

تحسين المَجْبُول الإسفلتي بإضافة مكونات نفايات الإطارات (مطاط – ألياف فولاذية)

م. أحمد الأبُو حسين* أ. د. مروان عاصي**

(الإيداع: 31 آيار 2023، القبول: 3 أيلول 2023)

الملخص:

تم في هذا البحث دراسة تأثير كل من حبيبات المطاط والألياف الفولاذية المستخرجة من نفايات الإطارات على خصائص المَجْبُول الإسفلتي، حيث عدل البيتومين بحبيبات المطاط ومن ثم أضيفت الألياف الفولاذية إلى المَجْبُول الإسفلتي المعدل. تم إجراء اختبَارِي مارشال والشد غير المباشر على العينات المرجعية والمعدلة بالنسب التالية (حبيبات المطاط: 3 – 7 – 10 – 15 % وزناً من البيتومين، الألياف الفولاذية: 0.5 – 1 – 2 % وزناً من المَجْبُول الإسفلتي). لوحظ تحسن قيم ثبات مارشال الذي ارتفع بنسبة 126% عند نسبة إضافة 15% حبيبات مطاط و1% ألياف فولاذية، أما اختبار الشد غير المباشر فكانت نسبة الزيادة في المقاومة عند ذات العينة قد وصلت إلى 123%. كما تم توظيف علاقة معهد الإسفلت الأمريكي للتنبؤ بمعامل المرونة الديناميكي لطبقة المَجْبُول الإسفلتي واستخدام برنامج (3D Move Analysis) لدراسة تأثير الحمولات المتكررة على استجابة الرصيف المصمم بوجود طبقة مَجْبُول اسفلتي ذو سلوكية مرنة – لزجة ومعامل بنسب الإضافات السابقة، وذلك وفق معياري التعب والتحدد، حيث التحميل ديناميكي ومعامل المرونة متغير بحسب درجة حرارة الطبقة السطحية للرصيف، وأظهرت الدراسة ارتفاع عدد الحمولات المتكررة حتى الوصول إلى الانهيار من /838384/ دورة تحميل إلى /2460001/ دورة تحميل عند النسبة السابقة، وأخيراً تم التوصل إلى عدة نتائج وتوصيات.

الكلمات المفتاحية: نفايات الإطارات، المطاط، المَجْبُول الإسفلتي، معامل المرونة الديناميكي، معهد الإسفلت، الألياف الفولاذية.

* طالب دكتوراه – هندسة الموصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب

** أستاذ – في كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب

Improvement of asphalt mixture by adding components of tires waste (rubber – steel fibers)

Eng. Ahmed Al–Abu Hussein*

Prof. Marwan Assi**

(Received: 31 May 2023, Accepted: 3 September 2023)

Abstract:

In this research, the effect of each of the rubber granules and steel fibers extracted from tire waste on the properties of asphalt mixture was studied, where the bitumen was modified with rubber granules, and then the steel fibers were added to the modified asphalt mix. : 3 – 7 – 10 – 15% by weight of bitumen, steel fibers: 0.5 – 1 – 2% by weight of asphalt mixtures) It was noted that the Marshall stability values improved, which increased by 126% when adding 15% rubber granules and 1% steel fibers. Indirect tensile test, the percentage of increase in resistance in the same sample reached 123%. The relationship of the American Asphalt Institute was employed to predict the dynamic resilience coefficient of the asphalt mixture layer, and the (3D Move Analysis) program was used to study the effect of repeated loads on the response of the pavement designed with an asphalt mixture layer with elastic–viscous behavior and a rate of previous additions, according to the criteria of fatigue and rutting, where Loading is dynamic and the coefficient of elasticity is variable according to the temperature of the surface layer of the pavement. The study showed an increase in the number of repeated loads until reaching collapse from /838384/ load cycle to /2460001/ load cycle at the previous .ratio. Finally, several results and recommendations were reached

Keywords: tires waste, rubber, asphalt mixture, dynamic modulus of elasticity, asphalt institute, steel fibers.

*PhD student – Transportation and Transportation Engineering – Faculty of Civil Engineering – University of Aleppo

**Professor – Faculty of Civil Engineering – University of Aleppo

1- مقدمة Introduction:

انتشر في السنوات الأخيرة استخدام المواد المضافة والمعدلة للمجبول الإسفلتي (البوليميرات، الألياف الصناعية... إلخ) بهدف تعديل خصائصه وتحسين أدائه تحت أنواع الإجهادات والانفعالات المتنوعة والناجمة عن الحمولات المتكررة والمتزايدة للمركبات وتغيرات درجات الحرارة والظروف البيئية المحيطة، والتي ينتج عنها العديد من المشاكل في الرصيف الإسفلتي والتي تظهر على الطبقة السطحية منه كتشققات التعب (Cracking Fatigue) أو التخدد (Rutting)... إلخ. ولقلة الموارد المتاحة في مجال تعديل الخلطات الإسفلتية والكلفة المرتفعة للمواد الصناعية الجديدة المضافة للخلائط، كانت الدوافع لاستكشاف البدائل عنها في مجال إنشاء الطرق محلياً وخاصةً من النفايات القابلة للتدوير (Recyclable waste)، والتي من الممكن أن تقدم نفس التحسينات التي تقدمها المواد الصناعية المضافة. ومن بين أكثر المشاكل البيئية انتشاراً هي الكميات الكبيرة للإطارات المستهلكة (نفايات الإطارات Tire waste) في جميع أنحاء العالم، والتي لا يزال العلم منشغلاً بإيجاد أساليب وطرق للتخلص منها والاستفادة منها.

2- مشكلة البحث problem of research:

- إن الرصيف الإسفلتي التقليدي الحاوي على طبقة مجبول اسفلتي مصمم بإحضارات محلية بدون إضافات، يعاني من عدم وجود المقاومة الكافية للإجهادات والانفعالات المتولدة عن الأحمال المرورية المتزايدة وتغيرات درجات الحرارة والظروف البيئية المحيطة... إلخ، والتي تظهر كعيوب سطحية (تشققات التعب - التخدد...) والتي تؤثر سلباً على مستخدمي الطريق.
- تشكل نفايات الإطارات عبئاً ثقيلاً على البيئة وعلى الهيئات المختصة. حيث تقدر كمية الإطارات المستهلكة في العالم نحو مليار إطار سنوياً، ويتم إعادة تدوير ما نسبته 4.5% فقط في أعمال الهندسة المدنية. أما كمية الألياف المعدنية عالية الجودة المتوقع استخراجها منها فقد تصل إلى 500000 طنناً (Etra 2006).

