دراسة تحليلية لنماذج أداء الرصف الطرقي لعينة من الطرق في سورية*

المهندس معلا الخضر**

الأستاذ الدكتور أندراوس سعود*** الدكتور محمد بشير حسون****

الملخص

تعدُّ نماذج التنبؤ بأداء الرصف الطرقي في نظم إدارة الصيانة بمنزلة المحرك الأساسي لتحليل المعلومات وإعطاء تقارير عن أداء شبكة الطرق ونوعية أعمال الصيانة المطلوبة، تحتوي أنظمة إدارة الصيانة على عدة نماذج رياضية وإحصائية أهمها نماذج الأداء ونماذج استنباط العيوب في المستقبل. فالاتجاه العام لنماذج الأداء يعتمد على نوعية طبقات الرصف وطريقة تنفيذها وعلى نوعية المرور، كما يعتمد على العوامل البيئية من حرارة وأمطار وتصريف مياه [8]. وللحفاظ على شبكة الطرق بحالة جيدة ومريحة، يجب صيانتها وإعادة تأهيلها. بالوقت والطريقة المناسبين، وغالباً ما تكون الصيانة مطلوبة لتحقيق مستوى خدمة جيد للطرق السريعة وخاصة مستوى جودة الرصف [15].

إن الهدف الأساسي للبحث يتلخص في إجراء دراسة تحليلية لمعرفة سلوك الرصف بتأثير عدة عوامل محددة لاستنباط نماذج التنبؤ بأداء الرصف لعينة نموذجية ممثلة لشبكة طرق الجمهورية العربية السورية عن طريق حصر وجرد الأضرار في سطح الرصف فضلاً عن مسح وتقييم وعورة الطرق أو عدم الاستوائية التي تعبر عن عدم راحة القيادة، وقد أدت الدراسة إلى معرفة علاقة حالة الرصف بالعوامل التي تؤثر على تدهورها، وذلك بوجود المتغيرات الفعالة ومدى تأثيرها على حالة الرصف، وقد تم استخدام النماذج الإحصائية التجريبية لدراسة تلك النماذج التي تعتمد على اعتبار أن دليل حالة الرصف (PCI) أو دليل مستوى الخدمة الحالي (PSI) كعوامل أساسية، ومتغيرات العمر، ونوع الصيانة، وحجم المرور، هي العوامل الثانوية التي تؤثر في تغير أدلة حالة الرصف مع تقدم الزمن. وبالنتيجة تم استنباط مجموعة من النماذج الرياضية للتنبؤ بحالة الرصف مع اعتبار نوع أو صنف الطريق وطريقة الصيانة التي أجريت على تلك الطرق. ومن ثم تّم اقتراح استخدام نموذج التنبؤ الذي يربط عمر الرصف ونوع الصيانة كنموذج مفضل للتنبؤ بحالة وسلوك الرصف مع الزمن. هذه النماذج تساعد في التخطيط لأعمال الصيانة الأكثر فاعلية من الناحية الاقتصادية. ويتم تحقيق

* أعد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس معلا الخضر بإشراف الدكتور المهندس اندراوس سعود ومشاركة الدكتور المهندس محمد بشير حسون

** مهندس ماجستير في النقل والمواصلات من جامعة دمشق

*** دكتوراه في الهندسة المدنية أستاذ في قسم هندسة النقل والمواصلات بكلية الهندسة المدنية جامعة دمشق

**** دكتوراه في الهندسة المدنية مدرس بمعهد الطرق للتدريب الرياض السعودية

أهداف البحث من خلال عرض ما قام به الباحث من جمع للبيانات من مصادرها والقيام بالمسح الميداني لأضرار الرصف والوعورة على الطرق، لمعرفة ودراسة مستوى خدمة الطريق الحالي. ثم مقارنة النماذج والتأكد من صلاحية نتائجها بالمقارنة بين القيم المحسوبة والفعلية وتبين أنها جيدة ومتقاربة. حيث تم استخدام ثلاثة أصناف من الطرق وتم دراسة نوعين من الصيانة المستخدمة، حجم المرور، والعمر، والظروف البيئية لمعرفة تأثير تغيراتها على حالة الرصف .

تمهيد (Abstract):

تحتاج طبقات رصف الطرق إلى الصيانة نتيجة لتأثير المرور، والظروف الجوية المحيطة، و سوء تنفيذ أعمال الطرق في أثناء الإنشاء وكذلك أعمال الصيانة. لذلك ازداد الاهتمام بين هيئات الطرق بأنظمة إدارة الصيانة نظراً للحاجة الماسة لذلك، بعد أن تقادمت شبكات الطرق مع الزمن فقد ازدادت احتياجات صيانتها وتصرف معظم هيئات الطرق ميزانيات الصيانة بشكل غير مبرمج وغالباً تعتمد على الخبرة العامة، مما أدى إلى صرف الميزانيات بغير توقيتها المناسب، ونظراً إلى قلة الموارد المالية التي تفي بمتطلبات الصيانة كان لا بد من تطوير نماذج التنبؤ بأداء الرصف للتوصل إلى معرفة حالة الرصف عند عمر معين، ومن ثمَّ تحديد الصيانة المناسبة والوقت المناسب لإجرائها[8] . مما يؤدي إلى التوزيع الأمثل لميزانيات الصيانة على شبكة الطرق لتعطي أفضل حالة مطلوبة من أجل راحة القيادة وحسن الاستثمار.

تعدُّ نماذج أداء الرصف من الوسائل المهمة التي تساعد إدارة الصيانة على اتخاذ القرار الصائب في الوقت المناسب لإجراء الصيانة على الطرق، وتسعى أغلب هيئات الطرق في الوقت الحاضر لتطوير نماذج التنبؤ بأداء الرصف لتكون الأداة المهمة في اتخاذ قرارات الصيانة مثل نماذج التنبؤ بأداء الرصف في إنديانا [18] وطرق مدينة الرياض [1] وغيرها الكثير من النماذج.

الهدف الأساسي لهذا البحث هو إجراء دراسة تحليلية للتنبؤ بأداء الرصف للطرق التابعة لوزارة النقل في سورية وذلك باستخدام البيانات الفعلية التي تم الحصول عليها من المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية، وما جُمِعَ من بيانات من قبل الباحث.

الكلمات المفتاحية (Key Words):

عربي	إنكليزي	الرمز
دليل حالة الرصف	Pavement Condition Index	PCI
دليل مستوى الخدمة الحالي للرصف	Present Serviceability Index	PSI
دليل الوعورة العالمي	International Roughness Index	IRI
نماذج التنبؤ	Prediction Models,	
أداء حالة الرصف	Pavement Performance	

1 - مقدمة (Introduction):

تعدُّ النماذج الرياضية في نظم صيانة الطرق بمنزلة المحرك الأساسي لتحليل المعلومات وإعطاء تقارير عن أداء الشبكة ونوعية أعمال الصيانة المطلوبة. أهم تلك النماذج هي نماذج الأداء ونماذج تطور سلوك الرصف مع الزمن، وتختلف أنظمة إدارة صيانة الطرق من ناحية التعبير عن أداء الطرق بتأثير عوامل الزمن والتشغيل والصيانة والبيئة، وعلى أساس نماذج الأداء تلك يتم تحديد المستويات التي يجب أن تتم عندها عملية الصيانة حسب نوعها ويعتمد الاتجاه العام لنماذج الأداء على نوعية طبقات الرصف وطريقة تنفيذها، وعلى نوعية المرور والعوامل البيئية من حرارة وأمطار وتصريف مياه [8].

فمثلاً إدارة الطرق الماليزية طورت نموذج التنبؤ بعمق التخدد مستخدمة عوامل الوعورة وحجم المرور اليومي والرقم الإنشائي لطبقات الرصف (16]. وبرنامج البحوث الإستراتيجي (SHRP) وبرنامج أداء الرصف طويل الأجل قام بدراسة نماذج رياضية لمواقع متعددة وتختلف بطريقة الإنشاء وخلص إلى أن هناك تأثيراً كبيراً لمواد الإنشاء وسماكة طبقات التأسيس في التخدد الطولي ومن ثمَّ سلوك أداء

الرصف [13]. أما النموذج المطور في نظام إدارة وتطوير الطرق السريعة (HDM-4) فيعتمد على نمذجة التحليل الاقتصادي والتقني لنفقات صيانة الطريق فضلاً عن التخطيط، والبرمجة، والموازنة، والتقييم وصياغة السياسة لصيانة أفضل. وقد انطلق من تطوير القدرات التقنية لنظام HMD-3. واعتمد على استخدام بيئة معلوماتية وتقنيات حديثة، هذا ولأدوات HDM-4 ثلاث نتائج [11]: تقنيات لتحسين الاستثمار في الطرق، والنماذج الرياضية للتنبؤ بتدهور الطريق، وتأثيرات الأشغال ومنعكساتها على مستخدمي الطريق، والهدف هو: التنبؤ بالحالة المستقبلية وتأثيرات الصيانة في الرصف.

إن نماذج التنبؤ في HDM-4 تأخذ بالحسبان المناطق المناخية وأسباب تدهور حالة الرصف أو أسباب ظهور الأضرار في الرصف الإسفلتي التي تؤثر في أداء طبقات الرصف. وقد طورت مدينة تورنتو نماذج التنبؤ لمعامل الاحتكاك لطبقات الرصف المنفذة من الحصويات الخشنة، والخلطات الإسفلتية ذات التدرج المفتوح [10]. وقد صُنِفَتْ على أساس نماذج التنبؤ للمناطق ذات التفتت الشديد، وذات التشققات المبكرة. وطُبِقَ نظام إدارة الرصف على تلك الظاهرة الفريدة لتدهور الرصف، ويتضمن أربع مهام أساسية هي: تقييم سطح الرصف، إنشاء قاعدة البيانات، تطور نماذج التنبؤ، الأولويات والحل الأمثل لتوزيع ميزانية الصيانة. كما أن إدارة الطرق في إنديانا اتخذت من نتائج قياس وعورة الطرق العامل الأساسي في نماذج التنبؤ بأداء الرصف، وكذلك نوع الصيانة أخذ بالحسبان للمقارنة بين أنواع تأثير نوع الصيانة على حالة الرصف الكثير من العوامل أخذت بالحسبان كونها تؤثر في حالة الرصف وهي: عمر الرصف، الحمولات المحورية وحجم المرور، الظروف المناخية، التصميم الأولي وآخر صيانة أجريت [18]. في أغلب الدراسات السابقة كانت العوامل البيئية ونوع سطح الرصف وعمر الرصف وحجم المرور الأكثر استخداماً في دراسة تأثيرها على معدل التدهور. وتعدُّ النماذج التجريبية العملية هي الأكثر فعالية وسهولة وبساطة لتطوير نماذج التنبؤ بالبيانات المتوافرة. وعلى كل حال فإن وجود البيانات التاريخية للرصف يساعد في تقسيم الطرق إلى أجزاء متجانسة والتي غالباً ما تكون ضرورية في تطوير النماذج [12]. ففي النماذج الاحتمالية كانت عملية التنبؤ بحالة الرصف تعتمد على الحالة الراهنة للرصف.

على كل حال فإن تطوير مصفوفة الاحتمالات لانتقال الطريق من حالة إلى أخرى يعتمد اعتماداً كبيراً على الخبرة الهندسية في ذلك. فالنماذج الجزئية لدراسة العوامل التي تؤثر في الرصف تبين أنها مفيدة في دراسة كل عامل على حدة ومعرفة كيف يؤثر في الرصف. أمَّا نماذج التنبؤ التي تدرس تأثير عيوب الرصف في حالة الرصف تبين أنها جيدة ومفيدة في تحديد سلوك الرصف تحت تأثير ظهور تلك العيوب [15].

هذا ويعدُّ سلوك أو تدهور حالة الرصف من الأمور المعقدة والصعبة، ولا تقتصر على السلوك الإنشائي لطبقات الرصف فقط وإنما تتضمن أيضاً الكثير من أضرار الرصف الوظيفية (السطحية) [17] التي تكون نتيجة للتداخل المعقد بين الحمولات المرورية والظروف البيئية المحيطة وطبيعة المواد المستخدمة في الإنشاء أو الصيانة والوقت. ويستخدم تدهور الرصف ليمثل التغيرات التي تحصل في أداء الرصف مع الزمن. وتعدُّ قابلية أو إمكانية الرصف لتحمل متغيرات المرور والظروف البيئية خلال المدة التصميمية للطرق بمنزلة سلوك أو أداء الرصف خلال

تلك المدة، ولذلك تعدُّ نماذج الأداء لتدهور الرصف من أفضل الأساليب للتنبؤ بحالة الرصف. وهناك العديد من العوامل التي في حال توافرها تؤدي إلى نجاح الوصول إلى نماذج التنبؤ بالدقة المطلوبة [6]. وهذه العوامل هي متوسط حجم المرور السنوي، ونسبة الشاحنات الثقيلة، وأنظمة التصريف، وسماكات طبقات الرصف، والقدرة الإنشائية لطبقات الرصف ممثلة بالرقم الإنشائي أو قدرة تحمل طبقات الرصف فضلاً عن خصائص تصميم الطبقات الإسفلتية.

