Improving the Performance of Bituminous Mixtures (Cover Layer) using Fiberglass

Dr. Bassam Sultan*
Samer Trkhan**

(Received 8 / 7 / 2024. Accepted 22 / 8 / 2024)

□ ABSTRACT □

Roads are exposed to many problems and defects, such as alligator cracks, reflection, rutting, and deformations resulting from high traffic loads and weather factors. Therefore, these problems cannot be addressed by improving the performance of bituminous pavements to increase the materials' resistance to fatigue and improve their durability. Adding fiberglass is one of the important methods used to improve the performance of bituminous pavements. Bituminous paving, determining the volumetric properties of the reference bituminous mixture, and carrying out laboratory experiments according to the Marshall method using bitumen of grade (60-70). The results showed that the ideal bitumen percentage is 5% of the total weight of the bituminous mixture, and five percentages of glass fibers were chosen to study their effect on the properties. The modified bitumen mixture and its comparison with the reference mixture, which is respectively(0.6 - 0.5 - 0.4 - 0.3 - 0.2**)%** Of the total weight of the bitumen mixture, the results showed that the ideal addition percentage of glass fibers is 0.3% of the total weight of the mixture, at which the bituminous paving shows better performance and higher resistance to stresses, loads, weather factors, and high temperatures, as the addition of fibers contributes to improving the properties of the bitumen mixture. In accordance with the required local technical conditions and specifications.

Keywords: Bitumen-Glass Fibers-modified bitumen mixture- Stability volumetric and mechanical properties- Air Void - covering layer

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

* **Professor- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Latakia- Syria.**
** **Postgraduate Student (Master)- Professor- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Latakia- Syria. samertrkhan@gmail.com**

تحسين أداء الخلطات البيتومينية (طبقة التغطية) باستخدام الألياف الزجاجية

د. بسام أسعد سلطان*

سامر يونس ترخان**

(تاريخ الإيداع 8 / 7 / 2024. قُبِل للنشر في 22/ 8 / 2024)

□ ملخّص □

تتعرض الطرق للعديد من المشاكل والعيوب مثل الشقوق التمساحية والانعكاسية والتخدد والتشوهات والناتجة عن الاحمال المرورية المرتفعة والعوامل الجوية ، ولذلك لابد من معالجة هذه المشاكل من خلال تحسين أداء الرصف البيتومينى لزيادة مقاومة المواد للتعب وتحسين ديمومتها، وتعد إضافة الألياف الزجاجية من الطرق المهمة والمستخدمة في تحسين أداء الرصف البيتومينى، تحديد الخصائص الحجمية للخلطة البيتومينية المرجعية وتنفيذ التجارب المخبرية وفق طريقة مارشال باستخدام بيتومين من الصنف (60-70) وقد بينت النتائج ان نسبة البيتومين المثالية هي 5 %من الوزن الكلي للخليط البيتومينى وتم اختيار خمس نسب من الالياف الزجاجية لدراسة تأثيرها على خصائص الخلطة البيتومينية المعدلة ومقارنتها مع الخلطة المرجعية وهي على التوالي % (0.2 -0.3 - 0.4-0.5 -0.6) من الوزن الكلي للخليط البيتومينى، وقد بينت النتائج أن نسبة الإضافة المثالية من الألياف الزجاجية هي0.3% من الوزن الكلي للخليط والتي يبدي عندها الرصف البيتومينى أداء أفضل ومقاومة أعلى تجاه الإجهادات والحمولات والعوامل الجوية ودرجات الحرارة المرتفعة حيث تساهم إضافة الألياف في تحسين خصائص الخلطة البيتومينية بما يتوافق مع الشروط والمواصفات الفنية المحلية المطلوبة .

الكلمات المفتاحية: البيتومين- ألياف زجاجية-الخلطة البيتومينية المعدلة-الثبات - خصائص حجمية وميكانيكية- فراغات هوائية-طبقة التغطية

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

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

** **طالب ماجستير- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.samertrkhan@gmail.com**

مقدمة:

تشكل الطرق العصب الرئيس لشبكة النقل والمواصلات، ويعتبر الرصف المرن Flexible pavement في المرتبة الأولى في الرصف الطرقي محلياً نظراً لسهولة إنشائه وصيانته، وتوفر مواده الأولية مقارنة مع الرصف الصلب.[1,2,8]

