استخدام المخلفات البلاستيكية (قناني المياه البلاستيكية) كمحسن لخواص مارشال للخلطة الإسفلتية

م. كمال الطاهر البكوش[1*] ، د. محمد خليفة علي[2]

[1] محاضر بقسم الهندسة المدنية كلية الهندسة رقدالين – جامعة صبراتة

[2] أستاذ بقسم الهندسة المدنية كلية الهندسة – جامعة طرابلس

*kamaletaher61@gmail.com

الملخص

تتميز ليبيا بمناخ معتدل نسبيا شمالا ومناخ صحراوي (حار جاف) جنوبا، حيث تتصف مناطق المناخ الصحراوي بارتفاع درجة حرارتها وانخفاض معدل سقوط الأمطار بالإضافة إلى التغير الكبير في درجات الحرارة بين الليل والنهار؛ لذلك ظهرت العديد من المشاكل في الرصف كان نتيجتها ضعف في أداء الرصف المرن في مشروعات الطرق بتلك المناطق، ومن أهم هذه المشاكل حدوث تصلب مبكر للإسفلت مما أدى إلى ظهور تشققات مبكرة تؤدي إلى الانهيار المبكر للرصف. (عبد المهيمن إبراهيم الدب واخرون، 2018).

ونظرا لعدم جدوى عمليات الصيانة التي أجريت على بعض الطرق المتضررة، فقد كان من الضروري إيجاد تقنيات بديلة لمعالجة هذه الظاهرة. من هنا كان لا بد من التركيز على طرق جديدة لتحسين خواص الرابط البيتومينى ومن ثم تعديل الخلطات البيتومينية وتحسين أدائها. إن استخدام مواد المخلفات في الرصف الإسفلتي يكون مفيدا من أجل إيجاد حل بديل لزيادة عمره والحد من التلوث البيئي كذلك التقليل من الكلفة الاقتصادية لإنشاء الطرق وكلفة الصيانة. واحدة من هذه المخلفات هي قناني المياه البلاستيكية (البولي ايثيلين ثيريفثاليت) التي يتم إنتاجها بكمية كبيرة، في هذا العمل الحالي البولي ايثيلين تيريفثاليت استخدم للتحقق في مدى إمكانية استخدام قناني المياه البلاستيكية (البولي ايثيلين ثيريفثاليت)

كبوليمر مضاف في خليط الإسفلت للتغلب على مشاكل الرصف، فلقد تمت إضافة خمس نسب مختلفة من قناني المياه البلاستيكيه (4%، 6%، 8%، 10%، 12%) من وزن الإسفلت الأمثل لتحضير عينات مارشال. أشارت النتائج إلى محتوى التحسين الأمثل ليكون عند نسبة (8%) لمخلفات قناني المياه البلاستيكية المحسن للخلطة الإسفلتية حيث وجد بأنها تعطي أقصى قدر من الثبات، الصلابة، وفراغات مليئة بالإسفلت، والحد الأدنى من فراغات الهواء، مقارنة بالخلطة غير المحسنة.

الكلمات الرئيسية: تصلب مبكر للإسفلت؛ تقنيات بديلة؛ الخلطة الإسفلتية؛ التلوث البيئي؛ المخلفات البلاستيكية (البولي ايثيلين).

Abstract

Libya has a relatively mild climate to the north and a desert climate (hot - dry) to the south، where desert climates are characterized by high temperature and low rainfall as well as the large temperature changes between night and day. Therefore، there were many problems in paving، which resulted in poor performance of flexible pavement in road projects in these areas. The most important of these problems is the early hardening of the asphalt، resulting in early cracks that lead to the early collapse of the pavement.

Due to the futility of maintenance operations on some of the damaged roads، it was necessary to find alternative techniques to address this phenomenon. Hence the idea of adding materials for asphalt or asphalt mix to develop and improve their performance.

