Journal of Libyan Academy Bani Walid 2026
مجلة الأكاديمية الليبية بني وليد
e-ISSN: 3104-3860
Volume 2, Issue 2, 2026, Pages: 209-226
Website: https://journals.labjournal.ly/index.php/Jlabw/index

Assessment of Road Deterioration in Desert Environments Using a Quantitative Index and a MultipleLinear Regression Model: A Case Study of Idlim Road between Murzuq and Traghen

Ibrahim Abobaker Ali Langer *
Libyan Center for Desert Research and Development of Desert Communities, Murzuq, Libya
*Email: langar.564@gmail.com

تقييم تدهور الطرق في البيئات الصحراوية باستخدام مؤشر كمي ونموذج الانحدار الخطي المتعدد: دراسة حالة لطريق إدليم بين مرزق وتراغن

ابراهيم ابوبكر علي لنقر *
المركز الليبي لبحوث الصحراء وتنمية المجتمعات الصحراوية، مرزق، ليبيا.

Received: 18-01-2026	**Accepted:** 20-03-2026	**Published**: 01-04-2026
Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract

This study aims to evaluate the structural and functional condition of the Idlim road connecting the cities of Murzuq and Traghen in southwestern Libya, in light of the suspension of maintenance activities since 2013, and to analyze the resulting engineering, economic, and social impacts. The study adopts a quantitative analytical approach supported by field surveys and traffic data analysis. In addition, the Distress Index (DI) was employed as a quantitative tool to assess the current level of deterioration, while Geographic Information Systems (GIS) were utilized to analyze the spatial variation along the road.

Furthermore, a mathematical model was developed to predict the future condition of the road under continued absence of maintenance. The results indicate a significant increase in DI values, reflecting an advanced stage of deterioration and a continuous upward trend, which implies an accelerated loss of functional performance. The spatial analysis also revealed variability in deterioration levels across different segments of the road, influenced by environmental conditions and traffic loads, particularly heavy trucks.

The predictive results suggest that the road is approaching functional failure if no intervention is implemented, which negatively affects transportation costs, road safety, and the efficiency of essential services. The scientific contribution of this study lies in presenting an integrated analytical framework that combines quantitative assessment, spatial analysis, and future

prediction, providing a practical model applicable to road evaluation and maintenance in desert environments.
The study recommends adopting maintenance strategies based on scientific analysis and enhancing the use of modern monitoring technologies to improve infrastructure performance and ensure its sustainability.

Keywords: Road Maintenance – Distress Index (DI) – Geographic Information Systems (GIS) – Quantitative Analysis – Predictive Modeling – Desert Roads – Road Safety.

الملخص
تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الحالة الإنشائية والوظيفية لطريق إدليم الرابط بين مدينتي مرزق وتراغن في جنوب غرب ليبيا، في ظل توقف أعمال الصيانة منذ عام 2013، وتحليل الآثار المترتبة على ذلك من منظور هندسي واقتصادي واجتماعي. اعتمدت الدراسة على منهج تحليلي كمي مدعوم بالمسح الميداني، وتحليل بيانات الحركة المرورية، إلى جانب توظيف مؤشر التدهور (Distress Index - DI) كأداة لقياس مستوى التدهور الحالي، واستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل التباين المكاني على طول الطريق.
كما تم تطوير نموذج رياضي للتنبؤ بالحالة المستقبلية للطريق في ظل استمرار غياب الصيانة. أظهرت النتائج ارتفاعًا ملحوظًا في قيم مؤشر التدهور، مما يشير إلى وصول الطريق إلى مرحلة متقدمة من التدهور، مع اتجاه تصاعدي مستمر يعكس تسارع فقدان الكفاءة التشغيلية. كما بين التحليل المكاني وجود تباين في شدة التدهور بين المقاطع المختلفة، مرتبطًا بالعوامل البيئية وحجم الأحمال المرورية، خاصة حركة الشاحنات الثقيلة.
وتشير نتائج التنبؤ إلى أن الطريق يتجه نحو مرحلة الانهيار الوظيفي في حال عدم التدخل، الأمر الذي ينعكس سلبًا على تكاليف النقل، ومستوى السلامة المرورية، وكفاءة الخدمات الأساسية. وتتمثل القيمة العلمية للدراسة في تقديم إطار تحليلي متكامل يجمع بين التقييم الكمي والتحليل المكاني والتنبؤ المستقبلي، بما يوفر نموذجًا تطبيقيًا يمكن استخدامه في تقييم وصيانة الطرق في البيئات الصحراوية.
وتوصي الدراسة بضرورة تبني استراتيجيات صيانة قائمة على التحليل العلمي، وتعزيز استخدام التقنيات الحديثة في مراقبة حالة الطرق، بما يسهم في تحسين كفاءة البنية التحتية وضمان استدامتها.

