



كلية الهندسة - جامعة بغداد

جمعية كليات الهندسة  
أعضاء اتحاد الجامعات العربية

## التنبؤ بالإنهك والتخدد المبكر في الرصف المرن ذو الطبقات المرنة-اللزجة لحالات تحميل مختلفة باستخدام الطريقة الميكانيكية-التجريبية

نور ياسر يونس<sup>1</sup>، أيمن عبدالهادي عبدالموجود<sup>2\*</sup>، أمينة أحمد خليل<sup>3</sup>،

<sup>1</sup> قسم الهندسة المدنية، جامعة الموصل، الموصل، العراق، noor.enp144@student.uomosul.edu.iq

<sup>2</sup> قسم الهندسة المدنية، جامعة الموصل، الموصل، العراق، aymanmawjoud@uomosul.edu.iq

<sup>3</sup> قسم الهندسة المدنية، جامعة الموصل، الموصل، العراق، amina.alshumam@uomosul.edu.iq

\*الباحث الممثل: أيمن عبدالهادي عبدالموجود الايميل: aymanmawjoud@uomosul.edu.iq

نشر في: 31 اذار 2022

**الخلاصة** – يعتبر ضروري الإنهك والتخدد المبكر من بين أكثر أنواع أضرار الطريق بسبب علاقتها الرئيسية مع أداء الرصف. تحدث هذه الأضرار بسبب الأحمال الزائدة على محاور المركبات، أو تصميم الخلطة الغير مناسبة بالإضافة الى طرق التصميم التقليدية المستخدمة في تصاميم الرصف. لذلك يجب تجنب هذه الأضرار السابقة لأوانها لأجل الأداء السليم والخدمة للطريق. ونتيجة لذلك، فإن طرق التصميم الميكانيكية-التجريبية باستخدام البرمجيات كبرنامج KENPAVE تعتبر ضرورية لتجنب أخطاء التصميم التقليدية، حيث يستخدم هذا البرنامج لحساب الضغوط والإنفعالات الدقيقة في الرصف الإسفلتي، والتي تُستخدم فيما بعد في التنبؤ بفشل التخدد والإنهك. في ظل الظروف الميدانية الحقيقية تعمل طبقات المزيج الأسفلتي الساخن (HMA) كمواد لزجة مرنة (viscoelastic) وتعتمد استجاباتها الميكانيكية على درجة الحرارة ووقت التحميل. ان الهدف من هذا البحث هو دراسة الأحمال الزائدة على التبليل ودرجات الحرارة المتغيرة على مدار العام في مدينة الموصل على أداء وعمر الرصف باستخدام الطريقة الميكانيكية-التجريبية (M-E) للتحقق في أكثر الخصائص تأثيراً تحت تغير درجات الحرارة لتحسين تصميم هياكل الرصف. كشفت النتائج عن أهمية التأثير الذي قد يحدثه زيادة الأحمال وتغير درجات الحرارة على عمر خدمة الأداء للرصف المرن ذو الطبقات المرنة-اللزجة حيث يقل العمر بزيادة الأحمال المسلطة على التبليل حيث يقل العمر الى 0.05 من العمر عند زيادة الأحمال الى ضعف الحمل القياسي، بينما يزداد كل من الأجهاد العمودي ونسبة الضرر بتغير درجات الحرارة ويزداد أحمال المحاور حيث تبين ان نسبة الضرر تزداد بمقدار 5.5 ضعف عند زيادة الأحمال الى 1.5 من الحمل القياسي. كما تزداد قيم أنفعال الشد والضغط بزيادة درجات الحرارة وقد تؤثر هذه التغيرات على تكلفة دورة حياة الرصف وبالتالي يجب التحقق من تأثيرها على متطلبات الصيانة المستقبلية.

**الكلمات الرئيسية** – الرصف المرن، الطريقة الميكانيكية-التجريبية، Viscoelastic، KENPAVE، الإنهك، التخدد.

### 1. المقدمة

في بدايات القرن الماضي، كان تصميم طبقات الرصف يقتصر على تحديد سمك الطبقات التي من شأنها توفير القوة والحماية للطبقات السفلية الضعيفة بعدها استخدم المهتمون بمجال الطرق خبراتهم بناء على نجاحات وإخفاقات المشاريع السابقة في تغيير معايير التصميم من خلال تقييم حالة الرصف والتنبؤ بالأضرار الناجمة التي تزيد من معدل تدهور هياكل الرصف [14]. يؤدي تكرار الأحمال المرورية التي تفوق الحدود المسموح بها الى فشل التخدد في الطبقة السطحية والذي يعتمد على الخصائص الهيكلية للطبقات السفلية المتضررة [7]. ولعل السبب في زيادة شدة الضرر وإنخفاض عمر الإنهك هو عدم تطبيق تحليل الرصف المرن علاوة على قلة الإهتمام بتحديد المكونات الأساسية للرصف التي من شأنها تحقيق التوازن بين فشلي التخدد والإنهك لطبقات الرصف. يوجد نوعين من الإنفعالات التي تسلطها الأحمال المرورية على الطريق هما أنفعال الضغط العمودي ( $\epsilon_v$ ) وإنفعال الشد الأفقي ( $\epsilon_t$ ). أن أول من اقترح استخدام إنفعال الضغط العمودي على سطح طبقة التأسيس (subgrade) هما (Dornon و Kerkhoven) في 1953 [12]، في حين أوصى (Saal و Pell) في 1965 [20] باستخدام إنفعال الشد الأفقي في الطبقة الإسفلتية في تقليل فشل تشققات الإنهك.

أظهرت معظم الملاحظات الميدانية في العراق لتقييم حالة سطح الرصف لشبكة الطرق العراقية إن تشققات الإنهك والتخدد تعد من أهم الأضرار التي تم تثبيتها نتيجة شدتها وكثافتها العالية نظراً لوجود ظاهرة التحميل الزائد،

يُعد تصميم الرصف المرن (flexible pavement) أحد أهم المكونات الرئيسية في ديمومة البنية التحتية لشبكة الطرق والتي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالانشطة المدنية كالتجارة والصناعة والبيئة وغيرها بالإضافة الى دوره المهم في جودة الطرق من حيث السلامة وتقليل نسبة الحوادث [18]. إن الغرض الأساسي من الرصف هو نقل الإجهادات الناشئة من حركة المرور على سطح الطريق خلال طبقات الرصف الأخرى حتى يصل تأثيرها الى طبقة التربة التي يتوقف عليها مدى صلاحية الرصف ونسبة تحمله لهذه الإجهادات بطرق معقدة تتأثر بحالة الإجهاد وقيمه ودرجة الحرارة والرطوبة والوقت ومعدل التحميل وعوامل أخرى. أن تعرض التبليل لأحمال عالية وظروف بيئية متفاوتة يؤدي إلى مزيد من التعقيدات ولذلك فإن الهدف من تصميم الرصف هو تحديد السمك المناسب لطبقات الرصف فوق التربة بحيث تغطي سطحاً جيداً ومستويًا تحت حركة المرور دون حدوث تدهور وإنهيار [3]. وعليه يجب أن تكون طبقات الرصف ذات متانة عالية لمقاومة الأحمال المرورية من خلال الاستفادة الكاملة من كل مادة من مواد الرصف في التصميم ومن الضروري أيضاً أن تكون لها القدرة على مقاومة الأضرار الدائمة التي تلحق بالطريق كالإنهك (fatigue) والتخدد الدائم (permanent deformation) خلال ظروف الخدمة [11].

أجرى (Nagakumar and Nidhi, 2013) عملاً بحثياً استخدم فيه برنامج KENLAYER لحساب استجابة طبقات الرصف. حيث أجري تحليلين الخطي وغير الخطي لتقييم إجهادي الشد والضغط والانحراف في الطبقة السطحية للرصف. بينت نتائج البحث أن التحليل اللاخطي أدى إلى زيادة بنسبة (0.76%) في إجهاد الضغط وانخفاض بنسبة (23.13%) في إجهاد الشد، ومع ذلك، تم الحصول على قيم مماثلة باستخدام التحليل الخطي المرن. وبناءً على ذلك، فإن التحليل غير الخطي يعد أكثر دقة وموثوقية من التحليل الخطي [16].

