

بعض خصائص اداء المزيج الاسفلتي الحار للطبقة السطحية باستخدام اسفلت بيجي

د. محمد ياسين طه * زينة نوفل محمد صالح **

* أستاذ مساعد ، جامعة الموصل/ كلية الهندسة ، طرق ونقل

** طالبة ماجستير ، جامعة الموصل / كلية الهندسة ، قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

يهدف البحث للتعرف على بعض خواص أداء المزيج الاسفلتي المستخدم في الطبقة السطحية ذات ركام ناعم التدرج في التبليط المرن باستخدام اسفلت بيجي بنفاذية 40-50 كمادة رابطة عن طريق إجراء الفحوصات المختبرية. تضمنت المرحلة الأولى إجراء الفحوصات المختبرية الخاصة بحساب الخصائص الفيزيائية للمكونات الأساسية للمزيج الاسفلتي للتأكد من مطابقتها للمواصفات وصلاحيته استخدامها، ثم إيجاد نسب مزجها باستخدام طريقة مارشال لتصميم المزجة الاسفلتية. أجريت في المرحلة الثانية الفحوصات المختبرية لتحديد خواص الأداء والعوامل المؤثرة عليها، والمتضمنة: فحص الحمل المتكرر و فحص الحمل الساكن و فحص التماسك. تم إيجاد معامل المرونة للمزيج الاسفلتي باستخدام فحص الحمل المتكرر إذ تناسبت قيم معامل المرونة طرديا مع الضغط (الحمل) المسلط وعكسيا مع كل من درجة الحرارة و نسبة الاسفلت في المزيج تباينت قيم معامل المرونة للمزيج بين 423856 و 206625 باون لكل انج مربع. أجرى فحص الحمل الساكن لحساب الانفعال و صلابة الزحف و الزحف الكلي الناتج، إذ يزداد الانفعال والتشوه بزيادة درجة الحرارة والإجهاد المسلط والتناسب عكسيا مع الصلابة وطرديا مع الزحف، إذ تباينت قيم الصلابة للمزيج المستخدم في الدراسة بين 1.05×10^6 و 42.8×10^6 كيلوباسكال. وحسب معامل التماسك للمزيج الاسفلتي لمعرفة مدى تأثير محتوى الاسفلت على تماسك المزيج وعند درجات حرارة مختلفة، أظهرت النتائج زيادة قيم معامل التماسك بزيادة نسب الاسفلت، بعدها تبدأ بالنقصان عند نسبة معينة، في حين تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة.

Performance Characteristics of Hot Mix Asphalt for Wearing Coarse Layer Using Bejee Asphalt

Dr. Mohamed Y. Taha *

Zina Nofel M.Saleh **

* Ass. Professor , University of Mosul , College of Engineering, Transportation and roadway

** M.Sc. Student, University of Mosul , College of Engineering ,Civil Dept

Abstract

The aim of this study is to know some of hot-mix-asphalt characteristics and performance, which use in the surface layer with fine aggregate gradation in flexible pavement by using Bejee Asphalt of grade 40-50 as a binder through administration experimental tests. The first stage including the experimental tests is to calculate the physical properties of the basic components of the asphalt mixture, and to make sure it's compatible with the standards and the eligibility of usage. Then find the ratio of mixing by using Marshall Method to design the asphalt mixture. In the second stage, the experimental tests were conducted to determine the properties of the performance, and the effecting factors, which include, the repeated load test, the static load test, and then cohesion test. The resilient modulus of the asphalt mixture was found using repeated load test for the values of resilient modulus, were in positive relation with the applied pressure and inversely proportional with both the temperature and asphalt percentage in the mixture, the values of Resilient Modulus is varying between 423856,206625 Psi. The test of static load calculate the total strain and stiffness of displacement and the total resulting displacement where the reaction increases and the distortion both increase according to the increase of temperature and applied pressure inversely proportional with stiffness values and positively with displacement values, stiffness values for mixtures in study varying between 1.05×10^6 , 4.28×10^6 Kpa. The cohesion coefficient for hot-mix-asphalt was calculated to know the effect of asphalt content on mixture cohesion under grading different thermal. The results showed the increase of the values of cohesion coefficient with increasing of asphalt percentage, then began to decrease, whereas it inversely proportional with temperature.

مقدمة عامة

General Introduction

إن أكثر طرق العراق المعبدة تصمم وتنفذ باستخدام التبليط المرن (التبليط الاسفلتي باستخدام المزيج الاسفلتي الساخن) Hot Mix Asphalt (HMA). إذ يتألف التبليط من عدة طبقات لتحتمل الحمل المسلط من المركبات ولتخفيف تأثير الظروف الجوية، ولتحقيق الهدف الأساس من التبليط في الحصول على سير آمن وسلس [1]، يتضمن بناء هيكل التبليط التنفيذ الناجح ليتمكن من أداء وظائف متعددة منها قابلية التحمل، والأمان، ومقاومة الانزلاق و تصريف الماء. تكون الأحمال المسلطة في أعلى التبليط مسببة للإجهادات على مدى الطبقات، تتحمل الطبقات السطحية إجهادات أكبر من الطبقات السفلية، لذا المواد المستخدمة في الطبقة السطحية التي تؤثر على تصميم التبليط هي أكثر المواد مقاومة للإجهادات وأكثرها كلفة لتستقبل وتحتمل القيمة العظمى من الإجهادات.

فالتمثيل الفعال لمواد التبليط مطلب رئيس لتصميم ناجح مطابق للمواصفات وفعال عمليا والمعتمد بالأساس على خصائص المواد التي تتأثر بالمحفزات الخارجية من الحمل المروري، نوعية التنفيذ والظروف الجوية [2]، تؤثر عوامل متنوعة كخصائص المواد، والسيطرة على نوعية الإنشاء والمرور وظروف البيئة مع الوقت على تقليل ديمومة التبليط [3]. يتألف التبليط من طبقات مترابطة من مواد محددة موضوعة فوق طبقة الأرض الطبيعية، ليؤدي الغاية الأساسية له وهي تحمل الحمل المروري المسلط [4].

لذا يتطلب التصميم ضمان انتقال الحمل لكل الطبقات المتعاقبة بدون زيادة حمل الطبقة عن قابلية تحمل طبقة المزيج الاسفلتي العليا (السطحية) والتي تمنع نفاذية الماء للطبقات السفلى وتوفر سطحاً أملس مترابطاً وتقاوم الإجهادات المتسببة من أحمال المركبات وتجهز مقاومة الانزلاق للسطح دون أن تسبب اندثاراً غير ضروري للإطارات [4].

