Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences

مجلة جامعة وادي الشاطئ للعلوم البحتة والتطبيقية

Volume 4, No. 1, January-June 2026 Online ISSN: 3006-0877 المجلد 4، الاصدار 1، يناير - يونيو 2026

**RESEARCH ARTICLE** **ROAD AND HIGHWAY ENGINEERING**

# Assessment of the Condition of the Flexible Pavement of Brack Alshatti Airport Road Using the Paver System

Abuazoum Awidat[1,*], Omar Mohamed Darwish[2], Masoud Fekroun[1]

[1]Civil Engineering Development, Engineering Faculty, Wadi Alshatti University, Brack, Libya
[2]Civil Engineering Development, Engineering Faculty, Azzaytuna University, Libya

**ARTICLE HISTORY**
Received 05 April 2026
Revised 03 May 2026
Accepted 11 May 2026
Online 18 May 2026

**KEYWORDS**
Geographic information system (GIS);
Pavement condition index (PCI);
PAVER system;
Pavement management;
Flexible pavement;
ArcGIS web applications.

**ABSTRACT**

This study aims to facilitate the decision-making process for managing a section of the road network in Brak. Recent advances in Web GIS technologies have enabled road authorities to adopt cost-effective solutions for efficient road network management. This study aims to evaluate the flexible pavement condition of a selected road network using the PAVER pavement management system based on the Pavement Condition Index (PCI). The goal is to provide an accurate database to support preventive and structural maintenance decisions. PAVER is one of the most widely used systems for pavement evaluation, offering a standardized methodology based on ASTM D6433 for identifying pavement defects, determining the severity and extent of each defect, and then calculating the PCI value for each section .In this study, the road network was divided into homogeneous evaluation sections. A visual field survey was then conducted to identify the most common surface defects, such as block cracking, longitudinal and transverse cracks, patching, potholes, and raveling. The data was then entered into the PAVER software to determine the PCI value for each section. The results showed that the AT-A section index was 53, the AT-B section index was 84, the AT-C section index was 93, the BA-A section index was 54, and the BA-B section index was 59. The analysis revealed a clear relationship between the road's operational lifespan and the deterioration of the PCI value, in addition to the impact of excessive axle loads and insufficient periodic maintenance. The study also proposed an optimal Maintenance and Repair Plan (M&R Plan) based on treatment priorities and maintenance costs, including: preventive maintenance for good sections, intermediate repairs for deteriorated sections, and rehabilitation for sections classified as "very poor ".The study confirms that using the PAVER system provides a precise scientific method for pavement management and identifying actual maintenance needs, contributing to reduced maintenance costs and improved road service levels. The study recommends the periodic updating of network data and the implementation of automated surveying techniques to enhance future assessment accuracy.

# تقييم حالة الرصف المرن لطريق مطار براك الشاطئ باستخدام نظام PAVER

ابوعزوم اعويدات [1،*]، عمر محمد درويش [2]، مسعود فكرون [1]

**الملخص**

مقدمة هده الدراسة لتسهيل عملية صنع القرار لإدارة جزء من شبكة الطرق مدينة براك. من خلال النمو الأخير لتقنيات مواقع نظم المعلومات الجغرافية، يمكن للجهات المسؤولة عن الطرق الآن تنفيذ حل فعال من حيث التكلفة لإدارة شبكة الطرق، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم حالة الرصف المرن لشبكة طرق مختارة باستخدام نظام إدارة الرصف PAVER المعتمد على مؤشر حالة الرصف Pavement Condition Index (PCI)، وذلك بهدف توفير قاعدة بيانات دقيقة تدعم اتخاذ القرارات الخاصة بالصيانة الوقائية والإنشائية. يعد نظام PAVER أحد أكثر الأنظمة انتشارًا في تقييم الرصف، لما يوفره من منهجية معيارية تعتمد على دليل ASTM D6433 في حصر عيوب الرصف وتحديد شدة واتساع كل عيب، ومن ثم احتساب قيمة PCI لكل مقطع. تم في هذه الدراسة تقسيم شبكة الطرق إلى مقاطع تقييم متجانسة، ثم تنفيذ مسح بصري ميداني لتحديد العيوب السطحية الأكثر انتشارًا مثل الشقوق الشبكية (Block cracking)، الشقوق الطولية والعرضية(Longitudinal and Transverse Cracks) ، الرقع(Patching)، الحُفر (Potholes)، التآكل (Ravelling)، بعد ذلك جرى إدخال البيانات في برنامج PAVER إلى تحديد قيمة مؤشر PCI لكل مقطع. أظهرت النتائج، بأن مؤشر المقاطعAT-A هو53 مؤشر المقاطعAT-B هو84 مؤشر المقاطعAT-C هو93 مؤشر المقاطعBA-A هو54 مؤشر المقاطعBA-B هو59 وقد بين التحليل وجود علاقة واضحة بين العمر التشغيلي للطريق وتدهور قيمة PCI، إضافةً إلى تأثير الأحمال المحورية الزائدة ونقص الصيانة الدورية. كما اقترحت الدراسة خطة صيانة مثلى (M&R Plan) مبنية على أولويات المعالجة وتكاليف الصيانة، تشمل: الصيانة الوقائية للمقاطع الجيدة، الإصلاحات المتوسطة للمقاطع المتدهورة، وإعادة التأهيل للمقاطع التي تقع

**الكلمات المفتاحية**

نظام المعلومات الجغرافية (GIS)
مؤشر حالة الرصف (PCI)
نظام PAVER
نظم إدارة الرصف
الرصف المرن
تطبيقات الويب (ArcGIS.)

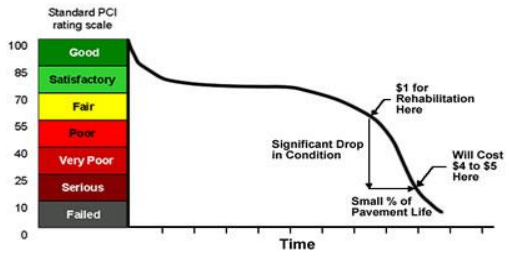
*Corresponding author
https://doi.org/10.63318/waujpasv4i1_51
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

ضمن فئة "ضعيف جدًا". تؤكد الدراسة أن استخدام نظام PAVER يوفر وسيلة علمية دقيقة لإدارة الرصف وتحديد الاحتياجات الحقيقية للصيانة، ويسهم في خفض تكاليف الصيانة وتحسين مستوى خدمة الطرق. توصي الدراسة بضرورة تحديث بيانات الشبكة بشكل دوري وإدخال تقنيات المسح الآلي لرفع دقة التقييم مستقبلاً.

## المقدمة

تُعد الطرق من أهم البنى التحتية التي تسهم في دعم التنمية الاقتصادية والاجتماعية، إذ تمثل الشريان الحيوي الذي يربط بين المدن والمناطق ويسهّل حركة الأفراد والبضائع والخدمات. ومع مرور الزمن وتزايد الأحمال المرورية والعوامل البيئية، تتعرض شبكات الطرق إلى تدهور تدريجي في طبقات الرصف، ما يستدعي تطبيق نظم فعّالة لإدارة الصيانة والمحافظة على مستوى الخدمة وجودة الأداء.

