

## استخدام غبار الاسمنت لتعديل مواصفات البيتومين المحلي لمقاومة التعب قصير الأمد

الدكتور بسام سلطان<sup>1</sup>

محمود علي عبد الله<sup>2</sup>

(تاريخ الإيداع 23 / 11 / 2015. قُبل للنشر في 18 / 4 / 2016)

### □ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى تحسين مواصفات البيتومين المحلي 60-70 ناتج مصفاة بانياس باستعمال غبار معمل اسمنت طرطوس بحيث يصبح أكثر مقاومة لدرجات الحرارة المرتفعة التي يتعرض لها خلال مرحلة انتاج المجبول البيتوميني (التعب قصير الأمد)، بالإضافة إلى تنظيف البيئة من هذه الملوثات ذات السمية المعروفة. تم إضافة غبار معمل الاسمنت بنسب % (12, 14, 16, 18) وزناً من البيتومين، و أجريت بعض التجارب لتحديد خواص البيتومين المعدل وغير المعدل (الغرز في درجات الحرارة °C (4, 15, 25)- الممطولية- تحديد درجة حرارة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة)، ثم أعيدت التجارب السابقة بعد إجراء اختبار الفاقد بالحرارة والتعرض للتعب قصير الأمد على نوعي البيتومين المعدل وغير المعدل المستخدم في هذا البحث ، وكانت النتائج ضمن حدود المواصفات ومتوافقة مع الدراسات المرجعية السابقة، وقد أدت هذه الإضافات إلى زيادة الممانعة الحرارية للبيتومين المحلي، وكانت النسبة الأمثل من غبار معمل الاسمنت والتي حصلنا عليها على مقاومة عالية لدرجات ال حرارة المرتفعة مع الحفاظ على مرونة الرابط البيتوميني هي 14%، وبناءً على ذلك فإنه يمكن استخدام غبار معمل الاسمنت لتحسين مقاومة البيتومين لدرجات الحرارة المرتفعة بالإضافة إلى الفوائد البيئية والاقتصادية المتوقعة من هذا الاستخدام.

**الكلمات المفتاحية:** البيتومين المعدل، التعب قصير الأمد، الممانعة الحرارية، غبار معمل الاسمنت.

<sup>1</sup> أستاذ مساعد - قسم هندسة المواصلات و النقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.  
<sup>2</sup> طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة المواصلات و النقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Using cement Bypass Dust To Modify the Specifications of local Bitumen for Short Term Aging Resistance

Dr. Bassam Sultan<sup>3</sup>  
Mahmoud ALI Abdullh<sup>4</sup>

(Received 23 / 11 / 2015. Accepted 18 / 4 / 2016)

### □ ABSTRACT □

This research was done to improve the local bitumen specifications 60-70 (Banias refinery output) using Cement Bypass DUST(CBPD) so that it becomes more resistant to high temperatures (Short- Term- Aging), in addition to reduce the harmful waste materials.

The cement bypass was supplied by Tartous Cement Company and added to bitumen with different percentages namely, 12%, 14%, 16% and 18% (by the weight of bitumen). some experiments were held to determine the properties of modified and unmodified bitumen (Penetration (25, 15, 4)C°- Ductility- Softening point), then We returned previous experiences after (Loss- on- heating test) and exposure to (Short- Term- Aging) on the modified and unmodified bitumen, and the results were within specification limits, were Compatible with previous reference studies and these additions have to improve the resistance of bitumen to high temperatures. The optimum cement Bypass Dust ratio was found to be 14% of the weight used bitumen.

**Key words:** Bitumen Modifier, Short Term Aging, Thermal Resistance, Cement Bypass Dust.

---

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>4</sup> Postgraduate Student, Department of Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

## مقدمة:

يعتبر البيتومين ناتج تكرير المصافي (petroleum Bitumin) المادة الأساسية لصناعة المجلبول البيتوميني، حيث يلعب دور المغلف والرابط للحصويات، ومن هنا تبرز الأهمية الكبيرة في الحفاظ على خواصه قدر الإمكان، حيث يتعرض لمجموعة من التغيرات التي تبدأ من مرحلة إنتاج المجلبول البيتوميني في درجات الحرارة المرتفعة (التعب قصير الأمد Short-Term-Aging )، وتستمر هذه التغيرات إلى مرحلة استنثاره تحت تأثير الحمولات والعوامل الجوية، وتؤدي هذه المتغيرات إلى منعكسات سلبية على أداء البيتومين ضمن المجلبول البيتوميني، مما يسبب فقدان البيتومين للكثير من خواصه الأولية ( انخفاض الممتولية، انخفاض قيمة الغرز، ارتفاع درجة حرارة الكسر، ارتفاع درجة حرارة التميع، انخفاض الخواص اللدنة للبيتومين من خلال ارتفاع اللزوجة في درجات الحرارة  $60-90^{\circ}\text{C}$ )، التي قد تصل به إلى درجة يصبح فيها غير صالح للاستخدام، وفي بعض الحالات يتطلب البيتومين التعديل، كي يحقق المواصفات المطلوبة[1].

من ناحية أخرى، يعتبر غبار معامل الاسمنت Cement Bypass Dust (CBPD) من المشاكل البيئية الضخمة، نظراً لما يسببه من تلوث الهواء وتجر الأراضى الزراعية. كما أن التخلص منه يمثل عبئاً اقتصادياً ضخماً نظراً لكمياته الكبيرة، وتكاليف نقله العالية. وقد بدأ مؤخراً التفكير في إمكانية استخدام غبار معامل الاسمنت في أعمال رصف الطرق عوضاً عن التخلص منها كنفائيات، وهي مواد شديدة النعومة تتراوح أقطارها بين  $10-100\text{ nm}$ ، ويبلغ PH لها 12، وتعتبر من فضلات معامل الاسمنت ويتكون بشكل رئيسي من أكسيد الكالسيوم Cao بنسبة، ومن الأكاسيد (  $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}$  ) الخ[2].

تتأثر الخواص الفيزيائية والكيميائية لغبار معامل الاسمنت بعوامل مختلفة منها: نوعية المواد الخام ( حجر كلسي - غضار - أكاسيد الحديد - السيليكات.... )، وبطريقة إدخال المواد الخام المطحونة لأفران معامل الاسمنت ( الطريقة الرطبة- الطريقة الجافة )، نوع الفرن، الوقود، بطرق ووسائل جمع هذا الغبار... الخ[3]. الخواص العامة لغبار معامل الاسمنت تشابه إلى حد كبير خواص الاسمنت البورتلاندي، وبعض هذا الغبار يُعاد تدويره ثانية في الكلنكر، لكن المقدار محدود بسبب القلوية التي تفرضها متطلبات الاسمنت البورتلاندي ومشكلات تشغيل الكلنكر . على أية حال يبقى القسم الأكبر من هذه المواد في الموقع دون محاولة إعادة استخدامه أو استصلاحه، حيث تتولد الكميات الكبيرة من هذا الغبار خلال مرحلة تصنيع الاسمنت البورتلاندي [3].

في عام 2010 قام (د.عبد الجليل وآخرون) من جامعة الأنبار في العراق، بتحسين مواصفات البيتومين الطبيعي المنشأ في محافظة الأنبار، مستعملين غبار معامل الاسمنت، للمساعدة في تنظيف البيئة من هذه الملوثات السامة الضارة ، وقد أدت تلك الدراسة لتحسين الخواص الفيزيائية للبيتومين وزيادة مقاومته لدرجات الحرارة المرتفعة[5]. وفي عام 2013 لخص الباحث المصري Dr. Eng. Farag النتائج التي تم التوصل إليها حول استخدام غبار معامل الاسمنت ذات أقطار  $10-100\text{ Nm}$  لتعديل مواصفات الرابط البيتوميني، وذلك عند نسب مختلفة من وزنه % (8-10-15-20)، كانت النتيجة الأفضل عند إضافة غبار معامل الاسمنت بنسبة %15 حيث تم الحصول عندها على أقل اختراق وأعلى نقطة تميع وأعلى مقاومة ضغط وازدادت مقاومة البيتومين بشكل ملحوظ للتعب قصير الأمد، في حين تم استبعاد النسبة %20 بسبب الحصول على مزيج غير متجانس[6].

ولقد لجأنا في بحثنا هذا إلى استخدام غبار معمل اسمنت طرطوس لتعديل البيتومين المحلي (ناتج مصفاة بانياس)، بحيث يصبح أكثر مقاومة لدرجات الحرارة المرتفعة التي يتعرض لها خلال مرحلة انتاجه (التعب قصير الأمد).

### أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في التخفيف من ملوثات المعامل وخاصة معامل الاسمنت ذات التأثير الخطير من الناحيتين البيئية والصحية، وبالتالي فإن استخدام هذه الملوثات على اختلاف أنواعها في إنشاء الطرق يعتبر حلاً مثالياً للتخفيف منها، لاسيما إذا ما لاحظنا تأثيرها الجيد على تحسين التصميم الإنشائي للطرق ومردودها الاقتصادي أيضاً.

و يهدف هذا البحث إلى:

1. تحسين مواصفات البيتومين المحلي لمقاومة التعب قصير الأمد (الناتج عن تسخينه لدرجات حرارة مرتفعة)، وبالتالي تحسين ممانعته الحرارية.
2. وضع منهجية سليمة لاستخدام غبار الاسمنت في تعديل الرابط البيتوميني المحلي.