قام (Abdel-Motaleb, 2007) بدراسة لتوضيح منهجية لتحقيق التوازن المطلوب بين عمر الرصف فيما يتعلق بالتخدد وعمره فيما يتعلق بتشققات الإنهك معتمداً على تحليل الضرر باستخدام برنامج KENLAYER لتحليل عدة مقاطع إنشائية لطبقات الرصف لكل من فشلي التخدد والانهاك. كانت المقاطع تحت الدراسة مكونة من الطبقة الإسفلتية السطحية وطبقة الأساس مع معامل المرونة لكل منهما بالإضافة إلى معامل المرونة لطبقة التأسيس (subgrade). بينت نتائج تحليل مقاطع الرصف نتائج مشابهة للبحث إن سمك طبقة الأساس ومعامل المرونة لطبقة التأسيس هما العناصر الأساسية المتحكممة في الموازنة بين عمر الرصف فيما يتعلق بالتخدد وعمره في ما يتعلق بالإنهك وذلك لأن الزيادة في أي منهما يؤدي وبشدة إلى الزيادة في عمر الرصف بالنسبة لضرر التخدد وليس لها تأثير في عمره بالنسبة لضرر الإنهك. كما بينت الدراسة أيضاً إن عمر الرصف بالنسبة للضررين المذكورين يزداد وبشكل كبير بزيادة سمك الطبقة الإسفلتية ويزيد بصورة معتدلة بزيادة معامل المرونة لطبقة الأساس والطبقة الإسفلتية [1].

### 3. عرض المشكلة

تعتبر مشكلة الإنهيار المبكر في الأرصفة المرنة من المشاكل الرئيسية التي تسبب فشلاً في طبقات الرصف بسبب تأثيرها المباشر على عمر التصميم والإداء في شبكة الطرق العراقية بسبب الحمولات الزائدة لمركبات الحمل الغير مسيطر عليها وعدم تشغيل محطات الوزن عند المنافذ الحدودية ومداخل المدن وقرب المقالع ومصادر مواد البناء. تعتبر الطريقة الميكانيكية-التجريبية القائمة على أساس تقييم كل من الإجهادات stresses والانفعالات strains والتشوهات deformations المتولدة في الطبقات الإسفلتية المرنة في كل مرحلة من مراحل التصميم من أهم وأكثر طرق تصميم الرصف الأسفلتي استخداماً [12]. ففي العراق يعد نظام الطرق في حالة حرجة ليس بسبب الأحمال المرورية الزائدة فقط ولكن أيضاً بسبب الظروف البيئية كدرجات الحرارة، حيث التغيرات بدرجات الحرارة لا تؤدي إلى أنكماش المواد فحسب بل تؤدي أيضاً إلى تغيير خصائص المواد المرنة اللزجة للمزيج الأسفلتي. ولسوء الحظ لا يأخذ معظم الممارسين حالياً أي من هذه الظواهر في تصميم هياكل الرصف. ولذلك تم دراسة التأثيرات الناجمة عن الأحمال المرورية العالية على الأضرار الدائمة والمتمثلة بفشلي الإنهك والتخدد لطبقات الرصف المرنة ذات الخواص المرنة اللزجة (viscoelastic) باستخدام الطريقة الأكثر شيوعاً في التصميم وهي الطريقة الميكانيكية-التجريبية وباستخدام برنامج KENPAVE لإيجاد قيم الإجهاد والانفعال والتشوه في طبقات الرصف بالإضافة إلى تحليل الأضرار المتولدة وتحديد العمر التصميمي للتبليط.

### 4. منهجية البحث

تتضمن منهجية البحث المعتمدة في هذه الدراسة مما يلي:

#### 4.1 الطريقة الميكانيكية-التجريبية (Mechanistic-Empirical Method):

منذ العقدين الماضيين، كان هناك توجه لوكالات الطرق لإستخدام الأسلوب الميكانيكي-التجريبية ولعل هذا التوجه دفع منظمة AASHTO إلى أستبدال طريقة التصميم التجريبي لعام 1993 بطريقة التصميم الميكانيكي-التجريبية (Mechanistic-Empirical) الأكثر وثوقية في عام 2004 لتصميم طبقات الرصف المرن [2]. وهي طريقة حديثة في التصميم تحوي على عدة نماذج تدميرية تستخدم لتحديد الأضرار الدائمة في الطرق كالإنهك والتخدد وبالتالي يمكن إستخدامها في التنبؤ بعمر طبقات الرصف [11]. ففي هذه

وبالتالي تأثيرها الكبير على حالة الرصف [11]. ونتيجة لوجود ظاهرة التحميل الزائد وللإستفادة المثلى من جودة المواد في تصميم الرصف المرن والتي لم يتم أخذها بعين الاعتبار في تصاميم 1993 AASHTO، فإن الحاجة إلى تطوير أساليب تصميم وتحليل رصف محسنة يعد أمر ضروري للغاية [21]. لذلك تم إجراء هذه الدراسة لغرض البحث والتحليل في تأثير طبقات الرصف للاستجابة الميكانيكية المرنة مع أحمال مرورية ذات نسب (50%، 100%، 150%، 200%) من الأحمال القياسية وفقاً للمواصفات القياسية العراقية [6]. أعمدت الطريقة الميكانيكية-التجريبية في هذا البحث في تصميم الرصف المرن Mechanistic-Empirical Method of flexible pavement design المستخدمة في تصميم طبقات الرصف، والتي تحتوي على عدد من النماذج التدميرية الرئيسية لطبقات الرصف (distress) لتحديد فشلي الإنهك والتخدد حيث تستخدم النماذج هذه لتحديد العمر الافتراضي لتصميم الرصف [15] اعتماداً على برنامج (KENPAVE). تم اعتماد التحليل على افتراض أن طبقات المزيج الإسفلتي مرنة لزجة (viscoelastic) حيث تختلف خصائص المواد لرصف الأسفلت أختلافاً كبيراً اعتماداً على التقادم ودرجة الحرارة بينما يمكن وصف الطبقات الترابية بأنها مرنة خطية [7]. وبناءً على ما تم ذكره أعلاه تم أخذ مقطع من طريق أسفلتي والذي يمثل طريق المرور السريع رقم-1 في العراق وتحليله مع دراسة تأثير أوزان المحاور وزيادتها على الفشل المبكر لطبقات التبليط المرن.

### 2. الدراسات السابقة

إن من أهم أنواع الفشل التي تتعرض لها شبكة الطرق وتؤثر بشكل كبير على قابلية الخدمة للرصف هما فشلي الإنهك والتخدد بالإضافة إلى دورهما في تقليل العمر التشغيلي للطرق ويرجع سبب ذلك أساساً إلى الزيادة في عدد المركبات وبالأخص المركبات ذات الأحمال العالية التي تفوق الحدود المسموح بها وأيضاً بسبب الأخطاء والقصور في تصميم طبقات الرصف [13، 24]. ومن أجل الحصول على أداء مناسب وللتغلب على أخطاء التصميم التقليدية مع توفير خدمة جيدة لشبكة الطرق، يجب معالجة هذه الأسباب المبكرة للفشل من خلال إستخدام منهجية تصميم جديدة تعتمد على الأسس الميكانيكية. ولذلك تم إجراء العديد من الدراسات عن التنبؤ بفشلي الإنهك والتخدد المبكر في الرصف المرن وذلك باستخدام الطريقة الميكانيكية-التجريبية يمكن إدراج بعضها منها وكما يلي:

أجرى (Rind, et al., 2019) دراسة لتحليل تأثير التغيير في سمك الطبقة الإسفلتية وطبقة الأساس على أداء الرصف على عدة مقاطع من طريق محدد باستخدام برنامج KENLAYER. توصل الباحثون إلى نتائج عدة منها ما يتعلق بالبرنامج المذكور فقد بين الباحثون إمكانية إستخدام البرنامج في تصميم طبقات الرصف وبموثوقية عالية. أما فيما يخص نتائج التحليل أشار الباحثون إلى أن الزيادة في سمك الطبقة الإسفلتية وطبقة الأساس تؤدي إلى نقصان في الإنفعالات مع السماح بالزيادة في تكرار الأحمال المرورية للمركبات الثقيلة بينما النقصان في سمك الطبقات يؤدي إلى زيادة الإنفعال وبالتالي التقليل من تكرار الإحمال [19].

