استخدام المخلفات البلاستيكية (عبوات تعبئة المياه البلاستيكية) كمحسِّن لخواص مارشال للخلطة الإسفلتية

ملخص

تتميز سوريا بمناخ معتدل نسبياً غرباً ومناخ صحراوي(حار جاف) شرقاً، حيث تتصف مناطق المناخ الصحراوي بارتفاع درجة حرارتها وانخفاض معدل سقوط الأمطار بالإضافة إلى التغيّر 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.

ونظراً 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 البيتوميني ومن ثم تعديل الخلطات البيتومينية وتحسين أدائها، وإن استخدام مواد المخلفات في الرصف الإسفلتي يكون مفيداً من أجل إيجاد حل بديل لزيادة عمره والحد من التلو ث البيئي كذلك التقليل من الكلفة الاقتصادية لإنشاء الطرق وكلفة الصيانة.

واحدة من هذه المخلفات هي عبوات تعبئة المياه البلاستيكية (البولي ايثيلين ثيريفثاليت) التي يتم إنتاجها بكمية كبيرة، في هذا العمل استخدم البولي ايثيلين ثيريفثاليت للتحقق في مدى إمكانية استخدام قناني المياه البلاستيكية كبوليمر مضاف في خليط الإسفلت للتغلب على مشاكل الرصف، فلقد تمت إضافة خمس نسب مختلفة من عبوات تعبئة المياه البلاستيكيه (12% ، 10% ،8% ، 6% ، 4%) من وزن الإسفلت الأمثل لتحضير عينات مارشال.

أشارت النتائج إلى محتوى التحسين الأمثل ليكون عند نسبة (8%) لمخلفات عبوات المياه البلاستيكية المحسّن للخلطة الإسفلتية حيث وجد بأنها تعطي أقصى قدر من الثبات، الصلابة، وفراغات مليئة بالإسفلت، والحد الأدنى من فراغات الهواء، مقارنةً بالخلطة غير المحسنة.

المقدّمة

مع تطور حركة المواصلات ونتيجة الكثافة المرورية المتزايدة المولدة للإجهادات الحاصلة على سطح الطريق فدعت الحاجة إلى البحث الدائم والمستمر عن مواد جديدة مقاومة لتأثير العوامل المناخية والديناميكية التي يتعرض لها الطريق وخاصةً 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، 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 الحصويات.

ويتركز العمل في هذه الدراسة على تأثير إضافة مخلفات إضافة البلاستيك كبديل جزئي للبيتومين في الخلطة البيتومينية باستخدام طريقة مارشال ومقارنتها مع مخلوط بيتوميني خالٍ من المواد المضافة، وجاء ت 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 ايثيلين ثيريفثاليت المستخدم في صناعة عبوات المياه البلاستيكية.

المواد المستخدمة والبرنامج العملي

الإسفلت

الإسفلت المستخدم في هذا البحث هو الإسفلت النفطي (تدرج 70\60) وكانت الاختبارات 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

الحصويات

وهي المادة الرئيسية الثانية في الخلطة الإسفلتية والحصويات المستخدمة في هذه الدراسة هي حصويات طبيعية يتم إنتاجها في المقالع وذلك بتفتيت الصخور الكبيرة إلى أحجام أصغر منها، ومن ثم يتم نخلها بمناخل قياسية إلى الأحجام المطلوبة لإعداد الخلطة البيتومينية.

جدول 2 نتائج الاختبارات التي أجريت على الحصويات المستخدمة

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

البولي ايثيلين ثيريفثاليت Polyethylene Terephthalate (PET)

هو مبلمر ملدن حرارياً من عائلة المبلمرات عديد الإستر ويستخدم لتصنيع أحد أنواع ألياف النسيج الاصطناعية وعبوات المياه والأطعمة والسوائل الأخرى، وفي تطبيقات تشكل اللدائن بالحرارة ومادة رابطة للألياف الزجاجية في المواد الهندسية.

60% من إنتاج العالم من الـ PET يستخدم في الألياف الصناعية وحوالي 30% يمثل إنتاج الزجاجات البلاستيكية، وعندما يكون الحديث عن التطبيقات النسيجية يسمى PET عموماً بالبولي استر، في حين تسمى المادة المستخدمة في تصنيع التغليف PET ومن بعض التسميات التجارية له ألياف الداكرون والديلون وغيرها. وهي مادة حلت محل القطن في إنتاج الملابس ومن مميزاتها أنها لا تنكمش وتجف بسرعة وتقاوم التمزق .