تعد البنية التحتية للطرق الجيدة عنصراً أساسياً في بنية قوية ومستقرة اقتصادياً. ونظراً لأن النقل على الطرق السريعة الحديثة يتميز بسرعة عالية وكثافة مرورية كبيرة يتعرض الرصف المرن لأنواع مختلفة من العيوب مثل التشقق الناتج عن الإجهاد والحمولات المرورية العالية لذلك لا بد من معالجة هذه العيوب.[6,7,8]

تستخدم الخلائط البيتومينية على نطاق واسع في إكساء طبقات الرصف الطرقي، ويمتاز بالمرونة، مقاومة الانزلاق، مقاومة الإجهادات الناتجة عن الحمولات المرورية، وبالرغم من هذه المزايا إلا أن طبقة المجبول البيتومينى معرضة لحالات الفشل المبكر مثل التخدد والشقوق التمساحية أو الانعكاسية.[3,5]

حيث تتمثل الوظائف الرئيسية للألياف كمواد تقوية في تأمين شد إضافي للخليط البيتومينى المعدل، حيث تبحث هذه الدراسة في خصائص البيتومين والألياف الزجاجية المقواة التي تساهم في تحسين أداء الرصف الطرقي

وتعتبر الخلائط البيتومينية المعدلة من الطرق الهامة في تحسين أداء الرصف البيتومينى.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من الحاجة الماسة لزيادة العمر التشغيلي لطبقة التغطية البيتومينية من خلال تحسين الخصائص الحجمية والميكانيكية للخلطة البيتومينية المستخدمة في الرصف الطرقي وبالتالي تحسين أداء هذا الرصف، من خلال إضافة الألياف للخلطة البيتومينية ،حيث يتم الوصول إلى تصميم خلائط بيتومينية معدلة بالألياف الزجاجية لإعطائها أداء عالي وديمومة كبيرة تساعد في حل بعض المشكلات التي يعاني منها الرصف البيتومينى خلال فترة التشغيل وتحقيق وفورات في كلفة صيانة الطرق وإعادة بنائها، حيث يهدف البحث لتحضير خليط بيتومينى نموذجي مكون من الحصويات والرابط البيتومينى والألياف الزجاجية وتحديد خصائص هذا الخليط المعدل بالألياف الزجاجية (الثبات، الانسياب، الفراغات الهوائية، الفراغات المليئة بالبيتومين) ومقارنتها مع الخلطة المرجعية.

طرائق البحث ومواده:

البيتومين: تم الحصول عليه من مصفاة بانياس.

الحصويات: تم الحصول عليها من أحد المجابل العاملة في محافظة اللاذقية ومصدرها مدينة حسياء.

الألياف الزجاجية.

العمل المخبري

يستند البحث إلى دراسة مخبرية على عينات بيتومينية غير معدلة مع عينات بيتومينية معدلة بإضافة ألياف زجاجية، يلي ذلك تصميم خلائط بيتومينية غير معدلة ومعدلة بالبيتومين. وفيما يلي تسلسل خطوات العمل المخبري:

اختبارات البيتومين: وتشمل تجارب الغرز، الاستطالة، نقطة التميع (الكرة والحلقة) ونقطتي الوميض والاشتعال وذلك من أجل من مطابقة البيتومين المستخدم في تحضير عينات الدراسة للمواصفات الفنية السورية المعمول بها.

اختبارات الحصويات: وتشمل تحديد التدرج الحبي والتأكد من وقوع منحني التحيل الحبي ضمن الحزمة النظامية وتحديد الفاقد بالاهتراء والمكافئ الرملي والامتصاص والوزن النوعي والحجمي للحصويات الخشنة والناعمة.

اختبارات عينات المجبول البيتوميني غير المعدلة: من أجل تحديد نسبة البيتومين المثالية، ومن ثم تحديد خصائص الخلطة البيتومينية الحجمية، وتحديد قيم الثبات وانسياب مارشال، الفراغات الهوائية، الفراغات المليئة.

اختبارات عينات المجبول البيتوميني المعدلة: بإضافة نسب مختلفة من الألياف الزجاجية (0.2–0.3–0.4–0.5–0.6) % ومن ثم تحديد نسبة الألياف المثالية.

