تحسين الخلطات الإسفلتية الساخنة باستخدام ألياف البولي بروبلين

د. بسام سلطان [*]

مجد مرشد [**]

(تاريخ الإيداع 10 / 5 / 2021. قُبِل للنشر في 26/ 6 / 2021)

□ ملخّص □

تعاني طبقات التغطية الإسفلتية من مشاكل وعيوب مثل الشقوق التمساحية والشقوق الانعكاسية ومشاكل التخدد، وبالتالي لابد من معالجة هذه المشاكل شائعة الانتشار. تعتبر إضافة الألياف بأنواعها أحد الطرق المستخدمة لتحسين خواص الخلائط الإسفلتية من ناحية تحسين صلابة المواد وزيادة مقاومتها للتعب وتحسين الخواص الميكانيكية. يهدف هذا البحث إلى دراسة إمكانية تحسين الخلطات الإسفلتية من خلال إضافة ألياف البولي بروبلين (PPF) إلى الخلطات الإسفلتية، ودراسة تأثير إضافتها على أداء الخلائط الاسفلتية عن طريق دراسة مخبرية تتضمن تصميم خلطة إسفلتية مرجعية وفق طريقة مارشال ومن ثم إضافة نسب تشمل (0.2% – 0.3 – 0.5) وزناً من الخلطة الإسفلتية بطول ثابت من ألياف البولي بروبلين ودراسة الخواص الحجمية للخلطات المصممة وكل من ثبات وانسياب مارشال عند كل نسبة إضافة والخواص المقابلة لها. بينت النتائج أن نسبة الإسفلت المثالية للخلطة المرجعية وفق طريقة مارشال (5%)، كما أن نسبة الإضافة المثالية من الألياف هي (0.3%) وتعتبر نسبة مثالية لإضافة ألياف البولي بروبلين بطول (5mm) لاستخدامها في تعديل خواص الخلطة الإسفلتية حيث تلبي المتطلبات الخاصة بالخلطات الاسفلتية مع تحقيق زيادة في الثبات ونقصان في الانسياب.

الكلمات المفتاحية: الخلائط الإسفلتية – طريقة مارشال – الثبات – الانسياب – ألياف البولي بروبلين

[*] **أستاذ مساعد – قسم هندسة المواصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

[**] **طالب ماجستير – قسم هندسة المواصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

Improve Hot Mixed Asphalt Using Polypropylene Fiber

Dr. Bassam Sultan*
Majd Morched**

(Received 10 / 5 / 2021. Accepted 26 / 6 / 2021)

□ ABSTRACT □

Asphalt layers suffer from problems and defects such as fatigue cracks, reflexive cracks and rutting problems. Therefore, these common problems must be addressed. The addition of fibers is considered one of the methods used to improve the properties of asphalt mixtures in terms of improving the hardness of materials, increasing their resistance to fatigue, and improving mechanical properties. This research aims at the possibility of improving asphalt mixtures by adding polypropylene fibers (PPF) to asphalt mixtures, and studying the effect of adding them on the performance of asphalt mixtures through laboratory study, including designing a conventional asphalt mixture according to the Marshall method and then adding ratios that include (0.2 - 0.3) - 0.5%) by weight of the asphalt mixture with a fixed length of polypropylene fibers and studying the volumetric properties of the designed mixtures and both the stability and flow of Marshall at each addition percentage and the corresponding properties. Results showed that the optimum asphalt content for the reference mixture according to the Marshall method is (5.0%), and that the optimum percentage of addition of fibers is (0.3%). It is considered an optimum ratio to add polypropylene fibers with a length of (5 mm) to be used in modifying the properties of the asphalt mixture as it meets the requirements of asphalt mixtures while achieving an increase in stability and a decrease in flow.

Keywords: Asphalt mixture – Marshall method- stability - Flow - Polypropylene fibers

* **Associate Professor, Department of Traffic and Transportation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Master Student, Department of Traffic and Transportation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

مع تطور حركة المواصلات، ازدادت الحاجة إلى بناء طبقات رصف متينة وثابتة ضد التشوهات وخصوصاً في درجات الحرارة العالية، لذلك توجه المختصون للبحث عن طرق جديدة لتحسين خواص الرابط و الخلائط الإسفلتية، بحيث يتمتع المزيج النهائي بخواص مثالية مطلوبة لمقاومة التشوهات الدائمة وتحمل الإجهادات والعوامل المؤدية للتشقق والانهيار، كما يمتاز بديمومة خلال مدة الاستثمار والخدمة [2-3].

توجد إضافات عديدة يمكن خلطها مع الاسفلت أو الخلطات الإسفلتية لتحسين الخواص في المنتج النهائي بالإضافة على المحافظة على الخواص الأساسية المطلوبة في الخلطة الإسفلتية. تعتبر إضافات الخلائط الإسفلتية (ومنها الألياف) مجال واسع ومعقد يضم العديد من المواد بفئات مختلفة وبكل فئة هناك مجموعة من المعدلات المتنوعة.

من أجل تحسين أداء الرصف الأسفلتي، تم دمج العديد من أنواع الألياف في الخلطة الإسفلتية كمواد مضافة، وتم إدخال العديد من الألياف ومواد الألياف ويتم إدخالها باستمرار في السوق كتطبيقات جديدة مثل ألياف البوليستر، وألياف الأسبستوس، والألياف الزجاجية، وألياف البولي بروبلين، وألياف الكربون، وألياف السليلوز، وغيرها[5-6-7]

تتمتع بعض الألياف بمقاومة شد عالية بالنسبة للخلائط الإسفلتية، وبالتالي وجد أن الألياف لديها القدرة على تحسين تماسك و قوة الشد للخلائط الإسفلتية. قد يزيد تعزيز قوة الشد العالية هذا من كمية طاقة الإجهاد التي يمكن امتصاصها أثناء عملية التعب و التكسر للمزيج.