الشكل 1 يوضح التركيب الكيميائي لـ PET ورمز إعادة تدويره

الخواص الفيزيائية لمادة الـ PET

في حالتها الطبيعية هي عبارة عن راتنج عديم اللون شبه بلوري يمكن أن تكون الـ (PET) شبه صلبة إلى صلبة فهي خفيفة الوزن جداً، 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 وينصهر عند درجة حرارة 250 درجة مئوية كثافته 1.4 غ\سم^3 معامل الانكسار (1.57-1.58) (nd).

إعداد العينات

تصميم الخلطة الإسفلتية غير المحسنة

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

ثم يتم تسخين كلاً من الحصويات والإسفلت حيث تسخن الحصويات في الفرن درجة حرارته 150 درجة مئوية ويسخن الإسفلت في درجة حرارة 150 درجة مئوية لمدة ساعة واحدة ثم يضاف الإسفلت إلى الحصويات 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 تُخرَج العينات من القوالب وتوزن في الهواء وفي الماء لتحديد كثافة العينات ونسبة الفراغات الهوائية وكثافة الحصويات المدموكة والفراغات في الحصويات المعدنية والفراغات المملؤة بالإسفلت واختبار الثبات والانسياب وتحديد مؤشر مارشال.
يتم اختبار الثبات والانسياب بتجهيز العينات قبل اختبارها وذلك بغمرها في حوض مائي درجة حرارته 60 درجة مئوية ولمدة 30 دقيقة، ثم توضع كل عينة في جهاز مارشال طبقاً وتتعرض للضغط بمعدل تحميل ثابت وقدره (50.8 مم\دقيقة) ويكون أقصى حمل ضغط تتحمله العينة قبل حدوث الإنهيار هو ثبات مارشال ويكون بالكيلو نيوتن والتشكل الذي يحدث للعينة عند الحمل يسمى بانسياب مارشال ويكون بالمليمتر.

