تأسيس نظام إدارة صيانة الرصف لجزء من شبكة الطرق بمدينة طرابلس

د. جمال عبد الله بيت المال[1]، د. إسماعيل قودان نايل[2]، عبد السلام ابوالقاسم المريمي[3]

1 الاكاديمية الليبية، طرابلس، ليبيا

2 الاكاديمية الليبية، طرابلس، ليبيا

beitelmali@gmail.com
asmaiel.naiel@academy.edu.ly
abdulsallamalmarymi@gmail.com

الملخص

من المشاكل التي تعاني منها شبكات الطرق، خصوصا في الدول النامية، التدهور المبكر للرصف الناتج عن الأحمال الزائدة، والتغير في درجات الحرارة، إضافة إلى ضعف الاهتمام بالصيانة الدورية للطرق، وتمثل مدينة طرابلس نموذجا لهذه التحديات، حيث تواجه شبكة الطرق بها العديد من المشكلات التي تتطلب تبني منهجيات علمية حديثة لتحسين كفاءة إدارة الصيانة ورفع مستوى الخدمة، وتهدف هذه الورقة إلى تقديم نموذج علمي لتأسيس منظومة لإدارة الرصف (PMS – Pavement Management System)، بما يدعم التخطيط المستقبلي لصيانة شبكة الطرق بمدينة طرابلس، ويعتمد هذا الإطار على جمع بيانات حالة الرصف وتحليلها باستخدام مؤشرات معتمدة وربطها باليات دعم اتخاذ القرار، بما يسهم في تحسين عمليات الرصد والمتابعة وتحديد أولويات الصيانة المستقبلية، وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة وإطالة العمر الخدمي لشبكة الطرق، كما تناقش الورقة الاثار المتوقعة لتطبيق نظام إدارة الرصف ودوره في تحسين كفاءة إدارة البنية التحتية للطرق.

الكلمات المفتاحية

منظومة إدارة الرصف، صيانة الطرق، التخطيط المستقبلي، شبكة الطرق بمدينة طرابلس.

Establishing a Pavement Management System for a Segment of the Road Network in Tripoli

Dr. Jamal Abdullah Beit El-Mal[1], Dr. Asmail Godan Naiel[2], Abdulsalam Abulgasm Al-Marymi[3]

1 The Libyan Academy, Tripoli, Libya

2 The Libyan Academy, Tripoli, Libya

beitelmali@gmail.com
asmaiel.naiel@academy.edu.ly
abdulsallamalmarymi@gmail.com

Abstract

One of the major challenges facing road networks, particularly in developing countries, is the premature deterioration of pavement structures caused by excessive traffic loads, temperature fluctuations, and inadequate attention to periodic road maintenance. The city of Tripoli represents a clear example of these challenges, as its road network suffers from several issues that require the adoption of modern scientific approaches to improve maintenance management efficiency and enhance the level of service provided to road users. This paper aims to present a scientific framework for establishing a Pavement Management System (PMS) to support future maintenance planning for the road network in Tripoli. The proposed framework is based on the collection and analysis of pavement condition data using recognized evaluation indices, integrated with decision-support mechanisms. This approach contributes to improving monitoring and follow-up processes, prioritizing future maintenance activities, optimizing the utilization of available resources, and extending the service life of the road network. Furthermore, the paper discusses the anticipated impacts of implementing a Pavement Management System and its role in enhancing the efficiency of road infrastructure management..

المقدمة

شبكات الطرق هي من أهم العناصر في دعم التنمية الاجتماعية والاقتصادية حيث لها تأثير مباشر على حركة النقل، كما تساهم في سلامة مستخدمي الطرق، ومستوى الخدمة المقدمة للمواطنين، ذلك أن زيادة عدد السكان والتوسع الكبير الذي تشهده المدن والزيادة المستمرة في عدد المركبات يزيد من الاحمال المرورية على طبقات الرصف للطرق، وهذا يسبب تدهور هذه الطرق وفقدان خصائصها الانشائية والوظيفية بمرور الوقت ، تسعى الدراسات القديمة والحديثة الى الاعتماد على الصيانة الدورية والتخطيط المسبق وذلك لغرض خفض التكاليف، وعدم الاعتماد على الصيانة الطارئة وردود الفعل المتأخرة ، ومن هذا المنطلق برزت الحاجة إلى نظام إدارة الرصف الغرض منها

DOI: 10.5281/zenodo.20397518

أفضلية اتخاذ القرار فيما يتعلق بصيانة شبكات الطرق أو إعادة تأهيلها. إن صيانة شبكات الطرق داخل مدينة طرابلس تعتمد على الصيانة المتأخرة لمعالجة الأضرار مع عدم وجود أي نظام موحد يجمع بيانات حالة الطرق أو يؤدي إلى تكوين خطة مستقبلية بعيدة المدى. ويترتب على هذا الأسلوب المتبع زيادة في التكاليف التشغيلية، ومن هنا برزت الحاجة إلى تأسيس نظام إدارة الرصف، يراعى فيه ترشيد الموارد لصيانة الشبكة ولدعم التخطيط المستقبلي لإدارته.

الدراسات السابقة

عادل علي جهران (2021) تقييم حالة سطح الرصف – دراسة حالة طريق قصر بن غشير – سوق الخميس [1] هدفت الدراسة إلى تقييم حالة سطح الرصف لطريق حضري ذي كثافة مرورية عالية باستخدام مؤشر PCI-) Pavment Condition Index) وبرنامج MicroPAVER. وأظهرت النتائج أن حالة الرصف تراوحت بين متوسطة وضعيفة جدا، مع وجود حاجة ملحة لأعمال صيانة وتأهيل، وتبرز أهمية الدراسة في تأكيد فاعلية مؤشرات التقييم كأساس لنظم إدارة الرصف.