نظام إدارة الرصف Pavement Management System (PMS)الفعال هو نظام يسترشد ببرامج الكمبيوتر ليضمن الحفاظ على المستوى المطلوب للحالة الوظيفية والإنشائية لجميع مقاطع الرصف بميزانية منخفضة واستخدام أقل الموارد، دون التسبب في أي تأثير سلبي فعال على البيئة وحركة المرور والأنشطة الاجتماعية [1]. تم تطوير أنظمة PMS على أساس مفهوم بأن الموارد اللازمة لصيانة الطرق يمكن إدارتها بكفاءة من خلال تحديد الحالة الحالية للأرصفة ومعدلات تدهورها. في الواقع، تطبق PMS الناجحة مزيجًا من الخوارزميات الهندسية وتقنيات تحليل المفاضلة الاقتصادية لاقتراح نوع الصيانة والإصلاحات الصحيحة، في المكان المناسب، وفي الوقت المناسب. يوضح الشكل (1) تأثير الصيانة في الوقت المناسب على الأموال التي يتم إنفاقها وإطالة عمر الطرق وعواقب سوء توقيت الصيانة. حيث يوضح الشكل أن الاستثمارات المبكرة في الحفاظ على سلامة الطرق ستؤتي ثمارها بمرور الوقت - فكل دولار يتم إنفاقه على صيانة الطرق في حالة سيئة Fair سيلغى الحاجة إلى إنفاق أربعة إلى خمس دولارات على إعادة تأهيل / إعادة إنشاء طريق في حالة فاشلة Serious [2]. بالإضافة إلى تجنب التكلفة، يمكن أيضًا تجنب فترات طويلة من إغلاق حركة المرور والالتفافات.




**الشكل 1:** تأثير الصيانة في الوقت المناسب

هناك حاجة قوية لإدخال تقنيات جديدة تدريجيًا مثل نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information System (GIS) وجدولة الأعمال والتقارير وإدارة الأصول. وهذا سيمكن الجهات المسؤولة عن الطرق من أداء المهام بشكل أفضل وأكثر اقتصادا وفعالية وجودة أعلى [3]. تظهر هذه الدراسة أنه يمكن استخدام PMS الذي يعتمد على التكامل المباشر بين برنامج FAA PAVEAIR مفتوح المصدر [4] وبرامج شركة معهد أبحاث النظم البيئية Environmental Systems Research Institute (ESRI) لنظم المعلومات الجغرافية GIS [5]. لتسهيل عملية صنع القرار لإدارة جزء من شبكة الطرق مدينة براك. من خلال النمو الأخير لتقنيات مواقع نظم المعلومات الجغرافية Web GIS، يمكن للجهات المسؤولة عن الطرق الآن تنفيذ حل فعال من حيث التكلفة لإدارة شبكة الطرق. توضح هذه الدراسة كيفية تطوير تطبيق Web GIS لإدارة شبكة الطرق لاستخدامه في إدارة أرصفة شبكة الطرق قيد الدراسة باستخدام منصة ArcGIS Online السحابية من Esri القائم على البرمجيات كخدمة أو البرمجيات الخدمية Software as a Service (SaaS) منخفضة التكلفة. تم اختيار النظام الأساسي المستند إلى ArcGIS Online SaaS لتطوير تطبيقات Web GIS التي تكون سهلة الاستخدام ويمكن الوصول إليها بسهولة عبر أي مستعرض ويب أو جهاز لوحي أو جهاز محمول. من خلال تطبيق Web GIS لإدارة شبكة الطرق، يتمتع موظفو الجهات المسؤولة بالقدرة على تصور حالة الطرق الحالية التي تمكنهم من اتخاذ قرارات أكثر استنارة بشأن صيانة الطرق وإعادة التأهيل، ومقارنة عمليات الفحص السابقة بصريًا واكتشاف الاتجاهات أو التغيرات وتحليل تأثير البيئة المحيطة بالطرق، والسماح لهم بتوجيه فرق الصيانة والإصلاح في الوقت المناسب لأماكن الطرق المتدهورة وبالتالي إطالة عمر الطرق. يوفر تطوير هذا التطبيق أيضًا الأساس للاستخدامات في مجالات أخرى مثل إدارة أصول ومرافق الطرق كإشارات وعلامات المرور وتصريف المياه والجسور وغيرها وإدخال وتحليل المعلومات المتعلقة بحوادث المرور والتلوث الصوتي والهوائي وغيرها، بالإضافة إلى دعم تكامل نظم المعلومات الجغرافية المستقبلية مع تقنيات البنية التحتية الذكية.

### الدراسات السابقة

حظيت نظم إدارة الرصف (Pavement Management Systems) باهتمام واسع في العديد من الدراسات العالمية والعربية، نظرًا لدورها الفعّال في تقييم حالة الأرصفة وتحسين قرارات الصيانة وإعادة التأهيل. ويُعد نظام PAVER من أكثر الأنظمة استخدامًا في هذا المجال، لاعتماده على مؤشر حالة الرصف (PCI) كأداة كمية لتقييم الحالة الوظيفية والإنشائية للرصف. من أوائل التطبيقات البلدية لنظام Micro PAVER ما نُفذ في ولاية رود آيلاند بالولايات المتحدة الأمريكية خلال أواخر الثمانينيات وأوائل التسعينيات، [6] تجربة تطبيق النظام في 39 بلدية. وأظهرت الدراسة أن اعتماد المسح البصري ومنهجية أخذ العينات بنسبة 10% وفّر توازنًا مناسبًا بين الدقة وتكاليف التنفيذ، وأسهم في تحسين إدارة صيانة الطرق على المستوى البلدي، خصوصًا في الجهات ذات الموارد المحدودة. طور نموذجًا أوليًا لإدارة صيانة الأرصفة باستخدام Micro PAVER لبلدة ساوث كينغستون، حيث أظهرت النتائج أن نسبة كبيرة من مقاطع الطرق كانت في حالة متوسطة، مما استدعى وضع برامج صيانة متعددة السنوات. كما أبرزت الدراسة أهمية دمج نظم إدارة الرصف مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لدعم اتخاذ القرار المكاني [7]. كما تم دراسة بتطوير نظام متكامل لإدارة صيانة الطرق في مدينة غزة باستخدام Micro PAVER و GeoMedia GIS، وخلصت الدراسة إلى أن النظام المقترح أسهم في تحسين كفاءة إدارة شبكة الطرق، وساعد في ترتيب أولويات الصيانة بشكل أكثر واقعية، خاصة