3- هدف وأهمية البحث objective and Importance of research:

يهدف البحث إلى:

- 1- دراسة تأثير إضافة نفايات الإطارات المطاطية على خصائص وسلوكية البيتومين المحلي ومن ثم المجبول الإسفلتي مع إضافة ألياف فولاذية مستخرجة من نفايات الإطارات إلى هذا المجبول.
 - 2- التنبؤ باستجابة الرصيف الإسفلتي من خلال الاستفادة من النمذجة الحاسوبية والمحاكاة الرقمية بالعمل على برنامج (3D MOVE ANALYSIS) لدراسة تأثير الإضافات السابقة باعتماد المواصفات المعيارية والخلائط المعدلة ضمن البحث، وذلك من خلال مقارنة عدد دورات التحميل المتكررة للوصول للانتهاء لطبقة المجبول الاسفلتي (Allowable repetitions) وعمق التخدد (Rutting depth) المتوقع في الطبقة السطحية.
- وتأتي أهمية هذا البحث من خلال دراسة تأثير مزيج من الإضافات المطاطية وألياف فولاذية مستخرجة من نفايات الإطارات على خصائص وأداء الخلطات الإسفلتية وانعكاس هذا التأثير على أداء طبقات الرصف والكلفة الاقتصادية. وهناك أهمية بيئية تتمثل بالاستفادة من نفايات الإطارات التي تعتبر مشكلة بيئية متنامية على مستوى القطر.

4- المراجعة البحثية والدراسات السابقة Literature review and Previous studies:

تمت تجربة استخدام الخلائط الإسفلتية المعدلة بالمطاط منذ القدم، واستخدمت لأول مرة في هولندا سنة 1929 م، وفي الولايات المتحدة الأمريكية عام 1947 م بولاية أوهايو وأعطت نتائج جيدة (SHARP-A-341، 1993). وقام كارلوس ماكdonald في مدينة فينيكس أريزونا في 1960 و1970 م بالعمل على نطاق واسع بالبيتومين والمواد المطاطية وكانت ذات دور فعال في تطوير الطريقة الرطبة لإنتاج البيتومين المعدل بفتات المطاط (Crumb Rubber Modified Asphalt: CRMA) وكان كارلوس ماكdonald أول من استخدم البيتومين المعدل بالمطاط في الخلائط البيتومينية الحارة وفي تنفيذ المعالجات السطحية عند ترميم وصيانة الأغشية الطرقية. وبحلول عام 1995 م كانت مدن ومقاطعات ولاية كاليفورنيا قد نفذت أكثر من 400 مشروع طرقي من البيتومين المعدل بالمطاط (California Department of Transportation، 2003). لقد ازداد استخدام المطاط في خلائط البيتومين بشكل كبير في السنوات الأخيرة حول العالم وقد استخدمت بنجاح في بناء الطرق وصيانتها وإعادة تأهيلها وذلك في الولايات المتحدة وأوروبا لأكثر من 30 عام، ومنذ عام 1997 كانت 20% من الطرق في أمريكا كانت تبنى من الرصف المحسن باستعمال المطاط المدور فهي أفضل من الناحية الاقتصادية والبيئية (Yildirim، 2006). إلا أن هذه التجارب المتعلقة بتعديل الخلائط البيتومينية بالمطاط لا تزال بعيدة عن الاختبار والتطبيق العملي في بلدنا بشكل عام.

تم استخدام الألياف لتحسين خصائص ومواصفات الخلائط الإسفلتية لسنوات عديدة، وكثيراً ما تستخدم الألياف المتنوعة كالألياف الفولاذية وألياف البوليمير وألياف الكربون وكذلك الألياف الطبيعية في تعزيز وتقوية البيتون والمواد الرابطة الاسمنتية. عادةً ما تستخدم الألياف في الإسفلت المصنوف بالحجارة SMA أو الإسفلت المسامي وذلك لمنع نزيف الرابط الإسفلتي بين المواد الحصوية (Putman، 2004؛ Wu وزملاؤه، 2006). في السنوات الأخيرة استخدمت الألياف المعدنية في بعض الخلائط الإسفلتية لمقاومة التحدد والتعب وخاصة في موضوع مقاومة إجهاد الشد المتولد في الخلائط عند تعرضها للحمولات المتكررة (Abtahi وزملاؤه، 2010).

هناك العديد من الدراسات والأبحاث المتعلقة بتقوية الخلائط الإسفلتية بالألياف، وعلى سبيل المثال: استخدم جيو الألياف الفولاذية من أجل تحسين الخصائص الميكانيكية للخلطة، أظهرت نتائج تحليل الاختبارات مثل اختبار التحدد، عارضة الانحناء لدرجات الحرارة المنخفضة، اختبار التجمد والذوبان، أن الألياف تحسن بشكل كبير من الأداء لسطح الطريق (Guo، 2004).

أجرى الرضا وزملاؤه دراسة لتأثير الألياف الفولاذية على أداء الخلطة الإسفلتية الساخنة بنسبة إضافة 5% من محتوى الإسفلت في مستويات مختلفة من الضغط وتحت درجات حرارة متفاوتة. وفق نتائج الاختبار يوصي باستخدام ألياف الصلب في الطبقات الموجودة أسفل الطبقة السطحية مثل الطبقة الرابطة بكمية تقل أو تساوي 0.2% (Al-Ridha وزملاؤه، 2004).

درس جارسيا وزملاؤه تأثير ألياف الصوف الصلب على الخصائص الميكانيكية للخلائط الإسفلتية الساخنة. وتأثير توزيعها على المسامية والتوصيل الكهربائي للخلائط الإسفلتية. وجد أن الألياف القصيرة والسميكة تتوزع جيداً ضمن الخلطة الإسفلتية، وأن محتوى الألياف يجب أن يكون 6% لإعطاء نتائج مرضية (Garcia وزملاؤه، 2013).

5- العمل المخبري والبرمجيات المستخدمة Laboratory work and used software:

5-1 العمل المخبري:

من الاختبارات التي أجريت على البيتومين (الغرز - نقطة التميع - درجة الوميض والاشتعال) وعلى المواد الحصوية (التدرج الحبي - الوزن النوعي - الاهتراء (لوس آنجلوس - المكافئ الرملي) وعلى المجبول الإسفلتي (اختبار مارشال والشد غير المباشر) وتم تصميم الخلطة الإسفلتية للعيينة المرجعية باعتماد طريقة مارشال التقليدية.