The use of waste materials in asphalt pavement is useful for finding an alternative solution to increase its age and reduce environmental pollution as well as reduce the economic cost of road construction and maintenance cost. One of these wastes is polyethylene water bottles produced in large quantities. In this work، polyethylene terephthalate was used to verify the possibility of using polyethylene water terephthalate as a polymer added to the asphalt mixture to overcome pavement problems. Five different percentages of plastic water bottles (4%، 6%، 8%، 10% and 12%) were added to the optimum asphalt weight for Marsh preparation For. The results indicated the optimum improvement content to be (8%) for waste water bottles improved for asphalt mixtures where it was found to give maximum stability، rigidity، asphalt-filled spaces، and minimum air voids، compared to the improved mix.

المقدمة

مع تطور حركة المواصلات ونتيجة الكثافة المرورية المتازيدة المولدة للإجهادات الحاصلة على سطح الطريق فإن الحاجة دعت إلى البحث الدائم والمستمر عن مواد جديدة مقاومة لتأثير العوامل المناخية والديناميكية التي يتعرض، لها الطريق وخاصة في الطبقات العلوية (طبقات التغطية البيتومينية) التي يجب أن تؤمن المقاومة الكافية تجاه هذه العوامل والحماية اللازمة لطبقات الرصف الأدنى وبما أن البيتومين هو أحد المواد الأساسية الداخلة في تشكيل الخلطات البيتومينية، كان لا بد من التركيز على طرق جديدة لتحسين خواص الرابط البيتوميني ومن ثم تعديل الخلطات البيتومينية وتحسين أدائها (رناء درويش واخرون،2014)، وذلك باستخدام العديد من الإضافات منها: المواد المبلمرة، الكبريت، المواد المعدنية، الصوف الزجاجي والمطاط الطبيعي والصناعي والمواد المالئة، بعض هذه المواد أضيفت كنسبة من وزن البيتومين وبعضها الآخر كنسبة من وزن الركام.

(H. Naghawi، 2018) ويتركز العمل في هذه الدراسة على تأثير إضافة مخلفات البلاستيك كبديل جزئي للبيتومين في الخلطة البيتومينية باستخدام طريقة مارشال ومقارنتها مع مخلوط بيتوميني خال من المواد المضافة، وجاءت فكرة هذه الدراسة لتحسين أداء الخلطة الإسفلتية، وكذلك للاستفادة من المخلفات البلاستيكية والحفاظ على البيئة وأيضاً التقليل من الكلفة الاقتصادية لإنشاء الطرق وكلفة الصيانة. حيث تم اختيار نوع واحد من أنواع البلاستيك وهو البولي إيثيلين تيرفثالات المستخدم في صناعة قناني المياه البلاستيكية.

المواد المستخدمة والبرنامج العملي

الإسفلت

الأسفلت المستخدم في هذا البحث هو الأسفلت النفطي (تدرج 60\ 70) الذي تم إحضاره من مصفاة الزاوية (40 كيلومتر للغرب من مدينة طرابلس)، وكانت الاختبارات المعملية التي أجريت لتقييم خصائص البيتومين هي: الوزن النوعي، واللدونة، والغرز، ونقطة التليين. والجدول (1) يوضح خواص الإسفلت.

جدول (1): خواص الإسفلت

الخاصية	الاختبار	النتيجة	حدود المواصفات	ملاحظات	التقييم
اللزوجة – الغرز	الغرز	66.6 dm	60 – 70	AASHTO(T49)	OK
الاستطالة	الاستطالة	>100 cm	>100 cm	AASHTO(T51)	OK
التلين	نقطة التلين	52 C°	35 - 70 C°	AASHTO(T53)	OK
الوميض	نقطة الوميض	180 C	180 - 200	AASHTO(T48)	Ok
الاشتعال	نقطة الاشتعال	200 C°	200 - 232	AASHTO(T48)	OK
الفقد الحراري	الفقد الحراري	0.48 %	< 1%	AASHTO(T47)	Ok
الذوبان	الذوبان	0 %	< 1%	AASHTO(T44)	Ok

الركام

الركام هو المادة الرئيسية الثانية في الخلطة الإسفلتية. والركام المستعمل في هذه الدراسة هو ركام طبيعي يتم إنتاجه بالمحاجر وذلك بتفتيت الصخور الكبيرة إلى أحجام أصغر منه، ومنه يتم نخلها بمناخل قياسية إلى الأحجام المطلوبة لإعداد الخلطة البيتومينية. استخدم في هذه الدراسة ركام طبيعي تم الحصول عليه من (كسارة البركة) بمنطقة وادي الحي جنوب مدينة الزاوية ونوعه صخر حجر جيري رسوبي ويوضح الجدول (2) نتائج الاختبارات التي أجريت على الركام الذي استخدم في هذه الدراسة.