النتائج والمناقشة:

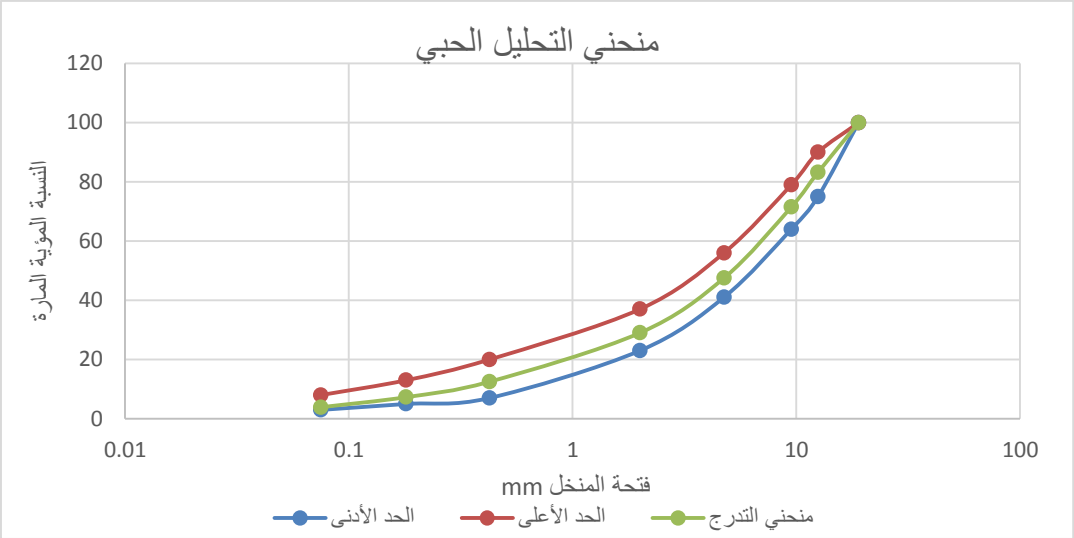
1– نتائج تجارب البيتومين: تم إجراء الاختبارات والتجارب على البيتومين (60–70) في مخبر المواصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين ونبين في الجدول (1) نتائج اختبار البيتومين المستخدم في الخلطة البيتومينية.

الجدول (1) نتائج تجارب البيتومين

الاختبار	رقم المواصفة ASTM	نتائج الاختبار	حدود قيم المواصفة
الغرز (Penetration) (25 °C)100g,5sec , (0.1mm)	D5	65.17	60-70
نقطة التميع (Softening Point) (°C)	D36	49.83	52-48
استطالة البيتومين (Ductility) (25 °C) 5cm/min ,(cm)	D113	+127.33	min 100.0
نقطة الوميض والاشتعال (Flash and Fire Point rest) (Cleveland cup open) (°C)	D92	درجة الوميض 292 درجة الاشتعال 295.33	min (232 C°)
النقص في الوزن (%) (LOSS On Heating)	D1754	0.44	Max 0.8 %
الوزن النوعي (25 °C)	D70	1.02	1.01-1.03

2– نتائج تجارب الحصويات

1– تجربة التحليل الحبي: تم تصميم المنحني المبين في مخطط التدرج أدناه و المحققة للشروط والمواصفات المنصوص عليها.



الشكل (1) منحني التحليل الحبي

2- نتائج اختبار الحصويات المستخدمة

الجدول (2) نتائج اختبار الحصويات

المواصفة المواصفات السورية	نتائج الاختبار	الاختبار	
ASTM C 131	17.67	فاقد الاهتراء وفق لوس انجلوس (%) Los Angeles abrasion	
ASTM D 2419	84.6	المكافئ الرملي (%) Sand Equivalent	
ASTM C127	0.8	الامتصاص (%)	الحصويات الخشنة
	2.63	الوزن النوعي الظاهري Gsa	
	2.608	الوزن النوعي الحجمي Gsb	
ASTM C128	1.32	الامتصاص (%)	الحصويات الناعمة
	2.640	الوزن النوعي الظاهري Gsa	
	2.620	الوزن النوعي الحجمي Gsb	

3- خصائص الألياف الزجاجية المستخدمة

الجدول (3) نتائج اختبار الالياف الزجاجية

الخاصية	النتيجة
المظهر	حزم ليفية صغيرة
الوزن النوعي	2.56 gr/cm3

المقطع العرضي	دائري
الطول	12 mm
مقاومة الشد	3300 Mpa
نقطة الانصهار	300 °c<
امتصاص الماء	0 %

