# Effect of Addition Polyethylene Waste in Improving Performance of Local Asphalt Mixtures by Adding Plastic Waste

**Rami aL-Nasser***

**(Received 22 / 7 / 2019. Accepted 7 / 10 / 2019)**


## □ ABSTRACT □

The use of recycled waste in pavement paving is a positive choice in terms of sustainability, and attractive to enhance and improve the performance of these layers, This is especially true for recycled plastics because it is made up of polymeric materials**.** The aim of this research is to investigate the possibility of using a type of plastic waste (LDPE) for recycling and to use it to improve the performance and properties of the asphalt mixtures of the wearing layer compared to the uncoordinated traditional mixture by laboratory work in which the optimum asphalt contect (4.8%), and then addition of polyethylene waste by (8, 10, 12, 14, 16%) ratio . Results showed that the maximum stability values were at the addition of (12%), where the stability increased by (17.7%) with achieving the value of high marshall stiffness . The study concluded that polyethylene waste can be used as additives for asphalt mixtures to achieve sustainable management of plastic waste and improve the performance of asphalt mixtures.


**Keywords**: Hot Mix Asphalt, , Polyethylene , Recycled materials , Marshall Stability

***Master of Transportation and Transport Engineering. Syria.**

# تأثير إضافة نفايات البولي إيثيلين في تحسين أداء الخلائط الإسفلتية المحلية

**رامي الناصر** *

**(تاريخ الإيداع 22 / 7 / 2019. قُبِل للنشر في 7/ 10 / 2019)**

## □ ملخّص □

يعد استخدام النفايات المعاد تدويرها في طبقات الرصف الطرقي خياراً إيجابياً من ناحية تحقيق الاستدامة ، وجذباً لتقوية وتحسين اداء تلك الطبقات ، وهذا ينطبق بشكل خاص على البلاستيك المعاد تدويره كونه يتكون من مواد بوليميرية . هدف هذا البحث التحقق من إمكانية استخدام أحد أنواع نفايات البلاستيك (البولي ايثيلين منخفض الكثافة) لإعادة تدويرها والاستفادة منها في تحسين أداء وخواص الخلائط الاسفلتية الخاصة بطبقة الاهتراء مقارنة مع الخلطة التقليدية غير المعدلة ، وذلك من خلال القيام بعمل مخبري تم فيه تصميم خلطة اسفلتية وتحديد النسبة المثالية للإسفلت (4.8 %) ، و إضافة نفايات البولي ايثيلين بنسب (8 ، 10 ، 12 ، 14 ، 16 %) ، وقياس خواص مارشال للخلائط المعدلة. بينت النتائج أن قيم الثبات العظمى كانت عند الإضافة بنسبة (12 %) حيث ازداد الثبات بنسبة (17.7%) مع تحقيق قيمة صلابة مرتفعة. خلصت الدراسة إلى أنه يمكن استخدام نفايات البولي ايثيلين كمعدل للخلائط الاسفلتية لتحقيق إدارة مستدامة للنفايات البلاستيكية وتحسين أداء الخلائط الإسفلتية.

**الكلمات المفتاحية** : الخلطة الاسفلتية الحارة ، البولي ايثيلن ، مواد معاد تدويرها ، ثبات مارشال .

* **ماجستير في هندسة المواصلات والنقل – اختصاص طبقات رصف. سورية.**

## مقدمة:

مع تطور حركة المواصلات ونتيجة الكثافة المرورية المتزايدة المولدة للإجهادات الحاصلة على سطح الطريق، دعت الحاجة الى البحث الدائم والمستمر عن مواد مقاومة لتأثير العوامل المناخية والديناميكية التي يتعرض لها الطريق وخاصة في الطبقات العلوية (طبقة التغطية الإسفلتية) التي يجب ان تؤمن المقاومة الكافية تجاه هذه العوامل والحماية اللازمة لطبقات الرصف الأدنى. [1]

في السنوات الماضية تم الاتجاه إلى تحسين مواصفات الخلائط الإسفلتية عن طريق إضافة مواد مبتكرة لهذه الغاية مثل الإضافات البوليميرية (SBS , EN1) من أجل تحسين أدائها وزيادة ديمومتها ومقاومتها . إن إضافة بوليمر معين إلى الخلائط الاسفلتية يحسن من أداء رصف الطرق، وتبدي الخلائط المعدلة بالبوليمرات عادة مقاومة أكبر للتخدد والشقوق الحرارية، تحسن الحساسية الحرارية ، كما تخفض من شقوق التعب وعملية تعرية [2]. ومع زيادة النمو السكاني والتطور الصناعي برزت زيادة واضحة في معدلات توليد النفايات بأنواعها المختلفة ومنها النفايات البلاستيكية والتي يدخل في صناعتها بشكل أساسي المواد البوليميرية. تبرز إشكالية البحث بقصر العمر التصميمي للخلائط الإسفلتية المحلية وضعف مقاومتها تجاه درجات الحرارة المرتفعة من جهة. من جهة أخرى لا يخلو أي منزل أو معمل من النفايات البلاستيكية و تدخل في كثير من طرق التغليف والتعليب والبناء والتشييد ، وهي من المواد الغير قابلة للتحلل البيولوجي ، كما أن غياب الطرق الهندسية البيئية للتخلص السليم منها و رميها بشكل عشوائي أو طمرها ضمن مطامر مختلطة يتسبب بالكثير من المشاكل البيئية و الصحية، وبالتي هناك حاجة حقيقية إلى منهجية مبتكرة ومستدامة لاستخدام هذه الكميات المتزايدة من هذا النوع من النفايات ، وأحد هذه الحلول هو إعادة تدوير النفايات ضمن طبقة المجبول الاسفلتي. [3،2]