جدول (2): نتائج الاختبارات التي أجريت على الركام المستخدم في الدراسة

State الحالة	Notes الملاحظات	Sp.limits حدود المواصفات	Results النتائج	Test الاختبارات	Property الخاصية
O.K	BS812:P3 (85)	%30 >	25.17%	Aggregate crushing value اختبار التهشيم	Strength القوة
O.K	BS812:P3 (85)	%30 >	21.8%	Los Angeles Abrasion Value اختبار البري	Strength القوة
O.K	BS812:P 3(85)	%45 >	14.7%	Aggregate Impact value اختبار الصدم	Strength القوة
O.K	BS812:P2 (75)	(2.7-2.6)	2.682	اختبار الكثافة النوعية Specific gravity للركام of agg.	Specific gravity الكثافة النوعية
O.K	BS8535:1980	%2.5 >	1.8%	اختبار نسبة الامتصاص Absorption of aggregate	الامتصاص Absorption

بولي إثيلين ثيرفيثالات Polyethylene Terephthalate (PET)

وهو مبلمر ملدن حراريا من عائلة مبلمرات عديد الإستر ويستخدم لتصنيع أحد أنواع ألياف النسيج الاصطناعية، وقناني تغليف المياه والأطعمة والسوائل الأخرى، وفي تطبيقات تشكل اللدائن بالحرارة، ومادة رابطة للألياف الزجاجية في المواد الهندسية. 60% من أنتاج PET في العالم يستخدم في الألياف الصناعية، وحوالي 30% يمثل أنتاج الزجاجات البلاستيكية. وعندما يكون الحديث عن التطبيقات النسيجية يسمى PET عموما بالبولي استر، في حين تسمى المادة المستخدمة في تصنيع التغليف PET ومن بعض التسميات التجارية له ألياف الداكرون، والديلون، والتريلينوالتريفيرا. وهي مادة حلت محل القطن والصوف في إنتاج الملابس ومن مميزاتها أنها لا تنكمش وتجف بسرعة وتقاوم التمزق يتكون PET من

وحدات مبلمرة من الإثلين تيرفيثالاتالمونومر، مع وحدات مكررة ($C_{10}H_8O_4$) عادة ما يتم إعادة تدوير PET، وله الرقم 1 كرمز إعادة تدويرهKhalid . M، (2015).



شكل (1): يوضح التركيب الكيميائي لـ PET رمز إعادة تدويره (Khalid. M، 2015).

الخواص الفيزيائية لمادة PET

في حالتها الطبيعية راتنج عديم اللون شبه بلوري يمكن أن تكون الـ(PET) شبه صلبة إلى صلبة فهي خفيفة الوزن جدا، حاجز جيد للغاز والرطوبة، كذلك حاجز جيد أمام الكحول والمذيبات وأنها قوية ومقاومة لتأثيرها وتصبح الـ(PET) بيضاء عند تعرضها للكلوروفورم، وكذلك بعض المواد الكيميائية الأخرى ينصهر عند درجة حرارة 250°م كثافته 1.4 g/cm³ معامل الانكسار (nd) (1.57–1.58) . (Khalid M، 2015).

إعداد العينات

تصميم الخلطة الإسفلتية غير المحسنة

استخدمت طريقة مارشال لتحضير عينات قياسية على هيئة أسطوانة قطرها 101.6 مم وارتفاعها 63.5 مم وبنسب إسفلت مختلفة تتراوح من 4% إلى 7% حيث يبدأ إعداد العينات بتحضير أوزان كل أحجام الركام، ويكون الوزن حسب ثلاث عينات للنسبة الواحدة للإسفلت في الخلطة، ويتراوح وزن العينة الواحدة ما بين (1100–1200) جم.