### طرائق البحث ومواده:

#### 1- مواد البحث Research materials:

استخدمنا في بحثنا هذا بيتومين 60-70 ناتج مصفاة بانياس وفق المواصفات ASTM.D-140، بحيث تكون ممثلة بشكل صحيح للبيتومين المنتج في سوريا، حيث تم حفظها في عينات معدنية خاصة، أما غبار معمل الاسمنت فتم الحصول عليه من معمل اسمنت طرطوس حيث تم جمعه مباشرة من قرب المداخن، وتم اجراء التحليل الكيميائي لهذا الغبار في مخابر معمل اسمنت طرطوس.

وقد لجأنا إلى تعديل البيتومين المحلي عن طريق إضافة غبار معمل اسمنت طرطوس وفق أربع نسب

( 12، 14، 16، 18 ) % وزناً من البيتومين 60-70 ناتج مصفاة بانياس.

وقد أعطيت أنواع البيتومين المستخدمة في هذا البحث الرموز التالية:

A: يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس.

A.F: يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد التعرض إلى التعب قصير الأمد.

A<sub>D12</sub>: يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة غبار معمل الاسمنت بنسبة 12% وزناً.

A<sub>D14</sub>: يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة غبار معمل الاسمنت بنسبة 14% وزناً.

A<sub>D16</sub>: يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة غبار معمل الاسمنت بنسبة 16% وزناً.

A<sub>D18</sub>: يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة غبار معمل الاسمنت بنسبة 18% وزناً.

A<sub>F12</sub>: يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة غبار معمل الاسمنت بنسبة 12%

وزناً، وبعد التعرض للتعب قصير الأمد.

A<sub>F14</sub>: يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة غبار معمل الاسمنت بنسبة 14%

وزناً، وبعد التعرض للتعب قصير الأمد.

AF<sub>D16</sub>: يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة غبار معمل الاسمنت بنسبة 16% وزناً، وبعد التعرض للتعب قصير الأمد.

AF<sub>D18</sub>: يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة غبار معمل الاسمنت بنسبة 18% وزناً، وبعد التعرض للتعب قصير الأمد.

### العمل المخبري :

اعتمد في هذا البحث سلسلة من الاختبارات المحددة بالموصفات التالية:

1 تجربة الغرز Penetration وفق المواصفة ASTM D.5 في درجات الحرارة °C (4, 15, 25).

2 تجربة تحديد درجة حرارة التميع Softening Point (Ring & Bale) وفق المواصفة ASTM D.36.

3 تجربة الممطولية Ductility وفق المواصفات ASTM D.113.

4 تجربة الفاقد بالحرارة Lose Of Heating وفق المواصفات ASTM D.1754.

### منهجية البحث:

في البداية تم تحديد الخواص الأولية لعينات البيتومين المختبرة وهو بيتومين 60-70 ناتج مصفاة بانياس، وذلك بإجراء تجارب الغرز في درجات الحرارة °C (4, 15, 25) وتحديد درجة حرارة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة، وتجارب الممطولية، بعد ذلك تم إجراء التحليل الكيميائي لغبار الاسمنت في مخابر معمل اسمنت طرطوس ثم أعيدت التجارب السابقة على البيتومين بعد تعديله بغبار الاسمنت وفق أربع نسب وزنية % (12, 14, 16, 18).

أجري بعد ذلك اختبار الفاقد بالحرارة على نوعي البيتومين المعدل وغير المعدل ثم أعيدت نفس الاختبارات السابقة (الغرز في درجات حرارة °C (4, 15, 25)، درجة حرارة التميع، الممطولية) على البيتومين المعدل وغير المعدل بعد اختبار الفاقد بالحرارة، وذلك لتحديد تأثير الحرارة المرتفعة على البيتومين خلال مرحلة إنتاج المجلول البيتوميني (التعب قصير الأمد) ومدى فعالية CBPD في تحسين الممانعة الحرارية للبيتومين.

تم حساب قيم دليل الغرز في هذا البحث اعتماداً على العلاقة التالية:

$$I_p = \frac{20 (1 - 25A)}{1 + 50A}$$

$$A = \frac{\text{Log}(pen(25)C^\circ) - \text{Log}(800)}{25 - \text{ASTM softening point}} \quad [7] \quad \text{حيث تم حساب A من العلاقة:}$$

### النتائج والمناقشة:

#### 1- تحديد مواصفات غبار معامل الاسمنت CBPD:

الجدول (1) نتائج التحليل الكيميائي (الأكاسيد الأساسية) لغبار معمل اسمنت طرطوس CBPD

النسبة المئوية للأوكسيد	نوع الأوكسيد المختبر
%8.54	SiO <sub>2</sub>
%2.26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
%1.81	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

CaO	%48.55
MgO	%1.56
SO <sub>3</sub>	%1.14
K <sub>2</sub> O	%0.210
Na <sub>2</sub> O	%0.458

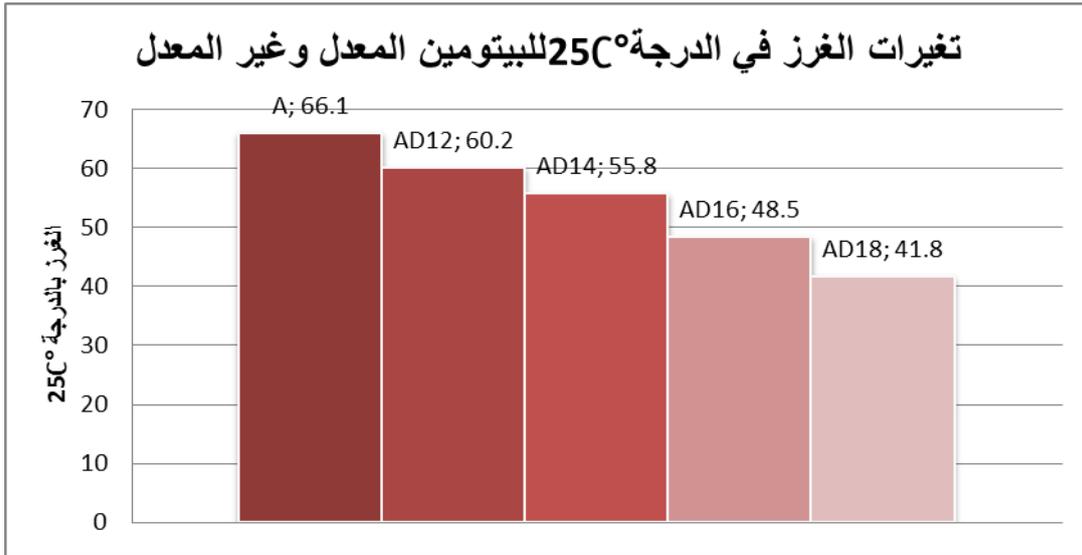
2- تحديد التغيرات في خواص البيتومين (المعدل بـCBPD، وغير المعدل) قبل اختبار الفاقد بالحرارة:

1-2- تحديد الغرز للبيتومين قبل اختبار الفاقد بالحرارة:

2-1-1- تحديد الغرز بدرجة حرارة  $25^{\circ}\text{C}$   $0.1 \times \text{mm}$  (100gr-5sec) قبل اختبار الفاقد بالحرارة:

الجدول (2): نتائج تجارب الغرز بدرجة حرارة  $25^{\circ}\text{C}$  للبيتومين (المعدل بـCBPD، وغير المعدل) قبل اختبار الفاقد بالحرارة

نوع البيتومين	A	A <sub>D12</sub>	A <sub>D14</sub>	A <sub>D16</sub>	A <sub>D18</sub>
الغرز بدرجة حرارة $25^{\circ}\text{C}$	66.1	60.2	55.8	48.5	41.8



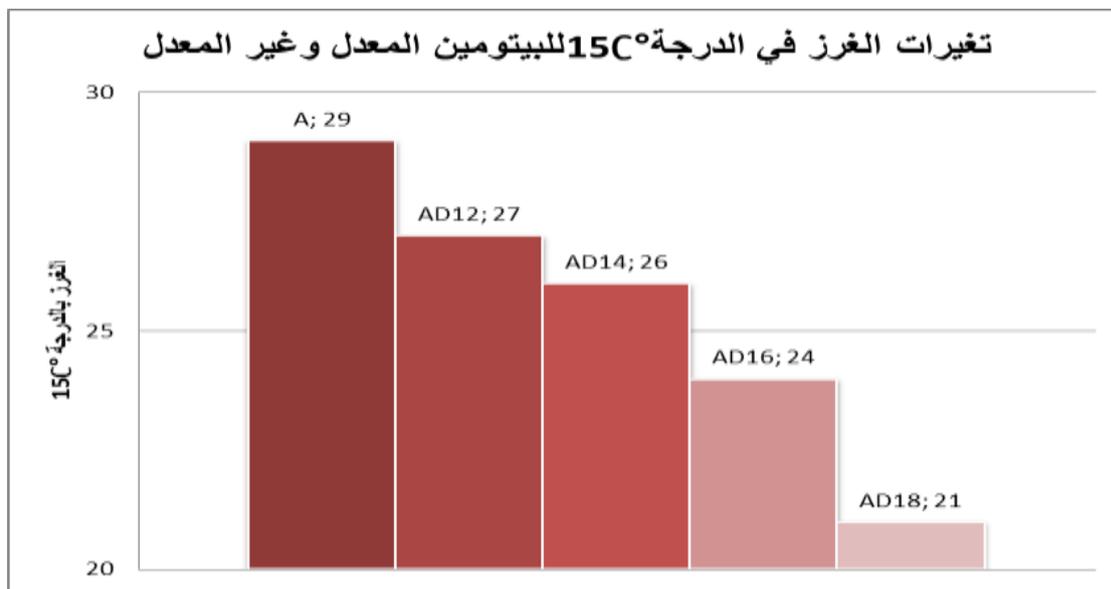
المخطط البياني (1): تغيرات قيم الغرز بالدرجة  $25^{\circ}\text{C}$  لنوعي البيتومين المعدل وغير المعدل بغبار الاسمنت قبل اختبار الفاقد