قدمت دراسات وتجارب مختلفة لاستخدام مجموعة واسعة من مواد النفايات ليعاد تدويرها ، بينت نتائج دراسة **Movilla (2019)** وأخرون أن إضافة نفايات البولي ايثيلين تيريفثالات (PET) نواتج علب بلاستيكية بعد تقطيعها بمقاسات تتراوح (0.63 – 10 mm) إلى الخلائط الاسفلتية يزيد من الثبات ومقاومة أكبر للتشوهات الدائمة والتعب مقارنة بالخلائط التقليدية غير المعدلة ، وأن النسبة المثالية للإضافة تتراوح بين (6–14 %) في الخلطة . [4] قام **Cheng (2019)** وأخرون بإعداد وتقييم خصائص الرابط الاسفلتي المخصص المعدل بنفايات الأكياس المصنعة من البولي بروبيلين (PP) ، حيث بينت النتائج تحسن خواص الرابط الاسفلتي المعدل بنسبة (4 % وزناً من الرابط) من ناحية الاستطالة ونقطة التمييع والاستقرار عند التخزين في درجات الحرارة المرتفعة ، كما تحسنت الحساسية الحرارية للاسفلت المعدل مقارنة بالاسفلت غير المعدل .[5]

درس **Awaeed (2015)** وأخرون الاستفادة من مخلفات عبوات المياه البلاستيكية (PET) كمعدل لخواص الخلائط الاسفلتية [6] ، وبالتالي الاستفادة من مواد النفايات في طبقات الرصف الطرقي لإيجاد حل بديل لزيادة خدمة الحياة لطبقات الرصف الاسفلتي والحد من التلوث البيئي . حيث تم استخدامها كبوليمر مضاف للاسفلت بعد تحديد خواصه (كثافة 1370 $Kg/m^3$ ، نقطة الذوبان 260 درجة مئوية) من خلال استخدام خمسة نسب إضافة هي (2 ، 4 ، 6 ، 8 ، 10 %) من وزن الاسفلت المثالي لتحضير خلائط اسفلتية معدلة ، خلصت الدراسة إلى النسبة المثالية من إضافة نفايات المخلفات البلاستيكية هي (8%) .

كما استخدم **Paul&Bhattacharya (2015)** النفايات البلاستيكية في انشاء الطرق [7]، وتم توصيف البولي ايثيلين منخفض وعالي الكثافة من حيث التركيب الكيميائي والكثافة ونقطة التمييع. تم اختبار البيتومين غير المعدل

ذو صنف 70/60 ومن ثم مقارنة النتائج مع عينات بيتومين معدل بنسبة (10 %) من نفايات بلاستيكية ، حيث انخفضت قيمة الغرز والاستطالة وازدادت درجة حرارة الوميض والاشتعال وارتفعت درجة التمييع . قدم **Hamed (2014)** وأخرون ، دراسة للاستخدام الأمثل للنفايات البلاستيكية في تحسين خواص مارشال ومقاومة الرطوبة للخلائط الاسفلتية الحارة . [8] من خلال تصميم خلائط اسفلتية بإسفلت ذو صنف /40-50/ ومواد حصوية بقطر أعظمي (19 mm) بعد تحديد ومطابقة كل من خواص الاسفلت والحصويات وتحديد التركيب الحبي ، ومن ثم تحديد النسبة المثالية للاسفلت بطريقة مارشال والتي تم تحديدها بنسبة (4.5 %) ، تمت دراسة تأثير الإضافات من النفايات البلاستيكية المستخدمة هي علب المشروبات والمياه ، واقترح الباحث ثلاثة طرق للإضافة الأولى وفق القطر حيث استخدمت مجموعة من الأقطار وتبين أن ثبات مارشال يزداد عند المنخل (1.18) وانخفاض نسبة الفراغات الهوائية، والثانية وفق السماكة استخدام نفايات بلاستيكية بسماكة كبيرة تخفض من ثبات مارشال ويفضل استخدام نفايات بسماكة ناعمة مثل (0.5 mm) أما الإضافة الثالثة كنسبة مئوية من وزن الحصوية (5 ، 10 ، 15 ، 20 ، 25 %) ، حيث خلصت الدراسة أن النسبة المثالية للإضافة (15 %).

## أهمية البحث و أهدافه:

يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات ومواد البناء ويتخصص في تعديل الخلطات الاسفلتية الساخنة وتحسين خواصها عبر استثمار أحد أنواع النفايات البلاستيكية وهي الاكياس والمواد المغلفة المصنعة من بولي ايثلين منخفض الكثافة (LDPE).

يهدف هذا البحث إلى التحقق من إمكانية استخدام نفايات الأكياس البلاستيكية والمواد المغلفة المصنعة من الصنف (N4) (Waste Poly Ethylene **WPE**) في الخلطات الاسفلتية الساخنة لزيادة صلابة ومقاومة الخلطات المعدلة مقارنة مع الخلطة التقليدية وتحديد النسبة المثالية لإضافتها واستخدامها في الخلطة المعدلة ، كما أن للبحث أهداف اقتصادية وبيئية تتجلى في إعادة استخدام نفايات المواد البلاستيكية.

**1- المواد المستخدمة في الدراسة المخبرية :**

1- الحصويات Aggregate : استخدم في البحث حصويات كلسية قاسية مكسرة وقطر أكبر حبة لا يزيد عن 19 mm ، تم الحصول عليها من أحد مجابل الشركة العامة للجسور والطرق.

2- الاسفلت Asphalt : تم استخدام نوع واحد من الاسفلت في تصميم عينات البحث ، الاسفلت المستخدم في الدراسة هو اسفلت ذو صنف (60-70) وتم الحصول عليه من مصفاة بانياس وتم اختباره وفق المواصفات السورية .

3- نفايات الأكياس البلاستيكية المكونة من البولي ايثيلين منخفض الكثافة (LDPE) والتي تستخدم للتغليف والحفظ والتعبئة والحماية ، بحيث يتم إضافتها بشكل مواد ناعمة مطحونة بقطر لا يتجاوز (4.75 mm)

**2- العمل المخبري:**

يستند البحث إلى دراسة مخبرية على عينات اسفلتية مصنعة وفقاً لطريقة مارشال الكلاسيكية في تصميم الخلائط الاسفلتية الساخنة والمعتمدة في سوريا ، ونبين فيما يلي تسلسل خطوات العمل المخبري :

- اختبارات الحصويات : وتشمل التحليل الحبي ، المكافئ الرملي ، لوس انجلوس ، الوزن النوعي والتشرب ومقارنتها مع المواصفات الفنية .