ثم يتم تسخين كلا من الركام والإسفلت حيث يسخن الركام في الفرن درجة حرارته 150°م، ويسخن الإسفلت في درجة حرارة 150°م لمدة ساعة واحدة، ثم يضاف الإسفلت للركام في الخلاط ويخلط في الجهاز عند درجة حرارة الخلط المحددة لمدة 90 ثانية.

توضع الخلطة في قوالب الاختبار بعد عملية تزيتها لسهولة إخراج العينات من القوالب حيث توضع على ثلاث طبقات في كل أسطوانة وتدمك كل طبقة 15 ضربة بالمدك اليدوي، ثم تدمك في جهاز الدمك في درجة حرارة الدمك بعدد ضربات 75 ضربة لكل وجه من وجهي العينة حيث ثم تحديد الضربات من نوع المرور حيث كان نوع المرور ثقيل. بعد عملية الدمك تخرج العينات من القوالب وتوزن في الهواء وفي الماء لتحديد كثافة العينات ونسبة الفراغات الهوائية وكثافة الركام المدموك والفراغات في الركام المعدني والفراغات المملؤة بالإسفلت واختبار الثبات والانسياب وتحديد مؤشر مارشال (محمد خليفة.2003). يتم اختبار الثبات والانسياب بتجهيز العينات قبل اختبارها وذلك بغمرها في حوض مائي درجة حرارته 60°م ولمدة 30 دقيقة، ثم توضع كل عينة في جهاز مارشال طبقا. ASTM،D1559 ،(2003) وتعرض لضغط بمعدل تحميل ثابت وقدره (50.8 مم/ دقيقة) ويكون أقصى حمل ضغط تتحمله العينة قبل حدوث الانهيار هو ثبات مارشال (Marshall Stability) ويكون بالكيلو نيوتن والتشكل الذي يحدث للعينة عند هذا الحمل يسمى بانسياب مارشال (Marshall Flow) ويكون بالمليمتر.