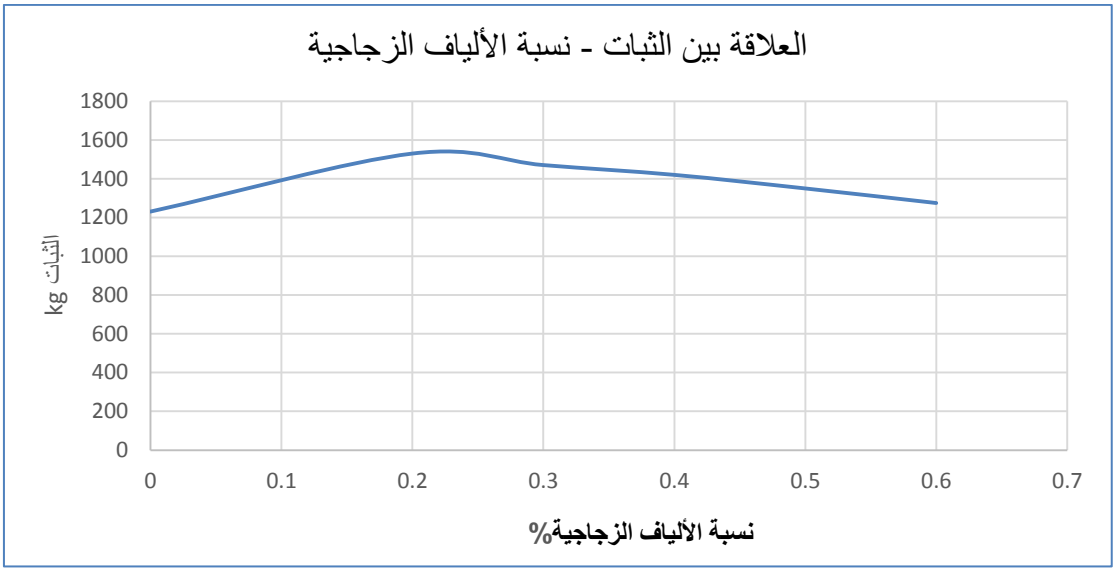
4- نتائج اختبار الخلطة المرجعية

الجدول (4) نتائج اختبار الخلطة المرجعية

الخاصية	القيمة	الحدود المسموحة وفق المواصفات السورية
نسبة الاسفلت المثالية %:	5	4-6
الثبات (Kg)	1231	1100<
الانسياب (mm)	2.9	2 – 4
الكثافة (gr/cm3)	2.338	-
نسبة الفراغات الهوائية (%)	3.9	3 – 5
VMA%	min15	15.1
VFA%	75-65	74.15

5- خصائص الخلطات البيتومينية المعدلة

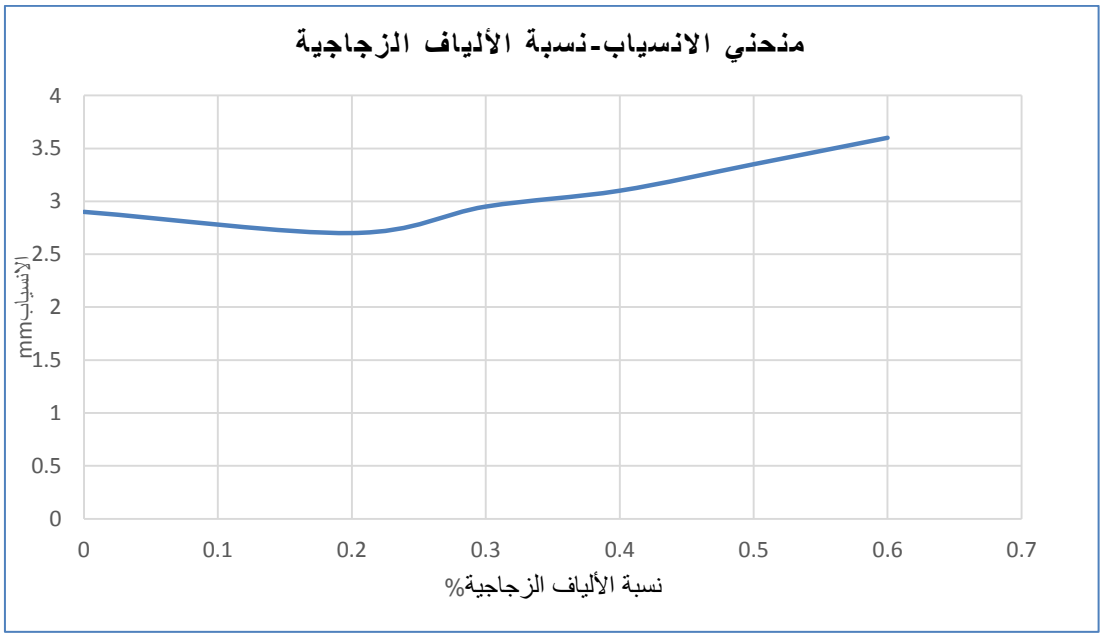
التأثير على الثبات: تبين النتائج أن ثبات الخلطات المعدلة بالألياف أعلى من ثبات الخلطة المرجعية kg (1231)، ومن الشكل تبين أن قيم ثبات مارشال ازدادت عند نسبة الإضافة من الألياف الزجاجية0.2% وبلغت قيمتها الأعظمية حيث بلغت قيمة الثبات kg (1530.2) حيث وصلت نسبة الزيادة في الثبات إلى 24.3% ثم بدأت قيم الثبات بالانخفاض و يعود سبب الزيادة في قيم الثبات إلى دور الألياف الزجاجية في تعزيز التركيب الحبي للخلطة المرجعية وبالتالي تحسين ثباتها عند نسبة البيتومين المثالية المضافة وتحسين الالتصاق بين مكونات الخلطة، وبالتالي زيادة في صلابة الخلطة البيتومينية.