- اختبارات الاسفلت : وتشمل تجارب الغرز، الاستطالة، نقطة التمييع (الكرة والحلقة) ونقطتي الوميض والاشتعال بغرض التأكد من مطابقة الإسفلت المستخدم في تحضير عينات الدراسة مطابق للمواصفات الفنية السورية المعمول بها.

- تصميم الخلطة الاسفلتية : بعد تحديد خواص الاسفلت وخواص الحصويات ، يتم تصميم خلطة اسفلتية حارة وفقاً لطريقة مارشال وبنسب اسفلت (4.0 ، 4.5 ، 5.0 ، 5.5 ، 6.0) ثم حساب عناصر مارشال و إيجاد نسبة الاسفلت المثالية.

- تصميم خلائط اسفلتية وبنفس نسبة الاسفلت المثالية مع إضافة نفايات المواد البلاستيكية (LDPE) بنسب (8 – 10 –12 – 14– 16%) من نسبة الإسفلت المثالية إلى الخلائط الاسفلتية ومناقشة النتائج .

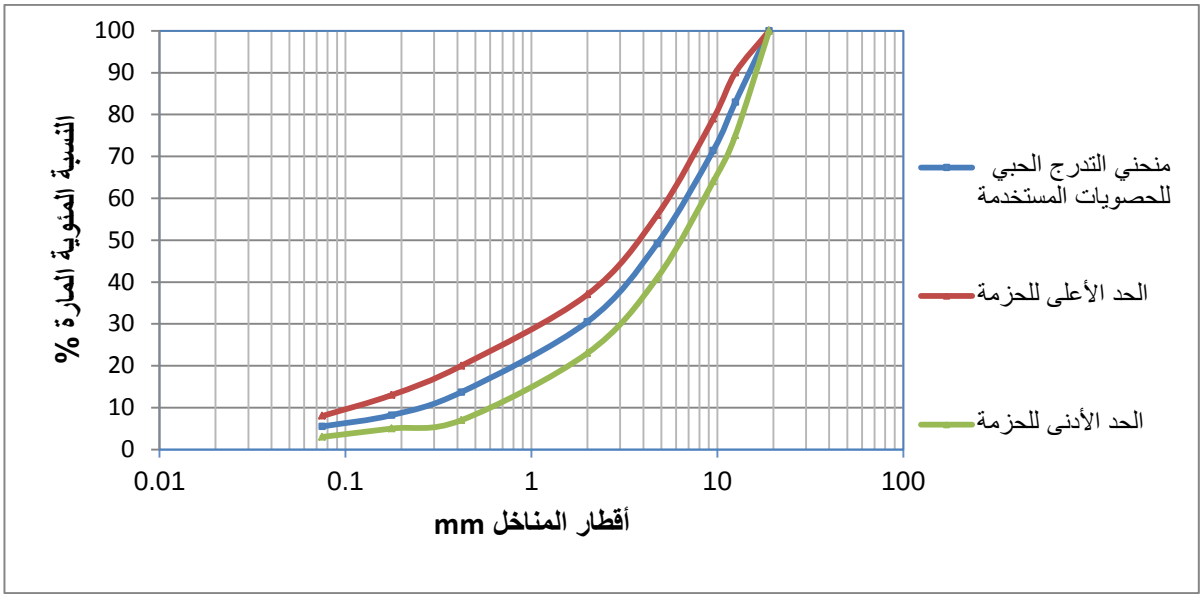
## النتائج والمناقشة:

### 1- نتائج اختبار الحصويات والتركيب الحبي للخلطة الحصوية :

**الجدول(1) نتائج اختبارات الحصويات**

| نوع الاختبار | نتيجة الاختبار |
|---|---|
| فاقد الاهتراء وفق لوس انجلوس % | 27 |
| حدود اتربرغ | NP |
| المكافئ الرملي % | 70.0 |
| التركيب الحبي | موضح بالشكل (1) |
| امتصاص الماء / للحصويات الخشنة % | 0.945 |
| امتصاص الماء / للحصويات الناعمة % | 1.603 |
| الوزن النوعي الفعال للخليط $G_{se}$ | 2.571 |

نلاحظ من الجدول (1) أن الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطة الاسفلتية هي حصويات كلسية ومحققة للمواصفات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002 .كما نبين في الشكل (1) منحني التركيب الحبي المعتمد والخاص بخلطة طبقة اهتراء مجبول اسفلتي و الحزمة النظامية المعتمدة




**الشكل (1) التحليل الحبي والحزمة النظامية**

## 2- نتائج اختبارات الإسفلت :

**الجدول (2) نتائج اختبار الاسفلت**

| المتطلبات الفنية وفق ASTM D946 | نتائج الاختبار | نوع الاختبار |
|---|---|---|
| 60-70 | 63.0 | الغرز (Penetration Test) (25 °C)100g,5sec , (0.1mm) |
| min (232 C°) | درجة الوميض 267 °C | نقطة الوميض والاشتعال (Flash and Fire Point rest) (Cleveland cup open ) (C°) |
| | درجة الاشتعال 290 °C | |
| min 100.0 | 114 | استطالة الاسفلت (الممطولية) (Ductility) (25 °C) 5cm/min ,cm |
| 52-48 | 49.7 | نقطة التميع (Softening Point Test) (°c) |
| Max 1 % | 0.76 | النقص في الوزن (LOSS On Heating) (%) |

من نتائج الجدول (2) نجد أن الاسفلت المستخدم في الدراسة هو من الصنف (60-70) وهو محقق للمتطلبات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002.