عبد الرحمن، أحمد واخرون (2022) تطبيق نظام إدارة صيانة الرصف على شبكة الطرق الحضرية باستخدام مؤشر PCI. [2] تناولت الدراسة تطبيق نظام PMS على شبكة طرق حضرية في مصر بالاعتماد على مؤشر PCI، وأظهرت النتائج تحسنا في كفاءة توزيع الميزانيات وتقليل تكاليف الصيانة على المدى الطويل.

العتيبي، خالد بن محمد (2023) تقييم حالة الرصف باستخدام مؤشر PCI وربطه بخطط الصيانة الدورية [3] ركزت الدراسة على ربط نتائج تقييم حالة الرصف بخطط الصيانة الاستراتيجية، وأثبتت أن التخطيط المبني على مؤشرات علمية يسهم في رفع مستوى الخدمة وزيادة العمر الافتراضي للطريق.

عبد الله، محمد حسن (2018) تطبيق نظام إدارة صيانة الرصف على شبكة الطرق الحضرية باستخدام مؤشر PCI رسالة ماجستير [4] هدفت الدراسة إلى تطبيق نظام إدارة صيانة الرصف (PMS) على شبكة طرق حضرية اعتمادا على مؤشر حالة الرصف (PCI). أظهرت النتائج أن استخدام النظام يساعد في تصنيف حالة الطرق بدقة وتحديد أولويات الصيانة بكفاءة أعلى مقارنة بالأساليب التقليدية.

الشمري، فهد بن سعد (2019) تقييم حالة الرصف ودوره في تحسين قرارات الصيانة لشبكات الطرق [5] ناقشت الدراسة أهمية تقييم حالة الرصف كأداة أساسية لدعم قرارات الصيانة. وأثبتت النتائج أن الاعتماد على مؤشرات كمية مثل PCI يقلل من الهدر المالي ويحسن مستوى الخدمة على المدى المتوسط والطويل.

الزهراني، خالد بن علي (2020) استخدام نظم المعلومات الجغرافية في إدارة صيانة الطرق. [6] تناولت الدراسة دور نظم المعلومات الجغرافية (Gegrphic Information System)(GIS) في إنشاء قواعد بيانات للطرق وربطها بحالة الرصف. وأظهرت النتائج أن دمج GIS مع أنظمة إدارة الرصف يسهم في تحسين التخطيط المكاني لأعمال الصيانة.

حسين، أحمد محمود (2021) تحليل تدهور الرصف الأسفلتي باستخدام مؤشرات الأداء. [7] ركزت الدراسة على تحليل مظاهر تدهور الرصف الأسفلتي وربطها بالعمر الخدمي للطريق. وأكدت النتائج أن التقييم الدوري لحالة الرصف يمثل خطوة أساسية في أي نظام إدارة صيانة فعال.

سليمان، عبد الكريم (2022) نظم إدارة البنية التحتية للطرق وأثرها على التنمية الحضرية. [8] استعرضت الدراسة مفاهيم نظم إدارة البنية التحتية للطرق، مع التركيز على نظم إدارة الرصف. وخلصت إلى أن تطبيق هذه النظم يساهم في دعم الخطط الاستراتيجية للتنمية الحضرية وتحسين كفاءة الإنفاق العام.

العلي، حسين (2023) دور الكوادر الفنية في نجاح نظم إدارة صيانة الرصف. [9] تناولت الدراسة أهمية العنصر البشري في تطبيق نظم إدارة الرصف، وأظهرت النتائج أن ضعف التأهيل الفني يمثل أحد أهم أسباب فشل هذه النظم في بعض الدول.

الزبيدي، علي (2024) نظم إدارة صيانة البنية التحتية للطرق في الدول النامية استعرضت الدراسة واقع نظم إدارة صيانة الطرق في الدول النامية، وأكدت أن تبني نظم إدارة الرصف يمثل خطوة أساسية لدعم الخطط الاستراتيجية لصيانة شبكات الطرق. [10]

شاهين، محمد يوسف (2005) إدارة الرصف للمطارات والطرق ومواقف السيارات دار النشر Springer [11] ركزت هذه الدراسة على تطبيق نظم إدارة الرصف المعتمدة على مؤشر حالة الرصف (PCI)، مع توضيح آلية التقييم البصري وتصنيف العيوب. وأظهرت النتائج أن الاعتماد على مؤشر PCI يوفر أداة علمية موثوقة لدعم قرارات الصيانة وإطالة العمر الخدمي للرصف.

سمادي، عمر (2017) تطبيق نظم إدارة الرصف على الطرق الحضرية [12] هدفت الدراسة إلى تقييم تطبيق نظم إدارة الرصف في شبكات الطرق الحضرية، مع التركيز على جودة بيانات التقييم ومؤشرات الأداء. وأكدت النتائج أن نجاح نظم إدارة الرصف يعتمد بشكل أساسي على انتظام جمع البيانات ودقتها وربطها بخطط الصيانة.

عبد الجليل، محمود (2020) إدارة صيانة الطرق الحضرية باستخدام نظم معلومات متكاملة. [13] تناولت الدراسة دور النظم المتكاملة في إدارة صيانة الطرق الحضرية، وأكدت أن غياب قواعد البيانات المنظمة يمثل عائقاً رئيسياً أمام تحسين أداء الصيانة.

ناصر، سامي عبد الله (2021) تقييم حالة الرصف الأسفلتي كمدخل لتخطيط الصيانة. [14] ركزت الدراسة على استخدام التقييم البصري لحالة الرصف كأساس لتخطيط الصيانة، وأظهرت النتائج أن هذا الأسلوب مناسب للبيئات التي تعاني من نقص الأجهزة المتقدمة.