في حين إستخدم الباحثون (Chegenizadeh, et al., 2016) برنامج KENLAYER لنمذجة الرصف المرن حيث تم تغيير إدخال معاملات مختلفة كنسبة بواسون ومعامل المرونة وحساب المخرجات على شكل إجهادات وإنفعالات وإنحرافات. بينت النتائج إن القيم العالية والمتوسطة للإجهادات تكون للطبقات ذات السمك الأقل بينما الطبقات ذات السمك الأعلى أظهرت نتائج أقل للإجهادات [4].

قام (Srikanth, 2015) بمراقبة تأثير معامل المرونة وسمك الطبقة الإسفلتية السطحية على أداء الرصف وذلك باستخدام برنامج KENPAVE الهدف منها دراسة تأثير إجهاد الشد الأفقي وإجهاد الضغط العمودي على أداء الرصف من خلال الإعتماد على معامل المرونة (E) وسمك الطبقة (h) كمدخلات رئيسية. بينت نتائج البحث أن الإنفعالات الدقيقة في حالتي الضغط والشد قد انخفضت نتيجة الزيادة في سمك الطبقة الإسفلتية. كما توصل أيضاً إلى أن التغيير في سمك طبقة الرصف أدى إلى تغييرات إيجابية في تقليل مشاكل طبقات الرصف بالإضافة إلى المساهمة في خفض الكلف الاقتصادية [22].

#### 4.4 النماذج التدميرية للرصيف (Distress Models):

يمكن التنبؤ بعمر الرصيف الجديد بالإعتماد على النماذج التدميرية حيث يمكن حساب الاجهادات والانفعالات والتشوهات الناتجة من الاحمال المرورية في اي من نقاط الرصيف على إفتراض أن هيكل الرصيف متجانس ومتماثل وذو خواص مرنة لزجة. حيث اعتبرت الانفعالات الأكثر أهمية لتصميم طبقات الرصيف المرنة والمؤدية للإنهك والتخدد هما انفعال الشد الافقي أسفل الطبقة الاسفلتية المؤدي لحدوث الانهك والأخر هو انفعال الضغط العمودي على سطح طبقة التأسيس المؤدي لحدوث التخدد [25].

##### 4.4.1 نموذج الإنهك في الرصيف المرنة (Fatigue Cracking Models):

يتم التنبؤ بالإنهك في طبقات الرصيف المرنة بالإعتماد على مفهوم الضرر التراكمي. يرتبط العدد المسموح به في تكرار الاحمال بأجهاد الشد المتولد في اسفل الطبقة الاسفلتية ويتم التعبير عن مقدار الضرر كنسبة والتي تمثل العدد المتوقع والمسموح به لتكرار الاحمال. عندما يصل مجموع نسبة الضرر الى واحد يحدث الضرر، يمكن حساب العدد المسموح به لتكرار الحمل ( $N_f$ ) حسب المعادلة (1) [5].

$$N_f = f_1 (\epsilon_t)^{-f_2} (E_1)^{-f_3} \dots \dots \dots (1)$$

حيث أن:

$N_f$ : العدد المسموح به لتكرار الاحمال لمنع فشل الإنهك (fatigue failure)  
 $\epsilon_t$ : انفعال الشد في أسفل طبقة الإسفلت.  
 $E_1$ : معامل المرونة لطبقة الإسفلت  
 $f_1$  و  $f_2$  و  $f_3$  هي ثوابت تم تحديدها من اختبارات الإجهاد المختبرية ، مع تعديل  $f_1$  لتتوافق مع ملاحظات الأداء الميداني. استخدم معهد الاسفلت الأمريكي Asphalt Institute القيم (0.0796, 0.854, 3.291) لكل من  $f_1$  و  $f_2$  و  $f_3$  على التوالي في اجراءات التصميم القائمة على التحليل [3].

##### 4.4.2 نموذج التخدد في الرصيف المرنة ( Rutting Models):

يتم استخدام نماذج التخدد للحد من انفعالات الضغط العمودي المتولد في الاجزاء العلوية من طبقة التأسيس. يرتبط العدد المسموح به من تكرار الحمل ( $N_r$ ) للحد من التخدد بانفعال الضغط العمودي أعلى طبقة التأسيس حسب المعادلة (2) [5].

$$N_r = f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \dots \dots \dots (2)$$

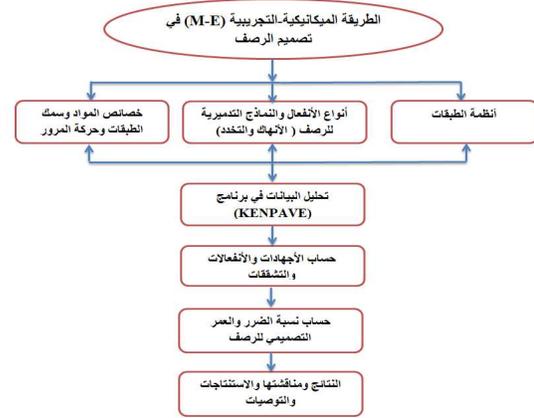
علما بأن:

$N_r$ : العدد المسموح به لتكرار الاحمال لمنع فشل التخدد (rutting failure)  
 $\epsilon_c$ : انفعال الضغط في أعلى طبقة التأسيس (subgrade).  
 $f_4$  و  $f_5$  ثوابت تم تحديدها من اختبارات الطريق أو الأداء الميداني. تم اقتراح قيمها من قبل معهد الاسفلت الأمريكي Asphalt Institute بـ (9<sup>و</sup> 3.65\*10 او 4.477) لكل من  $f_4$  و  $f_5$  على التوالي [3].

#### 4.5 طريقة تحليل البيانات:

ان الطريقة المستخدمة في تحليل البيانات هي الطريقة الميكانيكية-التجريبية، حيث تم استخدام مجموعة من السيناريوهات في تحليل البيانات بسبب التباين في الاحمال المرورية وخصائص المواد المستخدمة لتحديد الاداء والعمر التصميمي لطبقات الرصيف. لتحليل النماذج التدميرية يتم استخدام برنامج (KENLAYER). تتكون مدخلات التحليل من معلمتين رئيسيتين هما تحميل حركة المرور وخصائص المواد المستخدمة والتي سبق وان تم تحديدها في برنامج KENLAYER باستخدام القائمة LAYERINP. تم تحليل ضروري الانهك والتخدد بالإضافة الى استخدام التحليل في حساب العمر التصميمي [21].

الطريقة تستخدم معادلات رياضية لوصف العلاقة بين الظواهر الفيزيائية الناشئة من الاحمال المرورية وخصائص المواد المستخدمة في هيكل الرصيف من جهة وفشل الرصيف من جهة أخرى من خلال حساب عدد دورات التحميل للفشل [15]. وذلك من خلال فرض أن الحمل المروري على الرصيف المرنة يكون حمل ثابت وموزع بالتساوي حيث تكون إستجابة الرصيف تتمثل برد فعل يمثل إجهاد شد أفقي (horizontal tensile strain,  $\epsilon_t$ ) أسفل الطبقة الاسفلتية وانفعال الضغط العمودي (vertical compressive strain,  $\epsilon_c$ ) على سطح طبقة التربة والمهم لأغراض التصميم [26]. يمكن توضيح الطريقة الميكانيكية-التجريبية المستخدمة في هذه الدراسة كما في الشكل (1) أدناه:



الشكل 1: الطريقة الميكانيكية-التجريبية في تصميم الرصيف والمستخدم في الدراسة

#### 4.2 أنظمة الطبقات (Layered Systems):

يتألف نظام الرصيف المرنة (flexible pavement) من عدة طبقات ذات مواد أفضل في الطبقات العليا ولا يمكن أن تمثل بكتلة متجانسة واحدة ولذلك يتم الإعتماد على نظرية Burmister التي تنص على أن الرصيف المرنة مكون من طبقات متعددة. طور Burmister نظاما للرصيف مؤلف من طبقتين ثم طورت فيما بعد الى ثلاث طبقات عام 1945 ومع التطور في برمجيات الحاسوب أمكن تطبيق نظرية تعدد الطبقات كما تم إفتراض أن نظام الطبقات ذات خواص مرنة لزجة (viscoelastic) [7].