أظهرت نتائج الدراسات المرجعية أن إضافة الألياف إلى الإسفلت زاد من صلابة الرابط البيتومينى مما أدى إلى خلائط أكثر صلابة مع تقليل نزف (drain down) المادة الرابطة. أظهرت الخلائط المعدلة بالألياف خصائص مارشال محسّنة عن طريق زيادة قيم الثبات وانخفاض محتوى الفراغ الهوائي الناتج مقارنةً بالخلطة المرجعية .

عرف معهد النسيج الألياف بأنها وحدات من المادة تتميز بالمرونة والنعومة ونسبة عالية من الطول إلى السماكة. يمكن أن تكون الألياف طبيعية، نباتية وحيوانية في الأصل ويمكن أن تكون صناعية. على أشكال طويلة ودقيقة من المادة يبلغ قطرها عموما 10 ميكرون وتتراوح أطوالها من بضعة ملليمترات إلى أطوال مستمرة[8]

تعتبر كل من ألياف البولي بروبلين وألياف البوليستر والألياف الزجاجية من أهم أنواع الألياف المستخدمة في تحسين مواصفات الخلطة الإسفلتية حيث تعمل هذه الألياف على:

- زيادة صلابة الخلطة الإسفلتية وبالتالي تحسين مقاومتها للتخدد.
- التقليل من ظهور الشقوق الإنعكاسية وذلك بتحسين مقاومة الخلطة على الشد.
- ديمومة أكبر للخلطة الإسفلتية عند تعديلها بالألياف.

درس **(Harne, et al 2020)** تأثير ألياف البولي بروبلين على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسفلت والخلائط الإسفلتية بهدف تحسين نوعية وخصائص الاسفلت و الخلائط الإسفلتية ومعالجة المشاكل التي تواجه طبقة الرصف الاسفلتي مثل الشقوق والتخدد وغيرها وبالتالي تخفيف في كلف الصيانة[1].

تناولت هذه الدراسة استخدام ألياف البولي بروبلين كمادة مضافة لتعديل الاسفلت و الخلطة الإسفلتية. تم إجراء اختبارات مارشال لتحديد محتوى الرابط الأمثل والتي قدرت (4.5%). ومن ثم إضافة نسب من ألياف البولي بروبلين (3% ، 5% ، 7% بالوزن من الإسفلت) بطول ألياف واحد (20mm)، تم الحصول على محتوى الألياف الأمثل عند نسبة (5%) . تشير النتائج إلى أن إضافة ألياف PP تزيد من الثبات و تقلل من قيمة الانسياب

و درس (**Rashid, et al 2020**) تأثير استخدام ألياف البولي بروبلين على مقاومة التشوه للمجبول الإسفلتي. الهدف الأساسي من هذا البحث هو دراسة تأثير إضافة الألياف في الطريقة الجافة على أداء الخلطة الإسفلتية الساخنة. تمت إضافة 0.5% و 1.0% بالوزن ألياف بولي بروبيلين إلى الخلطة الاسفلتية[4].

بينت النتائج أن التعديل بألياف البولي بروبلين قد حسن الخصائص المختلفة للخلطة الساخنة HMA. أظهرت النتائج أن المحتوى الأمثل للمادة الرابطة يزيد بنسبة ٪10–11 ويزيد ثبات الخلطة الإسفلتية المعدلة بألياف البولي بروبلين بنسبة تصل إلى 14% ولكن قيم الانسياب تنخفض بنسب 7%–8%. أدت إضافة ألياف البولي بروبلين إلى تحسن كبير في مقاومة تشوه الأسفلت. أعطى الخليط المعدل أفضل أداء عند التعديل بنسبة 0.5% ألياف بولي بروبيلين

درس (**Bayat, et al 2016**) تأثير طول ألياف البولي بروبلين على ثبات وانسياب الخلائط الإسفلتية المقواة بالألياف [2]. تم اختيار ثلاثة أطوال من ألياف البولي بروبيلين (6 و 12 و 19 مم) واستخدمت بخمس نسب مختلفة (0.1% ، 0.2% ، 0.3% ، 0.4% . 0.5% من وزن الخلطة الإسفلتية) في خليط الخرسانة الإسفلتية. تم تحليل عينات الخلائط الأسفلتية باستخدام اختبار مارشال. أدت إضافة ألياف البولي بروبلين إلى زيادة ثبات مارشال (38%) ، وانخفاض الانسياب (39%). تظهر هذه النتائج أن ألياف البولي بروبلين يمكن أن يكون مفيدًا في زيادة عمر طبقة الرصف الأسفلتي، حددت الدراسة النسبة الثالية لإضافة الألياف عند(0.5%) من وزن الخلطة الإسفلتية بطول (19mm). [2]

و درس (**Mishra, et al 2016**) مساهمة ألياف البولي بروبلين في تعديل الخلائط الإسفلتية، بينت النتائج أن إضافة ألياف PP تؤدي إلى زيادة في ثبات مارشال بالإضافة إلى زيادة في نسبة الفراغات الهوائية بالمقابل انخفاض في خاصية الانسياب للخلطات المعدلة بشكل واضح. نتيجة لذلك تظهر البيانات أن عينات الخرسانة الإسفلتية المعدلة بألياف البولي بروبلين يمكن اعتبارها خلطات إسفلتية عالية الأداء. إن زيادة نسبة الفراغات الهوائية في الخلطات المعدلة، تكون مفيدة للمناطق الحارة حيث يكون النزف والتدفق من العيوب الحرجة. خلصت الدراسة إلى أن إضافة نسبة 5.0% من ألياف البولي بروبلين بطول 12 مم هي النسبة المثالية المستخدمة في الدراسة[3].