وبسبب الاختلافات العديدة بين صلابة الركام والمادة الرابطة، والحدود العشوائية للمادة الرابطة، والتشوه الحاصل نتيجة التحميل، يحصل توزيع واسع للإجهادات والانفعالات، ويعد تحليل الإجهاد- الانفعال للمادة الوسيطة الوحيدة لتقرير العديد من خصائصها الطبيعية، وعن طريق النتائج التي يمكن الحصول عليها من عمليات التحليل الكثيرة، يمكن توقع تصرف أي جزء من المادة عندما توضع تحت الأحمال العاملة المختلفة [5]، وإن تحليل الإجهادات والانفعالات مستعمل على نحو متزايد للتنبؤ بفشل التبليط وهكذا حالة الطبقات المختلفة في بناء التبليط، مع الأخذ بنظر الاعتبار سلوك المادة الذي بات متزايداً على نحو مهم إذ أن السلوك المرن للمادة غير مستحب ومقبول في تحليل التبليط [6] وأوضحت الدراسات صعوبة ميكانيكية تحليل الإجهادات والانفعالات للمزيج الاسفلتي والتوزيع المثالي للاسفلت في المزيج الحار ونتائج التوزيع للإجهادات والانفعالات [7].

الدراسات السابقة

(Literature review)

قام الباحث (Molenaar J.M.M.-2000) [9] بتحليل المزيج الاسفلتي كمادة لزجة - مرنة وإيجاد قيمة الزحف للزج - اللدن لهذه المادة وتحقيق إمكانية استخدام هذه الخصائص كخصائص حقيقية للمادة لمعرفة تصرف الإجهاد والانفعال للمزيج الاسفلتي في تبليط الطرق. إذ وجد أن قيم الزحف للزج - اللدن تعتمد على أبعاد النموذج، والتي لا تعد خاصية حقيقية للمادة، لأن خواص المزيج الاسفلتي تعتمد على نوع المزيج، وأبعاد النموذج، وحالة الإجهاد، وشكل الموجة المتكونة من الإجهاد المسلط. يمكن استخدام قيم الزحف للزج - المرن للترددات الواطئة لمقاومة التشوهات الدائمة.

درس الباحثون (Molenaar J.M.M., et al.-2001) [12] مقاومة الشد للمزيج الاسفلتي المحسوبة من فحص الشد المحوري، وفحص انحناء الشد شبه المستدير (شبه دائري)، وفحص الشد غير المباشر مع استخدام طريقة العناصر المحددة، أجريت التجارب لمعرفة متغيرات الفحص، ومعدل التشوه ودرجة الحرارة. استخدمت العناصر المحددة لدراسة الانفعال، كان الغرض منها التأكيد على أن مقاومة الشد يمكن أن تؤخذ كخاصية حقيقية للمادة ولوصف المقاومة لنمو الشق للمزيج الاسفلتي، إذ لا تتغير مقاومة الشد كثيراً باستخدام طرق فحص مختلفة في حين أوضحت العناصر المحددة أن الإجهاد المستخدم لفحص الانحناء شبه المستدير لنموذج يعتبر مناسباً لإيجاد مقاومة الشد.

تناول الباحثون (Janoo V., et al.- 2003) [10] آلية تصميم و تقييم مزيج الرصف الذي يتطلب معرفة خصائص المواد الأساسية و معايير فشل المواد بوصفها وظيفة للحمل والآثار البيئية مثل درجة الحرارة ونسبة الرطوبة إذ تستند قوة بنية طبقة التبليط أو ضعفها على أداء طبقة القاعدة. إذ شيدت أقسام اختبار باستخدام أربعة أنواع من تربة تحتية و ثلاثة محتويات رطوبة وتعريضها لتسريع التحميل، شملت الدراسة الاختبار في المقاطع المجهزة مع الإجهاد، والانفعال، والرطوبة وأجهزة استشعار درجة الحرارة إذ كانت درجة الحرارة المحيطة حوالي 20 درجة مئوية.

كانت دراسة (Zafar et al. - 2005) [13] عن أجهزة الرصد والتي هي وسيلة لتسجيل الإجهاد لطبقات الرصف نتيجة تعرضه للتحميل بواسطة المركبات والعوامل المناخية، استخدم جهاز يسمى خلية ضغط الأرض وهو شائع الاستخدام في قياس الإجهاد الرأسي. تم عمل خارطة للإجهادات الرأسية التي حصل عليها وحساب الأخطاء الناتجة بين

طه: بعض خصائص اداء المزيج الاسفلتي الحار للطبقة السطحية باستخدام اسفلت بيجي

الأجهزة والطبقات المرصوفة عن طريق منحنيات الدمج الحجمي للإجهاد مع المسافة . أدت هذه الخطوات إلى استنتاج التأثير الواضح لخلية الضغط على توزيع الإجهادات.

عرض الباحثون (Khodaii A., et.al.-2009) [11] عوامل مختلفة تؤثر على معامل المرونة للمزيج الاسفلتي. حلت نتائج الفحوصات المختبرية باستخدام التجارب الإحصائية لخمسة عوامل: المقاس الأقصى لحجم الركام ، و قطر النموذج والسلك ، وشكل نبضة الحمل وذبذبه و الفترة (فترة التسليط) وبواقع مستويين مختلفين لكل عامل، استخدم نوعان من المزيج الاسفلتي مع أحجام مختلفة من المقاس الأقصى للركام وباستخدام طريقة مارشال لرص النماذج وتحضيرها. أظهرت النتائج وجود عوامل مختلفة لها علاقة واضحة مع معامل المرونة، إذ يزداد معامل المرونة بزيادة حجم المقاس الأقصى للركام في حين يقل بزيادة فترة التحميل ،وسمك النموذج وقطره ، واطهر تحليل التجارب أن المقاس الأقصى لحجم الركام هو من أكثر العوامل تأثيراً وأهمية لمعامل المرونة ، تليها فترة التحميل ، وأبعاد النموذج (القطر و السمك) ثم التداخل بين العوامل المختلفة. التداخل بين القطر والمقاس الأقصى للركام من أكثر مستويات التداخل الثانوية أهمية، بينما القطر – السمك – المقاس الأقصى للركام هو من أهم مستويات التداخل الثلاثية، هذا يعني أن أبعاد النموذج لفحص معامل المرونة مهمة ومؤثرة لتمثيلها حالة الموقع.