5-2 البرمجيات المستخدمة:

برنامج 3D Move Analysis لنمذجة طبقات الرصف الإسفلتي بما فيها الطبقة السطحية المكونة من الخلطة الإسفلتية المرجعية والمعدلة بكامل نسب الإضافات في البحث، وهو برنامج تم تطويره في مركز السوبريف في جامعة Nevada في Reno وآخر تحديث له كان عام 2013 وهو يعتمد على النمذجة ثلاثية البعد، ويعتمد طريقة الطبقة المحددة (FLM)، ويشمل التحميل الستاتيكي والديناميكي. ويسمح البرنامج بالتنبؤ لاستجابة الرصيف للإجهادات والانفعالات المتولدة عن الحمولات المتكررة. كما يمكن البرنامج الباحث من إدخال خصائص مواد الطبقات ولا سيما الخلطة الإسفلتية المكونة للطبقة السطحية (الاهتراء والأساس الإسفلتي) من ناحية كونها مرنة خطية أو لزجة مرنة (المعتمدة في البحث) كما ويتميز باعتماد علاقة ووتراك التنبؤية بما يخص عامل المرونة الديناميكي للخلطة الإسفلتية.

6- المواد المستخدمة وخصائصها Materials used and their characteristics:

6-1 البيتومين: تم إحضاره من مصفاة بانياس وتظهر خصائصه في الجدول رقم (1):

الجدول رقم (1) خصائص بيتومين مصفاة بانياس المستخدم في البحث

القيمة	حدود المواصفة	الخاصية/المواصفة
1.025	1.04-1.02	الوزن النوعي / ASTM D70
63-60-59	70/50	الغرز عند درجة حرارة 25C / ASTM D5
47	50-40	نقطة التميع / ASTM D36
331	≥ 232	نقطة الوميض / ASTM D92
339	≥ 232	درجة الاشتعال / ASTM D92

6-2 نفايات الإطارات المطاطية (WRT) Waste Rubber Tires:

تم الحصول على نفايات الإطارات (حبيبات المطاط) بأقطار 1-4 ملم من أحد المحلات التجارية المتخصصة بتوفيره للاستخدام في أرضيات العشب الصناعي للملاعب والمنتزهات، ويبين الجدول (2) التركيب الكيميائي لحبيبات مطاط الإطارات الناتفة وخصائص هذه الحبيبات [10].

الجدول رقم (2) التركيب الكيميائي لحبيبات مطاط الإطارات التالفة (WRT) وخصائصها

التركيب الكيميائي لحبيبات مطاط الإطارات التالفة WRT	
Rubber hydro Carbon	48%
Carbon black	31%
Acetone extract	15%
Ash	2%
Residue Chemical balance	4%
خصائص حبيبات مطاط الإطارات التالفة WRT	
Specific gravity	0.92-0.95
Apparent density(gm/cm ³)	0.45
Tensile resistance (Mpa)	4.2-21
Speed of Combustion	Very slow
Impact effect	Nil
Sunlight effect	Nil
Water absorption	negligible
Weak acids and bases effect	Nil

3-6 الألياف الفولاذية المستخرجة من نفايات الإطارات:

تم الاستفادة أيضاً من أسلاك إطارات السيارات التالفة للحصول على الألياف الفولاذية المستخدمة في البحث، تم تنظيف هذه الأسلاك وتقطيعها يدوياً إلى ألياف تتراوح أطوالها بين 20 إلى 30 ملم وبالكمية اللازمة لإجراء البحث. يبين الجدول رقم (3) خصائص ومواصفات الألياف الفولاذية المستخدمة في البحث وذلك بحسب التجارب المتوفرة التي أجريت عليها وبالاستعانة أيضاً ببعض المراجع المذكورة سابقاً.

الجدول رقم (3) خصائص الألياف الفولاذية المستخرجة من نفايات الإطارات

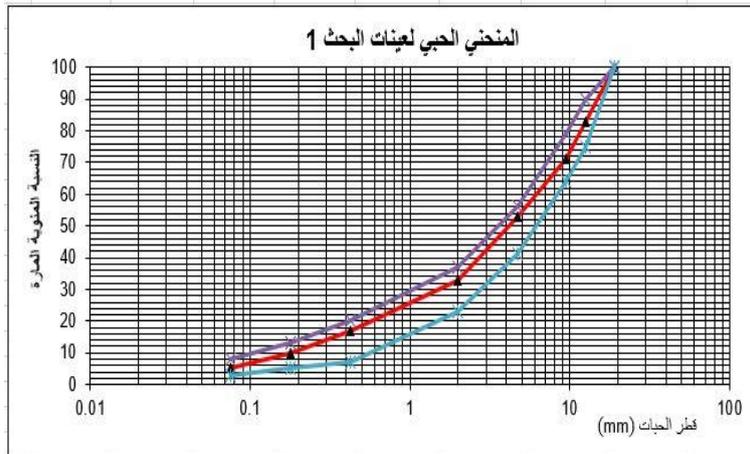
5-1	قطر الليف μm
7.85	الوزن النوعي g/cm^3
200- 600	مقاومة الشد Mpa
195-210	معامل المرونة Gpa
0.5-5	التشوه على الشد %

4-6 المواد الحصوية:

المواد الحصوية الخشنة والناعمة المستخدمة في البحث هي عبارة عن مواد حصوية كلسية متوفرة في مدينة حلب يظهر الجدول رقم (4) والشكل رقم (1) مواصفات المواد الحصوية المستخدمة في البحث:

الجدول رقم (4) مواصفات ونتائج اختبارات المواد الحصوية المستخدمة في البحث

الوزن النوعي الفعّال Gse	الوزن النوعي الظاهري Gsa	الوزن النوعي الحجمي (الجاف) Gsb (Dry)	الوزن النوعي الحجمي (المشبع) Gsb (SSD)	نوعية الحصويات
2.600	2.674	2.525	2.581	الخشنة 47%
2.700	2.703	2.564	2.615	الناعمة 48%
2.618	2.725	-	2.511	الفيلر 5%
2.650	-	-	2.594	المواد الحصوية
32.3			عامل لوس أنجلوس (الاهتراء) % 35>	
56			المكافئ الرملي 50<	



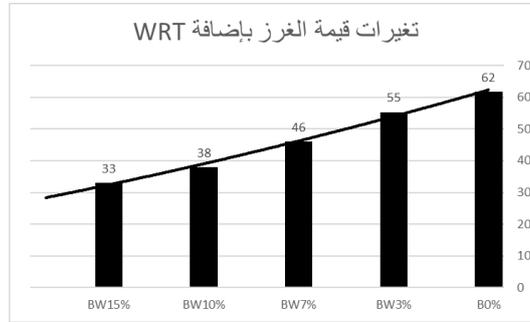
الشكل رقم (1): التحليل الحبي للعينات الحصوية المستخدمة في البحث

7- النتائج والمناقشة Results and discussion:

- سُجلت قراءات الاختبارات المتعلقة بالبيتومين الخام (B0%) وكذلك البيتومين المعدل بإضافة نفايات الإطارات المطاطية وفق النسب التالية (3 – 7 – 10 – 15) % كنسبة وزنية من البيتومين لتصبح العينات كالتالي (B0% ، Bw3% ، Bw7% ، Bw10% ، Bw15%).
- تم تصميم الخلطة الإسفلتية المكونة من المواد الحصوية المستعملة في البحث بعد تقسيمها إلى كميات بوزن (1200) غرام بالنسب التالية (المواد الخشنة 47%، المواد الناعمة 48%، الفيلر 5%) وبالتدرج الحبي المبين بالشكل (1) وبعدد العينات اللازمة لكامل البحث، وباستخدام البيتومين الخام وبطريقة مارشال لتصميم الخلطات الإسفلتية وفق الخطوات الشهيرة والمعمول بها تم التوصل إلى نسبة البيتومين الأصولية.
- تم تعديل البيتومين بإضافة النسب المذكورة من الحبيبات المطاطية المستخدمة في البحث في كل مرة بالطريقة اليدوية بتسخين البيتومين إلى درجة وصلت (160) درجة مئوية مع الخلط المستمر حتى إذابة الكمية المضافة إلى درجة امتزاجها بشكل متجانس مع البيتومين. ومن ثم إعداد الخلطات الإسفلتية المقابلة لكل إضافة.

تم إعداد عينات من الخلطات الإسفلتية المعدة من البيتومين الخام والبيتومين المعدل بالحبوبات المطاطية ومن ثم إعداد عينات من الخلطات الإسفلتية المضاف لها الألياف الفولاذية المستخرجة من نفايات الإطارات والمقطعة يدوياً بأطوال (2 – 3) سم كنسبة وزنية من الخليط الإسفلتي كما يلي (0.5 – 1 – 2) % وذلك بالخط اليدوي ومن ثم استخدام قوالب مارشال والمطرقة ذاتها المستخدمة في ذلك وبواقع 75 طرقة على كل جانب.

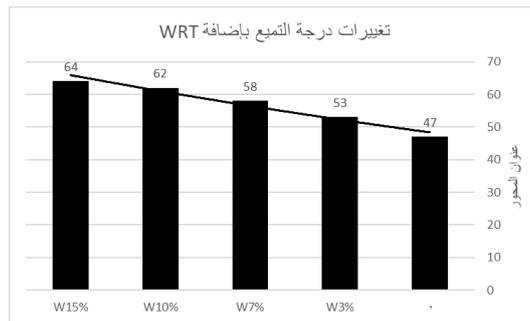
7-1 اختبار الغرز للبيتومين



الشكل رقم (2) تغيرات قيمة الغرز بإضافة WRT

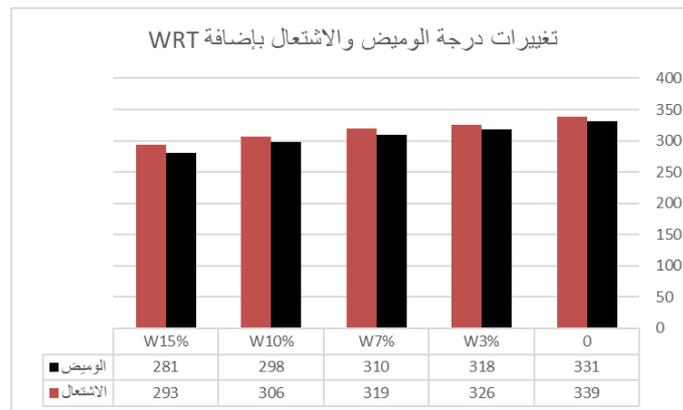
تعطي قيم اختبار الغرز انطباعاً عن قساوة أو ليونة البيتومين في درجة الحرارة 25 درجة مئوية وتظهر النتائج زيادة قساوة البيتومين عند إضافة نفايات الإطارات المطاطية طردياً.

7-2 اختبار تحديد نقطة التميع للبيتومين



الشكل رقم (3) تغيرات درجة التميع بإضافة WRT

7-3 اختبار تحديد درجة الوميض والاشتعال للبيتومين



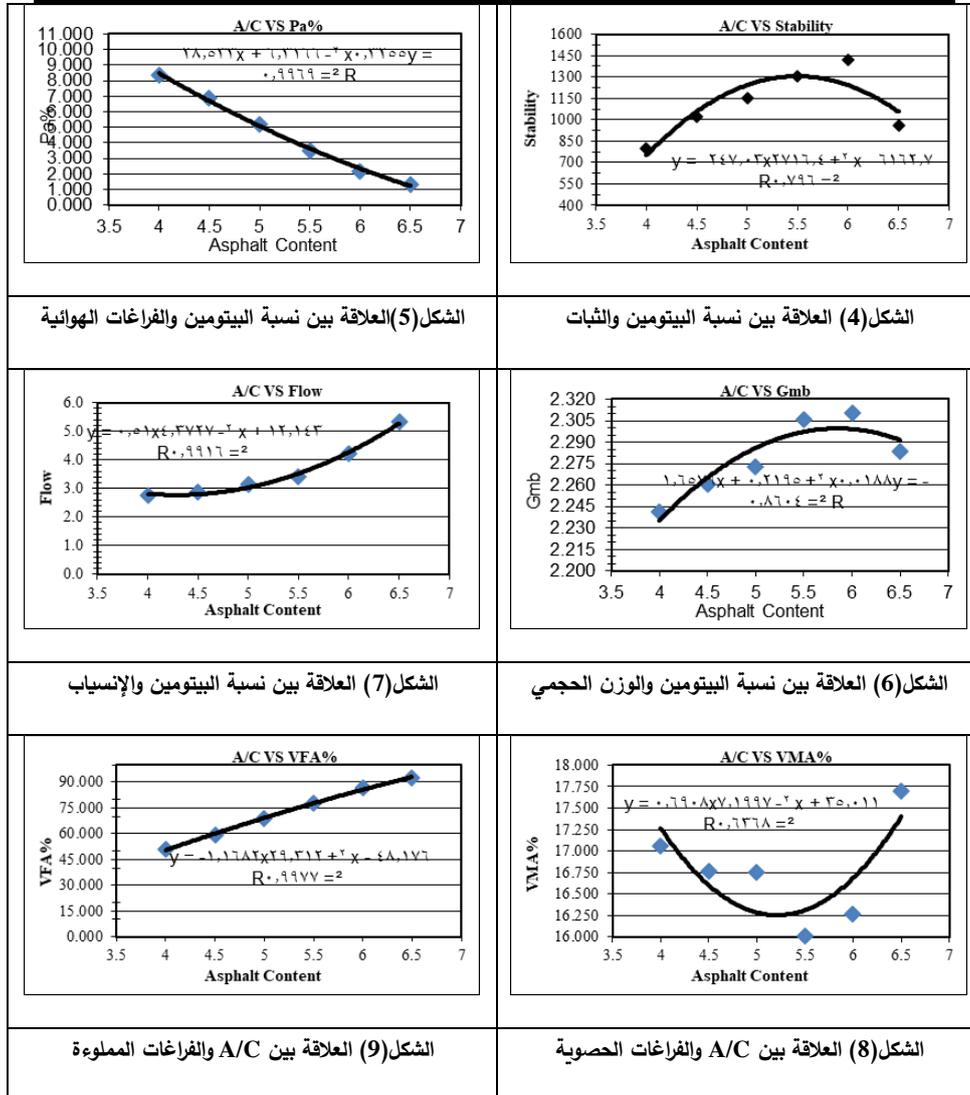
الشكل رقم (3) تغيرات كل من درجة الوميض والاشتعال بإضافة WRT