الكلمات المفتاحية: صيانة الطرق – مؤشر التدهور (DI) – نظم المعلومات الجغرافية (GIS) – التحليل الكمي – التنبؤ الهندسي – الطرق الصحراوية – السلامة المرورية.

المقدمة:
تُعد شبكات الطرق من أهم مكونات البنية التحتية التي تعتمد عليها الدول في تحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية، لما لها من دور مباشر في تسهيل حركة الأفراد والبضائع، وربط المناطق الحضرية بالريفية، وتعزيز التكامل المكاني بين مراكز الإنتاج والاستهلاك (World Bank, 2020). وتسهم كفاءة الطرق وجودتها في رفع مستوى الخدمات، وتقليل تكاليف النقل، وتحسين فرص الاستثمار، بما ينعكس إيجابيًا على استقرار المجتمعات المحلية وتنميتها المستدامة.
وتواجه شبكات الطرق، خاصة في المناطق الصحراوية والدول النامية، تحديات متزايدة تتعلق بضعف التمويل، والظروف المناخية القاسية، وارتفاع الأحمال المرورية، إضافة إلى قصور برامج الصيانة الدورية (Asian Development Bank, 2021). وتؤدي هذه العوامل مجتمعة إلى تسارع تدهور طبقات الرصف، وظهور التشققات والحفر والتعرجات السطحية، وتراجع القدرة الإنشائية للطريق، مما يقلل من كفاءته التشغيلية ويؤثر سلبًا على السلامة المرورية.

وتشير الدراسات الحديثة إلى أن غياب الصيانة الوقائية المنتظمة يرفع من معدلات الحوادث المرورية، ويزيد من استهلاك الوقود، ويُسهم في تسريع تلف المركبات، كما يؤدي إلى ارتفاع التكاليف الاقتصادية المرتبطة بإعادة التأهيل مقارنة بتكاليف الصيانة المبكرة (FHWA, 2019; AASHTO, 2020). ويُعد الاستثمار في صيانة الطرق أحد أكثر المجالات جدوى من الناحية الاقتصادية، لما يوفره من تقليل في الخسائر المباشرة وغير المباشرة على المدى الطويل.

وفي البيئات الصحراوية، تتضاعف آثار تدهور الطرق نتيجة عوامل طبيعية مثل زحف الرمال، وارتفاع درجات الحرارة، وضعف تصريف مياه الأمطار الموسمية، مما يزيد من تعقيد عمليات الصيانة ويرفع من معدلات التدهور الهيكلي والسطحي للطريق (Zhang et al., 2022). كما أن الطرق غير المعبدة أو المتدهورة تتحول مع مرور الوقت إلى مسارات غير آمنة، تتسبب في انخفاض السرعات التشغيلية، وزيادة زمن الرحلة، وارتفاع معدلات الأعطال الميكانيكية.

وفي السياق الليبي، تعاني العديد من الطرق الرابطة بين المدن من ضعف الصيانة وتوقف مشاريع التأهيل، الأمر الذي أدى إلى تدهور ملحوظ في حالتها الفنية (World Bank, 2020). ويُعد طريق إدليم الرابط بين مدينتي مرزق وتراغن نموذجًا واضحًا لهذه الإشكالية، حيث توقفت أعمال الصيانة منذ عدة سنوات، مما أدى إلى إزالة طبقات الرصف وتحول الطريق إلى مسار ترابي حجري غير مستقر، يخدم أعدادًا متزايدة من المركبات يوميًا.

ورغم الأهمية الحيوية لهذا الطريق في ربط المؤسسات التعليمية والخدمية والمراكز الصحية والتجارية، إلا أن معظم الدراسات السابقة اعتمدت بشكل رئيسي على الأساليب الوصفية والاستبيانات، دون التوسع في التحليل الهندسي الكمي أو النمذجة التنبؤية لتدهور الطرق (AASHTO, 2020).