#### 4.3 أنواع الإنفعالات في أنظمة الطبقات

يوجد إنفعالان رئيسيان في الرصيف المرنة المتعدد الطبقات:

##### 4.3.1 انفعال الضغط (Compressive Strain):

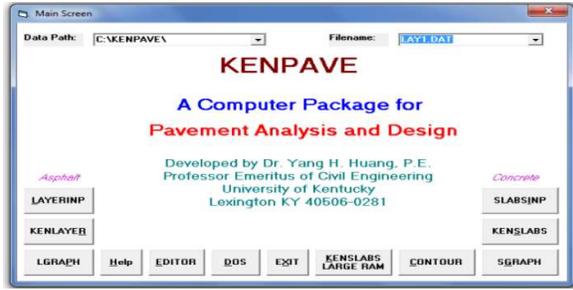
يعتبر أجهاد الضغط العمودي في الجزء العلوي من طبقة التأسيس عاملاً مهماً في تصميم طبقات الرصيف المرنة ويعتمد قيمة الإجهاد المسموح بها على قوة أو معامل طبقة التأسيس. تم استخدام إنفعال الضغط العمودي كعيار تصميمي للجمع بين تأثيري الإجهاد والمقاومة [11].

##### 4.3.2 انفعال الشد (Tensile Strain):

يتم استخدام إنفعال الشد المتولد في الجزء السفلي من الطبقة الاسفلتية لمنع حدوث فشل الإنهك. هناك نوعان رئيسيان من الأنفعالات توخذ بنظر الإعتبار، أحدهما الإنفعالات الكلية الناشئة من الإجهادات العادية وإجهادات القص والنوع الاخر الاكثر شيوعا الناشئة من الانفعالات الافقية والقص والمستخدم في برنامج KENLAYER [11].

الميكانيكية-التجريبية. في عملية التحليل هذه تم إلتعتماد طريق المرور

KENPAVE هي عادة سمك الطبقة الإسفلتية وخصائص المواد (معامل المرونة ونسبة بواسون) والحمل المسلط من المحاور وضغط الإطارات وعدد نقاط الضغط لتحليل الرصف. يعطي KENPAVE مخرجات بشكل نص، ومن خلال الإنفعالات الدقيقة والضغط يتم الحصول على الحد الأقصى المسموح به من تكرار التحميل للتنبؤ بالتخدد والإنهك [7]. أدناه الشكل (2) يوضح الشاشة الرئيسية لبرنامج KENPAVE، والشكل (3) يوضح نموذج لآحد البيانات التي تم ادخالها على البرنامج.



الشكل 2: الشاشة الرئيسية لبرنامج KENPAVE

```
LOAD GROUP NO. 1 HAS 1 CONTACT AREA
CONTACT RADIUS (CR)----- = 12.7
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 677
RADIAL COORDINATES OF 1 POINT(S) (RC) ARE : 0

LOAD GROUP NO. 2 HAS 2 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)----- = 12.7
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 629
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 3
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 0
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 30
RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0.000 0.000 2 7.500 0.000
3 15.000 0.000

LOAD GROUP NO. 3 HAS 4 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)----- = 12.7
CONTACT PRESSURE (CP)----- = 484
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 3
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 150
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 30
RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0.000 0.000 2 7.500 0.000
3 15.000 0.000
```

الشكل 3: نموذج لآحد البيانات التي تم ادخالها على البرنامج

#### 4.7 نسبة الضرر (Damage Ratio):

تمثل نسبة الضرر النسبة بين عدد التكرار المتوقع والمسموح به وعادة ما يحدث الفشل عندما يكون مجموع نسبة الضرر مساو للواحد. وتحسب لكل مجموعة تحميل ولكل فترة ثم تجمع لكل السنة باستخدام المعادلة (3) [21].

$$D_r = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \frac{n_{ij}}{N_{ij}} \dots \dots \dots (3)$$

حيث أن:

Dr: نسبة الضرر المتوقع في نهاية السنة

n<sub>ij</sub>: العدد المتوقع لتكرار الحمل z في الحمل i

N<sub>ij</sub>: العدد المسموح به لتكرار الحمل z في الحمل i.

p: عدد الفترات في كل عام

m: عدد مجاميع التحميل.

#### 4.5.1 خصائص المواد وسمك الطبقات:

تعتمد الخصائص الرئيسية للمواد على عوامل التحليل بالطريقة

السرعة رقم-1 في العراق. أن سمك وخصائص طبقات الرصف موضحة في جدول (1) [7، 8، 23]. كما تم الإعتداد على معدل درجات الحرارة لكل من الفصول الأربعة لمدينة الموصل من احصائيات دائرة الأنواء الجوية لعشرين سنة كمداخلات في البرنامج [27].

الجدول 1: سمك وخصائص الطبقات المستخدمة في التحليل

Layers	Thickness (cm)	Modulus of Elasticity (Kpa)	Poisson's Ratio
Wearing Course	4	3000000	0.4
Binder Course	8	2275000	0.4
Bituminous Base	18	1585700	0.35
Subbase	40	99900	0.35
Subgrade	∞	38000	0.45

#### 4.5.2 تحميل حركة المرور:

يتأثر توزيع الجهد والإجهاد والتشوه ضمن طبقات الرصف بتكوين الحمل المروري. حيث تم الإعتداد على بيانات الحجم المروري للطرق الرئيسية المؤدية لمدينة الموصل من مشروع الخطة الرئيسية للنقل العراقي (Iraqi Transport Master Plan, ITMP) [10] حيث كان إجمالي عدد مرات تكرار التحميل وكما يلي:

أ. المحاور الأحادية باطار مفرد: 6035

ب. المحاور الأحادية باطار مزدوج: 15085

ت. المحاور الترادفية: 3017

كما كانت عناصر المدخلات في البرنامج هي:

1. نصف قطر التلامس لمنطقة التحميل الدائرية (CR=12.7 cm) [5].

2. ضغط التلامس على منطقة التحميل الدائرية (CP)، تؤخذ قيمة المحور الأحادي بالنسبة للحمل القياسي (677 Kpa) أما بالنسبة للمحور الأحادي ذو الإطارات المزدوجة (628 Kpa) والمحور الترادفي (484 Kpa) وتتغير هذه القيم عند الزيادة أو النقصان في نسب التحميل [6].