نلاحظ من الشكل أعلاه، تناقص في درجة غرز البيتومين مع زيادة نسبة CBPD المضاف، وهذا يشير إلى زيادة قساوة البيتومين مع زيادة نسبة CBPD المضاف له، حيث انخفضت قيم الغرز للبيتومين A<sub>D12</sub> بمقدار 9%، وللبيتومين A<sub>D14</sub> بمقدار 16%، وللبيتومين A<sub>D16</sub> بمقدار 27%، وللبيتومين A<sub>D18</sub> بمقدار 37%.

**2-1-2- تحديد الغرز بدرجة حرارة  $15^{\circ}\text{C}$   $0.1 \times \text{mm}$  (200gr-60sec) قبل اختبار الفاقد بالحرارة:**

الجدول (3): نتائج تجارب الغرز بدرجة حرارة  $15^{\circ}\text{C}$  للبيتومين (المعدل بـCBPD، وغير المعدل) قبل اختبار الفاقد بالحرارة

نوع البيتومين	A	$A_{D12}$	$A_{D14}$	$A_{D16}$	$A_{D18}$
الغرز بدرجة حرارة $15^{\circ}\text{C}$	29	27.08	26.08	24	21

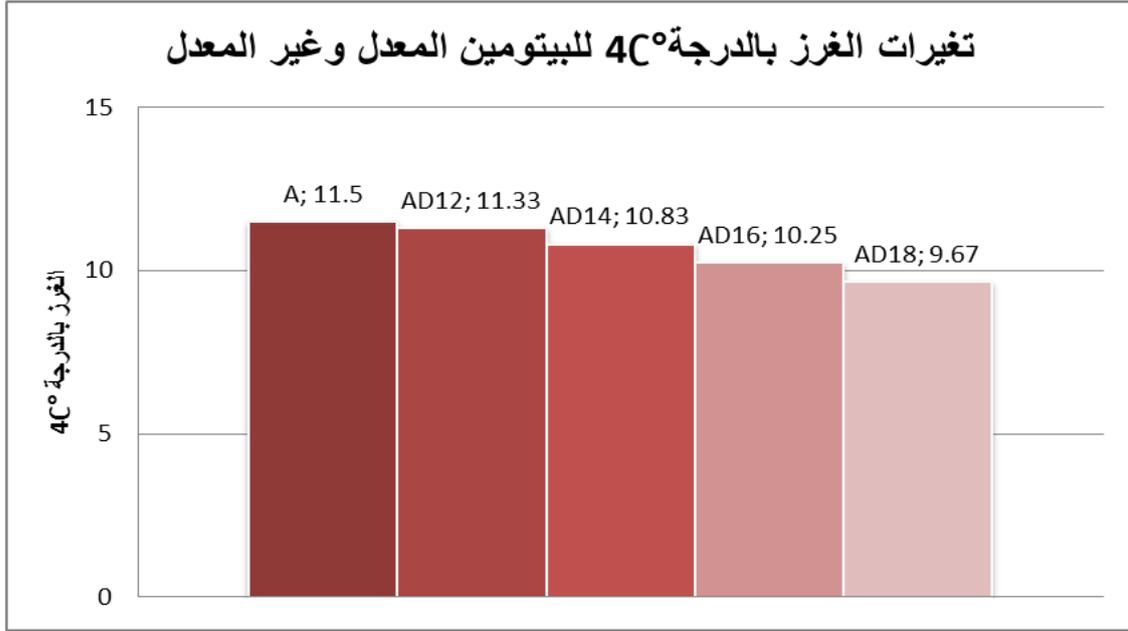


المخطط (2): تغيرات قيم الغرز في الدرجة  $15^{\circ}\text{C}$  للبيتومين المعدل وغير المعدل بغير الاسمنت قبل اختبار الفاقد بالحرارة  
نلاحظ من الشكل السابق تناقص قيم الغرز في الدرجة  $15^{\circ}\text{C}$  بزيادة نسبة CBPD المضاف له.

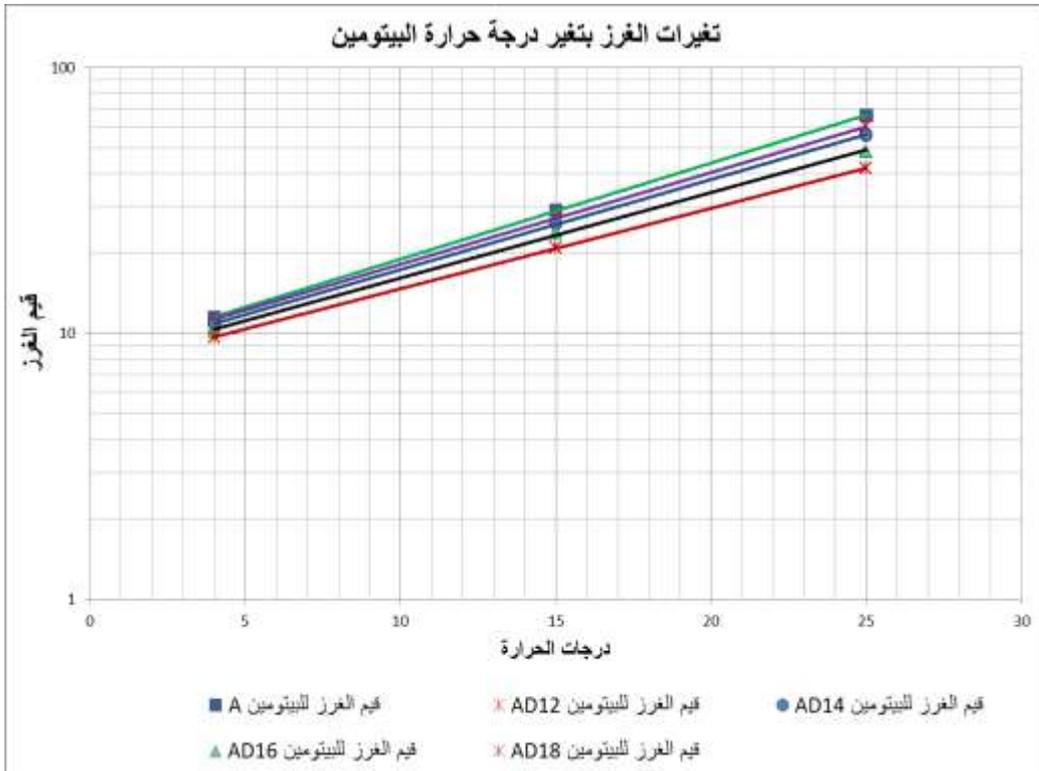
**2-1-3- تحديد الغرز بدرجة حرارة  $4^{\circ}\text{C}$   $0.1 \times \text{mm}$  (200gr-60sec) قبل اختبار الفاقد بالحرارة:**

الجدول (4): نتائج تجارب الغرز بدرجة حرارة  $4^{\circ}\text{C}$  للبيتومين (المعدل بـCBPD، وغير المعدل) قبل اختبار الفاقد بالحرارة

نوع البيتومين	A	$A_{D12}$	$A_{D14}$	$A_{D16}$	$A_{D18}$
الغرز بدرجة حرارة $4^{\circ}\text{C}$	11.5	11.35	10.83	10.25	9.67



المخطط (3) يبين تغيرات قيم الغرز في الدرجة 4C° للبيتومين المعدل وغير المعدل بغبار الاسمنت قبل اختبار الفاقد بالحرارة نلاحظ من الشكل السابق تناقص قيم الغرز في الدرجة 4C° بزيادة نسبة CBPD المضاف. ومن أجل المقارنة بين الحساسية الحرارية لمختلف أنواع البيتومين المستخدم في هذه الدراسة قمنا برسم منحنيات تغير الغرز وفقاً لدرجات الحرارة بمخطط واحد، بحيث يكون المستقيم ذو زاوية الميل الأقل يعبر عن بيتومين أقل حساسية لتأثير الحرارة.