في ظل محدودية الإمكانيات المالية [8]. نظام Micro PAVER على شبكة طرق حضرية في بلدية طهران بإيران، حيث تم تحليل عدة سيناريوهات للميزانية على مدى خمس سنوات. وأظهرت النتائج أن استخدام نماذج التنبؤ بتدهور الرصف ساعد في مقارنة تأثيرات مستويات التمويل المختلفة، وتحسين التخطيط طويل الأجل لأعمال الصيانة [9]. [10]، تم دمج نظام PAVERمع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتقييم حالة أرصفة مدينة إربد بالأردن، وتطوير نماذج إحصائية للتنبؤ بتشوهات الرصف. وأكدت النتائج أن عمر الرصف وحجم المرور اليومي يُعدّان من أهم العوامل المؤثرة في تدهور حالة الرصف، كما أظهرت فعالية التكامل بين PAVER و GIS في دعم قرارات الصيانة. نظام PAVEMON، وهو منصة إلكترونية متقدمة قائمة على نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ومتكاملة مع نظام استشعار متنقل متعدد الوسائط، قادر على جمع ومعالجة كميات ضخمة من البيانات تصل إلى 1 تيرابايت يوميًا. يعتمد النظام على دمج بيانات الاستشعار الصوتية والبصرية والكهرومغناطيسية مع بيانات الموقع الجغرافي(GPS) ، ويستخدم خوارزميات دمج إحصائية متقدمة للتنبؤ بمؤشر حالة الرصف (PCI)وفق معيارASTM ، مما يوفر تقييمًا دقيقًا وموثوقًا لحالة الأرصفة ودعمًا فعالًا لقرارات الصيانة والتنبؤ بالميزانيات المستقبلية [11]. في دراسة أخرى تم استخدام برنامج Micro PAVER لتقييم حالة الطرق في المناطق الوسطى والشرقية من السودان، حيث بينت النتائج أن نسبة كبيرة من التشوهات تعود إلى العوامل البيئية والأحمال المرورية [12]. وأكدت الدراسة ملاءمة نظام PAVER لتطبيقه في الدول النامية نظرًا لبساطته وكفاءته . [13] نظامًا متقدمًا لإدارة صيانة الأرصفة في تركيا بالاعتماد على PCI و GIS، حيث استخدم برنامج PAVER لتقييم حالة 20 مقطعًا طُرقيًا، وربطها ببيانات الاهتزاز المسجلة بواسطة مقاييس تسارع داخل مركبة. وأظهرت النتائج وجود علاقة قوية بين الاهتزازات الرأسية وقيم PCI، مما أتاح بناء نماذج تنبؤية فعالة لتقييم الطرق الحضرية بطريقة غير تقليدية ومنخفضة التكلفة. كما تم في دراسة [14] استخدام برنامج Micro PAVERلتقييم جزء من طريق سريع في بغداد، حيث أظهرت النتائج أن الحالة الحالية للطريق كانت ضعيفة، مع احتياج مالي كبير لأعمال الصيانة المستقبلية. وأكدت الدراسة أهمية التنبؤ قصير ومتوسط المدى في تحسين حالة الرصف وتخطيط الميزانيات بكفاءة. [15]، تم تطبيق نظام PAVER على شبكة الطرق الواسعة في جامعة بغداد، مع دمج قواعد بيانات شاملة وخرائط .GIS وأشارت الدراسة إلى أن معظم الدراسات السابقة افتقرت إلى منهجية تنبؤية متكاملة، مما دفع إلى تطوير نظام هيكلي شامل لإدارة الصيانة والإصلاح وسد هذه الفجوة البحثية. فقد ركزت على تقييم حالة طريق حضري في ماليزيا باستخدام PCI وQGIS، حيث اعتمدت على الفحص البصري وإنشاء قاعدة بيانات مكانية. وأثبتت النتائج أن استخدام نظم المعلومات الجغرافية يساهم بفعالية في تمثيل أضرار الرصف بصريًا ودعم اتخاذ القرار، مع التأكيد على ضرورة تعزيز قواعد البيانات لمزيد من الدقة [16]. وفي دراسات أحدث، تم التوجه نحو دمج نظم إدارة الرصف مع تقنيات الاستشعار الحديثة والطائرات المسيّرة ونظم المعلومات الجغرافية، [17] التي أثبتت أن استخدام GIS والطائرات المسيّرة في تقييم حالة الرصف يقلل الزمن والتكلفة مقارنة بالطرق التقليدية، مع الحفاظ على دقة قيم مؤشرPCI . قام فريق بحثي بتقييم تشوهات طريق في إندونيسيا باستخدام PCI ونظامPAVER ، مع تصميم قاعدة بيانات تعتمد على نموذج الكيانات والعلاقات (ER Diagram) وربط البيانات المكانية باستخدام .MapInfoوأظهرت النتائج أن تشوهات التجوية والانحلال تمثل النسبة الأكبر من الأضرار، مع تحديد قطاعات حرجة تتطلب صيانة عاجلة وتكلفة إصلاح مرتفعة [18] .تشير الدراسات السابقة إلى وجود اهتمام بحثي متزايد وملحوظ في مجال تحسين الخلطات الإسفلتية وعمليات الرصف، حيث تناول عدد كبير من الباحثين تقنيات متعددة تهدف إلى رفع كفاءة الأداء الميكانيكي والإنشائي للطرق، وتعزيز مقاومتها للعوامل البيئية والمرورية المختلفة [19-23]. وقد تنوعت هذه الدراسات بين استخدام إضافات معدّلة، وتطوير طرق التصميم، وتحسين أساليب التنفيذ، مما يعكس اتساع قاعدة المعرفة العلمية في هذا المجال. وعلى الرغم من هذا الزخم البحثي، لا تزال هناك فجوات معرفية تتطلب مزيداً من الدراسة، خاصة فيما يتعلق بملاءمة هذه التقنيات للظروف المحلية والبيئية المختلفة، الأمر الذي يبرز أهمية إجراء المزيد من الأبحاث التطبيقية لتعزيز جودة واستدامة مشاريع الطرق. كما يتضح من استعراض الدراسات السابقة أن نظام PAVER أثبت كفاءته في تقييم حالة الأرصفة ودعم قرارات الصيانة في بيئات مختلفة، إلا أن هناك حاجة لمزيد من الدراسات التطبيقية على شبكات الطرق المحلية في ليبيا، خاصة على مستوى الشبكة، بهدف توفير قواعد بيانات دقيقة تساعد في تحسين إدارة وصيانة الطرق. ومن هنا تأتي أهمية هذه الدراسة لتطبيق نظام PAVER على جزء من شبكة طرق مدينة براك وتحليل حالتها الحالية والمستقبلية واقتراح خطط صيانة مناسبة.

يتضح من استعراض الدراسات السابقة أن نظام PAVER أثبت كفاءته في تقييم حالة الأرصفة ودعم قرارات الصيانة في بيئات مختلفة، إلا أن هناك حاجة لمزيد من الدراسات التطبيقية على شبكات الطرق المحلية في ليبيا، خاصة على مستوى الشبكة، بهدف توفير قواعد بيانات دقيقة تساعد في تحسين إدارة وصيانة الطرق. ومن هنا تأتي أهمية هذه الدراسة لتطبيق نظام PAVERعلى جزء من شبكة طرق مدينة براك وتحليل حالتها الحالية والمستقبلية واقتراح خطط صيانة مناسبة.

**الفجوة البحثية**

استنادًا إلى ما سبق، يمكن تحديد الفجوة البحثية في الحاجة إلى تطوير وتطبيق نظام متكامل لإدارة صيانة الأرصفة يعتمد على:

- استخدام Micro PAVER أو PAVER كأساس لتقييم حالة الرصف،
- مع دمجه في بيئة نظم معلومات جغرافية (GIS) لدعم التحليل المكاني،
- وتكييفه ليتناسب مع الظروف البيئية والمناخية المحلية،
- مع التركيز على شبكات الطرق في المدن أو المناطق التي تعاني من محدودية الموارد المالية والفنية،
- وربط نتائج التقييم بخطط صيانة وقائية واقتصادية قابلة للتطبيق.

وعليه، تسعى الدراسة الحالية إلى سد هذه الفجوة من خلال تطبيق منهجية علمية عملية تُراعي الخصوصية المحلية، وتُسهم في تحسين كفاءة إدارة وصيانة شبكات الطرق، ودعم متخذي القرار بآلية موثوقة ومنخفضة التكلفة.

**جمع البيانات و إنشاء قواعد البيانات**

تم اعتماد المنهج التحليلي التطبيقي الذي يجمع بين تحليل البيانات المكانية والوصفية واستخدام أدوات النمذجة وإدارة الصيانة في برنامج.

PAVEAIR يشمل المنهج مراحل جمع البيانات الميدانية، بناء قاعدة بيانات مكانية، تحليل حالة الرصف، التخطيط لأعمال الصيانة واعادة التأهيل ، وأخيرًا عرض النتائج على خرائط ومواقع تفاعلية ولوحات معلومات ضمن بيئة ArcGIS Online.