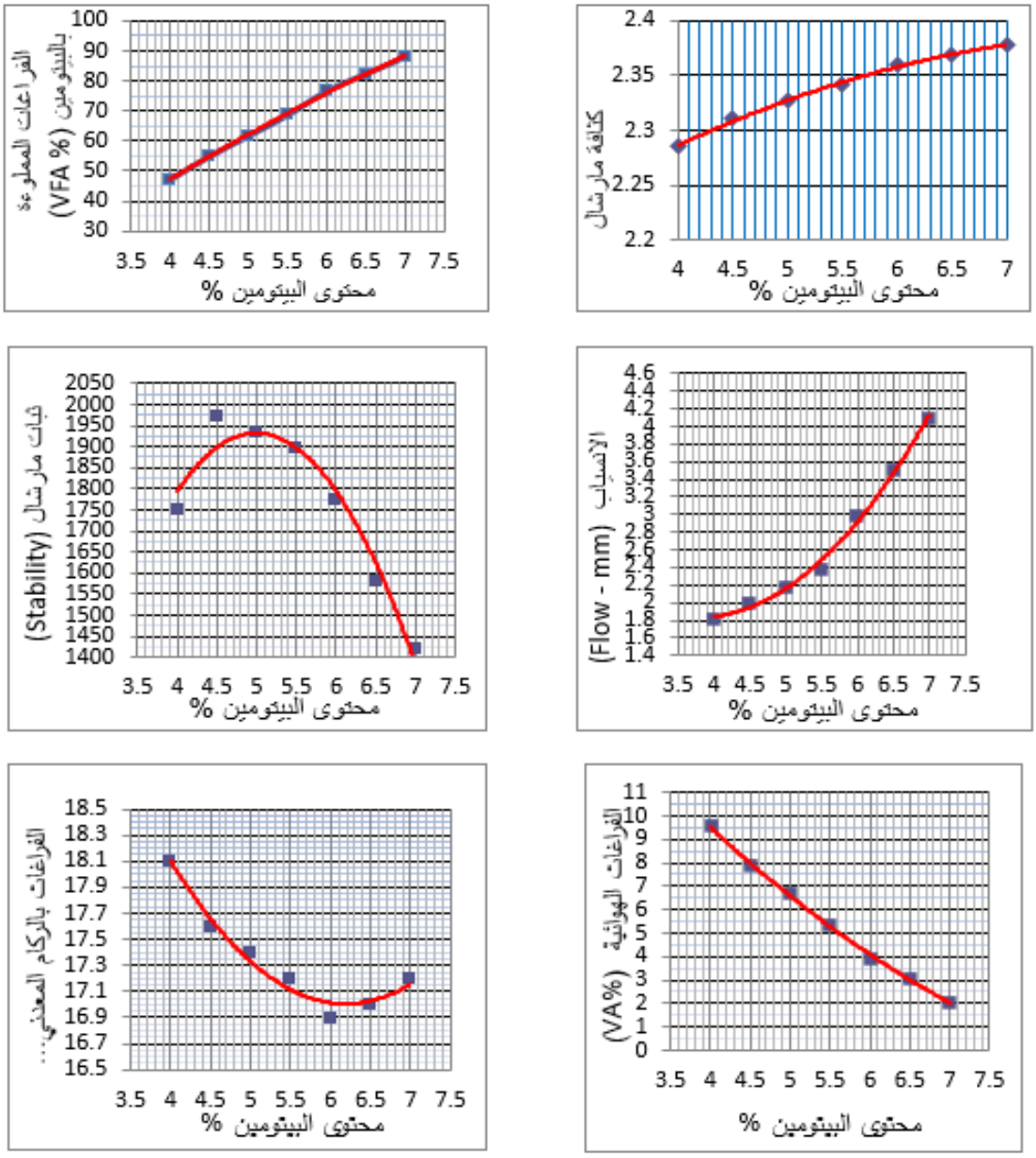
تحديد المحتوي الإسفلتي الأمثل

من حلال نتائج الاختبارات يتم رسم العلاقات البيانية الموضحة في الشكل (2) والتي تربط المحتوى الإسفلتي للخلطة الإسفلتية مع كل من (الكثافة –– نسبة الفراغات الهوائية – نسبة الفراغات في الركام المعدني – نسبة الفراغات المملؤة بالإسفلت – الثبات – الانسياب– مؤشر مارشال).

يمكن تحديد المحتوى الإسفلتي الأمثل بحيث يمكن تحقيق متطلبات المواصفات، ويتم ذلك بحساب المتوسط الحسابي لقيم المحتوى الإسفلتي المتحصل عليها من أربع علاقات بيانية هي:

- العلاقة بين المحتوى الإسفلتي والكثافة (جم/سم^3)، حيث المحتوى الإسفلتي الأمثل عند أقصى كثافة= 6.
- العلاقة بين المحتوى الإسفلتي والثبات (كن)، حيث المحتوى الإسفلتي الأمثل عند أقصى ثبات =5.3.

- العلاقة بين المحتوى الإسفلتي والفراغات الهوائية حيث المحتوي الإسفلتي الأمثل عند متوسط الفراغات الهوائية (3–5) %=6.
- العلاقة بين المحتوى الإسفلتي والانسياب حيث المحتوى الإسفلتي الأمثل عند متوسط الانسياب (2–4) = 6.



شكل (2): يوضح منحنيات التصميم بطريقة مارشال.

وتم حساب المتوسط الحسابي لقيم المحتوي الإسفلتي المتحصل عليها كما يلي:

$$\text{المحتوى الإسفلتي الأمثل} = \frac{6+5.3+6+6}{4} = 5.83\%$$

ومن متوسط قيم المحتوى الإسفلتي الأمثل يتم إيجاد الخواص (كثافة الركام المدموك، نسبة الفراغات في الركام المعدني، نسبة الفراغات المملؤة بالإسفلت).