المنحني البياني (4) يبين تغيرات ميول منحنيات الغرز بتغير درجات الحرارة

نلاحظ من المنحنيات السابقة أن البيتومين A غير المعدل هو المنحني ذو الميل الأكبر (2.6%) أي أنه الأشد حساسية لتأثير الحرارة، ويليه البيتومين  $A_{D12}$  ذو الميل (2.3%)، ثم البيتومين  $AD_{14}$  ذو الميل (2.1%)، ثم البيتومين  $AD_{16}$  ذو الميل (1.8%)، ثم البيتومين  $AD_{18}$  ذو الميل (1.5%) وبالتالي هو الأقل حساسية لتأثير درجات الحرارة، وهذا يساعد البيتومين المتعرض لدرجات حرارة عالية ليكون أكثر تحملاً للحرارة وأقل حساسية لتأثيرها.

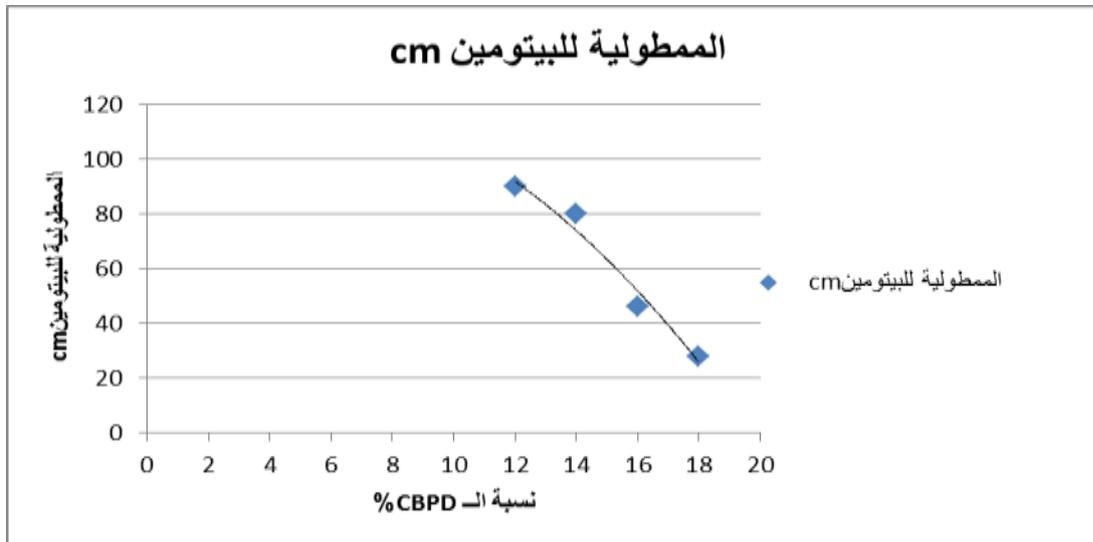
الجدول (5): دليل الغرز للبيتومين المعدل وغير المعدل

حدود المواصفات	$A_{D18}$	$A_{D16}$	$A_{D14}$	$A_{D12}$	A	
-2 to +2 [8]	-1.16	0	0.34	0	-0.48	دليل الغرز

## 2-2- تحديد الممطولية للبيتومين قبل اختبار الفاقد بالحرارة:

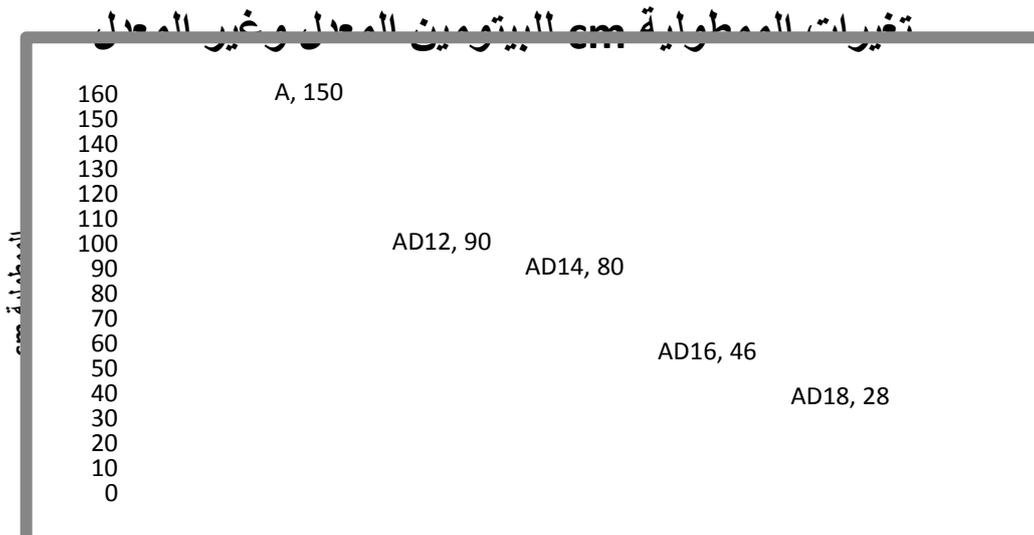
الجدول (6): نتائج تجارب الممطولية للبيتومين (المعدل بـCBPD، وغير المعدل) قبل اختبار الفاقد بالحرارة

$A_{D18}$	$A_{D16}$	$A_{D14}$	$A_{D12}$	A	نوع البيتومين
28	46	80	90	150	الممطولية cm



المنحني البياني (5) يبين تغيرات قيم الممطولية للبيتومين المعدل بـCBPD قبل اختبار الفاقد بالحرارة

نلاحظ من المنحني السابق تناقص قيم الممطولية بعد تعديل البيتومين باستخدام غبار معامل الاسمنت CBPD، ويزداد هذا التناقص مع زيادة نسبة CBPD المضاف للبيتومين.



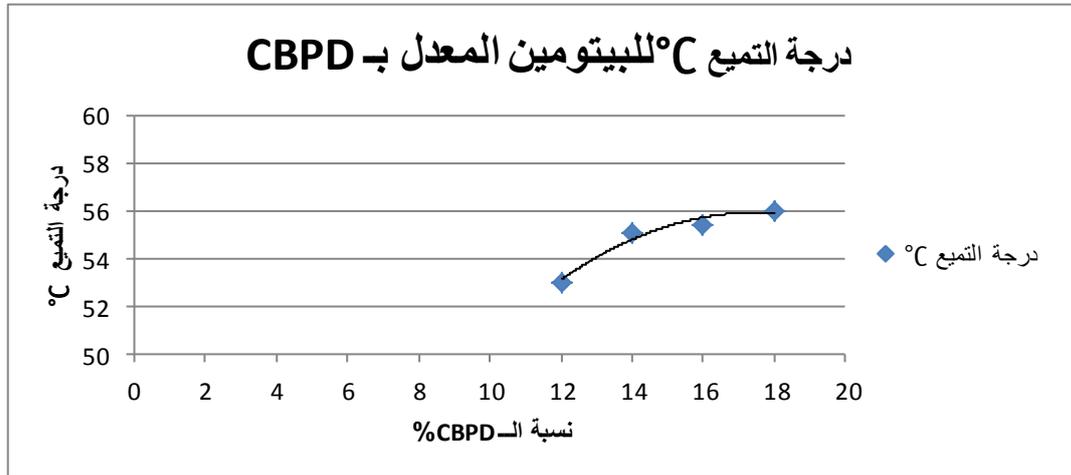
المخطط البياني (6) يبين تغيرات قيم الممطولية للبيتومين المعدل وغير المعدل قبل اختبار الفاقد بالحرارة

نلاحظ من المخطط السابق أن أعلى قيمة للممطولية كانت للبيتومين غير المعدل، ثم انخفضت بمقدار 40% للبيتومين  $AD_{12}$ ، وبمقدار 47% للبيتومين  $AD_{14}$ ، وبمقدار 70% للبيتومين  $AD_{16}$ ، وبمقدار 81% للبيتومين  $AD_{18}$ .

### 2-3- تحديد درجة التميع للبيتومين قبل اختبار الفاقد بالحرارة:

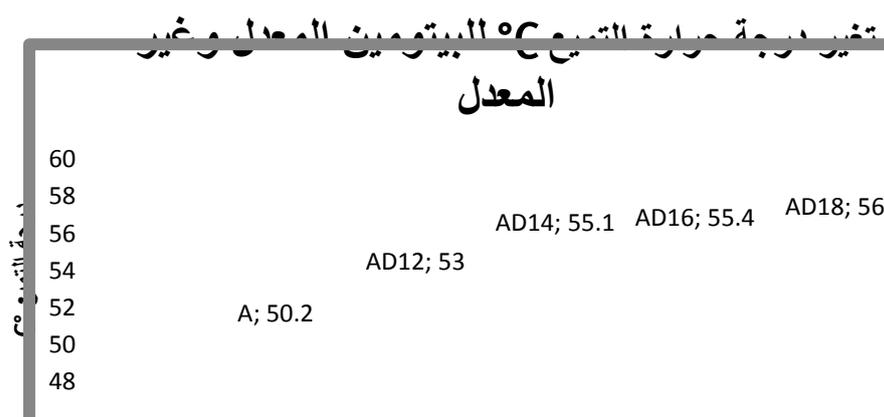
الجدول (7): نتائج تجارب درجة التميع للبيتومين (المعدل بـ CBPD، وغير المعدل) قبل اختبار الفاقد بالحرارة

نوع البيتومين	A	$AD_{12}$	$AD_{14}$	$AD_{16}$	$AD_{18}$
درجة حرارة التميع $^{\circ}C$	50.2	53	55.1	55.4	56



المنحني البياني (7) يبين تغيرات درجة حرارة التميع للبيتومين المعدل بـ CBPD قبل اختبار الفاقد بالحرارة

تظهر النتائج السابقة زيادة في قيم درجة حرارة التميع، مع زيادة نسبة CBPD المضاف للبيتومين، وهذا يوافق بيتومين أفسى وأكثر قدرة على مقاومة درجات الحرارة المرتفعة التي تتعرض لها الطبقة السطحية للرصيف البيتوميني.