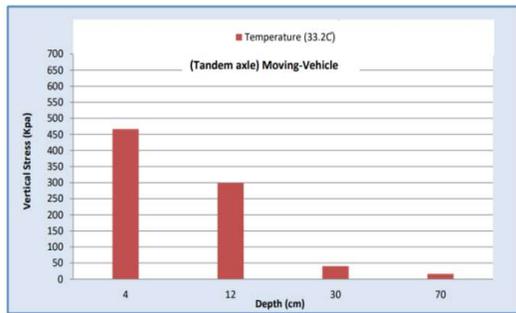
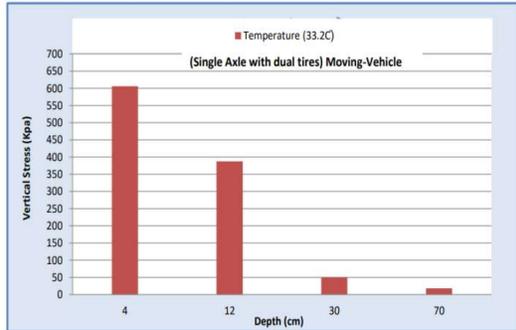
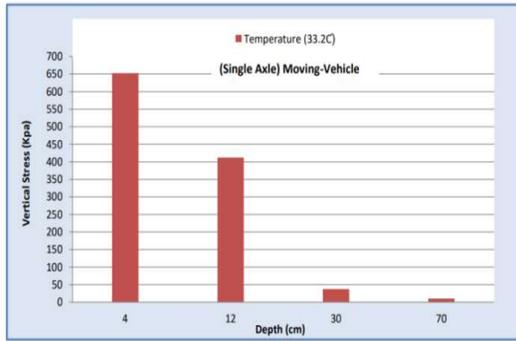
3. توسيط إلى مركز التباعد بين عجلتين مزدوجتين على طول المحور Y (YW)، تم أخذ هذه المسافة بالنسبة للمحور الأحادي (0) وبالنسبة للمحور الأحادي ذو الإطارات المزدوجة وكذلك المحور الترادفي (30cm) [5].

4. توسيط إلى مركز التباعد بين عجلتين لمحورين مختلفين (XW) (X)، تم أخذ هذه المسافة (150cm) [17].

من المهم تحديد منطقة التلامس بحيث يمكن افتراض أن الحمل المحوري موزع بشكل موحد في هذه الدراسة. كما يجب مراعاة العجلات الموجودة على جانب واحد فقط (مسار العجلة الخارجية) ويفترض أن يكون لكل إطار منطقة تلامس دائرية [9].

#### 4.6 برنامج (KENPAVE):

يستخدم برنامج KENPAVE لتحليل وتصميم الأرصفة المرنة والصلبة. طور هذا البرنامج من قبل Dr. Y. H. Huang، وفي الواقع، يتكون البرنامج من جزأين هما KENSLAB و KENLAYER يُستخدم جزء KENSLAB لتحليل وتصميم الأرصفة الصلبة بينما يُستخدم جزء KENLAYER لتحليل وتصميم الأرصفة المرنة. يُستخدم هذا البرنامج لحساب الضغوط والأنفعالات الدقيقة في الأرصفة المرنة والصلبة وبشكل أساسي، يقوم برنامج KENPAVE بتحليل أضرار الأرصفة بإمكانية تحليل مثل single أو tandem أو tridem بالإضافة إلى إمكانيته في التعامل مع ما يصل إلى 12 فترة و 12 مجموعة تحميل والتي تم تلخيصها أخيراً لحساب الضرر الناتج عن حالات الفشل [19]. إن معاملات الإدخال في برنامج



الشكل 5: علاقة العمق مع الأجهاد العمودي

5.2 تأثير التغير بدرجات الحرارة على قيم الأنفعال في حالتي الوقوف والحركة للمركبات:

يوضح الشكل (6) علاقة أحمال المحاور مع قيم أنفعال الشد للطبقة الرابطة لحالتي الوقوف والحركة للمركبات عند الحمل القياسي. حيث يلاحظ أن قيم أنفعال الشد تزداد بشكل واضح مع ارتفاع درجات الحرارة صيفا، بينما يقل الأنفعال بتغير أنواع المحاور وزيادة عدد الاطارات وبذلك يقل عمر الأنهك في فصل الصيف عند درجات الحرارة العالية لحالتي الوقوف والحركة للمركبات. ففي حالة المركبة المتحركة تم اعتبار سرعة المرور (40mph) والتي تغطي السرعة النموذجية لحركة المرور، حيث لوحظ أن قيم أنفعال الشد عند درجة الحرارة (33.2°C) كانت بمقدار (-0.0003879) و(-0.0003699) والاطارات المزدوجة والمحور الترادفي على التوالي في حالة الوقوف للمركبة، وقلت هذه القيم بنسب (83%) و(85%) و(84%) في حالة حركة المركبة بالنسبة للمحور المفرد والمحور المفرد ذو الاطارات المزدوجة والمحور الترادفي على التوالي.

كما يوضح الشكل (7) علاقة أحمال المحاور مع قيم أنفعال الضغط لطبقة التأسيس الترابية لحالتي الوقوف والحركة للمركبات عند الحمل القياسي. حيث يلاحظ من الشكل أن قيم أنفعال الضغط تزداد عند درجات الحرارة العالية. لوحظ عند درجة الحرارة (33.2°C) أن قيم أنفعال الضغط في حالة الوقوف

4.8 العمر التصميمي للرصيف المرن (Design Life):

تستخدم المعادلة (4) في حساب العمر التصميمي حيث يتم حساب التشقق الناتج من الإنهك والتشوه الدائم حيث يكون العمر التصميمي الأقصر هو المتحكم [21].

$$Design\ life = \frac{i}{D_r} \dots\dots\dots (4)$$

5. النتائج ومناقشتها:

تحاول العديد من الوكالات في الولايات المتحدة وكندا بالإضافة الى العديد من البلدان في العالم تنفيذ تصميم الرصيف باستخدام الطريقة الميكانيكية-التجريبية (M-E) ومع ذلك فإن إحدى الصعوبات المرتبطة بتنفيذ هذه الطريقة هي كمية ومستوى المدخلات المطلوبة، بالإضافة الى ذلك تعد المعايير المحلية لنماذج التنبؤ بالأداء من الصعوبات الأخرى. الميزة الرئيسية لطريقة (M-E) هي أن التحليل يعتمد على الأنهك والتخدد لجميع الطبقات وليس فقط على أداء سطح الرصيف، ولذلك تم استخدام برنامج تجريبي ميكانيكي هو (KENPAVE) لتشغيل عوامل حساب الضرر الهيكلي (الاجهاد والانفعال والتشوه) للرصيف المرن، وبالتالي يمكن تحديد جميع تفاعلات الرصيف الناتجة عن تغير درجات الحرارة بشكل أكثر دقة بالقرب من الحالة الفعلية. بالنسبة لمرحلة الاستجابة تم نمذجة طبقات الأسفلت كمواد مرنة لزجة أما الطبقات الترابية تم نمذجتها كمواد خطية وكانت نتائج التحليل كما يلي:

5.1 تأثير درجات الحرارة العالية على الأجهاد العمودي في حالتي الوقوف والحركة للمركبات:

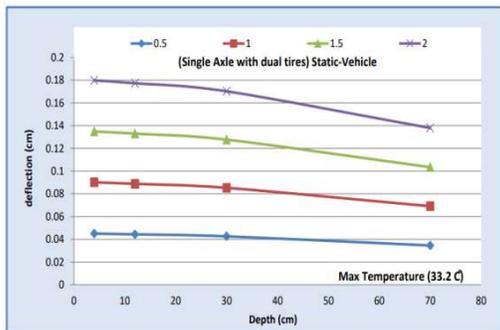
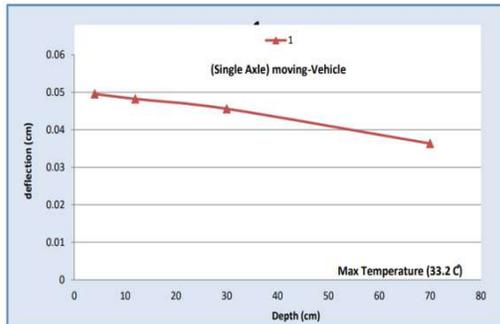
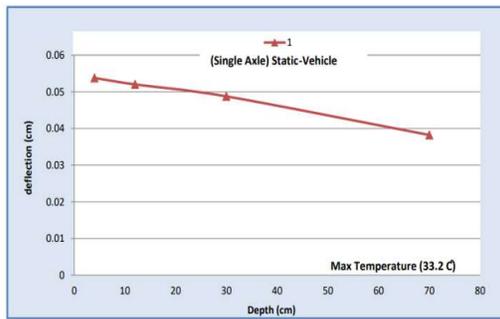
نموذج البيانات التي تم الحصول عليها من علاقة العمق مع الأجهاد العمودي عند درجات الحرارة العالية ولحالة الحركة للمركبة موضحة في الشكل (4). بينما رسم العلاقة موضحة في الشكل (5)، حيث يلاحظ أن أعلى أجهاد عمودي يحصل في الطبقة السطحية ويقل تدريجيا مع العمق. كما لوحظ نقصان في قيم الأجهاد العمودي في المحور الترادفي عن بقية المحاور ويعزى ذلك الى زيادة عدد الاطارات التي توزع ثقل المحور على التبليط. حيث كانت قيمة الأجهاد العمودي للطبقة السطحية للمحور المفرد (652.698 Kpa) وتقل هذه القيمة تدريجيا بنسبة (7.13%) و(28.5%) لحالتي المحور المفرد ذو الاطارات المزدوجة والمحور الترادفي على التوالي.