الحربي، عبد العزيز (2022) تحديد أولويات صيانة الطرق باستخدام نظم إدارة الرصف مجلة جامعة الملك فهد للبترول والمعادن [15] ناقشت الدراسة آلية تحديد أولويات صيانة الطرق باستخدام نظم إدارة الرصف، وأكدت أن اعتماد معايير واضحة يسهم في تحسين كفاءة الإنفاق العام.

Prozzi, J. & Madanat, S. (2019) الجدولة المثلى لأعمال صيانة الرصف في ظل القيود المالية [16] ناقشت هذه الدراسة نماذج التحسين الرياضي لجدولة أعمال صيانة الرصف في ظل ميزانيات محدودة. وأظهرت النتائج أن استخدام نظم إدارة الرصف في التخطيط للصيانة يؤدي إلى تحقيق وفر اقتصادي وتحسين كفاءة استخدام الموارد المالية.

Zhang, Z. et al. (2021) دمج نظم المعلومات الجغرافية مع نظم إدارة الرصف المجلة الدولية لهندسة الرصف (International Journal of Pavement Engineering) [17] تناولت الدراسة دمج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) مع نظم إدارة الرصف بهدف تحسين التحليل المكاني وتحديد أولويات الصيانة. وأكدت النتائج أن هذا الدمج يعزز كفاءة إدارة شبكات الطرق الحضرية، خاصة في المدن الكبيرة.

Haas and Hudson (2008) تطوير نظم إدارة الرصف لدعم قرارات الصيانة الاستراتيجية مجلة – Journal of Infrastructure Systems ASCE [18] ناقشت هذه الدراسة تطور نظم إدارة الرصف ودورها في دعم القرارات الاستراتيجية للصيانة على مستوى الشبكات الكبيرة. وأكدت أن استخدام مؤشرات الأداء ونماذج التدهور يسهم في تحسين توزيع الميزانيات وتحقيق الاستدامة في صيانة الطرق.

DOI: 10.5281/zenodo.20397518

Madanat et al. (2014) نماذج تنبؤ تدهور الرصف ودورها في نظم إدارة الرصف مجلة Transportation Research Part A [19] ركزت الدراسة على تطوير نماذج رياضية لتنبؤ تدهور الرصف ودمجها ضمن نظم إدارة الرصف، وأظهرت النتائج أن التنبؤ الدقيق بحالة الرصف المستقبلية يعد عنصراً أساسياً في التخطيط طويل المدى للصيانة.

Smirnov et al. (2016) تطبيق نظم إدارة الرصف في المدن النامية مجلة International Journal of Pavement Engineering [20] تناولت الدراسة التحديات التي تواجه تطبيق نظم إدارة الرصف في المدن النامية، مثل نقص البيانات وضعف الكوادر الفنية ، وأكدت النتائج أن البدء بالتقييم البصري يمثل خطوة عملية لتأسيس نظم إدارة الرصف في هذه المدن.

Tang et al. (2018) دعم قرار صيانة الرصف باستخدام أساليب التحليل متعدد المعايير مجلة Journal of Transportation Engineering ناقشت الدراسة استخدام أساليب اتخاذ القرار متعدد المعايير [21] في تحديد أولويات صيانة الرصف ، وأظهرت النتائج أن دمج عدة مؤشرات مثل حالة الرصف وحجم المرور والتكلفة يؤدي إلى قرارات أكثر عدالة وفعالية.

Li et al. (2020)(نظم إدارة الرصف القائمة على قواعد البيانات الرقمية مجلة Automation in Construction [22] ركزت الدراسة على تطوير نظم إدارة رصف رقمية تعتمد على قواعد بيانات متكاملة. وأكدت النتائج أن التحول الرقمي في إدارة الرصف يحسن كفاءة التخطيط ويقلل الاعتماد على الخبرة الشخصية غير الموثقة.

Haas, R., Hudson, W., & Zaniewski, J. (2015) الإدارة الحديثة لصيانة الرصف دار النشر Krieger Publishing Company [23] قدمت هذه الدراسة إطارا متكاملا النظم إدارة الرصف، حيث تناولت أساليب تقييم حالة الرصف، ونماذج الأداء، واستراتيجيات الصيانة ، وأكدت الدراسة أن تطبيق نظم إدارة الرصف يسهم في تحسين كفاءة اتخاذ القرار وتقليل تكاليف الصيانة على المدى الطويل، وتعد من المراجع الأساسية في هذا المجال على المستوى العالمي.

الخلفية النظرية

ونستعرض في هذه الورقة ما يلي: -

الرصف الأسفلتي: -

إن الرصف الأسفلتي يكون عبارة عن عدد من الطبقات بشكل متكامل، الغرض منه نقل الأحمال المرورية من سطح الطريق إلى الأرض الطبيعية. [24] وهذه الطبقات هي الطبقة السطحية، والطبقة الرابطة، وطبقة الأساس، وطبقة الأساس المساعد، كما أن مقياس أداء الرصف يعتمد على أن يكون سطح الطريق امناً لحركة المرور ليحافظ على سلامة مستخدميه طيلة فترة الخدمة [25]

وبعد مرور فترات زمنية طويلة، قد يتعرض سطح الطريق الى التدهور. ومن اهم أنواع التدهور الحفر والتموجات والتآكل والتشققات. وغالباً ما تكون الأسباب من الأحمال المرورية الزائدة أو التغير المستمر في درجات الحرارة. [26] ومن خلال الدراسات والأبحاث اتضح أن أغلب الأضرار تبدأ صغيرة ثم تزداد تدريجيا مع عدم وجود صيانة دورية أو عدم التدخل المبكر للصيانة [27]