**إدارة على مستوى الشبكة Network-Level**

على مستوى الشبكة، تتم الإجابة على الأسئلة المتعلقة باحتياجات الميزانية قصيرة وطويلة الأجل والحالة العامة للشبكة (الحالية والمستقبلية). بالإضافة إلى ذلك، على مستوى الشبكة تساعد الإدارة في تحديد أولويات أقسام أو مقاطع الأرصفة ويتألف بشكل أساسي من فحص بصري لجزء من سطح كل قسم من أقسام الأرصفة الموجودة داخل الشبكة. تم استخدام برنامج FAA PAVEAIR في هذه الدراسة لإدارة ارصفة الطريق المقترح على مستوى الشبكة.

**إدارة على مستوى المشروع Project-Level**

على مستوى المشروع، يتم اتخاذ القرارات الإدارية فيما يتعلق ببدائل الصيانة والإصلاح الأكثر فعالية من حيث التكلفة لقسم الرصف المحدد. التقييم على مستوى المشروع عادة ما يتم تحليله بتفصيل أكثر من مستوى الشبكة. يتم استخدام معدل أخذ عينات أكثر للفحص البصري للرصف. بالإضافة إلى ذلك، يمكن إجراء الاختبارات المكملة مثل اختبار الانحراف (أو الاختبار الغير مدمر)، واختبار الاحتكاك، واختبار الخشونة، وأخذ عينات من الارصفة بناءً على احتياجات محددة.

**تحديد نطاق الدراسة**

اجريت هده الدراسة ببلدية براك التي تعتبر من أكبر مراكز القوى العاملة في منطقة وادي الشاطئ وهي الشريان الاقتصادي والتجاري الرئيسي الذي يغذي ويخدم جميع المناطق في منطقة وادي الشاطئ، وتقع مدينة براك على بعد نحو 700 كيلومتر جنوبي العاصمة طرابلس ونحو 60 كيلومتر شمال مدينة سبها وتقع ما بين خط عرض 27.53.33 شمالا وخط طول 14.28.33 شرقا. لإنجاز النظام المقترح تم اختيار جزء من شبكة الطرق داخل مدينة براك كمجال تطبيقي للدراسة وهو الطريق الرابط بين مدينة براك ومطار براك وطريق طرابلس بطول 18.61 كم وكما موضح في الشكل (2)، نظرًا لأهميته من حيث الكثافة المرورية وانه أحد المداخل الرئيسية لمنطقة وادي الشاطئ والحاجة الماسة لأعمال الصيانة الدورية.

**الشكل 2:** موقع الطريق المقترح للدراسة

تم تحديد النطاق الجغرافي باستخدام خريطة الأساس وبيانات الأقمار الصناعية المتوفرة داخل منصة Esri لنظم المعلومات الجغرافية GIS، واعتماد نظام الإحداثيات العالمي WGS 1984.

**جمع البيانات**

تم جمع البيانات اللازمة من خلال المصادر التالية:

1.بيانات شبكة الطرق: تشمل أسماء الطرق، أطوالها، سمكها، نوع الرصف، عدد الحارات، وسنة الإنشاء.

2.بيانات المسح الميداني للتشوهات: (Distress Survey) تم تنفيذها باستخدام تطبيق ArcGIS Field Maps ونظام FAA PAVEAIR Mobile Update Inspection لجمع مواقع التشوهات ونوعها وشدتها ومساحتها وفقًا لمعايير ASTM D6433 لتقييم الطرق الأسفلتي.

3.البيانات المتعلقة بأعمال الصيانة: تتضمن نوع الصيانة حسب المواصفات الليبية للطرق والجسور والتكلفة حسب الاسعار النمطية الليبية لإعمال صيانة الطرق.

4.الصور الميدانية: تم توثيق حالة الارصفة باستخدام كاميرات الهواتف الذكية مع تحديد الموقع الجغرافي (Geotagging)

تم تنظيم البيانات في جداول رقمية CSV Microsoft Excel قابلة النقل إلى كل من ArcGIS وPAVEAIR

**مراجعة السجلات وجرد المعلومات**

قبل البدء في تقييم الأرصفة ، يتم إجراء مراجعة شاملة للسجلات الموجودة والمتاحة من رسومات الإنشاء والتقارير الجيوتقنية وسجلات الجهات المسؤلة عن الطرق والصور الجوية لجمع البيانات المتعلقة بسمك و أبعاد الطبقات الموجودة ونوع السطح و تاريخ انشاؤها وأخر عمليات صيانة اجريت لها وتصنيف الطريق اللازمة لإجراء تحليلات PMS . غالبًا ما يتم استكمال المعلومات التي يتم جمعها بمقابلات و إتصالات مع العديد من السكان والموظفين ذوى العلاقة بما في ذلك موظفى الجهات المسؤلة عن الطرق [2] فى هذه الدراسة ونظرا لعدم وجود ملفات هذه الطرق لدى الجهات المعنية بإنشاء و ادارة الطرق ، تم تحديد سمك الطبقات من خلال الحفر الموجودة بالطرق و جوانب الطريق وقياس عرض الطرق وتحديد الاطوال وتاريخ الإنشاء من خلال التسلسل الزمنى للصور الفضائية ( Landsat,Google Earth).

**تعريف الشبكة ورسم الخرائط**

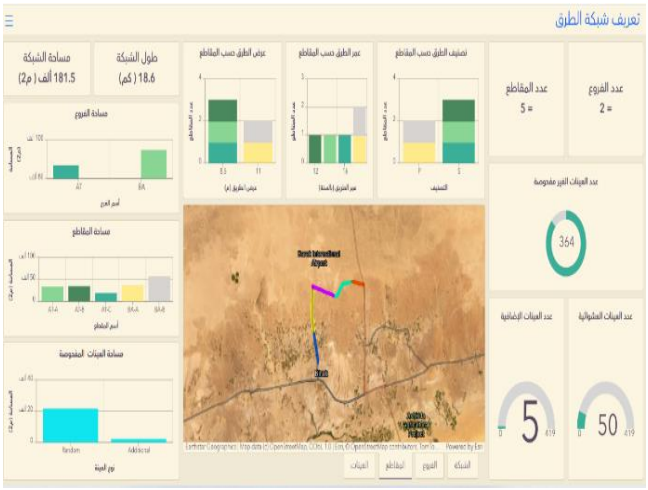
يعد تقسيم الرصف في النظام إلى وحدات أصغر وأكثر قابلية للتحكم مكونًا مهمًا في عملية PMS. كما هو محدد في [2]، يتألف تعريف الشبكة من أربعة أقسام رئيسية: الشبكة network والفرع branch والقسم section والعينة sample unit. تم إنشاء قاعدة بيانات جغرافية An Esri file geodatabase ورسم خرائط هذه الدراسة باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS Pro.3.5 .

أكبر وحدة داخل PMS هي الشبكة Network.لقد تم تحديد جزء من شبكة طرق مدينة براك (طريق المطار-Brak Airport Road) كشبكة مستقلة لإدارتها في هذه الدراسة. ثم تم تقسيم هذه الشبكة إلى فروع Branches. تتكون الشبكة قيد الدراسة من طريقين رئيسيتين (براك المطار-Brak Airport) و(المطار طرابلس-Airport Tripoli ) ولقد تم تحديدها كفروع. بعد ذلك تم تقسيم شبكة الطرق الى خمسة مقاطع، وكل مقطع متصلا بفرعه بتسلسل حسب الابجدية الإنجليزية على سبيل المثال المقطع (BA-B) يعنى المقطع (B) في فرع Brak Airport. الخطوة الأخيرة في عملية تعريف الشبكة هي تقسيم كل مقطع إلى وحدات العينة sample units أو

عينات لأغراض فحص حالة الرصف. في هذه الدراسة تم تحديد 419 عينة منها 30 عينة تم فحصها( العشوائية Random) و5 عينات اضافية أيضاً تم فحصها (الإضافية Additional) و364 عينة( لم يتم فحصها Un-Inspection) وفقا [2].