المخطط البياني (8) يبين قيم درجة حرارة التميع للبيتومين المعدل وغير المعدل قبل اختبار الفاقد بالحرارة

يبين المخطط السابق ارتفاع حرارة التميع بالنسبة للبيتومين المعدل، مقارنة مع البيتومين غير المعدل، وهذا بشكل يتوافق مع انخفاض الممطولية والغرز للبيتومين المعدل. حيث ارتفعت حرارة التميع بمقدار 6% للبيتومين  $A_{D12}$ ، وبمقدار 9.7% للبيتومين  $A_{D14}$ ، وبمقدار 10.3% للبيتومين  $A_{D16}$ ، وبمقدار 11.6% للبيتومين  $A_{D18}$ .

**3- تحديد الفاقد بالحرارة للبيتومين (المعدل بـ CBPD، وغير المعدل):**

الجدول (8): نتائج تجارب الفاقد بالحرارة للبيتومين (المعدل بـ CBPD، وغير المعدل)

نوع البيتومين	A	$A_{D12}$	$A_{D14}$	$A_{D16}$	$A_{D18}$
الفاقد بالوزن %	0.56	0.48	0.44	0.38	0.32

بإجراء تجربة الفاقد بالحرارة على البيتومين المعدل وغير المعدل نلاحظ أن قيم النقص في الوزن لم تتجاوز الحدود المذكورة بالموصفات الفنية العامة السورية بالألا تزيد قيمة الفاقد عن 1% بعد التسخين لمدة 5h [9]، وقد حسن غبار معامل الاسمنت من نسبة الفاقد بالحرارة، فالبيتومين  $A_{D12}$  حسن قيمة الفاقد بالحرارة بمقدار 15%، والبيتومين  $A_{D14}$  حسنها بمقدار 22%، والبيتومين  $A_{D16}$  حسنها بمقدار 32%، والبيتومين  $A_{D18}$  حسنها بمقدار 43%. وهذا يدل على أن CBPD المستخدم قد حسن من الممانعة الحرارية للبيتومين أثناء تعرضه للحرارة العالية، مما يبين الجدوى من استخدام غبار الاسمنت لزيادة مقاومة البيتومين تجاه الحرارة التي تتعرض لها طبقة التغطية السطحية في الرصف البيتوميني.

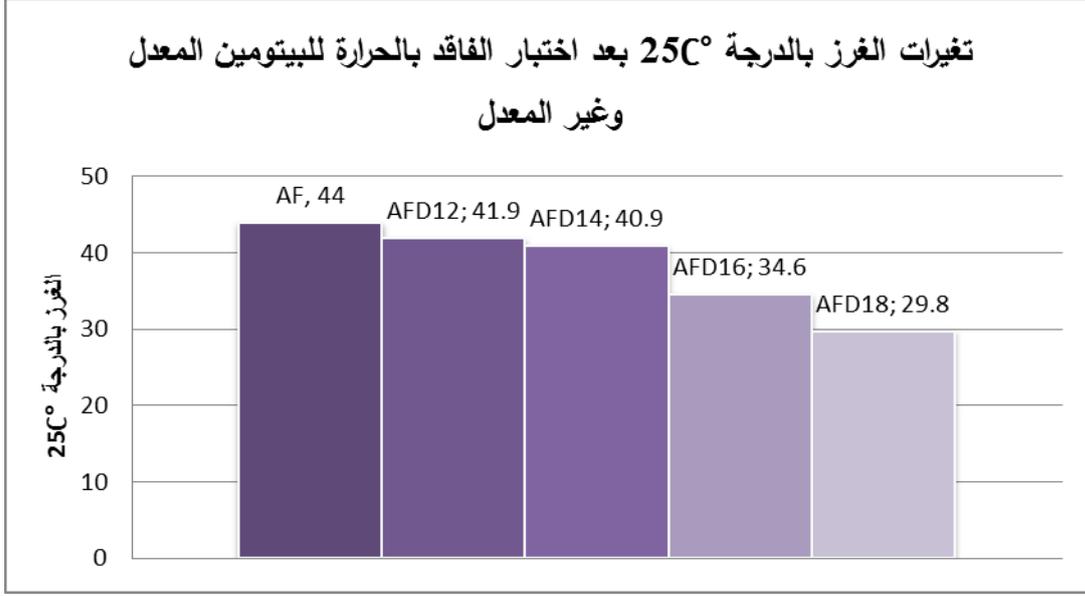
**4- تحديد التغيرات في خواص البيتومين (المعدل بـ CBPD، وغير المعدل) بعد اختبار الفاقد بالحرارة:**

**4-1- تحديد الغرز للبيتومين بعد اختبار الفاقد بالحرارة:**

**4-1-1- تحديد الغرز بدرجة حرارة  $25^{\circ}\text{C}$   $0.1 \times \text{mm}$  (100gr-5sec) بعد اختبار الفاقد بالحرارة:**

الجدول (9): نتائج تجارب الغرز بدرجة حرارة  $25^{\circ}\text{C}$  للبيتومين (المعدل بـ CBPD، وغير المعدل) بعد اختبار الفاقد بالحرارة

نوع البيتومين	AF	$AF_{D12}$	$AF_{D14}$	$AF_{D16}$	$AF_{D18}$
الغرز بدرجة حرارة $25^{\circ}\text{C}$	44	41.9	40.9	34.6	29.8



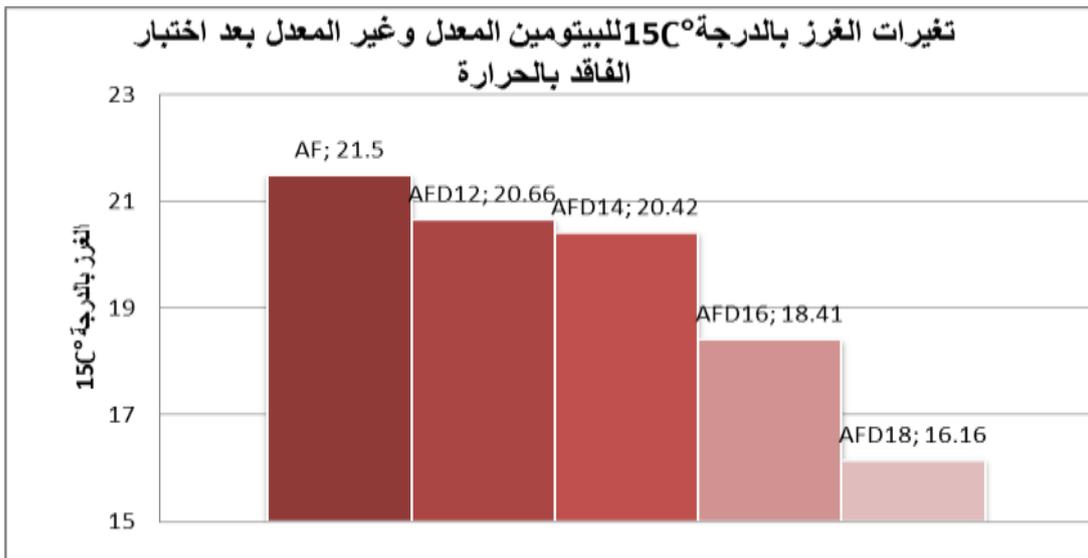
المخطط البياني (9) يبين تغيرات قيم الغرز بالدرجة 25°C للبيتومين المعدل وغير المعدل بعد اختبار الفاقد بالحرارة

من الشكل السابق نجد تناقص في درجة غرز البيتومين بعد اختبار الفاقد بالحرارة مع زيادة نسبة CBPD المضاف. حيث انخفض الغرز بعد اختبار الفاقد بالحرارة بمقدار 30% للبيتومين A<sub>D12</sub>، وبمقدار 27% للبيتومين A<sub>D14</sub>، وبمقدار 29% للبيتومين A<sub>D16</sub>، وبمقدار 29% للبيتومين A<sub>D18</sub>.