كما درس (**Remadevi, et al 2014**) تسليح الخلائط الإسفلتية بالألياف، من خلال تصميم خلطة إسفلتية مرجعية وتحديد نسبة الإسفلت المثالية (4.83%) للخلطة المرجعية، ومن ثم إضافة الألياف بنسب إضافة (4،6،8،10%) وزناً من الإسفلت) وبطول ثابت (10mm) ودراسة الخواص الحجمية للخلائط المعدلة وقيم الثبات والانسياب والقيام بتحديد نسبة للألياف المثالية عند (5.33%) والتي تعطي أكبر قيمة للثبات، وأعلى كثافة وتكون عندها نسبة الفراغات الهوائية (4%)[6].

أهمية البحث وأهدافه:

يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات والنقل (مواد طبقات الرصف الطرقي) ويختص في مجال دراسة طرق تصميم الخلائط الإسفلتية. يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على استخدام الألياف في تحسين خواص الخلائط الإسفلتية والتحقق من إمكانية استخدام ألياف البولي بروبلين (PPF) لتحسين مواصفات وخواص الخلطة الاسفلتية الساخنة المستخدمة في طبقات التغطية الطرقية

تبرز أهمية البحث من خلال التوصل لتصميم خلائط إسفلتية معدلة بألياف البولي بروبلين (PPF) ذات أداءٍ عالٍ وديمومة كبيرة تساعد في حل بعض المشاكل المتعلقة بالخصائص الفنية والاقتصادية للخلطات الإسفلتية الحارة وتحقيق

وفورات في المواد والمال والطاقة في مجال بناء الطرق وصيانتها عبر استثمار أحد أشهر أنواع البوليميرات وهو بوليمير البولي بروبلين بشكل ألياف

طرائق البحث و مواده:

تم إنجاز البحث اعتماداً على دراسة مخبرية تجريبية من خلال تصميم خلائط إسفلتية ساخنة (مرجعية ومعدلة) باستخدام طريقة مارشال، والمواد المستخدمة في تصميم الخلائط الاسفلتية هي:

1- **الإسفلت:** تم استخدام نوع واحد من الإسفلت في تصميم عينات البحث ، الإسفلت المستخدم في الدراسة هو إسفلت ذو صنف (60-70) وتم الحصول عليه من مصفاة بانياس و اختباره وفق المواصفات السورية. ويبين الجدول (1) النتائج التوصيفية للإسفلت المستخدم .

نجد من نتائج الجدول (1) أن الاسفلت المستخدم في الدراسة هو من الصنف (60-70) وهو محقق للمتطلبات الفنية المنصوص عليها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002.

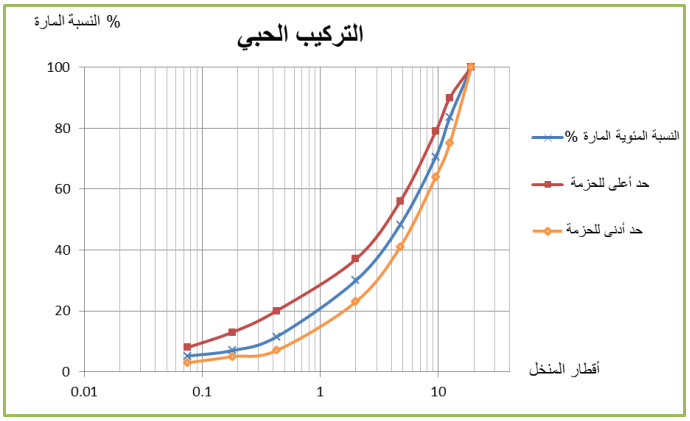
2- **الحصويات:** استخدم في البحث حصويات كلسية قاسية مكسرة وقطر أكبر حبة لا يزيد عن 19mm، تم الحصول عليها من أحد الكسارات الخاصة، ونتائج توصيفها مبينة في الجدول (2) والتركيب الحبي مبين في الشكل (1)

الجدول (1) نتائج اختبار الاسفلت

نوع الاختبار	نتائج الاختبار	المتطلبات الفنية وفق ASTM D946
الغرز (25 °C)100g,5sec , (0.1mm)	65.0	60-70
نقطة الوميض والاشتعال (°c)	درجة الوميض 251 °C	min (232 C°)
	درجة الاشتعال 274 °C	
استطالة الاسفلت (25 °C) 5cm/min , (cm)	+100	min 100.0
نقطة التميع (Softening Point Test) (°c)	49.7	52-48
النقص في الوزن (LOSS On Heating) (%)	0.53	Max 1 %