من خلال الأشكال السابقة تتبين العلاقة بين ارتفاع درجات حرارة البيتومين المستمرة والحالة الفيزيائية للبيتومين، وبالتالي فإن وجود نفايات الإطارات المطاطية مع البيتومين يعطي البيتومين زيادة في درجات الحرارة اللازمة للوصول إلى كل من نقطة التميع والوميض والاشتعال وبشكل طردي مع نسب الإضافة المعتمدة في البحث.

4-7 تصميم الخلطة الإسفلتية وفق مارشال:

الجدول رقم (5) : خصائص الخلطة الإسفلتية المقابلة لكل نسبة إضافة من البيتومين بحسب مارشال

النسبة	الثبات	الإنسياب	الوزن النوعي الحجمي	الفراغات الهوائية	فراغات المواد حصى	الفراغات المليئة بالإسفلت
%	kg	mm	Gmb	Pa%	VMA%	VFA%
4	800	2.75	2.241	8.35	17.05	51.02
4.5	1023	2.86	2.261	6.86	16.77	59.11
5	1150	3.14	2.273	5.21	16.75	68.90
5.5	1303.86	3.41	2.306	3.53	16.01	77.93
6	1420	4.2	2.311	2.17	16.27	86.68
6.5	960	5.33	2.283	1.36	17.70	92.33



ويبين الجدول رقم (6) القيم التصميمية للمجبول الإسفلتي المرجعي في البحث:

الجدول رقم (6) خصائص الخلطة الإسفلتية المقابلة للمحتوى الأمثل من البيتومين OBC

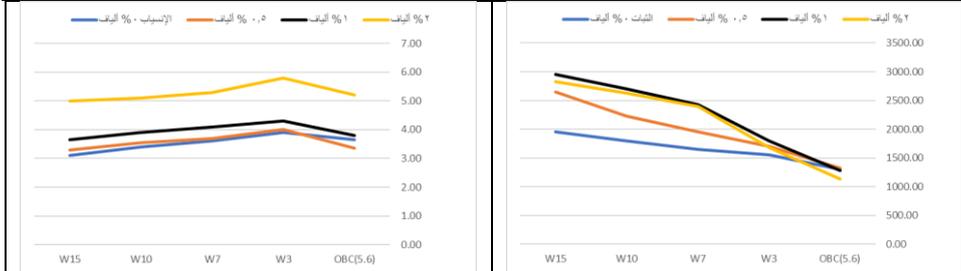
الحدود	القيمة	الموصفة
-	5.6	نسبة البيتومين الأصلية OBC(%)
1100<	1303	الثبات Stability(Kg)
4-2	3.649	الانسياب Flow(mm)
-	2.297	الوزن النوعي الحجمي Gmb
5-3	3.37	نسبة الفراغات الهوائية Pa(%)
14<	16.4	نسبة فراغات المواد الحصوية VMA(%)
85-65	79.3	نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين VFA(%)

5-7 اختبارات الخلطة الإسفلتية:

1-5-7 اختبار مارشال:

الجدول رقم (7): نتائج اختبار مارشال على عينات البحث

النسبة	الثبات	الانسياب	الوزن النوعي الحجمي	الفراغات الهوائية	الفراغات الحصوية	الفراغات المليئة
%	kg	mm	Gmb	Pa%	VMA%	VFA%
OBC(5.6)	1302.28	3.65	2.297	3.37	16.36	79.30
W3	1550.00	3.90	2.295	2.75	16.63	83.44
W7	1650.00	3.60	2.294	4.26	16.86	74.76
W10	1800.00	3.40	2.287	3.46	17.27	79.95
W15	1950.00	3.10	2.275	4.01	17.95	77.66
OBC+0.5%F	1325.00	3.35	2.281	3.38	16.99	80.08
W3+0.5%F	1700.00	4.00	2.286	3.09	16.96	81.75
W7+0.5%F	1950.00	3.70	2.283	3.30	17.26	80.86
W10+0.5%F	2225.00	3.55	2.281	3.43	17.48	80.38
W15+0.5%F	2650.00	3.30	2.271	3.57	18.09	80.28
OBC+1%F	1280.00	3.80	2.288	3.67	16.74	78.06
W3+1%F	1800.00	4.30	2.275	4.14	17.36	76.17
W7+1%F	2425.00	4.10	2.272	4.34	17.66	75.41
W10+1%F	2700.00	3.90	2.270	4.47	17.88	75.01
W15+1%F	2950.00	3.66	2.260	4.61	18.49	75.08
OBC+2%F	1135.00	5.20	2.260	6.98	17.75	60.67
W3+2%F	1680.00	5.80	2.262	6.82	17.82	61.74
W7+2%F	2400.00	5.30	2.265	6.77	17.91	62.17
W10+2%F	2625.00	5.10	2.270	6.61	17.87	63.03
W15+2%F	2825.00	5.00	2.265	6.54	18.30	64.28



الشكل رقم (11): الانسياب لعينات البحث

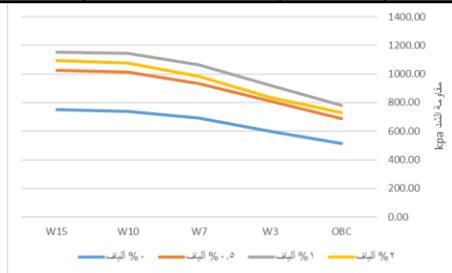
الشكل رقم (10): تغير قيم ثبات مارشال بحسب نسب التعديل

يتبين من دراسة الشكل (10) الذي يظهر ارتفاع قيمة الثبات من قيمة 1303 kg إلى قيم تصل إلى أكثر من 2950 kg وبنسبة 126% والتي تقابل إضافة 15% حبيبات المطاط للإطارات التالفة و 1% ألياف معدنية، ومن جهة أخرى الحفاظ على قيم انسياب متقاربة للإضافات باستثناء نسبة الإضافة 2% من الألياف حيث ارتفع الانسياب إلى قيم أكبر من 5mm.

