/2/2023

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

Abstract:

Plastic waste is widely spread all over the world as a result of the increasing spread of the plastic industry, which results in waste in huge quantities and thus a major environmental, economic and health problem. Recycling and reusing this waste as additives in engineering projects, especially road projects (flexible paving) is one of the positive solutions to get rid of these wastes instead of land filling or burning and other other methods, especially if this is reflected positively on the properties of asphalt mixtures. In this scientific article, we discussed the idea of adding plastic waste to asphalt mixtures by using High Density Polyethylene (HDPE) as an example of this waste, with a focus on the softness of plastic waste and the extent of its impact on the properties of the asphalt mixture. Most of the reference research in this field indicated that Grinding plastic waste with dimensions sometimes up to 3mm and sometimes 2.36mm and it can be 600µ. In our research, two different grades of HDPE were studied. The first gradation: (HDPE) with a size ranging from 4.75-0.425 mm). We will consider it a first gradient in this paper The second gradation: (HDPE) with a size ranging from 0.075-1) mm) and it will be a second gradient in the research HDPE was added to both grades in percentages (0.4%-0.6%0.8%1%) of the weight of the used aggregates. We adopted the experimental method in the research, through which we concluded that the addition of polymer, both the first and second gradients, has significantly increased stability compared to the reference mixture, , but the second (HDPE) gradient has given better results for the properties of the mixture (stability, air voids, as well as density) at the ratio The addition of 0.8% of the weight of the gravel (stability increased 27%) density and air voids decreased lowly. Therefore, second grading is generally considered a better application for such.

Keywords: plastic waste, hot asphalt mixtures, road paving.

المقدمة :

تسعى معظم دول العالم إلى تطبيق مبدأ التنمية المستدامة من خلال تعزيز فكرة تدوير النفايات وإعادة استخدامها وبالتالي تحويل هذه النفايات من مشكلة ذات آثار سلبية على الناحية الاقتصادية والبيئية والصحية إلى مورد مفيد ورديف لعملية التنمية والتطوير.

تشكل النفايات البلاستكية قسم كبير من هذه النفايات. نذكر على سبيل المثال بعض الإحصائيات التي أشارت عن الانتشار الواسع لهذا المنتج الذي بلغ عام 2016-2017 حوالي 3.513 مليون طن متري تم إعادة تدوير مايقارب 0.42 مليون طن من النفايات البلاستكية وفي إحصائية أخرى عام 2010 تم العثور على مايقارب 2.7-4.8 مليون طن متري من النفايات البلاستكية في المحيطات والشكل (1) يوضح توزع النفايات عام 2020 [2] -[1] . حيث يوضح أن الصين تحتل المرتبة الأولى في كمية النفايات المستخدمة .

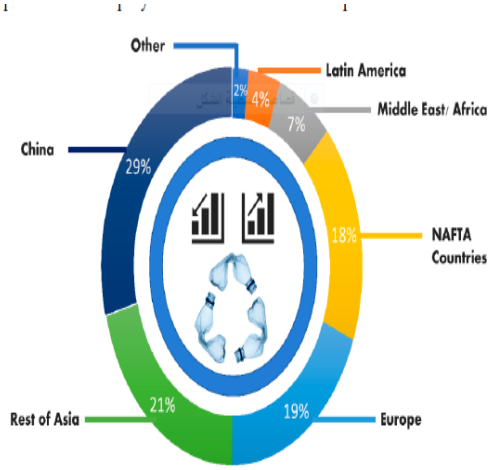


Figure 1. Plastics Statistics in The Oceans (2020).

الشكل (1) نسب توزع النفايات البلاستكية في المحيطات حول العالم

وقد قامت دول متعددة بدراسة هذه المواد وإمكانية الاستفادة منها وخاصة في مجال الرصف المرن . نذكر في هذه المقالة العلمية بعض الدول التي اهتمت في هذا المجال من خلال عرض موجز لبعض الدراسات المرجعية مع الإشارة إلى تدرج النفايات البلاستكية المستخدمة في هذه الدراسات فقد أجريت دراسة في المملكة العربية السعودية للباحث محمد كاشف أنور وفريقه عام 2021 حول إعادة استخدام البوليمرات لبناء الطرق كتطبيق لمفهوم الاقتصاد المدور من خلال دراسة استخدام النفايات البلاستكية (PET) في الخلطات الإسفلتية بنسب (0%-5%-10%-15%-20%) من وزن البيتومين وتم العمل بطريقة مارشال وعرضت الدراسة تأثير هذه الإضافات على الثبات والانسياب من خلال دراسة النتائج بعد يوم واحد ثم بعد شهر ليتوصل الفريق الباحث أن الثبات أعطى أفضل قيمة بعد يوم عند نسبة 10% من (PET) وبعد شهر عند نسبة 5%(PET) وأما الانسياب فكان يزداد مع ازدياد نسبة البوليمر حتى وصل إلى 7.1 mmعند نسبة 20% من(PET) عند اختبار 30 يوم وأفضل قيمة للانسياب تراوحت بين3و 4 مم عند إضافة 5% من (PET) [1].