المواد المستخدمة

للحصول على نتائج حقيقية تخدم واقع الحال، استخدمت الدراسة المواد الأساسية المتوفرة والمستخدمة محليا للمزيج الاسفلتي الحار في إنشاء الطبقة السطحية للتبليط والمنكونة من الاسفلت ، والركام (الركام الخشن والناعم والمادة المألثة). قيمت خصائص هذه المواد عن طريق إجراء الفحوصات المختبرية التقليدية والمعتمدة بدورها على المواصفات العامة للطرق والجسور لمعرفة درجة نجاحها ومدى قبولها و ملائمتها للاستخدام. استخدم اسفلت بيجي نوع (40-50نفاذية) كمادة رابطة للمزيج الاسفلتي في إنشاء طبقات التبليط المرن لأعمال الطرق بالعراق. أجريت مجموعة من الفحوصات الفيزيائية المعتمدة عالمياً لتحديد خصائص مادة الاسفلت كما موضح في الجدول(1)، لمعرفة مدى نجاحه وإمكانية استخدامه مادة رابطة في المزيج الاسفلتي الحار على وفق المواصفات الأمريكية ASTM [14] وقورنت نتائجها مع متطلبات المواصفات العامة للطرق والجسور [15].

جدول (1) خصائص الاسمنت الاسفلتي

درجة النفاذية 40-50		رقم المواصفة الأمريكية ASTM	الخاصية
المواصفات العراقية SCRB[15]	نتائج الفحوصات		
40-50	43	D-5	1- النفاذية (penetration) 25°C, 100gm, 5 sec.0.1mm
.....	57	D-36	2- درجة الليونة (softening point) (°C)
>100	>100	D-113	3-السحبية ductility25°C,5cm/min,(cm)
حد أدنى 232	265	D-92	4- درجة الاتقاد (flash point) (°C)
.....	1.044	D-70	5- الوزن النوعي (specific gravity)
4000±800	4075	D-2171	6- *اللزوجة (absolute viscosity) 60°c (poise)
حد أدنى 400	477	D-2070	7- *اللزوجة الكينماتية (CSt) 135° (kinematics viscosity)
0.75	0.345%	D-1754	8-تأثير الهواء والحرارة Loss in weight %
55+	57	D-5	النفاذية المتبقية بعد الفقدان
25+	35	D-113	السحبية المتبقية
حد أدنى 99%	99.3%	D2042-97	9- الذوبان في محلول رابع كلوريد الكربون CCL4

الركام المستخدم في هذه الدراسة ركام مكسر تم الحصول عليه من أحد معامل إنتاج مزيج التبليط الاسفلتي في مدينة الموصل، إضافة إلى استخدام الاسمنت كمادة مالئة. أجريت الفحوصات المختبرية لإيجاد وتقييم الخصائص الفيزيائية للركام (الخشن والناعم) اللازمة لتحديد إمكانية استخدامه في المزيج الاسفلتي الساخن وحسب متطلبات المواصفة العراقية للطرق والجسور [15] إذ تعتبر نوعية الركام عامل مهم في أداء التبليط ، كما موضح في الجدول (2).

جدول (2): الخصائص الفيزيائية للركام

SCRB Specification	Test results	ASTM designation	Property
.....	2.661	C-127	1. الوزن النوعي الكلي للركام الخشن
.....	2.701		2. الوزن النوعي الظاهري للركام الخشن
.....	0.56%		3. نسبة امتصاص الماء للركام الخشن
.....	2.540	C-128	4. الوزن النوعي الكلي للركام الناعم
30 Max	22	C-131	5. نسبة الركام المتردي (السحق) فحص لوس انجلوس
95 Min	99	C-88	5. نسبة التكسير

تصميم الخلطة الاسفلتية Asphalt Mix Design:

استخدمت طريقة مارشال لإيجاد المحتوى المثالي للاسفلت واللازم لمنع اندفاع وانزلاق جزيئات الركام الناتجة من زيادة محتوى الاسفلت، تعد هذه الطريقة من أكثر الطرق شائعة الاستخدام والمعتمدة عند أغلب جهات التصميم. استخدمت نماذج مارشال الأسطوانية في هذا الفحص التي أبعادها 101.6 ملم للقطر و 63.5 ملم للارتفاع، فحست الثباتية والزحف على وفق طريقة الفحص الموضحة بمواصفة ASTM-D-1559 [14] ، باستخدام جهاز مارشال لحساب الثباتية والزحف.

فحص تكرار الحمل (Repeated Load test):

أجري هذا الفحص لإيجاد معامل المرونة واللازم لتقييم أداء المزيج الاسفلتي المستخدم في الطبقة السطحية لهذه الدراسة [5]. أجري فحص الحمل المتكرر المحوري باستخدام جهاز يوفر نظام الحمل المتكرر، شكل (1) و باستخدام نماذج مارشال الأسطوانية للمزيج الاسفلتي حسب المواصفة ASTM-D-4123 [14] وبتسليط حمل ضغط تكراري قطري على النموذج وبزمن تعاقب للحمل بمقدار 0.1 ثانية فترة تحميل و 0.9 ثانية فترة لا تحميل (فترة راحة)، واستخدم مستويا إجهاد 6.5 و 13 باون لكل انج مربع وثلاث مستويات لحرارة 10 و 25 و 40 درجة مئوية، إذ يقاس التشوه العمودي الحاصل تحت تكرارات حمل مختلفة .

أثناء الفحص تتم الإجراءات الأتية:

1- يترك النموذج لمدة ساعتين عند درجة حرارة الفحص المطلوبة لضمان التوزيع المنتظم لدرجة الحرارة في النموذج.
2- يوضع النموذج داخل جهاز الفحص شكل (2) ، بعد التحديد المسبق لكل ظروف الفحص من الضغط و فترات التحميل ورفع الحمل المحدد وتنظيم درجة الحرارة المستخدمة للفحص .



شكل 1: جهاز فحص الحمل المتكرر



شكل 2: النموذج داخل جهاز الفحص

3- تشغل كاميرا تصوير فيديو عالية الدقة (zoom 14X) توضع في مكان مناسب أمام جهاز عرض القراءات، والمرتببط بجهاز الفحص الذي يبدأ بعرض القراءات بمجرد بدء الفحص .