## 3- نتائج تصميم الخلطة الاسفلتية وتحديد نسبة الاسفلت المثالية :

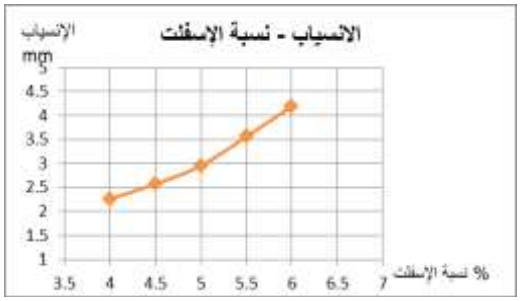
باعتماد طريقة مارشال لتصميم الخلائط الإسفلتية وفق المواصفة (ASTM D1559) ، تم تشكيل خلطة حصوية من التدرج الحبي المدروس للحصويات وخلطها بالرابط الإسفلتي بنسب (6.0 , 5.5 , 5.0 , 4.5 , 4.0 %) من وزن الخلطة الاسفلتية بعد تسخين الحصويات والاسفلت إلى درجة حرارة كافية لتغليف الحصويات بالاسفلت ، ومن ثم صب

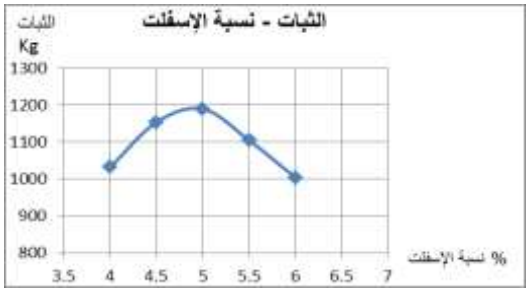
ثلاثة عينات لكل نسبة مئوية بقوالب مارشال ، وفي اليوم التالي تم تحديد الكثافة الحجمية للعينات و إجراء اختبار مارشال لتحديد ثبات وانسياب العينات ، كما تم تحديد نسب الفراغات الهوائية والمليئة ، والنتائج مبينة في الجدول (3).

**الجدول(3) نتائج تصميم الخلطة الاسفلتية وفق طريقة مارشال**

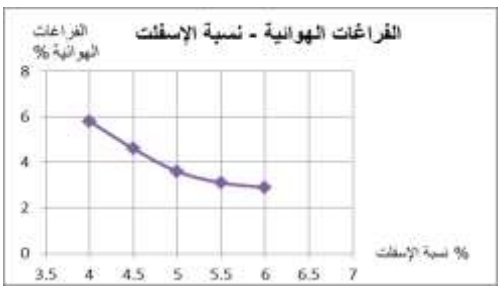
| الرقم | نسبة الإسفلت | كثافة مارشال | الفراغات المليئة VFB % | الفراغات الهوائية VA % | الثبات Kg | الانسياب mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.0 | 2.286 | 60.6 | 5.8 | 1032 | 2.26 |
| 2 | 4.5 | 2.297 | 68.4 | 4.6 | 1154 | 2.57 |
| 3 | 5.0 | 2.305 | 75.5 | 3.6 | 1190 | 2.95 |
| 4 | 5.5 | 2.301 | 79.7 | 3.1 | 1105 | 3.56 |
| 5 | 6.0 | 2.291 | 82.2 | 2.9 | 1004 | 4.19 |

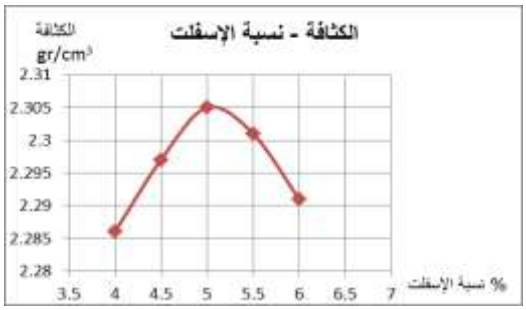
من الجدول (3) تم رسم العلاقة بين نسب الإسفلت المضافة وخصائص مارشال لتحديد نسبة الاسفلت المثالية التي تحقق المتطلبات الأساسية للخلطة الإسفلتية ولشروط طريقة التصميم وفق مارشال كما هو وراد في الشكل (2)

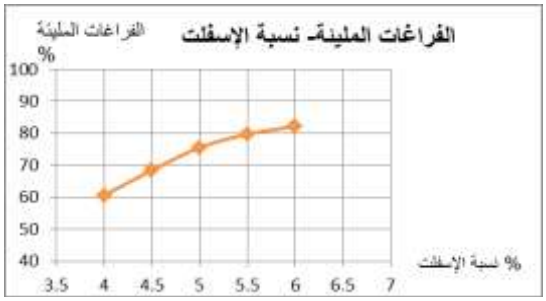



**الشكل (2) منحنيات مارشال بحسب نسبة الاسفلت**






**تابع – الشكل (2) منحنيات مارشال بحسب نسبة الاسفلت**

بالاعتماد على منحنيات مارشال (الثبات ، الانسياب ، الكثافة ، الفراغات الهوائية والمليئة) تم تحديد نسبة الاسفلت المثالية ونبين في الجدول (4) خصائص الخلطة الاسفلتية التصميمة ، باعتماد نسبة اسفلت أصولية (4.8 %) كمتوسط لنسبة الاسفلت التي تحقق أكبر قيمة للثبات ونسبة اسفلت محققة لكثافة أعظمية ونسبة فراغات هوائية (4%) .