وفي ذات السياق نشرت دراسة في كوالالامبور في ماليزيا للباحث TAHER BAGHAEE MOGHADDAM*, وأصدقاؤه عام 2013 حول إضافة النفايات البلاستكية إلى الخلطات الإسفلتية حيث قام بإضافة البوليمر (PET) polyethylene Terephthalate بنسب (0.2%-0.4%-0.6%-0.8%-1%) من وزن الحصويات مع نسب إسفلت مختلفة (5%-5.5%-6%-6.5%-7) وقد أشارت الدراسة انه تم تقطيع عبوات البلاستيك إلى قطع بحدود 2.36 mm وأضيفت بالطريقة الرطبة إلى السائل البيتومين وكانت نسبة البيتومين المثالية بحدود 6.22% وتوصل الباحثين من خلال تجارب مارشال إلى أن الخليط المضاف إليه النفايات البلاستكية قد أعطى ثبات اكبر من الخليط التقليدي عند

نسبة إضافة 0.6% من وزن الحصويات وازداد الانسياب مع ازدياد نسبة (PET) وأما الكثافة ارتفعت عند نسبة 0.4% من(PET) ثم بدأت بالانخفاض , وأما اختبار الصلابة فقد أعطى أفضل قيمة عند النسبة 0.2% ثم تناقص [3].

وفي نفس السياق قدمت دراسة أيضا في ماليزيا للباحث Mohd Ezree Abdullah1, وأصدقاؤه نشرت عام2017 حول تحسن أداء الخليط الإسفلتي من خلال إضافة النفايات البلاستكية وأوضحت الدراسة انه تم تقطيع البلاستيك بأبعاد 1.2–3 mm وخلصت الدراسة أن نسبة البلاستيك 4% من وزن السائل البيتوميني أعطت أفضل ثبات بينما نسبة 8% أعطت أفضل قيمة لمعامل المرونة حسب شروط التجربة في درجه الحرارة 25 وكذلك 40 درجه مئوية وكذلك بالنسبة للشد المباشر كانت نسبة البلاستيك 8% من وزن السائل البيتوميني هي النسبة الأفضل [5]–[4].

أكدت دراسة للجامعة الأمريكية في نيجريا عام2017 أن إضافة البولي ايتيلين منخفض الكثافة الموجود في أكياس الخضار قد حسن من أداء الخليط الإسفلتي وذلك بدراسة ثلاث نسب (5%-10%-15%) من وزن الرابط وباستخدام الطريقة الرطبة حيث تم إضافة البوليمر إلى السائل الإسفلتي وتوصلت الدراسة أن ازدياد الثبات من 11.35 إلى 14.8 كيلو نيوتن بينما انخفضت الكثافة مما انعكس على الفراغات الهوائية وأدى إلى ازديادها دون ذكر أي معلومة عن أبعاد قطع البلاستيك في الدراسة [6].

وفي دراسة هندية للباحث Brajesh Mishra عام 2016 حول إعادة استخدام النفايات البلاستكية في الخلطات الإسفلتية الساخنة المكونة من حصويات طبيعية خشنة وناعمة وبيتومين بدرجة غرز 62 ونسبة بيتومين أصوليه بحدود 5% من وزن الحصويات وكان قد أضاف البولي ايتيلين منخفض الكثافة بنسب (5– 7–9–11)%من وزن البيتومين وكانت النسبة الأصولية بحدود 9% من LDPE وبتدرج للنفايات يتراوح بين2.36mm–600µ وباستخدام الطريقة الجافة للخلط وبدراسة نتائج مارشال ازداد الثبات بمعدل38.47% وانخفضت الفراغات الهوائية من 3.9%إلى2.3% وكذلك السيلان انخفض من3.28إلى 2.54 mm [7].

وفي دراسة هندسة أيضا للباحث Mishra Ravi Shankar وأصدقاؤه عام 2015 حول إضافة النفايات البلاستكية للخلطات الإسفلتية وبالطريقة الرطبة حيث استخدم lowdensity polythene(LDPE) وبتدرج يتراوح بين 2.36mm - 600 µ وبنسب (6–8–10–12)% من وزن البيتومين حيث نسبة البيتومين الأصولية 5.43% من وزن الحصويات وكانت نسبة(LDPE) الأصولية بحسب الدراسة 9.73% من وزن البيتومين وتوصل الباحث إلى أن إضافة هذا البوليمر قد زاد من قيمة الثبات 12% وكذلك ازدادت قيمة الانسياب[8] .

وتوصل الباحث حسام حاج إبراهيم في جامعة دمشق في سوريا عام 2018 من خلال بحثه حول تأثير إعادة استخدام المخلفات البلاستكية على تحسين خواص الخلطات الإسفلتية فقد استخدم أكياس النايلون كنوع من المخلفات البلاستكية وأوضح أن إضافة الأكياس إلى السائل الإسفلتي قد أعطى أفضل النتائج بالنسبة للمجبول الإسفلتي عند النسبة 10%من الإضافات من وزن البيتومين.[9]

1 . أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث في إمكانية دعم الخلطات الإسفلتية الساخنة المستخدمة في الرصف المرن من خلال إضافة البوليمرات التي تساعد في إطالة أمد المجبول الإسفلتي وزيادة قدرته على تحمل الحمولات المرورية والأحوال الجوية المتبدلة والذي سوف يؤدي بدوره إلى زيادة التباعد بين فترات الصيانة الجارية على المجبول الإسفلتي المستخدم مما ينعكس إيجابا على الناحية الاقتصادية والبيئية ، كما ويهدف البحث إلى التخلص من النفايات البلاستكية المنتشرة بشكل كبير جدا بطريقة سليمة وصحيحة من خلال إعادة تدويرها والاستفادة منها في أعمال الرصف المرن وبالتالي رفد ودعم

عملية التنمية المستدامة مما سينعكس إيجابا على المصادر الطبيعية للحصويات المستخدمة في الأعمال الهندسية والمتمثلة بالمقالع والشواطئ .