الجدول (2) نتائج اختبارات الحصويات

الاختبار		نتائج الاختبار	المواصفة المواصفات السورية
فاقد الاهتراء وفق لوس انجلوس (%) Los Angeles abrasion		26	ASTM C 131
المكافئ الرملي (%) Sand Equivalent		74	ASTM D 2419
الحصويات الخشنة	الامتصاص (%)	1.0	ASTM C127
	الوزن النوعي الظاهري G_{sa}	2.688	
	الوزن النوعي الحجمي G_{sb}	2.618	
الحصويات الناعمة	الامتصاص (%)	**1.67**	ASTM C128
	الوزن النوعي الظاهري G_{sa}	**2.692**	
	الوزن النوعي الحجمي G_{sb}	**2.575**	



الشكل (1) منحني التركيب الحبي لعينة الحصويات المستخدمة في الدراسة

3- **ألياف البولي بروبلين:** نبين في الجدول (3) الخواص الفيزيائية والتكنولوجية لألياف البولي بروبلين المستخدمة في الدراسة، ويبين الشكل (2) نموذج لعينات ألياف البولي بروبلين المستخدمة في الدراسة

الجدول (3) توصيف ألياف البولي بروبلين

الخاصية	النتيجة
الوزن النوعي	0.90 gr/cm^3
القطر	20 µm
مقاومة الشد	400 Mpa
نقطة الانصهار	170 °c
نقطة التمييع	140 °c

الشكل (2) نموذج ألياف البولي بروبلين المستخدمة في الدراسة

1- تصميم الخلطة الإسفلتية وفق طريقة مارشال : يتم تحضير الحصويات المحققة للتدرج الحبي المعتمد والموافقة للحزمة النظامية المعتمدة، ومن ثم تجفيفها في فرن بدرجة حرارة (125-200 درجة مئوية) والمحافظة على درجة حرارتها حتى البدء بعملية الخلط، ومن ثم يتم تسخين الرابط الإسفلتي إلى درجة الحرارة اللازمة لتغليف كامل الحصويات بالإسفلت تم إضافة الرابط الإسفلتي المسخن بالنسب التالية وزناً (4.0%- 4.5- 5.0- 5.5- 6.0)، وإعداد ثلاث قوالب من قوالب مارشال لكل نسبة وفق المتطلبات الفنية لطريقة مارشال بحيث يتم تشكيل 15 قالب بـ (75) طرقة على كل وجه، وبعد نزعها يتم غمر عينات الخلطة الإسفلتية المرصوصة بحمام مائي لمدة (30min) و عند درجة حرارة (60C°)، ثم تم تحديد كثافتها و كلاً من الثبات و الانسياب و كافة عناصر مارشال، ثم تم رسم منحنيات مارشال وتم تحديد نسبة الإسفلت على كل منحن والمحققة للكثافة العظمى والثبات الاعظمي ومتوسط المتطلبات الفنية للانسياب والفراغات الهوائية والفراغات المليئة بالإسفلت، وتم تحديد نسبة الاسفلت المثالية المحققة للمتطلبات الفنية لطبقة المجبول الاسفلتي، تم إعداد جميع عينات الخلطات الاسفلتية المدروسة وفق طريقة مارشال للتصميم بحسب المواصفة (ASTM-D-1559).

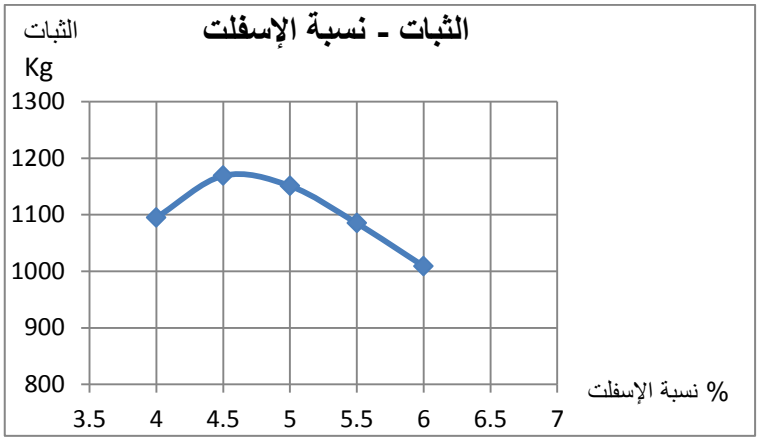
2- طريقة إضافة ألياف البولي بروبلين وإعداد الخلطات المعدلة : لدراسة تأثير إضافة ألياف البولي بروبلين (PPF) على خواص الخلطة الإسفلتية تم إعداد خلائط إسفلتية بنسب إضافة مختلفة من الألياف تشمل (0.2% - 0.3% - 0.5%) وزناً من الخلطة الإسفلتية (ثلاثة عينات لكل نسبة إضافة) وذلك بطول ثابت للألياف (5mm) تم اختيار الطريقة الجافة في الإضافة والخلط في هذه الدراسة، حيث يتم خلط ألياف البولي بروبلين وفق النسب المحددة مع الحصويات لفترة زمنية مناسبة (حوالي 30 ثانية)، ثم يتم خلط المكونات مع كمية الإسفلت المحددة وفق الخلطة التصميمية. تم تثبيت طول ألياف البولي بروبلين المستخدمة في الإضافة بطول (5 mm) وبنسب إضافة متغيرة لتحديد نسبة الإضافة المثالية من الألياف وفقاً لخواص الخلائط المصممة.