**الجدول(4) خصائص الخلطة الاسفلتية التصميمة**

| الخاصة | القيمة | الحدود المسموحة وفق المواصفات السورية |
|---|---|---|
| نسبة الاسفلت المثالية % | 4.8 | – |
| الثبات (Kg) | 1176 | 1100< |
| الانسياب (mm) | 2.9 | 4–2 |
| الكثافة ($gr/cm^3$) | 2.302 | – |
| نسبة الفراغات الهوائية (%) | 3.9 | 5–3 |
| نسبة الفراغات المليئة (%) | 73.0 | 85 – 65 |

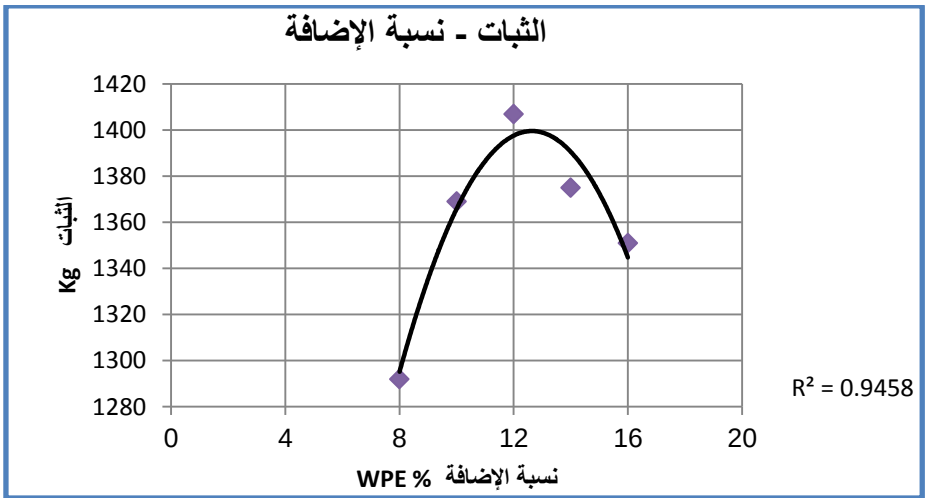
**4– دراسة مواصفات الخلطة المعدلة بنسب من نفايات البلاستيك :**

بعد تحديد نسبة الإسفلت المثالية (4.8%) ، تمت صناعة خلائط إسفلتية بنفس النسبة المثالية المعتمدة للإسفلت مع إضافة نسب (8 – 10 –12 – 14–16%) من نفايات الأكياس البلاستيكية (WPE) بشكل مطحون إلى الخلائط، وذلك بعد عملية تسخين الحصويات إلى الدرجة اللازمة للتجفيف تتم إضافة النفايات وفق النسب المحددة وخلط المزيج مع التسخين ، ثم تتم إضافة الإسفلت والخلط حتى تغليف الحصويات بالإسفلت بشكل كامل. لكل نسبة إضافة يتم تقييم ودراسة نتائج تأثير الإضافة على بارمترات الخلطة الاسفلتية ، مع مقارنتها بخصائص الخلطة المرجعية ، حيث تم تصنيع ثلاث عينات لكل نسبة من الإضافة وأخذ متوسط القيمة ، شملت الاختبارات كل من الثبات والانسياب والكثافة ونسب الفراغات ، و نبين في الجدول (5) نتائج الثبات والانسياب عند نسب الإضافة وحساب قيم صلابة مارشال Marshall Stiffness.

**الجدول(5) نتائج الثبات والانسياب للخلطة المرجعية والخلائط المعدلة**

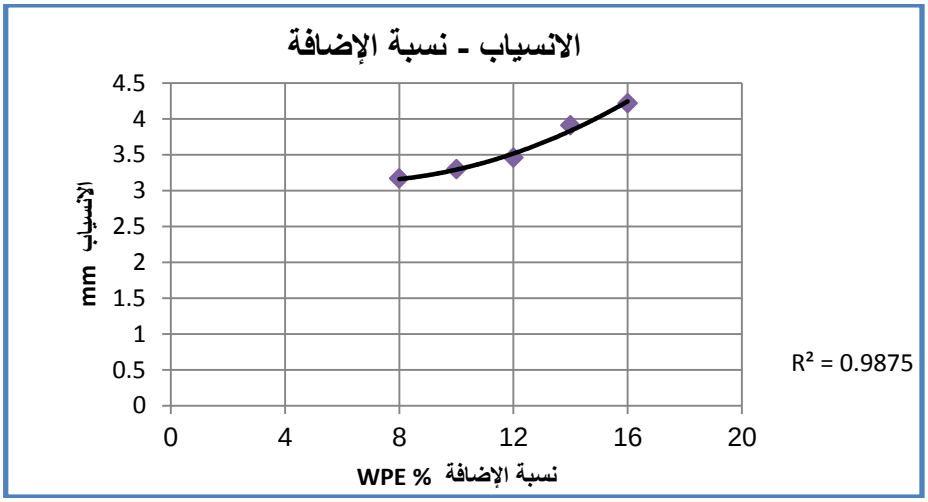
| الخلطة | نسبة المادة المضافة % | الثبات Kg | الانسياب mm | صلابة مارشال KN/mm |
|---|---|---|---|---|
| WPE 0 | 0 | 1195 | 3.0 | 3.98 |
| WPE 8 | 8 | 1292 | 3.17 | 4.08 |
| WPE 10 | 10 | 1369 | 3.30 | 4.15 |
| WPE 12 | 12 | 1407 | 3.46 | 4.07 |
| WPE 14 | 14 | 1375 | 3.91 | 3.52 |
| WPE 16 | 16 | 1351 | 4.22 | 3.20 |

بينت النتائج أن قيم ثبات مارشال تزداد بازدياد نسبة الإضافة حتى النسبة (12%) ثم تعود لتنخفض القيم وبالمجمل كانت جميع قيم الثبات ضمن المواصفة المقبولة الخاصة بها ، حيث ازدادت بنسبة (8.2 %) عند نسبة الإضافة (8 %) ، وازدادت بنسبة (14.6 %) عند الإضافة بنسبة (10 %) ، و عند الإضافة بنسبة (12 %) فقد ازدادت قيمة ثبات مارشال بنسبة (17.7 %) ، وبنسبة (15.1 %) عند الإضافة (14 %) ، أما عند نسبة إضافة (16 %) فقد ازدادت قيمة ثبات مارشال بنسبة (13.1 %) عن قيمة ثبات الخلطة بدون تعديل ويبين الشكل (3) العلاقة بين قيم الثبات ونسب الإضافة .