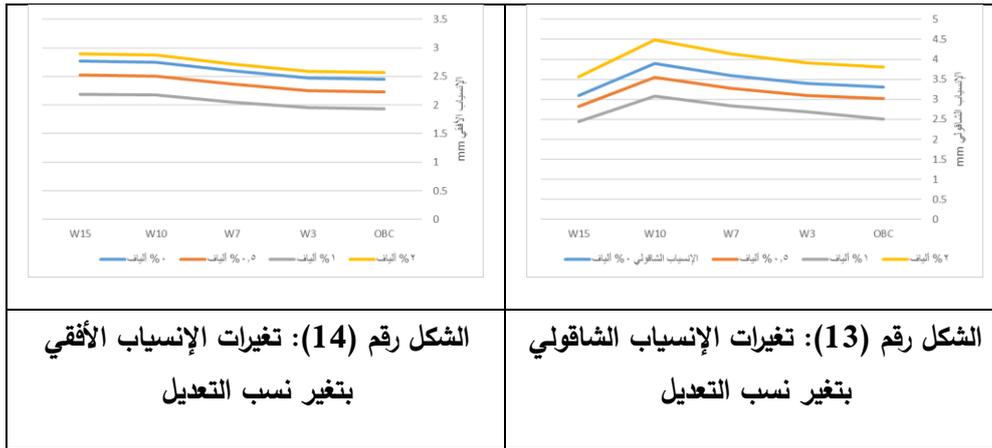
7-5-2 اختبار الشد غير المباشر:

الجدول رقم (7): نتائج اختبار الشد غير المباشر على عينات البحث

الارتفاع العينة	قطر العينة	حمولة الإنهيار	مقاومة الشد غير المباشر ITS	مقاومة الشد ITS	الإنسياب الشاقولي	الإنسياب الأفقي	العينة
mm	mm	N	N/mm ² (Mpa)	KPa	mm	mm	
65.1	101.6	5350	0.5149	514.94	3.31	2.45	OBC
65	101.6	6230	0.6006	600.57	3.4	2.47	W3
65.6	101.6	7250	0.6925	692.50	3.6	2.6	W7
67	101.6	7900	0.7388	738.82	3.9	2.75	W10
66.7	101.6	7975	0.7492	749.19	3.1	2.77	W15
66	101.6	7222.5	0.6857	685.69	3.01	2.23	OBC+0.5%F
65.2	101.6	8410.5	0.8083	808.28	3.09	2.25	W3+0.5%F
65.7	101.6	9787.5	0.9335	933.45	3.28	2.37	W7+0.5%F
65.9	101.6	10665	1.0141	1014.06	3.55	2.50	W10+0.5%F
65.8	101.6	10766.25	1.0252	1025.24	2.82	2.52	W15+0.5%F
66.4	101.6	8292.5	0.7825	782.54	2.5	1.94	OBC+1%F
65.9	101.6	9656.5	0.9182	918.17	2.686	1.95	W3+1%F
66.2	101.6	11237.5	1.0636	1063.65	2.844	2.05	W7+1%F
67.1	101.6	12245	1.1435	1143.47	3.081	2.17	W10+1%F
67.3	101.6	12361.25	1.1509	1150.89	2.449	2.19	W15+1%F
65.3	101.6	7597	0.7290	728.98	3.8065	2.56	OBC+2%F
66.2	101.6	8846.6	0.8373	837.35	3.91	2.58	W3+2%F
65.6	101.6	10295	0.9834	983.35	4.14	2.72	W7+2%F
65.3	101.6	11218	1.0764	1076.44	4.485	2.88	W10+2%F
64.8	101.6	11324.5	1.0950	1095.04	3.565	2.90	W15+2%F



الشكل رقم (12): غيرات مقاومة الشد غير المباشر بتغيير نسب التعديل



يظهر الشكل (12) التأثير الإيجابي لحبيبات المطاط على مقاومة الخلطة الإسفلتية لإجهادات الشد غير المباشر وذلك بزيادة مقاومة الشد غير المباشر من 514.9 kpa إلى 749 kpa مما يعني زيادة التصاق وتماسك حبات المواد الحصوية فيما بينها وزيادة قساوة البيتومين المعدل مع الحفاظ على مرونته المطلوبة حيث تظهر الأشكال (13) و (14) على ذلك بانخفاض قيمة كل من الانسياب الأفقي والشاقولي بإضافة حبيبات المطاط، والنسبة الأمثل من إضافة الألياف هي 1% حيث ازدادت المقاومة إلى 1151 kpa مما يدل على الإضافة التي قدمت الألياف المعدنية بهذا الخصوص، وعلى العكس تماماً فإن زيادة نسبة الألياف عن 1% جعل تأثير الألياف المعدنية مفككاً للخلطة حيث أدى إلى انفصال حبات المواد الحصوية عن بعضها البعض وهذا يتوافق مع النتائج التي تم التوصل إليها من خلال اختبار مارشال من حيث زيادة قيم الثبات للخلطة عند ذات الإضافات.

6-7 التنبؤ باستجابة الرصيف باستخدام برنامج 3D Move Analysis:

المدخلات:

- نوع التحليل المستخدم في البحث هو التحليل الديناميكي وسرعة المركبة 70 km/hr وهي السرعة الوسطية في سورية الخطيب (2011).
- نظام الوحدات الدولية SI Units.
- اختيار نوع التحميل بتكوين بيانات المحور وتوزيع ضغط التلامس للإطار وبوجود ستة أنواع منها تم تحديد الخيار الأول والمتضمن حالات تحميل مسبقة، تتنوع فيها أنواع التوزيع وتم اختيار الحالة رقم "3" حيث الحمل المحوري المزدوج الإطار يمثله أربع مناطق تلامس بيضوية، كما يُفترض أن يكون ضغط التلامس منتظماً فوق منطقة التلامس، وحمولة نصف المحور 90 كيلو نيوتن (22.5 كيلو نيوتن / إطار).
- معلومات حركة المرور الخاصة بالتحليل تم اعتماد العمر التصميمي الشائع وهو 20 عاماً بعدد دورات تحميل كلي 3,564,000/دورة تحميل.
- خصائص طبقات الرصف: تم ادخال بيانات الطبقة الإسفلتية المكونة من طبقتي الاهتراء والأساس البيتوميني كطبقة واحدة حيث افترضت حالة الالتصاق التام واعتماد السلوكية المرنة اللزجة كون عامل المرونة الديناميكي لطبقة المبول الإسفلتي تم احتسابه وفق العلاقة التنبؤية لمعهد الإسفلت وذلك لدرجات الحرارة 5 – 25 – 40 درجة مئوية ولثلاث ترددات هي 0.1 – 0.5 – 1 هرتز.
- النموذج التنبؤي لمعهد الإسفلت المستخدم في الدراسة التي يتم فيها تحديد المعامل الديناميكي Igwe (2016):