### تطوير قاعدة البيانات داخل برنامج FAA PAVEAIR

يتكون تطوير قاعدة البيانات داخل برنامج FAA PAVEAIR من إدخال المعلومات المجمعة ذات الصلة بأقسام الرصف في ملف قاعدة بيانات مشتركة. يتضمن ذلك إدخال المعلومات التي تم جمعها أثناء عملية مراجعة السجلات ومسح تشوهات الرصف. تم في هذه الدراسة فتح حساب في موقع FAA PAVEAIR باسم Aboazom وتكوين قاعدة بيانات وسميت Alzawya. ثم تم ادخال تفاصيل شبكة الطرق والتي تتضمن اسم الشبكة وكود أقرب مطار واسم الدولة والإحداثيات ونوع المطار والمنطقة او نوع المناخ الإقليمي. تم ادخال تفاصيل الفروع والتي تتضمن اسم الفرع ونوع الاستخدام والمساحة الخاصة بالفرع (براك المطار-Brak Airport).

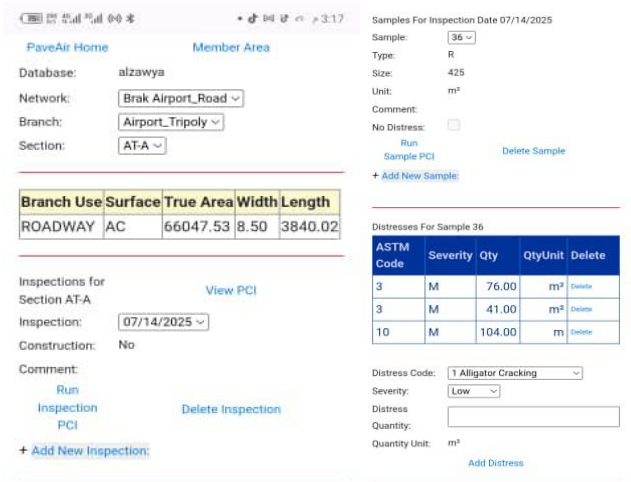



**الشكل 3:** لوحة معلومات جغرافية للتعريف بشبكة الطرق.

بعد ذلك تم ادخال تفاصيل العينات التي سيتم فحصها والتي تتضمن تاريخ الفحص ورقم ونوع ومساحة العينة الخاصة بعينات المقطع. بالإضافة الى ذلك تم إنشاء أربعة خرائط ويب لطبقات الشبكة والفروع والمقاطع والعينات داخل Arc GIS Pro ورفعها على Arc GIS Online لتكوين لوحة معلومات تفاعلية Arc GIS Dashboard للتعريف بشبكة الطرق قيد الدراسة [24] كما موضح في الشكل (3). يتكون هذا التطبيق من ايقونات للانتقال في عرض الخرائط ومخططات بيانية تبين مساحة تقسيمات الشبكة وتصنيف وعمر وعرض المقاطع وعدادات تبين عدد العينات والمقاطع والفروع داخل الشبكة.

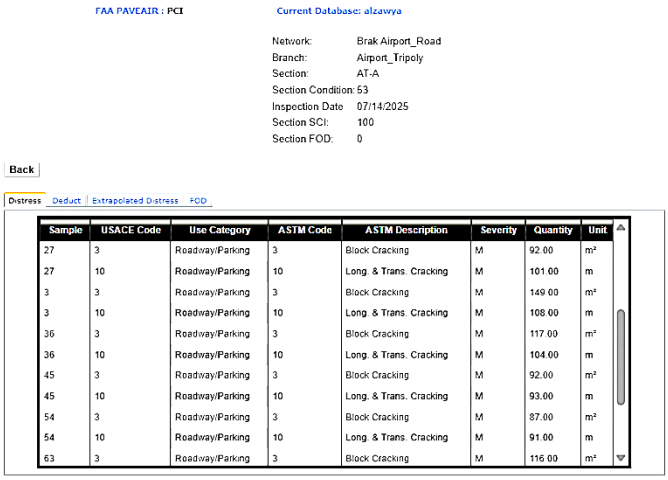
### مسح التشوهات وتقييم حالة الرصف

لقد تم مسح تشوهات جميع العينات العشوائية والإضافية بصرياً وإدخالها لبرنامج FAA PAVEAIR في الموقع بواسطة الهاتف النقال عن طريق نافذة Mobile Update Inspection وكما مبين في الشكل (4) الذي يبين أنواع التشوهات Distress Type ومستوى الشدة Distress Severity والكميات الموجودة Distress Quantity في العينة رقم (36) للمقطعAT-A والموجود في الفرع Airpot_Tripoly داخل شبكة Brak Airport Road وقاعدة البيانات Alzawya.




**الشكل 4:** إدخال بيانات الفحص الميداني للرصف باستخدام الهاتف المحمول

تم حساب قيمة PCI للعينات والمقاطع والفروع ولكامل الشبكة تلقائيا وكما مبين في الشكل (5) الذي يبين قيمة PCI للمقطع AT-A والتشوهات الموجودة به. وايضا مؤشر الحالة الإنشائية Structural Condition Index (SCI) وهو مقياس للضرر الذي يلحق بالرصف بسبب حركة المرور والأحمال. على غرار PCI، فهو مؤشر عددي بين 0 - 100، مع كون 100 أفضل حالة ممكنة.




**الشكل 5:** حساب قيمة PCI

يتم حسابه باستخدام إجراءات PCI المحددة في ASTM D5340 باستخدام مجموعة فرعية من التشوهات: التشقق التمساحي Alligator Cracking والتخدد Rutting. وايضا تم رفع قاعدة البيانات الجغرافية علىArc GIS Online لتكوين خريطة ويب web map للعينات المراد فحصها [25] و تتضمن نفس الايقونات الموجودة في نافذة Mobile Update Inspection لربطها او الدخول اليها عبر تطبيق جمع البيانات الميداني Arc GIS Field Map [25] للاستفادة من ميزة التتبع اللحظي Location tracking الذى يُمكن المستخدم من تحديد موقعة على الخريطة و بالتالي تحديد موقع العينات و التشوهات الموجودة بها على الطبيعة بالإضافة الى التقاط الصور وتخزينها على هذه الطبقة وكما موضح في الشكل (6). ونظراً لعدم توفر مستقبل GPS/GNSS عالي الدقة وخريطة أساس بدرجة وضوح عالية لم

يستخدم هذا التطبيق في مسح التشوهات واقتصر فقط على تحديد موقع العين في هذه الدراسة.

**الشكل 6:** خريطة ويب web map للعينات المراد فحصها.

لغرض عرض وإظهار بيانات تقييم الحالة الحالية للشبكة تم استخدام لوحة معلومات [26] للمساعدة في اتخاذ القرارات وتصور أو رؤية الاتجاهات او النزعة المركزية ومراقبة الحالة وإبلاغ أو إعلام صناع القرار أو العامة بحالة مقاطع الأرصفة.