#### 4-1-2- تحديد الغرز بدرجة حرارة 15°C × 0.1mm (200gr-60sec) بعد اختبار الفاقد بالحرارة:

الجدول (10): نتائج تجارب الغرز بدرجة حرارة 15°C للبيتومين (المعدل بـCBPD، وغير المعدل) بعد اختبار الفاقد بالحرارة

نوع البيتومين	AF	AF <sub>D12</sub>	AF <sub>D14</sub>	AF <sub>D16</sub>	AF <sub>D18</sub>
الغرز بدرجة حرارة 15°C	21.5	20.66	20.42	18.41	16.16



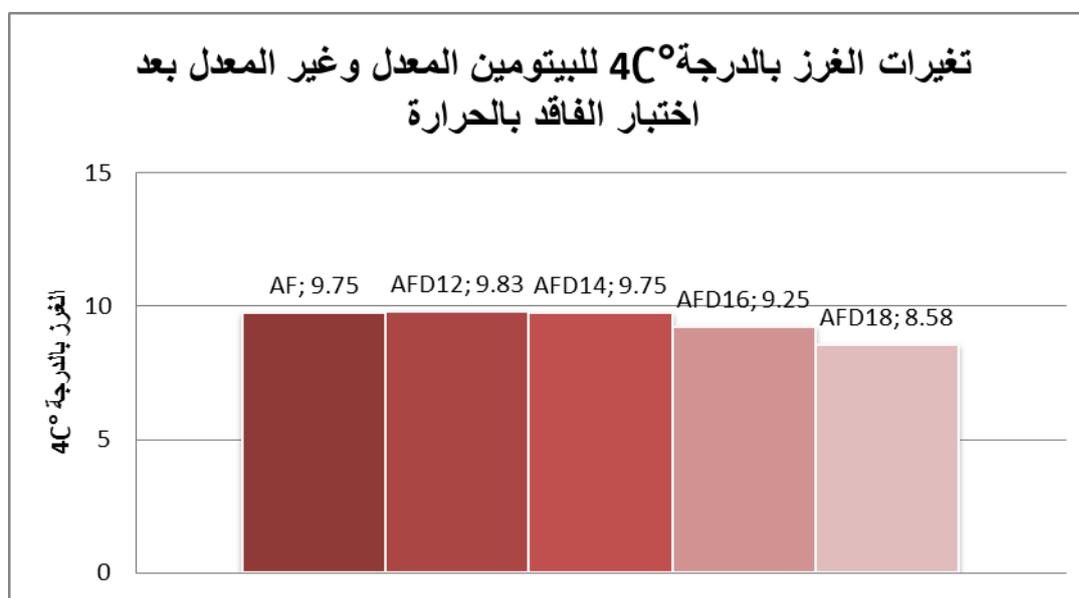
المخطط (9) يبين تغيرات قيم الغرز بالدرجة 15°C للبيتومين المعدل وغير المعدل بعد اختبار الفاقد بالحرارة

نلاحظ من النتائج تحسن النقصان في قيم الغرز بالدرجة  $15^{\circ}\text{C}$  للبيثومين المعدل بعد تعريضه للفاقد بالحرارة مقارنة بالبيثومين غير المعدل، حيث انخفض الغرز بالنسبة للبيثومين الغير معدل بعد الفاقد بالحرارة بنسبة 26%، والبيثومين  $\text{AF}_{\text{D}12}$  انخفض بمقدار 23%، والبيثومين  $\text{AF}_{\text{D}14}$  انخفض بمقدار 22%، والبيثومين  $\text{AF}_{\text{D}16}$  انخفض بمقدار 23.3%، والبيثومين  $\text{AF}_{\text{D}18}$  انخفض بمقدار 23%.

#### 4-1-3- تحديد الغرز بدرجة حرارة $4^{\circ}\text{C}$ $0.1 \times \text{mm}$ (200gr-60sec) بعد اختبار الفاقد بالحرارة:

الجدول (11): نتائج تجارب الغرز بدرجة حرارة  $4^{\circ}\text{C}$  للبيثومين (المعدل بـ CBPD، وغير المعدل) بعد اختبار الفاقد بالحرارة

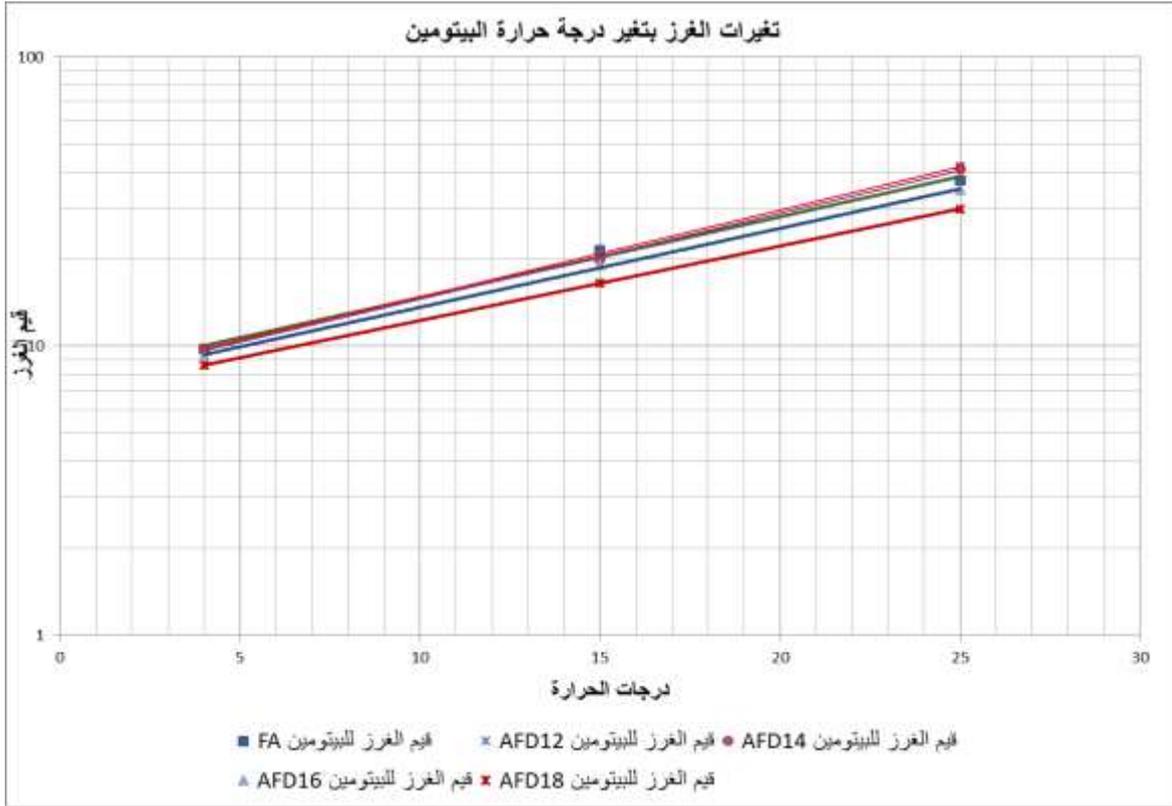
نوع البيثومين	AF	$\text{AF}_{\text{D}12}$	$\text{AF}_{\text{D}14}$	$\text{AF}_{\text{D}16}$	$\text{AF}_{\text{D}18}$
الغرز بدرجة حرارة $0^{\circ}\text{C}$	9.75	9.83	9.75	9.25	8.58



المخطط (10) يبين تغيرات قيم الغرز بالدرجة  $4^{\circ}\text{C}$  للبيثومين المعدل وغير المعدل بعد اختبار الفاقد بالحرارة

نلاحظ من النتائج تحسن النقصان في قيم الغرز بالدرجة  $4^{\circ}\text{C}$  للبيثومين المعدل بعد تعريضه للفاقد بالحرارة مقارنة بالبيثومين غير المعدل، حيث انخفض الغرز بالنسبة للبيثومين الغير معدل بعد الفاقد بالحرارة بنسبة 15%، والبيثومين  $\text{AF}_{\text{D}12}$  انخفض بمقدار 13%، والبيثومين  $\text{AF}_{\text{D}14}$  انخفض بمقدار 10%، والبيثومين  $\text{AF}_{\text{D}16}$  انخفض بمقدار 10%، والبيثومين  $\text{AF}_{\text{D}18}$  انخفض بمقدار 12%.

ومن أجل المقارنة بين الحساسية الحرارية لنوعي البيثومين المعدل وغير المعدل المستخدم في هذه الدراسة بعد إجراء اختبار الفاقد بالحرارة، قمنا برسم منحنيات تغير الغرز وفقاً لدرجات الحرارة بمخطط واحد، بحيث يكون المستقيم ذو زاوية الميل الأقل يعبر عن بيثومين أقل حساسية لتأثير الحرارة.



المنحني البياني (11) يبين تغيرات ميول منحنيات الغرز بتغير درجات الحرارة بعد اختبار الفاقد بالحرارة

نلاحظ من المنحنيات السابقة أن البيتومين AF غير المعدل هو المنحني ذو الميل الأكبر (1.6%) أي أنه الأشد حساسية لتأثير الحرارة، ويليه البيتومين AFD12 ذو الميل (1.53%)، ثم البيتومين AFD14 ذو الميل (1.48%)، ثم البيتومين AFD16 ذو الميل (1.21%)، ثم البيتومين AFD18 ذو الميل (1.01%) وبالتالي هو الأقل حساسية لتأثير درجات الحرارة المرتفعة.