تحضير عينات الخلطة الإسفلتية المحسنة

ثم تمَّ تحضير 15 عينة من الخلطات باستخدام طريقة مارشال عند المحتوي الإسفلتي الأمثل من الخرسانية الإسفلتية المعدلة بإضافة المخلفات البلاستيكية (بولي إيثيلين تيريفثاليت (PET)) المستخدم في صناعة قنينات المياه البلاستيكية، ولاختبار تأثير إضافة هذه المادة المضافة إلى الخلطة الإسفلتية. تم تحضير العينات عن طريق إضافتها كبديل جزئي للإسفلت بنسب مختلفة (4، 6، 8، 10 و 12٪) من المحتوى الإسفلتي الأمثل. تم اختبار ثلاث عينات لكل نسبة لتحديد كثافة العينات ونسبة الفراغات الهوائية وكثافة الركام المدموك والفراغات في الركام المعدني والفراغات المملؤة بالإسفلت واختبار الثبات والانسياب وتحديد مؤشر مارشال. حيث تم إجراء إضافة المضاف عن طريق وضع الإسفلت في الفرن وتسخينه حتى يصبح سائلاً، تم تقطع الزجاجات البلاستيكية (PET) إلى أحجام صغيرة باستخدام آلة البشر ثم يتم نخلها علي المنخل رقم (30)، ويتم إضافتها إلى الإسفلت وتترك في الفرن لمدة (45) دقيقة عند درجة حرارة (150) درجة مئوية وسخن 1140 جم من الركام لكل عينة حتى تصل إلى (150 درجة مئوية) وتخلط معا في درجة حرارة الخلط (Khalid . M ، 2015).

يتم وضع ورقتي ترشيح على الجزء السفلي من القالب استعدادًا لوضع مزيج الإسفلت في القالب المركب، وتدمك بتطبيق 75 ضربة بواسطة مطرقة الدمك لكل وجه من العينة. عند اكتمال الدمك، يجب تبريد العينة في القالب في درجة حرارة الغرفة ثم توزن في الهواء وفي الماء لتحديد كثافة العينات ونسبة الفراغات الهوائية وكثافة الركام المدموك والفراغات في الركام المعدني والفراغات المملؤة بالإسفلت ويتم عمل اختبار الثبات والانسياب وتحديد مؤشر مارشال.

عرض النتائج ومناقشتها

الأشكال من (3) إلى (8) تمثل علاقات بين نسبة (WP–PET) المضافة وخواص مارشال للخلطة الإسفلتية انظر الجدول (3) وفيما يلي نستعرض خواص مارشال ومدي تأثير مادة (WP–PET) المضافة.

جدول (3): خواص مارشال

نسبة المضاف	الكثافة النوعية للمخلوط	كثافة مارشال	الثبات	الانسياب	الفراغات الهوائية	الفراغات الركامية	الفراغات المملؤة بالبيوتمين
0	2.465	2.353	1826	2.8	4.54	17.1	73.4
4	2.468	2.359	1924	2.63	4.44	16.9	73.65
6	2.47	2.363	2001	2.54	4.34	16.8	74.13
8	2.472	2.369	2056	2.48	4.19	16.7	74.84
10	2.474	2.375	1989	2.53	3.98	16.5	75.85
12	2.476	2.387	1841	2.61	3.57	16.1	77.88

كثافة مارشال Marshal Density

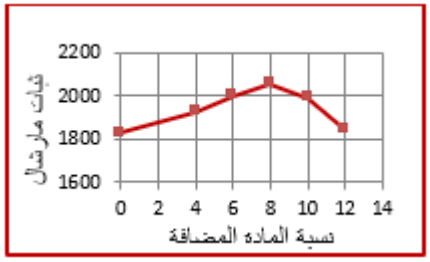
من خلال الشكل (3) الذي يمثل العلاقة بين نسبة (WP–PET) المضافة وكثافة مارشال. نلاحظ انه بزيادة نسبة (WP–PET) المضافة إلى الخلطة تزداد الكثافة للخلطة، وهذا التأثير يرجع إلى أن الكثافة العالية لمادة (WP–PET) المضافة.



شكل (3): تأثير مادة (WP–PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على كثافة مارشال.