DAMAGE ANALYSIS OF PERIOD NO. 3 LOAD GROUP NO. 1						
RADIAL COORDINATE	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPLACEMENT	VERTICAL STRESS (STRAIN)	RADIAL STRESS (STRAIN)	TANGENTIAL STRESS (STRAIN)	SHEAR STRESS (STRAIN)
0.00000	4.00000	0.05377	652.698	507.548	507.548	0.000
(STRAIN)			1.627E-04	3.021E-05	3.021E-05	.000E+00
0.00000	12.00000	0.05201	412.246	113.278	113.278	0.000
(STRAIN)			2.186E-04	-6.576E-05	-6.576E-05	.000E+00
0.00000	30.00000	0.04875	37.599	-364.739	-364.739	0.000
(STRAIN)			2.012E-04	-1.722E-04	-1.722E-04	.000E+00
0.00000	30.00010	0.04875	37.599	-6.213	-6.213	0.000
(STRAIN)			4.199E-04	-1.722E-04	-1.722E-04	.000E+00
0.00000	70.00010	0.03822	10.606	10.075	10.075	0.000
(STRAIN)			4.047E-05	2.023E-05	2.023E-05	.000E+00
AT BOTTOM OF LAYER 1 TENSILE STRAIN = 0.000E+00						
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.000E+30 DAMAGE RATIO = 0.000E+00						
AT BOTTOM OF LAYER 2 TENSILE STRAIN = -6.576E-05						
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 2.490E+08 DAMAGE RATIO = 2.424E-05						
AT BOTTOM OF LAYER 3 TENSILE STRAIN = -1.722E-04						
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.061E+07 DAMAGE RATIO = 5.687E-04						
AT TOP OF LAYER 4 COMPRESSIVE STRAIN = 4.199E-04						
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 1.792E+06 DAMAGE RATIO = 3.368E-03						
AT TOP OF LAYER 5 COMPRESSIVE STRAIN = 4.047E-05						
ALLOWABLE LOAD REPETITIONS = 6.338E+10 DAMAGE RATIO = 9.521E-08						

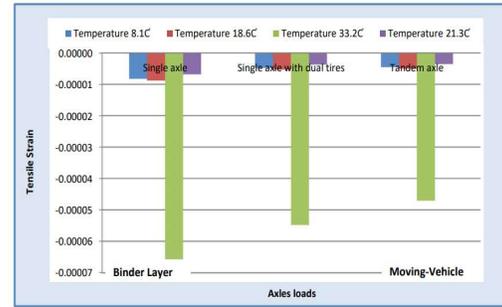
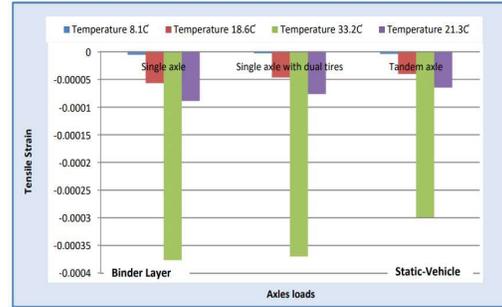
الشكل 4: نموذج البيانات لعلاقة العمق مع الجهد العمودي في حالة حركة المركبة

### 5.3 تأثير زيادة الأحمال على التشوه الحاصل للتبليط لحالتي الوقوف والحركة للمركبات:

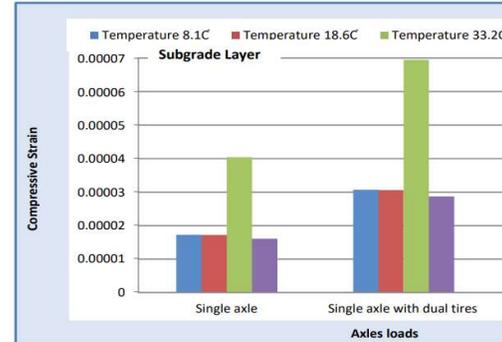
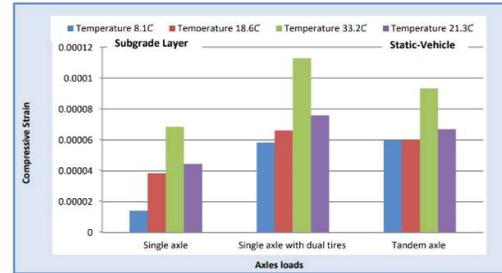
الشكل (8) يوضح علاقة التشوه مع عمق الطبقات في حالتي الوقوف والحركة للمركبة وعند درجة الحرارة (33.2C) وبزيادة الأحمال المسلطة على التبليط وتغيير نوع المحور. حيث يلاحظ أن قيم التشوه للطبقة السطحية وللحمل القياسي في حالة وقوف المركبة كانت بمقدار (0.05377cm) و (0.09007cm) و (0.09614cm) بالنسبة للمحور المفرد والمحور المفرد ذو الأظارات المزدوجة والمحور الترادفي على التوالي، كما لوحظ نقصان قيم التشوه في الطبقة السطحية في حالة حركة المركبة بنسب (7.8%) و (6.7%) و (5%) للمحور المفرد والمحور المفرد ذو الأظارات المزدوجة والمحور الترادفي على التوالي. كما يلاحظ أيضا زيادة الهبوط بزيادة الأحمال المسلطة على التبليط فعند 200% من الحمل القياسي للمحور الترادفي يزداد الهبوط بنسبة (100%) لحالتي الوقوف والحركة للمركبات. كما أن معظم التشوه حدث في طبقة الأرض الطبيعية بنسب (83%) و (84%) من التشوه الكلي لحالتي الوقوف والحركة للمركبات على التوالي.



للمركبة كانت (0.00006851) و (0.0001128) و (0.00009336) بالنسبة للمحور المفرد والمحور المفرد ذو الأظارات المزدوجة والمحور الترادفي على التوالي، كما لوحظ أيضا في حالة حركة المركبة تقل هذه القيم بنسب (41%) و (38.4%) و (33%) بالنسبة للمحور المفرد والمحور المفرد ذو الأظارات المزدوجة والمحور الترادفي على التوالي. الأختلاف في قيم الأنفعال في حالة المركبة المتحركة يرجع سببها الى حقيقة أن المعامل الديناميكي للطبقة الأسفلتية يزداد مع زيادة السرعة (تردد التحميل) بسبب سلوكها المرن-اللزج.