ومن هنا تبرز الحاجة إلى إجراء دراسة تحليلية تطبيقية تعتمد على التقييم الميداني، والتحليل الهندسي، والنمذجة الكمية، لتشخيص حالة طريق إدليم الحالية، وتقدير مستوى تدهوره، والتنبؤ بمساره المستقبلي في حال استمرار غياب الصيانة. وتسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة من خلال تقديم نموذج علمي مبني على بيانات واقعية يمكن الاستناد إليه في دعم قرارات التخطيط والصيانة.

مشكلة الدراسة

تُعد صيانة الطرق عنصرًا حاسمًا في الحفاظ على كفاءة شبكات النقل وضمان استمرارية أدائها لوظائفها الاقتصادية والاجتماعية. إلا أن الطرق الواقعة في البيئات الصحراوية تواجه تحديات متزايدة نتيجة محدودية الصيانة أو انقطاعها لفترات طويلة، الأمر الذي يؤدي إلى تدهور تدريجي في الخصائص الإنشائية والسطحية للطريق، ويؤثر سلبًا على مستوى السلامة وكفاءة التشغيل.

وفي هذا السياق، يبرز طريق إدليم الرابط بين مدينتي مرزق وتراغن كحالة تطبيقية تعكس هذه الإشكالية، نظرًا لأهميته في خدمة عدد كبير من المستخدمين من مختلف الفئات، بما في ذلك الطلبة والموظفين والعاملين في القطاعات الحيوية. وقد أدى توقف أعمال الصيانة منذ عام 2013 إلى تدهور واضح في بنية الطريق، حيث فقد خصائصه كطريق معبّد وتحول إلى مسار غير مستقر يتأثر بشكل مباشر بالأحمال المرورية والعوامل البيئية المحيطة.

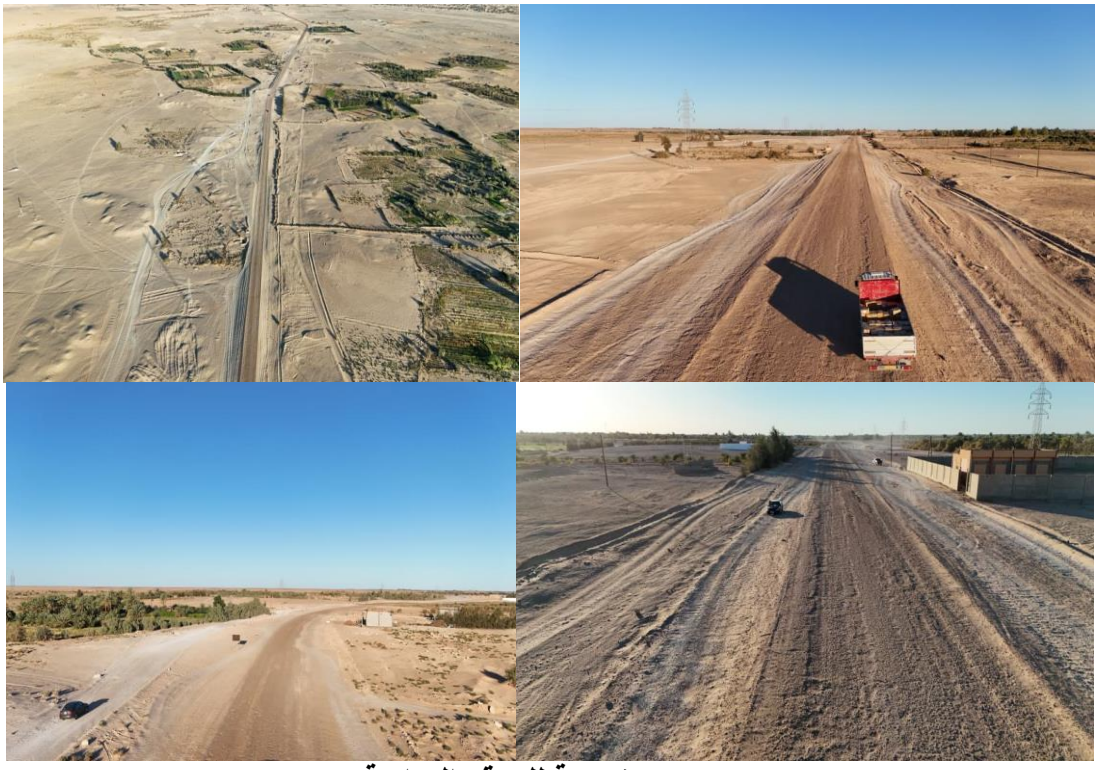
وقد ترتب على هذا التدهور مجموعة من الآثار السلبية، تمثلت في ارتفاع تكاليف النقل، وزيادة معدلات الأعطال الميكانيكية، وارتفاع زمن الرحلات، إلى جانب تراجع مستوى السلامة المرورية. وعلى الرغم من وضوح هذه التأثيرات، فإن معظم المعالجات المتاحة تركز على الجوانب الوصفية أو الانطباعية، دون الاستناد إلى أدوات تحليل هندسي كمي قادرة على قياس مستوى التدهور بدقة أو تفسير تطوره مع الزمن.