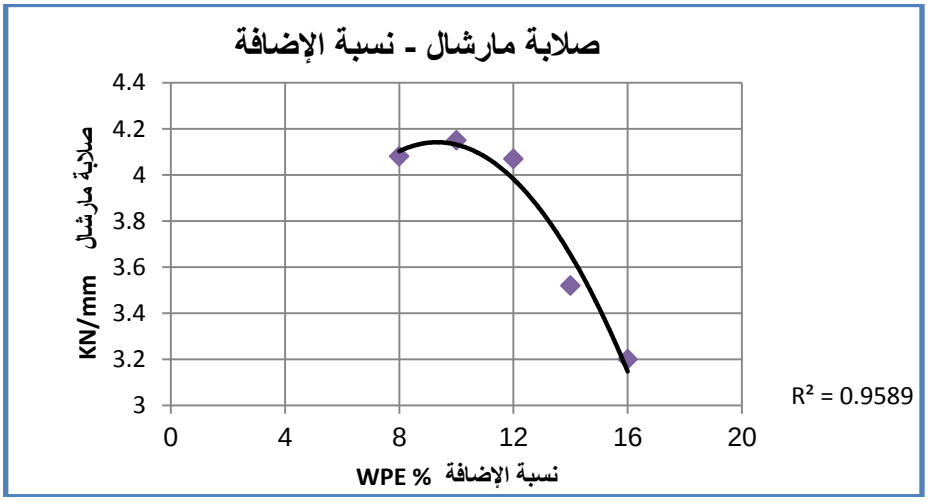



**الشكل(3) مقارنة قيم الثبات عند الإضافة بنسب من WPE**

أما بالنسبة لقيم الانسياب فنلاحظ من النتائج ازدياد قيم الانسياب بزيادة نسب الإضافة وبقيت جميع القيم ضمن حدود الانسياب المنصوص عنها في المواصفات (2-4 mm) باستثناء قيمة الانسياب عند الإضافة (16 %) حيث تجاوزت قيمة الانسياب (4 mm)، و وصلت نسبة الزيادة في قيم الانسياب عند الإضافة بنسبة (16 %) إلى نسبة(40.7%).




**الشكل(4) مقارنة قيم الانسياب عند الإضافة بنسب من WPE**



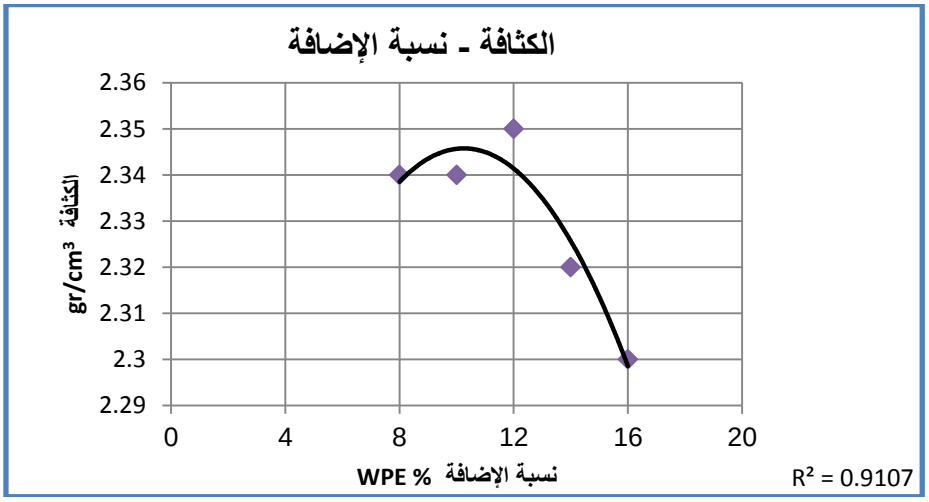

**الشكل(5) مقارنة قيم صلابة مارشال عند الإضافة بنسب من WPE**

يبين الشكل (5) العلاقة بين نسب الإضافة وصلابة مارشال (KN/mm) ، حيث يلاحظ ازدياد قيمة صلابة مارشال بزيادة نسبة الإضافة عند النسبتين (8 و 10 %) ومن ثم تعود صلابة مارشال للانخفاض بالرغم من ارتفاع قيم الثبات ويعود ذلك إلى ازدياد قيم الانسياب مع زيادة نسبة الإضافة ، وبقيت قيم صلابة مارشال بالمجمل ضمن القيم المقبول (تشترط المواصفات قيم لصلابة مارشال أكبر من 2.1 )

**الجدول(6) نتائج الكثافة و نسب الفراغات بدلالة نسب الإضافة**

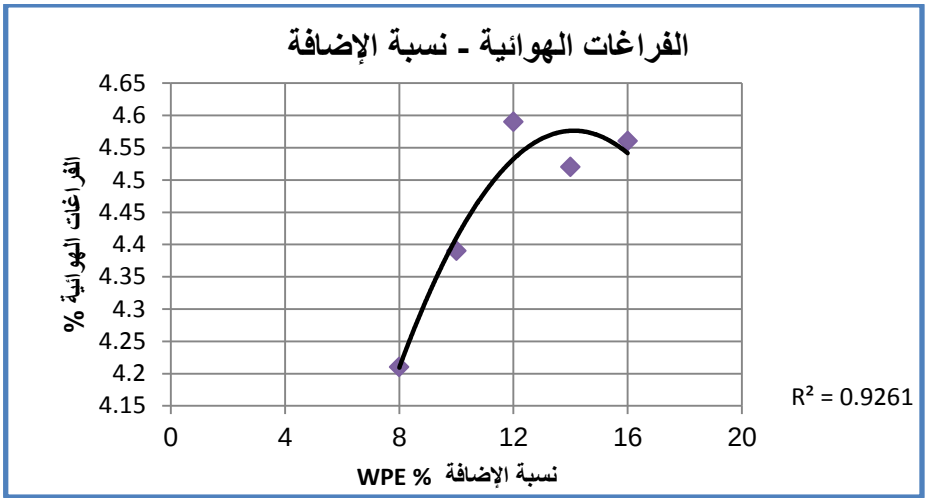
| الخلطة | نسبة المادة المضافة % | الكثافة $gr/cm^3$ | الفراغات الهوائية VA % | الفراغات المليئة VFB % |
|---|---|---|---|---|
| WPE 0 | 0 | 2.31 | 4.0 | 72.10 |
| WPE 8 | 8 | 2.34 | 4.21 | 71.08 |
| WPE 10 | 10 | 2.34 | 4.39 | 70.91 |
| WPE 12 | 12 | 2.35 | 4.59 | 70.66 |
| WPE 14 | 14 | 2.32 | 4.52 | 70.50 |
| WPE 16 | 16 | 2.30 | 4.56 | 70.63 |