ثبات مارشال Marshal Stability

الشكل (4) يوضح العلاقة بين ثبات مارشال ونسبة (WP–PET) المضافة في الخلطة. نلاحظ أن قيم الثبات تزداد بزيادة نسبة (WP–PET) في الخلطة إلى أن تصل لأقصى قيمة للثبات عند نسبة (8%) للخلطة المعدلة، ثم تبدأ بالانخفاض تدريجيا إلى أن تصل لأقل قيمة عند نسبة (12%).

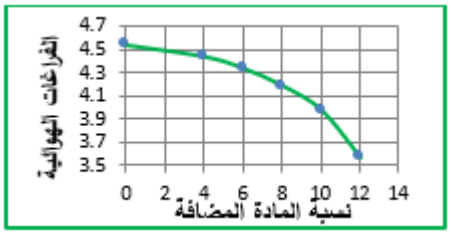


شكل (4): تأثير مادة (WP–PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على ثبات مارشال.

الفراغات الهوائية (AV%)

من خلال الشكل (5) الذي يوضح التغيير في قيم نسبة الفراغات الهوائية للخلطات مع اختلاف نسبة (WP–PET) في الخلطة المحسنة مقارنة بالخلطة غير المحسنة، نلاحظ أن قيم نسبة الفراغات الهوائية ($V_{A\%}$) في الخلطة المحسنة أقل من نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة غير المحسنة. الفراغات الهوائية في الخلطة المحسنة تقل تدريجيا كلما زادت نسبة (WP–PET) حتى تصل إلى أقل قيمة لها عند نسبة 12%.

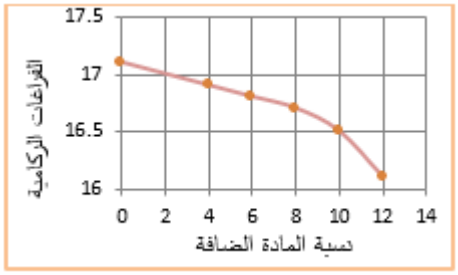
وهذا التأثير يعود إلى أن المادة المحسنة ملأت الفراغات في الخلطة الإسفلتية.



شكل (5): تأثير مادة (WP–PET) المضافة للخلطة الإسفلتية علي الفراغات الهوائية.

الفراغات بالركام المعدني (V.M.A%)

من خلال الشكل (6) الذي يوضح التغيير بنسبة الفراغات بالركام المعدني للخلطات المحسنة مع اختلاف محتوى مادة (WP–PET) في الخلطة مقارنة بالخلطة العادية. تبين أن العلاقة بين نسبة المادة المضافة ونسبة الفراغات بالركام المعدني علاقة عكسية وهي تتبع نفس سلوك العلاقة السابقة، أي كلما زادت المادة المضافة قلت نسبة الفراغات الهوائية وكذلك حجم الإسفلت وبالتالي تقل نسبة الفراغات بالركام المعدني.



شكل (6): تأثير مادة (WP–PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على الفراغات بالركام المعدني.

الفراغات المملؤة بالبيتومين (V.F.A%)

الشكل (7) يوضح التغيير بنسبة الفراغات المملؤة بالإسفلت للخلطات المحسنة مع اختلاف محتوى مادة (WP–PET) في الخلطة مقارنه بالخلطة العادية، تبين أن العلاقة بين نسبة (WP–PET) المضافة ونسبة الفراغات المملؤة بالإسفلت أنها علاقة طردية فكلما زادت نسبة (WP–PET) زادت نسبة الفراغات المملؤة بالإسفلت حيث إن قيم الفراغات المملؤة بالإسفلت تزداد من (73.4 %) حتى تصل إلى (77.88%) عند نسبة 12%من المادة المحسنة (WP–PET) المضافة.

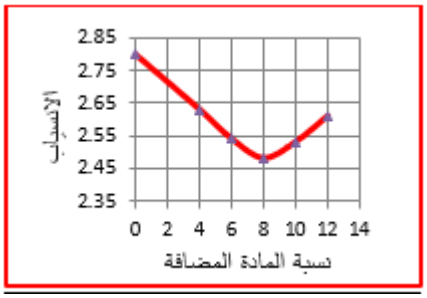


شكل (7): تأثير مادة (WP–PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على الفراغات المملؤة بالبيتومين.

