مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (22) العدد (9) 2000
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (22) No (9) 2000

البحث في الحد من التأثيرات الحرارية على الإسفلت

الـــدكتور بســـام ســـلطان*
الدكتورة رناء درويش أحمد**
باســـــــم علـــــــي***

(ورد إلى المجلة في 1999/8/8، قبل للنشر في 1999/10/26)

□ الملخّص □

يعتبر الرصف المرن الأكثر استخداماً في شبكة طرق الجمهورية العربية السورية، ويتعرض هذا الرصف إلى تغيرات، تبدأ من مرحلة التصنيع والإنشاء، وتستمر إلى مرحلة الاستثمار. تهدف هذه الدراسة إلى البحث في التغيرات التي تحصل في الإسفلت أثناء تصنيع المجبول الإسفلتي في درجات الحرارة المرتفعة، والذي يطلق عليه التعب قصير الأمد، والإسفلت المدروس هو إسفلت 60-70 إنتاج مصفاة بانياس، وإسفلت 80-100 إنتاج مصفاة حمص، حيث تم في البداية تحديد الخواص الأولية للإسفلت الخام، بعد ذلك تم تعريض عينات الإسفلت إلى التعب القصير الأمد، وفق تجربة TOFT حسب مواصفات ASTM. D-1754، وتم استخدام الكلس كوسيط محسن من بين مجموعة من المواد؛ منها البوليميرات، والكاوتشوك، حيث أظهرت نتائج الاختبار تحسناً ملموساً في خواص الإسفلت من خلال زيادة خاصة الالتصاق بين غشاء الإسفلت والحصويات من جهة، وفي الحد من التغيرات الفيزيائية والكيميائية للإسفلت، الناجمة عن درجات الحرارة المرتفعة أثناء صناعة المجبول الإسفلتي من جهة أخرى، وتعتبر هذه الدراسة من الدراسات الأولى في سورية التي تتطرق إلى التعب القصير الأمد للإسفلت المنتج في المصافي السورية.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة المواصلات والنقل -كلية الهندسة المدنية -جامعة تشرين – اللاذقية- سورية.
** مدرسة في قسم هندسة المواصلات والنقل -كلية الهندسة المدنية -جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
*** طالب ماجستير في قسم هندسة المواصلات والنقل- كلية الهندسة المدنية -جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (21) العدد (8) 1999
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (21) No (8) 1999

Research for Increasing of Asphalt Resistance in Order to Mitigate the Thermal Effects

Dr. Bassam SULTAN*
Dr. Rana Darweesh AHMAD**
Basem ALI***

(Received 8/8/1999, Accepted 26/10/1999)

❐ ABSTRACT ❐

Elastic pavement is the most used in the construction of roads in the Syrian Arab Republic. This kind of pavement is subjuct to alteration starting from manufacturing step to erection step followed by exploitation. This research studies the alterations that happen to the asphalt during the asphalt concrete manufacturing, with high temperatures called short-term-aging. The research is made on asphalt type 70-60 produced by Banias refinery and type 80-100 produced by Homs refinery, started by identificating the specification of crude asphalt, followed by opposing the samples of asphalt to the short- term- aging, according to TOFT test (ASTM.D-1754). Then we use lime as catalysis agent of other materials, like polymers or crumb rubber. The results of tests show amelioration of asphalt specifications and increasing of the adhesion of thin film of asphalt on aggregate, on one land side and restraint the physical and chemical changes due to high thermal effects during the asphalt concrete manufacturing on the others. This study is one of the first of such studies in Syria concerning the problem of short- term- aging on the Syrian asphalt.

* Assosiate Profassor, Department of Transporting Engineering, Factualy of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
** Lecturer, Department of Transporting Engineering, Factualy of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
*** Master degree student, Department of Transporting Engineering, Factualy of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- مقدمة:

يعتبر الرصف المرن الأكثر استخداماً في شبكة طرق الجمهورية العربية السورية، ويعود سبب انتشاره إلى السرعة والسهولة في إنشائه وصيانته، ويتألف الرصف المرن بصورة أساسية من طبقة ما تحت أساس، طبقة أساس، وطبقة التصاق، وطبقة من المجبول الإسفلتي التي تتألف غالباً من طبقة رابطة وطبقة تغطية، والتي تسمى طبقة الاهتراء، وتكون هذه الطبقة معرضة مباشرة لدرجات الحرارة العالية، ولأشعة الشمس وعوامل استاتيكية وديناميكية، وهذه الطبقة -إضافة إلى دورها كطبقة حاملة- يجب أن تؤمن الحماية للطبقات الأدنى منها من تأثير العوامل الخارجية المخربة، ويجب أن يدوم هذا أثناء فترة استثمار الطريق، والتي تقدر عادة ما بين (15–20) سنة [1]. ويتعرض المجبول الإسفلتي الى مجموعة من المتغيرات التي تؤثر في خدمة وتأدية الرصف المرن، ويشكل تعب المواد الداخلة في إنتاج المجبول الإسفلتي العامل الرئيسي المؤثر في خدمة وتأدية الرصف المرن، ويمكن تمييز مرحلتين من التعب لهما خواص مختلفة تبعاً لزمن التأثير والتعرض لمختلف العوامل، إضافة إلى التعب الميكانيكي الناتج عن ردود الأفعال، وهما.

- تعب قصير الأمد (Short-Term-Aging)
- تعب طويل الأمد (Long-Term-Aging)

يهدف البحث إلى دراسة تأثير التعب القصير الأمد للإسفلت ناتج المصافي السورية، وإمكانية استخدام وسائط محسنة، وقد اقترحنا استخدام الكلس المطفأ $Ca(OH)_2$ كوسيط محسن في هذا البحث، من بين مجموعة من المواد، مثل البوليميرات، والكاوتشوك، حيث تشير نتائج الأبحاث التي أجريت في بلدان مختلفة على اسفلتها المحلي [2]، إن استخدام الكلس أعطى نتائج إيجابية في زيادة ديمومة الرصف، من خلال زيادة خاصية الالتصاق بين غشاء الإسفلت والحصويات، وتعتبر هذه الدراسة من الدراسات الأولى في سورية التي تتطرق إلى التعب القصير الأمد للإسفلت المنتج في المصافي السورية.

2- تعب الإسفلت:

ينتمي الإسفلت إلى المواد ذات الروابط الهيدوكربونية، حيث تتراوح نسبة الكربون (75–95)% ونسبة الهيدروجين بين (25–5)%، ويدخل في تركيبها -إضافة إلى الكربون والهيدروجين- مواد أخرى، مثل الكبريت والأوكسجين والآزوت، ولكن بنسب صغيرة جداً، إضافة إلى آثار خفيفة من بعض المعادن، مثل: الفاديوم، والنيكل، والكوبالت، والحديد.

إن التركيب البنيوي للإسفلت معقد جداً، وهو عبارة عن سلاسل من الفحوم الهيدروجينية ذات التراكيب المختلفة، والتي تتجمع ضمن مجموعات رئيسية، هي الاسفلتين؛ وهي عبارة عن جزيئات بودرة، ضخمة، قاسية، وسوداء تحاط بالمالتين التي تمنح الإسفلت المطاوعة والالتصاق، وجزيئات الاسفلتين المحاطة بالمالتين معلقة بالزيت، والتي تعطي الإسفلت خاصية السيلان [3]، وبالاعتماد على المكونات الثلاثة تتحدد خواص الإسفلت المختلفة وسلوكه، عند تعرضها للعوامل المؤدية للتعب، وتحدث عملية التعب للإسفلت نتيجة التبخر للمركبات الخفيفة والزيت، وبنتيجة عملية الأكسدة التي تؤدي إلى تحول الزيت إلى المالتين والمالتين إلى اسفلتين، وتبدأ هذه التحولات من لحظة إنتاج المجبول الإسفلتي، وتستمر عبر السنين، ويجب الأخذ بعين الاعتبار هذه التأثيرات أثناء تصميم الخلطة الإسفلتية من اجل ديمومة جيدة [4].

كما هو معروف، إن الإسفلت يتم تسخينه إلى درجات حرارة مرتفعة، من اجل تامين اللزوجة الكافية لتغليف الحصويات بشكل جيد، من ثم يترك المجبول الإسفلتي ليبرد في درجة حرارة الجو، مما يؤدي إلى

زيادة قساوته، وتستمر هذه الزيادة مع الزمن خلال الاستثمار. ويشار إلى هذه التقسية من خلال عدة مؤشرات منها الزمن، حتى حصول التقسية والصلابة أو الهشاشة، وبتعبير أبسط التعب، والذي يمكن ملاحظته من خلال لزوجة اكبر وازدياد خاصة التقصف والهشاشة بشكل ملموس، كما أن الإسفلت يصبح اكثر قابلية لحدوث التشوهات والعيوب نتيجة تأثير المياه والعوامل الجوية المختلفة [5]. عندما يستخدم الإسفلت كمادة رابطة في الرصف المرن، فانه يتعرض إلى التقسية، التي تحدث بشكل أساسي نتيجة عاملين رئيسيين، هما التطاير أو التبخر للمركبات الخفيفة والأكسدة، ويحدث التطاير أو التبخر بشكل أساسي في مزيج المجبول الإسفلتي في الفترة الممتدة من عملية المزج حتى الانتهاء من عملية إنشاء الرصف، حيث يكون عندها مزيج المجبول الإسفلتي في درجات حرارة مرتفعة؛ وهذا ما يسمى بالتعب قصير الأمد (Short-Term –Aging). إن عملية الأكسدة لا تقف عند مرحلة التعب قصير الأمد والتي تحدث عندها بشكل جزئي، وإنما تستمر تتكثف بشكل كبير مع الزمن عندما يكون الرصف في الاستثمار تحت تأثير العوامل المناخية المختلفة، وهذا ما يشار إليه بالتعب طويل الأمد (Long-Term–Aging) [5]. تعتبر الأبحاث التي تطرقت إلى ظاهرة التعب الذي يتعرض له المجبول الإسفلتي قليلة، على الرغم من استخدام الإسفلت منذ منتصف القرن الثامن عشر في أوروبا، واستخدامه في الولايات المتحدة الأمريكية في نهاية القرن الثامن عشر، إذ إن اغلب الأبحاث تركزت على تعب الإسفلت فقط بشكل مستقل [5]، وتعتبر الدراسة التي أعدها A.W.Dow عام 1903 أول دراسة تطرقت الى تعب الإسفلت، والذي ربط بين تسخين الإسفلت ونقصان في كتلة وغرز الإسفلت المستخلص من المزيج، وقد تكثفت الأبحاث في عام1930، وركزت مرة أخرى على الإسفلت وعلى تصلبه وتقسيته، ولخص Trxelar عام 1961 أسباب التعب بالأسباب التالية:

1-الأكسدة.

2- التبخر والتطاير.

3- الزمن حتى إنشاء الرصف.

4-البلمرة وتكثف الجزيئات.

5- تكثف وتضاعف البلمرة.

ثم أضاف Trxelar عليها مجموعة من الأسباب لتصبح هذه القائمة 15، وأخذ بعين الاعتبار تأثير الأشعة والتغير في البنية المجهرية، ولخص Peterson الأسباب المؤدية الى تعب الإسفلت بثلاثة أسباب رئيسية:

1- الضياع في مكونات الزيت بسبب التبخر والتطاير.

2- التغير في المكونات بسبب التفاعل مع أكسجين الجو.

3- التغيرات التي تتعرض لها البنية الجزيئية، والتي تؤدي إلى ما يسمى التقسية البنيوية.

على الرغم من أن عملية التصلب أو التقصف والهشاشة التي تصيب الإسفلت ضمن مزيج المجبول الإسفلتي، تؤدي إلى زيادة إمكانية حدوث التشوهات والتشققات الناشئة عن الحرارة، فهي في بعض الأحيان تكون مفيدة للرصف الإسفلتي المعرض للتشوهات [5]، من خلال زيادة صلابة الرابط، وبالتالي تصبح قادرة بشكل اكبر على توزيع وتبديد الأحمال الناتجة عن مرور العربات، وقادرة أكثر على مقاومة التشوهات الدائمة [6]. إن الإسفلت ذا اللزوجة المنخفضة أكثر مقاومةً للعوامل التي تؤدي إلى التعب، لكن استخدام هذا النوع من الإسفلت يؤدي إلى خلائط أقل قساوة، وإلى انخفاض ثبات الرصف في المناطق الحارة، حيث يمكن أن تصل درجة الحرارة في بعض المناطق الحارة في سورية إلى 70 درجة مئوية على سطح الطريق في

أشهر الصيف، ويمكننا تمييز عاملين مؤثرين في عملية تعب الإسفلت؛ هما: المنشأ، وتكنولوجيا الإنتاج، وتعتمد تكنولوجيا إنتاج الإسفلت في سورية على طريقتين في معالجة ناتج التقطير الفراغي؛ هما الأكسدة، وتكسير اللزوجة، وتتعلق قساوة الإسفلت بمدة وظروف المعا لجة.

3- البرنامج لاختباري:

أخذت عينات من الإسفلت 60-70 إنتاج مصفاة بانياس (AB)، وإسفلت 80-100 إنتاج مصفاة حمص (AH) وفق المواصفات ASTM.D 140، وقمنا بإجراء سلسلة التجارب اللازمة لتحديد خواص الإسفلت الخام، قبل وبعد تعريض العينات إلى التعب قصير الأمد وفق اختبار TOFT، كما هو موضح بالجداول (1، 2، 3).

الجدول (1): نتائج الاختبارات للإسفلت AB, AH قبل وبعد التعب القصير الأمد*

نوع الإسفلت		
التجربة	AB	AH
اللزوجة:(سنتيستوك (C St)) في الدرجة:		
60 C°	171015	97334
90 C°	7312	4936
o135 C°	364	280
الغرز × 0.1 mm عند الدرجة:		
4 C°	19.6	35.3
o25 C°	56.8	100
درجة التلين C°	51.9	46.0
درجة الكسرC°o	16.5-	-18.1
الاستطالة في الدرجة C° 25 (Cm)	123	131.8
الفاقد بالتسخين%	- 0.206	0.146
نتائج التجارب بعد التعب القصير الأمد		
اللزوجة:(سنتيستوك (C St)) في الدرجة:		
60 C°	519795	247384
90 C°	16420	7945
135 C°	616	326
الغرز × 0.1mm عند الدرجة:		
4 C°	13.0	23.7
25 C°	49.8	71.8
درجة التلين C°	56.1	48.1
درجة الكسر C°	-14.0	-16.4
الاستطالة في الدرجة C° 25 (Cm)	34	34.3

الجدول (2) نتائج التركيب المجموعي قبل وبعد التعب القصير الأمد

نوع الإسفلت		
نتائج التركيب المجموعي	AB	AH
قبل التعب القصير الأمد		
نسبة الإسفلتين %	13.5079	15.0377
نسبة المالتين %	28.3813	32.4264
نسبة الزيوت %	57.9292	52.3925
بعد التعب القصير الأمد		
نسبة الإسفلتين%	18.1734	15.8447
نسبة المالتين %	29.3234	32.2802
نسبة الزيوت %	52.3585	51.7295

الجدول (3): نتائج التصاق الإسفلت AB, AH على الحصويات AG1, AG2 *

نوع الإسفلت	AB	AH
قبل التعب القصير الأمد		
التصاق الإسفلت بالحصويات AG1%	95	85
التصاق الإسفلت بالحصويات AG2%	85	75
بعد التعب القصير الأمد		
التصاق الإسفلت بالحصويات AG1%	95	90
التصاق لإسفلت بالحصويات AG2%	90	85

***تم اختصار أسماء العينات للسهولة كما يلي: الرمز A اختصاراً للإسفلت. و الرمزان H، B يشيران إلى مصدر إنتاج الإسفلت حيث يشير الرمز B إلى الاسفلت 60-70 إنتاج مصفاة بانياس، ويشير الرمز H إلى الإسفلت 80-100 إنتاج مصفاة حمص. ويشير الرمز T إلى انه تم تعريض العينات إلى التعب القصير الأمد، والرمز L يشير إلى إضافة الكلس، والرقم المجاور له يشير إلى النسبة المئوية لإضافة الكلس إلى الإسفلت.**

**** لايتم وضع الرمز T في حال الإشارة إلى التعب القصير الأمد**

من ثم تم اقتراح استخدام الكلس المطفأ $CA(OH)_2$ كوسيط محسن، وبأربع نسب، وهي: 4-7-10-13%، وتوضح الأشكال (1-18) المرفقة نتائج البرنامج الاختباري*.

4- تحليل النتائج:

طبقت كافة معايير الدقة المحددة في المواصفات لسلسلة التجارب المنفذة على عينات الإسفلت المختبرة، وعولجت النتائج إحصائيا وبدرجة ثقة 95%. ونلاحظ من النتائج أن الإسفلت AB ينتمي إلى الصنف AC20، وان الإسفلت AH ينتمي إلى الصنف AC10 وفقاً لتصنيفات ASTM. D 3381، التي تعتمد على لزوجة الإسفلت، وبالاعتماد على نتائج الغرز ينتمي الإسفلت AH إلى الإسفلت 80-100، والإسفلت AB إلى إسفلت 60-70 وفقاً لتصنيفات ASTM. D-946، ويتمتع الإسفلت السوري بالخواص التالية:

1. درجة تميع كبيرة لنوعي الإسفلت المختبر AH, AB، إضافة إلى أن درجة حرارة انكسارها منخفضة.
2. لزوجة كبيرة في درجة الحرارة 60.
3. رقم عالٍ لدليل الغرز IP_{AH}=4.59، IP_{AB}=4.28.
4. مجال لدن كبير: 64.1 بالنسبة إلى إسفلت AH، و68.4 بالنسبة إلى إسفلت AB.
5. حسب تصنيف Kolbawski & Michwf فإن الإسفلت AB,AH قريب من الصنف ZEL-ZOL، والذي يتميز بممانعته الجيدة للحرارة، كما أنه يحافظ على لدونته في درجات الحرارة المنخفضة، ويقاوم التشوهات في درجات الحرارة المرتفعة، ويظهر في حالته اللزجة المرنة تماسكاً كبيراً، إضافة إلى التطاول، ولا يتأثر بشكل سريع بالتعب القصير الأمد والطويل الأمد.

ومن سلبيات الإسفلت المختبر AB, AH القيمة الصغيرة للاستطالة في الدرجة 25 درجة مئوية، غير أن بعض المواصفات العالمية لا تولي هذه الخاصة أهمية كبيرة كمواصفات ASTM، إضافة إلى القيمة العالية لمعامل الحساسية الحرارية، فهي 3.35 بالنسبة إلى إسفلت AH، و3.59 بالنسبة إلى إسفلت AB، كما أن دليل القساوة لكلا النوعين المختبرين يقع ضمن الحدود التي توصي بها المواصفات البولونية [1]، ومن الملاحظ أن الإسفلت AB, AH يتأثر بشكل مميز بالتعب القصير الأمد، الذي يحدث بشكل أساسي نتيجة تبخر المركبات الطيارة، ويمكننا ملاحظة التغيرات التالية في خواص الإسفلت المختبر نتيجة التعب القصير الأمد:

1. انخفاض الغرز بمقدار 33.0 % بالنسبة إلى إسفلت AH، و33.4 % بالنسبة إلى إسفلت AB في الدرجة 4 درجة مئوية، كما انخفض الغرز في الدرجة 25 درجة مئوية بمقدار 12.3% بالنسبة إلى الإسفلت AB، وبمقدار 28.2 % بالنسبة إلى إسفلت AH. وهذا يؤدي إلى انتقال الإسفلت بالاعتماد على نتائج تجربة الغرز في جدول التصنيف إلى الدرجة الأدنى، فقد اقترب الإسفلت AH من الصنف 60-70، والإسفلت AB اقترب من الصنف 40-50.
2. ارتفاع درجة التلين بمقدار 4.5% بالنسبة إلى إسفلت AH، و8.1 % إلى الإسفلت AB.
3. ارتفاع درجة حرارة الكسر بمقدار 15 % بالنسبة إلى الإسفلت AB، و9.2% بالنسبة إلى الإسفلت AH، وبقيت ضمن الحدود التي توصي بها المواصفات، ويلاحظ ارتفاع درجات حرارة المجال اللدن، مما يدل إلى إزاحة المجال الحراري التي يسلك فيها الإسفلت تصرفاً مرناً – لزجاً.
4. نلاحظ من نتائج تجربة الفاقد، أن قيمة التغير الحاصل في الإسفلت AB سالبة، وهذا يدل إلى تفوق عملية الأكسدة على عملية التبخر، بينما نجد تفوق عملية التبخر على عملية الأكسدة بالنسبة إلى الإسفلت AH، ولكنها تبقى ضمن حدود المواصفات.
5. ترتفع قيمة اللزوجة بالنسبة إلى الإسفلت AH بمقدار 61 %، و124.6 % بالنسبة إلى إسفلت AB، كما يلاحظ تغير كبير في اللزوجة الديناميكية في الدرجة 60 درجة مئوية، ويمكن أن يعتبر معامل القساوة المرتفع إيجابياً في ظروف المناخ الحار؛ نظراً إلى الثبات والممانعة لحدوث التشوهات الناتجة عن تأثير دواليب العربات، وذلك بشرط الحفاظ على خواصه أثناء الاستخدام. إن قيمة الحساسية الحرارية لإسفلت AB هي 3.59؛ وللإسفلت AH هي 3.35؛ وتدل هذه القيمة المرتفعة على انخفاض سريع للزوجة مع ارتفاع درجة الحرارة، ومنه درجة حرارة صناعة المجبول الإسفلتي.

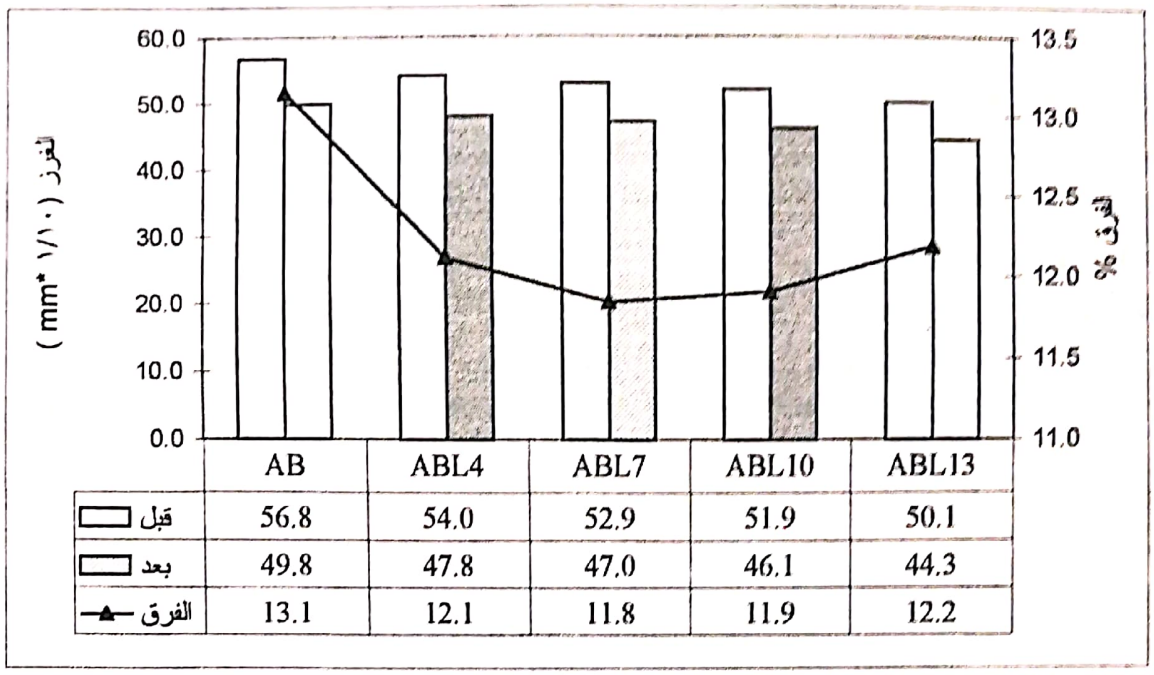
6. تشير نتائج اختبار التصاق الإسفلت بحصويات مقالع حسية (AG1)، وعلى الحصويات الكلسية (AG2)، على أن الالتصاق يزداد بعد التعب القصير الأمد، ويعود السبب إلى زيادة القساوة، مما يؤدي إلى زيادة مقاومة الغشاء الإسفلتي المغلف للحصويات للانسلاخ.
7. تشير نتائج تجربة التركيب المجموعي لعينات الإسفلت المختبر إلى ارتفاع ملحوظ للاسفلتين بالنسبة إلى إسفلت AB، حيث زادت نسبته بمقدار 4.62%، وانخفضت كمية الزيت بمقدار 5.6%، وارتفاع كمية المالتين بمقدار 0.94%، كما يلاحظ أن التغيرات في التركيب المجموعي لإسفلت AH صغيرة نسبياً، وجاءت هذه التغيرات بنتيجةً التبخر، وتحول الزيوت إلى المالتين، والمالتين إلى اسفلتين.

مما سبق نرى أن الإسفلت تعرض إلى تغيرات ملموسة في خواصه نتيجة التعب القصير الأمد، مما يؤدي إلى زيادة قساوته وانخفاض ديمومته. ونلاحظ أن استخدام إسفلت لين يقلل من السلبيات الناتجة عن عملية التعب، ولكن لابد من تحقيق متطلبات الثبات في درجات الحرارة المرتفعة، ويمكن ملاحظة التغيرات التالية، نتيجة استخدام الكلس كوسيط محسن.

1. فإضافة 7% كلس، أدت إلى تناقص الفرق بين الغرز في الدرجة 25 درجة مئوية، قبل وبعد التعب القصير الأمد من 28.2% بالنسبة إلى الإسفلت AH الخام إلى 26.5 %، ومن 12.3% بالنسبة إلى الإسفلت AB إلى 11.2%، وتبين الأشكال (1، 2، 9، 10) تغيرات فرق الغرز قبل وبعد التعب القصير الأمد، تبعاً لنسبة الكلس في الدرجتين (4، 25) درجة مئوية.
2. خفف استخدام الكلس من التغير في نسبة الإسفلتين بمقدار 5.9%، وإلى زيادة نسبة المالتين إلى 7.5% بالنسبة إلى إسفلت AB، والى زيادة نسبة المالتين في إسفلت AH بمقدار 9.6%، ويوضح الشكلان (15، 7) تغيرات نسب المجموعات المكونة للإسفلت المختبر تبعاً لنسبة الإسفلت
3. أدت إضافة الكلس إلى التخفيف من تغيرات الكتلة 48.7 بالنسبة إلى الإسفلت AH، والى التخفيف من عملية الأكسدة بالنسبة إلى الإسفلت AB، والتقليل من تغير الكتلة بنسبة 69%، ويوضح الشكلان (16، 8) تغيرات الكتلة تبعاً لنسبة الكلس.
4. أدت إضافة الكلس إلى التقليل من التغيرات في اللزوجة قبل وبعد التعب القصير الأمد، فقد انخفض الفرق في اللزوجة في الدرجة 90 درجة مئوية، قبل وبعد التعب القصير الأمد، إلى 40.8% بالنسبة إلى الإسفلت AB والى 6% بالنسبة إلى الإسفلت AH، الشكلان (3، 11)، وأدى ذلك بالتالي إلى انخفاض دليل القساوة، ويبين الشكلان (19، 20) تغير دليل القساوة تبعاً لنسبة الكلس المستخدمة.
5. لوحظ أن استخدام الكلس أدى إلى المحافظة على قيمة المجال اللدن، مع حدوث انزياح حراري، وتعتبر هذه نتيجة إيجابية بالنسبة إلى الإسفلت AH، حيث يؤدي ذلك إلى ثبات أكبر في درجات الحرارة المرتفعة، ويوضح الشكلان (21، 22) تغيرات المجال اللدن تبعاً لنسبة الكلس.
6. تحسن خواص التصاق الإسفلت بالحصويات AG1، AG2 بعد استخدام الكلس بشكل ملموس، كما هو موضح في الشكلين (17، 18)، ويمكن رد ذلك إلى أن استخدام الكلس ينشط من قوى الالتحام والترابط بين سطح الحصويات والغشاء الإسفلتي، ويزيد من مقاومته للانسلاخ بتأثير المياه والرطوبة.
7. أدى استخدام الكلس إلى التقليل من معامل الحساسية الحرارية بالنسبة إلى الإسفلت AB، AH، وتعتبر هذه نتيجة إيجابية، ويوضح الشكلان (23، 24) تغيرات معامل الحساسية الحرارية للإسفلت الخام والإسفلت المعدل بعد التعب القصير الأمد، كما أدى استخدام الكلس إلى زيادة دليل الغرز، ويوضح الشكلان (25، 26) تغيرات دليل الغرز تبعاً لنسبة الكلس بعد التعب القصير الأمد.

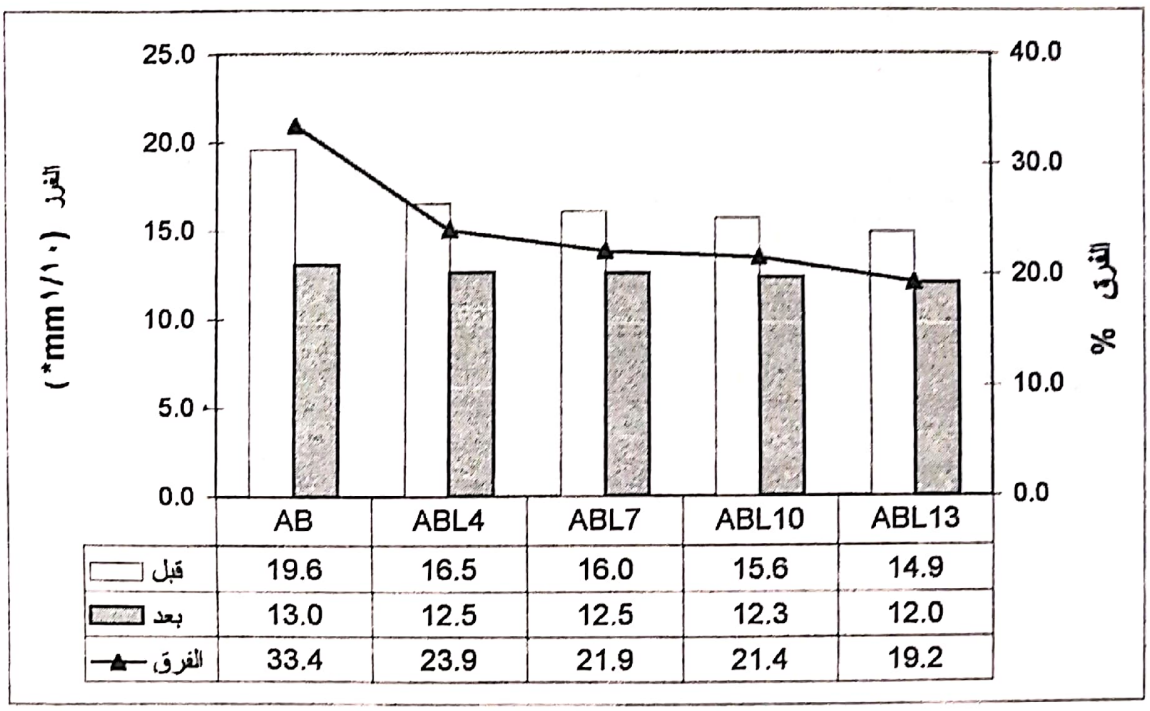
5- النتيجة:

من خلال دراستنا للإسفلت السوري 60-70 إنتاج مصفاة بانياس، و80-100 إنتاج مصفاة حمص، نلاحظ انه يتميز بحساسية مرتفعة للحرارة، وبأنه يتعرض إلى تغيرات ملموسة بعد ظاهرة التعب القصير الأمد، المرافقة لإنتاج المجبول الإسفلتي في درجات الحرارة العالية، مما يؤدي إلى تغير كبير في خواصه، وبالتالي إلى تأدية الرصف بشكل عام، حيث يفقد جزءاً كبيراً من عمره التصميمي قبل وضعه في الاستثمار. كما نلاحظ من خلال هذه الدراسة، أن استخدام الكلس كوسيط محسن، أعطى نتائج إيجابية في الحد من ظاهرة التعب القصير الأمد، ومن اجل الوصول إلى نتائج أكثر دقة في جدوى استخدام الكلس كوسيط محسن لخواص الإسفلت، يجب متابعة البحث في تأثير إضافة الكلس للحد من التأثيرات الناتجة عن التعب الطويل الأمد.



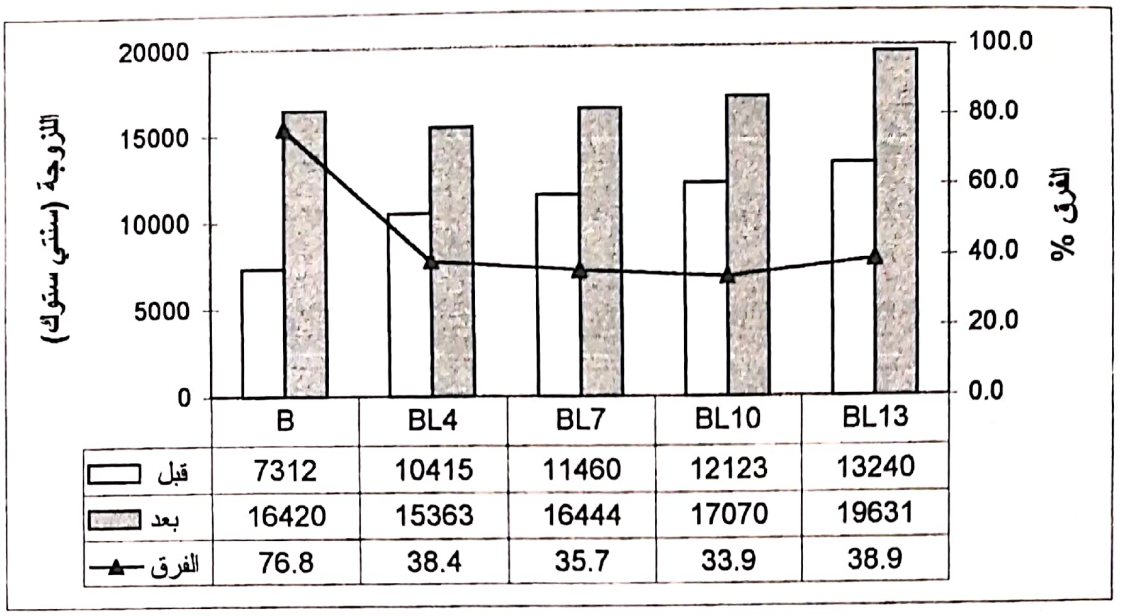
	AB	ABL4	ABL7	ABL10	ABL13
قبل	56.8	54.0	52.9	51.9	50.1
بعد	49.8	47.8	47.0	46.1	44.3
الفرق	13.1	12.1	11.8	11.9	12.2

الشكل (1): نتائج تجربة الغرز في الدرجة C° 25 لإسفلت AB قبل وبعد التعب القصير الأمد



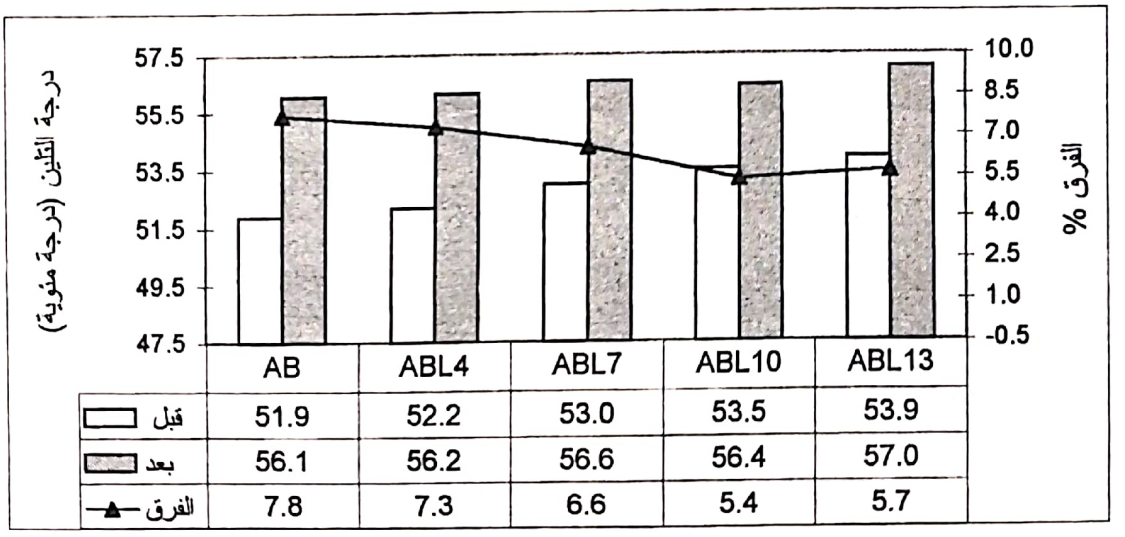
	AB	ABL4	ABL7	ABL10	ABL13
قبل	19.6	16.5	16.0	15.6	14.9
بعد	13.0	12.5	12.5	12.3	12.0
الفرق	33.4	23.9	21.9	21.4	19.2

الشكل (2): نتائج تجربة الغرز في الدرجة C° 4 لإسفلت AB قبل وبعد التعب القصير الأمد



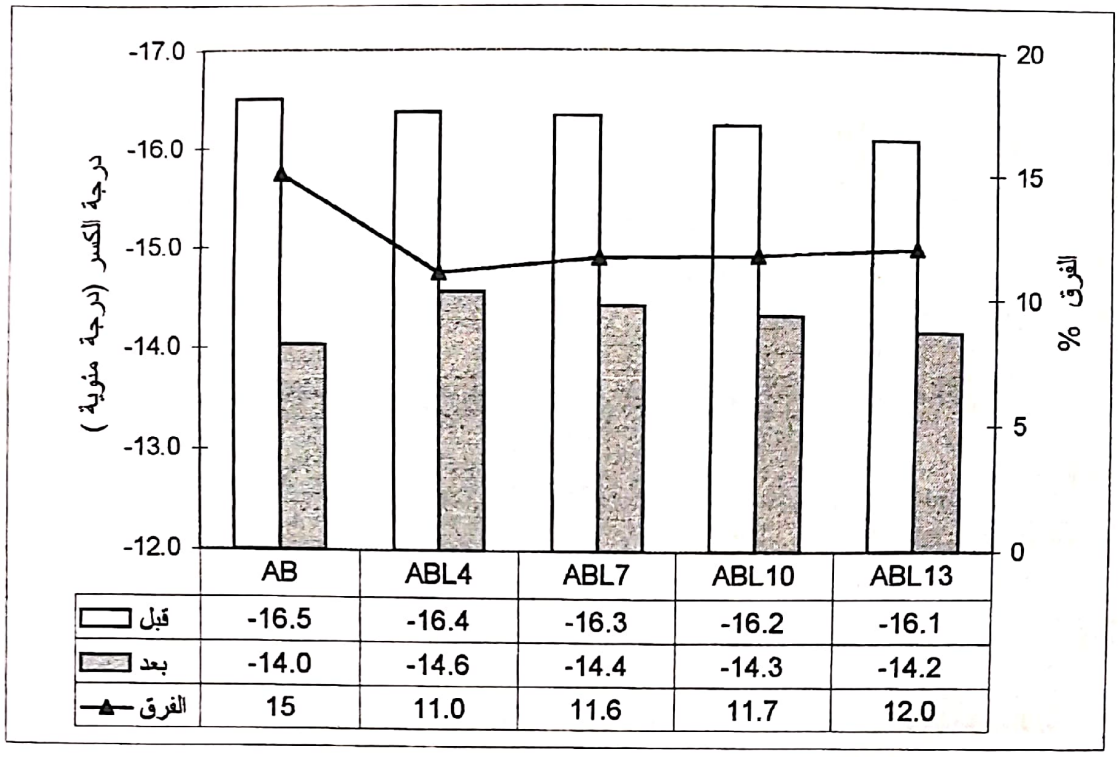
	B	BL4	BL7	BL10	BL13
قبل	7312	10415	11460	12123	13240
بعد	16420	15363	16444	17070	19631
الفرق	76.8	38.4	35.7	33.9	38.9

الشكل (3): نتائج تجربة تحديد اللزوجة في الدرجة C° 90 لإسفلت AB قبل وبعد التعب القصير الأمد



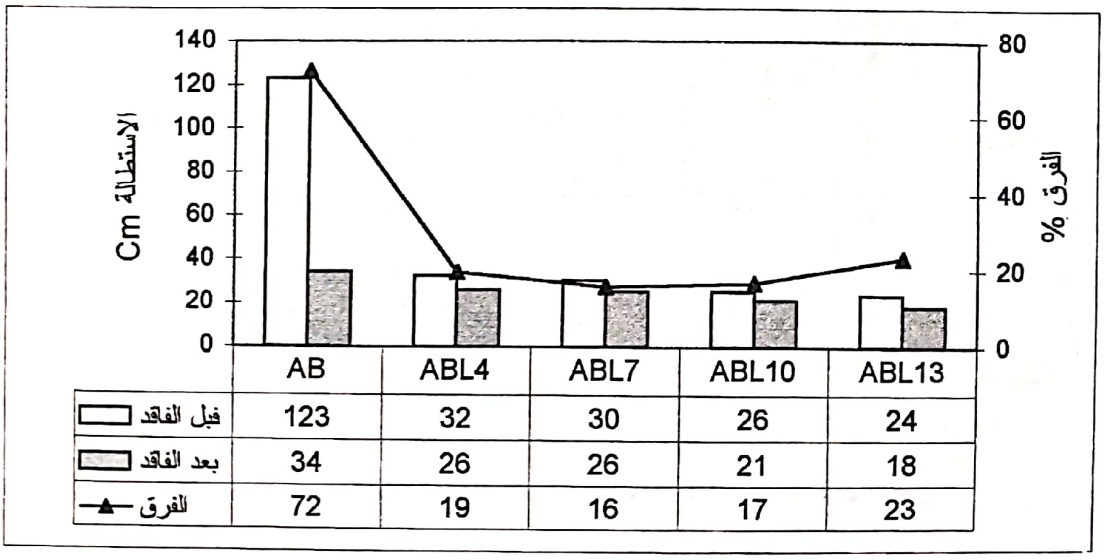
	AB	ABL4	ABL7	ABL10	ABL13
قبل	51.9	52.2	53.0	53.5	53.9
بعد	56.1	56.2	56.6	56.4	57.0
الفرق	7.8	7.3	6.6	5.4	5.7

الشكل (4): نتائج تجربة تحديد درجة التليين لإسفلت AB قبل وبعد التعب القصير الأمد



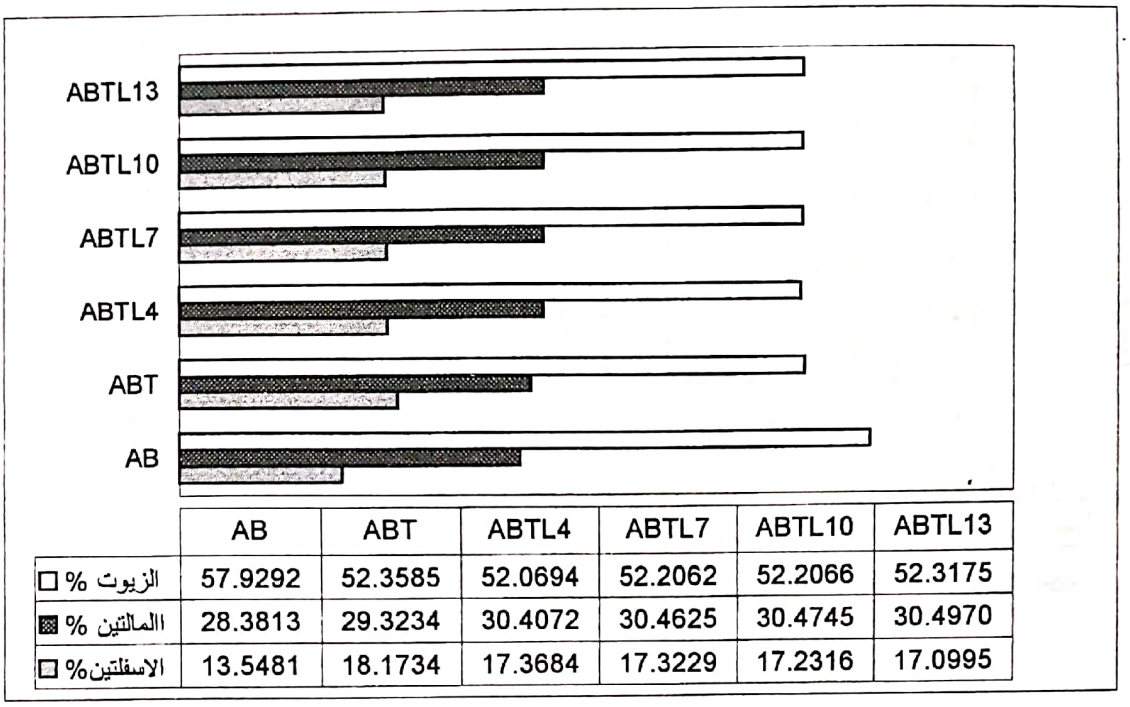
	AB	ABL4	ABL7	ABL10	ABL13
قبل	-16.5	-16.4	-16.3	-16.2	-16.1
بعد	-14.0	-14.6	-14.4	-14.3	-14.2
الفرق	15	11.0	11.6	11.7	12.0

الشكل (5): نتائج تجربة تحديد درجة الكسر لإسفلت AB قبل وبعد التعب القصير الأمد



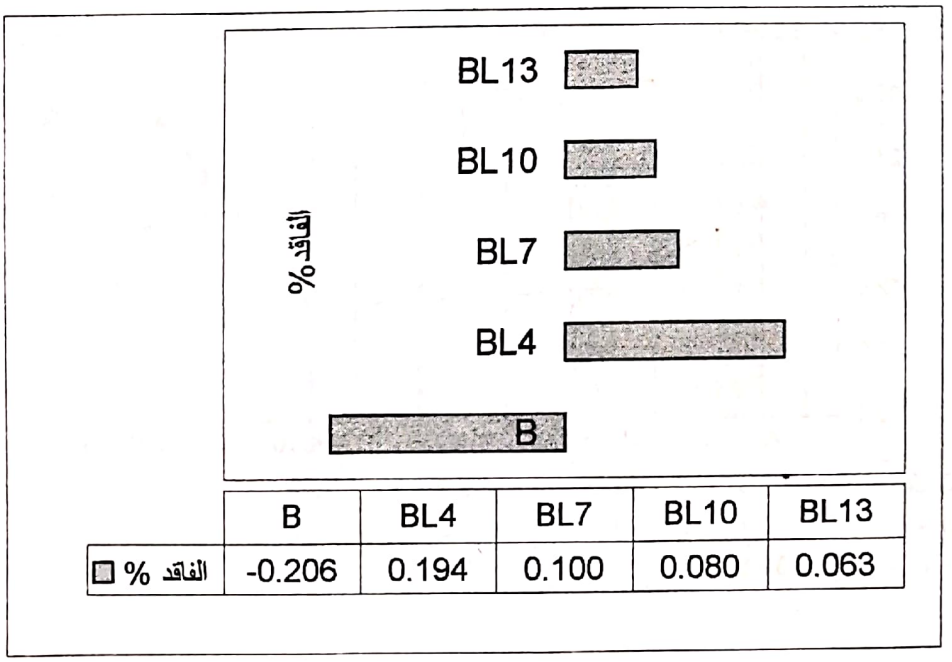
	AB	ABL4	ABL7	ABL10	ABL13
قبل الفاقد	123	32	30	26	24
بعد الفاقد	34	26	26	21	18
للفرق	72	19	16	17	23

الشكل (6): نتائج تجربة الاستطالة في الدرجة C° 25 لإسفلت AB قبل وبعد التعب القصير الأمد



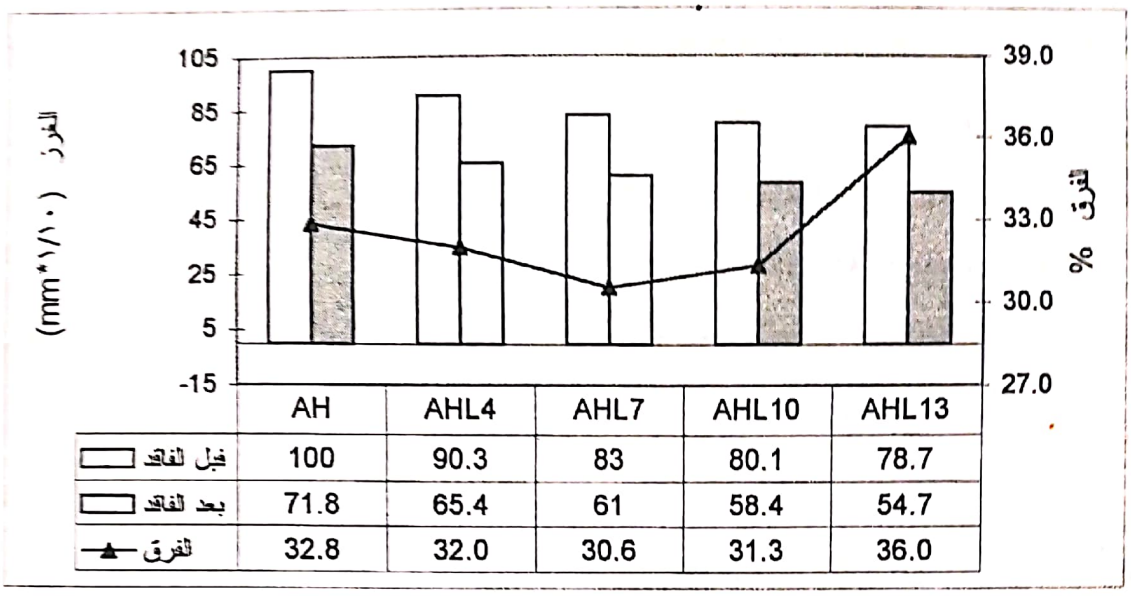
	AB	ABT	ABTL4	ABTL7	ABTL10	ABTL13
الزيوت %	57.9292	52.3585	52.0694	52.2062	52.2066	52.3175
االمالتين %	28.3813	29.3234	30.4072	30.4625	30.4745	30.4970
الاسفلتين%	13.5481	18.1734	17.3684	17.3229	17.2316	17.0995

الشكل (7): نتائج تجربة تحديد مكونات الإسفلت AB قبل وبعد التعب القصير الأمد



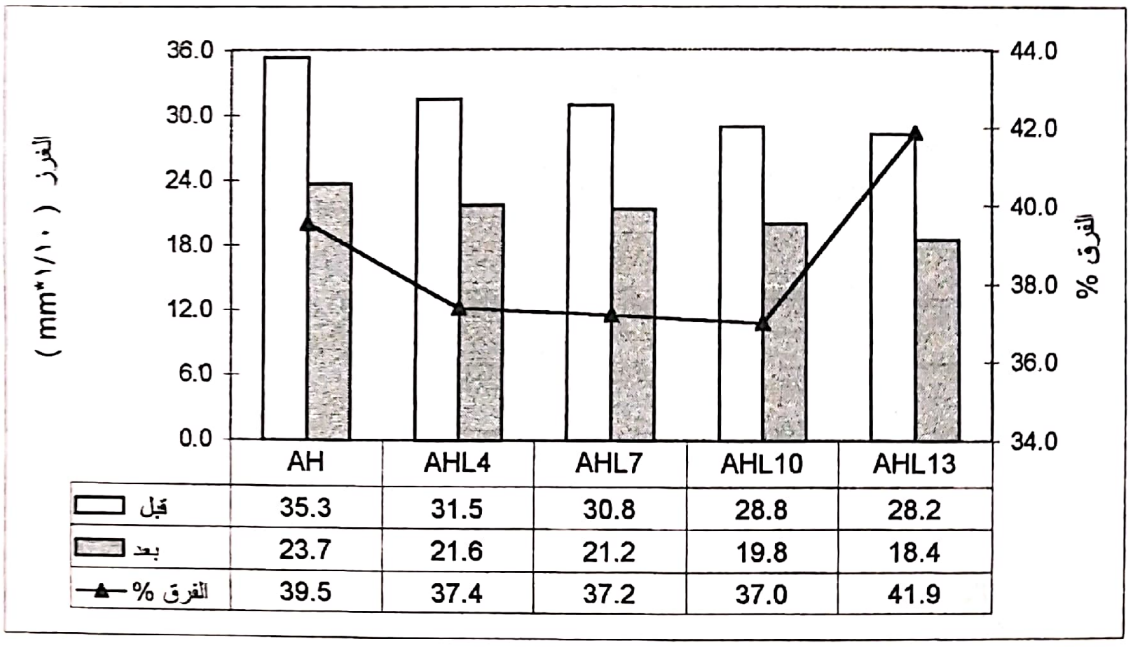
	B	BL4	BL7	BL10	BL13
الفاقد %	-0.206	0.194	0.100	0.080	0.063

الشكل (8): نتائج تغير الكتلة نتيجة التعب القصير الأمد لإسفلت AB



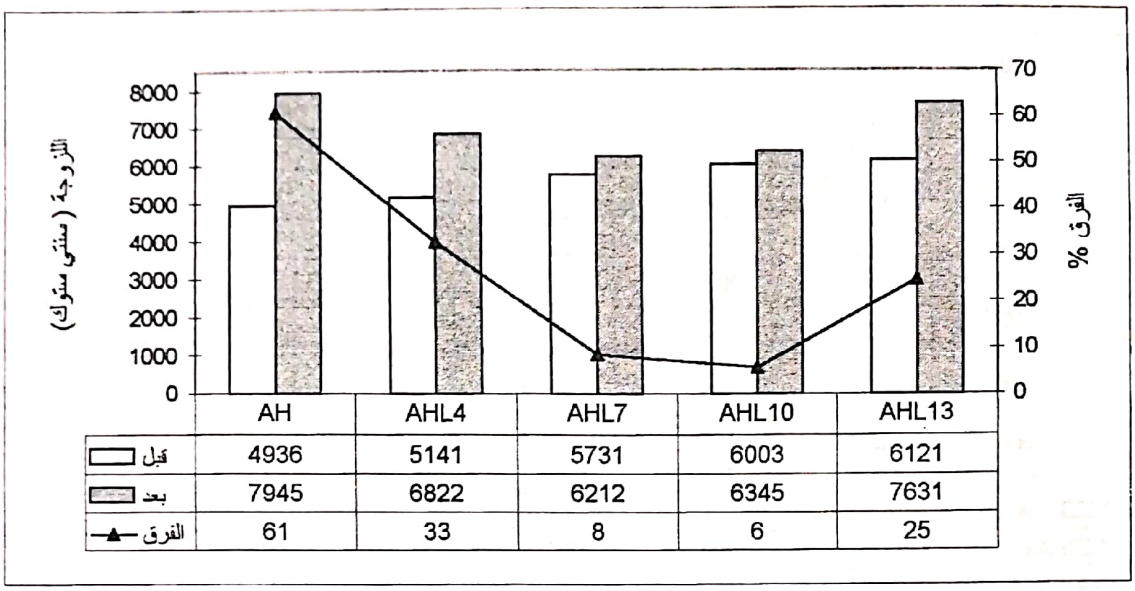
	AH	AHL4	AHL7	AHL10	AHL13
قبل الفاقد	100	90.3	83	80.1	78.7
بعد الفاقد	71.8	65.4	61	58.4	54.7
الفرق	32.8	32.0	30.6	31.3	36.0

الشكل (9): نتائج تجربة الغرز في الدرجة C° 25 لإسفلت AH قبل وبعد التعب قصير الأمد



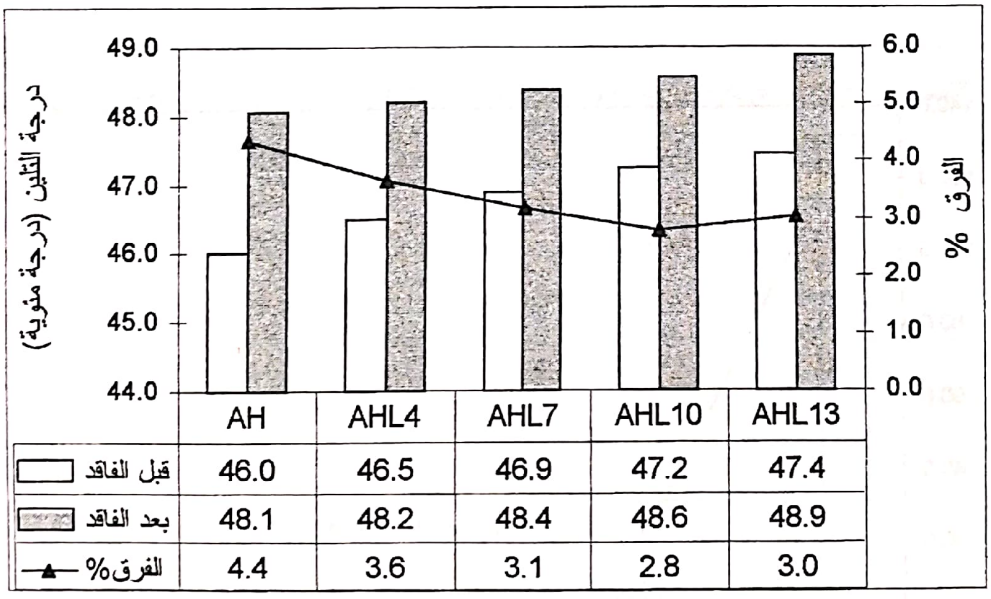
	AH	AHL4	AHL7	AHL10	AHL13
قبل	35.3	31.5	30.8	28.8	28.2
بعد	23.7	21.6	21.2	19.8	18.4
الفرق %	39.5	37.4	37.2	37.0	41.9

الشكل (10): نتائج تجربة الغرز في الدرجة C° 4 لإسفلت AH قبل وبعد التعب قصير الأمد



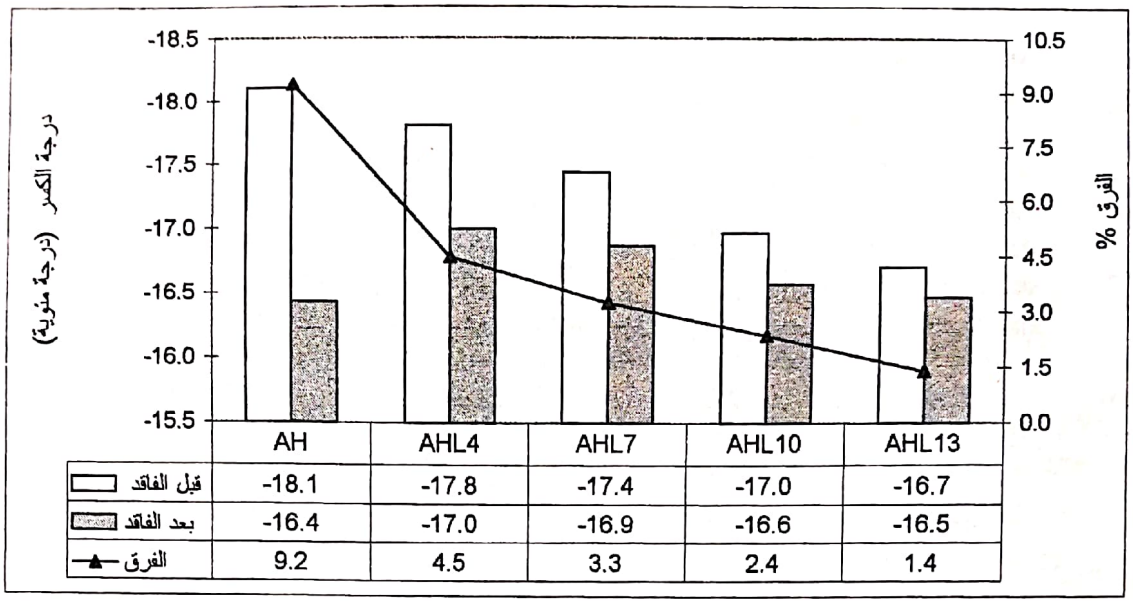
	AH	AHL4	AHL7	AHL10	AHL13
قبل	4936	5141	5731	6003	6121
بعد	7945	6822	6212	6345	7631
الفرق	61	33	8	6	25

الشكل (11): نتائج تجربة اللزوجة في الدرجة C° 90 لإسفلت AH قبل وبعد التعب قصير الأمد



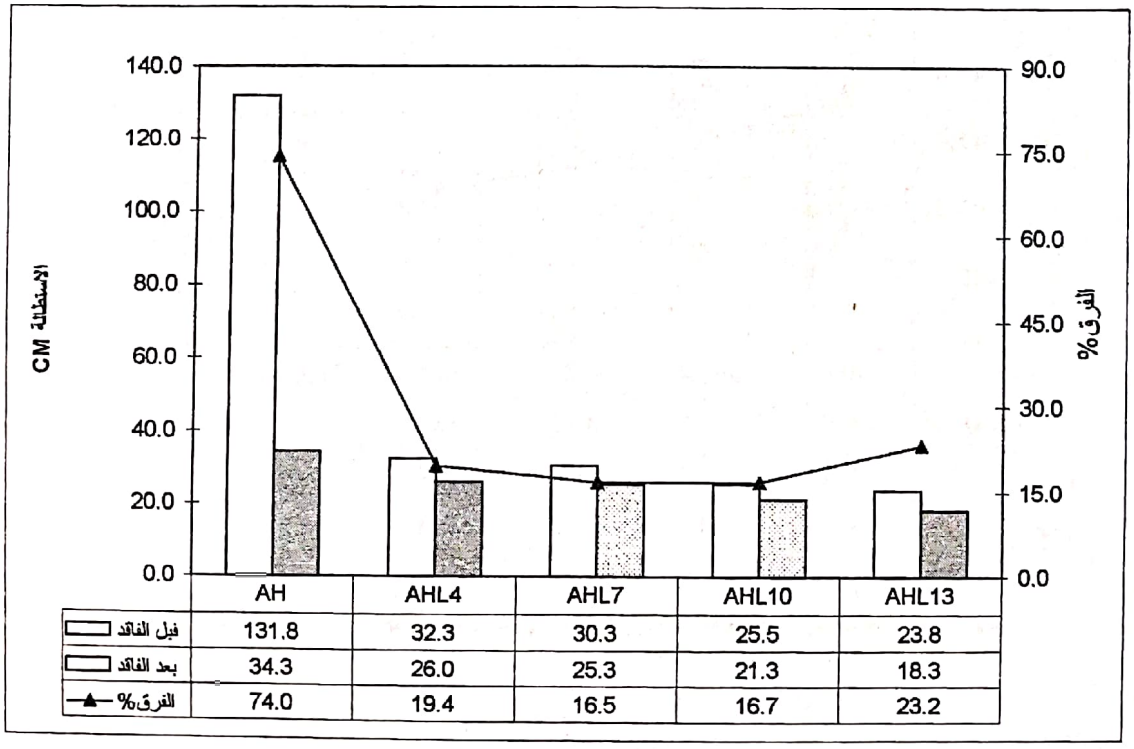
	AH	AHL4	AHL7	AHL10	AHL13
قبل الفاقد	46.0	46.5	46.9	47.2	47.4
بعد الفاقد	48.1	48.2	48.4	48.6	48.9
الفرق%	4.4	3.6	3.1	2.8	3.0

الشكل (12): نتائج تجربة تحديد درجة التليين لإسفلت AH قبل وبعد التعب قصير الأمد



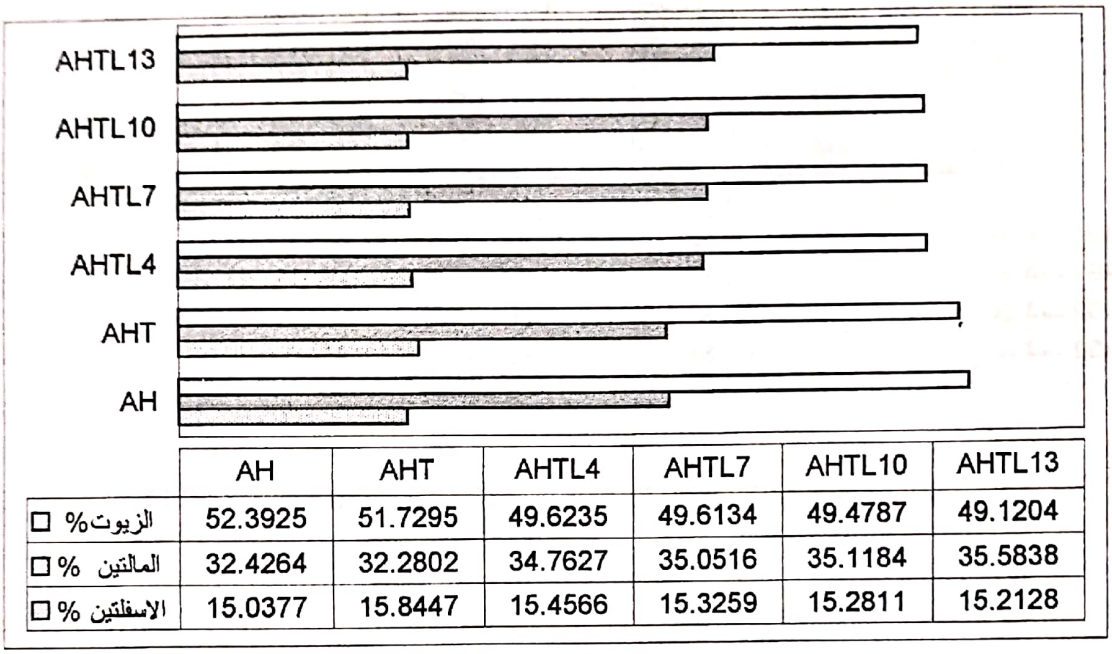
	AH	AHL4	AHL7	AHL10	AHL13
قبل الفاقد	-18.1	-17.8	-17.4	-17.0	-16.7
بعد الفاقد	-16.4	-17.0	-16.9	-16.6	-16.5
الفرق	9.2	4.5	3.3	2.4	1.4

الشكل (13): نتائج تجربة تحديد درجة الكسر لإسفلت AH قبل وبعد التعب قصير الأمد



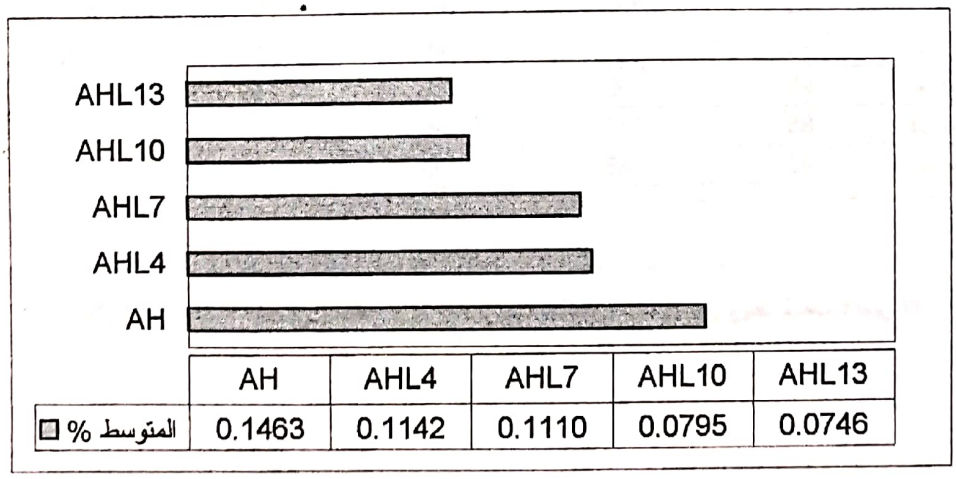
	AH	AHL4	AHL7	AHL10	AHL13
قبل الفاقد	131.8	32.3	30.3	25.5	23.8
بعد الفاقد	34.3	26.0	25.3	21.3	18.3
الفرق%	74.0	19.4	16.5	16.7	23.2

الشكل (14): نتائج تجربة الاستطالة في الدرجة C° 25 لإسفلت AH قبل وبعد التعب قصير الأمد



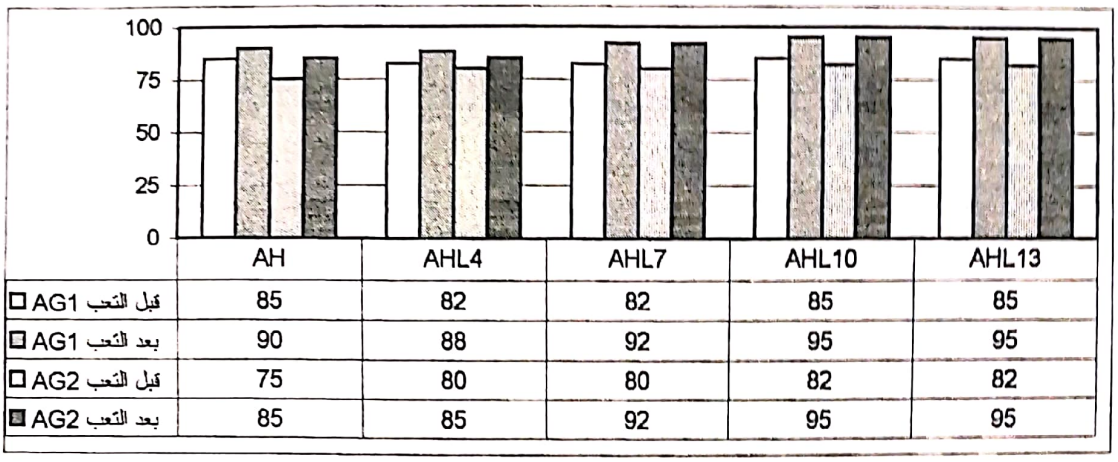
	AH	AHT	AHTL4	AHTL7	AHTL10	AHTL13
الزيوت%	52.3925	51.7295	49.6235	49.6134	49.4787	49.1204
المالتين %	32.4264	32.2802	34.7627	35.0516	35.1184	35.5838
الاسفلتين %	15.0377	15.8447	15.4566	15.3259	15.2811	15.2128

الشكل (15): نتائج تجربة التركيب المجموعي لإسفلت AH قبل وبعد التعب قصير الأمد



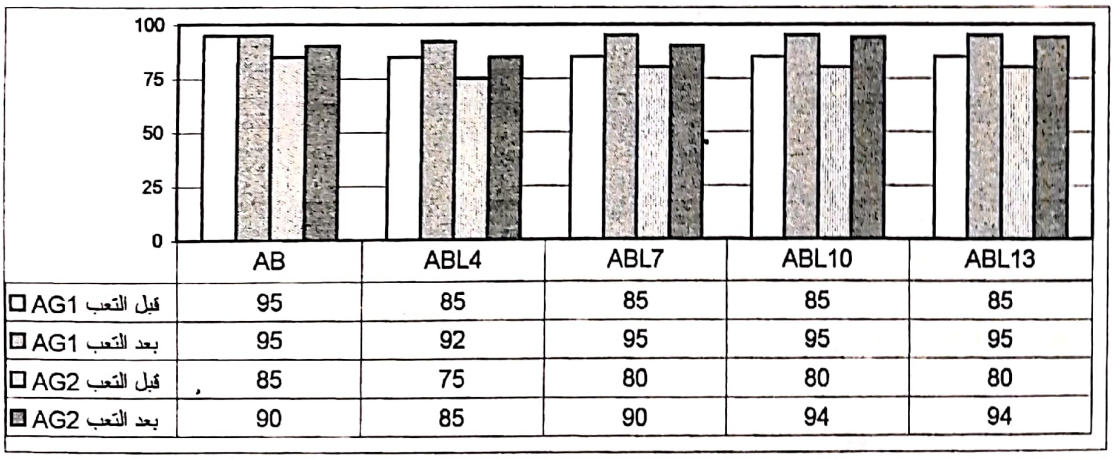
	AH	AHL4	AHL7	AHL10	AHL13
المتوسط %	0.1463	0.1142	0.1110	0.0795	0.0746

الشكل (16): نتائج تغير الكتلة لإسفلت AH نتيجة التعب قصير الأمد



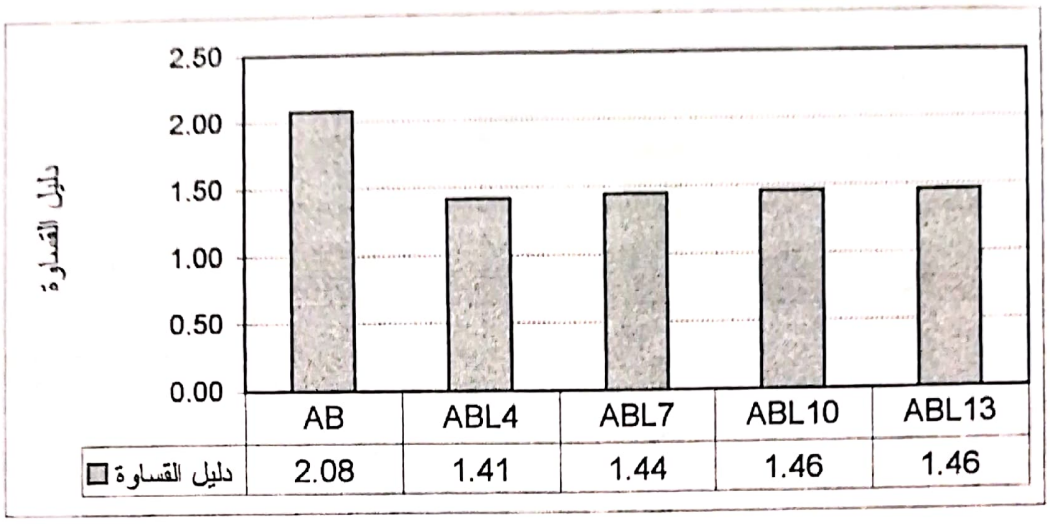
	AH	AHL4	AHL7	AHL10	AHL13
قبل التعب AG1	85	82	82	85	85
بعد التعب AG1	90	88	92	95	95
قبل التعب AG2	75	80	80	82	82
بعد التعب AG2	85	85	92	95	95

الشكل (17): نتائج التصاق إسفلت AH بحصويات AG2 وAG1 قبل وبعد التعب قصير الأمد

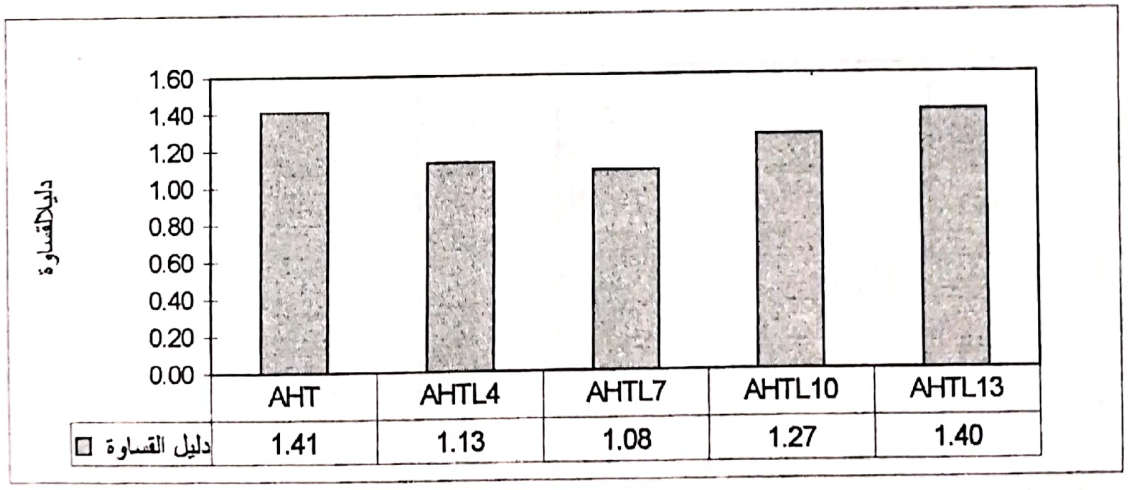


	AB	ABL4	ABL7	ABL10	ABL13
قبل التعب AG1	95	85	85	85	85
بعد التعب AG1	95	92	95	95	95
قبل التعب AG2	85	75	80	80	80
بعد التعب AG2	90	85	90	94	94

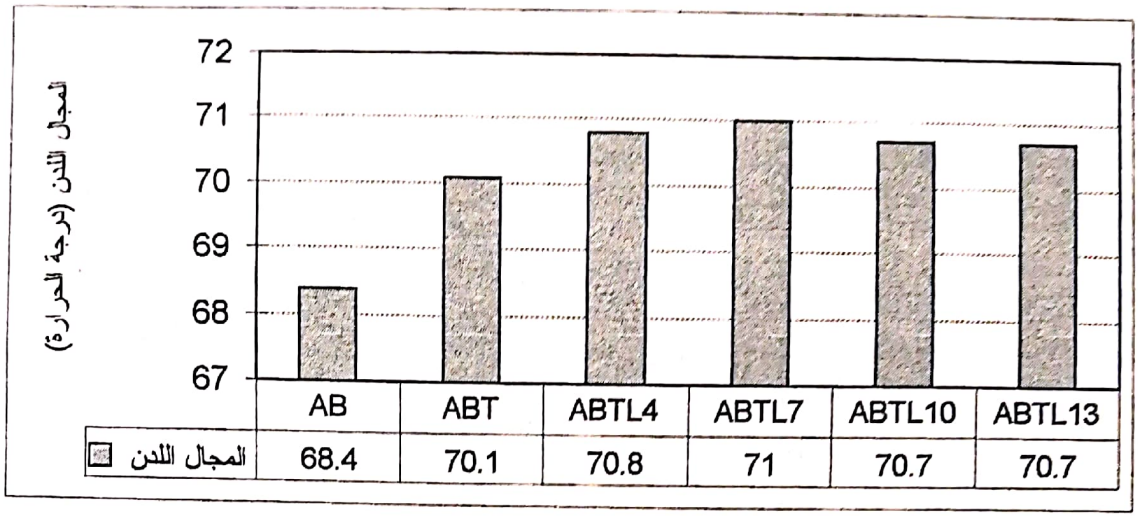
الشكل (18): نتائج التصاق إسفلت AB بحصويات AG2 وAG1 قبل وبعد التعب قصير الأمد



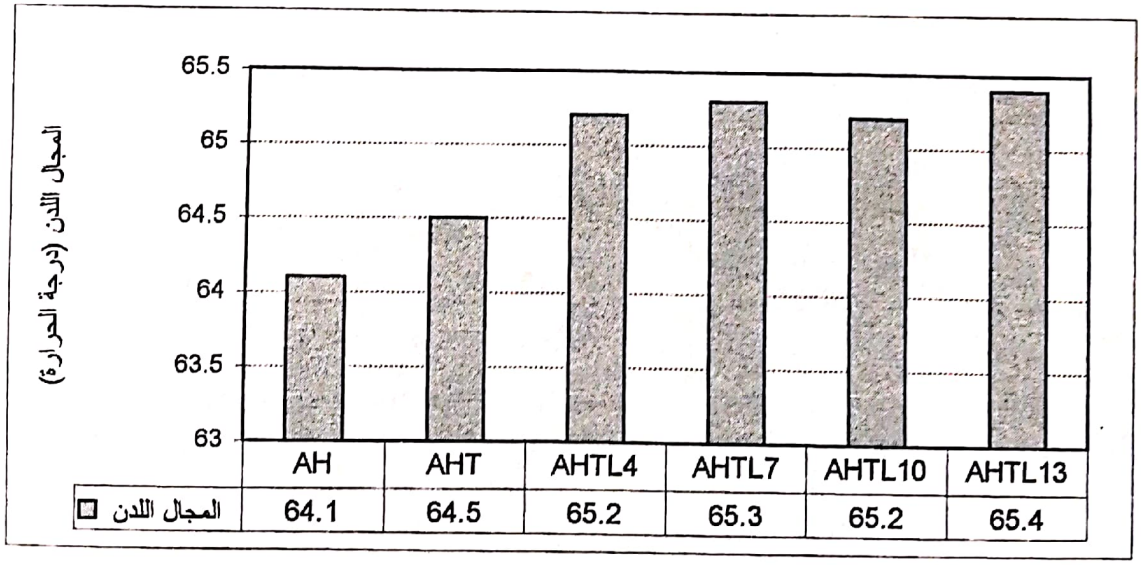
الشكل (19): تغيرات دليل القساوة لإسفلت AB بعد إضافة الكلس نتيجة التعب القصير الأمد



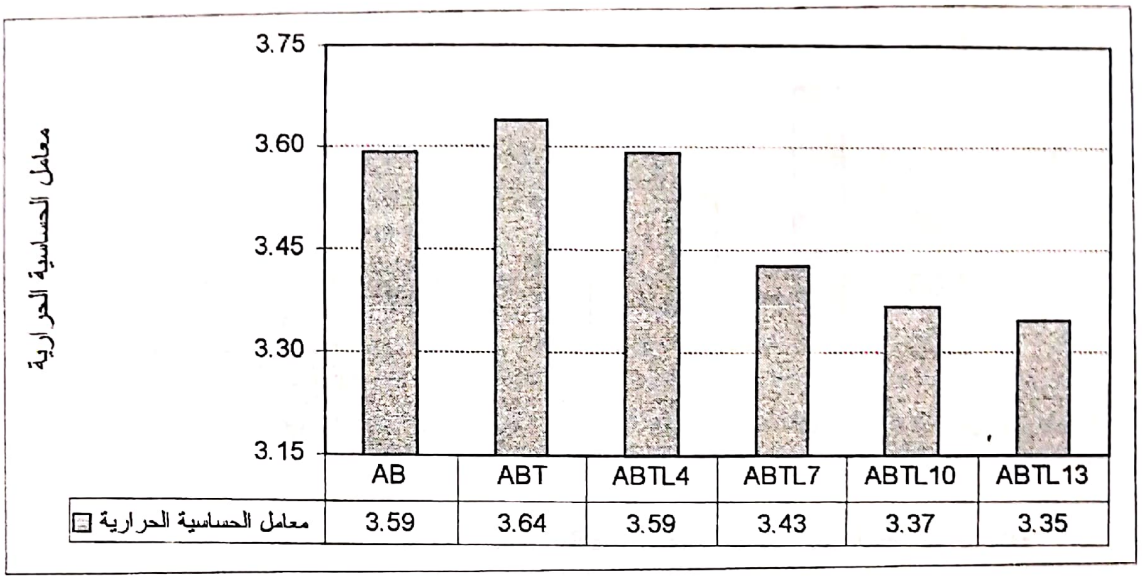
الشكل (20): تغيرات دليل القساوة لإسفلت AH بعد إضافة الكلس نتيجة التعب القصير الأمد



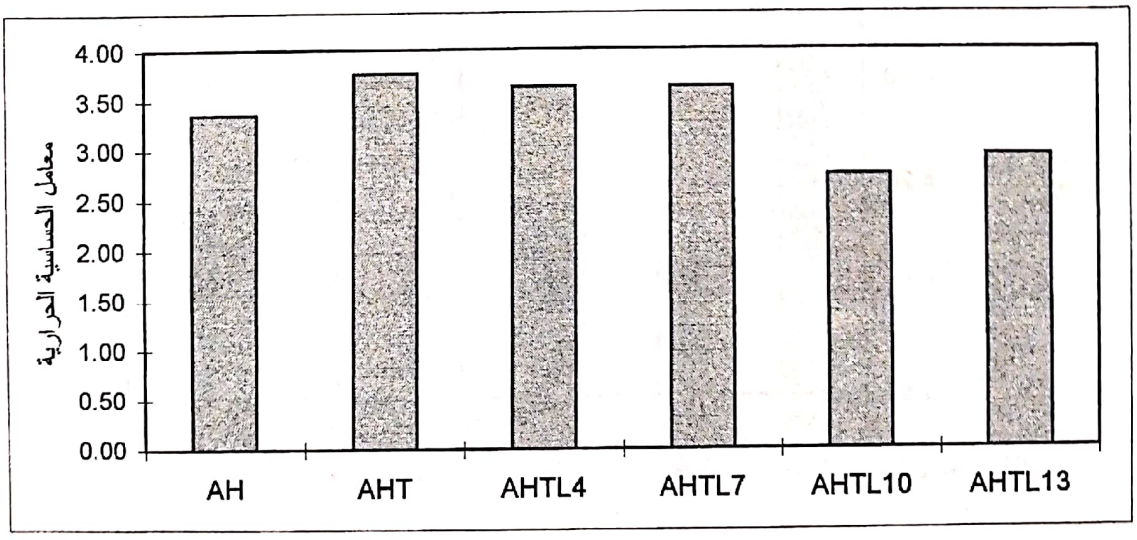
الشكل (21): تغير قيمة المجال اللدن للإسفلت AB بعد إضافة الكلس والتعرض للتعب القصير الأمد



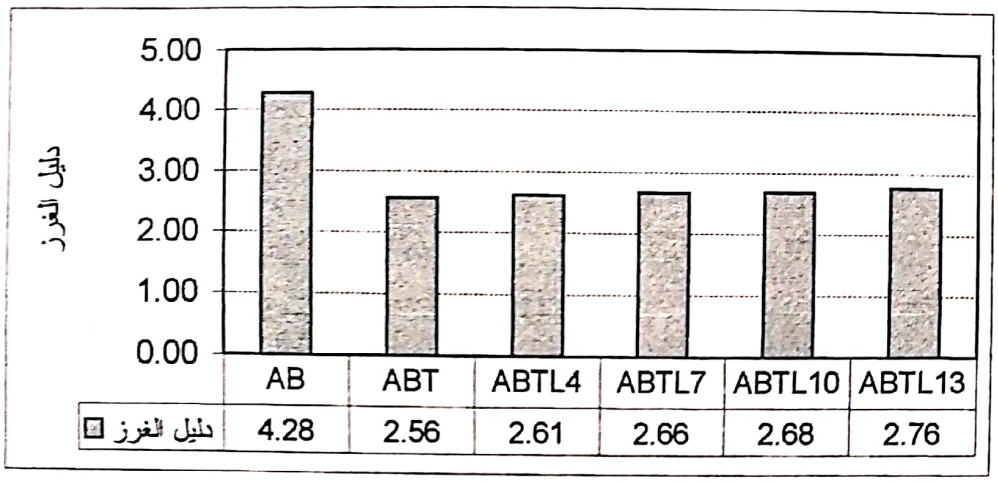
الشكل (22): تغير قيمة المجال اللدن للإسفلت AH بعد إضافة الكلس والتعرض للتعب القصير الأمد



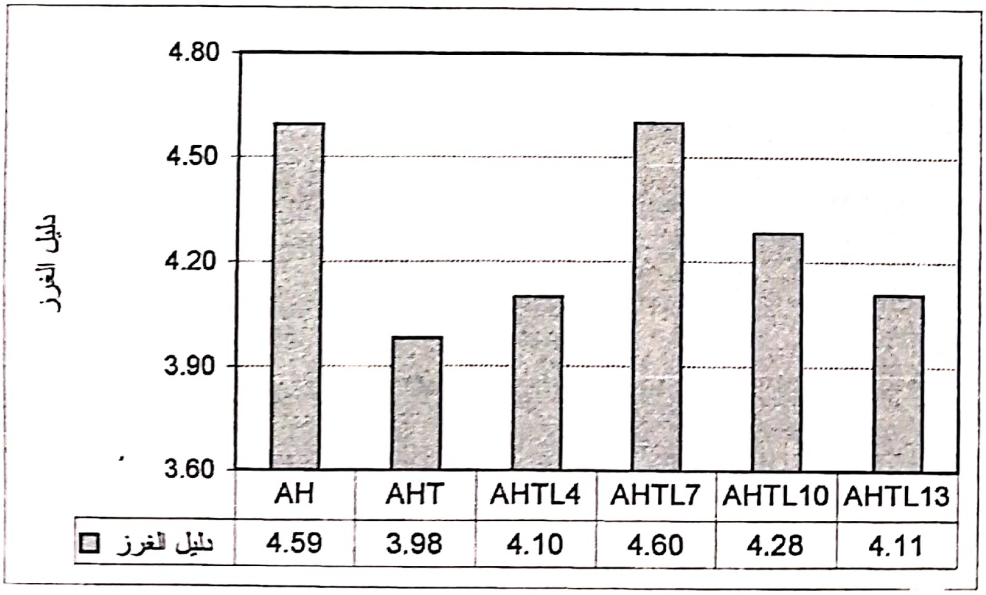
الشكل (23): تغيرات معامل الحساسية الحرارية لإسفلت AB بعد إضافة الكلس نتيجة التعب القصير الأمد



الشكل (24): تغيرات معامل الحساسية الحرارية لإسفلت AH بعد إضافة الكلس نتيجة التعب القصير الأمد



الشكل (25): تغيرات دليل الغرز لإسفلت AB بعد إضافة الكلس نتيجة التعب القصير الأمد



الشكل (26): تغيرات دليل الغرز لإسفلت AH بعد إضافة الكلس نتيجة التعب القصير الأمد

REFERENCES المراجع

1- سلطان، بسام، 1991 – "ديمومة الخلائط الإسفلتية المستخدمة في بلاد المناطق الحارة"، جامعة وارسو (باللغة البولونية).

2- Amirkhanian, Serji and Williams, Bill, 1993- "Recyclability of Moisture Damage Flexible Pavement", *Journal of Materials in Civil Engineering*, pp251-259.

3- N. Atkins, Harold, 1997-"*Highway Materials, Soils, and Concretes*", Third Edition.

4- SHRP-A-341, 1993- "Fundamental Properties of Asphalt-Aggregate Interaction Including Adhesion and Absorption". Highway Research Program. National Research Council Washington, dc Edition. PRENIC HALE Upper saddle River,new Jersey Columbus, Ohio.

5- SHRP-A-390, 1994 - "Laboratory Aging of Asphalt –Aggregate Mixture Field Validation", Highway Research Program, National Research Council Washington,

6- SHRP-A-383,1994 – "Selection of Laboratory Aging Procedure for Asphalt – Aggregate Mixture", Highway Research Program. National Research Council Washington.