الشكل (2) منحني الثبات–الالياف الزجاجية

التأثير على الانسياب

وتبين نتائج الاختبار أن جميع قيم الانسياب بقيت ضمن الحدود المسموحة (2–4)mm المعمول بها، حيث تلعب الألياف الزجاجية دور في زيادة ترابط الهيكل الحصوي وبالتالي تحسين التركيب الحبي وتحويله إلى تركيب يساهم في مقاومة التشوه.

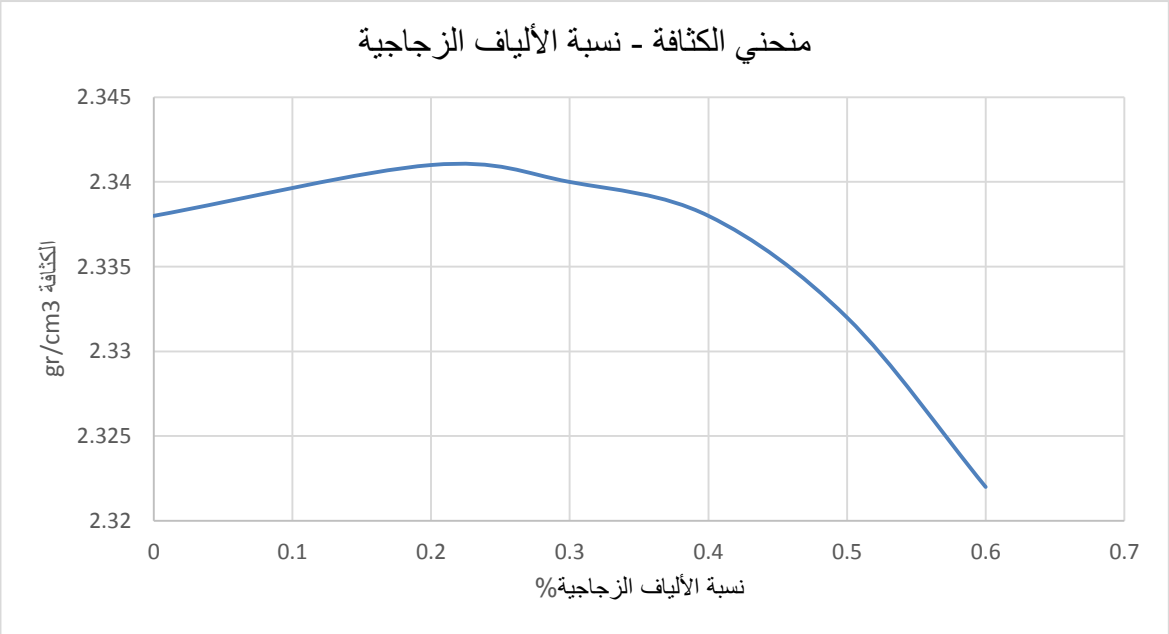


الشكل (3) منحني الانسياب – الالياف الزجاجية

التأثير على الكثافة:

تبين النتائج ازدياد قيم الكثافة بزيادة نسبة الإضافة من الألياف مقارنة مع كثافة مارشال للخلطة المرجعية غير المعدلة. وبلغت قيمة الحد الأعلى للكثافة (2.341gr/cm3) بمحتوى ألياف زجاجية (0.2٪) ومن ثم تبدأ بالانخفاض وحيث بلغت القيمة الدنيا ل كثافة مارشال عند نسبة إضافة (0.6) %هو (2.322 gr/cm3) بنسبة ألياف (0.6٪). بحيث

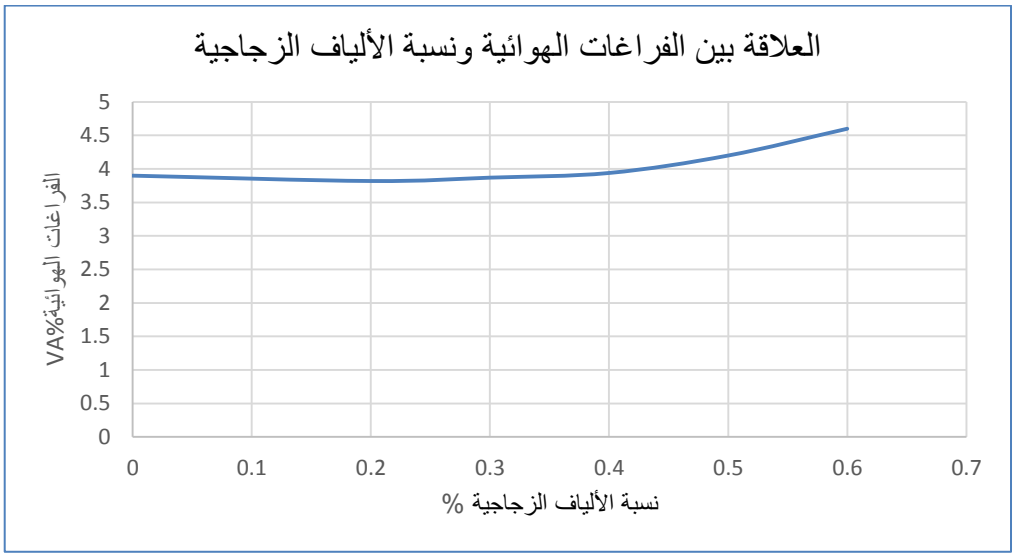
لا تتجاوز قيمة النقصان في الكثافة (2.6 %) عن العينة المرجعية ويمكن التغلب على هذا التأثير عبر طاقة الرص المطبقة على طبقة المجبول البيتومينيي.



الشكل (4) منحني الكثافة – الالياف الزجاجية

التأثير على الفراغات الهوائية:

تبين النتائج أن نسبة الفراغات الهوائية (Va) للخلطات البيتومينية المعدلة أعلى من الخلطة البيتومينية المرجعية (3.9)%وهو ما يتوافق مع نتائج الكثافات. حيث تزداد نسبة الفراغات الهوائية في الخلطات المعدلة مع زيادة نسبة الألياف المضافة بدءا من نسبة الإضافية %(0.2) حتى تصل إلى أعلى نسبة (4.6%) عند إضافة نسبة (0.6 %) من محتوى الألياف. حيث تبقى الفراغات هوائية ضمن الحدود المسموحة والمنصوص عليها ضمن المواصفات.



الشكل (5) منحني الفراغات الهوائية – الألياف الزجاجية

6-تحديد نسبة الألياف المثالية

يتم تحديد نسبة الألياف المثالية من خلال نتائج قيم الثبات والكثافة والخواص الحجمية والتي تحقق أفضل أداء في الخواص الميكانيكية والحجمية ويمكن تحديدها من خلال متوسط:

- نسبة الألياف التي تعطي أكبر قيمة للثبات وهي (0.2 %).
- نسبة الألياف التي تعطي أكبر قيمة للكثافة وهي (0.2 %).
- نسبة الألياف التي تحقق فراغات هوائية بين (5-3 %) وهي (0.5 %).