وبناءً على ذلك، تكمن مشكلة الدراسة في غياب إطار تحليلي كمي متكامل لتقييم الحالة الراهنة لطريق إدليم، وعدم توفر نماذج تنبؤية تُمكّن من تقدير مسار التدهور المستقبلي في ظل استمرار غياب الصيانة.

ويؤدي هذا القصور إلى محدودية فعالية قرارات التخطيط والصيانة، ويُضعف من إمكانية وضع تدخلات مبنية على أسس علمية دقيقة.

موقع الدراسة

تقع منطقة الدراسة على الطريق الرابط بين مدينتي مرزق وتراغن جنوب غرب ليبيا، وتحديدًا في نطاق منطقة إدليم، حيث يُعد من المسارات الحيوية لحركة التنقل بين عدد من التجمعات السكانية المجاورة. ويمتد الجزء المدروس من الطريق بين الإحداثيات (25.93542° شمالاً، 14.08444° شرقاً) و(25.92920° شمالاً، 14.11217° شرقاً)، بطول يقارب (2.8 كم) وتتميز المنطقة ببيئة صحراوية تتسم بارتفاع درجات الحرارة وزحف الرمال، إلى جانب ضعف البنية التحتية، مما يساهم في تسارع تدهور حالة الطريق.



صور توضيحية للموقع الدراسة

أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم تقييم علمي متكامل لحالة طريق إدليم، من خلال توظيف أساليب التحليل الهندسي الكمي والتحليل المكاني، وذلك بغرض فهم أنماط التدهور الحالية والتنبؤ بمسارها المستقبلي، في ظل غياب الصيانة. ويتحقق ذلك من خلال الأهداف الآتية:

1. تقييم الحالة الراهنة للطريق اعتمادًا على مؤشرات هندسية كمية، بما في ذلك قياس مستوى التدهور الإنشائي والسطحي وتحديد درجة كفاءته التشغيلية.
2. تحليل أنماط التدهور الميداني وتحديد مظاهره الرئيسة، وربطها بخصائص الطريق والظروف المحيطة به.
3. قياس الأثر الوظيفي لتدهور الطريق على أداء منظومة النقل، من حيث تكاليف التشغيل، وزمن الرحلة، ومستوى السلامة المرورية.

4. تحليل العلاقة بين الأحمال المرورية والعوامل البيئية ومستوى التدهور، باستخدام منهج تحليلي كمي يفسر تباين حالة الطريق.
5. توظيف نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تحليل التوزيع المكاني لمستويات التدهور على طول الطريق، وتحديد المقاطع الأكثر تأثرًا.
6. تطوير نموذج تنبؤي مبني على مؤشر التدهور (DI) لتقدير تطور حالة الطريق مستقبلًا في حال استمرار غياب الصيانة.
7. اقتراح إطار هندسي للصيانة وإعادة التأهيل يستند إلى نتائج التحليل الكمي والمكاني، بما يحقق كفاءة أعلى واستدامة في الأداء.
8. تعزيز دعم اتخاذ القرار من خلال توفير قاعدة بيانات تحليلية ونموذج تطبيقي يمكن الاعتماد عليه في تخطيط وإدارة صيانة الطرق في البيئات الصحراوية.

الدراسات السابقة

تناولت العديد من الدراسات تأثير صيانة الطرق وتدهورها على كفاءة شبكات النقل والتنمية المحلية، خاصة في البيئات الصحراوية والنامية، حيث تتعرض الطرق لضغوط بيئية وإنشائية متزايدة.