## تطوير نموذج للتنبؤ بأداء الرصف وتحليل حالة الأرصفة

### نموذج الأداء Performance Model

يعد تطوير نماذج أداء الرصف جزءًا مهمًا في برامج PMS حيث يتم استخدام نماذج الأداء للتنبؤ بأداء الرصف مع مرور الوقت، والمساعدة في تحديد نوع وتوقيت وأولوية أعمال الصيانة أو إعادة التأهيل على مقطع معين. يُعرف أحد النماذج الشائعة لنهج تحليل الانحدار الذي يمكن استخدامه لإنشاء نماذج أداء باسم نموذج العائلة Family Modeling [2] ويعتبر هذا النموذج هو محرك برنامج FAA PAVEAIR. في هذه الدراسة تم تطويره باستخدام وحدة تطوير نماذج التنبؤ Prediction Modelling داخل FAA PAVEAIR حيث تشير النقاط إلى موقع النقاط المقاسة باستخدام PCI وعمر الرصف. خط الميل الوسطى هو منحنى الأداء المناسب والمنحنيات المحيطة لمنحنى الأداء هي الحد المستخدم لإزالة نقاط الانحراف اما الخط الأفقي يدل على قيمة PCI الحرج Critical PCI:55 التي يزداد فيها معدل تدهور PCI بمرور الوقت أو تزداد تكلفة تطبيق الصيانة الوقائية الموضعية بشكل كبير. تم تكوين دالة أداء حالة الرصف كالتالي:

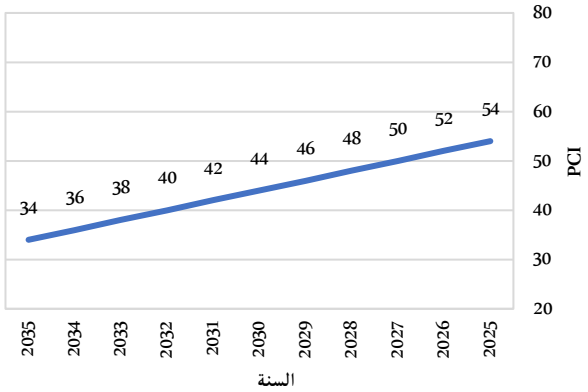
تم اعتماد القيمة الحرجة لمؤشر حالة الرصف (Critical PCI = 55) باعتبارها الحد الأدنى المقبول لحالة الرصف، حيث تمثل هذه القيمة الانتقال من حالة متوسطة إلى حالة ضعيفة وفق تصنيف مؤشر حالة الرصف المعتمد في نظام Micro PAVER ومعيار ASTM D6433. وعند انخفاض المؤشر إلى ما دون هذه القيمة تبدأ مظاهر التدهور الإنشائي والسطحي بالتزايد، مما يستدعي تنفيذ أعمال صيانة تصحيحية أو إعادة تأهيل لتجنب الارتفاع الكبير في تكاليف الإصلاح المستقبلية.

$$y = 0.00045618x^3 - 0.01761x^2 - 1.1002x + 100$$

حيث y هي مؤشر حالة الرصف PCI، وX تعبر عن عمر الرصف (بالسنة). يتم توفير جودة مقاييس الملاءمة للإشارة الى درجة ملاءمة البيانات للمعادلة (على سبيل المثال، معامل الارتباط، R2 ، الانحراف المعياري للخطأ، المتوسط المطلق للخطأ والمتوسط الحسابي للخطأ). تعني القيمة الكبيرة لمعامل الارتباط و R2 ملاءمة أفضل، بينما تشير القيم الصغيرة لباقي المقاييس إلى أن النموذج يناسب البيانات بشكل أفضل.

### تحليل الحالة Condition Analysis

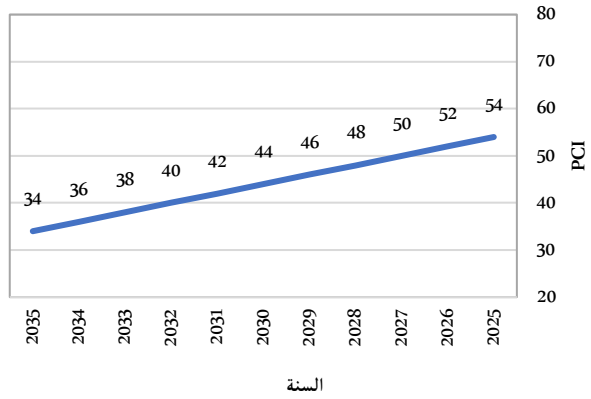
توفر وحدة تحليل الحالة The Condition Analysis Module داخل PAVEAIR توقعات حول الحالة التاريخية والمستقبلية للرصف حسب المدة الزمنية التي يحددها المستخدم وأقصاها 30 سنة وتم تحديد 10 سنوات للتنبؤ بالحالة المستقبلية من تاريخ نهاية فحص الشبكة قيد الدراسة وهو 2025/11/5 بالاعتماد على منحنيات نموذج التنبؤ الذي تم تطويره. توفر التوقعات حول الحالة التاريخية والمستقبلية شعوراً أو إحساس بحالة الرصف الكلية وسبب التدهور ومعدل التدهور ويمكن أن تكون مؤشراً لحجم العمل المطلوب لصيانة وإعادة تأهيل الرصف وكما توفر وسيلة لمقارنة حالة مقطع رصف بآخر وجدوى او قابلية البقاء او الاستمرار لأي شبكة أو مجموعة فرعية من أرصفة الشبكة التي يحددها المستخدم. يعتمد التحليل على بيانات الفحص الحالي ومقارنته مع قيم عمليات الفحص السابقة. إذا لم تكن هناك بيانات فحص سابقة، فسيتم استخدام الوضع الافتراضي للبرنامج لخصم 2 أو 3 أو 4 أو 5 نقاط PCI سنويًا. الشكل (7) يوضح توقعات الحالة المستقبلية لأرصفة شبكة هذه الدراسة.




**الشكل 7:** توقعات الحالة المستقبلية للعشر السنوات القادمة لأرصفة الشبكة.

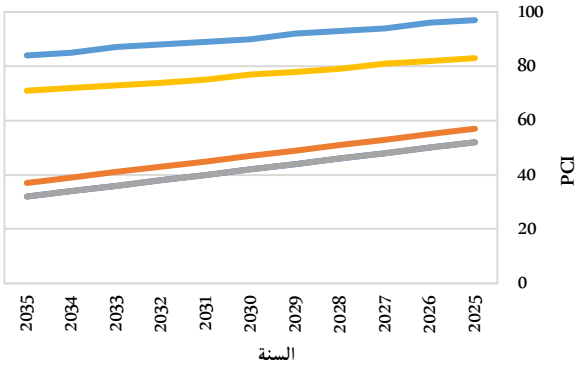
بعد تحديد وحدة تحليل الحالة، يتم تحدد مقاطع الرصف لتحليلها باستخدام أيقونة الاختيار أعلى الصفحة. يحدد "تاريخ بدء الحالة" تاريخ بدء تحليل الحالة. إذا كان التاريخ المحدد قبل تاريخ الإنشاء الأولي المدرج في وحدة الأعمال السابقة للقسم Work module، فسيقوم FAA PAVEAIR تلقائيًا بضبط تاريخ بدء الحالة إلى تاريخ الإنشاء الأولي. باستخدام أزرار الاختيار الموجودة على اليسار لتحديد ما إذا كانت مقاطع الرصف في التحليل تستخدم منحنى العائلة Family المخصص لها أم معدل تدهور خطي افتراضي من قبل البرنامج.

يقوم "التحليل على مستوى الفرع" بإجراء تحليل الحالة على الفرع المحدد في أيقونة الاختيار في أعلى الصفحة عن طريق إجراء تحليل الحالة على كل مقطع في الفرع وحساب متوسط النتائج على أساس سنوي وكما مبين في الشكل (8).