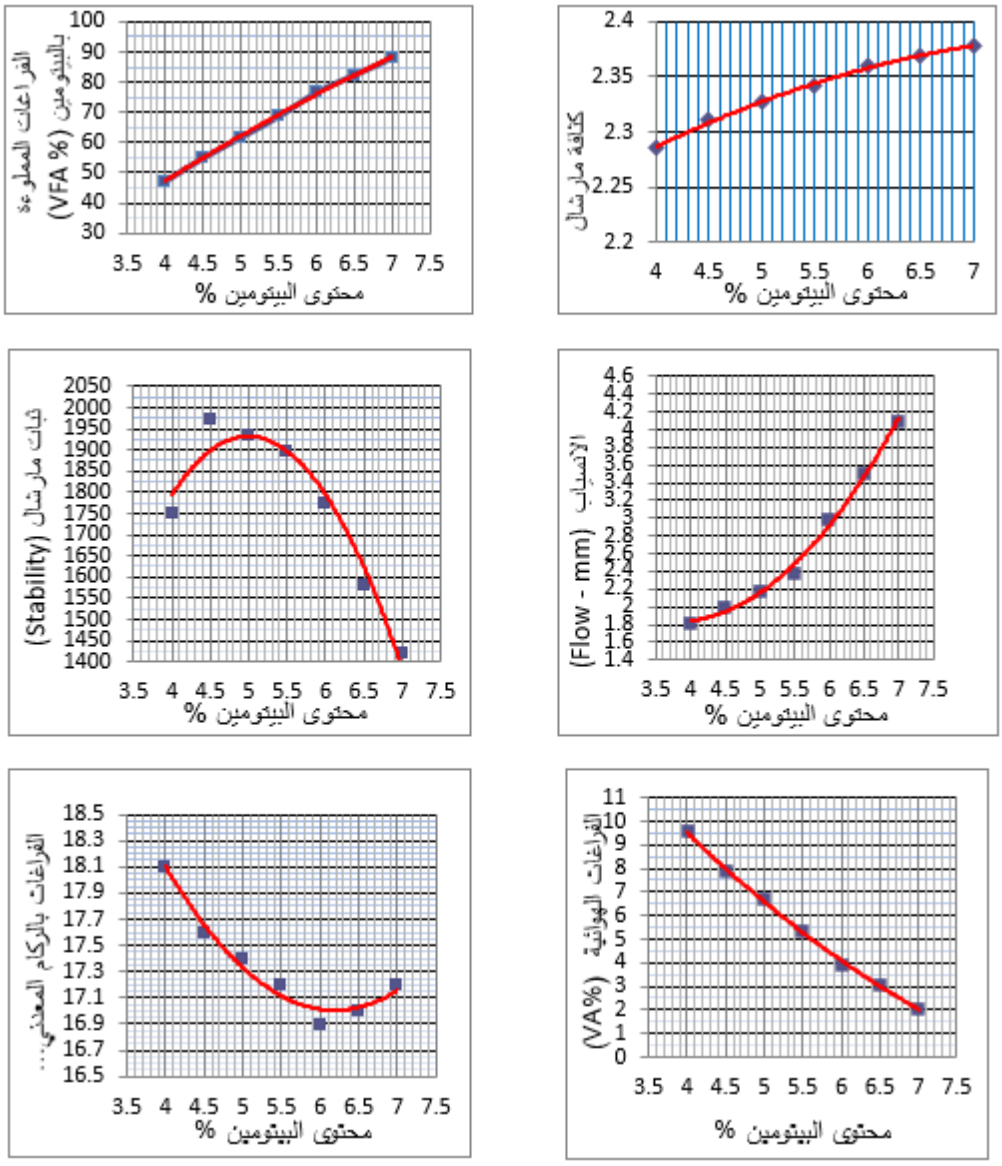
تحديد المحتوى الإسفلتي الأمثل

من خلال نتائج الاختبارات يتم رسم العلاقات البيانية الموضحة بالشكل 2 والتي تربط المحتوى الإسفلتي للخلطة الإسفلتية مع كل من (الكثافة – نسبة الفراغات الهوائية – نسبة الفراغات في الحصويات المعدنية – نسبة الفراغات المملوءة بالإسفلت – الثبات – الانسياب – مؤشر مارشال).

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

- العلاقة بين المحتوى الإسفلتي والكثافة (غ \ سم^3)، حيث المحتوى الإسفلتي الأمثل عند أقصى كثافة =6
- العلاقة بين المحتوى الإسفلتي والثبات (طن)، حيث المحتوى الإسفلتي الأمثل عند أقصى ثبات =5.3
- العلاقة بين المحتوى الإسفلتي والفراغات الهوائية حيث المحتوى الإسقلتي الأمثل عند متوسط الفراغات (3-5) % =6

- العلاقة بين المحتوى الإسفلتي والانسياب حيث المحتوى الإسفلتي الأمثل عند متوسط الانسياب (2-4) =6



الشكل 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 الحصويات المدموكة ، نسبة الفراغات في الركام المعدني ، نسبة الفراغات المملوءة بالإسفلت)

تحضير عينات الخلطة الإسفلتية المحسنة

تم تحضير 15 عينة من الخلطات باستخدام طريقة مارشال عند المحتوى الإسفلتي الأمثل من الخرسانة الإسفلتية المعدّلة بإضافة المخلفات البلاستيكية (PET) المستخدم في صناعة عبوات المياه البلاستيكية، ولاختبار تأثير الإضافة إلى الخلطة الإسفلتية تم تحضير عينات عن طريق الإضافة كبديل جزئي للإسفلت بنسب مختلفة (4,6,8,10,12)% من المحتوى الإسفلتي الأمثل، تم اختبار ثلاث عينات لكل نسبة لتحديد كثافة العينات ونسبة الفراغات الهوائية وكثافة الحصويات المرصوصة والفراغات في الحصويات المعدنية والفراغات المملؤة بالإسفلت واختبار الثبات والانسياب وتحديد مؤشر مارشال، حيث تم إجراء الإضافة عن طريق وضع الإسفلت في الفرن وتسخينه حتى يصبح سائلاً، ثم تقطع العبوات البلاستيكية إلى أحجام صغيرة ويتم نخلها على المنخل رقم (30) وتضاف إلى الإسفلت وتترك في الفرن لمدة (45)دقيقة عند درجة حرارة (150) درجة مئوية وتسخين 1140 غ من الحصويات لكل عينة حتى تصل إلى (150 درجة مئوية) وتخلط معاً في درجة حرارة الخلط.

يتم وضع ورقتي ترشيح على الجزء السفلي من القالب استعداداً 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 الحصويات والفراغات المملوءة بالإسفلت ويتم عمل اختبار الثبات والانسياب وتحديد مؤشر مارشال.