نظام إدارة الرصف

يعتمد نظام إدارة الرصف على جمع البيانات وتحليلها، ويهدف إلى اتخاذ قرارات الصيانة من صيانة دورية أو إعادة تأهيل، كما يتم تقييم حالة الرصف عن طريق المؤشرات المعتمدة وتوقع حالة التدهور بحيث تكون الصيانة فنية واقتصادية [28] ولقد أوضحت التجارب الدولية ان نظام إدارة الرصف يقلل من استخدام الموارد المالية ومن تكلفة الصيانة وإطالة دورة حياة الرصف لشبكات الطرق [29]

أشاره الكثير من الدراسات السابقة إلى دور نظام إدارة الرصف وأثره الفعال في إدارة شبكات الطرق، وقد أظهرت نتائجها أن الاعتماد على مؤشرات حالة الرصف مثل مؤشرات:

- (PCI-Pavment Condition Index)
- (IRI- International Roughness Index)
- (SPI-Surface Performance Index)
- (PSI-Pavment Serviceability Index)

توفر أساساً موضوعياً لتحديد أولويات الصيانة [30] كما أكدت دراسات أخرى أهمية دمج قواعد البيانات ونظم المعلومات الجغرافية ضمن نظام إدارة الرصف لتعزيز كفاءة التخطيط الاستراتيجي، ومن ناحية أخرى أشارت بعض الدراسات إلى أن التحديات الرئيسية في المدن النامية يتمثل في قلة توفر البيانات وعدم تكوين نظام للتقييم المستمر، وهو ما يوجب ضرورة إعداد وتطوير نماذج تتوافق مع الواقع المحلي

تعريف مؤشر Pavement Condition Index (PCI) مؤشر حالة الرصف

يعد مؤشر حالة الرصف (Pavement Condition Index - PCI) من أهم الأدوات المعتمدة عالميا في تقييم حالة الطرق، حيث يوفر مقياسا كميا موحدا يعكس مستوى التدهور الذي يصيب طبقات الرصف نتيجة الأحمال المرورية والعوامل البيئية. وقد تم تطوير هذا المؤشر ضمن منهجيات علمية منظمة تتيح تحويل الملاحظات الميدانية إلى قيمة رقمية قابلة للتحليل والمقارنة. [31]

ويستخدم PCI بشكل واسع في نظم إدارة صيانة الرصف (PMS)، لما يوفره من دقة في توصيف الحالة الحالية للطريق، [32] وإمكانية ربطه بقرارات الصيانة والتخطيط المستقبلي.

فكرة المؤشر

يعتمد مؤشر PCI على مبدأ أساسي وهو:

أن حالة الرصف يمكن تقييمها من خلال تحليل العيوب الظاهرة على سطحه من حيث النوع والشدة والانتشار.

ويتم ذلك عبر:

1- تحديد أنواع العيوب.

2 - تقييم شدة كل عيب.

3- قياس مدى انتشاره (الكثافة).

ومن ثم تحويل هذه المعطيات إلى قيم خصم (Deduct Values) تُستخدم لتحديد قيمة المؤشر النهائية. [33]

انواع العيوب في PCI

تشمل منهجية PCI مجموعة واسعة من العيوب، من أهمها:

1-عيوب التشققات:

تشققات طولية وعرضية.

تشققات شبكية.

تشققات حواف الطريق.

DOI: 10.5281/zenodo.20397518

2-عيوب التشوهات:

الهبوطات.

التموجات.

الانبعاثات.

3-عيوب السطح:

التفكك.

فقدان الحبيبات.

التلميع.

4-عيوب جسيمة:

الحفر.

الانهيارات الموضعية.

شدة العيوب

يتم تصنيف كل عيب حسب شدته إلى:

منخفضة: تأثير بسيط

متوسطة: تأثير واضح

عالية: تأثير كبير وخطر

ويؤثر مستوى الشدة بشكل مباشر على قيمة الخصم.

مفهوم الكثافة

الكثافة = نسبة انتشار العيب في وحدة المساحة أو الطول

مثلاً:- مساحة التشققات / مساحة المقطع

طول التشققات / طول الطريق

كلما زادت الكثافة ← زاد تأثير العيب ← انخفض PCI

الية حساب PCI

تمر العملية بالمراحل التالية:

1- حساب قيمة الخصم لكل عيب.

2-جمع قيم الخصم.

3-تطبيق معامل التصحيح (Corrected Deduct Value).

4-حساب المؤشر النهائي:

PCI = 100 – CDV (Corrected Deduct Value)

تفسير قيم PCI

جدول (1) يوضح العلاقة بين قيمة المؤشر ونوع الصيانة

نوع الصيانة	الحالة	القيمة
صيانة وقائية بسيطة	ممتاز	85 - 100
صيانة خفيفة	جيد	70 - 85
صيانة متوسطة	متوسط	55 - 70
صيانة ثقيلة	ضعيف	40 - 55
إعادة انشاء	سيء	≤ - 40

دور PCI في اتخاذ القرار

يستخدم PCI في:

1- تحديد أولويات الصيانة.
2- تصنيف الطرق حسب حالتها.
3- اختيار نوع التدخل المناسب.
4- توزيع الميزانيات.

وبالتالي فهو أداة رئيسية في دعم القرار الهندسي. [34]

مزايا مؤشر PCI

1- سهل التطبيق نسبيًا.
2- يعتمد على المعاينة الميدانية.
3- قابل للمقارنة بين الطرق.
4- معتمد عالميًا (ASTM).
5- يدعم التخطيط طويل المدى.