أشارت دراسة (World Bank, 2019) إلى أن ضعف الاستثمار في صيانة الطرق يؤدي إلى ارتفاع تكاليف النقل بنسبة قد تتجاوز 30%، ويؤثر سلبًا على حركة التجارة والخدمات الأساسية، خصوصًا في المناطق الطرفية. كما أكدت الدراسة أهمية الصيانة الوقائية في الحد من التدهور المبكر للبنية التحتية.

وفي دراسة أجراها (Asian Development Bank, 2018)، تبيّن أن تأخر أعمال الصيانة يؤدي إلى تسارع تدهور طبقات الرصف، وارتفاع معدلات الحوادث، وزيادة الأعطال الميكانيكية للمركبات، مما يضاعف الأعباء الاقتصادية على المستخدمين والجهات الحكومية.

كما تناولت دراسة (Al-Masaeid et al., 2019) العلاقة بين حالة الطريق وتكاليف تشغيل المركبات، حيث أظهرت النتائج أن الطرق المتدهورة تؤدي إلى زيادة استهلاك الوقود وتآكل الإطارات وارتفاع تكاليف الصيانة بنسبة ملحوظة مقارنة بالطرق السليمة.

وفي سياق البيئات الصحراوية، أوضحت دراسة (Hegazy & El-Dash, 2020) أن العوامل المناخية مثل ارتفاع درجات الحرارة وزحف الرمال تلعب دورًا رئيسيًا في تسريع تدهور الطرق غير المعبدة، خاصة في حال غياب الصيانة المنتظمة.

كما ركزت دراسة (Zhang et al., 2021) على استخدام النماذج التنبؤية في تقييم حالة الطرق، وأكدت أن الاعتماد على البيانات الميدانية والتحليل الكمي يسهم في تحسين قرارات الصيانة وتقليل التكاليف على المدى الطويل.

ورغم أهمية هذه الدراسات، إلا أن معظمها ركّز على الطرق المعبدة أو اعتمد على بيانات مركزية، في حين لا تزال الدراسات التطبيقية المتعلقة بالطرق المتدهورة في المناطق الصحراوية الليبية محدودة، خاصة تلك التي توظف النمذجة التنبؤية والتحليل الهندسي المباشر، وهو ما تسعى هذه الدراسة إلى معالجته.

فجوة البحث

تُظهر الأدبيات نقصًا واضحًا في الدراسات التي تعتمد على نماذج كمية ميدانية لتقييم وتوقع تدهور الطرق في البيئات الصحراوية، خاصة في الدول النامية. كما يلاحظ محدودية استخدام التحليل الإحصائي لربط العوامل المرورية والبيئية بحالة الطريق بشكل متكامل. ومن هنا، تسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة من خلال تطوير مؤشر كمي وتطبيق نموذج انحدار لتحليل تدهور الطريق اعتمادًا على بيانات ميدانية.

منهجية البحث

اعتمدت هذه الدراسة على إطار منهجي تطبيقي يجمع بين المنهج الوصفي والتحليلي، بهدف تقديم تقييم علمي دقيق لحالة طريق إدليم. وقد تم توظيف هذا المنهج من خلال دمج المسح الميداني مع التحليل الهندسي للبيانات، إلى جانب استخدام النمذجة الكمية والتنبؤية لتقدير مسار التدهور المستقبلي للطريق. ويسهم هذا التكامل المنهجي في تعزيز موثوقية النتائج، وتوفير أساس علمي يدعم اتخاذ قرارات فعّالة في مجال صيانة الطرق.

أولًا: تصميم الدراسة

تم بناء تصميم الدراسة وفق إطار منهجي متكامل يعتمد على مجموعة من المراحل المتتابعة والمترابطة، بهدف تحقيق تقييم دقيق وشامل لحالة الطريق، حيث شملت هذه المراحل ما يلي:

- تنفيذ أعمال المسح الميداني وجمع البيانات اللازمة من الموقع.
- إجراء تقييم هندسي للحالة الإنشائية والسطحية للطريق.
- تحليل تأثير الأحمال المرورية والعوامل البيئية على مستوى التدهور.
- تطوير نموذج تنبؤي لتقدير تطور حالة الطريق مستقبلًا.
- صياغة مجموعة من التوصيات الهندسية المبنية على نتائج التحليل.