النتائج والمناقشة:

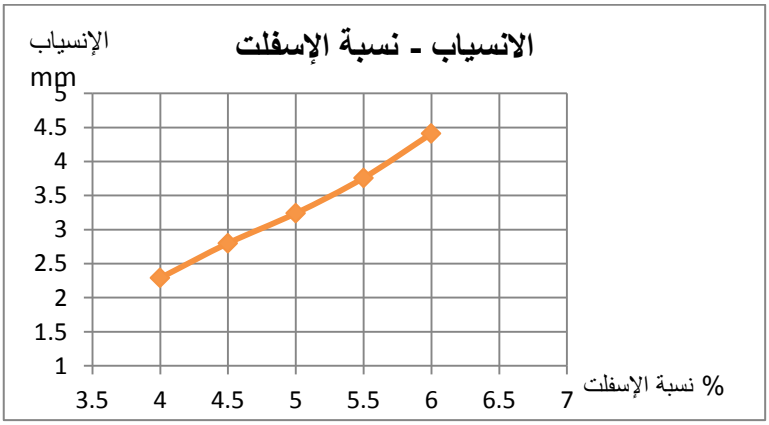
1- نتائج تصميم الخلطة المرجعية :

بعد القيام بالعمل المخبري التجريبي وفق ما هو محدد سابقاً، وبحسب نتائج التصميم يتم رسم منحنيات مارشال وتحديد نسبة الإسفلت على كل منحني والمحققة للكثافة العظمى والثبات الأعظمي ومتوسط المتطلبات الفنية للانسياب والفراغات الهوائية والفراغات المليئة بالإسفلت لتحديد نسبة الإسفلت المثالية المحققة للمتطلبات الفنية لخلطة المجبول الإسفلتي.

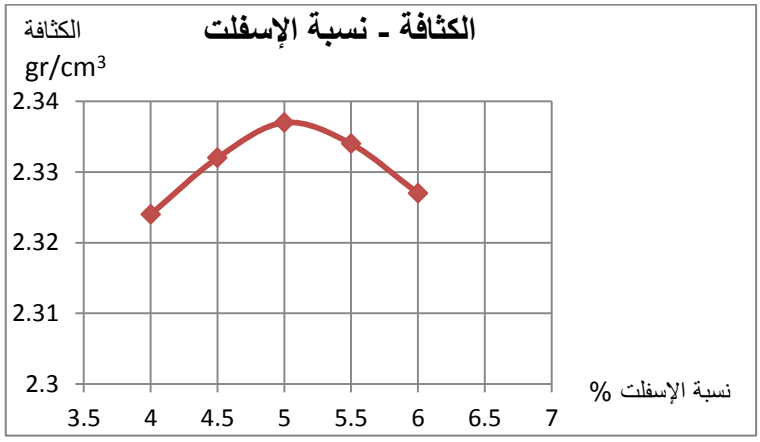
من نتائج منحنيات مارشال (الثبات، الانسياب، الكثافة، الفراغات الهوائية والمليئة) تم تحديد نسبة الاسفلت المثالية ونبين في الجدول (4) خصائص الخلطة الاسفلتية التصميمة، باعتماد نسبة إسفلت أصولية (0.5%) كمتوسط لنسبة الإسفلت التي تحقق أكبر قيمة للثبات ونسبة إسفلت محققة لكثافة أعظمية ونسبة فراغات هوائية (4%).



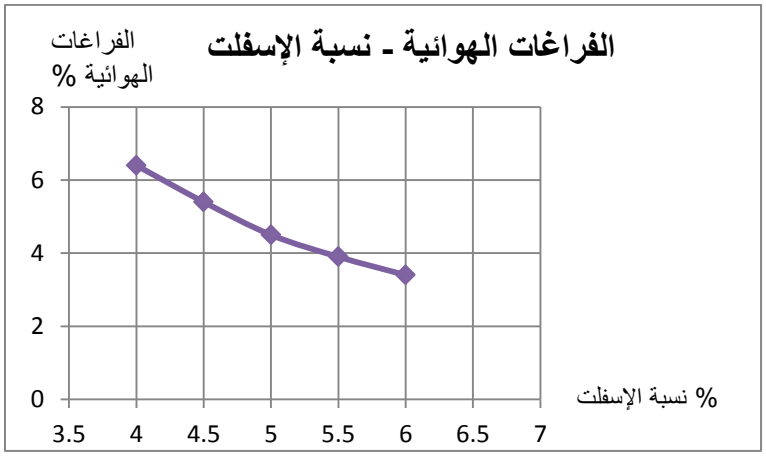
الشكل (3) منحني الثبات – نسبة الإسفلت للخلطة الإسفلتية



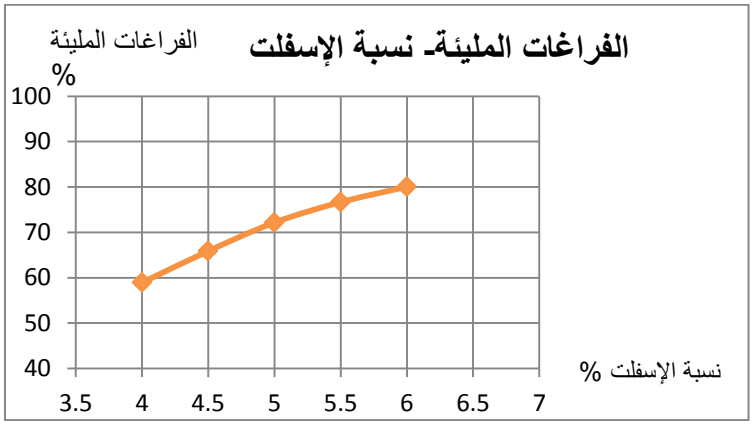
الشكل (4) منحني الانسياب – نسبة الإسفلت للخلطة الإسفلتية