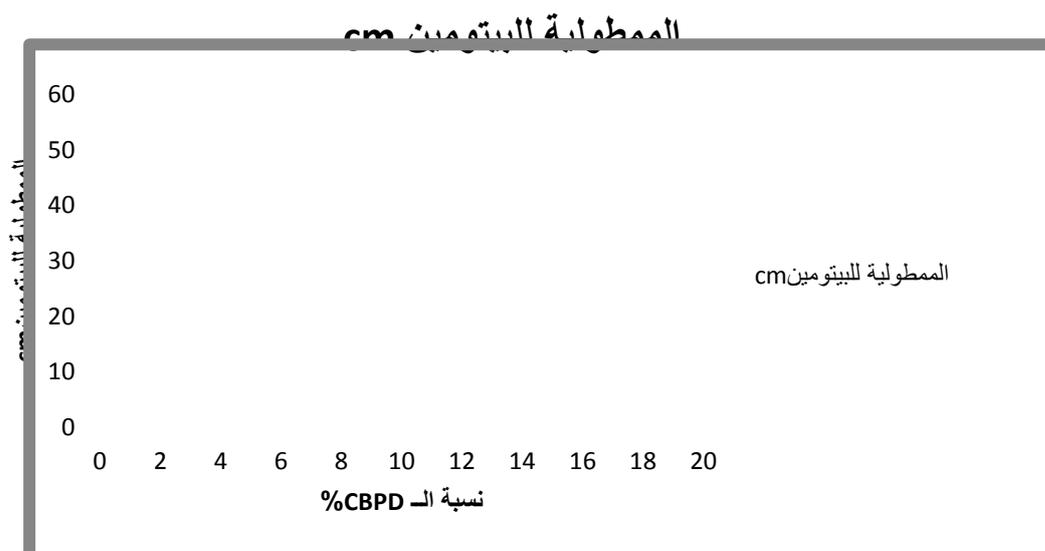
الجدول (12): دليل الغرز بعد اختبار الفاقد بالحرارة للبيتومين المعدل وغير المعدل

حدود المواصفات	Af <sub>D18</sub>	Af <sub>D16</sub>	Af <sub>D14</sub>	Af <sub>D12</sub>	Af	
-2 to +2 [8]	0.7	0.9	1.32	1.11	-0.16	دليل الغرز

#### 4-2- تحديد الممطولية للبيتومين بعد اختبار الفاقد بالحرارة:

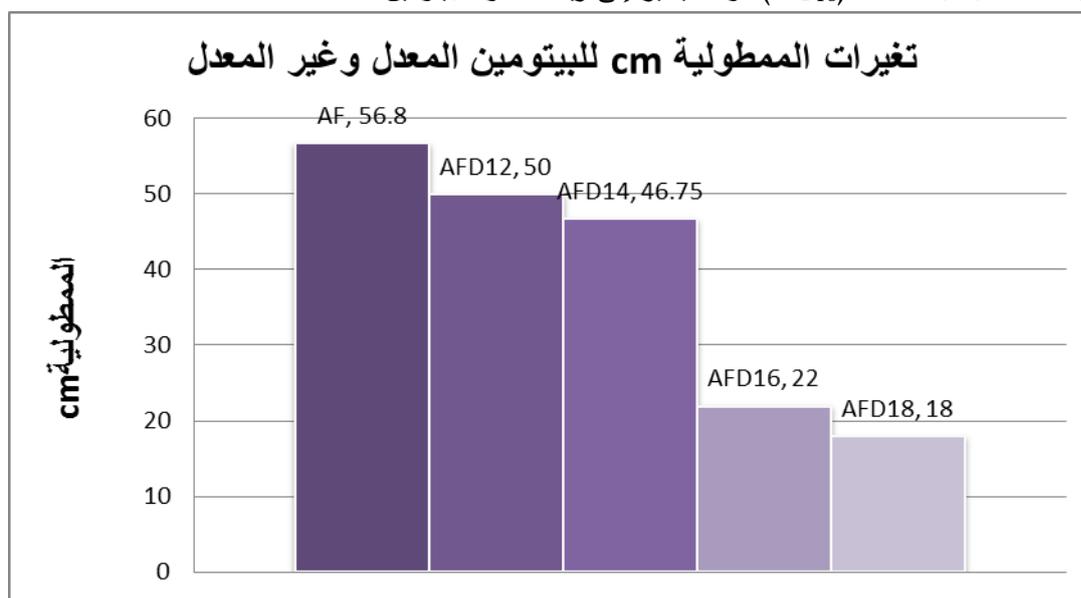
الجدول (13): نتائج تجارب الممطولية للبيتومين (المعدل بـ CBPD، وغير المعدل) بعد اختبار الفاقد بالحرارة

AF <sub>D18</sub>	AF <sub>D16</sub>	AF <sub>D14</sub>	AF <sub>D12</sub>	AF	نوع البيتومين
18	22	46.8	50	56.8	الممطولية cm



المنحني البياني (12) يبين تغيرات قيم المطولية للبيتومين المعدل بـ CBPD بعد اختبار الفاقد بالحرارة

نلاحظ من المنحني السابق تناقص قيم المطولية بعد تعديل البيتومين باستخدام غبار معامل الاسمنت CBPD، ويزداد هذا التناقص مع زيادة نسبة CBPD المضاف للبيتومين، وكانت أقل قيمة للمطولية عند تعديل البيتومين بـ CBPD بنسبة 18% ( $A_{D18}$ )، وهذا يشير إلى زيادة قساوة البيتومين.



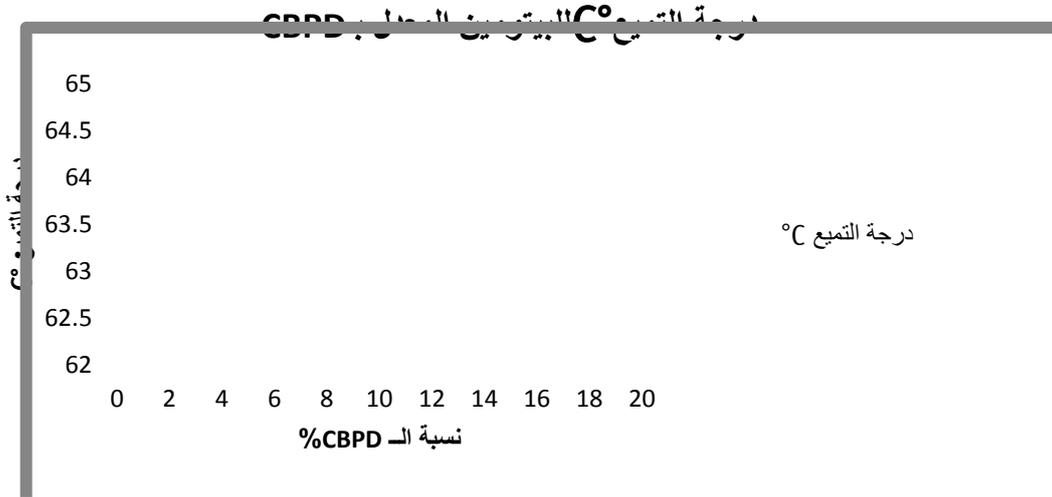
المخطط البياني (13) يبين تغيرات قيم المطولية بعد اختبار الفاقد بالحرارة للبيتومين المعدل وغير المعدل

نلاحظ انخفاض كبير في قيم المطولية بعد اختبار الفاقد بالحرارة، حيث انخفضت المطولية بالنسبة للبيتومين الغير المعدل بمقدار 59%، وللبيتومين  $AF_{D12}$  بمقدار 44%، وللبيتومين  $AF_{D14}$  بمقدار 42%، وللبيتومين  $AF_{D16}$  بمقدار 52%، وللبيتومين  $AF_{D18}$  بمقدار 36%.

**4-3- تحديد درجة التميع للبيتومين بعد اختبار الفاقد بالحرارة:**

الجدول (14): تحديد درجة حرارة التميع للبيتومين (المعدل بـ CBPD، وغير المعدل) بعد اختبار الفاقد بالحرارة

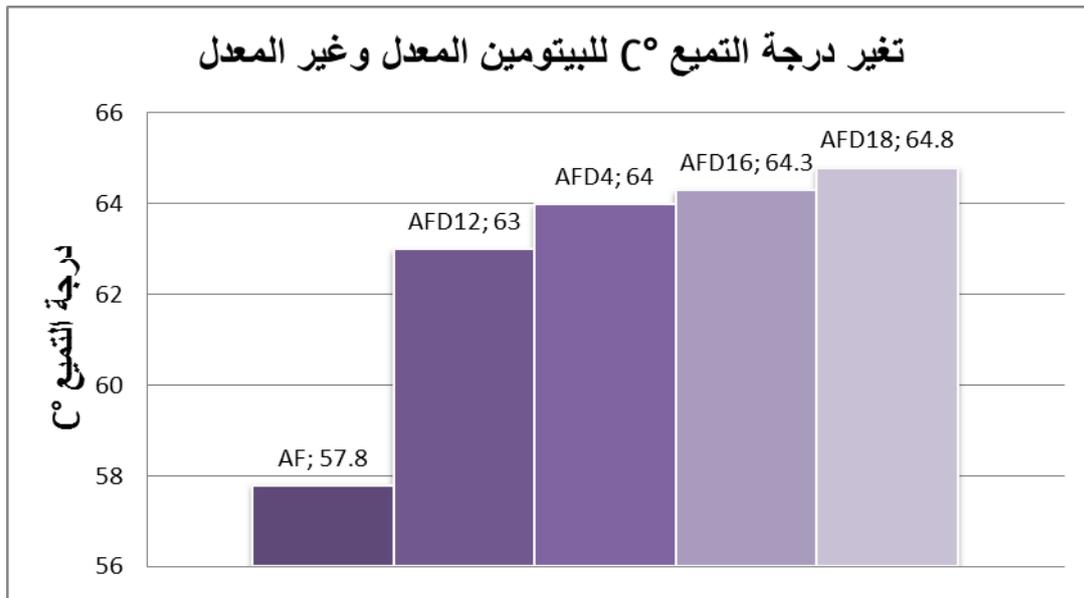
نوع البيتومين	AF	AF <sub>D12</sub>	AF <sub>D14</sub>	AF <sub>D16</sub>	AF <sub>D18</sub>
درجة حرارة التميع °C	57.8	63	64	64.3	64.8