عرض النتائج ومناقشتها

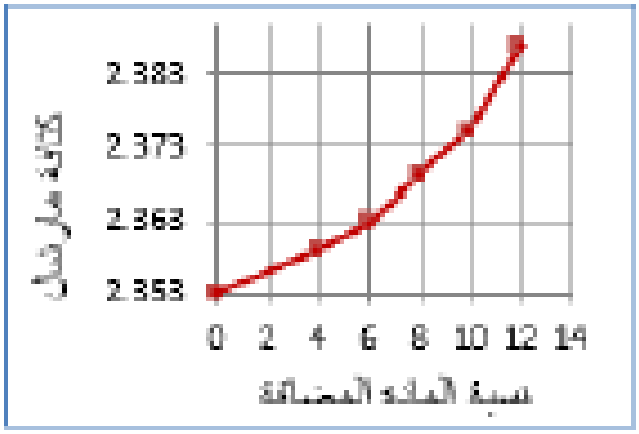
الأشكال من (3) إلى (8) تمثل علاقات بين نسبة (WP-PET) المضافة وخواص مارشال للخلطة الإسفلتية (انظر الجدول 3) وفيما يلي نستعرض خواص مارشال ومدى تأثير مادة (WP-PET) المضافة.

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

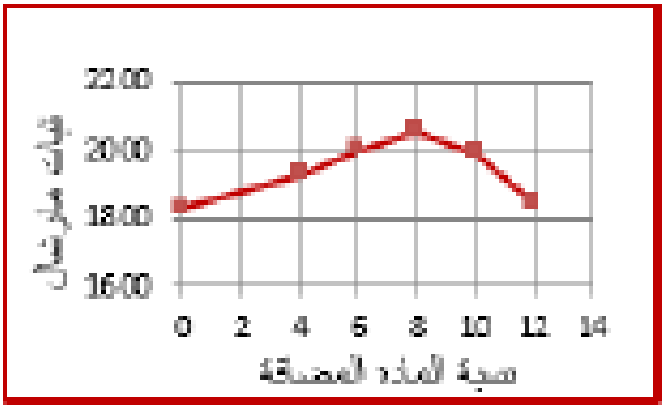
من خلال الشكل (3) الذي يمثل العلاقة بين نسبة (WP-PET) المضافة وكثافة مارشال نلاحظ أنه بزيادة نسبة (WP-PET) المضافة إلى الخلطة تزداد الكثافة للخلطة، وهذا تأثير يرجع إلى الكثافة العالية لمادة (WP-PET) المضافة.



الشكل 3 تأثير مادة (WP-PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على كثافة مارشال

ثبات مارشال

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

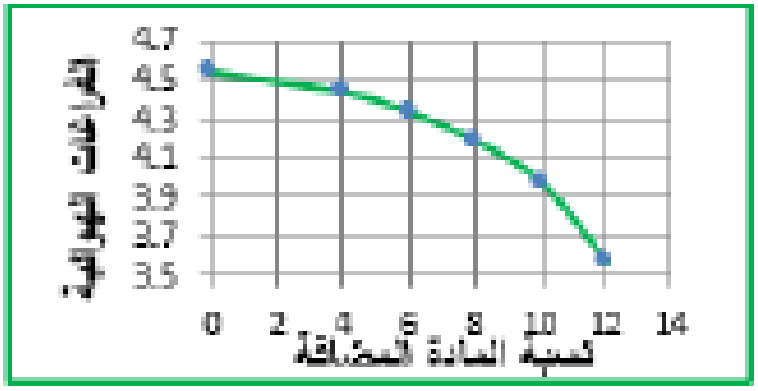


الشكل 4 تأثير مادة (WP-PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على ثبات مارشال

الفراغات الهوائية ($V_{A\%}$)

من خلال الشكل (5) الذي يوضح التغيّر في قيم نسبة الفراغات الهوائية للخلطات مع اختلاف نسبة (WP-PET) في الخلطة المحسنة مقارنةً 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 تدريجياً كلما زادت نسبة (WP-PET) حتى تصل إلى أقل قيمة لها عند نسبة 12%.

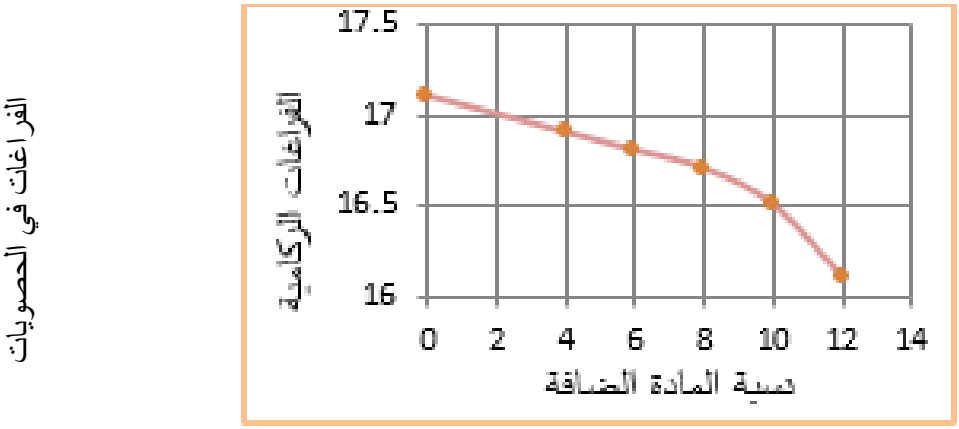
وهذا التأثير يعود إلى أن المادة المحسنة ملأت الفراغات في الخلطة الإسفلتية.