يلاحظ من النتائج اختلاف قيم الكثافة وتأرجحت بين الزيادة والنقصان ، وصلت أقصى قيمة للكثافة الظاهرية ( 2.35 $gr/cm^3$) عند نسبة إضافة (12 %) ، أما أقل قيمة للكثافة ($2.30\ gr/cm^3$) عند نسبة إضافة (16 %) ويعود ذلك لزيادة نسبة وجود نفايات البولي ايثيلين منخفضة الكثافة ، يبين الشكل (6) العلاقة بين نسبة الإضافة وقيم الكثافة .



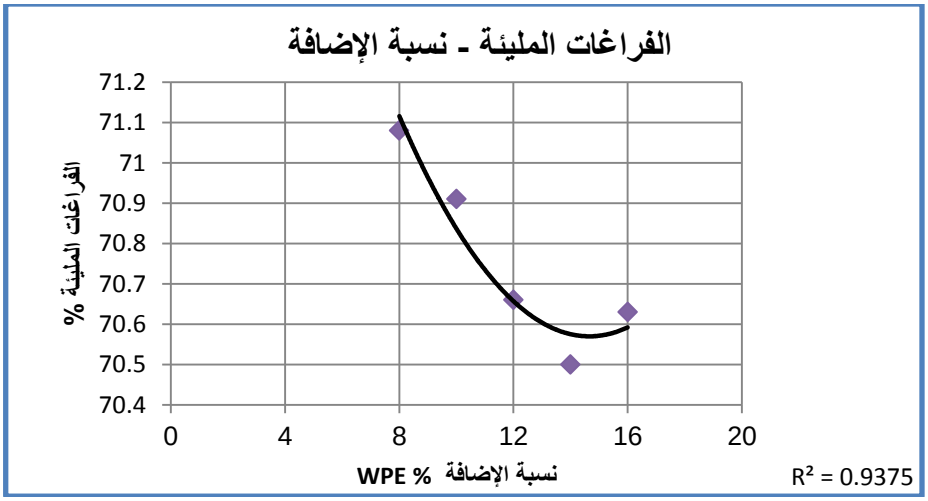

**الشكل(6) قيم الكثافة بدلالة نسب الإضافة من نفايات البولي إيثيلين**

بشكل عام تكون نسبة الفراغات الهوائية في الخلائط المعدلة أعلى مقارنة مع الخلطة المرجعية والتي كانت فيها نسبة الفراغات الهوائية (4.0 %) ، ازدادت قيم الفراغات الهوائية تدريجياً مع زيادة محتوى الإضافة من WPE حيث بلغت أعلى قيمة للفراغات الهوائية (4.59 %) عند نسبة إضافة (12 %) أي بزيادة مقدارها (14.8%) عن الخلطة المرجعية ، وبالمجمل بقيت جميع قيم الفراغات الهوائية ضمن الحدود المسموحة ، ويبين الشكل (7) العلاقة بين نسبة الإضافة وقيم الفراغات الهوائية




**الشكل(7) نسب الفراغات الهوائية بدلالة نسب الإضافة من نفايات البولي إيثيلين**

تتأثر نسب الفراغات المليئة مع نسب الفراغات الهوائية بنسب النفايات المضافة التي تلعب دوراً مهماً في تغير سلوك الخلطة وخواصها الحجمية، ويلاحظ من الشكل (8) انسجام نقصان الفراغات المليئة مع ارتفاع نسب الفراغات الهوائية




**الشكل(8) نسب الفراغات المليئة بدلالة نسب الإضافة من نفايات البولي إيثيلين**

**5- تحديد نسبة الإضافة المثالية :**

بعد رسم العلاقة بين نسب الإضافة وكل من الثبات والانسياب والكثافة ونسب الفراغات الهوائية والمليئة وفق الأشكال (3،4،5،6،7) فإنه يتم تحديد النسبة المثالية للإضافة من مخلفات نفايات البولي ايثيلين منخفض الكثافة (WPE) وفق ثلاث عناصر هي نسبة الإضافة التي تعطي أعلى قيمة للثبات وهي (13 %) ، نسبة الإضافة التي تكون عندها الكثافة أعظمية (10 %) ونسبة فراغات هوائية ضمن القيم المسموحة ويفضل أن تكون منخفضة لتخفيف التأثير السلبي لعملية التقادم وهي (8 %). بأخذ متوسط النسب الثلاثة تكون النسبة المثالية للإضافة (WPE) هي (10 %) والتي تلبي متطلبات تحسين مواصفات الخلطة الاسفلتية وبدون الاخلال بالمواصفات المعمول بها والخاصة بخلطة

طبقة اهتراء مجبول إسفلتي . ونبين في الجدول (9) مقارنة بين بارمترات الخلطة الإسفلتية المرجعية وخلطة إسفلتية معدلة بنسبة الإضافة المثالية التي تم اعتمادها (10 %) .

**الجدول(7) مقارنة بين الخلطة المعدلة بالنسبة المثالية والخلطة المرجعية**

| الخاصية | الخلطة المرجعية | الخلطة المعدلة (WPE 10%) | نسبة التغيير |
|---|---|---|---|
| نسبة الإسفلت المثالية (%) | 4.8 | 4.8 | – |
| الثبات (Kg) | 1195 | 1377 | +15.23 % |
| الانسياب (mm) | 3.0 | 3.32 | +8.0 % |
| الكثافة ($gr/cm^3$) | 2.31 | 2.33 | +0.87 % |
| نسبة الفراغات الهوائية (%) | 4.0 | 4.26 | +6.5 % |
| نسبة الفراغات المليئة (%) | 72.1 | 71.09 | −1.4 % |

## الاستنتاجات والتوصيات:

1- بينت نتائج تصميم الخلطة الاسفلتية وفق طريقة مارشال أن النسبة المثالية للإسفلت هي (% 4.8) والتي عندها تتحقق المتطلبات الفنية الخاصة بالخلطة الاسفلتية لطبقة الاهتراء .