4- يبدأ الفحص بتسليط الإجهاد المتكرر على شكل نبضات (دورات) متكررة من التحميل واللاتحميل والراجع عند لكل نبضة من التحميل واللاتحميل يقوم الجهاز بقراءة التشوه المرنة المستعاد .

5- تسجل قراءات التشوه المرنة لكل دورة تكرار حمل، واللازمة لحساب معامل المرونة.



شكل 3 : الجهاز المستخدم لفحص الزحف الساكن

فحص الحمل الساكن (الزحف الساكن) (Static Load) ((creep) Test

النماذج المستخدمة لهذا الفحص هي نماذج فحص مارشال، باستخدام المحتوى المثالي للأسفلت في المزيج الاسفلتي المستخدم للنماذج، تم الفحص بتسليط حمل ثابت أحادي المحور ولمستوى إجهاد 6.5 و 13 باون لكل انج مربع وعند درجة حرارة 25 و 40 درجة مئوية، يسלט الحمل مباشرة ولمدة 50 دقيقة فيها يقرأ التشوه الحاصل. الجهاز المستخدم مصنع ليسلط حملا ثابتا على النماذج، شكل (3) القراءات لأوقات التحميل المتتابعة سجلت عند: 1, 10, 30, 60, 100, 260, 360, 500, 1000, 2000, and 3000 sec.

فحص معامل التماسك (cohesion) :

يتم إيجاد التماسك للمزيج الاسفلتي المرصوص بقياس القوة اللازمة لكسر أو التواء النموذج بـ (cantilever beam) بواسطة Hveem cohesiometer. النماذج المستخدمة لهذا الفحص هي نماذج مارشال، استخدم الفحص نسبيا مختلفة من الاسفلت (3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%) لتوضيح تأثير محتوى الاسفلت على التماسك، وكما مذكور بالمواصفة ASTM-D-1560 درجة حرارة الفحص هي 60°C، فضلا عن ذلك استخدمت درجات حرارة أخرى لملاحظة تأثير درجة الحرارة على فحص التماسك. يمثل الفحص قياسا تجريبييا للاحتكاك الداخلي في النموذج التي تعكس خصائص الركام والاسفلت، حيث القوة والثباتية للمزيج الاسفلتي الحار تشمل التماسك والاحتكاك الداخلي.

فحص الشد غير المباشر (ITS) :

فحص الشد غير المباشر مهم جدا لفهم قوة الشد و معرفة مقدار وشكل الفشل للمزيج. إذ يمثل أعلى إجهاد شد بحسب من أعلى حمل مسلط عند الفشل. في هذا الفحص استخدمت نماذج مارشال بأبعاد 101.6 و 63.5 ملم للمزيج الاسفلتي عند المحتوى المثالي للأسفلت ودرجة 25 درجة مئوية أي درجة الفحص القياسية، يوضع النموذج في جهاز الفحص قطريا (diametral) بين قطعتي تحميل (Two loading strips) مستطيلة الشكل محدبة بعرض 13 ملم توضع أسفل وأعلى النموذج بالمنتصف على امتداد القطر للنموذج، شكل (4). يسלט الحمل باستمرار باتجاه القطر وبمعدل ثابت ليسجل أعلى قيمة للحمل عندها يفشل النموذج شكل (5).



شكل 5: فشل النموذج لفحص الشد غير المباشر



شكل 4: الجهاز المستخدم لفحص الشد غير المباشر

النتائج والمناقشة

حساسية الاسفلت لدرجة الحرارة

دليل نفاذية الاسفلت

يعد دليل النفاذية عاملا لإيضاح مدى حساسية الاسفلت لدرجة الحرارة، تم إجراؤه باستخدام المعادلة التالية [8] والتي تعتمد على نحو رئيس على النفاذية عند 25 درجة مئوية و درجة اللبونة للأسفلت المستخدم.

$$P.I. = [30/(1 + 90K)] - 10$$

$$K = [(\log 800 - \log P(77^\circ F))] / [S.P.(F^\circ) - 77^\circ F] \quad \dots\dots\dots (1)$$

إذ إن :

P.I: دليل النفاذية للاسفلت

S.P: درجة اللبونة للاسفلت (درجة فهرنهاتيية)

P : النفاذية القياسية عند 25 درجة مئوية

تتراوح قيم دليل النفاذية بين 2 و 2- ، إذ القيمة الأكبر من 2 واطئة الحساسية لدرجة الحرارة والقيمة الأصغر من 2- عالية الحساسية وما بينهما طبيعي الحساسية (Normal)، وأظهرت قيم المعادلة والمساوية لـ(0.0550) أن الاسفلت المستخدم طبيعي الحساسية لدرجة الحرارة لتراوح قيمة دليل النفاذية بين 2 و 2-، وتشير بعض المصادر إلى تراوح قيم دليل النفاذية بين 1 و 1- [8].

إيجاد المحتوى المثالي للاسفلت

تم حساب المحتوى المثالي للاسفلت بالاستفادة من نتائج القيم المحسوبة لخواص تجربة مارشال عن طريق أخذ المعدل للقيم التالية:

• نسبة الاسفلت عند أعلى كثافة.

• نسبة الاسفلت عند أعلى ثباتية.

• نسبة الاسفلت عند 4% فراغات هوائية

بعد أخذ معدل القيم الثلاثة كان المحتوى المثالي للاسفلت المستخدم للمزيج هو 5% من الوزن الكلي للمزيج، تمثل هذه النسبة قيمة طبيعية للمزيج الاسفلتي الساخن المستخدم لإنشاء الطبقة السطحية ناعمة التدرج ، إذ إن المساحة السطحية العالية تحتاج إلى نسبة اسفلت عالية مقارنة بالنسب اللازمة في بقية الطبقات ذات التدرج الأخشن لتمكين حبيبات الركام من ربطها مع بعض. يعرض جدول(3) خصائص المزيج عند المحتوى المثالي مع قيم المواصفة العراقية المقابلة لها (SCRB, R/9 2003).