الشكل (5) منحني كثافة مارشال – نسبة الإسفلت للخلطة الإسفلتية



الشكل (6) منحني الفراغات الهوائية – نسبة الإسفلت للخلطة الإسفلتية



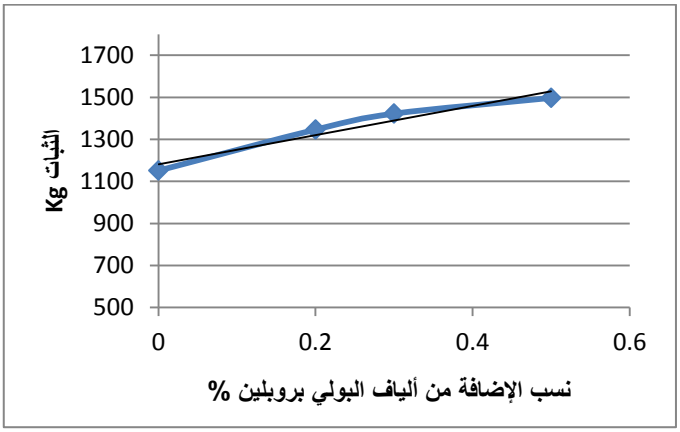
الشكل (7) منحني الفراغات المليئة – نسبة الإسفلت للخلطة الإسفلتية

الجدول(4) خصائص الخلطة الاسفلتية التصميمة

الخاصة	القيمة	الحدود المسموحة وفق المواصفات السورية
نسبة الاسفلت المثالية %	5.0	–
الثبات (Kg)	1151	1100<
الانسياب (mm)	3.24	2 – 4
الكثافة (gr/cm3)	2.337	–
نسبة الفراغات الهوائية (%)	4.5	3 – 5
نسبة الفراغات المليئة (%)	72.17	85 – 65

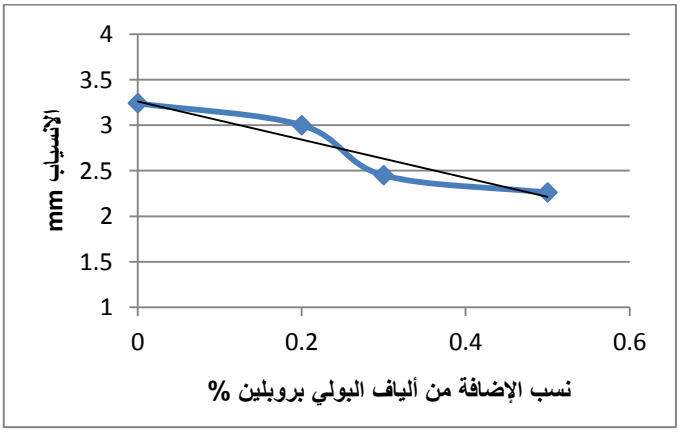
2- تأثير إضافة نسب مختلفة من ألياف البولي بروبلين:

بينت نتائج الدراسة أن ثبات الخلطات المعدلة بالألياف أعلى من ثبات الخلطة المرجعية (1151kg)، يلاحظ من الشكل (8) أن قيم ثبات مارشال يزداد مع زيادة نسبة الإضافة من ألياف البولي بروبلين حتى الوصول إلى قيمة أعظمية عند نسبة إضافة (0.5%) حيث بلغت قيمة الثبات (1497kg)، حيث ازدادت قيمة الثبات بنسبة (16.9%) عن الخلطة المرجعية عند التعديل بنسبة إضافة من ألياف البولي بروبلين(0.2%) و أثرت إضافة ألياف البولي بروبلين بشكل واضح على قيمة الثبات، وازدادت قيمة الثبات بنسبة (23.5%) عن الخلطة المرجعية عند التعديل بنسبة (0.3%) ، وعند التعديل بنسبة إضافة (0.5%) ازدادت قيمة الثبات بنسبة (30.1%)، ويعزى سبب الزيادة في قيم الثبات إلى دور ألياف البولي بروبلين في تعزيز التركيب الحبي للخلطة الإسفلتية و زيادة نقاط التماس بين الحبات الحصوية



الشكل (8) العلاقة بين نسب إضافة الألياف وثبات مارشال

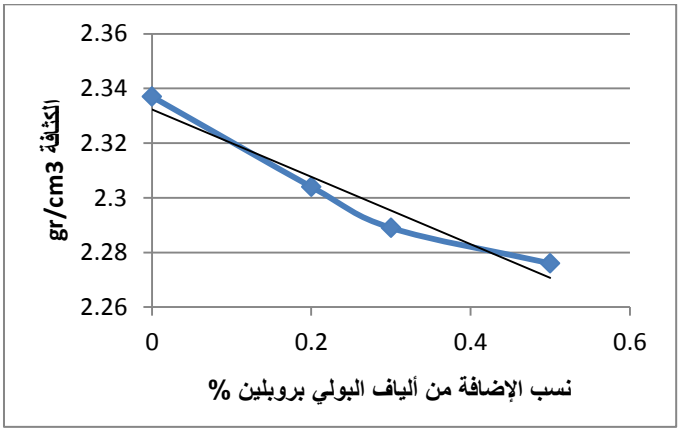
تعطي خاصية الانسياب للخلطة الاسفلتية دلالة على تشوه العينة الاسفلتية الذي يحدث في اختبار مارشال ويمثل التشوه الشاقولي لحظة الكسر. نلاحظ من الشكل (9) أن انسياب الخلطات الاسفلتية ينخفض مع زيادة نسبة الإضافة من الألياف. تبين نتائج الاختبار أن الانسياب انخفض بنسبة (7.4%) عند إضافة الألياف بنسبة (0.2%)، ومع زيادة النسبة المضافة انخفضت قيمة الانسياب بنسبة (24.4%) عن الخلطة المرجعية عند التعديل بنسبة (0.3%)، وعند التعديل بنسبة (0.5%) انخفضت قيمة الانسياب بنسبة (30.2%) و بقيت جميع قيم الانسياب ضمن الحدود المسموحة (2-4 mm) المعمول بها.