دور PCI في الإطار المقترح: -

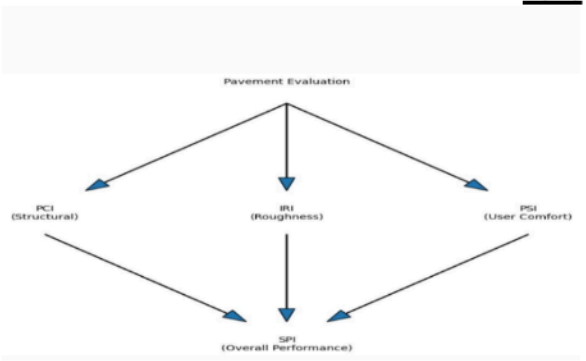
يمثل مؤشر PCI العنصر الأساسي في الإطار المقترح، حيث يستخدم كمدخل رئيسي في عملية تحليل حالة الرصف، ومن ثم دعم عمليات الرصد والمتابعة، وصولاً إلى تحديد أولويات الصيانة المستقبلية بناءً على مستوى التدهور..

يعتبر مؤشر حالة الرصف (PCI) من الركائز الأساسية في نظم إدارة صيانة الطرق، حيث يوفر وسيلة كمية لتقييم الحالة الفعلية للرصف اعتمادًا على تحليل العيوب السطحية والإنشائية. وتكمن أهميته في قدرته على تحويل البيانات الميدانية إلى معلومات قابلة للتحليل، مما يدعم اتخاذ القرار ويسهم في تحسين كفاءة إدارة الصيانة وتوجيه الموارد نحو التدخلات الأكثر أولوية.

جدول (2) مقارنة بين مؤشرات تقييم حالة الرصف

المؤشر	الاسم بالكامل	نوع التقييم	الهدف الرئيسي	نطاق القيم	الاستخدام في PMS
PCI	Pavment Condition Index	هندسي إنشائي سطحي	تقييم حالة الرصف والتدهور	0 - 100	أساسي لتحديد أولويات الصيانة
IRI	International Roughness Index	وظيفي (راحة القيادة)	قياس خشونة الطريق	M/Km	دعم تقييم جودة القيادة
SPI	Surface Performance Index	وظيفي شامل	تقييم الأداء العام للسطح	نسبي	مكمل التحليل العام
PSI	Pavment Serviceability Index	وظيفي من منظور المستخدم	قياس راحة المستخدم وجودة الخدمة	0 - 5	مؤشر مكمل لتقييم الاداء

DOI: 10.5281/zenodo.20397518



الشكل رقم (1) العلاقة بين مؤشرات تقييم حالة الرصف

المنهجية

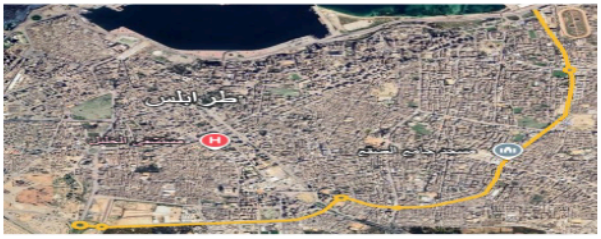
تعتمد هذه الورقة على المنهجية التطبيقية التحليلية، وتهدف إلى تأسيس نظام لإدارة صيانة الرصف لدعم التخطيط الاستراتيجي المستقبلي لصيانة شبكات الطرق بمدينة طرابلس. ويركز هذا المنهج على جمع البيانات الأساسية بإدارة الرصف، ومن خلال الدراسات السابقة والتجارب المطبقة في دول أخرى وربطها بالواقع المحلي من خلال المؤسسات الفنية المعنية بإدارة شبكات الطرق، يتكون الإطار المقترح لتحسين القرارات الخاصة بالصيانة، ولا يمكن تكوينها دون أن تكون لدينا بيانات بشكل دوري تكون منتظمة، وتمثل الحالة القائمة للرصف. ومن خلال ما سبق فإن نظام إدارة الرصف لا يكون مجرد أداة تقنية، بل يكون أساسا لمنظومة متكاملة تشمل جميع الجوانب، سوآءا الإدارية أو الفنية او التخطيطية، وتساعد متخذي القرار على المستويين التشغيلي والتخطيطي.

إن هذا الإطار مبني أساساً على إدارة الرصف طيلة دورة حياته بحيث يكون تقييم الرصف من خلال فترات مختلفة لتقييم الأداء، وتقرير التدخل المناسب في الوقت المناسب بما يحقق التوازن بين أفضل مستوى خدمة، وبأقل تكلفة مالية.

الإطار المقترح لنظام إدارة صيانة الرصف بمدينة طرابلس

يمثل نظام إدارة صيانة الرصف (Pavement Management System - PMS) أحد الأدوات الحديثة المستخدمة في تحسين كفاءة إدارة شبكات الطرق، من خلال الاعتماد على بيانات دقيقة حول حالة الرصف وتحليلها باستخدام مؤشرات علمية معتمدة. وفي هذا السياق، يأتي الإطار المقترح في هذه الورقة كمنهجية تنظيمية تهدف إلى دعم عمليات الرصد والمتابعة وتحديد أولويات الصيانة المستقبلية لشبكة الطرق بمدينة طرابلس، بما يسهم في رفع كفاءة الأداء وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة. وهذا النظام يتكون من عدة مراحل:

المرحلة الأولى وهي تقسيم الشبكة إلى مقاطع يعتمد أطوالها على نقاط ثابتة على الطريق، مثلا تكون جزيرة الدوران مقطعا مستقلا وتقاطعات إشارات المرور مقطعا وحده. والتقاطعات الرئيسية تتفاوت أطوالها على حسب النقاط الثابتة على الشبكة كما في الشكل رقم (2)