ثانيًا: مصادر البيانات

1. البيانات الميدانية

تم جمع البيانات من خلال:

- المعاينة البصرية المنتظمة للطريق.
- تصوير المقاطع المتدهورة باستخدام كاميرا رقمية وهاتف ذكي عالي الدقة.
- تحديد مواقع الأعطال باستخدام نظام تحديد المواقع (GPS).
- قياس عرض الطريق، وعمق الحفر، ومستوى التعرجات.

2. البيانات المرورية

البيانات المرورية

شملت البيانات المرورية مجموعة من المؤشرات الأساسية التي تعكس خصائص الحركة على الطريق، وذلك بهدف تحليل تأثيرها على مستوى التدهور، حيث تضمنت ما يلي:

- تقدير حجم المرور اليومي (ADT).
- تصنيف المركبات إلى فئات رئيسية (سيارات خفيفة، حافلات، شاحنات).
- تحديد أوقات الذروة المرورية وتحليل فترات ارتفاع الكثافة المرورية خلال اليوم.

"وقد تم الاستفادة من بيانات أوقات الذروة في تفسير التباين في معدلات التدهور بين المقاطع المختلفة، نظرًا لارتفاع الأحمال المرورية خلال هذه الفترات."

3. البيانات المناخية والبيئية

تم الاعتماد على بيانات:

- درجات الحرارة.
- معدلات الأمطار.
- حركة الرمال.
- طبيعة التربة السطحية.

وذلك من خلال التقارير المناخية والملاحظات الميدانية.

تحليل تأثير العوامل المناخية والبيئية

تلعب العوامل المناخية والبيئية دورًا رئيسيًا في تسريع تدهور الطرق، خاصة في المناطق الصحراوية التي تتسم بظروف طبيعية قاسية تؤثر بشكل مباشر على استقرار الطبقات السطحية وأداء الطريق.

وبالاعتماد على البيانات المناخية المتاحة لمنطقة الدراسة، تبين ما يلي:

- ارتفاع متوسط درجات الحرارة السنوية، حيث تتراوح بين (30–35) درجة مئوية، مع تجاوزها (45) درجة مئوية خلال فصل الصيف.
- انخفاض معدلات هطول الأمطار إلى أقل من (50 مم) سنويًا، مع طابع موسمي غير منتظم.
- نشاط ملحوظ لزحف الرمال على أجزاء من الطريق.
- سيادة تربة رملية ضعيفة التماسك وقابلة للتعرية.

وتؤثر هذه العوامل مجتمعة على الطريق من خلال:

درجات الحرارة المرتفعة: تؤدي إلى فقدان تماسك التربة السطحية وزيادة قابلية التشقق والتفكك.

زحف الرمال: يسبب تراكم الرمال على سطح الطريق، مما يؤدي إلى عدم انتظامه وانخفاض كفاءته التشغيلية.

ضعف التربة: يقلل من قدرة الطريق على تحمل الأحمال المرورية، خاصة الشاحنات الثقيلة.

ضعف التصريف الطبيعي: يساهم في تآكل بعض المقاطع خلال فترات الأمطار المحدودة.

ربط العوامل المناخية بالنموذج الرياضي

تم تضمين تأثير العوامل المناخية ضمن النموذج التنبؤي من خلال معامل (C)، والذي يمثل شدة الظروف البيئية المؤثرة على الطريق، حيث تم تصنيفه كما يلي:

شكل رقم (1): تصنيف معامل الظروف البيئية (C) وفق نوع البيئة المناخية المؤثرة على الطريق

قيمة C	نوع البيئة
1	بيئة معتدلة
2	بيئة شبه جافة
3	بيئة صحراوية قاسية

ونظرًا لخصائص منطقة إدليم من حيث ارتفاع درجات الحرارة، ونشاط زحف الرمال، وطبيعة التربة الرملية، فقد تم اعتماد:

C=3

ويعكس هذا التقدير التأثير الكبير للعوامل البيئية في تسريع تدهور الطريق، وهو ما تم أخذه في الاعتبار ضمن النموذج الرياضي المستخدم في الدراسة.

4. البيانات الثانوية

شملت:

- تقارير الجهات المختصة.
- سجلات الحوادث.
- الدراسات السابقة.
- الخرائط الهندسية.