الشكل (9) العلاقة بين نسب إضافة الألياف و انسياب مارشال

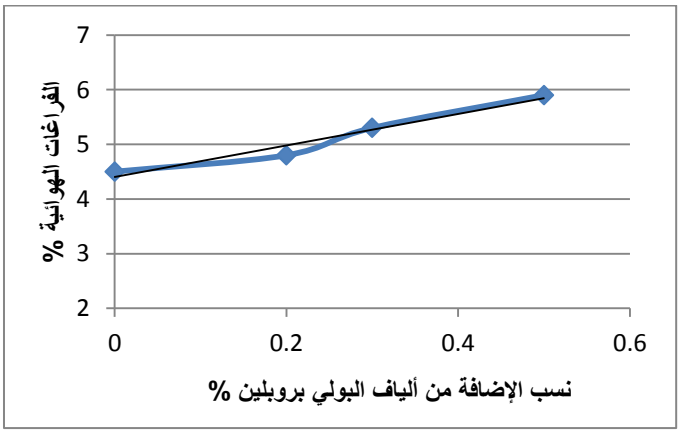
يبين الشكل (10) تأثير إضافة الألياف على نتائج الكثافات للخلائط الاسفلتية عند محتوى الاسفلت المثالي ويلاحظ انخفاض قيم الكثافة بزيادة نسبة الاضافة من الألياف مقارنة مع كثافة مارشال للخلطة المرجعية غير المعدلة.

إن الحد الأقصى للكثافة (gr/cm^3 2.304) بمحتوى ألياف البولي بروبلين (0.1٪) والحد الأدنى للكثافة ($2.276gr/cm^3$) بمحتوى ألياف البولي بروبلين (0.5٪). يُعزى هذا الانخفاض في الكثافة لانخفاض كثافة الألياف المضافة، وهو لا يؤثر على أداء الخلطة الإسفلتية المعدلة بألياف البولي بروبلين حيث لا تتجوز قيمة النقصان في الكثافة (2.6%) عن العينة المرجعية وذلك عند نسبة إضافة ألياف (0.5%).



الشكل (10) العلاقة بين نسب إضافة الألياف و الكثافة

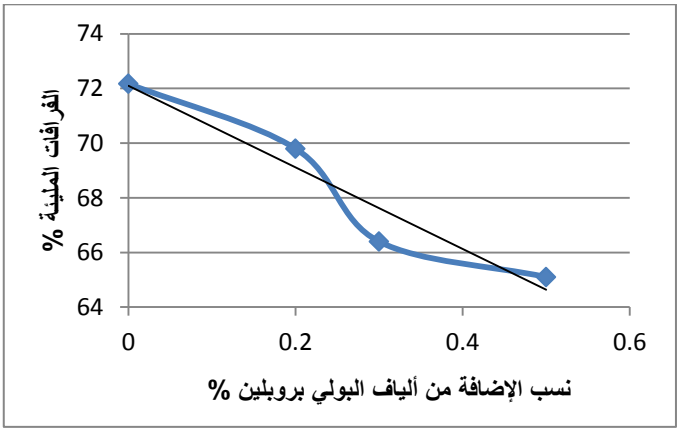
بشكل عام، تكون نسبة الفراغات الهوائية (Va) للخلطات الإسفلت المعدلة أعلى من الخلطة الإسفلتية المرجعية (4.1٪) وهو ما يتوافق مع نتائج الكثافات. حيث تزداد نسبة الفراغات الهوائية في الخلطات المعدلة مع زيادة محتوى الألياف المضافة حتى تصل إلى أعلى نسبة (5.9%) عند إضافة نسبة (0.5%) من محتوى الألياف. تحتوي خلطات الإسفلت المعدلة بشكل عام على محتوى فراغات هوائية ضمن نطاق المواصفات. يبين الشكل (11) نتائج الفراغات الهوائية عند نسب مختلفة من الألياف المضافة.



الشكل (11) العلاقة بين نسب إضافة الألياف و الفراغات الهوائية

ومع زيادة نسب الفراغات الهوائية هناك انخفاض في نسبة الفراغات المليئة (VFA) للخلطات الإسفلت المعدلة مع زيادة نسبة الإضافة من الألياف كما هو مبين في الشكل (12)، حيث انخفضت الفراغات المليئة بنسبة (3.3%) عند

إضافة الألياف بنسبة (0.2%)، ومع زيادة النسبة المضافة انخفضت الفراغات المليئة بنسبة (8%) عن الخلطة المرجعية عند التعديل بنسبة (0.3%)، وعند التعديل بنسبة (0.5%) بلغت نسبة الانخفاض (9.8%). يعود السبب في ذلك إلى أن نسبة الفراغات المليئة تتبع للكثافات ونسب الفراغات الأُخرى ومع ازدياد نسب الفراغات الهوائية والحصوية سيقابله نقصان في نسب الفراغات المليئة حيث أثرت الألياف المضافة على الكمية اللازمة لتعبئة الفراغات. تحتوي خلطات الإسفلت المعدلة بشكل عام على محتوى فراغات مليئة ضمن نطاق المواصفات.