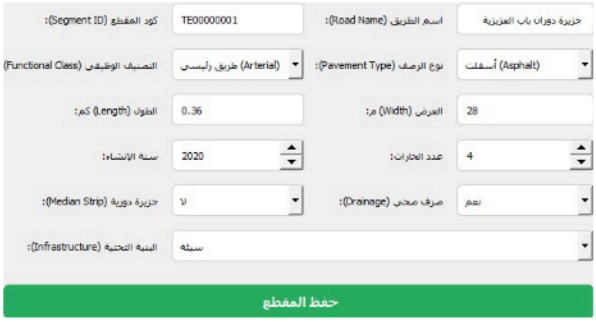


الشكل رقم (2) تقسيم جزء من شبكة طرق مدينة طرابلس

المرحلة الثانية إعطاء رقم مرجعي محدّد كل مقطع بحيث لا يتكرر في المنظومة مرة أخرى كما في الشكل رقم (3)

الشكل رقم (3) يبين الأرقام المرجعية لكل قطاع

المرحلة الثالثة جمع البيانات التاريخية لكل مقطع كما في الشكل رقم (4) (سنة الإنشاء، وعرض الطريق، والجزيرة الوسطية، وعدد الحارات، والبنية التحتية من شبكة مياه وشبكة صرف صحي وشبكة إنارة وعدد مرات الصيانة)

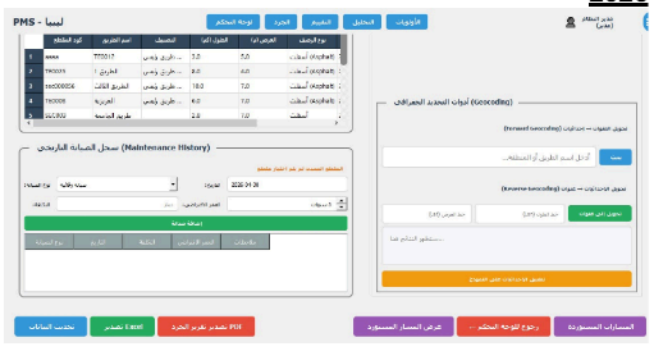


الشكل رقم (4) يوضح بيانات المقطع

المرحلة الرابعة تقييم الحالة: كيف تمت عملية تقييم الحالة (بصرياً أو آلياً) أو أي مؤشرات معتمدة PSI-IRI-PCI كما في الشكل رقم (5) حيث توفر تمثيلا عدديًا لحالة الطريق وتساعد في المقارنة بين المقاطع المختلفة داخل شبكة الطرق كما في الشكل رقم (6)

الشكل رقم (5) تقييم PCI

DOI: 10.5281/zenodo.20397518



الشكل رقم (6) السجل التاريخي لصيانة المقطع

المرحلة الخامسة تحليل بدائل الصيانة، بعد تقييم حالة الرصف ينتقل النظام إلى مرحلة تحليل بدائل الصيانة، ويتم ربط حالة كل مقطع طريق بنوع التدخل المناسب، سواء كانت كصيانة روتينية او صيانة دورية او إعادة تأهيل. ويراعى في هذا التحليل الأخذ في الحسبان التكلفة والعمر المتبقي للرصف.

وتعد عملية تحديد أولويات الصيانة من أهم وظائف نظام إدارة الرصف، إذ تسمح بتوجيه الموارد المحدودة نحو المقاطع الأكثر احتياجا للتدخل، كما في الشكل رقم (7)

الشكل رقم (7) تحديد أولويات الصيانة

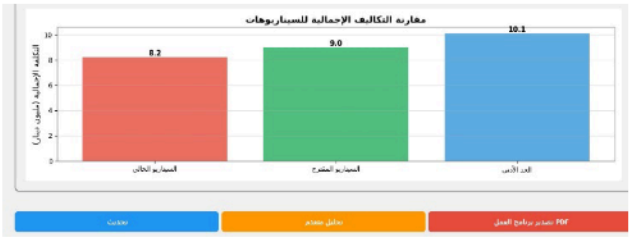
إن الاعتماد على نظام إدارة الرصف في هذه المرحلة يساهم في تحقيق أفضل توزيع للموارد وتحسين أداء الإنفاق العام

دعم التخطيط المستقبلي للصيانة

يساهم نظام المقترح في دعم التخطيط الاستراتيجي لصيانة شبكة الطرق بمدينة طرابلس، من خلال توفير رؤية شاملة عن حالة الشبكة، والحالة المتوقعة مستقبلا، إذ يتيح النظام إمكانية إعداد خطط صيانة قصيرة ومتوسطة وبعيدة المدى، وربطها بالميزانيات المتاحة، كما يسمح هذا الإطار بتقييم كل القرارات المختلفة على أداء شبكة الطرق بمرور الوقت، وهو ما يسهل على متخذي القرار اختيار أفضل السيناريوهات التي تحقق أفضل توازن بين التكلفة ومستوى الخدمة.

المناقشة

إن تطبيق إطار متكامل لنظام إدارة الرصف في مدينة طرابلس من شأنه أن يحدث تحولا نوعيا في إدارة شبكات الطرق. فبدلا من الاعتماد على معالجة الأضرار، يتيح هذا النظام الانتقال إلى أسلوب استباقي يعتمد على التنبؤ بالتدهور والتدخل المبكر، كما في الشكل رقم (8).