المنحني البياني (11) يبين تغيرات درجة حرارة التميع للبيتومين المعدل بـ CBPD بعد اختبار الفاقد بالحرارة

تظهر النتائج السابقة ارتفاع درجة حرارة التميع، مع زيادة نسبة CBPD المضاف للبيتومين، وهذا مؤشر على

زيادة قساوة البيتومين بعد اختبار الفاقد بالحرارة. حيث ارتفعت حرارة التميع بعد اجراء اختبار الفاقد بالحرارة بمقدار

14% للبيتومين A<sub>D12</sub>، وبمقدار 16% للبيتومين A<sub>D14</sub>، وبمقدار 14% للبيتومين A<sub>D16</sub>، وبمقدار 13% للبيتومين A<sub>D18</sub>.

المخطط البياني (12) يبين قيم درجة حرارة التميع للبيتومين المعدل وغير المعدل بغبار الاسمنت بعد اختبار الفاقد بالحرارة

يبين المخطط السابق ارتفاع حرارة التميع بالنسبة للبيتومين المعدل، مقارنة مع البيتومين غير المعدل بعد اجراء اختبار الفاقد بالحرارة.

## الاستنتاجات والتوصيات

### الاستنتاجات:

- 1 - تلاحظ من خلال اضافة CBPD بنسبة 12% وزناً من البيتومين انخفاض الغرز بدرجة الحرارة  $25^{\circ}\text{C}$  بنسبة 9%، انخفاض الممطولية بمقدار 40%، وارتفاع درجة حرارة التميع بمقدار 6%.
- 2 - تلاحظ من خلال اضافة CBPD بنسبة 14% وزناً من البيتومين انخفاض الغرز بدرجة الحرارة  $25^{\circ}\text{C}$  بنسبة 16%، انخفاض الممطولية بمقدار 47%، وارتفاع درجة حرارة التميع بمقدار 9.7%.
- 3 - تلاحظ من خلال اضافة CBPD بنسبة 16% وزناً من البيتومين انخفاض الغرز بدرجة الحرارة  $25^{\circ}\text{C}$  بنسبة 27%، انخفاض الممطولية بمقدار 70%، وارتفاع درجة حرارة التميع بمقدار 10.4%.
- 4 - تلاحظ من خلال اضافة CBPD بنسبة 18% وزناً من البيتومين انخفاض الغرز بدرجة الحرارة  $25^{\circ}\text{C}$  بنسبة 37%، انخفاض الممطولية بمقدار 81%، وارتفاع درجة حرارة التميع بمقدار 11.6%.
- 5 - تلاحظ من خلال اجراء تجربة الفاقد الوزن على البيتومين المعدل وغير المعدل CBPD حسن من نسب الفاقد بالحرارة، فعند إضافته بنسبة 12% حسن قيمة الفاقد بمقدار 15%، أما عند إضافته بنسبة 14% حسن قيمة الفاقد بمقدار 22%، وعند إضافته بنسبة 16% حسن قيمة الفاقد بمقدار 32%، وعند إضافته بنسبة 18% حسن قيمة الفاقد بمقدار 43%.
- 6 - تلاحظ بعد اجراء اختبار الفاقد بالحرارة للبيتومين المعدل بـ CBPD بنسبة 12% وزناً من البيتومين انخفاض الغرز بدرجة الحرارة  $25^{\circ}\text{C}$  بنسبة 30%، انخفاض الممطولية بمقدار 44%، وارتفاع درجة حرارة التميع بمقدار 14%.
- 7 - تلاحظ بعد اجراء اختبار الفاقد بالحرارة للبيتومين المعدل بـ CBPD بنسبة 14% وزناً من البيتومين أن قيمة الغرز بدرجة الحرارة  $25^{\circ}\text{C}$  انخفضت بنسبة 27%، وانخفضت الممطولية بمقدار 42%، وارتفاع درجة حرارة التميع بمقدار 16%.
- 8 - تلاحظ بعد اجراء اختبار الفاقد بالحرارة للبيتومين المعدل بـ CBPD بنسبة 16% وزناً من البيتومين انخفاض الغرز بدرجة الحرارة  $25^{\circ}\text{C}$  بنسبة 29%، انخفاض الممطولية بمقدار 52%، وارتفاع درجة حرارة التميع بمقدار 14%.
- 9 - تلاحظ بعد اجراء اختبار الفاقد بالحرارة للبيتومين المعدل بـ CBPD بنسبة 18% وزناً من البيتومين انخفاض الغرز بدرجة الحرارة  $25^{\circ}\text{C}$  بنسبة 29%، انخفاض الممطولية بمقدار 36%، وارتفاع درجة حرارة التميع بمقدار 13%.
- 10 - ان اضافة CBPD إلى البيتومين بنسبة 14% هي النسبة المثالية لتصميم الخلطات البيتومينية، وذلك لتأثيرها الجيد على زيادة مقاومة البيتومين للتعب قصير الأمد، حيث نجد عند هذه النسبة أن النقصان بالغرز أقل ما يمكن (27% عند الدرجة  $25^{\circ}\text{C}$ ) مع المحافظة على قيم مقبولة لمرونة الرابط البيتوميني (80 cm)، كما أن التغيرات الحاصلة نتيجة اضافة CBPD بنسب أكبر صغيرة.

**التوصيات:**

1. التأكيد على استخدام البيتومين المعدل باستخدام غبار معامل الاسمنت CBPD في سوريا لزيادة مقاومته للتعيب قصير الأمد.
2. دراسة تغير سلوك البيتومين المعدل بالمحسنات المقترحة (CBPD في بحثنا) وفق اللزوجة.
3. البحث في التأثير السلبي لدرجة الحرارة التي يتم عندها مزج البيتومين مع غبار معامل الاسمنت CBPD.
4. البحث في توضع المحسنات المقترحة ميكروسكوبياً في البيتومين المعدل، لتحديد تجانس هذه المحسنات وطريقة توزيعها ضمن البيتومين.
5. تصميم خلطات بيتومينية باستخدام البيتومين المعدل بـ CBPD والبحث في نتائج هذه الخلطات البيتومينية المعدلة.
6. البحث في تأثير غبار الاسمنت على البيتومين والخلطات البيتومينية في مرحلة الاستخدام.

**المراجع**

- 1) Polyethylene Modified Asphalt Cement. FAA. Airport Engineering Division, Engineering, No. EB45, February 22,1990.
- 2) AHMED. H. A؛ OTHMAN.A.M؛ MAHMOUD.A.A. EFFECT OF USING WASTE CEMENT DUST AS A MINERAL FILLER ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HOT MIX ASPHALT.Ass Univ. Bull. Environ.Res, Egypt, Vol.9, N<sup>o</sup>.1, March 2006, 51-60.
- 3) FADHIL, T, H؛ JASIM, S. S؛ AZIZ, K, E؛ AHMED, A, A. Influence Of Using Cement Kiln Dust As A Mineral Filler In Hot asphalt Mixture Properties. International Journal Of Civil Engineering And Technology(IJCIET), Volume 4, Issue 1, 2013, 87-96.
- 4) TOMAR, R؛ JAIN, R؛ KOSTHA, M. EFFECT OF FILLERS ON BITUMINOUS PAVING MIXES. International Journal Of Engineering Research And Science & Technology, Volume 2, N<sup>o</sup> 4, November 2013, 137-142.
- 5) د.عبد الجليل، طارق؛ مسلم، راسم. تحسين مواصفات اسفلت (هبت- أبو الجير ) باستخدام نفايات معامل الأسمنت والأسمدة لزيادة مساحة استخدامه. مجلة جامعة الأنبار للعلوم الهندسية العراق، العدد الرابع، المجلد الأول، 2011، 153، 174.
- 6) Dr.KHODARY, F؛ ABD EL-SADEK, M, S؛ EL-SHESHTAWAY, H, S. Nano-Size Cement Bypass as Asphalt Modifier in Highway Construction. Journal of Engineering Research and Applications, Vol 3, Issue 6, 2013, 645-648.
- 7) OLUGBENGA. E؛ OLUGBENGA. F؛ GONATHAN. G. Softening point and penetration Index of bitumen from parts Southwestern Nigeria. NAFTA, 2012, 319-323.
- 8) WHITEOAK, D. Shell Bitumen Handbook. Shell Bitumen UK, London, 1991, 445.
- 9) الشروط والمواصفات الفنية العامة للطرق والجسور، وزارة المواصلات، دمشق، سورية.