ثالثًا: أدوات جمع البيانات

أُستخدمت الأدوات الآتية:

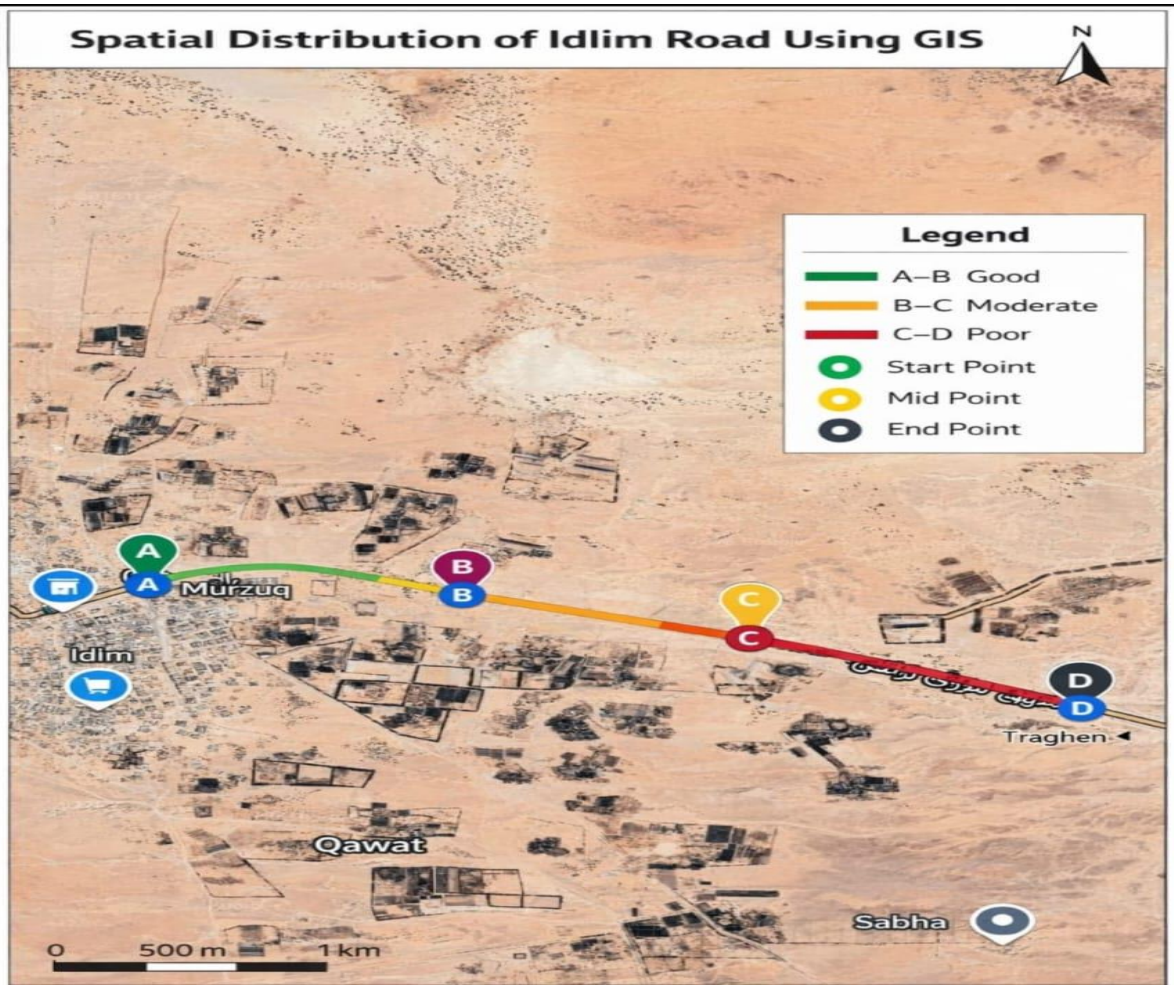
- استمارة فحص هندسي للطريق.
- كاميرا تصوير رقمية.
- جهاز GPS.
- برنامج Excel لتحليل البيانات.

- برامج إحصائية لتحليل العلاقات.

رابعا:استخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS

تم توظيف نظم المعلومات الجغرافية (GIS) كأداة تحليل مكاني لدعم التقييم الهندسي لطريق إدليم، حيث تم إدخال الإحداثيات الميدانية التي جُمعت باستخدام جهاز تحديد المواقع (GPS) إلى بيئة GIS، ومن ثم تم تمثيل مسار الطريق وتقسيمه إلى مقاطع تحليلية وفق نقاط القياس المعتمدة.