الشكل رقم (8) مقارنة التكاليف الإجمالية لسيناريوهات

ومن المتوقع أن يؤدي الى تقليل تكاليف الصيانة على المدى الطويل، وتحسين السلامة المرورية، ورفع كفاءة استخدام الموارد، فيحقق هذا النظام قاعدة معرفية يمكن الاستفادة منها في دعم السياسات المتعلقة بإدارة الطرق الحضرية.

حدود الدراسة وآفاق البحث المستقبلي

تقتصر هذه الورقة على تقديم إطار مفاهيمي لتأسيس نظام إدارة صيانة الرصف دون تطبيقه على بيانات ميدانية فعلية. وهو ما يمثل أحد حدود الدراسة الحالية، كما لم تتناول الورقة التحليل الاقتصادي التفصيلي لتكاليف الصيانة أو نماذج التنبؤ الكمي لتدهور الرصف، نظراً لكونها ورقة ذات طابع تصوري موجهة للنشر العلمي.

تمثل هذه الدراسة اساسا يمكن البناء عليه في البحوث المستقبلية من خلال اختبار وتطبيق الإطار المقترح باستخدام بيانات حقيقية من شبكة الطرق بمدينة طرابلس، ودمجه مع نظم المعلومات الجغرافية لتعزيز القدرات التحليلية للنظام، كما يمكن تطوير نماذج تنبئية تعتمد على الأساليب الإحصائية لدعم قرارات الصيانة على المدى الطويل.

الخلاصة: -

استعرضت هذه الورقة المفاهيم الأساسية المرتبطة بنظم إدارة صيانة الرصف (PMS)، مع التركيز على المؤشرات المستخدمة في تقييم حالة الطرق، إضافة إلى تحليل عدد من الدراسات السابقة ذات العلاقة. كما تم تقديم إطار مقترح يهدف إلى دعم إدارة صيانة الطرق من خلال توظيف هذه المؤشرات ضمن منهجية متكاملة. وبناءً على ما تم استعراضه، يمكن استخلاص ما يلي:

1. تشير الأدبيات العلمية أن نظم إدارة صيانة الرصف (PMS)، تكون أداة أساسية لتحسين كفاءة إدارة شبكات الطرق، من خلال الاعتماد على البيانات والمؤشرات الكمية في تقييم الحالة واتخاذ القرار..
2. اتضح من الدراسات السابقة أن مؤشر حالة الرصف (PCI) يمثل المؤشر الأكثر استخداما في تقييم الحالة الإنشائية والسطحية للطرق، نظرا لسهولة تطبيقه وموثوقيته في تحديد مستويات التدهور.
3. تشير المراجع إلى أهمية استخدام مؤشرات إضافية مثل (IRI) و(SPI) و(PSI)، لما توفره من تقييم وظيفي يعكس جودة القيادة ومستوى الخدمة المقدمة لمستخدمي الطريق.
4. بين الاستعراض أن التكامل بين المؤشرات المختلفة يسهم في تقديم تقييم شامل لحالة الرصف، يجمع بين الجوانب الهندسية والوظيفية، مما يعزز من دقة قرارات الصيانة.
5. اوضح التحليل أن توفر بيانات دقيقة ومحدثة يعد عاملا أساسيا في نجاح تطبيق نظم إدارة الصيانة وتحقيق أهدافها.

DOI: 10.5281/zenodo.20397518

6. يشير الإطار المقترح في هذه الدراسة إلى إمكانية تحسين إدارة الرصد والمتابعة لحالة شبكة الطرق، من خلال تنظيم البيانات وربطها بمؤشرات تقييم واضحة وقابلة للتحليل.
7. كما يتوقع أن يسهم هذا الإطار في دعم تحديد أولويات الصيانة المستقبلية بشكل أكثر دقة، من خلال الاعتماد على منهجية علمية مبنية على تحليل حالة الرصف وليس التقدير الشخصي.
8. يبرز من خلال الاستعراض أن تبني مثل هذه الأطر يسهم في الانتقال نحو إدارة أكثر كفاءة واستدامة لشبكات الطرق، خاصة في البيئات الحضرية التي تشهد تزايداً في الأحمال المرورية..

التوصيات

1. اعتماد الإطار المقترح في هذه الدراسة كأساس لتطوير نظام وطني لإدارة صيانة الرصف، مع تكييفه وفق الخصائص المحلية لشبكة الطرق بمدينة طرابلس.
2. اعتماد مؤشر حالة الرصف (PCI) كمؤشر رئيسي في تقييم حالة الطرق، مع دمج مؤشرات (IRI) و(SPI) و(PSI) لتحسين دقة التقييم من الناحية الوظيفية.
3. تطوير آلية منهجية موحدة لعمليات الرصد الدوري لحالة الطرق، بحيث تعتمد على جمع بيانات منتظمة وقابلة للتحديث، بما يدعم استمرارية عمل نظام PMS.
4. إنشاء قاعدة بيانات رقمية متكاملة ترتبط بمؤشرات تقييم الرصف، وتستخدم كمرجع أساسي في تحليل الحالة واتخاذ قرارات الصيانة.
5. تطبيق منهجية واضحة لتحديد أولويات الصيانة تعتمد على تصنيف المقاطع للطريق وفق مستوى التدهور، بدلا من الاعتماد على التقديرات.
6. تعزيز استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لربط بيانات حالة الطرق بالموقع الجغرافي، مما يساهم في تحسين كفاءة الرصد والتحليل المكاني.
7. يوصى بالاعتماد على الإطار المقترح في دعم عمليات اتخاذ القرار من خلال استخدام مؤشرات تقييم حالة الرصف (PCI، IRI، SPI، PSI) بما يسهم في تحسين تحديد أولويات الصيانة وتوزيع الموارد بشكل أكثر كفاءة.
8. العمل على تطوير نماذج تحليلية مستقبلية تعتمد على المؤشرات المدروسة للتنبؤ بحالة الرصف، مما يسهم في الانتقال إلى الصيانة الوقائية.