جدول(3): نتائج تجربة مارشال وخصائصها عند محتوى الاسفلت المثالي

حدود المواصفة العراقية (SORB)	الطبقة السطحية نوع - IIIB	
	اسفلت تدرج 40-50	
4-6%	5%	محتوى الاسفلت الأمثل
حد أدنى 8	11.8	الثباتية KN (Stability)
2-4	2.4	الزحف mm (Flow)
3-5	3.7	نسبة الفراغات الهوائية (Percent air voids)
حد أدنى 14	15.19	%نسبة الفراغات في الركام VMA %
65-85	76	%نسبة الفراغات المملوءة بالاسفلت VFB %

نتائج فحص معامل المرونة (Resilient Modulus Test)

استخدمت المعادلة التالية لحساب قيمة معامل المرونة للمزيج الاسفلتي الساخن [14].

$$Mr = \frac{P(0.27 + v)}{(\Delta h)t} \quad \text{-----}(2)$$

إذ إن:

Mr: معامل المرونة ، (Ib/in² psi)

P: أقصى حمل مسلط ، (Ib)

v: نسبة بواسون (0.35)

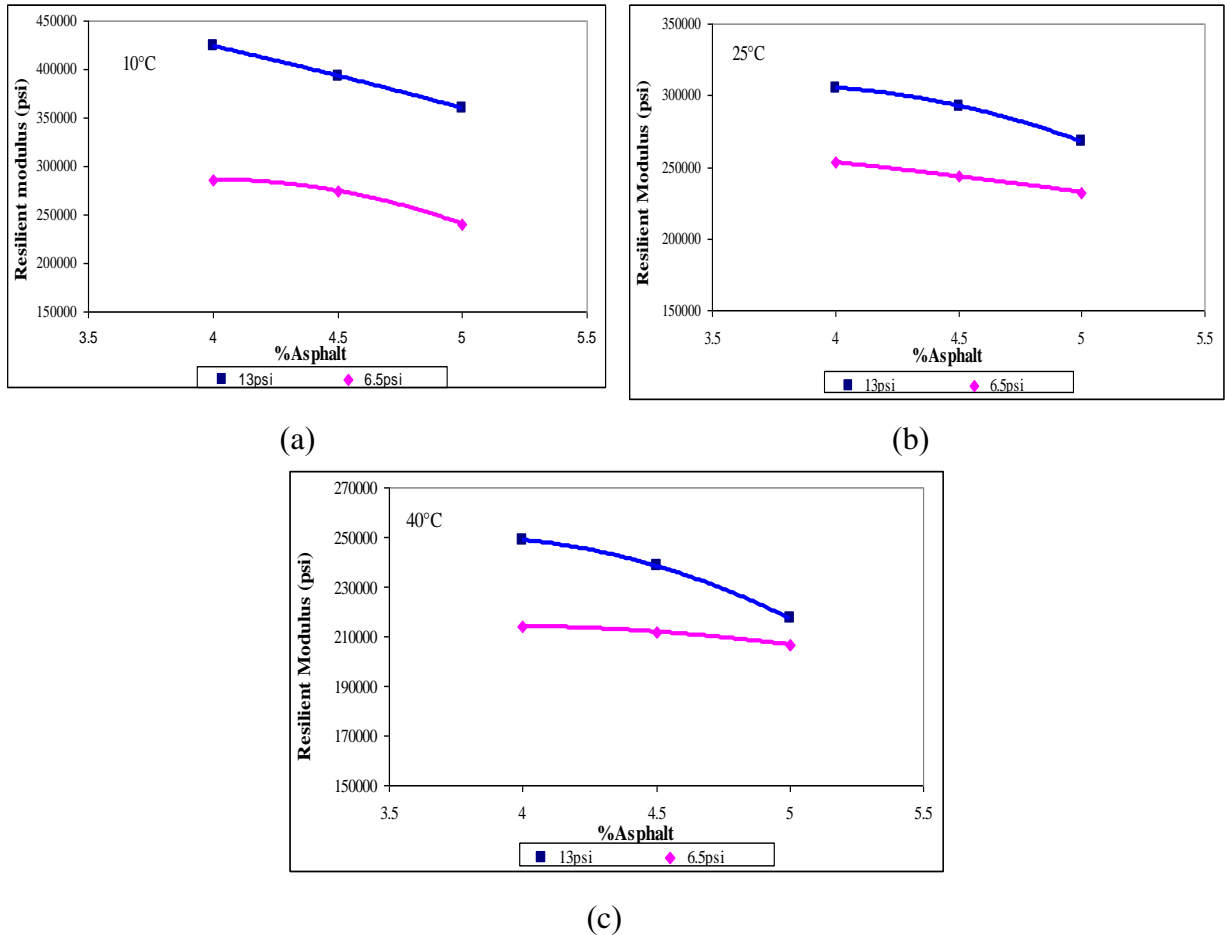
Δh : التشوه الأفقي المستعاد للنموذج ، (in) ، Δv × v = Δh

Δv: التشوه العمودي للنموذج

t: ارتفاع النموذج ، (in).

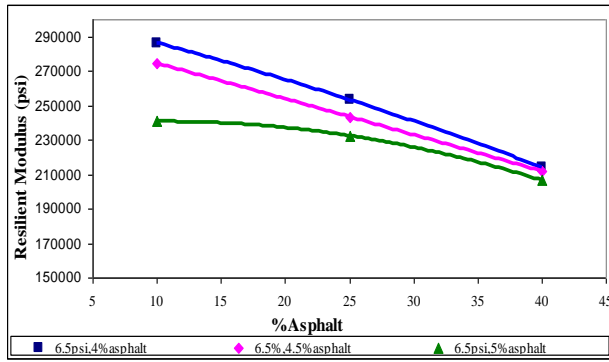
ظه: بعض خصائص اداء المزيج الاسفلتي الحار للطبقة السطحية باستخدام اسفلت بيجي