الشكل 5 تأثير مادة (WP-PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على الفراغات الهوائية

الفراغات في الحصويات ($V_{M.A\%}$)

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



الشكل 6تأثير مادة (WP-PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على الفراغات في الحصويات

الفراغات المملوءة بالبيتومين ($V_{FA\%}$)

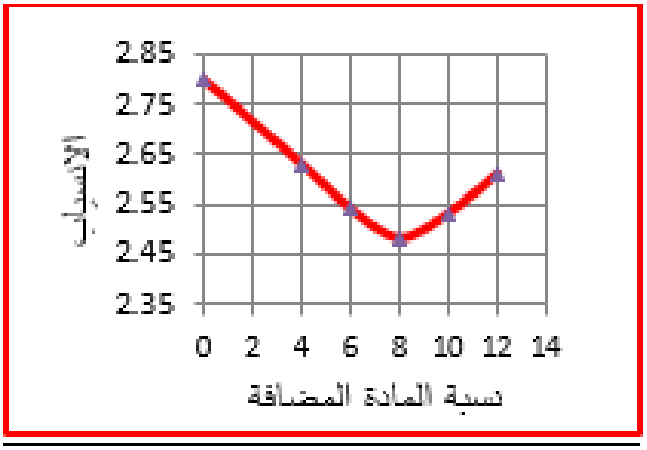
الشكل (7) يوضح التغيير بنسبة الفراغات المملوءة بالإسفلت للخلطات المحسنة مع اختلاف محتوى مادة (WP-PET) في الخلطة مقارنةً مع الخلطة العادية، تبين أن العلاقة بين نسبة (WP-PET) المضافة ونسبة الفراغات المملوءة بالإسفلت أنها علاقة طردية فكلما زادت نسبة (WP-PET) زادت نسبة الفراغات المملوءة بالإسفلت. تزداد من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

الشكل 7 تأثير مادة (WP-PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على الفراغات المملوءة بالبيتومين

الانسياب Flow

يوضح الشكل (8) التغيير في قيم الانسياب للخلطات المعدلة مع اختلاف محتوى (WP-PET) في الخلطة مقارنة بالخلطات العادية.

نلاحظ أن قيم الانسياب في الخلطات المحسنة أقل من قيمة الانسياب للخلطة العادية حيث أن قيم الانسياب تقل عن (2.8%) حتى تصل إلى (2.48%) عند نسبة 8% من المادة المحسنة (WP-PET) ثم تزداد عند (10-12%) ولكن أقل من قيمة الانسياب في الخلطة غير المحسنة.



الشكل 8 تأثير مادة (WP-PET) المضافة للخلطة الإسفلتية على الانسياب

الاستنتاجات

- نلاحظ من الخلطات الإسفلتية المحسنة بالمخلفات البلاستيكية تحسناً في قيم الثبات وانخفاضاً ملحوظاً في قيم الانسياب، وهذا يعمل على زيادة معامل القساوة للخلطة الإسفلتية مما يعطي مقاومة أفضل للتشوهات للخلطة في أثناء الخدمة.
- نلاحظ أن التحسن في قيم الثبات والنقصان في قيم الانسياب كان متوافقاً مع نتائج أبحاث عديدة ومتنوعة تناولت الموضوع إضافةً للمخلفات البلاستيكية للخلطات الإسفلتية.

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

المراجع

المراجع العربية

- الزقطاط، أ.حميده عبد المهيمن إبراهيم الدب وآخرون (2018) ، " دراسة تأثير إضافة المخلفات البلاستيكية (قناني مياه الشرب)كبديل جزئي للبيتومين على خواص الخلطة الإسفلتية "مشروع تخرج مقدم ضمن متطلبات الحصول على درجة البكالوريوس في الهندسة المدنية" غير منشور "جامعة صبراته- كلية الهندسة رقدالين- ربيع2018
- رناء درويش أحمد وآخرون (2014)، " دراسة 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

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. ALQuraini ، 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.

إعداد المهندس إياس محمد السليمان

- إجازة في الهندسة المدنية اختصاص نقل ومواصلات.

- ماجستير تخطيط اقتصادي واجتماعي.