**الشكل 8:** توقعات الحالة المستقبلية لعشر السنوات القادمة لأرصفة الفرع Brak Airport

يقوم " التحليل على مستوى المقطع" بإجراء تحليل الحالة في المقطع المحدد في أيقونة الاختيار أعلى الصفحة وكما تم تصدير نتائج التنبؤ بحالة الأرصفة الى ملفات Microsoft Excel وربطها بطبقات خرائط الشبكة والفروع والمقاطع داخل Arc GIS Pro ونشرها على Arc GIS Online لتكوين لوحة معلومات تفاعلية Arc GIS Dashboard [27] وذلك لعرض وإظهار المعلومات وللمساعدة في تصور أو رؤية معدل التدهور ومقارنة حالة مقطع رصف بآخر ومراقبة الحالة وإبلاغ أو إعلام صناع القرار أو العامة بحالة مقاطع الأرصفة وكما موضح بالشكل (9) والجدول (1).

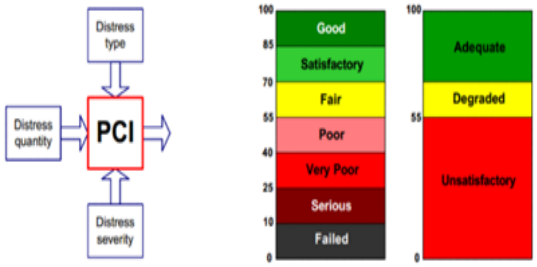



**الشكل 9:** منحنيات حالة الأرصفة المستقبلية.

**الجدول 1:** حالة الأرصفة المستقبلية.

| AT-C | AT-B | AT-A | BA-B | BA-A | السنة |
|---|---|---|---|---|---|
| 97 | 83 | 52 | 57 | 52 | 2025 |
| 96 | 82 | 50 | 55 | 50 | 2026 |
| 94 | 81 | 48 | 53 | 48 | 2027 |
| 93 | 79 | 46 | 51 | 46 | 2028 |
| 92 | 78 | 44 | 49 | 44 | 2029 |
| 90 | 77 | 42 | 47 | 42 | 2030 |
| 89 | 75 | 40 | 45 | 40 | 2031 |
| 88 | 74 | 38 | 43 | 38 | 2032 |
| 87 | 73 | 36 | 41 | 36 | 2033 |
| 85 | 72 | 34 | 39 | 34 | 2034 |
| 84 | 71 | 32 | 37 | 32 | 2035 |

نتج عن تقييم حالة الشبكة لمدة 10 سنوات انخفاض في متوسط قيمة PCI من حوالي 61 في عام 2025 إلى حوالي 43 في عام 2035. يظهر الوضع الحالي (في 2025)، بأن مؤشر المقاطع AT-A وBA-Aبمعدل (PCI=40-55) في حالة سيئة، والمقطع BA-B بمعدل يتراوح (PCI=55-70) في حالة متوسطة او حرجة، والمقطع AT-B (PCI=70-85) في حالة مقبولة، والمقاطع AT-C (PCI=85-100) في حالة جيدة. بعد إجراء التحليل والتنبؤات لمدة 10 سنوات، بحلول عام 2035، ستكون المقاطع مقطع المقاطع AT-A وBA-A وBA-B في حالة سيئة جدا (PCI=25-40) حسب تصنيف مؤشر حالة الرصف المتبع في الشكل رقم (10).




**الشكل 10:** يوضح دليل تصنيف معدل حالة الأرصفة

## الخلاصة

خلصت الدراسة إلى أن اعتماد نظام متكامل لإدارة الأرصفة باستخدام PAVER وGIS يمثل حلاً عمليًا ومستدامًا لإدارة شبكة الطرق في مدينة براك الشاطئ، ويمكن تعميمه على مدن ليبية أخرى لتحسين كفاءة الصيانة ورفع مستوى الخدمة اعتمادًا على جمع البيانات الحقلية، وحساب مؤشر حالة الرصف PCI، وتشغيل سيناريوهات الصيانة عبر نظام FAA PAVEAIR وربطها مكانيًا بمنصة ArcGIS Online، يمكن تلخيص في نقط التالية:

1. حالة شبكة الطرق: أظهرت نتائج PCI تفاوتًا واضحًا في حالة القطاعات، بأن مؤشر المقاطع AT-A هو53 مؤشر المقاطع AT-B هو84 مؤشر المقاطع AT-C هو 93 مؤشر المقاطعBA-A هو54 مؤشر المقاطع BA-B هو 59، مما يعكس تدهورًا عامًا في حالة الرصف نتيجة غياب الصيانة الدورية. وتركزت معظم العيوب في: التصدعات الطولية والعرضية التآكل (Ravelin) الحفر (Potholes) وهي عيوب تدل على ضعف الطبقة السطحية وغياب المعالجة الوقائية. أثبت النظام قدرة عالية على تحديد الأولوية المثلى للصيانة بناءً على حالة كل قطاع وعمره الافتراضي.
2. دور ArcGIS Online: سهلت المنصة عملية تحليل البيانات المكانية وتحديد المواقع الأكثر تدهورًا على خريطة تفاعلية. وفر إنشاء Dashboard مؤشرات سريعة لاتخاذ القرار تساعد الجهات المحلية في متابعة حالة الطرق. دعم النظام عملية دمج بيانات PCI مع طبقات الطرق وتسهيل الوصول إليها عبر المتصفح دون الحاجة إلى برامج متقدمة.
3. إن استخدام برنامج Micro PAVER لا يقتصر على تقييم حالة الطرق، بل يمثل أداة استراتيجية لاتخاذ القرار تساعد على اختيار أنسب توقيت للصيانة، مما يؤدي إلى خفض التكلفة الكلية خلال دورة حياة الرصف، وتحسين كفاءة استخدام الموارد المالية، وإطالة العمر الخدمي لشبكة الطرق

## التوصيات

بالنظر لما تم سرده من استنتاجات تتعلق بالدراسة تلاحظ أنه لا تزال هناك حاجة ماسة لإجراء المزيد من الدراسة والتحليل، مع الأخذ في الاعتبار إضافة تأثير كثير من العوامل المهمة (الاقتصادية والتقنية) ويمكن أن نلخص توصيات الدراسة في التالي:

1. توصيات مالية وإدارية

- تخصيص ميزانية سنوية لا تقل عن 700,000 – 900,000 دولار أمريكي لضمان إيقاف زيادة التدهور.
- وضع خطة صيانة عشرية مبنية على مخرجات PAVEAIR مع مراجعة دورية كل سنة.
- إنشاء وحدة خاصة لإدارة صيانة الطرق داخل البلدية تتولى تحديث البيانات وتفعيل نظام PMS.

2. توصيات تقنية (GIS & PAVEAIR)

- الاستمرار في استخدام PAVEAIR كمنصة أساسية لتقييم الرصف وتوليد خطط الصيانة.
- تحديث طبقات الطرق ونتائج PCI على ArcGIS Online بعد كل عملية مسح ميدانية.
- استخدام تطبيقات Survey123 وArcGIS FieldMap لجمع بيانات العيوب ميدانيًا بدقة وربطها مباشرة بقاعدة البيانات الجغرافية.

## توصيات للدراسات المستقبلية

- توسيع نطاق الدراسة لتشمل كامل شبكة طرق مدينة براك وليس جزءًا منها فقط.
- مقارنة نتائج PAVEAIR مع أنظمة أخرى مثل MicroPAVER أو PMS–HDM4.
- دراسة تأثير العوامل البيئية (الأمطار – الحرارة – التربة) على تدهور الرصف باستخدام نماذج تنبؤية.
- اعتماد نظام PAVER رسميًا في البلديات الليبية.
- تحديث بيانات حالة الأرصفة بشكل دوري.
- تخصيص ميزانيات ثابتة للصيانة الوقائية.
- تدريب الكوادر الفنية على أنظمة PMS وGIS.
- التوسع في استخدام تطبيقات الويب ولوحات المعلومات التفاعلية لدعم متخذي القرار.
- إدخال تقنيات المسح الآلي مستقبلًا لزيادة دقة

**Author Contributions: Awedat** and **Fekroun**: Conceptualization, methodology; **Darwish**: writing—original draft preparation. All authors have review and editing. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript."