الشكل 6: علاقة أحمال المحاور مع أنفعال الشد للطبقة الرابطة عند اختلاف درجات الحرارة



الشكل 7: علاقة أحمال المحاور مع أنفعال الضغط لطبقة التأسيس عند اختلاف درجات الحرارة

جدول 2: تأثير تغير الأحمال المسلطة على أعلى قيمة للضرر

Standard load	Max Damage Ratio	
	Viscoelastic-Static Vehicle	Viscoelastic-moving Vehicle
50%	0.2346	0.004795
100%	1.261	0.03488
150%	6.746	0.1955
200%	23.97	0.7

### 5.5 تأثير زيادة الأحمال على عمر التبليط في حالتي الوقوف والحركة للمركبات:

أن العمر التصميمي للتبليط هو الحد الأدنى لعدد مرات تكرار الأحمال للتسبب بفشلي الأنهك والتخدد وعند درجات الحرارة المختلفة في السنة. الجدول (3) يوضح الأحمال المسلطة مع العمر التصميمي للتبليط وفي حالتي الوقوف والحركة للمركبات، حيث يلاحظ عند الحمل القياسي كانت قيمة العمر التصميمي (0.79) و(28.67) سنة للمركبة في حالتي الوقوف والحركة على التوالي أي بنقصان عمر للتبليط بمقدار (36.3) ضعف في حالة الوقوف مقارنة مع حالة الحركة للمركبات. كما يقل العمر بالنسبة للمركبة المتوقفة بمقدار (5.3) و(19.8) ضعف عند نسبة التحميل 150% و200% من الحمل القياسي، بينما يزداد العمر (5.4) ضعف عند نسبة التحميل 50% من الحمل القياسي، أما بالنسبة للمركبات المتحركة فسيفل العمر (5.6) و(20) ضعف عند نسبة التحميل 150% و200% من الحمل القياسي بينما يزداد العمر (7.3) ضعف عند نسبة التحميل 50% من الحمل القياسي.

جدول 3: تغير الأحمال المسلطة مع العمر التصميمي للتبليط

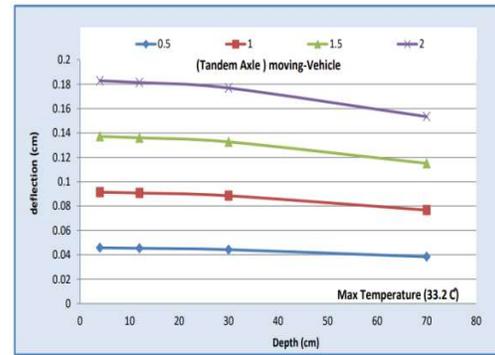
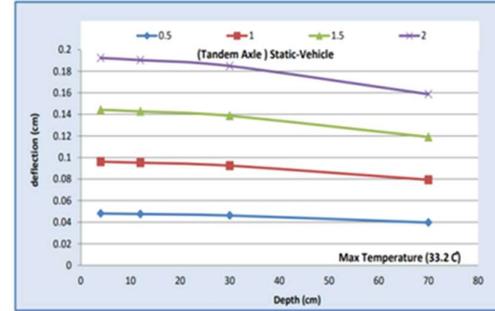
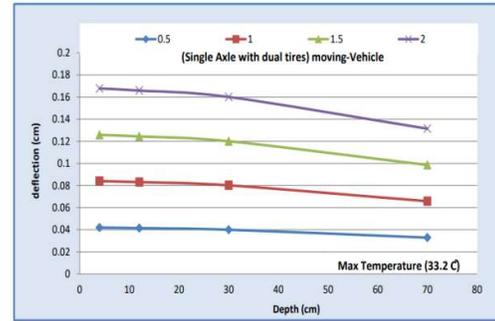
Standard load	Design Life in year	
	Viscoelastic-Static Vehicle	Viscoelastic-Moving Vehicle
50%	4.26	208.55
100%	0.79	28.67
150%	0.15	5.11
200%	0.04	1.43

### 6. الاستنتاجات والتوصيات:

أجريت هذه الدراسة لبحث تأثير الأحمال وتأثير درجات الحرارة المتغيرة على مدار العام في مدينة الموصل على أداء الرصف من حيث توزيعات الأجهادات والأنفعالات والتشوّهات وخلال الطبقات وعلى قيم نسب الضرر المتوقع والعمر التصميمي للطريق للرصف المرن ذو الطبقات المرنة-اللزجة باستخدام برنامج KENPAVE. وفقا لمنهجية هذه الدراسة وتحليل نتائجها تم استخلاص الاستنتاجات التالية:

1-زيادة الأجهاد العمودي بزيادة درجات الحرارة وبزيادة الأحمال المسلطة على التبليط بينما يقل الأجهاد العمودي بزيادة العمق، حيث وجد أن أعلى أجهاد كان على الطبقة السطحية وللحمل القياسي بمقدار (652.698Kpa) للمحور الاحادي ولحالة الحركة للمركبة.

2-تأثرت قيم أنفعال الشد بتغير درجات الحرارة وأحمال المحاور على التبليط، حيث وجد أن قيم أنفعال الشد تزداد بشكل واضح بزيادة درجة الحرارة وتقل بزيادة عدد الاطارات للمحاور. كما وجد أن قيمة أنفعال الشد للطبقة الرابطة للمحور المفرد عند درجة الحرارة (33.2°C) كانت بمقدار



الشكل 8: التشوه مع عمق الطبقات في حالة الوقوف والحركة للمركبة

### 5.4 تأثير زيادة الأحمال على أعلى قيمة للضرر في حالتي الوقوف والحركة للمركبات:

يزداد تأثير الضرر بزيادة الأحمال المسلطة على التبليط وعند درجات الحرارة المختلفة خلال السنة، والجدول (2) يوضح تأثير تغير الأحمال المسلطة مع أعلى قيمة للضرر وفي حالتي الوقوف والحركة للمركبات، حيث يلاحظ أن أعلى قيمة للضرر عند الحمل القياسي كانت بمقدار (1.261) و(0.03488) لحالتي المركبة المتوقفة والمتحركة على التوالي، أي أن قيمة الضرر تزداد بمقدار (36) ضعف في حالة الوقوف مقارنة مع حركة المركبات. كما يلاحظ أيضا تأثير تغير الأحمال على قيم الضرر، ففي حالة المركبة المتوقفة تزداد القيمة بمقدار (5.3) و(19) ضعف في حالتي التحميل 150% و200% من الحمل القياسي على التوالي، بينما تقل قيمة الضرر بمقدار (5.4) ضعف عند حالة التحميل 50% من الحمل القياسي. أما بالنسبة لحالة المركبة المتحركة فإن أعلى قيمة للضرر تزداد بمقدار (5.6) و(20) ضعف عند نسب التحميل 150% و200% من الحمل القياسي على التوالي، بينما تقل قيمة الضرر بمقدار (7.3) ضعف عند نسبة التحميل 50% من الحمل القياسي.