الشكل (12) العلاقة بين نسب إضافة الألياف والفراغات المليئة

الاستنتاجات والتوصيات:

1- بينت نتائج تصميم الخلطة الإسفلتية المرجعية بدون إضافات أن نسبة البيتومين المثالية (5%) والتي عندها تكون قيمة الثبات والكثافة أعظمية ونسبة الفراغات الهوائية ضمن الحدود المسموحة (3%-5).

2- بينت نتائج تصميم الخلائط الإسفلتية المعدلة ازدياد قيم ثبات مارشال بزيادة نسبة الإضافة من الألياف وانخفاض قيم الانسياب أي أن لإضافة الألياف تأثير على مقاومة التشوه للخلطات الإسفلتية.

3- تتناقص قيم الكثافة للخلطات الإسفلتية المعدلة مقارنة مع الخلطة المرجعية مع زيادة نسبة الإضافة من الألياف، ويرافق انخفاض الكثافة انخفاض في نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت وزيادة في نسبة الفراغات الهوائية.

4- إن نسبة الإضافة المثالية من الألياف هي (0.3 %) وتعتبر نسبة مثالية لإضافة ألياف البولي بروبلين بطول (5mm) لاستخدامها في تعديل خواص الخلطة الإسفلتية حيث تلبي المتطلبات الخاصة بالخلطات الإسفلتية مع تحقيق زيادة في الثبات ونقصان في الانسياب.

5- إن إضافة ألياف البولي بروبلين بالنسبة المثالية تحسن مقاومة الخلطة الإسفلتية للعديد من التشوهات والتشققات التي تتعرض لها طبقة المجبول الإسفلتي في مختلف درجات الحرارة من خلال تحسين الخواص الحجمية والميكانيكية للخلطة الإسفلتية ومن خلال تحسين مقاومتها لإجهادات الشد.

6- نوصي بالبحث أكثر في خصائص الخلائط الإسفلتية المعدلة بألياف البولي بروبلين وإجراء اختبارات أخرى مثل التخدد والزحف ودراسة شيخوخة الخلطات الإسفلتية المعدلة بالألياف.

7- نوصي بتنفيذ مقاطع حقلية تجريبية من الخلائط الإسفلتية المعدلة ودراسة تأثير الرص الحقلي على ثبات وديمومة الطبقة الاسفلتية وتخددها.

References:

1- Varsha Harne, Anuj Kumar Sharma, Kameshwar Rao Tallapragadam Surbhi Mewara. (2020) " **Effect of Polypropylene Fibre on Engineering Properties of Bitumen and Bituminous Mix** " Helix (2020) 10 (1): 116-120. E-ISSN: 2319-5592.DOI: 10.29042/2020-10-1-116-120

2- Ramin Bayat , Siamak Talatahari.(2016) " **Influence of Polypropylene Length on Stability and Flow of Fiber-reinforced Asphalt Mixtures** " Civil Engineering JournalVol. 2, No. 10, October, 2016

3- Disha Rajyaguru, Rohit Kumar, Prof. C. B. Mishra.(2016) " **Contribution of polypropylene fibers in modification of VG 30 bituminous mix** " International journal of engineering sciences & research technology. DOI: 10.5281/zenodo.50426

4- Muhammad Fawad Rashid، Naveed Ahmad ،Ahtsham Ahmed. (2020) " **THE EFFECT OF USING POLYPROPYLENE FIBER ON DEFORMATION RESISTANCE OF ASPHALT CONCRETE** " 2nd Conference on Sustainability in Civil Engineering (CSCE'20) .Department of Civil Engineering. Capital University of Science and Technology, Islamabad Pakistan

5- Hassan OTUOZE ،Stephen EJEH, Yusuf AMARTEY.(2017) " **A study on the mechanical and field performance properties of polypropylene fibres in asphalt mix** " Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. ISSN 1583-1078

6- Remadevi, M., Pillai, A., George, E., Narayanan, P. & Sunny, S. (2014)."**Study of Fiber Reinforced Bituminous Concrete**". International Journal of Engineering Research & Development, ISSN: 2278-067X. Volume 10, Issue 4 (April 2014), PP.49-56.

7- A. Qadir.(2014) " **Rutting performance of polypropylene modified asphalt concrete** " International Journal of Civil Engineering, Vol. 12, No. 3, Transaction A: Civil Engineering, September 2014

8- N.F. A. A. Musa, M. Y. Aman, Z. Shahadan, Z. Noranai.(2019) " **UTILIZATION OF SYNTHETIC REINFORCED FIBER IN ASPHALT CONCRETE – A REVIEW** " International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)Volume 10, Issue 05, May 2019, pp. 678-694

9- Tapkın, S. (2008). "**The effect of polypropylene fibers on asphalt performance**". Building and Environment, 43(6), 1065-1071.

10- Niyazi Koçkala , Sevil Köfteci.(2016) " **Aggressive Environmental Effect on Polypropylene Fiber Reinforced Hot Mix Asphalt** " Procedia Engineering 161 (2016) 963 – 969. doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.834