**Funding:** "This research received no external funding."

**Data Availability Statement:** "No data were used to support this study."

**Conflicts of Interest:** "The authors declare that they have no conflict of interest."

**Acknowledgments:** "The authors would like to express their appreciation to Wadi Alshatti University, Brack-Libya, for their support during the study.

## Reference

[1] R. Almuhanna, H. Ewadh, and S Alasadi. "Using PAVER 6.5. 7 and GIS program for pavement maintenance management for selected roads in Kerbala city."Case studies in construction materials, vol. 8, pp.323-332, 2018. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.01.005.

[2] M. Shahin. "Pavement management for airports, roads, and parking_lots.",*J.Test.Eval.*,vol.23,no.5,pp.325-332,1995. https://doi.org/10.1520/JTE11401J

[3] J, Shafik, A. Maher. "Development of a pavement maintenance management system (pmms) for Gaza City." , *IUG Journal of Natural_Studies*,2015,13.1. https://search.emarefa.net/en/detail/BIM-11472-development-of-a-pavement-maintenance-management-system-pmms

[4] FAA PAVEAIR. "Federal Aviation Administration.", Accessed Oct. 01, 2025 .https://faapaveair.faa.gov.

[5] S. Sherwani. "FAA Paveair User Guide, U.S. (2011-2015), "Department of Transportation Federal Aviation Administration."FAA PAVEAIR, Version 3.7.4 build 2024.06.10. http:// faapaveair .faa.gov.

[6] G. Bowen, and K. Lee. "Implementation of a pavement management system for municipally maintained roads in rhode Island.", *Transportation Research Record, 1991.* (1311). http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1991/1311/1311-033.pdf.

[7] O. Adeyinka. "Development of a Prototype Pavement Management System for Municipal Maintained Roads and the Integration with a Geographic Information System." M.S. Thesis_1992,University_of_Mississippi,_USA. _https://doi.org/10.23860/thesis-adeyinka-olumide-1992

[8] M. Hallaq. "Development of a Pavement Maintenance Management System for Gaza City." *Journal of the Islamic University of Gaza (Series of Natural Studies &Engineering)*, 2005.Vol.13,No.1,p.119-138. https://scispace.com/pdf/development-of-a-pavement-maintenance-management-system-pmms-4b81xjn92r.pdf

[9] D. Moazami, H. Behbahani, and R. Muniandy. "Developing a Comprehensive Pavement Management System in Tehran, Iran using micro PAVER." *Electron. J. Geotech. Eng*, *15*, 2010. 1782-1792. https://www.academia.edu/download/5070455/moazami_et_al..pdf

[10] M. Obaidat and M. Al-Suleiman. "Integration of Geographic Information Systems and Paver Systems to Award Efficient Pavement Maintenance Management System (Pmms)- Case Study-Irbid City-Jordan." *journal of Advanced Science and Engineering Research*, 2012. *2*(4),279-296,2012. https://www.researchgate.net/publication/304152760._

[11] S. Shamsabadi. "Design and implementation of Pavemon: A gis web-based Pavement Monitoring System based on large amounts of heterogeneous sensors data." ProQuest Dissertations and Theses; Thesis (M.S.) -Northeastern University, 2015.; PSource: Masters Abstracts International, Volume: 54-02.; 103 p. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015PhDT.....3S/abstract

[12] G. Ali, M. Eisa, and A. Suleiman. "Use of Micro Paver Program for Pavement Maintenance Management System (PMMS) of Roads in Central and Eastern Sudan." *Journal of Building and Road Research,* 2016. 12(1). http://repository.sustech.edu/handle/123456789/4943

[13] U. Kırbaş, M. Karaşahin. "Estimating PCI using vibration data for asphalt concrete pavements." Conference: Proceedings of the2nd_World_Congress_on_Civil,_Structural,_and

Environmental_Engineering:_Barcelona,_Spain,_2017. https://doi:10.11159/icte17.114

[14] M. Hasan, B. Jrew, F. Abed, and M. Msallam. "Developing a pavement maintenance management system of multi-lane highway_in_Iraq,International_Conference_on_Sustainable_ Engineering_Techniques_(ICSET_2020)._https://doi.org/10.1088/1757-899X/881/1/012171.

[15] M.Hashim,_A.Abdulhussein,_and_A.Salman._"Utilizing geographic information systems in pavement maintenance applications: Baghdad university as case study." *Periodicals of Engineering_and_Natural_Sciences_(PEN)*,2021. https://doi.org/ 10.21533/pen. v9.i1.722

[16] M. SABRI, A. Sarif. "Analysis of Pavement Maintenance Using Geographical Information System (GIS)." Progress in Engineering Application and Technology, 4(1), 942-948. https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/peat.

[17] M. Quenallata, F. Wilson. "Pavement condition information management employing GIS and UAV." *ENGINEERING INVESTIGATES, 5.* https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/index.php/Record/REVUPT_0b972f465c3a0a7bc5db40bf15345daf

[18] S. Nisumanti, P. Legislatifa, A. I.Nazila, and C. Nendasaris. "Study of Flexible Pavement Structure Maintenance using Pavement Condition Index (PCI) and GIS technique:(Case Study: Palembang-Betung Road)." *In Proceedings of the International Conference of Inland Water and Ferries Transport Polytechnic of Palembang on Technology and Environment* (IWPOSPA-TE 2024) (p. 75). Springer Nature. https://link.springer.com

[19] H. Salem, M. Miskeen, and Y. Salem. "Enhanced Performance of Asphalt Mixtures by Adding Recycled Rubber from Damaged Car Tires.", *Wadi Alshatti University Journal of Pure and_Applied_Sciences*.pp.1–11,Feb.2025, https://doi.org/10.63318/

[20] H. Awadat Salem. "Effect of Polymer Modification Bitumen on Performance of Flexible Pavement in Hot Arid Area in Libya." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, 2025, 1(1), 57-63. https://doi.org/10.63318/

[21] H. Salem. "Rubber-Modified Asphalt for Enhanced Performance in Extreme Heat. *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, 2025, 2(2), 36-40. https://doi.org/10.63318/

[22] H. Salem, "Study and Comparison of Physical and Mechanical Properties of Highway Base Layer Materials from Different Sources", *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 3, no. 2, pp. 149–155, Jul. 2025, https://doi.org/10.63318/waujpasv3i2_19.

[23] H. Salem. "Enhanced Asphalt Mixture Design for Sustainable Pavements.", *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 31–35, Mar. 2025 https://doi.org/ 10.63318/.

[24] Arc GIS Dashboard. "تعريف شبكة الطرق." Accessed Dec. 03, 2025.https://alfgis.maps.arcgis.com/apps/dashboards/836104468dcb405ab45440ac3c73baca

[25] ArcGIS web map. "نموذج مسح التشوهات." Accessed Dec.03,2025. https://alfgis.maps.arcgis.com/home/item.html?id=bed2b18b357444a6af225e9f8fa0eda3ArcGIS

[26] Field Maps. "نموذج مسح التشوهات." Accessed Dec.03,2025. https://fieldmaps.arcgis.app/?itemID=bed2b18b357444a6af225e9f8fa0eda3&referenceContext=open&anonymousAccess=true

[27] Arc GIS Dashboard. "مسح التشوهات وتقييم حالة الرصف." Accessed Dec.03,2025.https://alfgis.maps.arcgis.com/apps/dashboards/baf4cc3193d04546ad81eb5f8d86c950