عموما أظهرت النتائج المستحصلة من هذا الفحص أن قيم معامل المرونة
 1- تزداد بزيادة الضغط المسلط اعتمادا على قيمة الحمل الناتجة من كل ضغط إذ تتناسب طرديا مع الحمل المسلط.
 2- تتناسب عكسيا مع درجات الحرارة
 3- تتناسب عكسيا مع نسب الاسفلت في المزيج الاسفلتي .
 توضح الأشكال البيانية الناتجة تأثير كل عامل من العوامل المستخدمة بثبوت الأخر أو تأثير عاملين بثبوت الثالث .
 يبين الشكل(6) العلاقة العكسية بين نسب الاسفلت للمزيج الاسفلتي الحار المستخدم لإنشاء الطبقة السطحية لكل ضغط مسلط ، فالشكل(6a) يعطي قيم معامل المرونة عند درجة حرارة 10مئوية الذي يظهر الاختلاف الكبير والواضح في قيم معامل المرونة حسب قيم الضغط المستخدمة، مقارنة لقيم معامل المرونة عند درجة حرارة 25 مئوية (الشكل(6b)) ودرجة 40 مئوية (الشكل(6c)).
 وعموما عند ثبوت درجة الحرارة نلاحظ الفرق الكبير في قيم معامل المرونة لنسب الاسفلت 4% باختلاف الضغط وبازدياد نسبة الاسفلت مع الارتفاع في درجة الحرارة يقل هذا الفرق ويحدث تقارب في قيم معامل المرونة باختلاف الضغط، إذ يقل تأثير الضغط مع الارتفاع بدرجة الحرارة وتصبح العامل الأكثر تأثيرا على معامل المرونة.

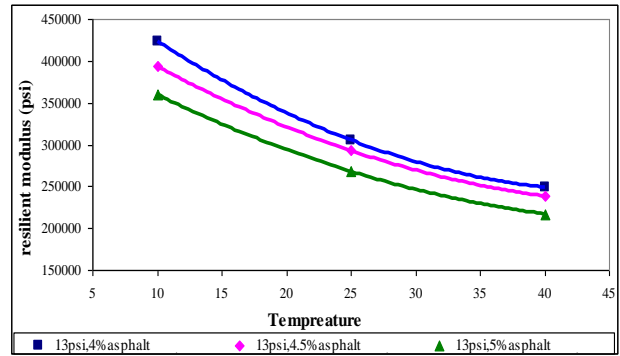


شكل (6) تأثير نسبة الاسفلت في المزيج الاسفلتي الحار على قيم معامل المرونة حسب الضغط وعند درجة حرارة 10(a) 25 درجة مئوية (b) 40 درجة مئوية

يعرض الشكل(7) مدى تأثير التغيرات في درجات الحرارة على قيم معامل المرونة عند درجات الحرارة حسب نسب الاسفلت في المزيج الاسفلتي عند الضغط 6.5 و 13 باون /انج مربع إذ بثبوت الضغط يظهر اختلاف واضح بين قيم معامل المرونة في درجات الحرارة الواطئة باختلاف نسب الاسفلت في المزيج الاسفلتي ولكن مع ارتفاع درجات الحرارة يحصل تقارب ملحوظ لقيم معامل المرونة رغم اختلاف نسب الاسفلت، أي ان ارتفاع درجة الحرارة ذو تأثير اكبر من تأثير نسب الاسفلت.



(a)



(b)

شكل (7) تأثير درجات الحرارة على قيم معامل المرونة باختلاف نسب الاسفلت (a) عند ضغط 6.5 باون/انج مربع، (b) عند ضغط 13 باون/انج مربع

نتائج فحص الحمل الساكن (Creep):

عن طريق هذا الفحص تم إيجاد مقاومة المزيج الاسفلتي للتشوه الدائمي عند درجة حرارة 25 و 40 درجة مئوية وحمل ساكن مسلط مقداره 6.5 و 13 باون/انج مربع. تتضمن نتائج هذا الفحص الخصائص التالية والموضحة في الجدول (4).

1- الانفعال الكلي (creep strain): يمثل الانفعال التشوه الحاصل في النموذج مقسوما على سمك النموذج، تم حساب الانفعال الكلي للنماذج من استخدام المعادلة الآتية [9]:

$$\epsilon_p = \frac{cd \times 10^6}{h} \quad \text{----- (3)}$$

إذ إن:

ϵ_p : الانفعال (ملم/ملم)

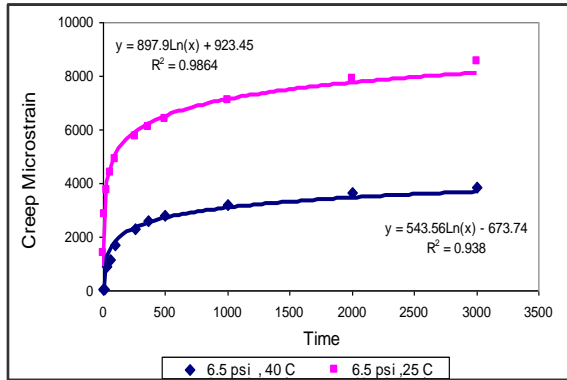
cd: التشوه الحاصل في النموذج (تشوه الزحف المحوري) (ملم)

h: ارتفاع النموذج (ملم).

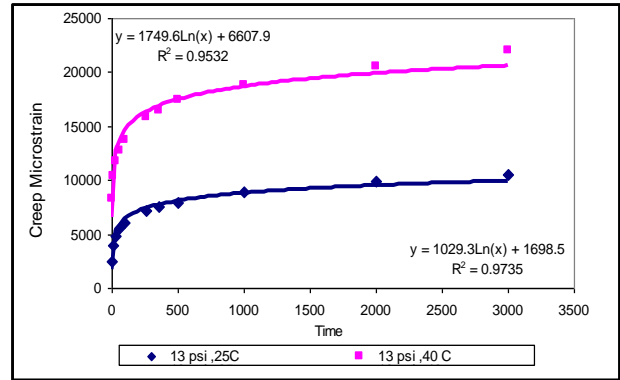
يوضح الشكل (a) الانفعال الحاصل مع زمن الفحص لدرجات حرارة 25 و 40 درجة مئوية بثبوت الضغط عند 6.5 باون/انج مربع، وعند 13 باون/انج مربع في الشكل (b).

الشكل (9) يمثل الانفعال الكلي بثبوت الضغط وتغير درجة الحرارة، الشكل (9a) عند 25 درجة مئوية ولكل من 6.5 و 13 باون/انج مربع، والشكل (9b) يمثل الانفعال الكلي عند 40 درجة مئوية.

إذ أظهرت النتائج الاختلاف الواضح بين قيم الانفعال الكلي لكل مقدار إجهاد مسلط وعند كل درجة حرارة مستخدمة في الفحص، إذ يزداد الانفعال والتشوه طبقاً لزيادة درجة الحرارة والإجهاد المسلط، أي أن الانفعال الكلي يتناسب طردياً مع درجة الحرارة والضغط المسلط وكما موضح في الشكلين (8) و (9).