بالتالي تكون نسبة الألياف الزجاجية المثالية هي متوسط النسب السابقة (0.3 %) وتعتبر نسبة نموذجية لإضافة الألياف زجاجية وبطول ثابت (12 mm) لاستخدامها في تعديل خواص الخلطة البيتومينية

7-تقييم الخلطة البيتومينية المعدلة بالألياف الزجاجية

الجدول (5) نتائج تقييم الخلطة البيتومينية المعدلة

الخاصية	الواحدة	نسبة (0.3%) الإضافة من الألياف الزجاجية للخليط	الحدود المسموحة وفق المواصفات السورية
الثبات	Kg	1470.8	1100<
الانسياب	mm	3	2 – 4
كثافة مارشال	g/cm3	2.340	-
Va	%	3.87	3 – 5
VMA	%	15	min15
VFA	%	74.18	65-75

8- دراسة أداء الخلطات االبيتومينية المعدلة بالألياف:

قمنا بإجراء اختبار الفاقد بالثبات على الخلائط البيتومينية المرجعية والمعدلة بهدف قياس أداء هذ الخلائط ومناقشة تأثير إضافة ألياف الالياف الزجاجية عليها.

يعتبر اختبار فقدان الثبات (Loss of Stability) من الاختبارات التي تحدد أداء الخلائط البيتومينية تجاه الظروف الحرارية وذلك بالاعتماد على جهاز مارشال من خلال إعداد عينات وقياس الثبات بعد غمر العينات بحمام مائي لمدة (30 دقيقة) بدرجة حرارة (60 درجة مئوية) بمعدل (3 عينات) لكل خلطة وأخذ متوسط قيمة الثبات،

وكذلك اختبار ثبات عينات بعد غمرها بحمام مائي لمدة (24 ساعة) بدرجة حرارة (60 درجة مئوية) بمعدل (3 عينات) لكل خلطة وأخذ متوسط قيمة الثبات، ومن ثم حساب النقص بالثبات وفق العلاقة

$$\text{الفاقد في الثبات} = \frac{\text{الثبات بعد نصف ساعة} - \text{الثبات بعد 24 ساعة}}{\text{الثبات بعد نصف ساعة}} \times 100$$

تنص المواصفات على أن نسبة الفاقد في الثبات يجب ألا تتجاوز (25 %) ويبين الجدول نتائج الاختبار

الجدول (6) نتائج اختبار الفاقد بالثبات

الخلطة	الثبات (30 min) Kg	الثبات (24 h) Kg	النقصان في الثبات %
المرجعية	1231	1053	14.45
Glass 0.3% (12mm) Fiber	1470.8	1358.5	7.63

نلاحظ من النتائج أن النقصان في الثبات للخلطة البيتومينية المرجعية قد بلغ نسبة (14.45%) المسموح للفاقد بالثبات (لا يتجاوز 25 %) أما بالنسبة للخلطة المعدلة بالألياف الزجاجية فقد كانت نسبة نقصان الثبات (7.63 %) مما للخلطة المعدلة بالألياف الزجاجية أفضلية تجاه تأثير الحرارة على طبقة التغطية لمجبول البيتومينى من الخلطة المعدلة بالألياف.

الاستنتاجات والتوصيات:

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

2- بينت نتائج تصميم الخلائط البيتومينية المعدلة ازدياد قيم ثبات مارشال عند إضافة الألياف حيث بلغت قيمة الثبات 1530.2kg عند نسبة إضافة 0.2% ومقارنة مع الخلطة المرجعية التي كانت 1231kgبلغت نسبة الزيادة في الثبات 24.3% كما بقيت جميع قيم الانسياب ضمن الحدود المسموحة (4-2)mm المعمول بها وبذلك فإن لإضافة الألياف تأثيرا على مقاومة التشوه للخلطات البيتومينية.

3- تزداد قيم الكثافة بالنسبة للخلطات البيتومينية المعدلة مقارنة مع الخلطة المرجعية لتبلغ أعلى قيمة لها عند نسبة إضافة 0.2% ثم تبدأ بالانخفاض، الحد الأعلى للكثافة (2.341 gr/cm3) بمحتوى ألياف زجاجية (0.2٪) وحيث بلغت القيمة الدنيا ل كثافة مارشال عند نسبة إضافة (0.6%) هي(2.322 gr/cm3) حيث لا تتجاوز قيمة النقصان بالكثافة 2.6% عن العينة المرجعية.