$$E^* = 100000 * (10^{\beta_1}) \quad (1)$$

$$\beta_1 = \beta_3 + 0.000005 * \beta_2 - 0.00189 * \beta_2 * f^{-1.1} \quad (2)$$

$$\beta_2 = \beta_4^{0.5} * T^{\beta_5} \quad (3)$$

$$V_a + 0.07037 * \lambda + 0.931757 * f^{-0.02774} - 0.03476 * \beta_3 = 0.553833 + 0.028829 (P_{200} f^{-0.1703}) \quad (4)$$

$$\beta_4 = 0.483 * V_b \quad (5)$$

$$\beta_5 = 1.3 + 0.49825 * \log(f) \quad (6)$$

حيث:

E^* (psi): معامل المرونة الديناميكي للخلطة الإسفلتية.

f (Hz): تكرار التحميل.

T (°F): درجة حرارة الطبقة السطحية.

V_a (%): نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الإسفلتية.

λ (10^6 poises): لزوجة البيتومين المستخدم في درجة الحرارة 77°F or 25°C

P_{200} (%): نسبة المواد الحصوية الوزنية المارة من المنخل No. 200

V_b : حجم البيتومين ضمن الخلطة الإسفلتية:

وتحسب قيمة اللزوجة من العلاقة التالية:

$$\text{Log } \lambda = 10.5012 - 2.2601 * \log(\text{pen}) + 0.00389 * \log_2(\text{pen})$$

(Pen): درجة الغرز للبيتومين المستخدم عند درجة الحرارة 77°F or 25°C .

اللزوجة مقدره بالبواز (poises).

أما عن خصائص باقي الطبقات فقد تم افتراضها وفق بعض المراجع لدورها الثابت في المقارنة ويبين الجدول (8) بيانات كل من طبقة الأساس وما تحت الأساس وتربة الاستناد. الخطيب (2011).

الجدول رقم (8): خصائص كل من طبقة الأساس وما تحت الأساس وتربة الاستناد

الطبقة	CBR	بواسون μ	الوزن النوعي	عامل المرونة الديناميكي
			G	E
الأساس- Base	80	0.35	19	290000
ما تحت الأساس- Sub Base	50	0.38	17	215000
تربة المسار- Sub Grade	7	0.4	12	61000

البرنامج مجهز بنموذجين للتنبؤ باستجابة الرصيف: نموذج NCHRP 1-37A ونموذج VESYS الذي تم اعتماده في البحث.

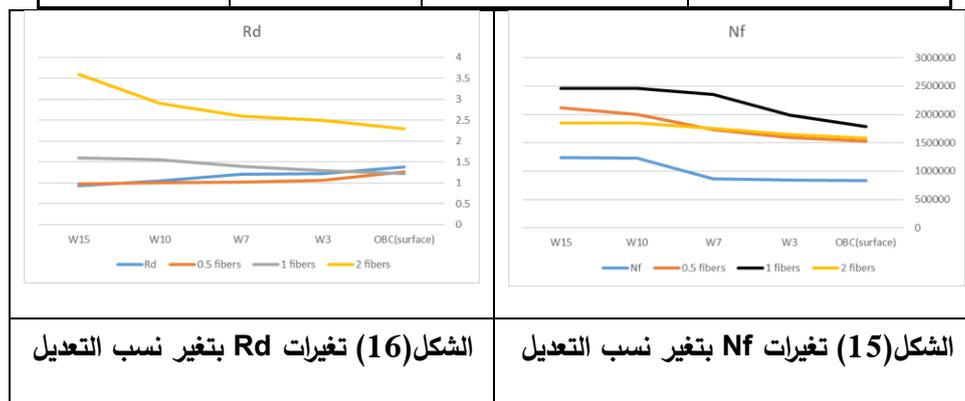
يحتوي نموذج VESYS على أوضاع لفشل الرصيف عند تكرار الحمولات المحورية وفق عدة معايير منها معيار التعب والتخدد... إلخ، وهي المعايير التي تم اختيارها من استخدام هذا النموذج حيث يعبر عن معيار التعب بعدد مرات التحميل حتى الوصول للانتهيار (N_f) أما معيار التخدد فيعبر عنه ب (R_d) عمق التخدد.

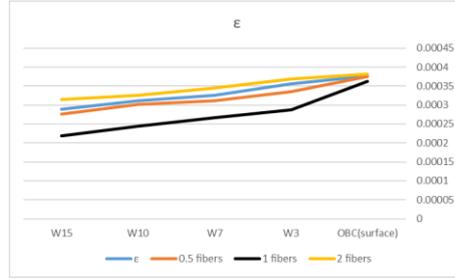
يمكن البرنامج المستخدم من تحديد النقاط المطلوب دراسة استجابة الرصيف عندها (إجهادات - انفعالات - انتقالات ... وذلك لكامل محاور الإحداثيات (X, Y, Z) ، وذلك لكامل طبقات الرصف كما يحدد البرنامج افتراضياً العديد من هذه النقاط.

يبين الجدول (9) قيم كل من (Nf) عدد مرات التحميل المحتملة لانهايار الرصيف و (Rd) عمق التخدد و (ε) انفعال الشد الأعظمي أسفل الطبقة السطحية الإسفلتية والتي تم التوصل إليها بالاعتماد على برنامج 3D Move
:Analysis

الجدول رقم (9): استجابة الرصيف المدروس تحت الأحمال المتكررة

Rd عمق التخدد في الطبقة السطحية	ε انفعال الشد الأعظمي أسفل الطبقة السطحية	Nf عدد دورات التحميل حتى الانهيار	العينة
1.38	0.000378	838384	OBC
1.35	0.000356	840628	W3
1.3	0.000325	865008	W7
1.2	0.000311	1225316	W10
1.12	0.000289	1235458	W15
1.26	0.000375	1525021	OBC+0.5%F
1.25	0.000335	1595212	W3+0.5%F
1.22	0.000312	1730258	W7+0.5%F
1.16	0.000301	1995626	W10+0.5%F
1.08	0.000277	2121210	W15+0.5%F
1.23	0.000362	1781566	OBC+1%F
1.2	0.000288	1985452	W3+1%F
1.17	0.000267	2352168	W7+1%F
1.12	0.000244	2458568	W10+1%F
1.03	0.000219	2460001	W15+1%F
2.3	0.000382	1582031	OBC+2%F
2.5	0.000369	1652154	W3+2%F
2.6	0.000345	1752515	W7+2%F
2.9	0.000325	1847684	W10+2%F
3.6	0.000315	1854624	W15+2%F