2- ازدادت قيمة ثبات مارشال مع زيادة نسبة إضافة نفايات البولي إيثيلين ، ووصلت أقصى قيمة للثبات (1407 Kg) أي ازدادت قيمة الثبات بنسبة (17.7%) عند الإضافة بنسبة (12 %) وذلك بسبب زيادة صلابة الرابط الإسفلتي.

3- ازدياد قيمة صلابة مارشال بزيادة نسبة الإضافة حتى النسبة (10 %) ومن ثم تعود قيم صلابة مارشال للانخفاض بالرغم من ارتفاع قيم الثبات ويعزى ذلك إلى ازدياد قيم الانسياب مع زيادة نسبة الإضافة .

4- بقيت نسبة الفراغات الهوائية وقيمة الانسياب للخلائط المعدلة بالنسبة المثالية من (% 10 WPE) ضمن الحدود المسموحة المنصوص عنها في الشروط العامة للطرق والجسور المعتمد في سورية والخاصة بخلطة اهتراء مجبول إسفلتي وقريبة من القيم الخاصة بالخلطة المرجعية .

5- تعتبر نسبة الإضافة (10 %) من نفايات المواد البلاستيكية البولي ايثيلن منخفض الكثافة هي نسبة مثالية للإضافة كمادة معدلة ومحسنة لخواص الخلطات الاسفلتية الخاصة بطبقة اهتراء حيث تكون قيم الثبات وصلابة مارشال مرتفعة مقارنة مع الخلطة بدون تعديل مع المحافظة على المتطلبات الأساسية.

6- إن إضافة نفايات البولي ايثيلين منخفض الكثافة (WPE) يعطي عند ذوبانه ضمن الخلطة الاسفلتية ملمساً أكثر خشونة بالنسبة للحبات الحصوية مقارنة مع الخلطة غير المعدلة ، وبالتالي يزيد من خصائص الثبات للخلطة المعدلة نظراً لتحسن خاصية الالتصاق بين الاسفلت والحبات الحصوية .

7- إن زيادة قيم الثبات للخلطات الاسفلتية المحسنة يؤثر إيجاباً على مقاومة إجهادات التعب ومقاومة التخدد وذلك بسبب زيادة صلابة المجبول المرتبط أساساً بالخواص الريولوجية للخلطة الإسفلتية مما يوفر طبقات رصف أكثر متانة وديمومة .

8- يمكن استخدام نفايات البولي ايثيلين كمعدل للخلائط الاسفلتية كونه يحسن أداء الخلائط الإسفلتية.

9- نوصي بالبحث في دراسة خواص الرابط الإسفلتي عند تعديله بإضافة نفايات البولي ايثيلين منخفض الكثافة وتأثير الإضافة على الخواص الريولوجية للرابط الاسفلتي .

10- نوصي بدراسة خواص أخرى للخلائط الاسفلتية المعدلة باستخدام البولي ايثيلين مثل مقاومة التشوهات الدائمة والتخدد .

## المراجع:


1- Becker, Y, Mendez, M, Rodriguez, Y. Polymer modified asphalt, VISION TECNOLOGICA / VOL. 9 Nº 1, 2001

2- Yash Menaria , Rupal Sankhla. Use of Waste Plastic in Flexible Pavements-Green Roads. Open Journal of Civil Engineering, Vol.5 No.3, September 9, 2015

3- Rajasekaran,S, Vasudevan,R. ,Paulraj,S. Reuse of Waste Plastics Coated Aggregates-Bitumen Mix Composite for Road Application—Green Method. American Journal of Engineering and Research, 2, 1-13 , 2013

4- D.Movilla-Quesada, A.C.Raposeiras, J. Olavarria. Effects of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) on Stiffness of Hot Asphalt Mixtures. Advances in Civil Engineering Volume 2019, Article ID 6969826, 6 pages https://doi.org/10.1155/2019/6969826

5- Youliang Cheng, QianGang Fu, Changqing Fang , Qingling Zhang, and Chan Lu. Preparation, Structure, and Properties of Modified Asphalt with Waste Packaging Polypropylene and Organic Rectorite. Advances in Materials Science and Engineering .Volume 2019, Article ID 5362795, 9 pages https://doi.org/10.1155/2019/5362795

6- Khalid Awaeed, Besma Fahad, Dalia Rasool .Utilization of Waste Plastic Water Bottle as a Modifier For Asphalt mixture Properties . Journal of Engineering and Development, Vol.20, No.2,march. 2015, ISSN 1813- 7822

7- Rajdip Paul, Debashis Bhattacharya . USE OF WASTE PLASTIC IN CONSTRUCTION OF ROAD . Global Journal Of Engineering Science And Researches [Paul, 2(6): June 2015] ISSN 2348 – 80343.155.2015

8- Hamed M. Jassim , Omar T. Mahmood . Optimum Use of Plastic Waste to Enhance the Marshall Properties and Moisture Resistance of Hot Mix Asphalt . International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 7 Number 1- Jan 2014.

9- ASTM D 1559.. Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA . 1989

10- Rahman, Md. Nobinur, et al. Performance Evaluation of Waste Polyethylene and PVC on Hot Asphalt Mixtures. American Journal of Civil Engineering and Architecture 2013 ,97-102.

11- Shiva Prasad K, Manjunath K. R, K. V R Prasad. Study on Marshall Stability Properties of BC Mix Used In Road Construction by Adding Plastic waste Bottles. Journal of Mechanical and Civil Engineering,Volume 2, Issue 2 (Sep.-Oct. 2012), PP 12-23