3. مشكلة البحث ومبرراته:

تشغل النفايات البلاستكية مساحات واسعة بسبب الاستهلاك المتزايد والسريع للصناعة البلاستكية مما يستدعي الحاجة للتخلص من هذه النفايات بشكل مغاير للطرق التقليدية والمتمثلة بالحرق أو الطمر من خلال إعادة تدويرها والاستفادة من هذه البوليمرات بإضافتها إلى الخلطات الإسفلتية بحيث لاتكون هذه الإضافة بشكل عشوائي وبالتالي لاتحقق الهدف من الإضافة وفي دراستنا سلطنا الضوء على تأثير التدرج الحبي للنفايات المستخدمة ومدى تأثيرها على خواص الخلطات الإسفلتية.

3. خطة البحث:

اعتمدنا الخطة التجريبية في البحث من خلال المراحل الآتية

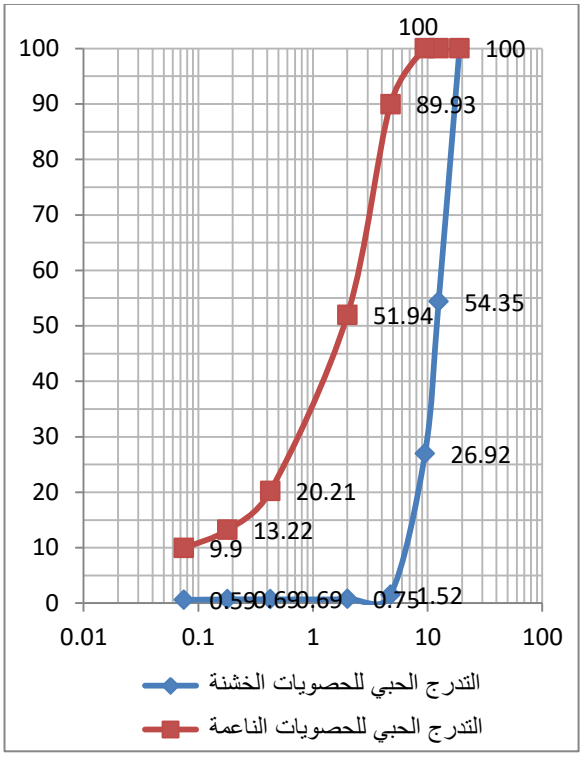
- إحضار مواد البحث والتعريف بها: تم إحضار المواد إلى المخبر وتجهيزها وإجراء التجارب اللازمة لتحديد الخواص الفيزيائية لهذه الاحضارات وتشمل : الحصويات الطبيعية Natural Aggregates (NA) والنفايات البلاستكية Plastic Waste والمادة الإسفلتية.بالنسبة للحصويات الطبيعية تم إحضارها من مقالع حسياء بالقرب من مدينة حمص والمادة الإسفلتية من مصفاة بانياس وأما النفايات البلاستكية فقد أحضرناها من أحد المعامل الخاصة بتجميع وفرز هذا النوع من النفايات حيث جمعنا العبوات البلاستكية والتي تتمثل (بعبوات الشامبو والزيت)المصنعة من البولي ايتيلين عالي الكثافة High Density Poly ethylene HDPE ذو الصيغة الكيمائية $(C_2H_4)n$ ويتميز البولي ابتلين انه مادة سهلة التشكيل ورخيص الثمن وعند تسخينه يلين بدرجة حرارة C° 16-150 ليصبح عجينة طرية [10].
- التجارب المخبرية : توصيف الحصويات الطبيعة من خلال إجراء التجارب التالية (التدرج الحبي – المكافئ الرملي – الوزن النوعي – نسبة التشرب – تجربة الاهتراء(التآكل) 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 [10].

بالنسبة لتجربة التدرج الحبي تم تحضير العينات والمتمثلة بنوعين من الحصويات الخشنة الطبيعية والحصويات الناعمة الطبيعية 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[10] كما هو واضح في الجدول رقم (1).

وبشكل مبدئي هذه الاحضارات يجب أن تطابق متطلبات تدرج الحصويات من اجل استخدامها في طبقة الاهتراء للمجبول الإسفلتي للطرق من الدرجة الأولى حسب المواصفات العامة للطرق والجسور عام 2002 م وسوف يتم تحديد مدى مطابقتها وإمكانية استخدامها من خلال اقتراح نسب الخلط في المرحلة التالية من تصميم الخلطة ومطابقتها للخلطة التصميمية وإمكانية تصميم خلطة بهذا التدرج من الحصويات.

جدول (1) التدرج الحبي للحصويات المستخدمة

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

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

جدول (2) الخواص الفيزيائية للاحضارات

نوع الاختبار	حصويات طبيعية خشنة	حصويات طبيعية ناعمة	المواصفات الفنية (الطرق والجسور)
المكافئ الرملي %	–	82.17	min>45%
اختبار الاهتراء (لوس انجلوس) النقص بالتآكل %	7617.	–	Max<35
الوزن النوعي للحصويات	2.676	2.726	–
نسبة التشرب للحصويات %	1.643	1.640	Max≤2

من خلال قراءة جدول الخواص الفيزيائية نلاحظ أن خواص الحصويات الداخلة في تصميم الخلطات الإسفلتية محققة للمواصفات المعتمدة.