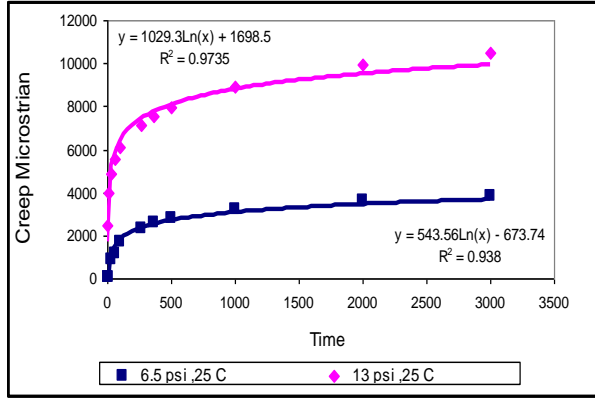
(a)



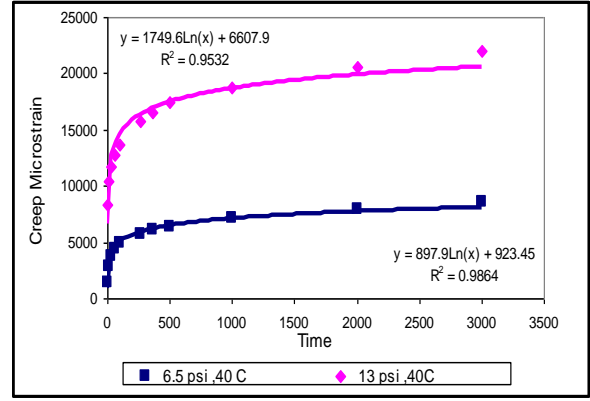
(b)

شكل (8) توضيح تأثير درجات الحرارة على الـ creep بثبات الضغط المسلط (a) تحت ضغط 6.5 psi (b) تحت ضغط 13psi

ظه: بعض خصائص اداء المزيج الاسفلتي الحار للطبقة السطحية باستخدام اسفلت بيجي



(a)



(b)

شكل (9) يوضح تأثير الضغط المسلط بثبوت درجات الحرارة
(a) عند 25°C (b) عند 40°C

2- صلابة الزحف (Creep Stiffness): تمثل صلابة الزحف العلاقة بين الضغط المسلط مقسوماً على الانفعال الكلي للنموذج، تم حساب قيمة الصلابة الناتجة من كل نموذج تحت الضغط ودرجة الحرارة المستخدمة، باستخدام المعادلة الآتية [9]:

$$\text{Creep Stiffness} = \text{Applied Pressure} / \text{Total Strain} \quad \text{----- (4)}$$

3- استجابة الزحف (Creep compliance) استخدمت المعادلة (5) لحساب قيمة استجابة الزحف الناتج بقسمة الانفعال المحسوب سابقاً حسب المعادلة (3) على الضغط المسلط [9].

$$\text{Creep compliance} = \text{strain (mm/mm)} / \text{applied stress} \quad \text{----- (5)}$$

جدول (4) نتائج فحص الحمل الساكن (الزحف الساكن)

النماذج	الضغط (Kpa)	درجة الحرارة درجة مئوية	الانفعال الكلي Total strain μmm/μmm	صلابة الزحف Creep stiffness 10 ⁶ (Kpa)	استجابة الزحف Creep compliance 10 ⁻⁶ (Kpa)
1	50	25	2635	4.28	11.57
2	50	40	6655	1.64	29
3	100	25	10002	2.21	22.07
4	100	40	21149	1.05	45

فحص قوة الشد غير المباشر

تم استخدام المعادلة الآتية لحساب قوة الشد في المزيج عند أعلى حمل مسبب للفشل [14].

$$ITS = \frac{2000P}{\pi Dt} \quad \text{----- (6)}$$

إذ إن:

ITS: قوة الشد غير المباشرة، Kpa

P: أعلى حمل مسلط، KN

D: قطر النموذج، mm

T: سمك النموذج، mm

أظهرت المعادلة السابقة معدل قيمة قوة الشد غير المباشر للنماذج المستخدمة (عدد 6) والمساوي لـ 1435 كيلوباسكال والذي يعتبر بصورة عامة جيد التحمل.

نتائج فحص التماسك (C) :

تم إيجاد قيم التماسك (الاحتكاك الداخلي للمزيج الاسفلتي) عن طريق استخدام المعادلة الآتية [14]،

$$C = \frac{L}{W(0.031H + 0.0027H^2)} \quad (7)$$

إذ إن:

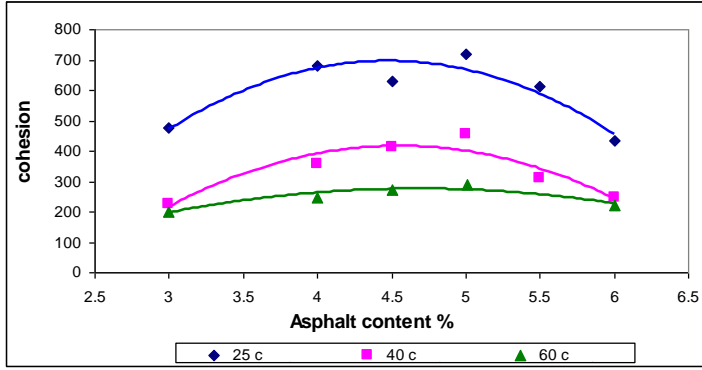
C : قيمة التماسك ، (غم / 25 ملم عرض)

W : قطر النموذج ، سم،

L : وزن الثقل ، غم ،

H : ارتفاع النموذج ، سم.

أظهرت نتائج هذا الفحص اختلاف قيم الاحتكاك الداخلي بوضوح بين نسب الاسفلت المختلفة ولدرجات الحرارة المستخدمة ، التي تزداد بزيادة نسب الاسفلت وإلى الحد الأقصى تبدأ بالنقصان بسبب زيادة نسبة الاسفلت بين جزيئات الركام للمزيج والتي تعمل على إضعاف تماسك الجزيئات (جزيئات الركام) فيما بينها مسببة انزلاقها وإزاحتها واحلال الاسفلت محلها يتناسب التماسك



شكل (10) تأثير نسب الاسفلت على قيم التماسك ودرجات الحرارة المستخدمة

عكسيا مع درجة الحرارة، ويزداد بانخفاض درجة الحرارة الذي يكون أعلى ما يمكن عند 25 درجة مئوية ، إذ تبقى علاقة التماسك ثابتة من اختلاف نسب الاسفلت وعند جميع درجات حرارة الفحص، تشير النتائج إلى أن قيم التماسك (الاحتكاك الداخلي) عند أعلى وأوطأ نسبة اسفلت متقاربة نوعا ما خاصة عند درجة حرارة 60 درجة مئوية كما في الشكل (10)، الذي يوضح أن زيادة أو نقصان نسبة الاسفلت عن الحد المطلوب يؤدي إلى انخفاض التماسك والاحتكاك الداخلي بين الركام.