- [8] Iraqi Expressway No. one, 1983, Consulting Engineers, Munich, W. Germany.
- [9] Islam, M.E., and Tarafder, R.A. (2020). Pavement Design: Materials, Analysis, and Highways, 1<sup>st</sup> edition. McGraw Hill Education. The United States.
- [10] ITMP. (2005). Iraqi Transport Master Plan: A joint project between the Iraqi Government and Italian Government.
- [11] Jasim, A. A. (2015). "Effect of pavement layers properties on optimum performance by Mechanistic – Empirical Method.
- [12] Kerkhoven, R., and Dormon, G. M. (1953). "Some considerations on the California bearing ratio method for the design of flexible pavements". Shell Petroleum Company, London.
- [13] Moghaddam, T. B., Karim, M. R., and Abdelaziz, M. (2011). A review on fatigue and rutting performance of asphalt mixes. Scientific Research and Essays, 6(4), 670–682. <https://doi.org/10.5897/SRE10.946>.
- [14] Montuschi, A., Dondi, G., & Pettinari, A. R. M. (2012). Flexible pavement design using Mechanistic-Empirical methods: the Californian approach," MSc thesis. University of Bologna, Department of Civil, Chemical.
- [15] Muniandy, R., and Aburkaba, E.E. (2013). Comparison of flexible pavement performance using Kenlayer and Chev PC Software Program. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, January, 112–119.
- [16] Nidhi, M. N. (2013). "Applications of layered theory for the analysis of flexible pavements" International Journal of Research in Engineering and Technology, 2(1), 197 - 200.
- [17] Papagiannakis, A.T., and Masad, E.A. (2008). Pavement Design and Materials. John Wiley & Sons.
- [18] Pereira, P., & Pais, J. (2017). Main flexible pavement and mix design methods in Europe and challenges for the development of a European method. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 4(4), 316–346. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.06.001>.
- [19] Rind, T. A., Jhatial, A. A., Sandhu, A. R., Bhatti, I. A., and Ahmed, S. (2019). Fatigue and rutting analysis of asphaltic pavement using "KENLAYER" Software. Journal of Applied Engineering Sciences, 9(2), 177– 182. <https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0024>.
- [20] Rossow, M. (1960). Introduction to geotechnical issues in pavement design, Geotechnical Aspects of Pavements. 877.
- [21] Samad, E. (2011). Sensitivity analysis in flexible pavement performance using Mechanistic-Empirical Method. Civil Engineering Forum, Volume XX/1- September, 1189-1200.
- [22] Srikanth M. R. (2015). Study on effect of surface course thickness and modulus of elasticity on performance of flexible pavement using a software Tool. International Journal of
- التوالي، وتقل هذه القيمة تدريجياً للمحور المفرد ذو الأقطار المزدوجة والمحور الترادفي.
- 3-زيادة قيم أنفعال الضغط عند زيادة درجات الحرارة وزيادة أحمال المحاور حيث وجد أن قيمته عند درجة الحرارة (C) 33.2 للمحور المفرد (0.00006851) و(0.00004047) لحالتي الوقوف والحركة للمركبة وتزداد هذه القيمة بالنسبة للمحور المفرد ذو الأقطار المزدوجة والمحور الترادفي.
- 4-يتأثر التثوه على سطح الرصف وكذلك خلال الطبقات وفي حالتي الوقوف والحركة للمركبات بالنسبة الى انواع المحاور. حيث وجد أن قيمة التثوه على الطبقة السطحية عند درجة الحرارة (C) 33.2 بالنسبة للمحور المفرد كانت بمقدار (0.05377cm) و (0.04957cm) لحالتي الوقوف والحركة للمركبات على التوالي، وتزداد هذه القيمة للمحور المفرد ذو الأقطار المزدوجة والمحور الترادفي.
- 5-يزداد تأثير الضرر بزيادة الأحمال المسلطة على التبليل حيث وجد أن أعلى قيمة للضرر عند الحمل القياسي كانت بمقدار (1.261) و(0.03488) لحالتي الوقوف والحركة للمركبات على التوالي، حيث تزداد هذه القيمة عند زيادة الأحمال المسلطة وبالعكس. ففي حالة المركبة المتوقفة تزداد القيمة بمقدار (5.3) و(19) ضعف في حالتي التحميل 150% و200% من الحمل القياسي على التوالي، بينما تقل قيمة الضرر بمقدار (5.4) ضعف عند حالة التحميل 50% من الحمل القياسي.
- 6-ان تغير قيم الاحمال ودرجات الحرارة والعوامل المناخية والبيئية الأخرى لها تأثير واضح على اداء الرصف وبالتالي على عمر الرصف. حيث وجد أن العمر التصميمي للرصف عند الحمل القياسي (0.79 سنة) و(28.67 سنة) لحالتي الوقوف والحركة للمركبة على التوالي، حيث يقل العمر بزيادة الأحمال المسلطة وبالعكس. ففي حالة المركبة المتحركة يقل العمر بمقدار (5.6) و(20) ضعف عند نسبة التحميل 150% و200% من الحمل القياسي بينما يزداد العمر بمقدار (7.3) ضعف عند نسبة التحميل 50% من الحمل القياسي.
- 7-توصي الدراسة بالقيام بأعمال التحليل باعتبار الطبقات الترابية غير خطية ومقارنتها مع نتائج هذه الدراسة.

## References

- [1] Abdel Motaleb (2007). "Flexible pavement components for optimum performance in rutting and fatigue", Zagazig University, Egypt.
- [2] Ameri, M., and Khavandi, A. (2009). Development of Mechanistic-Empirical flexible pavement design in Iran. Journal of Applied Sciences, Vol. 9, Issue 2, pp. 354–359. <https://doi.org/10.3923/jas.2009.354.359>.
- [3] Asphalt Institute. (1981). Thickness Design--asphalt Pavements for Highways and Streets, Manual Series No.1 (MS 1). Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, 552.
- [4] Chegenizadeh, A., Keramatikerman, M., and Nikraz, H. (2016). Flexible pavement modelling using Kenlayer. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 21(7), 2467–2479.
- [5] Gedafa, D.S. (2007). Performance prediction and maintenance of flexible pavement. Proceedings of the 2007 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa, 16-17.
- [6] Highway Design Manual, Ministry of Reconstruction & Housing, State Corporation for Roads & Bridges, Iraq. 2<sup>nd</sup> edition, 2005.
- [7] Huang, Y.H. (2012). "Pavement Analysis and Design". 2nd Edition, New Jersey, Prentice-Hall.

overloading on flexible pavement mechanistic response. 186 (Apte 2018), 67–72. <https://doi.org/10.2991/apte-18.2019.13>.

[26] Usman, R.S., Setyawan, A., and Suprpto, M. (2018). Prediction of pavement remaining service life based on repetition of load and permanent deformation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 333(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/333/1/012089>.

[27] تقارير دائرة الأنواء الجوية العراقية - (2020) محطات الموصل.

Engineering Research, 4(8), 771–774. <https://doi.org/10.17577/ijertv4is080715>.

[23] Standard Specification for Roads & Bridges, Ministry of Housing & Construction, State Organization of Roads & Bridges, Iraq. Revised 2004.

[24] Subhy, A. (2017). Advanced analytical techniques in fatigue and rutting related characterizations of modified bitumen: Literature review. Construction and Building Materials, 156, 28–45. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.147>.

[25] Tajudin, A., Setyarini, N. L., and Darmawati, D. (2019). The influence of CBR value and [28]

## Prediction of fatigue and rutting premature distress in viscoelastic flexible pavement layered for different loading condition using Mechanistic-Empirical Method

Noor Y. Younis<sup>1</sup>, Ayman A. Abdulmawjoud<sup>2\*</sup>, and Amina A. Khilil<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq noor.enp144@student.uomosul.edu.iq

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq, aymanmawjoud@uomosul.edu.iq

<sup>3</sup> Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq, amina.alshumam@uomosul.edu.iq

\*Corresponding author : Ayman A. Abdulmawjoud email: aymanmawjoud@uomosul.edu.iq

Published online: 31 March 2022

**Abstract**—The main two premature failures among all types of distresses are fatigue and rutting due to their main relation with performance pavement. These failures are caused by variations in heavy axle-loaded trucks, designing inappropriate mixture, and conventional design methodologies used in the pavement design industries. Premature distresses should be avoided for proper performance and serviceability. As a result, a Mechanistic-Empirical Method based design approach using computer programming, such as KENPAVE software, is required to avoid conventional design errors. The KENPAVE software tool is used to calculate accurate stresses and strains in the asphaltic pavement, which are then used to determine fatigue and rutting failures. HMA layers act under real field conditions as viscoelastic material, and their mechanical responses depend on temperature and loading. This research aimed to study the overloads on pavement and the changing temperatures throughout the year in Mosul city on the performance and design life of the pavement by using the Mechanistic-Empirical Method (M-E) to investigate the most influential properties under the temperature change to improve the design of the pavement structures. The results revealed the importance of the impact that climate change may have on the service life of the pavement, as the design life decreases with the increased loads applied on the pavement, where the design life decreases to 0.05 of its value when the loads are increased to twice the standard load. While the vertical stress and the damage ratio increase with the change of temperature and with the increase in the axle loads, it was found that the percentage of the damage ratio increases by 5.5 times when the axle loads are increased to 1.5 of the standard loads. These changes in the assessment of the pavement life cycle and thus their effect on future maintenance requirements must be verified.

**Keywords**— Flexible pavement, Mechanistic-Empirical Method, Viscoelastic, KENPAVE, Fatigue, Rutting.