في هذا البحث سيتم دراسة تأثير المتغيرات المختلفة وتحليلها، والتي تم الحصول عليها من مصادر البيانات المختلفة، على سلوك وأداء الرصف لتحديد العوامل المؤثرة في ذلك وتطوير نماذج التنبؤ بأداء الرصف للطرق في سورية آخذين بالحسبان العوامل المختلفة لثلاثة أنواع من أصناف الطرق، الدولية، الرئيسة والثانوية فضلاً عن حجم المرور ونوع الصيانة التي أجريت على الطرق، وكذلك حالة التصريف الجانبي وطبيعة استخدام الأراضي. وكنتيجة فقد تم إستنباط أربعة نماذج تنبؤ لكل نوع من أصناف الطرق الثلاث وذلك بدلالة عمر الرصف ونوع الصيانة، وتم اختيار أفضل النماذج التي تعطي الدقة الكبرى لكل صنف من أصناف الطرق. كما درست على عينة الطرق الممثلة لشبكة الطرق المركزية السورية واستخدمت المفاهيم الإحصائية لاختبار صحة البيانات ودقة النماذج المطورة.

2 - المنهجية المتبعة في البحث (Methodology Plan):

من أجل دراسة سلوك أداء الرصف نتيجة لتغير العوامل المؤثرة فيه، وتطوير تلك النماذج فقد وضعت المراحل والخطوات التالية المبينة في الشكل رقم (1):

- استخدام معايير تقييم أداء الرصف وهي: دليل حالة الرصف (PCI) ومعامل مستوى الخدمة الحالي للرصف (PSI)، لتقييم أداء وسلوك الرصف الحالي.
- استخدام بيانات حالة الرصف على أساس أنها لمقاطع جميعها ذات خصائص واحدة ومختلفة بعامل واحد؛ وذلك لدراسة تأثير تغير ذلك العامل في حالة الرصف في كل مجموعة من القطاعات ذات الصفات والخصائص المتماثلة.
- عُدَّ معامل عمر الرصف أنه عدد السنوات منذ تاريخ إجراء آخر صيانة أو تاريخ الإنشاء في حال عدم تنفيذ أي صيانة.
- أخذ نوع الصيانة كعامل أساس في التأثير في أداء الرصف كون إجراءات الصيانة المعمول بها هي غالباً إما صيانة علاجية روتينية أو صيانة أساسية بإضافة طبقة تغطية (إعادة التأهيل).
- عُدَّ معامل حجم المرور على أساس ثلاثة مستويات: خفيف، متوسط، وكبير.
- الأخذ بالعوامل المؤثرة فقط في حالة الرصف من خلال دراسة تأثير العوامل كلها على حالة الرصف وتحديد العوامل التي لها تأثير فعال فقط، بينما العوامل التي ليس لها تأثير في تطوير نماذج التنبؤ فيتم استبعادها وهذا سوف يظهر من خلال الدراسة الإحصائية.
- استخدام بيانات عيوب الرصف ومعامل الوعورة لحساب معاملات تقييم الرصف ودليل مستوى الخدمة الحالي (PSI, PCI).

الشكل رقم (1): يبين المسار المنطقي لخطة البحث ومنهجيته

* وهي خطوة مهمة للباحثين الـذين يتعـاملون مـع بيانات جمعت من قبل فريق عمل مدرب على ذلك إذ بهذه المرحلة يتم تدقيق تلك البيانات لاحتمال وجـود الخطأ الشخصي في أثناء القراءة أو النقل، وذلك لأجل إعادة تدقيقها على الواقع ثانية أو استبعادها في حـال كانت شاذة أو لا تفيد.

3 - الهدف من البحث (Research goal):

يتلخص الهدف الأساسي من البحث بإجراء دراسة تحليلية للتنبؤ بأداء حالة الرصف للاستقراء المستقبلي لحالة تدهور الرصف، وذلك بوجود العوامل المؤثرة

المختلفة. وقد أجريت الدراسة لثلاث أصناف من الطرق دولية، ورئيسة، وثانوية ولنوعين من أنواع الصيانة، الروتينية وإعادة التأهيل. إذ تم تجميع البيانات ضمن مجموعات متجانسة ومتشابهة من القطاعات جميعها ذات خصائص واحدة ومختلفة بعامل واحد؛ وذلك لدراسة تأثير ذلك العامل على حالة الرصف في كل مجموعة متجانسة أو متشابهة بالعوامل الأخرى كلها.

4 - مراحل البحث وخطواته:

لتحقيق أهداف البحث اتبعت الخطوات الآتية:

1- تحديد منطقة الدراسة وتحديد عينة الطرق الممثلة لشبكة الطرق السورية.

2- تحديد مصادر البيانات والمعلومات ورصد أضرار الرصف الشائعة في الموقع.

3- معالجة البيانات وتصحيحها.

4- تقييم حالة الرصف وتحديد معامل تقييم حالة الرصف (PSI PCI).

5- دراسة سلوك الرصف بتأثير العوامل المؤثرة المختلفة باتباع طرائق التحليل الإحصائي.

6- تطوير نماذج التنبؤ بحالة الرصف.

7- التحقق من صحة النماذج ودقتها.

4 -1 - منطقة الدراسة وتحديد عينة الطرق المشمولة بالبحث (Study Zone Area & Road Samples):

تعتمد الدراسة على البيانات وصحتها ومدى الدقة في جمعها. جُمعت البيانات لعينة من شبكة الطرق المركزية السورية التي تمثل عينة نموذجية تضم أنواع وأصناف الطرق كلها التي تتألف من طرق دولية وطرق درجة أولى (رئيسة) ودرجة ثانية، وتم اختيارها بحيث تمر المناطق المختلفة مناخياً كلها. ومختلفة في التضاريس الجغرافية كذلك. اهتم البحث ببيانات حالة الطرق وحجم المرور، والظروف المناخية والبيئة المحيطة بالطريق، وتاريخ إنشاء الطريق وآخر صيانة، وكذلك عيوب الرصف التي تعبر عن سلوك طبقات الرصف. **وكانت عينة الدراسة ضمن المنطقة الوسطى وطرق من باقي المناطق مثل المنطقة الجنوبية و الغربية و الشرقية وهي طريق حمص دمشق، طريق حمص طرطوس، طريق حمص حماه، طريق حمص الفوسفات، طريق حمص شنشار القصير، طريق حمص تدمر القديم، طريق حمص مصياف، بعض الطرق في المناطق السياحية.**

4 -2 - مصادر البيانات والمعلومات ورصد أضرار الرصف الشائعة في الموقع (Data Source & Collection)

تم الحصول على البيانات المتوافرة لدى وزارة النقل (المؤسسة العامة للموصلات الطرقية) التي يحتاجها البحث، لعامي 2007 و2008 [2] وكذلك قام الباحث مع فريق عمل متخصص من فرع المؤسسة بحمص تم تدريبه لجمع البيانات ورصد أضرار الرصف بالمسح البصري مع بيان تاريخ الإنشاء والصيانة للطرق عينة الدراسة، فضلاً عن بيانات جرد العناصر الأساسية للطرق، والشكلان (2) و(3) يبينان نموذجين لاستمارات جمع البيانات للعناصر المكونة للطرق والأضرار الأكثر انتشاراً [3]. تم تفريغ وإدخال البيانات في جداول خاصة لتسهيل التعامل معها خلال التحليل وحفظت ضمن جداول بيانات بإعدادات خاصة للتعامل مع البرامج الإحصائية.

الشكل رقم (2): نموذج فعلي لاستمارة جمع البيانات استخدم بفرع المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية لجمع البيانات

نموذج رقم(3) استمارة الجرد الطرقي

اسم المحافظة :حمص رقم الطريق: حمص -دمشق أسماء لجنة الجرد:م.أسامة خليفة

التاريخ:2007/6/16

رقم النقطة	رقم النقطة	قارعة الطريق				البانكيتات		الجزيرة الوسطية		المصارف الجانبية		حواجز الأمان		الدهان الطرقي		الإشارات المرورية			
0	2	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مجدة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	جيدة	بيتونية	حراري	وسط				وسط
2	4	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مجدة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	جيدة	بيتونية	حراري	وسط				
4	6	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
6	8	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
8	10	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
10	12	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
2	14	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
14	16	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
16	18	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
18	20	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
20	22	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
22	24	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
24	26	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
26	28	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
28	30	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
30	32	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
32	34	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	جيدة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
34	36	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
36	38	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				
38	40	7	م2	اسفلتي	م2	20م	مشجرة	مشجرة	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	لايوجد	حراري	وسط				

الشكل رقم (3): نموذج جمع بيانات أضرار الرصف استخدم بفرع المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية بحمص لجمع البيانات

نموذج رقم (2)

مسح حالة الطريق الاسفلتي

اسم الطريق ورقمه : حمص -حماه /45/ مقطع رقم : من الكم: 2 إلى الكم:23

اسم الماسح :م.فادي صطوف التاريخ:2008/6/16 الطول الكلي للطريق:23كم حالة الجو :

نوع الطريق : متعدد الحارات مفرد عدد الحارات2 عرض حارة المرور :3.75

م	نوع الطريق	درجة الشدة		الطول (م)	السطح متر مربع	الكثافة%	ملاحظات	
		قليل	متوسط	عالٍ				
	عيوب ناتجة عن تشقق الرصف	لايوجد						
1	الشقوق التمساحية							
2	الشقوق البلوكية			2x10	20			
3	شقوق حافات الرصف			4x2	8			
4	الشقوق الطولية والعرضية							
5	الشقوق الانزلاقية			10	3		عرض30 سم	
	عيوب ناتجة عن تشوه استواء سطح الرصف							
1	التموجات							
2	الهبوط							
3	تكوم الرصف في الاتجاه العرضي							
4	الأخاديد				5x2	10		
5	انتفاخ الرصف							
6	التقعر والتحدب							
7	هبوط البانكيت عن الرصف							
	عيوب ناتجة عن سطح رصف زلق							
1	نضج الاسفلت				30x20	6		
2	برى الزكام							
	عيوب ناتجة عن تفكك سطح الرصف							
1	تآكل وتطاير سطح الرصف							
2	الحفر						أصلحت الحفر كلها بعقد صيانة طارئة وجارية لمحاور المحافظة	
3	الرقع الاسفلتية							

4 -3 تقييم البيانات ومعالجتها (Data Evaluation)

تضمنت هذه المرحلة من العمل مراجعة البيانات وتدقيقها وحذف المعلومات التي تظهر شذوذاً واضحاً. وذلك لأن البيانات غير المنطقية قد تكون نتيجة لخطأ شخصي بتسجيل البيانات أو خطأ في الإدخال ويمكن أن تكون نتيجة لسهو ما في التعامل مع البيانات. والمرحلة التي تليها هي تصنيف البيانات وترتيبها وفرزها حسب نوع الطريق وحسب حجم المرور وعمر الطريق ونوع الصيانة. الجدول رقم (1) يبين أطوال الطرق المدروسة وعدد الوصلات التي درست.

الجول رقم (1): بيانات أطوال الطرق المدروسة

م	أنواع الطرق	عدد الوصلات	الطول (كم)
1	الطرق الدولية	846	3702
2	الطرق الرئيسية	155	705
3	الطرق الثانوية	152	705
4	الإجمالي	1153	5112

4 -4 تقييم حالة الرصف وتحديد معايير تقييم الحالة (Pavement Evaluation and Identifying the Condition Indices):

الخطوة المهمة في تقييم حالة الرصف هي تحويل بيانات أضرار الرصف إلى معايير أو أدلة للتعبير عن حالة الرصف بمقياس عددي أو تقديري. تسمى تلك الأدلة، مؤشرات أداء الرصف . ويتم تقييم الرصف بعد ذلك بناءً على المتغيرات أو العوامل التي تؤثر على مؤشرات أداء الرصف. ومؤشرات أداء الرصف التي استخدمت في تقييم حالة الرصف هي دليل حالة الرصف (PCI)، ودليل مستوى الخدمة الحالي (PSI). حُسِب تقييم حالة الرصف لكل الطرق ضمن نطاق الدراسة هذه، وذلك بعد أن جمعت بيانات أضرار الرصف من الواقع ومن البيانات التي تم الحصول عليها من المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية كما في الشكلين رقم (2 و3) اللذين يبينان بيانات الطرق والأضرار والتي استخدمت من قبل فرق العمل في فرع المؤسسة بحمص. وفيما يلي شرح لطريقة حساب دليلي حالة الرصف (PCI و PSI).

4 -4 -1 دليل حالة الرصف (PCI):

هو دليل لمجموعة من العيوب تبلغ تسعة عشر عيباً. يحسب هذا الدليل من خلال تحديد نوع العيب، شدة العيب وكثافة انتشار ذلك العيب ضمن كل عينة مدروسة. ومن ثمَّ يمكن تقييم أي وصلة من الطريق باستخدام التقدير الآتي لحالة الرصف [9]:

دليل حالة الرصف (PCI) = 10 - 0منهار

دليل حالة الرصف (PCI) = 25 - 10 خطير

دليل حالة الرصف (PCI) = 40 - 25 سيئ جداً

دليل حالة الرصف (PCI) = 55 - 40 سيئ

دليل حالة الرصف (PCI) = 70 - 55 مقبول

دليل حالة الرصف (PCI) = 85 - 70 مقنع

دليل حالة الرصف (PCI) = 100 - 85 جيد

ويحسب بالمعادلة التالية رقم (1) والواردة في دليل بيفر لحساب دليل حالة الرصف [15]:

PCI=100- Deduct Point (distresses) (1)

4 -4 -2 دليل مستوى الخدمة الحالي (PSI):

هو مؤشر الأداء العام لطبقات الرصف ويعبر عن جودة القيادة أو راحتها على سطح الطريق، كما أنه مؤشر أو بيان لحالة وعورة السطح أو عدم الاستوائية

ويعتمد على الوعورة ومقدار التشققات وعمق التخدد ويعبر عنه بدرجات قياس مستوى الخدمة كما يأتي:

دليل مستوى الخدمة الحالي (PSI)=1 -0 سيئ جداً

دليل مستوى الخدمة الحالي (PSI) = 2 -1 سيئ

دليل مستوى الخدمة الحالي (PSI) = 3 -2 مقبول

دليل مستوى الخدمة الحالي (PSI) = 4 -3 جيد

دليل مستوى الخدمة الحالي (PSI) = 5 -4 جيد جداً

ويحسب بالمعادلة التالية والمطورة ضمن قطاع آشتو التجريبي [19] .

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log (1+SV) - 0.01 (C+P)^{1/2} - 1.38 (RD)^2 \quad \text{.....(2)}$$

إذ:

SV: (Slope Variance) التباين (مربع الانحراف القياسي) في الميل الطولي لكل قدم على استقامة خط و همي على سطح الطريق، في مسار العجلات، موازٍ لمحوره.

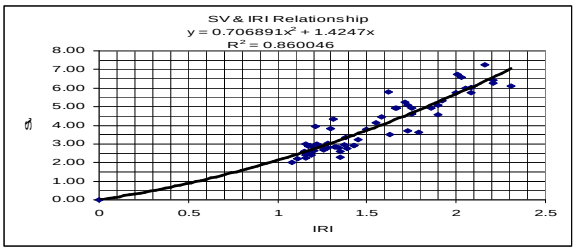
C : مساحة التشققات بالأقدام المربعة ، لكل 1000 قدم مربع من سطح الرصف.

P: مساحة الرقع، بالأقدام المربعة لكل 1000 قدم مربع من سطح الرصف.

RD: متوسط عمق التخدد بالبوصة.

ولما كان مؤشر الوعورة المعتمد حالياً في نظام إدارة الصيانة هو مؤشر الوعورة العالمي (IRI)، و للاستفادة من نموذج آشتو في تقدير الأداء الحالي والأداء المستقبلي، فقد استنبطت علاقة بين تباين الميول (SV) ومؤشر الوعورة العالمي (IRI) بحساب الأول من قياسات المقاطع الطولية (Profiles) لسطح الرصف في عدة طرق خالية من التشقق و التخدد والرقع، أما الثاني فتم حسابه آلياً، من قياسات المقاطع نفسها، بمعدات مسح الطرق وبجهاز القياس نوع رومداس (Romdas) [4]. المعادلة التالية والرسم البياني في الشكل رقم (4) توضحان العلاقة بين المؤشرين، والجدول رقم (2) يبين دراسة تلك العلاقة التي تم القيام بها خصيصى لهذا البحث من واقع البيانات التي جمعت:

$$SV = 0.706891 \times (IRI)^2 + 1.42474 \times (IRI)$$
$$R^2 = 0.86 \quad \text{.... (3)}$$



الشكل رقم (4): منحنى العلاقة بين دليل الوعورة و التباين في الميل الطولي [5]

الجدول رقم (2): يبين بيانات دراسة العلاقة بين دليل الوعورة والتباين في الميل الطولي [5]

SV from Equation	SV	IRI m/km	POINT
6.02 E-06	5.77E-	**2.08**	**S3**
7.06 E-06	6.10E-	**2.31**	**S4**
5.72 E-06	6.73E-	**2.01**	**S5**
5.81 E-06	6.58E-	**2.03**	**S6**
5.10 E-06	4.93E-	**1.86**	**S7**
3.91 E-06	4.14E-	**1.55**	**S8**
3.55 E-06	3.21E-	**1.45**	**S9**
6.38 E-06	7.25E-	**2.16**	**S10**
3.28 E-06	2.96E-	**1.37**	**S11**
2.92 E-06	2.7E-06	**1.26**	**S12**
2.73 E-06	2.63E-	**1.2**	**S13**
3.21 E-06	2.29E-	**1.35**	**S-2**
3.18 E-06	2.81E-	**1.34**	**S-3**
2.73 E-06	2.80E-	**1.2**	**S-4**
3.73 E-06	3.79E-	**1.5**	**S-5**
4.20 E-06	3.52E-	**1.63**	**S-6**
4.35 E-06	4.93E-	**1.67**	**S-7**
5.26 E-06	5.08E-	**1.9**	**S-8**
4.58 E-06	5.10E-	**1.73**	**S-9**
5.89 E-06	5.97E-	**2.05**	**S-10**
4.82 E-06	3.62E-	**1.79**	**S-11**
4.02 E-06	4.44E-	**1.58**	**S-12**
5.68 E-06	5.76E-	**2**	**S-13**
6.60 E-06	6.43E-	**2.21**	**S-14**
4.58 E-06	3.70E-	**1.73**	**S-15**

SV from Equation	SV	IRI m/km	POINT
2.60 E-06	2.99E-	**1.16**	**S-16**
3.05 E-06	3.80E-	**1.3**	**S-17**
2.76 E-06	3.96E-	**1.21**	**S-18**
2.79 E-06	3.00E-	**1.22**	**S-19**
2.67 E-06	2.91E-	**1.18**	**S-20**
2.60 E-06	2.26E-	**1.16**	**S-21**
2.60 E-06	2.39E-	**1.16**	**S-22**
2.63 E-06	2.87E-	**1.17**	**S-23**
3.48 E-06	2.92E-	**1.43**	**S-24**
2.98 E-06	2.81E-	**1.28**	**S-25**
3.31 E-06	3.37E-	**1.38**	**S-27**
4.16 E-06	5.80E-	**1.62**	**S-28**
2.98 E-06	3.02E-	**1.28**	**S-29**
4.31 E-06	4.93E-	**1.66**	**S-31**
6.60 E-06	6.27E-	**2.21**	**S-32**
4.66 E-06	4.63E-	**1.75**	**S-33**
3.21 E-06	2.59E-	**1.35**	**S-34**
5.26 E-06	4.56E-	**1.9**	**S-35**
3.11 E-06	2.82E-	**1.32**	**S-36**
2.85 E-06	2.86E-	**1.24**	**S-37**
2.45 E-06	2.19E-	**1.11**	**S-38**
2.36 E-06	2.00E-	**1.08**	**S-39**
2.70 E-06	2.38E-	**1.19**	**S-40**
2.57 E-06	2.61E-	**1.15**	**S-41**
3.35 E-06	2.78E-	**1.39**	**S-42**
3.48 E-06	2.92E-	**1.43**	**S-43**
4.50 E-06	5.23E-	**1.71**	**S-44**
3.08 E-06	4.32E-	**1.31**	**S-45**
2.67 E-06	2.54E-	**1.18**	**1**
0.00		**0**	

نظراً إلى قلة مساحة الرقع و قلة تأثيرها في قيمة المؤشر (واحد بالمئة مضروباً بالجذر التربيعي لمساحة الرقع) فقد أسقطت من المعادلة، كما استعيض عن مساحة التشققات (C) في معادلة مؤشر الخدمة الحالي (مساحة التشققات بالقدم المربع لكل 1000 قدم مربع من سطح الطريق) بالنسبة المئوية لمساحة انتشار التشققات التي تم الحصول عليها من البيانات الخاصة بالمؤسسة العامة للمواصلات الطرقية في سورية إذ إنها نسبة مئوية من مساحة المقطع المدروس ،وقد عولجت البيانات في أثناء استخدامها في التحليل لتتناسب مع متطلبات المعادلة علماً بأن هذا لا يؤثر في قيم المتحولات الرياضية للمعادلة.

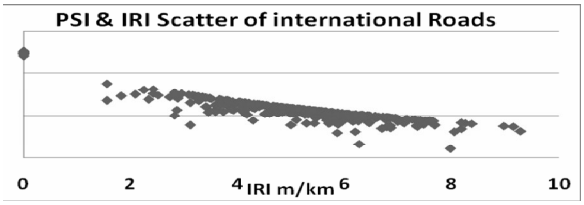
وبالتعويض عن(SV) من المعادلة(3) بالمعادلة(2) تصبح المعادلة التي تستخدم لحساب مستوى الخدمة الحالي كما يأتي:

$$PSI = 5.03 \quad 1.91 \log [1+0.706891(IRI)^2 + 1.42474(IRI)] - 0.01 \cdot (C)^{1/2} \quad 1.38 (RD)^2 \ldots. (4)$$

حيث (c)في هذه العلاقة:هي النسبة المئوية للتشققات بالمقطع المدروس

4 -4 -3 دراسة العلاقة بين دليل مستوى الخدمة (PSI) والعوامل المؤثرة SV, IRI Rut, Crack Area,

من خلال تمثيل البيانات للعلاقة بين مستوى الخدمة والمتغيرات المؤثرة به نجد أن هناك تأثيراً كبيراً للوعورة في قيمة مستوى الخدمة ويعدُّ تأثير أساس كما في الشكل رقم (5) وللتأكد من ذلك التأثير فقد درست العلاقة بين دليل مستوى الخدمة و قياسات الانحرافات الأفقية للطريق، أمَّا تأثير التشققات على مستوى الخدمة فهو متغير ويؤثر في مستوى الخدمة لأن التشققات من العيوب الأساسية المنتشرة على شبكة الطرق في سورية.



الشكل رقم (5): منحنى العلاقة بين دليل مستوى الخدمة الحالي ودليل الوعورة للعينة المدروسة [5]

يبين الشكل رقم (4) المنحنى البياني لتباين الميول (SV) بدلالة مؤشر الوعورة العالمي (IRI) كما بين الشكل رقم (5) المنحنى البياني لدليل مستوى الخدمة الحالي (PSI) ودليل الوعورة العالمي (IRI) للعينة المدروسة، ومن هذين الشكلين نستنتج إمكانية استخدام علاقة حساب الـ PSI رقم (4) التي أعيد تشكيلها من العلاقة(2) وبدلالة دليل الوعورة العالمي بدلاً من تباين الميول، لتقييم الرصف ومن ثمَّ في نماذج التنبؤ بحالة الرصف.

قيمت حالة الرصف العامة وذلك حسب التقسيم الإداري للشبكة، والمقطع الواحد بطول واحد كيلومتر تقريباً. وكذلك تم التقييم حسب العوامل المختلفة كما في الفقرات التالية التي تبين متوسط تقييم حالة الطرق.

4 -4 -4 التقييم العام للطرق حسب العوامل المختلفة:

4 -4 -4 -1 التقييم العام للطرق حسب التصنيف الإداري(General Pavement Evaluation):

صنفت المقاطع حسب تصنيف الطرق دولية، رئيسة وثانوية، ومن ثمَّ حُسب معدل تدهور الطرق حسب تصنيفها، والجدول رقم (3) يبين معدل حالة الرصف والوعورة للطرق.

الجدول رقم (3): يبين متوسط أدلة التقييم حسب نوع الطرق

م	مؤشر التقييم	الطرق الدولية	الطرق الرئيسية	الطرق الثانوية
1	متوسط دليل حالة الرصف (PCI)	52,6	40,2	66,8
2	متوسط دليل مستوى الخدمة الحالي (PSI)	2,6	2	3,3
3	متوسط دليل الوعورة العالمي (IRI)	4,9	5,7	4,7

4 -4- 4 -2 - عمر الرصف (Pavement Age) :

يرتبط تدهور حالة الرصف جزئياً بالزمن أو عمر الرصف. فبمرور الزمن، يزداد تصلب الإسفلت وتقادمه، ومن ثمَّ يصبح أكثر عرضة للتقصف وحدوث التشققات. عند تطوير نماذج التنبؤ بأداء الرصف، فإن عمر الرصف يعتبر من تاريخ الإنشاء أو من تاريخ آخر صيانة أجريت. ولهذا جمعت الوصلات بناء على فئات عمر الرصف حسب الآتي:

المجموعة الأولى 3 0 سنوات جديد جداً

المجموعة الثانية 7 3 سنوات جديد

المجموعة الثالثة 10 - 7 سنوات متوسط

المجموعة الرابعة > 10 سنوات قديم

الجدول رقم (4) يبيّن قيمة متوسط تقييم حالة الرصف والوعورة حسب توزع الفئات العمرية لأصناف الطرق. ونجد أن معدل التدهور لكل مؤشر يكون متناسباً طرداً في حين مؤشر الوعورة يتناسب عكساً مع حالة الطرق وهي علاقة منطقية تدل على أن البيانات تناسب استنتاج نماذج التنبؤ بحالة الرصف.

الجدول رقم (4): متوسط مؤشرات حالة الرصف والوعورة لأصناف الطرق حسب عمر الرصف

نوع الطريق		الطرق الدولية			الطرق الرئيسية			الطرق الثانوية		
مؤشر حالة الرصف		PCI	PSI	IRI	PCI	PSI	IRI	PCI	PSI	IRI
عمر الرصف	1 (جديد جداً)	99	5	--	99,3	4,9	--	94,8	4,9	--
	2 (جديد)	76,5	3,9	1,7	69,1	3,4	--	54,5	3,5	--
	3 (متوسط)	47,9	2,4	4,7	46,9	2,3	4,7	60	2,9	4,3
	4 (قديم)	32	1,6	6,7	32,3	1,6	6,2	28	1,5	5,2

من الجدول نجد أن متوسط مؤشرات التقييم للمقاطع التي تكون في المجموعة الثالثة والرابعة للفئات العمرية تكون ذات تدهور كبير وواضح عن بقية المجموعات الأولى والثانية.

إن معدل وعورة الطرق بعد مرور 7 سنوات يصبح كبيراً ويعبر عن وعورة عالية في الطرق؛ مما يدل على أن عمر طبقات الرصف هو في المتوسط سبع سنوات ويحتاج الرصف بعدها إلى إعادة تنفيذ طبقة

التغطية لتحسين معدل الوعورة ورفع كفاءة طبقات الرصف كما هو واضح من الجدول رقم (4).

4 -4- 4 -3 -مستوى حجم المرور (Traffic Levels)

يؤثر حجم المرور وخاصة الشاحنات الثقيلة بشكل كبير في تدهور حالة الرصف. ونتيجة لذلك تظهر حادثة الكلل أو تعب الرصف في طبقات الرصف بشكل واضح.

يمكن أن يعبر عن حجم المرور بمتوسط حجم المرور اليومي (ADT). وهو متوسط عدد المركبات باليوم/حارة. وزع حجم المرور إلى ثلاثة مستويات:

خفيف: أقل من 3000 مركبة باليوم بالحارة

متوسط: أكبر من 3000 وأقل من 6000 مركبة باليوم بالحارة

شديد: أكبر من 6000 مركبة باليوم بالحارة

قيمت حالة الرصف حسب مستويات حجم المرور في ثلاثة مستويات. وتبين أن مجموعة الطرق ذات حجم المرور الكبير تكون بحالة أسوأ من المجموعات الأخرى ذات حجم المرور الأقل، وهذا يظهر بشكل واضح عندما يكون تصنيف المركبات معروفاً ومن ثمَّ معرفة نسبة المركبات الثقيلة يوضح سبب تدهور حالة الرصف السريع وهذا ما يظهر في الطرق الدولية. ولما كانت الطرق في سورية معظمها مكون من حارتي مرور فقط فمن المفترض أن تكون الحارة الخارجية أكثر تأثراً بذلك بسبب تكرار مرور الشاحنات الثقيلة عليها مقارنة بالحارة الداخلية. الجدول رقم (5) يبين متوسط مؤشرات التقييم لحالة الرصف حسب حجم المرور اليومي وحسب أصناف الطرق والتي تبين أنها متناسبة فكلما ازداد حجم المرور اليومي ازدادت حالة الرصف سوءاً، ولكن في الطرق الرئيسة والثانوية نجد أن قيمة حالة الرصف تكون أسوأ بسبب أن الطرق ذات الحجم المروري الخفيف تكون أهميتها أقل بالنسبة إلى خطة الصيانة.

الجدول رقم (5): متوسط مؤشرات التقييم حسب أصناف الطرق وحسب مستويات حجم المرور اليومي

نوع الطريق		الطرق الدولية			الطرق الرئيسة			الطرق الثانوية		
مؤشر حالة الرصف		PCI	PSI	IRI	PCI	PSI	IRI	PCI	PSI	IRI
مستوى حجم المرور	خفيف	77	3,9	5,2	38,4	1,9	5,2	38	4	--
	متوسط	50,2	2,5	4,6	57	2,9	6,7	65	3,3	4,5
	شديد	48,8	2,4	5,2	37	1,9	5,9	61	3	5,2

4-4-4-4-نوع الصيانة (Maintenance Type):

يؤثر نوع الصيانة المنفذة على الطرق بشكل ملحوظ على سلوك أداء الرصف.وهناك نوعان من الصيانة المستخدمة جمعت الطرق على أساسها وهي الصيانة الروتينية الخفيفة (الترقيع وسد التشققات) وإعادة التأهيل. وقيمت حالة كل مجموعة بشكل منفصل. الجدول رقم (6) يبين أن متوسط مؤشرات تقييم حالة الرصف قليلة في حالة الطرق التي تمت صيانتها صيانة روتينية، وعلى العكس فإن متوسط مؤشرات حالة الرصف تكون جيدة في حالة الطرق التي تمت صيانتها بإعادة التأهيل، وهذا يدل على أن إعادة التأهيل تحسن أداء الرصف، في حين الصيانة الروتينية هي صيانة مؤقتة ولا تحسن أداء الرصف.

الجدول رقم (6): متوسط مؤشرات حالة الرصف والوعورة للطرق حسب نوع الصيانة

نوع الطريق		الطرق الدولية			الطرق الرئيسية			الطرق الثانوية		
مؤشر حالة الرصف		PCI	PSI	IRI	PCI	PSI	IRI	PCI	PSI	IRI
نوع الصيانة	صيانة روتينية	44	2,2	5.2	37	1.8	5.6	43	2.1	4.7
	طبقة تغطية (إعادة التأهيل)	98	5	--	83	4.2	--	80	4	--

إذاً من خلال ما سبق وكنتيجة لدراسة تقييم حالة الرصف مع المتغيرات المختلفة نجد أن حالة الرصف تتأثر بشكل واضح بتغير عمر الرصف وتغير نوع الصيانة على الطريق. أمَّا تأثير حالة التصريف وطبيعة استخدام الأراضي فتأثيرها كان ضعيفاً وغير واضح. أمَّا بالنسبة إلى تأثير حجم المرور اليومي على حالة الرصف فقد كان واضحاً، فكلما ازداد حجم المرور زادت حالة الرصف سوءاً. وسوف يتم تأكيد علاقة تغير العوامل المختلفة وتأثيرها على حالة الرصف من خلال دراسة تحليل إحصائي للتباين بين تلك المتغيرات ومقدار شدة تأثيرها على حالة الرصف.

5 -4 - الدراسة الإحصائية لتأثير العوامل المختلفة على سلوك الرصف (Statistical analysis of factors affecting the Pavement Performance):

لبناء نماذج رياضية صحيحة ودقيقة لأداء الرصف، فقد تمت دراسة التحليل الإحصائي لتأثير المتغيرات كلها على حالة الرصف بشكل منفصل وذلك لتحديد مدى تأثير تلك العوامل أو عدم تأثيرها على حالة الرصف إذ تم اعتماد العوامل المهمة لتدخل في تشكيل معادلة نموذج التحليل الانحداري لبناء النماذج الرياضية. أما العوامل التي تتصف بقيمة P-Value > 0.05 والتي تدل على ضعف تأثيرها في تغير حالة الرصف فقد استبعدت من بناء النماذج الرياضية للتنبؤ بحالة الرصف[14]. ومن خلال ذلك حددت العوامل الأساسية التي تدخل في بناء النماذج الرياضية.

بُني نموذج رياضي مصغر لكل عامل منفصل لدراسة تأثيره في حالة الرصف، وقد أجريت دراسة إحصائية باستخدام أحد البرامج الإحصائية الخاصة بذلك مثل برنامج الـ Minitab. إذ إن العوامل السابقة الذكر كلها والمتوافرة في جداول البيانات دُرست وتم معرفة مدى تأثير كل عامل على حدة.

دُرس تداخل التأثير بين العوامل المؤثرة المختلفة فيما بينها على تدهور حالة الرصف وذلك باستخدام المعيار الإحصائي P-Value والذي بدوره يحدد مقدار تأثير تلك العوامل وأهمية ذلك التأثير على حالة الرصف بشكل ملحوظ.

أجري تحليل التباين (ANOVA) للمتغيرات الأولية في نماذج أداء الرصف وهي: عمر الرصف AGE حالة التصريفDC ، طبيعة استخدام الأراضيLU حجم المرور اليوميADT ، ونوع الصيانة . وذلك بغية دراسة أهمية التأثير الإحصائي لتغير أو تباين قيم هذه المتغيرات على تغير أو تباين دليلي حالة الرصف ومستوى الخدمة الحالي (PCI, PSI) وبعد أن أجري التحليل المذكور وحددت المتغيرات النهائية التي سيتم استخدامها للتنبؤ بمعاملات تقييم الرصف ودليل مستوى الخدمة الحالي تم العمل على البيانات لإعداد وتصميم نماذج أداء الرصف،ولمعرفة أو تحديد الشكل الأنسب للعلاقة الرياضية بين التابع (PCI,PSI)

والمتغيرات،تم توليد توابع رياضية (اللوغاريتم العشري والطبيعي، الجذر التربيعي) للتابع والمتغيرات للاستخدام في الاستنتاج التجريبي لشكل العلاقة المناسب. وتجدر الإشارة هنا إلى أن العمل الأساسي يركز على استبعاد النقاط الشاذة (outliers)البعيدة عن المنحنى الممثل للعلاقة الرياضية المعنية وصولاً إلى المؤشرات الإحصائية المناسبة (R-Sq)مثلاً. والجدول رقم (7) يبين نتائج تحليل التباين لتأثير العوامل المختلفة على دليل حالة الرصف وذلك للطرق بأصنافها الثلاثة ومن الجدول نجد أن العوامل المؤلفة من عمر الرصف وحجم المرور ونوع الصيانة لها تأثير جيد وواضح على دليل حالة الرصف للطرق، بينما عامل طبيعة استخدام الأراضي للطرق الدولية كان غير مؤثر بدليل أن قيمة P-Value = 0.223 وهي أكبر من 0,05 بالنسبة إلى باقي أنواع الطرق وحسب التوزيع في الجدول لا توجد بيانات خاصة بالمجموعات المقسمة لهذين العاملين ولذلك دُرس تأثير عاملي طبيعة الأراضي المجاورة و حالة التصريف بشكل منفصل وعلى كامل العينة المدروسة. الجدول رقم (8) يلخص نتائج تحليل التباين لتأثير العوامل المختلفة على دليل مستوى الخدمة الحالي للرصف، وبالطريقة نفسها نجد أن عاملي طبيعة استخدام الأراضي و حالة التصريف لا يتمتعان بتأثير مهم وواضح على مستوى الخدمة الحالي للرصف، وقد تمت دراستهما بشكل منفصل. أما باقي العوامل الأخرى المبينة بالجدول فتتمتع بتأثير واضح على مستوى خدمة الطرق الحالي. نتيجة دراسة تحليل التباين نجد أن الرصف يزداد تدهوراً وسوءاً بتغير العوامل التي تؤثر به والتي تظهر تأثيراً واضحاً وهي عمر الرصف ونوع الصيانة و حجم المرور في حين طبيعة استخدام الأراضي وحالة التصريف لا تظهر تأثيراً واضحاً في حالة بحثنا هذا.

الجدول رقم (7): يبين ملخص نتائج تحليل التباين لتأثير العوامل المختلفة على دليل حالة الرصف

Pavement Condition	Road Type	Source	F-test	P-Value
PCI	International	Pavement Age	3662.694	**0.0001**
		Traffic Level	82.534	**0.0001**
		Maintenance Type	2770.095	**0.0001**
		Land Use	1.504	**0.223**
		Drainage Condition	--	--
	Primary	Pavement Age	249.024	**0.0001**
		Traffic Level	13.227	**0.0001**
		Maintenance Type	301.608	**0.0001**
		Land Use	--	--
		Drainage Condition	--	--
	Secondary	Pavement Age	416.879	**0.0001**
		Traffic Level	6.847	**0.0001**
		Maintenance Type	235.810	**0.0001**
		Land Use	--	--
		Drainage Condition	--	--

الجدول رقم (8): يبين ملخص نتائج تحليل التباين لتأثير العوامل المختلفة على مستوى الخدمة الحالي للرصف

Pavement Serviceability Index	Road Type	Source	F-test	P-Value
PSI	International	Pavement Age	3446.855	**0.0001**
		Traffic Level	85.511	**0.0001**
		Maintenance Type	3037.915	**0.0001**
		Land Use	1.766	**0.172**
		Drainage Condition	--	--
	Primary	Pavement Age	250.087	**0.0001**
		Traffic Level	13.282	**0.0001**
		Maintenance Type	301.932	**0.0001**
		Land Use	--	--
		Drainage Condition	--	--
	Secondary	Pavement Age	311.480	**0.0001**
		Traffic Level	5.710	**0.004**
		Maintenance Type	232.818	**0.0001**
		Land Use	--	--
		Drainage Condition	--	--

5-4-1 - دراسة تأثير تصنيف الطريق على حالة الرصف Statistical Analysis of the Road Classification on the Pavement Performance):

تم في الفقرات السابقة توزيع البيانات ودراستها لمجموعات مختلفة حسب تصنيف الطريق كل على حدة. وتبّين أنه يوجد تأثير واضح لنوع الطريق على تغير حالة الرصف إذ بوجود العوامل أو المتغيرات المؤثرة في حالة الرصف نفسها تختلف قيمة حالة الرصف حسب تغير نوع الطريق. فالطرق الدولية غالباً ما تكون بحالة أسوأ نتيجة حجم المرور الكبير والحمولات الكبيرة في حين الطرق الرئيسة تكون أفضل كونها تتلقى الصيانة الدورية المناسبة للحفاظ عليها قيد الاستخدام، أما الطرق الثانوية فنتيجة قلة الاستخدام و انخفاض حجم المرور عليها تكون بحالة جيدة و يكون معدل التدهور أقل. والجدول رقم (9) يبين ملخص نتائج تحليل التباين للمتغيرات المختلفة وتأثيرها على حالة الرصف لمختلف أنواع لطرق.

الجدول رقم (9): ملخص نتائج تحليل التباين لتأثير التصريف واستخدام الأراضي ونوع الطرق على حالة الرصف

Pavement Condition	Road Type	Source	F-test	P-Value
PCI	All Roads	Drainage Condition	0.239	**0.625**
		Land Use	20.683	**0.0001**
		Road Type	59.090	**0.0001**
PSI	All Roads	Drainage Condition	0.392	**0.531**
		Land Use	20.516	**0.0001**
		Road Type	57.847	**0.0001**

5 - تطوير نماذج التنبؤ بحالة الرصف (Development of the Performance Prediction Models):

كما ذكرنا في مقدمة هذا البحث أن هناك العديد من نماذج التنبؤ التي تم تطويرها في مختلف إدارات الطرق كما هو الحال في ماليزيا وإنديانا ومدينة تورينتو ومدينة الرياض وباستخدام عوامل تأثير مختلفة على حالة الرصف، وفي حالة بحثنا هذا أخذنا عدداً من العوامل المؤثرة التي تم ذكرها سابقاً والتي بينت أنها عوامل ذات تأثير فعال، في حين بعضها الآخر كانت عوامل ذات تأثير ضعيف وغير مهم على حالة الرصف مما اضطرنا إلى استبعادها من النماذج الرياضية كطبيعة استخدام الأراضي المجاورة والتصريف الجانبي. وأدرجت كافة العوامل السابقة كلها في نماذج التنبؤ في أثناء التحليل، ولكن النموذج الرياضي (في حالة إعداد أفضل النماذج) قام باستبعادها بشكل آني كما هو واضح في نتائج التحليل الإنحداري المبينة في الجدول رقم (12).

5 -1 - تحديد النموذج Model Definition:

إن الطريقة التجريبية (التحليل الانحداري) بسيطة وأكثر ملاءمة لتحليل البيانات المتوفرة في مجال هذا البحث. فهي طريقة عملية، بسيطة وسهلة للتطوير، وتعطي نتائج دقيقة وصحيحة. لما كان لا يوجد بيانات متكررة لمدة طويلة ومستمرة لعينة الطرق المدروسة، فمن الضروري توزيع البيانات إلى مجموعات متماثلة أو متجانسة من حيث مواصفات مقاطع الطرق، ولكن تختلف في عمر الرصف، وهذا يساعد في التعويض عن تأمين البيانات المتكررة والمستمرة للمقاطع نفسها [7].

أجريت الدراسة الإحصائية لنماذج التنبؤ وذلك على البيانات مجتمعة لمعرفة مدى صحة البيانات، ومن ثم تم تحديد النماذج الرياضية التي تعدُّ أكثر دقة وسهولة، وهي النماذج الخطية من الدرجة الأولى، والثانية التي تعبر بشكل فعلي عن نمط البيانات كما في نموذج المعادلة رقم (5). بعد عدة محاولات تجريبية للبيانات فقد تم اختيار النموذج الرياضي من الدرجة الأولى بتشكيل العامل المؤثر بحالة الرصف والمبين بالمعادلة التالية سواء لدليل حالة الرصف (PCI) أو لدليل مستوى الخدمة الحالي (PSI):

(PCI or PSI)=a+b*Age+c*TL+d*MT…. (5)

إذ إن:

PCI, PSI= دليل حالة الرصف الحالي أو مستوى الخدمة الحالي

Age=مستوى عمر الرصف (1= أقل من 3 سنوات، 2= أقل من 7 سنوات، 3= أقل من 10 سنوات، 4=أكبر من 10 سنوات)

TL=مستوى حجم المرور (1= خفيف أقل من 3000 مركبة باليوم، 2= متوسط أقل من 6000 مركبة باليوم، 3= عالٍ أكثر م 6000 مركبة باليوم)

MT=نوع الصيانة (0 = صيانة روتينية خفيفة، 1= إعادة التأهيل)

A, b, c, d=عوامل رقمية نتيجة التحليل الانحداري

درس نوعان لنماذج التنبؤ بحالة الرصف، الأول هو علاقة حالة الرصف مع بالعوامل المؤثرة في حالة الرصف كلها مجتمعة بنموذج واحد، وكذلك دراسة تأثير عمر الرصف بنموذج منفصل. والثاني هو علاقة دليل مستوى الخدمة الحالي بالعوامل مجتمعة و بعمر الرصف بشكل منفصل. وفي هذا البحث تم فصل النماذج في حالة الصيانة الروتينية وحالة إعادة التأهيل وذلك لأن تأثير الصيانة كبير على حالة الرصف. أيضاً كررت الدراسة لكل نوع من أنواع الطرق الثلاثة كلها على حدة، وذلك لأن نمط التدهور يختلف حسب نوع الطريق، كما أظهرت نتائج دراسة التحليل الإحصائي.

5 -2 - تـــصميم الواقـــع التجريبـــي للنمـــوذج الرياضي Design of Experiment:

ولتحديد واختيار أفضل النماذج الإحصائية فقد تم اختبار العديد من المفاهيم الإحصائية الرياضية، على مجموعات متشابهة ومتجانسة من حيث المواصفات والصفات الأخرى ولكن تختلف بعامل واحد على سبيل المثال عمر الرصف. النقاط الأساسية التالية تم اتباعها كقواعد أساسية لتحديد أفضل وأدق النماذج:

- المنحى العام لتوزع بيانات قراءات حالة الرصف والتي تعطي توزعاً منطقياً بميل مقبول.
- عدد نقاط الاختبار، إذ كلما كان العدد كبيراً مثَّل الواقع أكثر.
- تحديد عامل دقة النماذج (R^2)، إذ يعبر عن مدى ملاءمة النموذج الرياضي لتمثيل البيانات.
- P-Value يجب أن تكون أقل من 0,05 لكل متغيِّر، ليكون مؤثراً بشكل قوي أو ليعبر عن قوة العلاقة بين المتغير وبين العوامل الرئيسية المتنبأ بها.
- بعض العلاقات الرياضية مثل غير الخطية ألغيت لأنها لا تعبر بشكل فعلي عن أداء الرصف وسلوكه.

5 -3 -نتائج بنـــاء النمـــاذج الرياضـــية Results of Mathematical Models:

5 -3- 1 -نماذج التنبؤ بأداء الرصف باستخدام دليل حالة الرصف Pavement Performance Models Using PCI:

تم اعتبار نوعين للصيانة في التحليل الإحصائي، وهما الصيانة الروتينية البسيطة وإعادة التأهيل. فُصلت البيانات حسب نوع الصيانة، ودرست نماذج منفصلة لكل نوع صيانة، هذا فضلاً عن عامل العمر. وقد حددت نماذج الأداء باستخدام العوامل كلها ومن ثم تحديد النموذج الأفضل.

بشكل عام لا توجد قوة ارتباط لعاملي حالة التصريف الجانبي وكذلك طبيعة استخدام الأراضي المجاورة وذلك لأن قيمة P-Value كانت أكبر من 0,05 وهذا دليل إحصائي على ضعف قوة الترابط بين بيانات حالة الرصف وبيانات حالة التصريف وكذلك بيانات طبيعة استخدام الأراضي أي لا يوجد تأثير لذاك العاملين على معدل انحدار حالة الرصف. وتبين الأشكال التالية (6) و(7) و(8) التمثيل البياني لنماذج التنبؤ لحالة الرصف والبيانات.حيث نلاحظ أن معدل تدهور الرصف بشكل عام مع العمر يكون منطقياً ويعبر عن قوة العلاقة بين العمر وحالة الرصف كما في الشكل رقم (6) وهذا منطقي وهو أساس للنماذج الأخرى . كما نلاحظ أن معدل تدهور الرصف في حالة الصيانة الروتينية، أسرع منه في حالة إعادة التأهيل إذ بالمقارنة بين الشكل رقم (7) والشكل رقم (8) نجد أنه عند عمر الرصف 10 سنوات تقل قيمة حالة الرصف إلى 50 مع أنها تحافظ على قيمة 80 للعمر نفسه بحالة إعادة التأهيل. وهذا يدل على أن إعادة التأهيل تمد بعمر الرصف أو بمعنى آخر تؤخر تدهور حالة الرصف إلى فترة أطول من الزمن عن تلك الصيانة الروتينية والتي تكون فقط لحماية الرصف من العوامل الجوية. وهذا أيضاً يساعدنا في فهم مبدأ الصيانة الوظيفية والصيانة الإنشائية للرصف، إذ الأولى تهتم بصيانة العيوب السطحية التي من شأنها المحافظة على الرصف قيد التشغيل مدة بسيطة وذلك حتى يتم اعتماد الصيانة الأساسية الإنشائية لتقوية طبقات الرصف. من الأشكال نجد أن إعادة التأهيل تمد بعمر الرصف ما يقارب 10 سنوات حتى يصل معدل التدهور إلى 40 مقارنة بالصيانة الروتينية.

والواضح من الأشكال رقم (9) و(10) أن تأثير عامل المرور والتصريف واستخدام الأراضي المجاورة يكون قليلاً وضعيفاً على حالة الرصف وذلك لأنه في

الطرق الدولية، لا يوجد تغير كبير وواضح في حجم المرور بحيث يؤثر تأثيراً ملموساً بحالة الرصف وبالمثل إن التصريف هنا يعتمد على التصريف السطحي والميول الطولية للجوانب وكذلك طبيعة استخدام الأراضي تكون بشكل عام واحدة ولا يوجد تنوع بطبيعة الاستخدام بجانب الطرق الدولية. إذاً العوامل الأساسية الواضحة التأثير على الرصف في الطرق الدولية هي العمر ونوع الصيانة. إذ من الجدول رقم (12) نجد أن نماذج التنبؤ بحالة الرصف للطرق الدولية تكون مناسبة في حالة استخدام العمر وحالة الصيانة. ويمكن استخدام النموذج الذي يضم العاملين السابقين أو يمكن استخدام نموذج التنبؤ حسب نوع الصيانة.

5 -3- 2 - نماذج التنبؤ بأداء الرصف باستخدام دليل مستوى الخدمة الحالي Pavement Performance Models Using PSI:

بالطريقة نفسها وبالمثل درست نماذج التنبؤ بحالة الرصف باستخدام دليل مستوى الخدمة الحالي للطريق (PSI) الذي يعبر عن راحة القيادة أو دليل استخدام الطريق. بشكل عام لا توجد قوة في التأثير لعاملي حالة التصريف الجانبي وطبيعة استخدام الأراضي المجاورة، وذلك لأن قيمة P-Value كانت أكبر من 0,05 وهذا دليل على إن مستوى الخدمة الحالي يتأثر بشكل واضح بعدم استوائية الطريق وظهور الأضرار على السطح ، أي لا يوجد تأثير للعاملين على معدل انحدار دليل مستوى الخدمة الحالي. فالنماذج المدروسة على البيانات والتي أدرجت في الجدول رقم (12) اختيرت من عدة محاولات لدراسة دليل مستوى الخدمة الحالي. نلاحظ أن دليل مستوى الخدمة يتأثر تأثراً كبيراً بنوع الصيانة كما نلاحظ أن معدل تدهور الرصف بشكل عام مع العمر منطقي ويعبر عن قوة العلاقة بين العمر وحالة الرصف كما في الشكل رقم (11) وهذا منطقي وهو أساس للنماذج الأخرى إذ مع الزمن تزداد حالة الرصف سوءاً ومن ثمَّ تظهر الأضرار على السطح مما يؤدي إلى انخفاض معدل مستوى الخدمة للرصف.

ونلاحظ أن معدل تدهور الرصف في حالة الصيانة الروتينية يكون أسرع مما هو في حالة إعادة التأهيل حيث من الشكل رقم (12) والشكل رقم (13) وبالمقارنة نجد أنه عند عمر الرصف 10 سنوات تقل قيمة مستوى الخدمة إلى 2,5 لحالة الصيانة الروتينية بالمقارنة مع أنها تحافظ على قيمة 3,5 للعمر نفسه بحالة إعادة التأهيل. وهذا يدل على أن نوع الصيانة الجيدة أو الأساسية يُحِّسن في مستوى الخدمة للطريق أو بمعنى آخر يؤخر تدهور حالة الرصف إلى مدة أطول من الزمن عن تلك الصيانة الروتينية والتي تكون لحماية الرصف من العوامل الجوية. وهذا أيضاً يساعدنا في فهم مبدأ إعادة تسوية السطوح بطبقة تسوية (تغطية) لتحسين مستوى خدمة الطريق في حال كانت قيمة الوعورة عالية.

من الأشكال نجد أن إعادة التأهيل تمد بعمر الرصف ما يقارب 10 سنوات حتى يصل معدل التدهور إلى 3 مقارنة بالصيانة الروتينية التي عند العمر نفسه تكون قيمة دليل مستوى الخدمة 2,5.

إذاً بالرجوع للنماذج المختلفة لدليل حالة الرصف ومستوى خدمة الطريق، ومن الجدول رقم (10) نجد أن النموذج رقم (4) هو الأفضل والمقترح عملياً لأنه يضم عامل العمر ونوع الصيانة ومن ثمَّ يمكن استخدامه بشكل عام إذ إنَّ معامل الثقة R-Square يبلغ 92,4% لدليل حالة الرصف و91,8% لدليل مستوى الخدمة الحالي.

ومن خلال التحليل الإحصائي تبين أن معامل المرور والتصريف وطبيعة الاستخدام للأراضي المجاورة تم حذفها لأنها لا تؤثر بشكل مباشر في حالة الرصف. وسيتم مناقشة مقارنة النماذج وتحديد الأفضل منها في الفقرات التالية وهذا ينطبق أيضاً على نماذج التنبؤ للطرق الرئيسية في الجدول رقم (11) والطرق الثانوية في الجدول رقم (12). إذاً النماذج المقترحة هي النماذج رقم (4) في تلك الجداول لأنواع الطرق.

الجدول رقم (10): نتائج نماذج التنبؤ بحالة الرصف للطرق الدولية

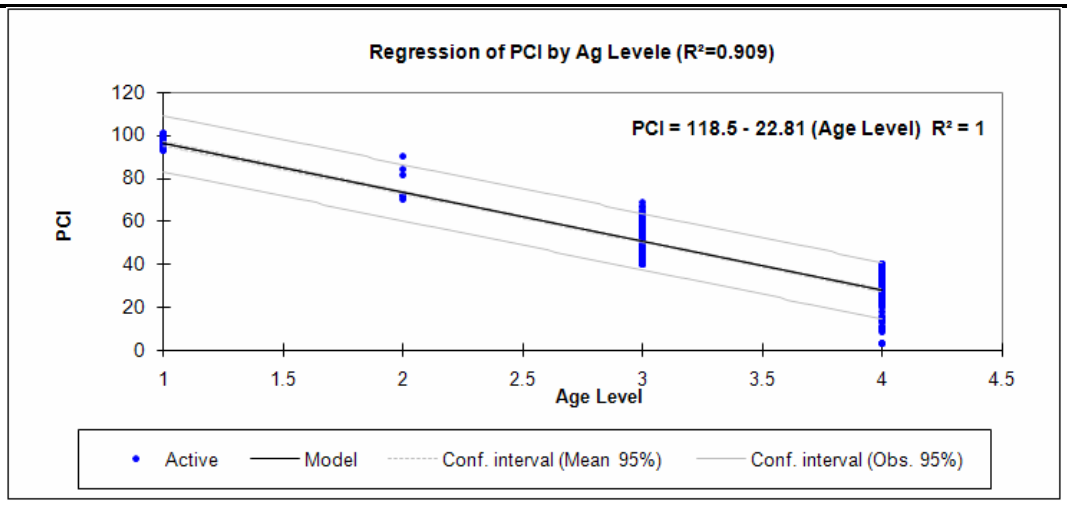
No.	Prediction Models	No. Of Observation	R Square	Adjusted R Square	P-Value
Pavement Condition Index (PCI)					
1	PCI = 118.9- 22.8 * Age	846	0.909	0.909	0.0001
2	PCI = 102.7 18 * Age for (Routine	717	0.664	0.663	0.0001
3	PCI = 109.7 - 10.5 * Age for (Overlay	129	0.637	0.634	0.0001
4	PCI = 102.9 + 14.3 * MT - 18.1 * Age	844	0.924	0.924	0.0001
Present Serviceability Index (PSI)					
1	PSI = 5.96 - 1.15 * Age	846	0.895	0.895	0.0001
2	PSI = 4.96 - 0.85 * Age for (Routine	717	0.617	0.616	0.0001
3	PSI = 5.94 - 0.93 * Age for (Overlay	129	0.647	0.645	0.0001
4	PSI = 4.96 + 0.89 * MT - 0.85 * Age	844	0.918	0.918	0.0001

الجدول رقم (11): نتائج نماذج التنبؤ بحالة الرصف للطرق الرئيسية

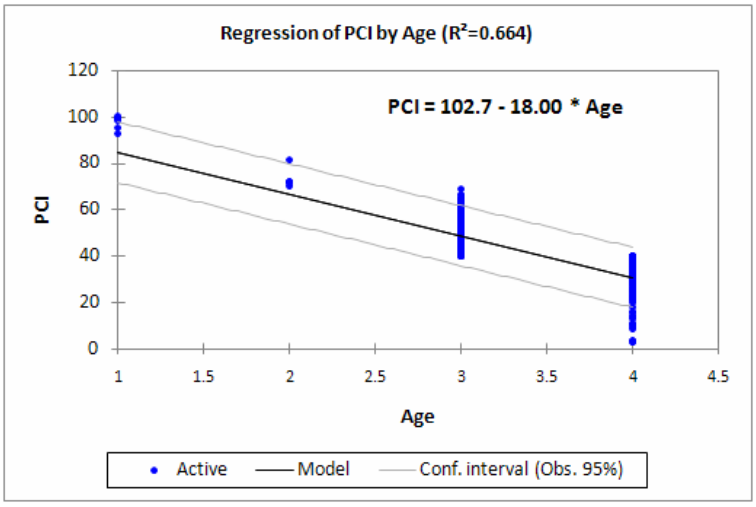
No.	Prediction Models	No. Of Observation	R Square	Adjusted R-Square	P-Value
Pavement Condition Index (PCI)					
1	PCI = 108.6 -19.4 * Age	155	0.794	0.793	0.0001
2	PCI = 83.69 - 12.84*Age for (Routine Maintenance)	143	0.543	0.540	0.0001
3	PCI =113.69-16.33*Age for(Overlay Maintenance)	12	0.881	0.896	0.0001
4	PCI = 86.70 + 22.08* MT- 13.66* Age (Best Model)	155	0. 870	0.869	0.0001
Present Serviceability Index (PSI)					
1	PSI = 5.43 - 0.97 * Age	155	0.794	0.793	0.0001
2	PSI = 4.18 - 0.64 * Age for (Routine Maintenance)	143	0.543	0.540	0.0001
3	PSI = 5.69 - 0.82 * Age for (Overlay Maintenance)	12	0.880	0.868	0.0001
4	PSI = 4.33 + 1.10 * MT - 0.68 * Age (Best Model)	155	0.871	0.868	0.0001

الجدول رقم (12): نتائج نماذج التنبؤ بحالة الرصف للطرق الثانوية

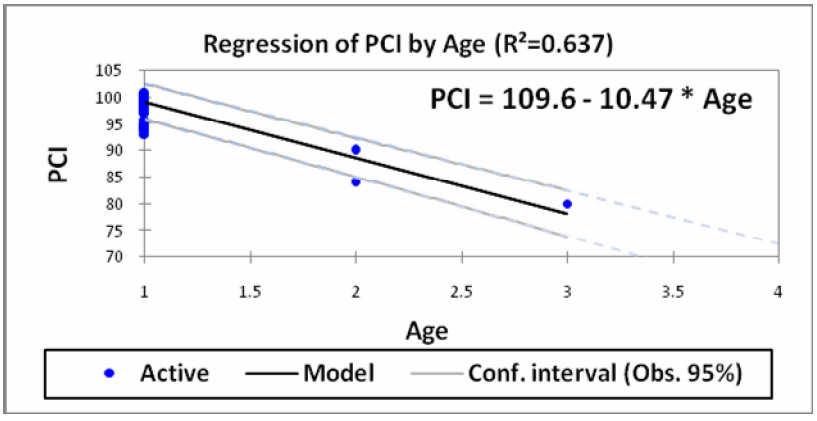
No.	Prediction Models	No. Of Observation	R Square	Adjusted R Square	p -Value
Pavement Condition Index (PCI)					
1	PCI = 116.61 - 19.97 * Age	152	0.855	0.854	0.0001
2	PCI=128.45-25.07*Age for (Routine Maintenance)	54	0.744	0.739	0.0001
3	PCI = 107.92 - 14.08* Age for (Overlay Maintenance)	98	0.862	0.860	0.0001
4	PCI = 86.70 + 22.08 * MT - 13.66 * Age (Best Model)	152	0. 912	0.911	0.0001
Present Serviceability Index (PSI)					
1	PSI = 5.97 - 1.05 * Age	152	0.844	0.843	0.0001
2	PSI = 5.29 - 0.93 * Age for (Routine Maintenance)	54	0.576	0.568	0.0001
3	PSI = 5.63 - 0.79 * Age for (Overlay Maintenance)	98	0.807	0.805	0.0001
4	PSI = 4.87 + 0.79 * MT - 0.81 * Age (Best Model)	152	0.902	0.901	0.0001



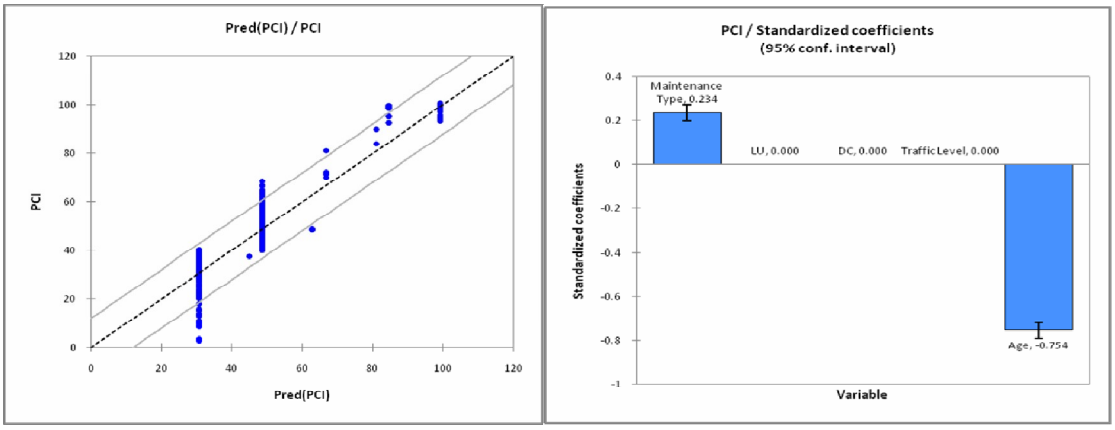
الشكل رقم (6): منحنى أداء الرصف باستخدام دليل حالة الرصف مع العمر النموذج (1)



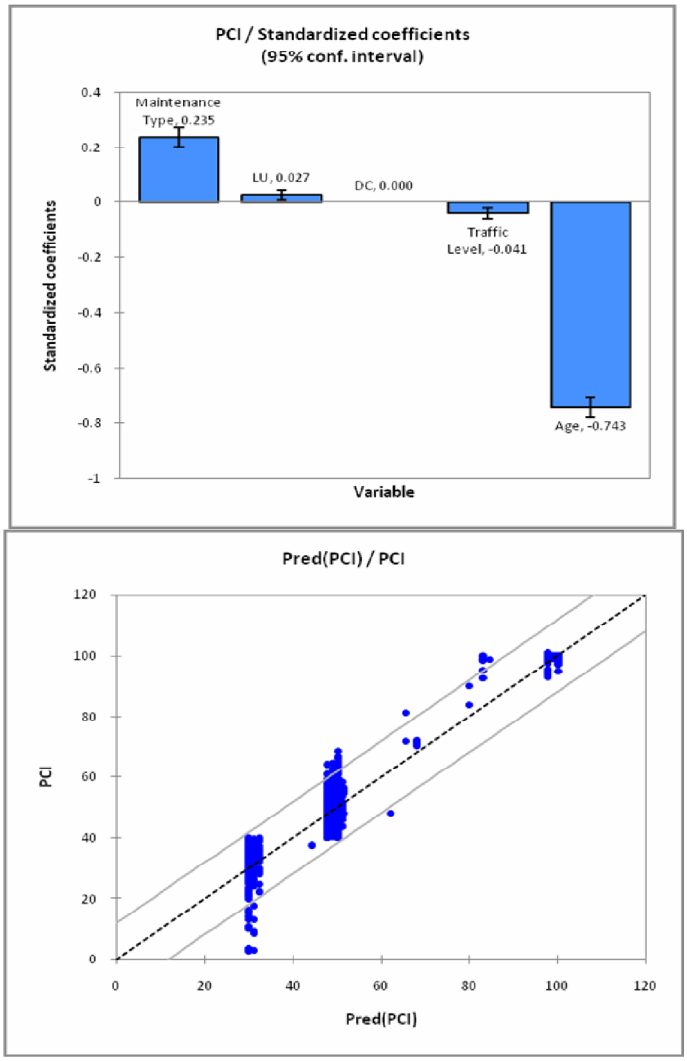
الشكل رقم (7): منحنى أداء الرصف باستخدام دليل حالة الرصف مع العمر لحالة الصيانة الروتينية النموذج (2)



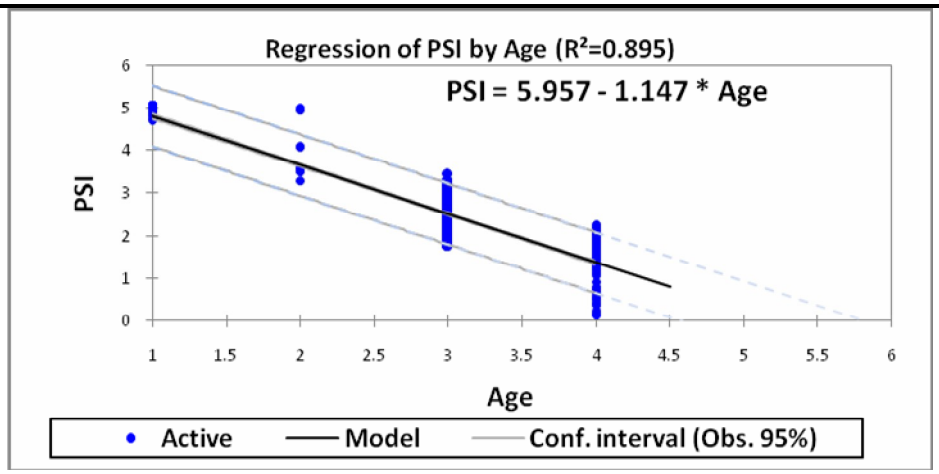
الشكل رقم (8): منحنى أداء الرصف باستخدام دليل حالة الرصف مع العمر لحالة إعادة التأهيل النموذج (3)



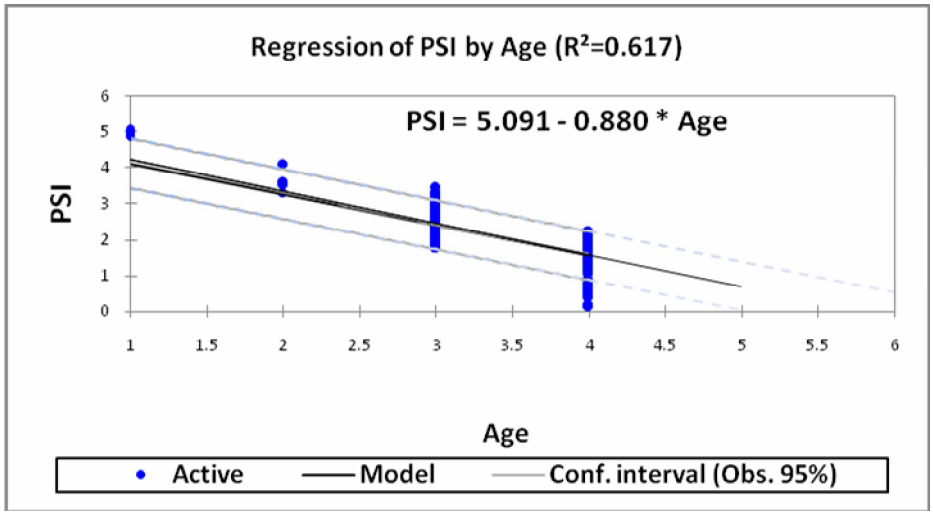
الشكل رقم (9): أفضل منحنى أداء الرصف باستخدام دليل حالة الرصف مع العمر والعوامل الأخرى النموذج (4)



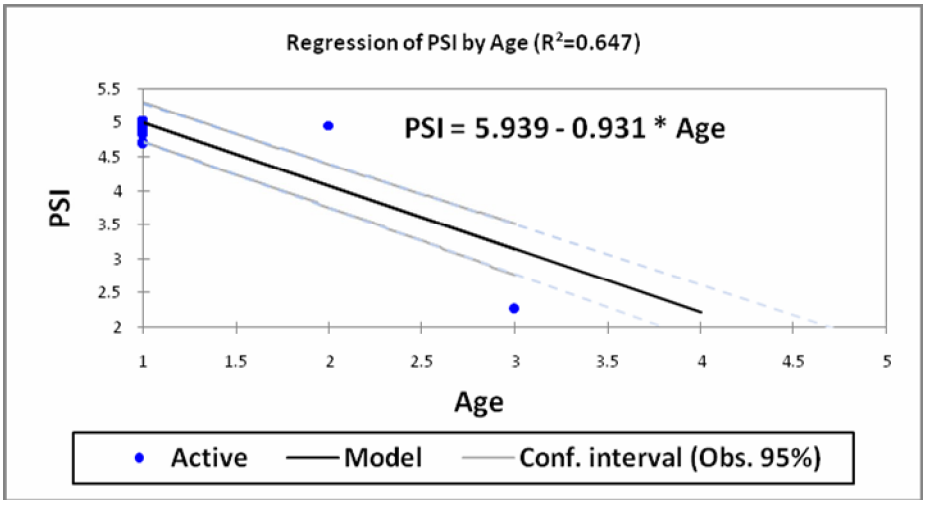
الشكل رقم (10): منحنى أداء الرصف باستخدام دليل حالة الرصف مع العمر والعوامل الأخرى النموذج (5)



الشكل رقم (11): منحني أداء الرصف باستخدام دليل مستوى الخدمة الحالي مع العمر النموذج (1)



الشكل رقم (12): منحنى أداء الرصف باستخدام دليل مستوى الخدمة الحالي مع العمر (صيانة روتينية) النموذج (2)



الشكل رقم (13): منحنى أداء الرصف باستخدام دليل مستوى الخدمة الحالي مع العمر (صيانة أساسية) النموذج (3)

5 -4 - التحقق من صحة ودقة نماذج التنبؤ بأداء الرصف Pavement Performance Models Validation and Verification:

حتى يكون نموذج الأداء صحيحاً ودقيقاً يجب استخدامه ضمن المجال الفعلي للبيانات التي استخدمت في أثناء تطوير ذلك النموذج. ومن ثمَّ تم معايرة وتجريب النماذج باستخدام بيانات فعلية. إذ تم تطبيق النموذج والحصول على النتائج الحسابية وقورنت بالقيم الفعلية نفسها لبعض المقاطع والتحقق من مقدار دقة نتائج النماذج في التنبؤ بحالة الرصف. وهنا يجب أن نذكر أن كافة النماذج المطورة تكون ممكنة التطبيق فقط ضمن مجال القيم الفعلية للعوامل الداخلة في بناء النماذج، إذ يجب اعتبار القيم الدنيا والعظمى للعوامل كلها. ولا يمكن لتلك النماذج أن تكون قابلة للتطبيق خارج تلك الحدود، وعندها إذا كان الأمر كذلك فلابد من تطوير وتحديث نماذج التنبؤ عند تغير قيم تلك الحدود.

5 -4 -1 - مقارنة نتائج النماذج فيما بينها (Comparison Report):

بغية تسهيل اتخاذ القرار المناسب بشأن اختيار النموذج الأنسب، تتم مقارنة النتائج التي تعطيها النماذج فيما بينها اعتماداً على مدخلات محددة موحدة للمتغيرات المعتمدة (Age, MT).

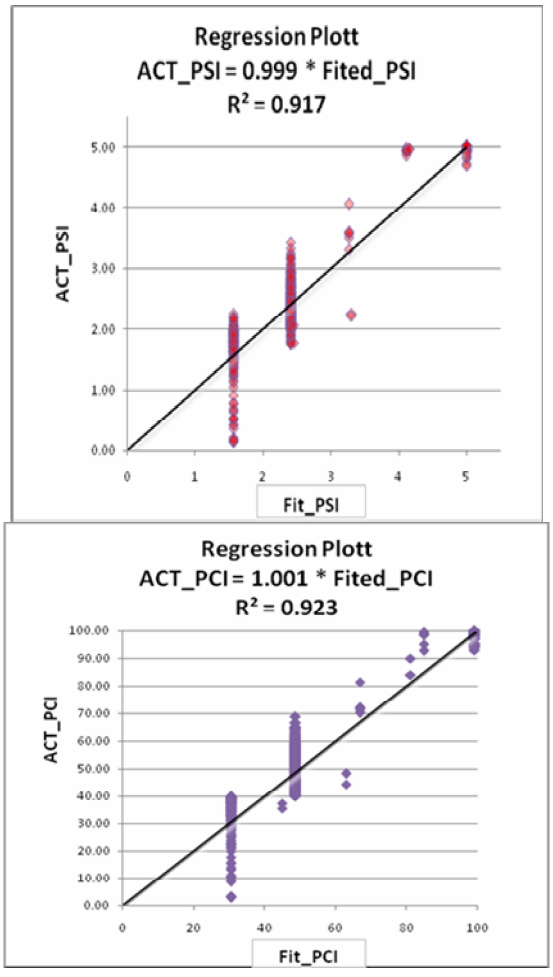
مع أن النتائج التي تعطيها النماذج متقاربة فيما بينها إلا أن نتائج النماذج المقترحة تعدُّ الأنسب من حيث مقاربتها للبيانات الفعلية (كما ذكر أعلاه) . كما أن النماذج المقترحة تعدُّ مناسبة من حيث الصيغة الرياضية.

5 -4 -2 - التحقق من نتائج نماذج الأداء (Verification Report):

بعد أن تم تطوير مجموعة من النماذج أجري الحساب التطبيقي لقيم دليل حالة الرصف (PCI) من خلال هذه النماذج ومقارنتها مع القيم الفعلية وفقاً لبيانات المسح البصري لأضرار الرصف. مع أن النتائج التي تعطيها هذه النماذج موضوع التطوير تعدُّ متقاربة فيما بينها ومقاربة للبيانات الفعلية، إلا أن نتائج النماذج المقترحة رقم (4) تعدُّ الأقرب والأدق لأن الفروقات بينها وبين البيانات الفعلية هي الأقل (راجع الجداول أدناه). الجداول (15) و (16) و(17) تبين وتوضح نتائج المقارنة بين القيم المحسوبة والقيم الفعلية لأدلة حالة الرصف وذلك لنماذج التنبؤ مع العمر والعوامل المختلفة كلها وكذلك للنماذج حسب نوع الصيانة (روتينية أو إعادة التأهيل) وذلك لكل صنف من أصناف الطرق. الجداول السابقة تتضمن قيمة الأدلة المحسوبة من النماذج المطورة وبجانبها نسبة الفرق بين القيمة المحسوبة والقيمة الفعلية. وعلى سبيل المثال في الجدول رقم (15) للطرق الدولية نجد أن نسبة الفروقات التي هي أقل من 10% بين المحسوبة والفعلية لدليل حالة الرصف تتراوح بين 88.4 % إلى 96.9% بينما الفروقات التي هي أكثر من 10% لا تتجاوز نسبتها 3% إلى 11.5%. وبالمثل بالنسبة إلى دليل مستوى الخدمة الحالي إذ أن نسبة الفروقات التي هي أقل من 0.5 % بين القيم المحسوبة والفعلية لنماذج التنبؤ بدليل مستوى الخدمة الحالي تتراوح أيضاً بين 85.3% و 96.9%. ولا تزيد نسبة المقاطع التي فيها فرق أكبر من 0.5 % على نسبة تتراوح بين 3% و 14.6% أيضاً وذلك للطرق الدولية. الجدول رقم (15) يبين نتائج المقارنة والتحقق من دقة ومصداقية النماذج للطرق الدولية. الشكل رقم (14) بين الرسم البياني للبيانات الفعلية والمحسوبة للنموذج رقم (4) لدليلي حالة الرصف ومستوى الخدمة الحالي

من نماذج الطرق الدولية التي تبين دقة النتائج للنماذج المطورة وصحتها.

بالمثل الجدول رقم (16) و(17) يحتوي على بيانات التحقق من دقة النمـــاذج وذلـــك للطـــرق الرئيـــسية والثانوية على التوالي، ومنها نجد أن نسبة الفروقـــات بين القيم المحسوبة والفعلية لدليل حالة الرصف ودليل مستوى الخدمة الحالي تقع ضمن المجال المقبول ومن ثمَّ هي مقبولة وصحيحة.



الشكل رقم (14): التمثيل البياني للبيانات الفعلية والمحسوبة لدليلي حالة الرصف ومستوى الخدمة للطرق الدولية

6 - نتائج البحث (Conclusion):

تضمن هذا البحث كما تم عرضه سابقاً الدراسة التحليلية الإحصائية لتطوير واستنباط نماذج التنبؤ بأداء وسلوك الرصف. وقد تضمن كذلك الاختبار الإحصائي الأولي للتحقق من صحة البيانات ومدى ملاءمتها للدراسة، مع دراسة وتحديد العوامل الأكثر أهمية التي تؤثر في حالة الرصف، وبناء النماذج الرياضية والتحقق من دقة نتائجها. ويمكن أن نلخص نتائج تلك الدراسة بالنقاط التالية:

- نتيجة اختبار التوزع الطبيعي للبيانات، فقد تبين أن البيانات تتمتع بتوزع طبيعي جيد وملائم لأهداف البحث.
- أظهرت الدراسة الإحصائية أن العوامل أو المتغيرات التي تؤثر بحالة الرصف (عمر الرصف، نوع الصيانة، حجم المرور) لها تأثير كبير وواضح على حالة الرصف. في حين عوامل (التصريف الجانبي وطبيعة استخدام الأراضي) لا تؤثر بشكل واضح على حالة الرصف مما أدى إلى استبعادها من نماذج التنبؤ الرياضية.
- أربعة وعشرون نموذج تنبؤ رياضي درسوا بالتفصيل وذلك للتنبؤ بدليل حالة الرصف ودليل مستوى خدمة الطريق الحالي والتي تعدُّ معايير لتقييم الرصف. حيث تم دراسة ثمانية نماذج لكل صنف من أصناف الطرق، موزعة على أربعة نماذج لكل دليل تقييم ضمن كل صنف من أصناف الطرق، لتحديد نماذج التنبؤ حسب طريقة الصيانة وتحديد أفضل تمثيل للبيانات.
- بينت دراسة مقارنة النماذج ودراسة التحقق من دقة وصحة النماذج، أن الفروقات بين القيم الفعلية لحالة الرصف والقيم المحسوبة من النماذج قليلة ومنطقية إذ إنَّها ضمن مجال الخطأ المقبول لأدلة تقييم الرصف.
- **ضرورة توفر بيانات للعوامل كلها التي يمكن أن تؤثر بحالة الرصف وبما يتيح المجال لدراسة**

تأثيرها لأننا في بحثنا هذا استبعدنا عامل التصريف الجانبي ذا التأثير الذي قد يكون مهماً فيما لو توفرت بياناته بشكل كامل ودقيق وكذلك عامل طبيعة استخدام الأراضي.

7 - التوصيات التطبيقية للبحث:

بناءً على دراسة نتائج مقارنة القيم الفعلية لمعاملات (دلائل) حالة الرصف والقيم المحسوبة من معادلات النماذج المستنبطة فقد تبين أن أفضل النماذج للتنبؤ بحالة الرصف والتي يوصى باستخدامها هي نموذج رياضي واحد لكل صنف من أصناف الطرق الثلاث، وهي نموذج للتنبؤ بدليل حالة الرصف ونموذج للتنبؤ بدليل مستوى الخدمة الحالي. تلك النماذج مختلفة حسب صنف الطريق وهي بدلالة عمر الرصف ونوع الصيانة التي أجريت مؤخراً على الطرق التي يتم دراستها. تلك النماذج تم إدراجها بالجدول التالي ونلاحظ أن دليل دقة النماذج المقترحة (R2) لكل النماذج أكبر من 80% مما يدل على دقة النماذج لتمثيلها للبيانات وصحتها بشكل فعلي.

النماذج المقترحة حسب نوع الطريق هي كما في الجدول الآتي:

No.	Prediction Models	No. Of Observation	R Square	Adjusted R Square	P - Value
للطرق الدولية	PCI = 102.9 + 14.3 * MT - 18.1 * Age	844	0.924	0.924	0.0001
	PSI = 4.96 + 0.89 * MT - 0.85 * Age	844	0.918	0.918	0.0001
للطرق الرئيسية	PCI = 86.70 + 22.08 * MT - 13.66 * Age	155	0.870	0.869	0.0001
	PSI = 4.33 + 1.10 * MT - 0.68 * Age	155	0.871	0.868	0.0001
للطرق الثانوية	PCI = 86.70 + 22.08 * MT - 13.66 * Age	515	0.912	0.911	0.0001
	PSI = 4.87 + 0.79 * MT - 0.81 * Age	152	0.902	0.901	0.0001

الجدول رقم (15): يبين نتائج المقارنة والتحقق من دقة النماذج للطرق الدولية ومصداقيتها

نماذج التنبؤ لدليل حالة الرصف (PCI)								المتغييرات				
4th Equation		3rd Equation		2nd Equation		1st Equation		Age	MT	PCI	PSI	No.
PCI = 102.9+14.3*MT-18.1*Age		PCI = 109.7 - 10.5 * Age		PCI = 102.7 – 18 * Age		PCI = 118.9- 22.8 * Age						
Deference	PCI (Predicted)	Deference	PCI (Predicted)	Deference	PCI (Predicted)	Deference	PCI (Predicted)					
8.64	30.5			8.44	30.7	11.44	27.7	4	0	39.14	1.96	32
9.16	30.5			8.96	30.7	11.96	27.7	4	0	39.66	1.98	33
-2.88	48.6			-2.98	48.7	-4.78	50.5	3	0	45.72	2.29	34
%	Section No.	%	Section No.	%	Section No.	%	Section No.	The Differences				
93.85%	794	96.97%	128	93.14%	665	88.42%	748	% of PCI Difference Less				
6.15%	52	3.03%	4	6.86%	49	11.58%	98	% of PCI Difference Less				
91.13%	771	96.97%	128	89.78%	641	85.34%	722	% of PSI Difference Less				
8.87%	75	3.03%	4	10.22%	73	14.66%	124	% of PSI Difference More				

الجدول رقم (16): يبين نتائج المقارنة والتحقق من دقة النماذج للطرق الرئيسية ومصداقيتها

PCI =86.70+22.08*MT-13.66*Age		PCI = 113.69 - 16.33 * Age		PCI = 83.69 - 12.84 * Age		PCI = 108.6 -19.4 * Age		Age	MT	PCI	PSI	No.
-0.18	32.06		48.37	-0.45	32.33	0.88	31.0	4	0	31.88	1.59	33
-2.91	32.06		48.37	-3.18	32.33	-1.85	31.0	4	0	29.15	1.46	34
-8.64	32.06		48.37	-8.91	32.33	-7.58	31.0	4	0	23.42	1.17	36
%	**Section No.**	**%**	**Section No.**	**%**	**Section No.**	**%**	**Section No.**	**The Differences**				
94.19%	146	**83.33%**	10	**95.80%**	137	**91.61%**	142	**%of PCI Difference Less than 10**				
5.81%	9	**16.67%**	2	**4.20%**	6	**8.39%**	13	**%of PCI Difference Less than 20**				
96.13%	149	**83.33%**	10	**93.71%**	134	**93.55%**	145	**%of PSI Difference Less than 0.5**				
3.87%	6	**16.67%**	2	**6.29%**	9	**6.45%**	10	**of PSI Difference More than 0.5**				

الجدول رقم (17): يبين نتائج المقارنة والتحقق من دقة النماذج للطرق الثانوية ومصداقيتها

PCI=86.7+22.08 *MT-13.66*Age		PCI =107.92-14.08*Age		PCI =128.45-25.07*Age		PCI =116.61-19.97*Age		Age	MT	PCI	PSI	No.
19.28	45.72			11.76	53.24	8.30	56.7	3	0	65.00	2.88	32
18.28	45.72			10.76	53.24	7.30	56.7	3	0	64.00	2.65	33
4.28	45.72			-3.24	53.24	-6.70	56.7	3	0	50.00	2.79	34
%	**Section No.**	**%**	**Section No.**	**%**	**Section No.**	**%**	**Section No.**	**The Differences**				
84.87%	129	**97.96%**	96	**85.19%**	46	**74.34%**	113	**% of PCI Difference Less than 10**				
15.13%	23	**2.04%**	2	**14.81%**	8	**25.66%**	39	**% of PCI Difference Less than 20**				
84.21%	128	**87.76%**	86	**83.33%**	45	**70.39%**	107	**% of PSI Difference Less than 0.5**				
15.79%	24	**12.24%**	12	**16.67%**	9	**29.61%**	45	**% of PSI Difference More than 0.5**				

8 - المراجع

- المراجع العربية:

1. تقرير نماذج التنبؤ بأداء الرصف، مشروع نظام إدارة الصيانة للطرق في مدينة الرياض المملكة العربية السعودية، أمانة مدينة الرياض، 2007
2. نظام معلومات الطرق، وزارة النقل السورية، المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية، سورية - دمشق، 2008.
3. معلومات مسح وتقييم الطرق، المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية، فرع حمص، وزارة النقل، 2008.
4. معلومات من المديرية العامة للصيانة، وزارة النقل، المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية 2007.
5. قياسات بواسطة جهاز النيفو للباحث بمساعدة فرع حمص للمؤسة العامة للمواصلات الطرقية 2007.

- المراجع الأجنبية:

6. Abdul Hamid, M. Isa, Law, T. H., Dadang, M. M., "Pavement Performance Model For Federal Roads" Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 428 - 440, 2005.
7. Al-Swailmi S., et al, "Riyadh Pavement Maintenance Management System", Progress report No. 2, 1996.
8. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.
9. Hassoun, B. Pavement Condition Evaluation and Maintenance Needs of Rural Roads in Syria" Master thesis Cairo University- 1996.
10. Helali, T.J. Kazmierowki, A Bradbury, and M.A. Karan, "Application of Network Level PMS Technology to a Unique Pavement Deterioration Problem", Transportation Research Board. 75th annual Meeting, Washington D.C., Jan., 1996.
11. HDM-4 User Guide Volume V 2000.
12. J. A. Prozzi, M.ASCE, and S. M. Madanat, M.ASCE, "Development of Pavement Performance Models by Combining Experimental and Field Data" JOURNAL OF INFRASTRUCTURE SYSTEMS, ASCE / MARCH 2004.
13. Kerali, A.J. Lawrance, and K.R. Awad, "Data analysis Procedures for Long Term Pavement Performance prediction", Transportation Research Board, 75th Annual Meeting, Washington D.C., Jan., 1996.
14. Leemis, L. M. Reliability, Probabilistic Models and Statistical Methods. Prentice-Hall, 1995.
15. Long-Term Pavement Performance (LTPP) Data Analysis Support: National Pooled Fund Study TPF-5(013), Publication No. FHWA-HRT-06-121, November 2006
16. Lt Col Abdul Hamid Mohd Isa, Law Tiek Hwa , Dadang Mohamed Ma some, "PAVEMENT PERFORMANCE MODEL FOR FEDERAL ROADS" Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 428 - 440, 2005.

17. Samer, M. Zaid, N. Nakul, S. "Development of Empirical-Mechanistic Pavement Performance Models using Data from the Washington State PMS Database" Final Report prepared for the California Department of Transportation through the Partnered Pavement Research Center Contract, PPRC Item 4.5 UC Pavement Research Center ,University of California, Davis and Berkeley UCPRC-RR-2005.

18. Sedat Gulen et al. (2001) Development of Improved Pavement Performance Model, Indiana Department of Transport.

19. The AASHTO Road Test: Report No. 5-Pavement Research, "Special Report No. 61E, Highway Research Board, National Academy of Science, National Research Council, 1962.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2010/5/19