4- بينت النتائج زيادة في نسبة الفراغات ولكن انخفضت عند نسبة إضافة0.2% ثم بدأت بالزيادة، وهذا ما يتوافق مع نتائج الكثافات. حيث تزداد نسبة الفراغات الهوائية في الخلطات المعدلة مع زيادة محتوى الألياف المضافة وتصل إلى أعلى نسبة (4.6%) عند إضافة نسبة (0.6 %) من الألياف، حيث بقيت قيم محتوى الفراغات الهوائية ضمن الحدود المسموحة والمنصوص عليها ضمن المواصفات.

5- نسبة الإضافة المثالية من الألياف الزجاجية هي (0.3 %) بطول (12mm) ويمكن استخدامها في تعديل خواص الخلطة البيتومينية حيث تلبي المتطلبات الخاصة بالخلطات البيتومينية مع تحقيق زيادة في الثبات وبقاء قيم الانسياب ضمن الحدود المسموحة والمعمول بها.

6- بينت نتائج اختبار الفاقد بالثبات أن النقصان في الثبات للخلطة البيتومينية المرجعية قد بلغ نسبة (14.45%) وبالنسبة للخلطة المعدلة بالألياف الزجاجية كانت نسبة نقصان الثبات (7.63 %) والحد المسموح للفاقد بالثبات (لا يتجاوز 25 %) مما يعطي للخلطة المعدلة بالألياف الزجاجية أفضلية تجاه تأثير الحرارة على طبقة المجبول البيتومينى من الخلطة المعدلة بالألياف.

7- إن إضافة الألياف الزجاجية بالنسبة المثالية تحسن مقاومة الخلطة البيتومينية للعديد من التشوهات والتشققات التي تتعرض لها طبقة المجبول البيتوميني في درجات الحرارة المتغيرة من خلال تحسين الخواص الحجمية والميكانيكية للخلطة البيتومينية ومن خلال تحسين مقاومتها لإجهادات الشد خلال فترة التشغيل للرصف.

8- يوصى بإجراء مزيد من الأبحاث لإجراء هذه الدراسة باستخدام نسب مختلفة من البيتومين وأصناف البيتومين

9- استخدام أطوال وأنواع مختلفة من الالياف الألياف الزجاجية.

References:

1- BUNSELL, A. R. "*Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres*". Cambridge, UK: Woodhead Publishing in association with the Textile Institute. 2009.

2- CHEN, H.; XU, Q.; CHEN, S.; ZHANG, Z. "*Evaluation and design of fiberre inforced asphalt mixtures*". Materials & Design, 2009. 30(7), 2595-2603.

3- JAHROMI, S., KHODAII, A. "*Carbon Fiber Reinforced Asphalt Concrete*". The Arabian Journal for Science and Engineering. 2008. 33(2B), 355-364..

4- KHATTAK, M. J.; KHATTAB, A.; RIZVI, H. R. "*Characterization of carbon nanofiber modified hot mix asphalt mixtures*". Construction and Building Materials, 2013, 40,738-745.

5- HEARLE, J. W.; MORTON, W. E. Physical properties of textile fibres. Cambridge: Woodhead. Textile Research Journal, 2008.75(2), 123-128.

6- HUANG, X. "*Fabrication and Properties of Carbon Fibers*". Materials, 2009. 2(4), 369-2403.

7- SAKETH, C.; PATEL, J.; RAJESH, M.; SADANAND, G.; MANOJ, M. "*Statistical Analysis of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete*" International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, vol. 3, pp. 518-532, 2017

8- FOUAD, B.; AHMED, M.; AMIR, B. "valuation of Fiber-Reinforced Asphalt Pavements: Laboratory Study" FHWA-ID-16-237. University of Idaho, 2016.

9- Mohmed E.B; M.S.EISA; M.I.Daloob. "*Effect of adding glass fiber on the properties of asphalt mix* "International Journal of Pavment Research and Technology.2020.

10- Sayyed ,M. A. .; Saman,E.; Mehmet.k. ;Milad.G.E;Sayyed.M.H.; " *Hybrid Reinforcement of asphalt-concrete Mixtures Using Glass and Polyproplene Fibers*"Journal of Engineered Fiber and Fabrics 8,2,2013.

11- Elham. N.;Ali *G.* "*Optimization of 5-component Fibers and Glass Fibers in Asphalt Mixtures Based on Functional Characteristics*" Journal of civil Engineering and Materials Application *6(3):*175-183,2022

12- Ministry of Transport, Damascus, Syria, the General Technical Conditions and Qualifications for Roads and Bridges Works. Syrian Arab Republic (2002).