الشكر والتقدير

يتقدم الباحثون بالشكر والتقدير إلى أكاديمية الدراسات العليا - جنزور على توفير هذه البيئة العلمية، التي كان لها الدور الكبير في إنجاز هذه الورقة.

المراجع

[1] عادل علي جهران - تقييم حالة سطح الرصف – دراسة حالة طريق قصر بن غشير – سوق الخميس رسالة ماجستير – الأكاديمية الليبية، كلية الهندسة (2021).

[2] عبد الرحمن، أحمد وآخرون - تطبيق نظام إدارة صيانة الرصف على شبكة الطرق الحضرية باستخدام مؤشر PCIمجلة العلوم الهندسية – جامعة القاهرة (2022).

[3] العتيبي، خالد بن محمد - تقييم حالة الرصف باستخدام مؤشر PCI وربطه بخطط الصيانة الدورية مجلة جامعة الملك سعود للهندسة (2023).

[4] عبد الله، محمد حسن - تطبيق نظام إدارة صيانة الرصف على شبكة الطرق الحضرية باستخدام مؤشر PCI رسالة ماجستير – جامعة القاهرة، كلية الهندسة (2018).

[5] الشمري، فهد بن سعد - تقييم حالة الرصف ودوره في تحسين قرارات الصيانة لشبكات الطرق مجلة جامعة الملك سعود للهندسة (2019).

[6] الزهراني، خالد بن علي - استخدام نظم المعلومات الجغرافية في إدارة صيانة الطرق مجلة العلوم الهندسية – جامعة أم القرى (2020).

[7] حسين، أحمد محمود - تحليل تدهور الرصف الأسفلتي باستخدام مؤشرات الأداء رسالة ماجستير – جامعة عين شمس. (2021).

[8] سليمان، عبد الكريم - نظم إدارة البنية التحتية للطرق وأثرها على التنمية الحضرية مجلة التخطيط العمراني – جامعة بغداد (2022).

[9] العلي، حسين دور - الكوادر الفنية في نجاح نظم إدارة صيانة الرصف مجلة العلوم الهندسية – جامعة دمشق (2023).

[10] الزبيدي، على - نظم إدارة صيانة البنية التحتية للطرق في الدول النامية مجلة التخطيط العمراني – جامعة الموصل (2024).

[11] شاهين، محمد يوسف - إدارة الرصف للمطارات والطرق ومواقف السيارات دار النشر Springer (2005).

[12] سمادي، عمر - تطبيق نظم إدارة الرصف على الطرق الحضرية مجلة هندسة النقل – الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين (ASCE) (2017).

[13] عبد الجليل، محمود - إدارة صيانة الطرق الحضرية باستخدام نظم معلومات متكاملة مجلة الهندسة المدنية – جامعة الإسكندرية. (2020).

[14] ناصر، سامي عبد الله - تقييم حالة الرصف الأسفلتي كمدخل لتخطيط الصيانة رسالة ماجستير – جامعة بغداد. (2021).

[15] الحربي، عبد العزيز - تحديد أولويات صيانة الطرق باستخدام نظم إدارة الرصف مجلة جامعة الملك فهد للبترول والمعادن. (2022)

[16] Prozzi, J. & Madanat, S. الجدولة المثلى لأعمال صيانة الرصف في ظل القيود المالية مجلة Transportation Research Record (2019)

[17] Zhang, Z. et al . دمج نظم المعلومات الجغرافية مع نظم إدارة الرصف المجلة الدولية لهندسة الرصف (International Journal of Pavement Engineering) (2021)

[18] Haas and Hudson تطوير نظم إدارة الرصف لدعم قرارات الصيانة الاستراتيجية مجلة Journal of Infrastructure Systems – ASCE (2008)

[19] Madanat et al. نماذج تنبؤ تدهور الرصف ودورها في نظم إدارة الرصف مجلة Transportation Research Part A (2014)

[20] Smirnov et al. تطبيق نظم إدارة الرصف في المدن النامية مجلة International Journal of Pavement Engineering. (2016)

[21] Tang et al . دعم قرار صيانة الرصف باستخدام أساليب التحليل متعدد المعايير مجلة Journal of Transportation Engineering. (2018)

DOI: 10.5281/zenodo.20397518

[22] Li et al. (نظم إدارة الرصف القائمة على قواعد البيانات الرقمية مجلة Automation in Construction. (2020)

[23] Haas, R., Hudson, W., & Zaniewski, J. الإدارة الحديثة لصيانة الرصف دار النشر Krieger Publishing Company. (2015)

[24] Yoder EJ, Witczak MW. Principles of Pavement Design. Wiley; 1975.

[25] Haas R, Hudson WR, Zaniewski J. Modern Pavement Management. Krieger; 2015.

[26] Shahin MY. Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. Springer; 2005.

[27] Huang YH. Pavement Analysis and Design. Pearson; 2004.

[28] AASHTO. Pavement Management Guide. Washington DC; 2017.

[29] Hudson WR, Haas R. Pavement management systems: past, present and future. Journal of Transportation Engineering. 1997.

[30] ASTM D6433. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. ASTM; 2020

[31] ASTM D6433-20, Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.

[32] Shahin, M. Y. Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots (2005)

[33] Haas, R., Hudson, W. R., & Zaniewski, J. Modern Pavement Management(1994)

[34] ASTM International PCI Methodology Guidelines. .(2020)

DOI: 10.5281/zenodo.20397518