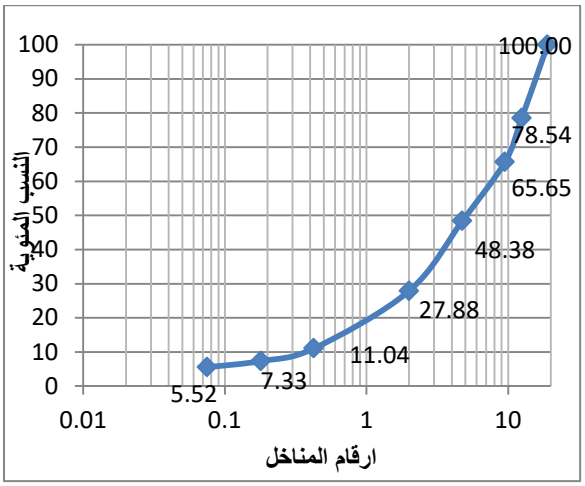
أما بالنسبة للنفايات البلاستكية والمتمثلة بالبولي ايتيلين عالي الكثافة فقد تم تجميعها وتقطيعها بوساطة آلة خاصة بهذا العمل في المنطقة الصناعية وكان قدتم التقطيع بحيث حصلنا على قياسين مختلفين من هذه المادة النوع الأول من (HDPE) بقياس يتراوح من (4.75- 0.425 mm) والنوع الثاني بقياس يتراوح من (1– 0.075mm) كما هو واضح بالشكل رقم (3) كما تم إجراء تجربة الوزن النوعي وكان بحدود(0.972).

الشكل رقم (3) تدرج البوليمر (HDPE)

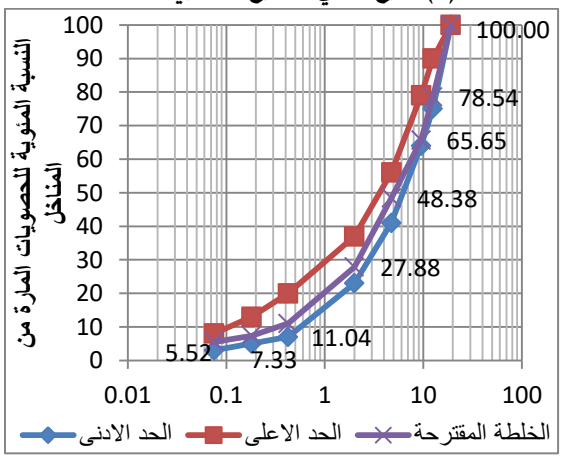
- تصميم الخلطة الإسفلتية :تمثلت خطة البحث بتصميم ثلاث خلطات إسفلتية
- الخلطة A:المكونة من حصويات طبيعية دون أي إضافات وتعتبر الخلطة المرجعية في هذه المقالة .
- الخلطة B : المكونة من حصويات طبيعية مع إضافة البوليمر ذو النوع الأول من (HDPE).
- الخلطة C:المكونة من حصويات طبيعية مع إضافة البوليمر ذو النوع الثاني من (HDPE).

بعد تحديد الخواص الفيزيائية للاحضارات تم الانتقال إلى تصميم الخلطة الإسفلتية A المكونة من (حصويات خشنة طبيعية و حصويات ناعمة طبيعية) بحيث تكون مطابقة للمواصفات والشروط الفنية للطرق والجسور الصادرة عام2002م.

تم اختيار التدرج الأول من طبقة الاهتراء للخلطات الإسفلتية وانطلاقا من التدرج الحبي للحصويات المستخدمة تم تنسيب الحصويات باستخدام طريقة التجريب وفق برنامج Excel واقتراح عدد من نسب الخلط من الحصويات الخشنة والناعمة إلى أن تم التوصل إلى تدرج حبي ضمن حدود الخلطة ومتوافق مع التدرج الحبي للحصويات بنسبة خلط 47% من الحصويات الخشنة و53% من الحصويات الناعمة المستخدمة في البحث فكان أقرب إلى الحد الأدنى من حدود الخلطة التصميمية [9]. كما هو واضح في الشكل (4) والشكل (5).



الشكل (4)التدرج الحبي المقترح للحصويات المستخدمة

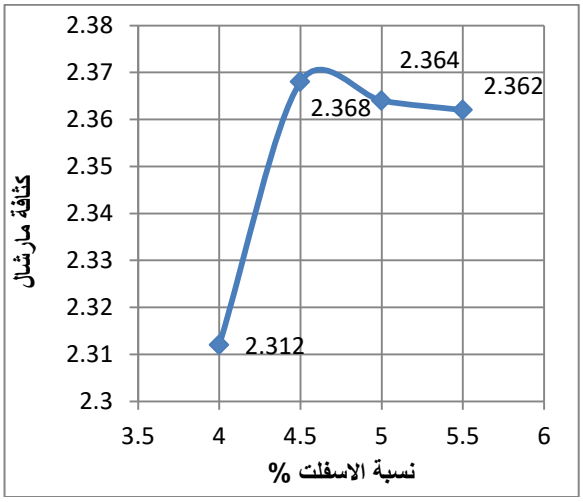


الشكل (5) التدرج الحبي للخلطة التصميمية والمقترحة

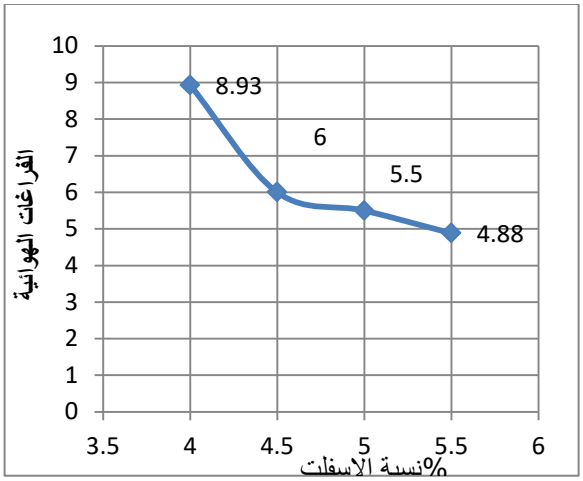
وبالتالي يمكن القول أن التدرج الحبي للحصويات المستخدمة محقق لمتطلبات تدرج الحصويات في المواصفات و في المرحلة التالية من العمل المخبري تم تحضير 12 قالب من الحصويات المحضرة وفق التدرج المقترح حسب تصميم مارشال للخلطات الإسفلتية الساخنة فقد تم اقتراح أربع نسب إضافة من الإسفلت المستخدم (4%-4.5%-5%-5.5%) من وزن الحصويات وتم تسخين الحصويات إلى الدرجة 165±3 لمدة 24 ساعة في الفرن

وكذلك المادة الإسفلتية وبزمن خلط تقريبا 80–90 ثانية وتم اعتماد درجة رص 75 طرقة على كل وجه باستخدام المطرقة النظامية كوننا نستخدم التدرج الأول من المواصفات الفنية [8] وكانت نتائج الخلطة المرجعية A كما هو واضح في المخططات من الشكل 6 إلى الشكل 10

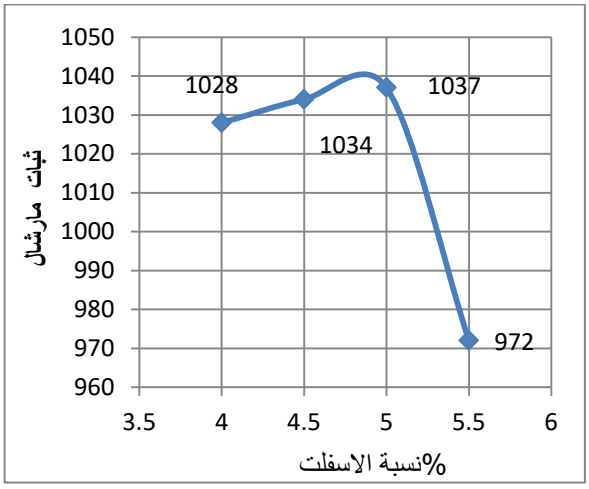
الشكل (6) عينات مارشال عدد (12)



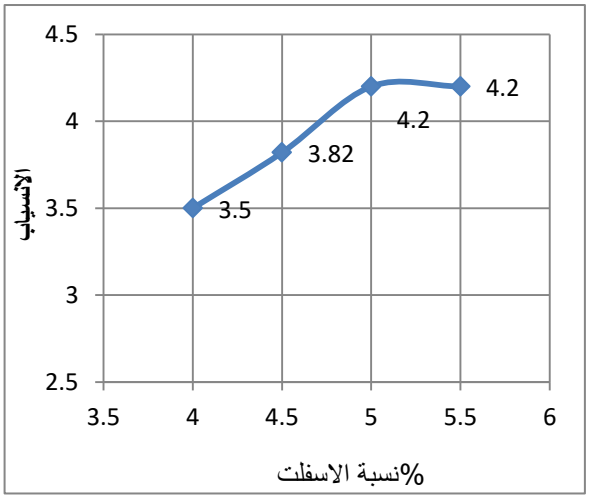
الشكل (7)كثافة مارشال غ/سم^3 الخلطةA



الشكل (8) فراغات هوائية %الخلطة A



الشكل (9)الثبات كغ الخلطة A



الشكل (10)الانسياب مم الخلطة A

ومن خلال مقارنة نتائج الخلطة مع المواصفات الفنية المعتمدة الموضحة في الجدول رقم (3) نلاحظ من نتائج خلطة مارشال انخفاض قيمة الثبات مقارنة مع المواصفات الفنية المعتمدة وكذلك الفراغات الهوائية تقريبا 4.88% عند نسبة الإسفلت 5.5% وتفسير ذلك أن التدرج المقترح يعتبر تدرج خشن وبالتالي الفراغات الهوائية تكون اكبر في الخلطة مما ينعكس سلبا على الثبات حيث تعتبر واحدة من العوامل التي تؤدي إلى انخفاض قيمته.

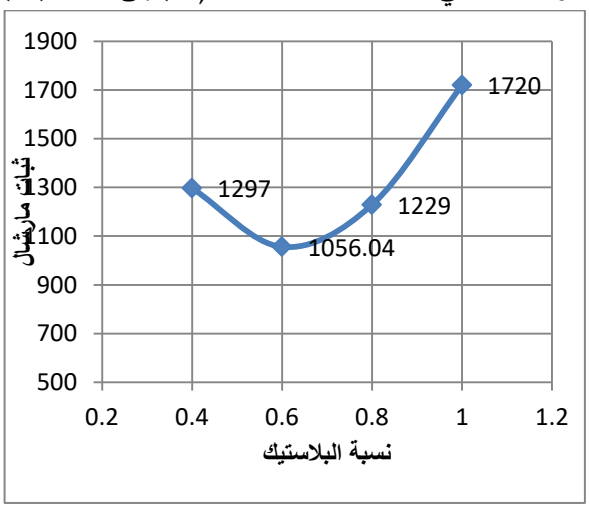
الجدول (3) نتائج الخلطة A والمواصفات الفنية المعتمدة

الاختبار	المواصفات المعتمدة طبقة الاهتراء البيتومينية حسب التدرج الأول	نتيجة الاختبار
الثبات كحد أدنى كغ	1100	1037
الانسياب مم	2-4	3.5-4.2
الفراغات الهوائية %	3-5	4.88
المادة البيتومينية بالمائة من الوزن الكلي	4-6	5.17

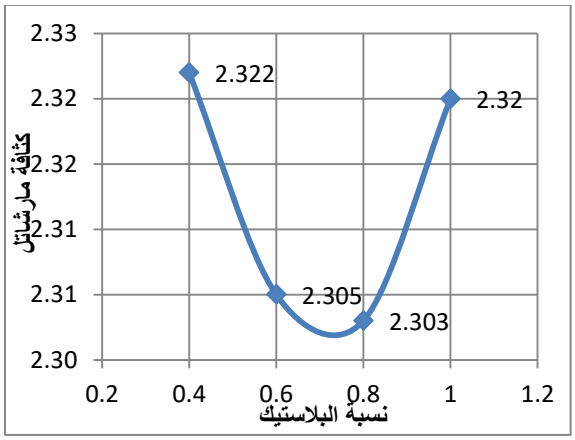
انتقلنا إلى حساب النسبة الأصولية للبيتومين من حساب المتوسط الحسابي لنسبة البيتومين التي تعطي أعلى قيمة للثبات وأعلى قيمة للكثافة وفراغات هوائية بحدود 4% وكانت هذه النسبة بحدود 5%.

المرحلة التالية كانت الخلطة B المكونة من حصويات طبيعية خشنة وناعمة مع إضافة البوليمر وهو البولي ايتيلين عالي الكثافة بالتدرج الخشن مع المحافظة على نفس التدرج الحبي للخلطة A ونسبة البيتومين الأصولية للوقوف على تأثير إضافة (HDPE) حيث استخدمنا التدرج الخشن ذو الأبعاد من (4.75- 0.425)MM وقد أدخلنا النسب التالية:

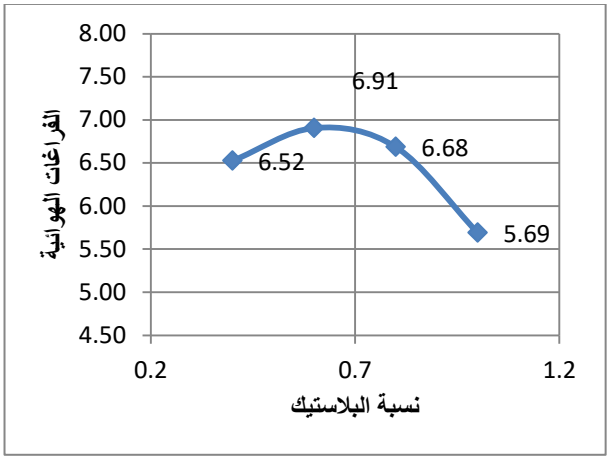
(0.4%-0.6%-0.8%-1%) من وزن الحصويات[1]-[2] وتم تجهيز ثلاث قوالب مارشال لكل نسبة من نسب البوليمر وتمت الإضافة بالطريقة الجافة فقد أضيفت قطع البوليمر إلى الحصويات المسخنة بدرجة حرارة بحدود 165 درجة مئوية واعتمدنا زمن خلط بحدود 90 ثانية وكانت نتائج مارشال كما في المخططات من الشكل(11) إلى الشكل(14)



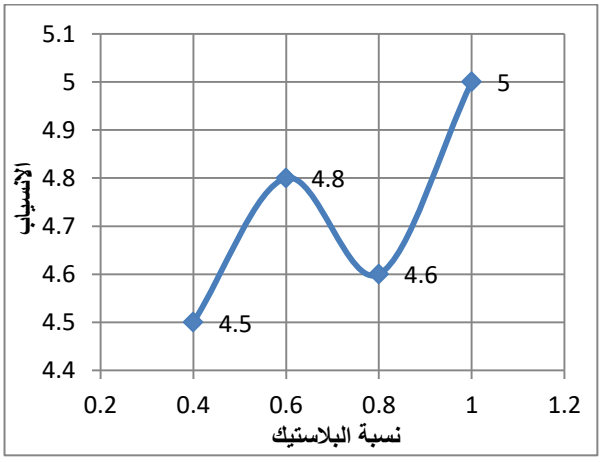
الشكل رقم (11)الثبات كغ الخلطةB



الشكل رقم (12) كثافة مارشال غ/سم^3 الخلطةB



الشكل رقم (13)فراغات هوائية %الخلطة B



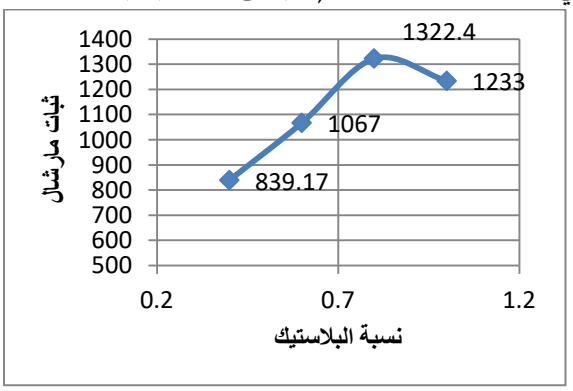
الشكل رقم (14)الانسياب مم الخلطةB

الشكل رقم (15) الخلط بالطريقة الجافةHDPE)