الشكل رقم (17) : تغيرات انفعال الشد الأعظمي أسفل الطبقة السطحية بتغير نسب التعديل

من خلال الأشكال السابقة وبالمقارنة بين القيم التي تم التوصل إليها باستخدام النمذجة الرياضية والعلاقات التنبؤية المستخدمة في البحث يتبين التقارب فيما بينها وبين النتائج التي تم التوصل إليها من خلال التجارب المخبرية حيث: إن ازدياد قيمة الحمولات المتكررة حتى الوصول للانهييار وذلك بتعديل البيتومين بحبيبات المطاط وإضافة الألياف الفولاذية للمخاطة الإسفلتية يقابله ارتفاع قيمة الثبات في اختبار مارشال وازدياد مقاومة الشد غير المباشر بهذه الإضافات، وبانخفاض قيمة عمق التحدد دلالة واضحة على تحسن أداء البيتومين المعدل بالحبيبات.

8- الاستنتاجات conclusions:

- إن تعديل الرابط البيتوميني بحبيبات مطاط الإطارات التالفة يحسن من أداء المجدول الإسفلتي وكذلك إضافة الألياف الفولاذية المستخرجة من نفايات الإطارات.
- تزداد قيمة ثبات مارشال من 1303 كغ للعينة المرجعية إلى 1950 كغ للعينة المعدلة بنسبة 15% حبيبات المطاط وتصل إلى 2950 كغ عند إضافة ألياف فولاذية بنسبة 1% إلى ذات العينة.
- تزداد قيمة مقاومة الشد غير المباشر من 514 kpa للعينة المرجعية إلى 738 kpa للعينة المعدلة بنسبة 10% حبيبات المطاط وتصل إلى 1143 kpa عند إضافة ألياف فولاذية بنسبة 1% إلى ذات العينة، وكذلك إلى 749 kpa للعينة المعدلة بنسبة 15% وتصل إلى 1150 kpa عند إضافة ألياف فولاذية بنسبة 1% إلى ذات العينة.
- تسبب زيادة نسب الإضافة عن 2% من الألياف الفولاذية انخفاض في ثبات ومقاومة العينات وكذلك ارتفاع في قيم الانسياب الشاقولي والأفقي مما يعني تفكك العينات.
- ارتفاع عدد دورات التحميل حتى الوصول إلى انهيار الرصيف من قيمة /838384/ عند المجدول الإسفلتي المرجعي إلى قيمة /2460001/ عند المجدول الإسفلتي المعدل بنسبة 15% حبيبات المطاط و 1% ألياف فولاذية أي بمقدار ثلاثة أضعاف، وكذلك انخفاض في عمق التحدد للطبقة السطحية من /1.38/ إلى /1.03/ وبنسبة 34%.
- انخفاض قيمة انفعال الشد أسفل الطبقة السطحية الإسفلتية للعينات السابقة من قيمة /0.000378/ ملم إلى /0.000219/ وبنسبة 72% مما يدل على نجاح استثمار الألياف الفولاذية المستخرجة من نفايات الإطارات في الرصف الإسفلتي.

9- التوصيات Recommendations:

- استخدام الرابط البيتوميني المعدل بحبيبات مطاط نفايات الإطارات بنسبة 10 إلى 15 % من وزنه وإمكانية إضافة الألياف الفولاذية المستخرجة من نفايات الإطارات بأطوال 2 – 3 سم إلى المجدول الإسفلتي المصمم برابط بيتوميني معدل بهذه الحبيبات حتى نسبة 1% من وزن المجدول وبالتالي التخفيف من نفايات الإطارات في الجمهورية العربية السورية.
- توسيع البحث بإجراء اختبارات يمكن أن تتوفر على مواد البحث (الاستطالة – عارضة الإنحاء – القص ثلاثي المحاور – عجلة هامبورغ... إلخ).

المراجع العربية:

- 1- الخطيب، مسوتي، سعود، (2011). تصميم طبقة تقوية طبقات الرصف الإسفلتية مثال على ظروف سورية. أطروحة دكتوراه مقدمة لجامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية، 175 صفحة.
- 2- Abtahi, S.M., Sheikh Zadeh, M., Hejazi, S.M,(2010). “**Fiber–reinforced asphalt–concrete – A review**”, Construction and Building Materials 24, 871–877
- 3- Al–Ridha A.S.D., Hameed, A., Ibrahim, S.K, (2004). “**Effect of steel Fiber on the Performance of Hot Mix Asphalt with Different Temperature sand Compaction**”, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 8(6) ,123–132
- 4- California Department of Transportation. (2003) ASPHALT RUBBER USAGE GUIDE, January, 2003.
- 5- ETRA, (2006). **Tire Technology International – Trends in tire Recycling**. <https://www.etra-eu.org/>.
- 6- Garcia, A., NorAm Buena–Contreras, J., Parti, M.N., Schuetz, P. (2013). “**Uniformity and mechanical properties of dense asphalt concrete with steel wool fibers**”, Construction and Building Materials 43,107–117.
- 7- Guo, J.F. (2004). “**The Effect of Steel Fiber on the Road Performance of Asphalt Concrete**”, Applied Mechanics and Materials, 584–586.
- 8- IGWE, E. A., (2016), “**Comparative Study of Asphalt Institute–Witczak 1–40D Dynamic Moduli for Polythene Bag Modified HMA Concrete Using Predictive Models**”, International Journal of Innovative Science. 3(5), 47–55.
- 9- Putman, B.J., Amirkhani, S.N., “**Utilization of waste fibers in stone matrix asphalt mixtures**”, Resources, Conservation and Recycling 42. 265–274
- 10- SHARP–A–341. (DC1993) Fundamental Properties of Asphalt –Aggregate Interaction Including Adhesion And Absorption. Highway Research Program National Research Council Washington.
- 11- Wu, S., Liu, G., Mo, L., Chen, Z., Ye, Q, (2006). “**Effect of fiber types on relevant properties of porous asphalt**” Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 16. 791–795
- 12- YILDIRIM, Y. **Polymer modified asphalt binders**. Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 1, January 2007, Pages 66–72.