

تأثير تسليح الأغشية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج

ندى سميح شحود*¹ محمد هاجم اسماعيل الوادي² محمد فواز عادل مسوتي³

*¹. طالبة دكتوراه في قسم هندسة النقل ومواد البناء - كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق.

nada.23.shahoud@damascusuniversity.edu.sy

². أستاذ في قسم هندسة النقل ومواد البناء - كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق.

mhdhajem59.alwadi@damascusuniversity.edu

³. مدرس في قسم هندسة النقل ومواد البناء - كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق.

MohammadFawaz@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

يتم اعتبار الخلائط الإسفلتية المحضرة على الساخن (HMA) المستخدمة في الرصف المرن عادة على أنها مواد مرنة على الرغم من أن سلوكها هو مرن - لزج، حيث يعتمد السلوك المرن اللزج لها بشكل جوهري على درجة الحرارة وزمن التحميل. على الرغم من أن مفهوم السلوك المرن اللزج ليس حديثاً، إلا أن تطبيقه على الرصف المرن لا يزال حديثاً مقارنة مع التحليل المرن الخطي.

يمكن أن نعبر عن الخواص المرنة اللزجة للخلطة الإسفلتية بمعامل الاستجابة على الزحف creep compliance ويعرف معامل استجابة الزحف $D(t)$ على أنه التشوه المتعلق بزمن التحميل مقسوماً على الاجهاد. يستخدم معامل استجابة الزحف للحصول على النماذج الرياضية التي تعطي معامل المرونة المتغير مع زمن التحميل ومع درجة الحرارة. باستخدام برنامج KENPAVE تم التحليل المرن اللزج لغطاء اسفلتي مكون من طبقة مجبول اسفلتي وطبقة أساس حصوية وطبقة ماتحت الأساس في حالتين. الأولى مرجعية فيها طبقة المجبول الاسفلتي بدون الشبك المعدني والثانية بوجود التسليح من الشبك المعدني أسفل هذه الطبقة.

أظهرت نتيجة التحليل المرن اللزج أن إضافة الشبك المعدني الى طبقة المجبول الاسفلتي قد خفض التشوه على الشد أسفل طبقة المجبول الاسفلتي 6% في درجة الحرارة صفر مئوية وبنسبة تصل الى حوالي 50% في درجات الحرارة المرتفعة أكثر من 30 درجة مئوية.

الكلمات المفتاحية: الرصف المرن، التحليل المرن اللزج، شبكات التسليح المعدنية، برنامج

KENPAVE

تاريخ الابداع: 2022/9/4

تاريخ القبول: 2022/11/2



حقوق النشر: جامعة دمشق -
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص CC
BY-NC-SA 04

The effect of reinforcing asphaltic pavement with steel mesh on its viscoelastic behavior

Nada Samih Shahoud*¹ Hajem Ismail Alwadi² Mohammad Fawaz Adel Msouti³

*¹. PhD student in the Department of Transportation and Building Materials Engineering - Faculty of Civil Engineering, University of Damascus.
nada.23.shahoud@damascusuniversity.edu.sy

². Professor in the Department of Transportation and Building Materials Engineering - Faculty of Civil Engineering, University of Damascus.
mhdhajem59.alwadi@damascusuniversity.edu.sy

³. Lecturer in the Department of Transport Engineering and Building Materials - Faculty of Civil Engineering, University of Damascus
MohammadFawaz@damascusuniversity.edu.sy

Abstract:

Hot-prepared asphalt mixtures (HMA) used in flexible paving are usually considered as elastic materials although their behavior is viscoelastic, the viscoelastic behavior of which depends substantially on temperature and loading time. Although the concept of viscoelastic behavior is not new, its application to elastic paving is still new compared to linear elastic analysis.

The viscoelastic properties of the asphalt mixture can be expressed as creep compliance coefficient, and the creep compliance coefficient $D(t)$ is defined as the loading time-related distortion divided by the stress. The creep compliance coefficient is used to obtain mathematical models that give the coefficient of elasticity that varies with loading time and with temperature.

Using the KENPAVE program, the viscoelastic analysis of an asphalt covering consisting of an asphalt-paved layer, a gravel base layer and an underlayment layer was carried out in two cases. The first is a reference with a layer of asphalt paving without the metal grating, and the second with the presence of reinforcement from the metal grate below this layer.

The result of the viscoelastic analysis showed that adding metal mesh to the asphalt-paving layer reduced the tensile deformation on the bottom of the asphalt-paving layer by 6% at zero degrees Celsius and by about 50% at high temperatures more than 30 degrees Celsius.

Key words: flexible pavement, visco-elastic analysis, metal mesh reinforcement, software KENPAVE

Received:4 /9/2022

Accepted: 2/11/2022



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

تأثير تسليح الأغشية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....

شحود، الوادي و مسوتي

المقدمة:

عادة يتم اعتبار الخلائط الإسفلتية المحضرة على الساخن (HMA) المستخدمة في الرصف المرن على أنها مواد مرنة على الرغم من أن سلوكها هو مرن - لزج. على عكس المواد المرنة ، يعتمد السلوك المرن اللزج لها بشكل جوهري على درجة الحرارة وزمن التحميل. في درجة الحرارة المنخفضة وزمن التحميل القليل يكون سلوكها أقرب الى المواد المرنة بينما في درجات الحرارة العالية وزمن تحميل كبير فان سلوكها يكون أشبه بسلوك السائل اللزج.

من أجل تحسين أداء الرصف الاسفلتي تم اضافة شبك معدني أسفل طبقة المجدول الاسفلتي وتم التحليل المرن اللزج لبيان تأثير الشبك المعدني على سلوكها.

1- مشكلة البحث:

على الرغم من أن مفهوم السلوك المرن اللزج ليس حديثا ، إلا أن تطبيقه على الرصف المرن لا يزال حديثا مقارنة مع التحليل المرن الخطي الذي نجده في العديد من المراجع

[1,2] (Hwang and Witczak ، Burmister, 1945) ، 1979

ان التحليل الخطي المرن يقدم تقديرا منخفضا لسلوك الرصف مما يؤدي إلى ظهور عيوب في الرصف الطرقي وقد يسبب انهياره بشكل مبكر. فاذا تم تحديد طبقات الرصف بسماكات اعلي من الحدود المطلوبة فأن ذلك يؤدي الي زيادات معتبرة في تكاليف الانشاء وهدر للأماكنيات والميزانيات المخصصة. وقد يحدث ان يتم تحديد طبقات الرصف بسماكات ادني من الحدود التصميمية وهذا يؤدي الي ظهور عيوب مختلفة خلال فترة وجيزة من العمر الخدمي للطريق مما يؤثر مستقبلا علي الميزانيات المخصصة للأعمال الصيانة.

2- هدف البحث:

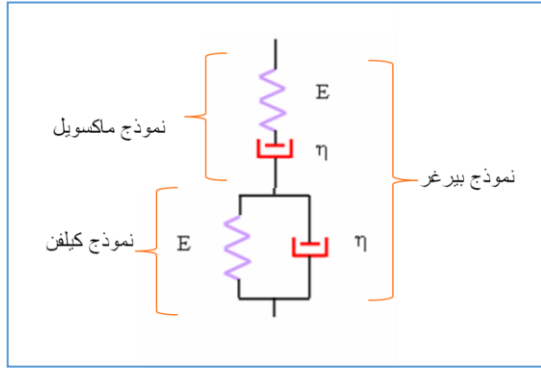
يهدف البحث الى التحليل المرن اللزج لطبقة المجدول الإسفلتي في درجات الحرارة المختلفة وبيان تأثير إضافة شبكات التسليح المعدنية على التشوه على الشد.

3- الأسس النظرية لدراسة السلوك المرن اللزج:

هنالك طريقتان لدراسة السلوك المرن اللزج لطبقة الغطاء الاسفلتي

النماذج الميكانيكية Mechanical Model

استجابة الزحف Creep Compliance



الشكل (1) النماذج الميكانيكية

يتكون النموذج الميكانيكي المعبر عن السلوك المرن اللزج من عنصرين هما النابض والمكبس. يعبر النابض عن السلوك المرن وله معامل مرونة E، والنموذج اللزج فيعبر عنه بمكبس له معامل لزوجة η، أما النموذج المرن اللزج يمكن تمثيله بنابض مع مكبس موصولين على التسلسل (نموذج ماكسويل) أو يكون الوصل على التوازي (نموذج كيلفن) أو مركب من 4 عناصر (نموذج بيرغر) أو النموذج العام (مركب من عدد من نماذج كيلفن مع نموذج ماكسويل). ان اكثر النماذج شيوعا لوصف السلوك المرن اللزج لطبقة الغطاء الاسفلتي هو نموذج بيرغر.

استجابة الزحف

كما يمكن أن نعبر عن الخواص المرنة اللزجة للخلطة الاسفلتية بمعامل الاستجابة على الزحف

تأثير تسليح الأغطية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....

شحود، الوادي و مسوتي

قريب من الصفر ويحسب عندها معامل المرونة لها باعتبارها مقلوب معامل استجابة الزحف (المعادلة 4).

$$E_0 = \frac{1}{D(t)} = \frac{1}{2.5E-6} = 400000 \text{ psi} \quad \dots(4)$$

للحصول على المنحني المرجعي للخلطة يجب تصحيح معاملات الزحف الموافقة لأزمنة التحميل بمقدار معامل تصحيح $f(E)$ (المعادلة 5) وهو النسبة بين معامل المرونة المحسوب من المعادلة 4 ومعامل مرونة الخلطة. ثم نحسب معامل الزحف للخلطة $D(t)_{mix}$ (المعادلة 6). ويبين العمود 3 في الملحق 1 معامل استجابة الزحف للخلطة مع الأخذ بالاعتبار تحويل الواحدات الى جملة الواحدات الدولية SI.

$$f(E) = \frac{E_0}{E_{mix}} \quad \dots(5)$$

$$D(t)_{mix} = D(t)_{ref} * f(E) \quad \dots(6)$$

للحصول على النموذج الرياضي للمنحني المرجعي لاستجابة الزحف بدلالة الزمن تم اجراء المعالجة الرياضية للنتائج الواردة في الملحق 1 وتم الحصول على عدة نماذج رياضية ملائمة fitting curves ويبين الجدول 2 هذه النماذج مع معامل الارتباط والخطا المعياري لكل منها. النموذج الذي تم اعتماده هو من الشكل الأسي المبين في المعادلة 7 بحيث يتوافق مع المعادلة 2.

$$D_{mix(Tref)}(t) = a - b.exp(-c.t^d) \quad (7)$$

a, b, c, d ثوابت ، t زمن التحميل

Tref درجة الحرارة المرجعية (21.1 °C=70 F)

[3] creep compliance يعرف معامل استجابة الزحف $D(t)$ على أنه التشوه المتعلق بزمن التحميل مقسوما على الاجهاد (المعادلة 1). يستخدم معامل استجابة الزحف للحصول على النماذج الرياضية التي تعطي معامل المرونة المتغير مع زمن التحميل ومع درجة الحرارة (المعادلة 2)

$$D(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma} \quad (1)$$

$$D(t) = \frac{1}{E} \left(1 + \frac{t}{T}\right) + \frac{1}{E} (1 - e^{-(t/T)}) \quad \dots(2)$$

باعتبار زمن تأثير الحمولات صغيرا (0.1 ثانية عندما تكون سرعة المركبة 65 كم/سا) فإنه يمكن اهمال الجزء الناتج عن اللزوجة

$$D(t) = \frac{1}{E} + \frac{1}{E} (1 - e^{-(t/T)}) \quad \dots(3)$$

$\varepsilon(t)$ التشوه مع زمن التحميل ، t زمن التحميل ، T زمن الاسترخاء وهو الزمن اللازم لتقليل الاجهاد بمقدار 36% من القيمة الأصلية ($e^{-1}=0.36$)

5- المنحني المرجعي لمعامل استجابة الزحف (الماستر) D(t) Master Curve

قام يانغ [3] باجراء 1000 اختبار لخلطات اسفلتية حيث تراوح زمن التحميل من 0.001 ثانية الى 100 ثانية بحيث تم تغطية جميع المجالات الممكنة وفقا لتوصيات (FHWA, 1978) (0.001, 0.003, 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1, 3, 10, 30 and 100 s)

وقد أصبحت هذه الاختبارات اساسا لدراسة سلوك الخلطات الاسفلتية واعتمد الكثير من الباحثين على هذه النتائج في دراساتهم.

استنادا الى النتائج التي توصل اليها يانغ والمبينة في الملحق 1 (العمود 2 في الجدول 1). يمكن اعتبار القيمة الأولى في هذا الجدول الموافقة لزمن تحميل صغير جدا

شحود، الوادي و مسوتي

تأثير تسليح الأغطية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....

الجدول (1) النماذج الرياضية للمنحنى المرجعي لاستجابة الزحف

Function	a	b	c	d	Correlation Coefficient	Standard Error
$D(t)=a-b*\exp(-c*t^d)$	1.93E-05	1.94E-05	3.37E-01	4.04E-01	0.9997553	2E-07
$D(t)=a*(b^t)*(t^c)$	5.27E-06	9.96E-01	3.31E-01		0.9990446	3E-07
$D(t)=a*t^b$	5.57E-06	2.55E-01			0.9903707	9E-07

$$a_T = \frac{t_T}{t_{Tref}} \quad (8)$$

ويظهر الشكل 2 النموذج الرياضي الممثل لمنحنى الاستجابة على الزحف للخلطة

Tref درجة الحرارة المرجعية وتساوي 21.1 درجة مئوية (70 فهرنهايت)

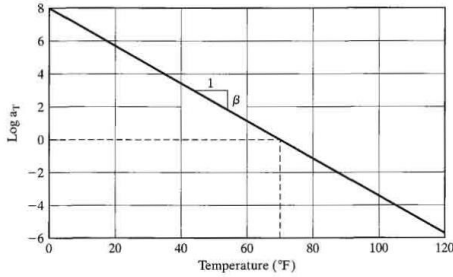


FIGURE 2.38 Shift factor versus temperature.

الشكل(3)معامل الإزاحة مع درجة الحرارة (نصف لوغاريتمي) حسب [3]

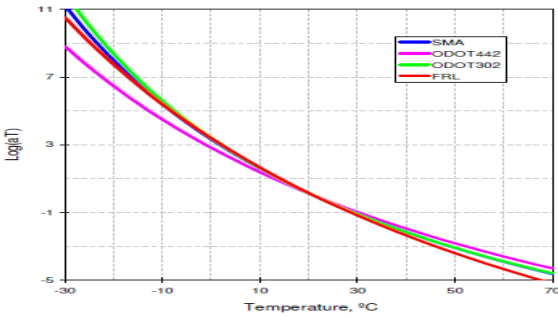
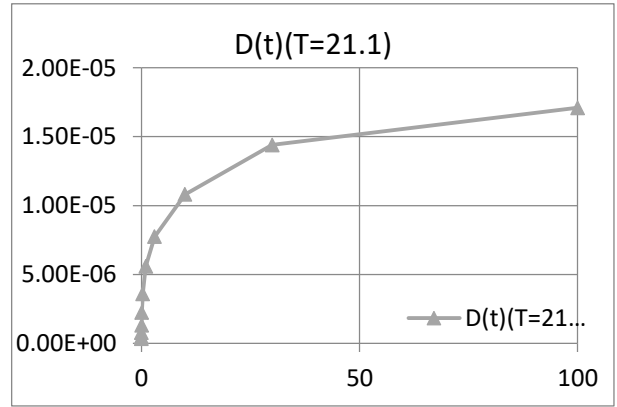


Figure 4.14 Comparison of temperature dependency of asphalt mixtures

الشكل (4) معامل الإزاحة مع درجة الحرارة (نصف لوغاريتمي) حسب [4]



الشكل (2) النموذج الرياضي الممثل لمنحنى الاستجابة على الزحف للخلطة

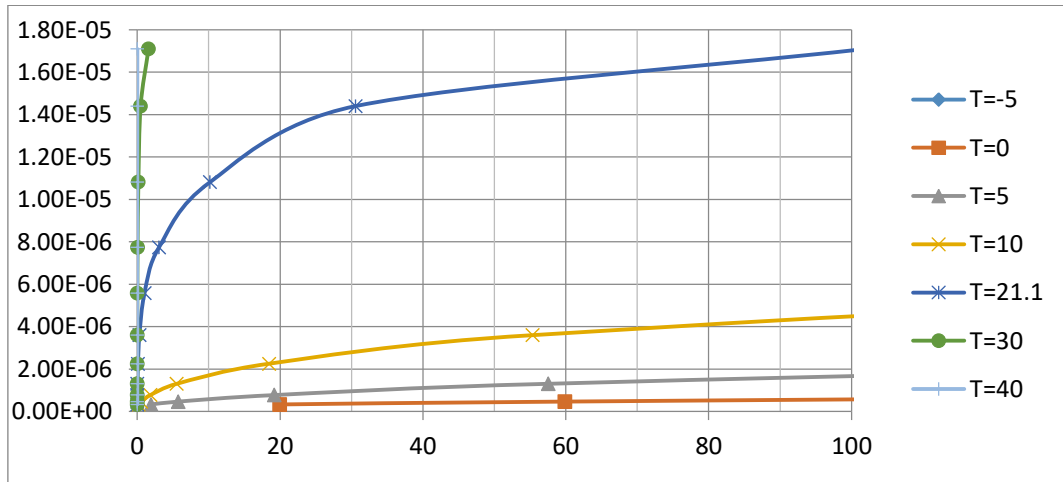
تأثير درجة الحرارة

ان النموذج الرياضي الوارد في المعادلة (7) يوافق درجة الحرارة المرجعية وهي 21.1 درجة مئوية (70 فهرنهايت). يتم استنتاج المنحنيات التي تبين تأثير درجة الحرارة من المنحنى المرجعي (الماستر) بإدخال معامل الإزاحة a_T . يعرف معامل الإزاحة بأنه نسبة زمن التحميل في درجة حرارة إلى زمن التحميل في درجة الحرارة المرجعية من أجل نفس معامل استجابة زحف (المعادلة 8). بينت الدراسات أن العلاقة بين a_T ودرجة الحرارة خطية [3] أو قريبة من الخطية [4] عند تمثيلها بجملة احدائيات نصف لوغاريتمية وتعطى بالمعادلة (9).

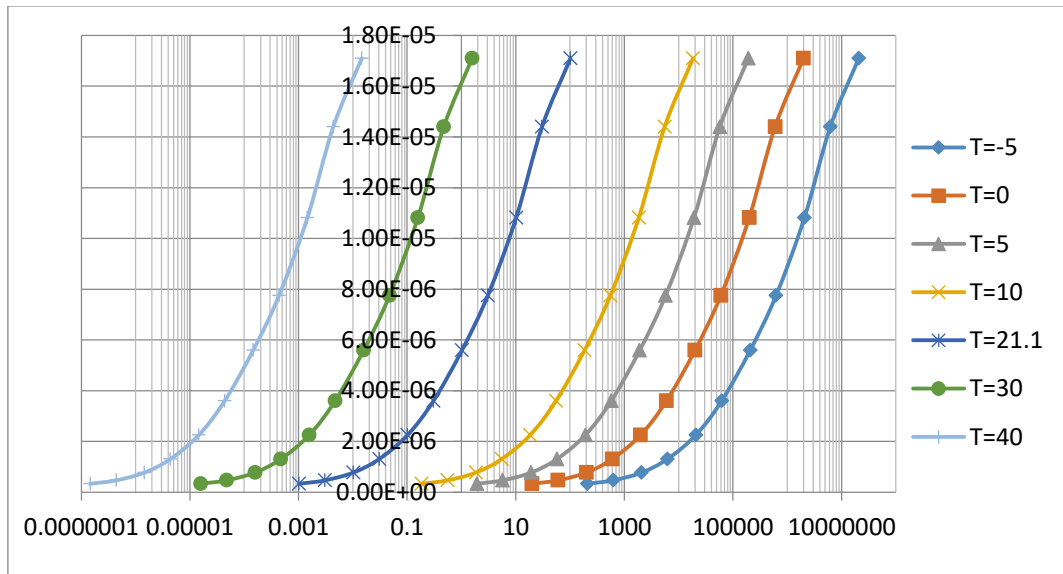
شحود، الوادي و مسوتي

تأثير تسليح الأغطية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....

في هذا البحث تم ايجاد منحنيات استجابة الزحف عند درجات الحرارة مختلفة من -5 وحتى 40 درجة مئوية (الشكل 5) ونظرا لضرورة توضيح كامل المنحنيات تم تمثيل منحنيات استجابة الزحف بشكل نصف لوغاريتمي في الشكل (6).



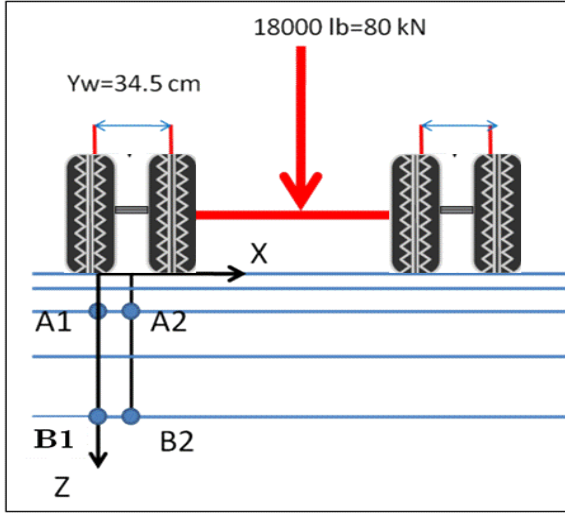
الشكل (5) منحنيات استجابة الزحف عند درجات الحرارة مختلفة



الشكل (6) منحنيات استجابة الزحف عند درجات الحرارة مختلفة (نصف لوغاريتمي)

شحود، الوادي و مسوتي

تأثير تسليح الأغطية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....

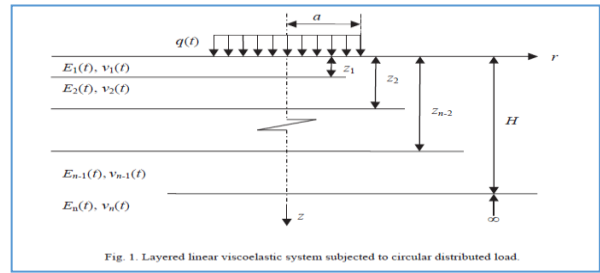


الشكل 8: حمولة المحور القياسي المكافئ المعتمد في تصميم طبقات الرصف في طريقة AASHTO [6]

تم التحليل في حالتين للغطاء. الأولى مرجعية: رصف مرن مكون من ثلاثة طبقات هي طبقة المجدول الاسفلتي، طبقة الأساس الحصوية، طبقة ماتحت الأساس التي تستند على الطابق الترابي. والثانية: رصف مرن مزود بشبك معدني حيث يتم وضع الشبك المعدني أسفل طبقة المجدول الإسفلتي. تدخل طبقة المجدول الإسفلتي كطبقة واحدة في الحالة الأولى وتدخل كطبقتين في الحالة الثانية بسماكة 8.75 سم بدون شبك أما الشبك المعدني مع طبقة الرصف الإسفلتي المحيطة به فيشكل طبقة رقيقة إضافية بسماكة تعادل قطر أكبر حصوية مستخدمة في الخلطة الإسفلتية (12.5 مم). أي يصبح عدد الطبقات أربعة تتوضع على الطابق الترابي الذي يدخل كطبقة مرنة ذات عمق غير منته. تم تثبيت مواصفات بقية الطبقات من حيث السماكة ومعامل بواسون ومعامل المرونة. ويبين الجدول 2 مواصفات الخلطة الإسفلتية المرجعية والجدول 3 مواصفات طبقات الرصف.

ونرفق في الملحق نتيجة التحليل المرن اللزج في اربع حالات فقط وهي مع تسليح وبدونه وفي درجتي الحرارة الصفر وعند اربعين درجة مئوية.

طوّر هذا البرنامج البروفسور يانغ هوانغ من جامعة كنتاكي [3] وهو يمكّن من حساب الاجهادات والتشوهات والهبوطات في طبقات الغطاء. يستند برنامج KENPAVE في تحليل سلوك طبقات الرصف المرن على نظام الطبقات المتعددة الموضح في الشكل 7. يتم توصيف كل طبقة بمعامل المرونة ونسبة بواسون كما تعتبر الحمولة المطبقة على الغطاء أي حمولة إطار السيارة ذات شكل دائري والضغط منتظم.



الشكل (7) مفهوم نظام الطبقات المتعددة [3]

نعتبر أن الحمولات المحورية هي حمولة المحور القياسي المكافئ المعتمد في تصميم طبقات الرصف في طريقة AASHTO المبين في الشكل (8). حيث الحمولة المحورية P (80kN) تنتقل على سطح الطريق على شكل دائرة لها نصف قطره (a=11.4 cm) وهي موزعة بانتظام ويبلغ مقدار الضغط المطبق للاطار (p=485kpa). يتم حساب الاجهادات والتشوهات في نقطتين الأولى تحت مركز دائرة التحميل (A1,B1) والثانية في منتصف المسافة بين الدولاين (A2,B2) وتعتبر النقطة الحرجة هي التي تكون عندها التشوهات الأكبر. [5]

شحود، الوادي و مسوتي

تأثير تسليح الأغشية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....

النبات N	السيلان mm	VA%	VFA%	VMA%	الكثافة	نسبة الاسفلت %
9000	4.25	3.36	77.18	14.64	2.43	% 5.5

الجدول (2) مواصفات الخلطة الاسفلتية المرجعية

الجدول (3) مواصفات طبقات الرصف المرن

معامل المرونة kpa	المعيار	نسبة بواسون (-)	السماعة (cm)	الطبقة
3000000	ثبات مارشال 9000 N	0.35	10 8,75*	المجبول الاسفلتي
5000000	المعادلة 4 لمرجع [6]	0.35	1.25	طبقة المجبول الاسفلتي المسلحة
300000	CBR=30**	0.35	20	الاساس الحصوية
100000	CBR=10**	0.4	30	ماتحت الاساس
50000	CBR=5**	0.45	∞	الطابق الترابي
* تؤخذ سماكة طبقة المجبول الاسفلتي مساوية 8.75 cm وتعتبر سماكة الطبقة المسلحة بالشبك المعدني 1.25 cm ** [11] CBR=1500.Mr(psi)				

7- النتائج:

يبين الشكل 11 النسبة المئوية لتخفيض التشوه على الشد بسبب التسليح أسفل طبقة HMA مع درجة الحرارة .
والشكل 12 التشوه على الشد مع وبدون التسليح أسفل طبقة HMA مع تغير درجة الحرارة. والشكل 13 تأثير التسليح على التشوه على الضغط (أعلى الطابق الترابي) مع درجة الحرارة. والشكل 14 تأثير التسليح على الهبوط في درجات حرارة مختلف.

أظهرت نتيجة التحليل أن إضافة الشبك المعدني الى طبقة المجبول الإسفلتي قد خفض التشوه على الشد ϵ_t أسفل هذه الطبقة بمقدار 6% في درجة الحرارة صفر مئوية وبنسبة تصل إلى حوالي 50% في درجات الحرارة المرتفعة أكثر من 30 درجة مئوية (الجدول 4).

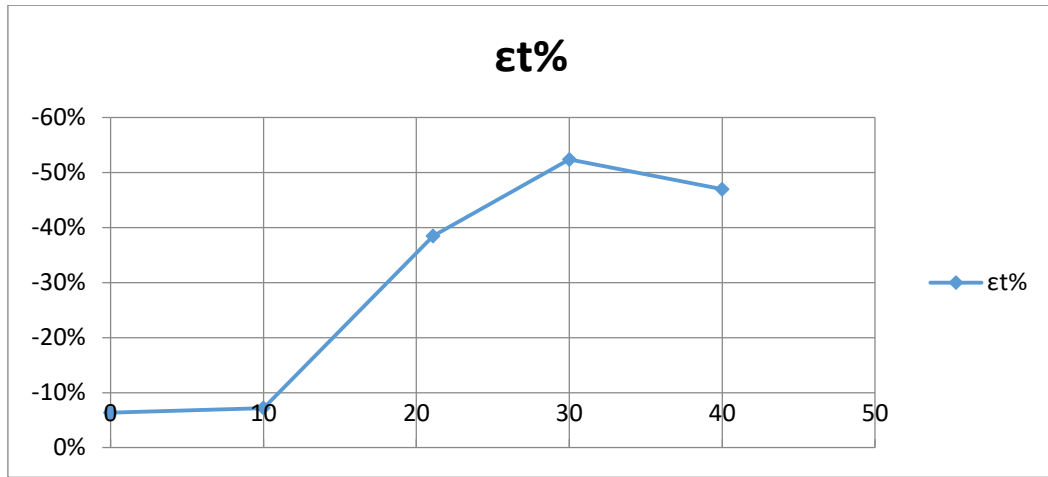
الجدول (4) تأثير إضافة الشبك المعدني على التشوه على الشد والضغط

	Temp	0	10	21.1	30	40
No mesh	ϵ_t	-2.07E-04	-2.10E-04	-3.04E-04	-2.52E-04	-1.86E-04

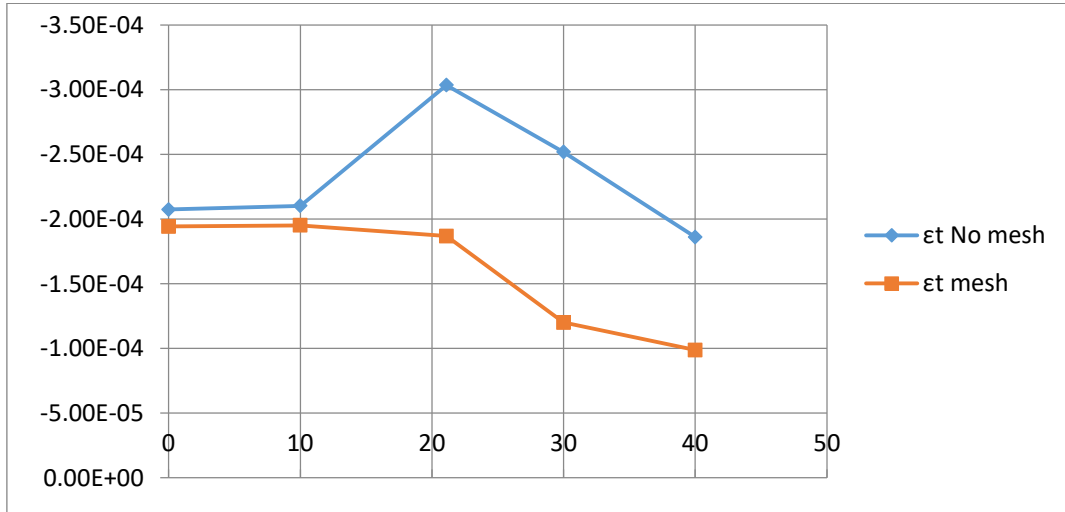
شحود، الوادي و مسوتي

تأثير تسليح الأغطية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....

	ϵ_z	3.74E-04	3.76E-04	4.50E-04	5.35E-04	5.73E-04
mesh	ϵ_t	-1.94E-04	-1.95E-04	-1.87E-04	-1.20E-04	-9.87E-05
	ϵ_z	3.72E-04	3.74E-04	4.50E-04	5.22E-04	5.40E-04
	$\epsilon_t\%$	-6%	-7%	-38%	-52%	-47%
	$\epsilon_z\%$	-1%	-1%	0%	-2%	-6%



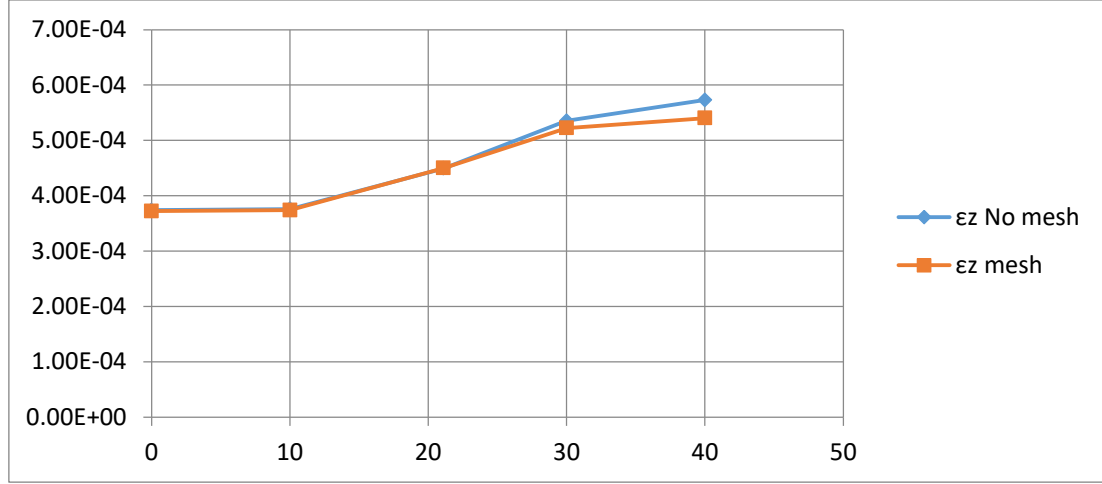
الشكل(11) النسبة المئوية لتخفيض التشوه على الشد بسبب التسليح أسفل طبقة HMA مع درجة الحرارة



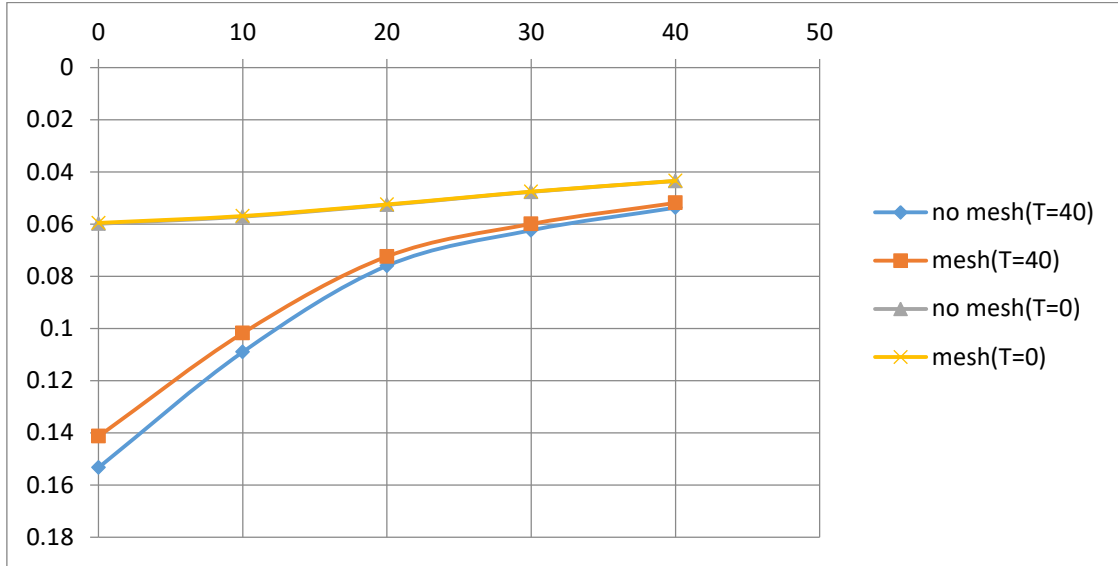
الشكل(12)التشوه على الشد مع وبدون التسليح أسفل طبقة HMA مع تغير درجة الحرارة

شحود، الوادي و مسوتي

تأثير تسليح الأغطية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....



الشكل (13) تأثير التسليح على التشوه على الضغط (أعلى الطابق الترابي) مع درجة الحرارة



الشكل (14) تأثير التسليح على الهبوط في درجات حرارة مختلفة

بينما تؤثر درجات الحرارة بشكل كبير على خصائص الخلطة الإسفلتية ويكون سلوكها في درجات الحرارة المنخفضة أقرب إلى السلوك المرن وبالتالي تكون المركبة الأولى وهي مساهمة الخلطة مرتفعة والمركبة الثانية وهي مساهمة الشبك المعدني منخفضة (6%) ويقوم الشبك المعدني بمقاومة التشققات.

بينما في درجات الحرارة العالية يكون سلوك الخلطة الإسفلتية أقرب إلى السلوك اللزج وبالتالي تكون مساهمة الخلطة منخفضة بينما تزداد مساهمة الشبك المعدني (50%)

8- المناقشة:

عند اضافة الشبك المعدني على الخلطة الإسفلتية فان التشوه على الشد يتكون من مركبتين الأولى مساهمة الخلطة الإسفلتية والثانية مساهمة الشبك المعدني. ان تغير درجة الحرارة بين الصيف والشتاء ليس له تأثير على الخصائص الميكانيكية للشبك المعدني لاسيما معامل المرونة (درجة انصهار الحديد تزيد عن 900 درجة مئوية) لذلك يمكن اعتبار مساهمة الشبك المعدني ثابتة مع تغيرات الحرارة.

تأثير تسليح الأغطية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج..... شحود، الوادي و مسوتي
ويصبح دور التسليح بالشبكات المعدنية تخفيض التشوه على الشد. بالنسبة للتشوه على الضغط ϵ_z أعلى الطابق الترابي فقد كان
تأثير اضافة الشبكات محدود لان وظيفة الشبكات المعدنية هي مقاومة اجهادات الشد وليس اجهادات الضغط الشاقولية. أي أن التسليح له وظيفتين: مقاومة التشققات في درجات
الحرارة المنخفضة وتخفيض التشوه على الشد في درجات الحرارة المرتفعة.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق
وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

- 1 Burmister, 1945
- 2 Hwang and Witzak, 1979
- 3 Huang, Y.H. (2004), "Pavement Analysis and Design", 2nd Edition, New Jersey, Prentice Hall.Design of Flexible Pavements,Nootdorp, July 2018
- 4 YUN LIAO (2007) Diss.VISCOELASTIC FE MODELING OF ASPHALT PAVEMENTS AND ITS APPLICATION TO U.S. 30 PERPETUAL PAVEMENT
- 5 Asphalt Institute (AI), (1981), "Thickness Design—^Asphalt Pavement for Highways and Streets",
- 6 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1993
- 7 Gusto, Tenzo."mechanical empericalpavement design guide methode impemention to estimate damage in flexible and rigid pavements" Master city university of NewYork, 2016

الملحق (1)

الجدول (1) معامل استجابة الزحف (العمود 2 معامل الزحف وفق يانغ [3] و [7]) (العمود 3 للخلطة المرجعية)

time	D(t)by Yang (1/psi)	D(t)mix (1/kPa)
1	2	3
0.001	2.50E-06	3.33E-07
0.003	3.51E-06	4.68E-07
0.01	5.81E-06	7.75E-07

شحود، الوادي و مسوتي

تأثير تسليح الأغطية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....

0.03	9.80E-06	1.31E-06
0.1	1.69E-05	2.25E-06
0.3	2.70E-05	3.60E-06
1	4.19E-05	5.59E-06
3	5.81E-05	7.75E-06
10	8.11E-05	1.08E-05
30	1.08E-04	1.44E-05
100	1.28E-04	1.71E-05

الملحق (2)

الغطاء بدون شبك معدني T=0

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP. (STRAIN)	VERTICAL PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL P. STRESS (STRAIN)	MINOR P. STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	10.00000	0.05959	161.809	162.352	-1088.785	-902.774
		(STRAIN)	2.508E-04	2.510E-04	-2.074E-04	-2.074E-04
1	60.00010	0.04095	19.535	19.999	1.677	2.359
		(STRAIN)	3.457E-04	3.596E-04	-1.900E-04	-1.900E-04
2	10.00000	0.06100	118.430	118.430	-826.012	-261.609
		(STRAIN)	1.448E-04	1.448E-04	-2.011E-04	-2.011E-04
2	60.00010	0.04202	20.815	20.815	1.712	2.496
		(STRAIN)	3.742E-04	3.742E-04	-1.989E-04	-1.989E-04

الغطاء مع شبك معدني T=0

شحود، الوادي و مسوتي

تأثير تسليح الأغطية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....

POINT	VERTICAL	VERTICAL	VERTICAL	MAJOR	MINOR	INTERMEDIATE
	PRINCIPAL	PRINCIPAL	P. STRESS			
NO.	COORDINATE	DISP.	STRESS	STRESS	STRESS (HORIZONTAL	
	(STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	P. STRAIN)		
1	10.00000	0.05930	157.943	158.373	-1360.007	-1130.953
	(STRAIN)	2.308E-04	2.310E-04	-1.942E-04	-1.942E-04	
1	60.00010	0.04091	19.484	19.943	1.714	2.389
	(STRAIN)	3.440E-04	3.578E-04	-1.890E-04	-1.890E-04	
2	10.00000	0.06072	116.308	116.308	-1043.200	-362.292
	(STRAIN)	1.357E-04	1.357E-04	-1.890E-04	-1.890E-04	
2	60.00010	0.04198	20.753	20.753	1.752	2.528
	(STRAIN)	3.723E-04	3.723E-04	-1.978E-04	-1.978E-04	

الغطاء بدون شبك معدني T=40

شحود، الوادي و مسوتي

تأثير تسليح الأغشية الإسفلتية بالشبكات المعدنية على سلوكها المرن اللزج.....

POINT	VERTICAL	VERTICAL	VERTICAL	MAJOR	MINOR	INTERMEDIATE
	PRINCIPAL	PRINCIPAL	P. STRESS			
NO.	COORDINATE	DISP.	STRESS	STRESS	STRESS (HORIZONTAL	
	(STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	P. STRAIN)		
1	10.00000	0.08289	412.572	413.105	257.532	258.327
	(STRAIN)	3.610E-03	3.623E-03	-2.003E-04	-1.861E-04	
1	60.00010	0.05250	31.070	31.980	3.925	5.393
	(STRAIN)	5.191E-04	5.464E-04	-2.952E-04	-2.952E-04	
2	10.00000	0.07901	109.825	108.757	81.658	105.451
	(STRAIN)	6.162E-04	6.027E-04	-7.564E-05	-7.564E-05	
2	60.00010	0.05447	33.655	33.655	4.105	5.913
	(STRAIN)	5.729E-04	5.729E-04	-3.136E-04	-3.136E-04	

T=40 الغطاء مع شبك معدني

POINT	VERTICAL	VERTICAL	VERTICAL	MAJOR	MINOR	INTERMEDIATE
	PRINCIPAL	PRINCIPAL	P. STRESS			
NO.	COORDINATE	DISP.	STRESS	STRESS	STRESS (HORIZONTAL	
	(STRAIN)	(STRAIN)	(STRAIN)	P. STRAIN)		
1	10.00000	0.07992	399.173	399.614	-522.529	-471.713
	(STRAIN)	1.593E-04	1.595E-04	-9.874E-05	-9.874E-05	
1	60.00010	0.04932	28.316	29.146	2.623	4.046
	(STRAIN)	4.913E-04	5.162E-04	-2.795E-04	-2.795E-04	
2	10.00000	0.07591	115.330	1027.746	121.507	139.097
	(STRAIN)	-7.078E-05	1.847E-04	-6.905E-05	-6.239E-05	
2	60.00010	0.05109	30.620	30.620	2.714	4.486
	(STRAIN)	5.404E-04	5.404E-04	-2.968E-04	-2.968E-04	