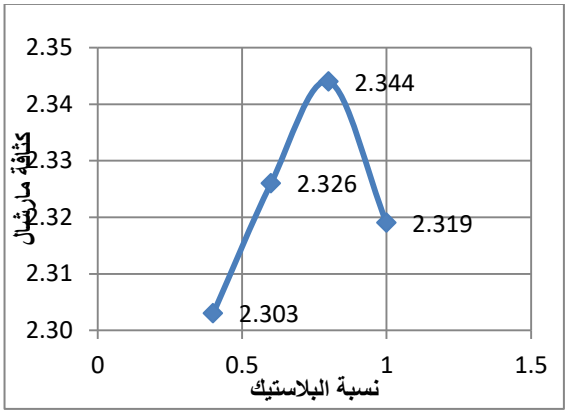
من خلال المخططات للخلطة B نلاحظ ارتفاع الكثافة فقد أعطت أعلى قيمة عند نسبة 0.4% ثم تناقصت عند النسبة

0.6% و0.8% لتعود وتزداد عند النسبة 1% تقريبا بشكل متقارب مع نسبة 0.4% وكذلك نفس السلوك بالنسبة لثبات مارشال حيث أعطى قيمة بحدود 1297 كغ عند نسبة 0.4% وتناقص عند نسبة 0.6% وازداد عند نسبة 0.8% ليعود ويزداد عند النسبة 1% من وزن الحصويات ويعطي قيمة ثبات عالية تصل لحدود 1720كغ وممكن تحليل هذه النتيجة حسب المشاهدة المخبرية أن(HDPE) ذو التدرج الأول و الاخشن سلك سلوك غير متجانس من حيث طريقة انتشاره في الخلطة بسبب حجم الحبيبات البلاستكية وطريقة توضعها وتغير شكلها أثناء ملامستها للحصويات الساخنة في الخلطة وخلطها لمدة 2 ثانية مع الحصويات ثم إضافة المادة الإسفلتية ومتابعة الخلط لمدة 90 ثانية وتفسير ذلك انه عند النسبتين (1% –0.4%) من البوليمر انزلقت الحبيبات بشكل اكبر وتوضعت بشكل أفضل مما انعكس ايجابيا على الثبات والكثافة و بشكل طفيف على الفراغات الهوائية وأدى إلى انخفاضها مقارنة مع النسب الأخرى من الإضافة ,0.6% و 0.8 %.

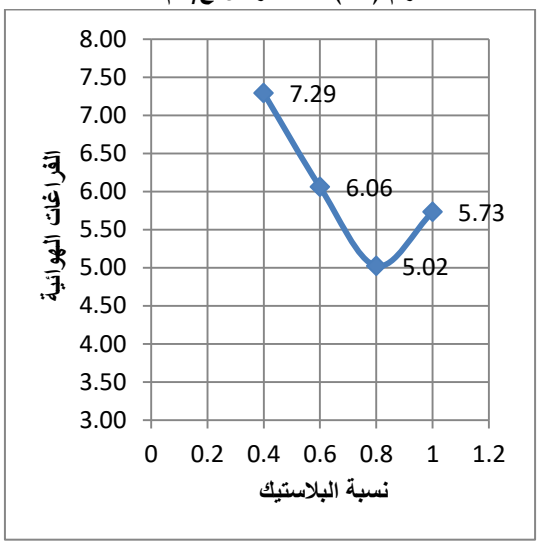
انتقلنا إلى الخلطة C المكونة من حصويات طبيعية خشنة وناعمة مع البولي ايتيلين عالي الكثافة بالتدرج الأول والناعم والخلط بالطريقة الجافة أيضا وتم تجهيز ثلاث قوالب مارشال لكل نسبة من نسب البوليمر الناعم (-0.4%-0.6%) (0.8%-1%) من وزن الحصويات وكانت نتائج مارشال كما في المخططات من الشكل(16) إلى الشكل(19)



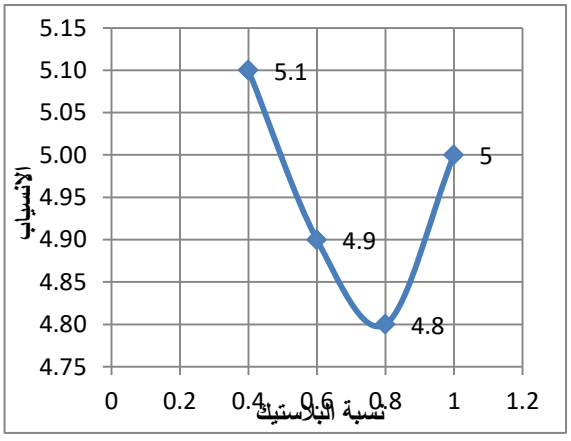
الشكل رقم (16)الثبات كغ الخلطةC



الشكل رقم (17)كثافة مارشال غ/سم^3 الخلطةC



الشكل رقم (18) فراغات هوائية %الخلطة C



الشكل رقم (19)الانسياب مم الخلطةC

الشكل رقم (20) قوالب مارشال للخلطة C

الشكل رقم (21)الخلط بالطريقة الجافة الخلطة C

نلاحظ من قراءة المخططات أن إضافة البولي ايتيلين عالي الكثافة ذو التدرج الثاني بقياس يتراوح من(MM1-0.07حيث تم استخدام النسب (0.4%-0.6%-0.8%1%) من وزن الحصويات انه بزيادة نسبة (HDPE) قد ازداد قيمة الثبات عند نسبة 0.8% من وزن الحصويات ووصل إلى1322.4 كغ وكذلك ازدادت كثافة مارشال وبلغت أعلى قيمة 2.344غ/سم^{3}عند النسبة0.8% من (HDPE) والانسياب فقد تراوحت قيمته تقريبا بين(5-4.8 MM) مع زيادة البوليمر والفراغات الهوائية تناقصت أيضا مع زيادة البوليمر وبالتالي ومن خلال المشاهدة المخبرية يمكن القول أن إضافة (HDPE) بالتدرج الناعم وخلطه مع الحصويات الساخنة لمدة 2 ثانية تقريبا قد غلف جزء من الحصويات ومن جهة أخرى ملأ جزء من الفراغات بين الحصويات بسبب اتحاد بعض الحبيبات مع بعضها نتيجة الحرارة بعد ذلك تم إضافة المادة الإسفلتية بنفس درجة حرارة بنفس درجة

حرارة الخلط مما انعكس إيجابا على مواصفات الخلطة كما هو واضح في الشكل (22).

الشكل رقم (22) شكل حبيبات (HDPE) عند إضافتها للحصويات الساخنة

5. النتائج والتوصيات:

- من خلال هذا البحث تم التوصل إلى نتيجة تفيد بأن إضافة (HDPE) إلى الخلطة الإسفلتية المكونة من (حصويات طبيعية خشنة وناعمة) قد أدى إلى زيادة الثبات مقارنة مع الخلطة المرجعية.
- في التدرج الأول للبوليمر(0.425 -MM4.75) كانت النسبة 0.4% والنسبة 1 % قد أعطت أفضل القيم بالنسبة لنتائج مارشال من حيث الكثافة والثبات فقد ازداد الثبات عند نسبة 1% بحدود 65% وعند نسبة 0.4%بحدود 25% وأما الكثافة فقد انخفضت بمقدار لايتجاوز 1.8% مقارنة مع الخلطة المرجعية انعكس ذلك سلبا على الفراغات الهوائية حيث ازدادت إلى حدود 5.6 % بالإضافة إلى أن نتائج الخلطة عند النسب المختلفة للبوليمر تشير إلى السلوك الغير متجانس للبوليمر والذي كان واضحا من خلال نتائج خلطة مارشال (الخلطةB)
- بالنسبة التدرج الثاني للبوليمر (MM1-0.07) فقد أعطى نتائج ايجابية بالنسبة لخواص الخلطة (الثبات والفراغات الهوائية وكذلك الكثافة) عند النسبة 0.8% حيث ازداد الثبات ووصل إلى 1322كغ أي بمقدار 27% وأما الكثافة والفراغات الهوائية فقد تأثرت بشكل طفيف مقارنة مع الخلطة المرجعية A حيث انخفضت الكثافة من 2.364إلى 2.344 غ/سم^3 أي بمقدار لايتجاوز 0.8% وانعكاس ذلك على الفراغات الهوائية كان بالحدود الدنيا بحيث كانت مطابقة للمواصفات الفنية المعتمدة في البحث وهذا يعتبر مؤشر جيد مما يدل على أن الخلطة C تعتبر أفضل من الخلطة B من حيث السلوك والانتشار ضمن الخلطة وبالتالي التجانس في الأداء.
- زيادة الثبات عند إضافة البوليمر يعتبر مؤشر هام ويدل على زيادة تحمل المجبول الإسفلتي للحمولات المرورية والأحوال الجوية وبالتالي ينعكس إيجابا على أداء طبقة الرصف المرن. مما سبق نستنتج أن إضافة البوليمر يعطي نتائج أفضل كلما زادت درجة نعومته على كافة خواص الخلطة الإسفلتية.
- من خلال البحث يمكن الاستنتاج بأن تدوير النفايات البلاستكية سينعكس ايجابيا على الناحية البيئية والاقتصادية من جهة والتخلص منها بشكل صحي ومفيد وبالتالي استثمار المساحات التي تشغلها هذه النفايات.

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

References:

1- Muhammad Kashif Anwar " Recycling and Utilization of Polymers for Road Construction Projects: An Application of the Circular Economy Concept" Riyadh 11442, Saudi Arabia- 2021.

2- Wagner, S.; Schlummer, M. Legacy additives in a circular economy of plastics: Current dilemma, policy analysis, and emerging countermeasures. Resour. Conserv. Recycl. 2020, 158, 104800.

3- TAHER BAGHAEE MOGHADDAM*, MOHAMED REHAN KARIM, MOHAMED REHAN KARIM,MEHRTASH SOLTANI "UTILIZATION OF WASTE PLASTIC BOTTLE IN ASPHALT MIXTURE" Centre for Transportation Research, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia-2013.

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

5- ASTM D4123, Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulu (1995).

6- N Kanga ,Johnson, "Characterization of Bitumen Plastic Blends for Flexible Pavement Application " American university of Nigeria 23-25 January 2017.

7- Brajesh Mishra" Use of Plastic Waste in Bituminous Mixes of Flexible Pavements by Wet and Dry Methods: A Comparative Study" Lucknow, India -2016.

8- 6., Ravi Shankar Mishra " A Study on Use of Waste Plastic Materials in Flexible Pavements" Vol. 4, Issue 8, August India 2015.

9- إبراهيم – حاج – حسام ""تأثير إعادة استخدام المخلفات البلاستكية على تحسين خواص الخلطات الإسفلتية جامعة دمشق – قسم هندسة النقل ومواد البناء.

10- الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور 2002م.