الاستنتاجات

ضمن مواصفات ومحددات المواد والفحوصات المختبرية المستخدمة لتحقيق أهداف الدراسة ومن نتائج البحث ومخرجاتها يمكن وضع الاستنتاجات الآتية :

1- أوضحت نتيجة اختبارات الحساسية لاسفلت بيجي بتدرج 40-50 والمساوية لـ (0.0550) أن الاسفلت المستخدم في الدراسة معتدل الحساسية لدرجة الحرارة لتراوح قيمة دليل النفاذية بين 2 و 2-.

2- تتناسب قيم معامل المرونة للمزيج الاسفلتي الساخن المستخدم في الطبقة السطحية للتبليط المرن طرديا مع الضغط (الحمل) المسلط وعكسيا مع كل من درجة الحرارة و نسبة الإسفلت في المزيج ، إذ تتراوح قيم معامل المرونة لمزيج اسفلت بيجي بين 423856 و 206625 باون لكل انج مربع.

3- في فحص الحمل الساكن يتناسب الانفعال الكلي طرديا مع درجة الحرارة والضغط المسلط ، إضافة لذلك يتناسب عكسيا مع قيم الصلابة وطرديا مع قيم الزحف، إذ تباينت قيم الصلابة للمزيج المستخدم في الدراسة بين 1.05×10^6 , 4.28×10^6 كيلوباسكال.

4- أظهرت العلاقات الرياضية المستخدمة في فحص الحمل الساكن واللازمة لحساب كل من الانفعال الكلي وقيم الصلابة واستجابة الزحف الكلية، ترابطها مع بعضها بصورة واضحة واعتمادها بصورة أساسية على قيمة الانفعال الناتج من

الفحص، كما تزداد قيم التشوه والانفعال الكلي بصورة ملحوظة مع الارتفاع بدرجة الحرارة وزيادة الضغط المسلط وعلى العكس منه قيم الصلابة الناتجة.

5- أظهرت نتائج فحص التماسك اختلاف قيم الاحتكاك الداخلي بوضوح بين نسب الاسفلت المختلفة ولدرجات الحرارة المستخدمة ، التي تزداد بزيادة نسب الاسفلت وإلى الحد الأقصى بعدها تبدأ بالنقصان بسبب زيادة نسبة الإسفلت بين حبيبات الركام للمزيج التي تعمل على إضعاف تماسك الحبيبات (حبيبات الركام) فيما بينها مسببة انزلاقها وإزاحتها واحلال الاسفلت محلها ، في حين يتناسب التماسك عكسيا مع درجة الحرارة إذ يزداد بانخفاض درجة الحرارة.

المصادر

- 1- **Khalid S. Alshamsi , (2005) ;** "The Behavior of HMA Depends on the Properties of the Individual Components and how they React with each other in the System", Louisiana State University.
- 2- **Zeghal M., Adam E. Y., Ali O. and Mohamed H.E. (2005) ;** " Review of the New Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide-A material Characterization Perspective" ,Annual Conference of the Transportation Association of Canada Calgary, Alberta.
- 3-**Amjad H.K. ALbayati (2006);** "Permanent Deformation Prediction of Asphalt Concrete under Repeated Loading ", Ph.D. Thesis , Baghdad university.
- 4-**Cristian Druta, (2006) ;**" A Micromechanical Approach for Predicting the Complex Shear Modulus and Accumulated Shear Strain of Asphalt Mixtures from Binder and Mastics ", Ph.D. Thesis , Louisiana State University.
- 5-**Rob Phillips,(2005);**"Stress-Strain Analysis", California Institute of Technology, California, USA.
- 6- **Sukumar B.,(2004) ;**"Three Dimensional Finite Element Modeling of Flexible Pavements", Presented for 2004 FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference.
- 7-**Kose S., Guler M., Bahia H. and Masad E., (2000) ;** "Distribution of Strains within Hot-Mix Asphalt Binders: Applying Imaging and Finite-Element Techniques", Transportation Research Record No. 1728, Asphalt Binders. Washington, USA.
- 8-**Flaherty CAO'.(1988);** "Highways Volume 2", Highway Engineering, Third Edition.
- 9-**Molenaar J.M.M. and Molenaar A.A.A.,(2000) ;** "Complex Modulus and Creep Susceptibility of Asphalt Mixture", Road and Hydraulic Engineering Institute , Netherlands
- 10- **Janoo V., Lynne Irwin, and Robert Haehnel, (2003);** "Pavement Subgrade Performance Study: Project Overview ", Technical Report ERDC/CRREL TR-03-5, Prepared for Federal Highway Administration Office of the Chief of Engineers, Washington, DC,
- 11- **Khodaii A., and Ghaffarpour S. Jahromi, (2009) ;** " Comparing Factors Affecting Resilient Modulus in Asphalt Mixtures", Civil Engineering Vol. 16, No. 5, pp. 367-375 , Sharif University of Technology.
- 12-**Molenaar J.M.M., Molenaar A.A.A., and Liu X., (2001) ;** "Resistance to Crack-Growth and Fracture of Asphalt Mixture ", Road and Hydraulic Engineering Institute, Netherlands.
- 13-**Zafar R., Nassar W., and Elbella A., (2005);** " Interaction between pavement Instrumentation and Hot Mix –Asphalt in Flexible" ,Emirates Journal for Engineering Research , Vol. 10 (1), 49-55.
- 14-**(ASTM) ;** " American Society For Testing and Materials for Road and Paving Materials" ,West Conshohocken, PA 19428.

15- **المركز الوطني للمختبرات والبحوث الإنشائية (2003);** "المواصفات العراقية العامة للطرق والجسور (SORB) وتعديلاتها لسنة 1999 و2003".

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل