مؤشر حالة الرصف لتقييم وإعادة تأهيل الطرق– ورقة استعراضية

اسماعيل قودان نايل[1]، رجاء عبد الغني أعقيل [2]
1.استاذ مساعد، قسم الهندسة المدنية، مدرسة العلوم الهندسية، الأكاديمية الليبية
2. طالبة دراسات عليا، قسم الهندسة المدنية، مدرسة العلوم الهندسية، الأكاديمية الليبية

ملخص:

إن شبكات الطرق لها تأثير على اقتصاد ونهضة البلدان لذلك تسعى الجهات الحكومية والاقتصادية للحفاظ على الطرق وحمايتها من التدهور والمحافظة أيضـــا على معايير جودة وســـلامة الطرق. ونظرا لتعرض الطرق الى العديد من الاضرار التي تسبب في إنقاص عمرها الافتراضي، لذلك من المهم تقييم حالة الطريق والتنبؤ بمستوى التدهور الذي قد يصل اليه مستقبلا. ويمكن الحفاظ على الطريق في صورة مرضية خلال العمر التصميمي له بالصيانة الدورية في وقتها وإذا لم تتم الصيانة أو في حالة تأخرها ستؤدي الي زيادة تدهور الطرق وزيادة تكاليف الصيانة أنها قد تتحول من صيانة وقائية الى إصلاح وإعادة التأهيل. لذلك اجريت العديد من الدراسات لمساعدة متخذي القرار في اختيار المكان والتوقيت المناسب من خلال جمع البيانات عن الاضرار التي تظهر بالرصف مع مرور الوقت وتحويلها من مساحات واطوال واعماق متفرقة الى قيمة واحدة (مؤشر) معبرة عن حالة الرصف. وهناك الكثير من المؤشرات المستخدمة للتقييم تتفاوت في منهجيتها ومن اهمها مؤشر حالة الرصف PCI. وتهدف هذه الدراسة الي استعراض اهم ما جاء في الدراسات السابقة الخاصة بتقييم حالة الرصف باستخدام مؤشر حالة الرصف وذلك لإبقاء الرصف في حالة جيدة ولتجنب التكاليف الباهظة الناتجة عن اهمال الصيانة وتحديد أولويات ونوع وتوقيت الصيانة للطرق واحتياجاتها المستقبلية لتوفير الامن والراحة والسلامة المرورية لمستخدمي الطريق.

كلمات دالة: اضرار الرصف، مؤشر حالة الرصف، مؤشر الخشونة الدولي، الرصف المرن، برنامج ادارة الرصف

مقدمة

هناك العديد من العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار المعالجة المناسبة للرصف مثل العمر والحالة ومستوى حركة المرور وما إلى ذلك. الرصف الذي تم تشييده بشكل صحيح يحتاج فقط إلى المعالجة باستخدام تقنيات الصيانة الوقائية (تقنيات تم تطويرها لتأجيل ظهور الأضرار) ; وبعد ذلك، مع تقدم عمر الرصف، يصبح مرشحًا للصيانة الدورية. (مثل ملء الشقوق، التكسية الاسفلتية، وما إلى ذلك)، وإعادة التأهيل، وإعادة الإنشاء في نهاية المطاف.

يجب تحديد الخطوة الأولى في اختيار تقنية الصيانة المناسبة بناءً على العمر التشغيلي (الزمن ومستوى حركة المرور) وحالة الرصف الحالي؛ يمكن التعبير عن هذه الحالة من خلال مؤشر حالة الرصف Pavement Condition Index (PCI)، والذي يساعد على وضع استراتيجية لصيانة الطرق. وهي مجموعة من الأعمال

الخاصة للمحافظة على الطريق في صورة تكافئ صورتها عند الإنشاء وإبطاء تدهور حالة الرصف خلال العمر التصميمي لها

يحدث تدهور الطريق نتيجة لتأثرها بالأحمال المرورية المتكررة والتغيرات المناخية والمواد المستخدمة في إنشاء طبقات الرصف وغيرها مما يسبب في ظهور التشوهات والتشققات على سطحها وهي أكثر العيوب ظهورا وانتشارا على شبكات الطرق، وعادة تكون بسيطة وتزداد مع تقادم عمر الرصف.

وتجدر الإشارة إلى أن هذه الطريقة لا تهدف إلى حل جوانب السلامة، بل تم تطويرها للحصول على مؤشر للسلامة الانشائية للرصف والحالة التشغيلية للسطح، وهي القيمة التي تحدد حالة الرصف فيما يتعلق بمعالجته وصيانته وإصلاحه.

مؤشر حالة الرصف

يجب تقييم أداء الرصف لأنه مكون أساسي في أي نظام لإدارة الرصف ويكون التقييم بشكل دوري وباستخدام إحدى مؤشرات الرصف ومنها PCI وهو طريقة تسمح بتقييم الأرصفة الصلبة والمرنة، ويشكل مؤشرًا موضوعيًا للسلامة الانشائية للرصف وظروف تشغيل السطح.

طور هذا المؤشر بواسطة شاهين وخون بهدف تحديد الأولويات وتنظيم صيانة وإعادة تأهيل مهابط المطارات القديمة حيث لوحظ أن أنظمة تقييم المطارات الموجودة تعاني من العديد من أوجه القصور، لأنها تعالج الانواع المختلفة من الاضرار بنفس الطريقة.[1] تم تطوير هذا المؤشر لتوفير مقياس تجريبي لتقييم حالة مقاطع الرصف بطريقة تحدد شدة وانتشار الاضرار. [2] ووصفت دراسة شاهين وخون لأول مرة تطور PCI في تقرير فني نشره سلاح المهندسين الأمريكي، تتضمن الدراسة العديد من مهندسي الرصف والمساحين الذين قاموا بتقييم الاضرار المحتملة لقطاع الرصف على مقياس من 1– الى 100. وكما هو موضح بالشكل 15. يتم هذا التقييم لأنواع مختلفة من الاضرار والشدة والانتشار. وتصنف الشدة بثلاث مستويات: قليلة ومتوسطة ومرتفعة، وتم تعيين الحدود بينها بناء على اراء الباحثين. اما قيم الانتشار فيتم تحديدها كنسبة من مساحة سطح مقطع الرصف [1]

شكل 15: تقييم الطريق حسب قيم معامل الرصف

كما يوضح جدول 8 قيم PCI وتقييم ووصف كل حالة بناء على قيم مؤشر حالة الرصف الذي يصف الحالة الانشائية لجسم الطريق وحالة سطحه.

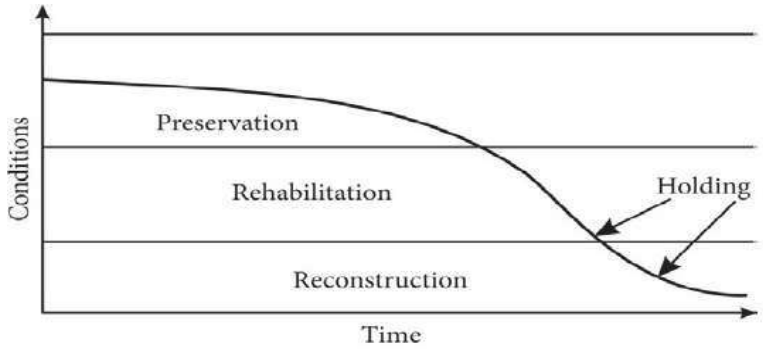
جدول 8: وصف حالة الرصف لكل درجات PCI

PCI	التقييم	الوصف
90–100	جيد جداً	منشاء الرصف مستقر، لا توجد به تشققات، كما لا توجد بقع أو تشوهات واضحة. هذا التصنيف يخص الطرق الجديدة.
70–89	جيد	هيكل الرصف مستقر، ولكن قد يتعرض للتآكل. السطح والشقوق ذات الشدة الأقل، يصعب عمومًا اكتشاف التشققات وربما التشوهات البسيطة.
50–69	عادي	هيكل الرصف مستقر بشكل عام مع وجود عدد قليل من مناطق الضعف الهيكلي الواضح. من السهل اكتشاف التشققات، ويمكن ترقيع الرصف، ولكن ليس بشكل مفرط.
25–49	سيئ	يحتوي الطريق على مناطق غير مستقرة تظهر عليها أوجه قصور هيكلية، وأنماط تشققات كبيرة (مثل جلد التمساح) وبقع عديدة وعميقة وتشوهات واضحة للغاية.
0–24	سيء جدًا	تكلفة الحفاظ على حالة الجزء الهيكلي من الرصف تساوي أو تتجاوز تكلفة إعادة بنائه.

يمكن إضافة حالتين أخريين إلى هذا التصنيف: ممتاز وفشل، والذي يتوافق مع PCI بقيمة 100 و0، على التوالي.

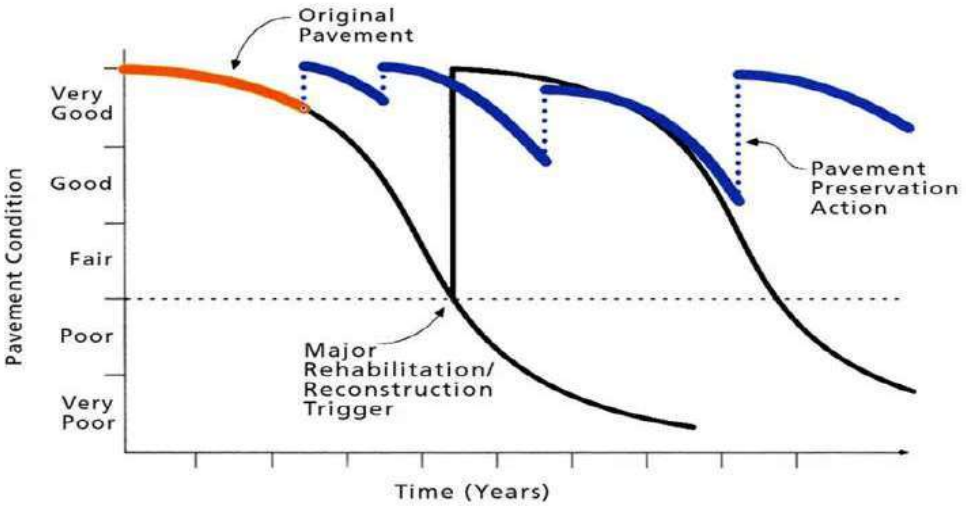
تحديد تقنيات الصيانة المناسبة لكل مستوى من التدهور المعبر عنه بناءً على PCI.

تعني المحافظة على الرصف إلى حماية الوضع القائم للطريق من أجل تحسين أدائه وإطالة عمره التشغيلي بأفضل تكلفة ممكنة. ويشمل ذلك القيام بإجراءات للحفاظ على الطرق في الخدمة بشكل مناسب، وتنفيذ تقنيات الصيانة التصحيحية والوقائية بطريقة تقلل من استخدام أنشطة إعادة التأهيل على الطريق والشكل 16 يوضح تباين حالة الطريق مع الزمن.



شكل 16: منحنى العلاقة بين حالة الرصف والزمن

ويجب أن تندرج هذه الإجراءات ضمن برنامج للحفاظ على الطريق، والذي بدوره يجب أن يؤكد على استخدام تقنيات الصيانة الوقائية لتحسين الحالة الوظيفية للطريق وتأخير مستوى التدهور فيها. يعد استخدام المعالجات الوقائية أكثر اقتصادا مقارنة بأعمال إعادة تأهيل الطرق أو إعادة الإنشاء ويؤدي إلى انخفاض معدل تدهور الرصف، مما يؤخر الحاجة إلى عمليات إعادة تأهيل كبيرة لسنوات؛ ويترجم هذا التأخير إلى توفير كبير في التكاليف المرتبطة بصيانة الرصف كما هو موضح بالشكل 17.



شكل 17 منحنى التكلفة لعدم تطبيق الصيانة الوقائية في الوقت المحدد.

بالإضافة إلى ما سبق الإشارة إليه فإن جدول 9 يوصي ببعض المعالجات للحفاظ على سطح الرصف بحالة تشغيلية جيدة.

جدول 9 البدائل والإجراءات لظروف الرصف المختلفة.

PCI	التقييم	تقنيات الصيانة
100–90	جيد جدًا	صيانة روتينية
89–70	جيد	صيانة وقائية
69–50	عادي	إعادة تأهيل طفيفة
49–25	سيء	إعادة انشاء
24–0	يسئ جدا	إعادة انشاء

استخدام مؤشر حالة الرصف لتقييم الرصف

تستخدم العديد من مؤشرات تقييم حالة الرصف لإجراء تقييمات إدارة الرصف، ومن أكثر هذه المؤشرات استخداما هي مؤشر الخشونة الدولي INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX(IRI) ومؤشر حالة الرصف

(PCI). يتم الحصول على IRI عادةً باستخدام معدات متخصصة تقيس جودة سطح الطريق بناءً على نموذج رياضي، في حين يعتمد PCI على تصنيف شخصي لعدد مشاكل الرصف. تشير الدراسات السابقة إلى أن معظم مؤشرات تقييم الرصف مرتبطة ببعضها البعضُ.[3]

ويعتبر PCI من أكثر المؤشرات شيوعا ويستخدم العديد من الطرق الاحصائية للتنبؤ به والتي من اهمها طريقة الارتباط الخطي المتعدد Multiple linear Regression (MLR) وطريقة الشبكة العصبية الاصطناعية Artificial Neural Network (ANN). وقد أجريت العديد من الدراسات للتنبؤ بحالة الرصف، حيث استخدم امجد عيسى واخرون طريقة ANN لدراسة العلاقة بين معامل PCI ونوع الاضرار وشدتها لمجموعة من الطرق بمدينة نابلس بفلسطين وقد وجد ان العلاقة منخفضة بين الاضرار و PCI، حيث لم تتجاوز أعلى علاقة مطلقة بين PCI وأي نوع من الاضرار وشدتها 0.38. كما أشارت النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة أن نموذج ANN قادر على التنبؤ بـــ PCI بمستوى عالٍ من الموثوقية، بقيمة (R^2) Determination Coefficient عالية.[4]

وطور عبدالمطلب و السكبي نماذج لتوقع اضرار الرصف باستخدام PCI لطريق قصر بن غشير ترهونة باستخدام (MLR) و (ANN) وكانت النماذج المتحصل عليها جيدة في كلا الحالتين وقد تم الحصول على نتائج افضل لقيم معامل التحديد (R^2) Determination Coefficient و متوسط الخطاء المطلق Mean Absolute Error (MAE)وجذر متوسط مربع الاخطاء Root Mean Squared Error (RMSE) لنموذج (ANN).[5]

كما قامت العديد من الدراسات بتقييم حالة الرصف للطرق للحفاظ على معايير الجودة وسلامة الطرق بإجراء المسح الميداني وجمع البيانات للأضرار الموجودة على سطح الرصف. ومنها الدراسة التي اجراها صبرالدين وداني لطريق كالوماتا السريع بإندونيسيا والتي تم فيها تطبيق PCI من خلال مراحل المسح البصري في موقع البحث، وتحديد نوع ومستوى الضرر وقياس أبعاد الضرر والتي تشمل الطول والعرض والعمق، وحساب مساحة الضرر، وتحليل حالة الضرر. واستنادًا إلى نتائج التحليل، تم تصنيف سطح طريق كالوماتا على أنه سيء جدا بقيمة PCI=0.[6]

كما استخدم حسن وآخرون PCI في دراسة اجروها لمجموعة من الطرق بمدينة دكا بالبنغلاديش والتي توصلوا فيها الى حالة الرصف لكل طريق مدروس ونوع الاجراء المناسب لزيادة عمره التشغيلي.[2]

واشار ارين واخرون في دراستهم لبيانات IRIوPCI لتطوير التنبؤ بقيمة PCI من IRI حسب التصنيف الوظيفي ونوع الرصف في مقاطعة كولومبيا بالولايات المتحدة الامريكية الى ان الطرق السريعة تتمتع برحلة أكثر سلاسة من الطرق الشريانية، تليها الطرق التجميعية والطرق المحلية. كما اظهرت نتائج هذه الدراسة الى ان الرصف المركب (خرساني اسفلتي) كان أكثر سلاسة من الرصف الأسفلتي يليه الرصف الخرساني.[3]

كما أجري رفاعي واخرون دراســـتهم لتقييم الحالة الوظيفية والانشـــائية للرصـــف لمجموعة من مقاطع الطرق بإندونيسيا مستخدمين PCI كمؤشر لحالة الرصف، وقد اشارات النتائج الى ان قيم PCI تتراوح بين عادي الى جيد وهو ما يعطى صوره واضحة عن حالة الطريق، ويساعد المسؤولين على اتخاذ القرارات المناسبة.[7]

اما اسرادي واخرون فقد استخدموا PCI ومؤشر اضرار السطح Surface Distress Index (SDI)لتقييم حالة الرصف وظيفيا لطريق بمدينة جاكرتا بإندونيسيا ومقارنة النتائج المتحصل عليها باستخدام كلا المؤشرين، وقد تم استخدام أسلوب المراقبة المباشرة ميدانياً من خلال إجراء مسح بصري لحالة الرصف. وقد بينت الدراسة انه لا توجد فروق ذات دلالة احصائية في النتائج. وأن قيم PCI للأجزاء المدروسة كانت 90% ممتاز و1% جيد جدا. [8]

كما اســـتخدمت العديد من الدراســـات PCI للتنبؤ بقيمة العمر الخدمي المتبقي للطريق Remaining Service Life (RSL) حيث قام ســتيوان بتقييم ظروف اداء الرصــف والاضــرار به وحســاب العمر المتبقي لمقاطع طريق بسومطرة بإندونيسيا وقد اظهرت نتائج الدراسة ان هناك ارتباط قوي بين قيمة PCIو RSL وكان معامل الارتباط 0.88كما اظهرت النتائج ان قيم PCI للمقاطع المدروسة تتراوح من ضعيفة الى جيدة وان قيم RSL المتحصل عليها للمقاطع المدروسة تتراوح من 0.11 سنة الى 3.57 سنة.[9]

كما استخدم مباركي في دراسته PCI لتقييم حالة الرصف لطرق بمدينة جازان بالسعودية، وقد اشارت النتائج ان 65% من شبكة الطرق الرئيسية بجازان تتمتع بحالة رصف جيدة جداً في حين أن 30% فقط من شبكة الطرق الثانوية بجازان تتمتع بحالة رصف متوسطة.[10]

الاستنتاجات.

من خلال ما تم استعراضه خلال هذه الدراسة نستنتج الاتي:

- PCI هو طريقة بسيطة للتطبيق العملي، بالإضافة إلى المعلومات المتعلقة بمستويات حركة المرور لمنطقة معينة، يسمح بتحديد اللحظة المناسبة لتطبيق بعض تقنيات الصيانة.
- باستخدام PCI، يمكن اتخاذ قرارات أفضل بناءً على شروط موضوعية، مما يسمح بتطبيق تقنيات الصيانة المناسبة، وتحسين ظروف الرصف بمرور الزمن.
- من خلال الحفاظ على الطريق في حالة جيدة، يتم تحسين السلامة المرورية وتحقيق رضا السائق.
- تطبيق تقنيات الصيانة المبنية على معايير موضوعية مثل PCI، يسمح بتقليل تكاليف الصيانة على الطرق.

التوصيات.

من خلال ما تم استنتاجه نوصي بالآتي:

- تعميم استخدام PCI لتقييم الرصف المرن.
- إعداد خطط صيانة الطرق بناءً على نتائج استخدام مؤشرات تقييم الرصف والتي من اهمها PCI ومستوى حركة المرور على الطريق.
- مراقبة الطرق بشكل دوري وتحديد حالتها ونوع حركة المرور لاختيار تقنيات الصيانة المناسبة في الوقت المناسب ضمن إطار خطة صيانة الطريق.

المراجع

[1] M. Shahin, S. D. Kohn. Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets, and Parking Lots. Construction Engineering Research Laboratory, United States Army Corps of Engineers. 1979, Champaign, Illinois.

[2] A. S. Hasan, K. Tabassum, A. B. Kabir, K. Roksana. Maintenance and Possible Remedy for Pavement Distress in Flexible Pavement using Pavement Condition Rating. World Journal of Science and Engineering 2019; 4: 27-34.

[3] S. A. Arhin, L. N. Williams, S. Ribbiso, M. F. Anderson. Predicting Pavement Condition Index Using International Roughness Index in a Dense Urban Area. Journal of Civil Engineering Research. 2015; 5 (1):10-17.

[4] A. Isaa, H. Samaneh, M. Ghanim. Predicting pavement condition index using artificial neural networks approach. Ain Shams Engineering Journal. 2022; 13.

[5] A. A. Ali, M. I. Esekbi. Development of Pavement Condition Index Assessment Model for Road Pavements in Libya Using Machine Learning. The 9th National Conference for Building Materials and Structural Engineering. 2022, Tripoli, Libya.

[6] Sabaruddin, A. Deni. Application of pavement condition index (PCI) on the assessment of the Kalumata highway section of the City of South Ternate. IOP Conf Series: Earth and Environmental Science. 2020.

[7] M. Rifai, A. Setyawan, F. S. Handayani, A. D. Arun. Evaluation of functional and structural conditions on flexible pavements using pavement condition index (PCI) and international roughness index (IRI) methods. The Third International Conference of Construction, Infrastructure, and Materials ، Jakarta, Indonesia .2023 ،

[8] M. Isradi, H. A. Setiaputri, A. I. Rifai, A. Mufhidin. Analysis Of Urban Road Damage with Pavement Condition Index (PCI) And Surface Distress Index (SDI) Methods. International Journal of Sciences, Engineering and Technology. 2021; 6(01); 10-19.

[9] A. Setyawan, J. Nainggolan, A. Budiarto. Predicting the remaining service life of road using pavement condition index. The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum. 2015; 125: 417-423.