الانسياب Flow

يوضح الشكل (8) التغيير في قيم الانسياب للخلطات المعدلة مع اختلاف محتوى (WP–PET) في الخلطة مقارنه بالخلطة العادية.

نلاحظ أن قيم الانسياب للخلطات المحسنة أقل من قيمة الانسياب للخلطة العادية حيث إن قيم الانسياب تقل من (2.8 %) حتى تصل إلى (2.48 %) عند نسبة 8%من المادة المحسنة (WP–PET) ثم تزداد عند النسب (10،12%) ولكن لا تزال أقل من قيمة الانسياب في الخلطة غير المحسنة



شكل (8): تأثير مادة (WP–PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على الانسياب.

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

- نلاحظ في الخلطات الإسفلتية المحسنة بالمخلفات البلاستيكية تحسنا في قيم الثبات وانخفاضا ملحوظ في قيم الانسياب، وهذا يعمل على زيادة معامل الصلبية للخلطة الإسفلتية Stiffness Modulus of the Asphaltic Concrete Mixes مما يعطى مقاومة أفضل للتشوهات للخلطة أثناء الخدمة.
- نلاحظ أن التحسن في قيم الثبات والنقصان في قيم الانسياب عند إضافة المخلفات البلاستيكية للخلطة البيتومينية كان متوافقا مع نتائج أبحاث عديدة ومتنوعة، تناولت موضوع إضافة المخلفات البلاستيكية للخلطات الإسفلتية (عبد المهيمن الدب وآخرون، وكل المراجع الأجنبية).

- بالاستناد إلى نتائج البحث تعتبر نسبة 8% من المخلفات البلاستيكية كإحلال جزئي محل الإسفلت بالخلطات الإسفلتية المعدلة تعتبر هي النسبة المثلى للخلطات الإسفلتية المعدلة.

التوصيات

نوصي بتوسيع هذه الدراسة وان تشتمل على اختبارات الأداء للخلطة الإسفلتية المعدلة مثل اختبارات الكلال الحراري والمروري واختبار الزحف الاستاتيكي والديناميكي Fatigue، Static and Dynamic Creep Tests.

المراجع

1- المراجع العربية:

- الزقطاط، أحميده عبد المهيمن إبراهيم الدب وآخرون، (2018). "دراسة تأثير إضافة المخلفات البلاستيكية (قناني مياه الشرب) كبديل جزئي للبيوتمين على خواص الخلطة الإسفلتية" مشروع تخرج مقدم ضمن متطلبات الحصول على درجة البكالوريوس في الهندسة المدنية "غير منشور" جامعة صبراتة = كلية الهندسة رقدالين-ربيع 2018.

- رناء درويش أحمد وآخرون، (2014). "تعديل الخلائط البيتومينية الإسفلتية المستخدمة في محافظة اللاذقية بالمطاط المدور من إطارات السيارات" مجلة جامعة تشرين للبحوث والدارسات العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (3) 2014.

- د. محمد خليفة، د. محمد عمران امبارك، (2003). (هندسة الرصف)، منشورات مكتب الاستشارات والبحوث-كلية الهندسة – جامعة الفاتح، الطبعة الأولى – طرابلس 2003 ف.

2- المراجع الأجنبية

- Khalid M.، Besma M.، and Dalia A، (2015). "Utilization of Waste Plastic Water Bottle as a Modifier for Asphalt mixture Properties ". Journal of Engineering and Development. Vol.20، No.2،march. 2015.

- H. Naghawi، R. Al-Ajarmeh، R. Allouzi، A. AlKlub، K. Masarwah، A. AL-Quraini، M. Abu-Sarhan، (2018). "Plastic Waste Utilization as Asphalt Binder Modifier in Asphalt Concrete Pavement". World Academy of Science، Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering. Vol:12، No:5، 2018.