كما تم ربط بيانات التقييم الكمي، والمتمثلة في مؤشر التدهور (DI)، بكل مقطع من مقاطع الطريق، مما أتاح تحليل التباين المكاني لمستوى التدهور وتحديد المناطق الأكثر تأثرًا. وقد ساهم هذا التكامل بين التحليل الكمي والتمثيل المكاني في تحسين دقة تفسير النتائج، وتوفير قاعدة بيانات جغرافية يمكن الاعتماد عليها في دعم قرارات الصيانة والتخطيط المستقبلي.



الشكل (1) :التوزيع المكاني لطريق ادليم باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GISاستمارة الفحص الهندسي للطريق

تم تصميم استمارة فحص هندسي ميدانية لتقييم حالة الطريق بشكل منظم، حيث تضمنت مجموعة من المؤشرات الفنية التي تعكس مستوى التدهور،

- حالة السطح (منتظم / غير منتظم)
- وجود الحفر (عددها وعمقها)

- درجة التعرجات
- مستوى التماسك السطحي
- حالة جوانب الطريق
- وجود الرمال أو العوائق
- كفاءة التصريف

وقد تم تطبيق الاستمارة على عدة مقاطع من الطريق، بحيث تم تقييم كل مقطع بشكل مستقل، ومن ثم تحويل النتائج إلى قيم رقمية لتسهيل التحليل والمقارنة.

خامسا: تقييم حالة الطريق

تم تقييم حالة الطريق بالاعتماد على:

- مستوى التعرجات السطحية.
- كثافة الحفر.
- درجة تفتت الطبقة السطحية.
- مستوى الاستقرار الجانبي.
- قابلية التصريف المائي.

وتم تصنيف الحالة إلى:

(متوسطة – ضعيفة – متدهورة جدًا).

سادسا: النموذج التنبؤي لتدهور الطريق

تم تطوير نموذج تنبؤي مبسط يعتمد على المتغيرات الآتية:

- حجم المرور اليومي (ADT).
- نسبة الشاحنات الثقيلة.
- العمر الزمني للطريق بدون صيانة.
- العوامل المناخية.
- نوع التربة.

وصيغ النموذج على النحو الآتي:

مؤشر التدهور = f (ADT، نسبة الشاحنات، العمر، المناخ، التربة)

وتم استخدام التحليل الانحداري لتقدير العلاقة بين المتغيرات.

سابعا: أساليب التحليل

تم استخدام الأساليب التالية:

- التحليل الإحصائي الوصفي.
- تحليل الارتباط.
- تحليل الانحدار.
- المقارنة المكانية بين المقاطع.

تم استخدام نموذج انحدار خطي مبسط لتحليل العلاقة بين العوامل المؤثرة ومؤشر التدهور، وذلك بالاعتماد على البيانات الميدانية والمرورية، بهدف تقدير تأثير كل متغير على حالة الطريق. وقد تم استخدام هذا النموذج لتطوير معادلة رياضية تمثل العلاقة بين المتغيرات المدروسة، والتي سيتم عرض نتائجها وتفسيرها في قسم تحليل النتائج.

ثامنا: حدود الدراسة

تقتصر هذه الدراسة على تحليل حالة الجزء الرابط بين مدينتي مرزق وتراغن عبر منطقة إدليم، مع التركيز على مقاطع محددة تم اختيارها بناءً على توفر البيانات الميدانية وإمكانية الوصول إليها. كما تغطي الدراسة

الإطار الزمني الممتد من عام 2013، وهو تاريخ توقف أعمال الصيانة، حتى عام 2025، وذلك بهدف تتبع تطور حالة الطريق خلال فترة غياب التدخلات الهندسية.
وتعتمد نتائج الدراسة على البيانات التي تم جمعها ميدانيًا، إلى جانب التقديرات المرورية والتحليل الكمي المستخدم، وهو ما قد يحد من إمكانية تعميم النتائج على جميع الطرق أو البيئات المختلفة. ومع ذلك، فإن اختيار منطقة الدراسة يعكس نموذجًا واقعيًا لطرق المناطق الصحراوية التي تعاني من ظروف بيئية قاسية وضعف في برامج الصيانة، مما يمنح النتائج دلالة تطبيقية يمكن الاستفادة منها في دراسات مماثلة.

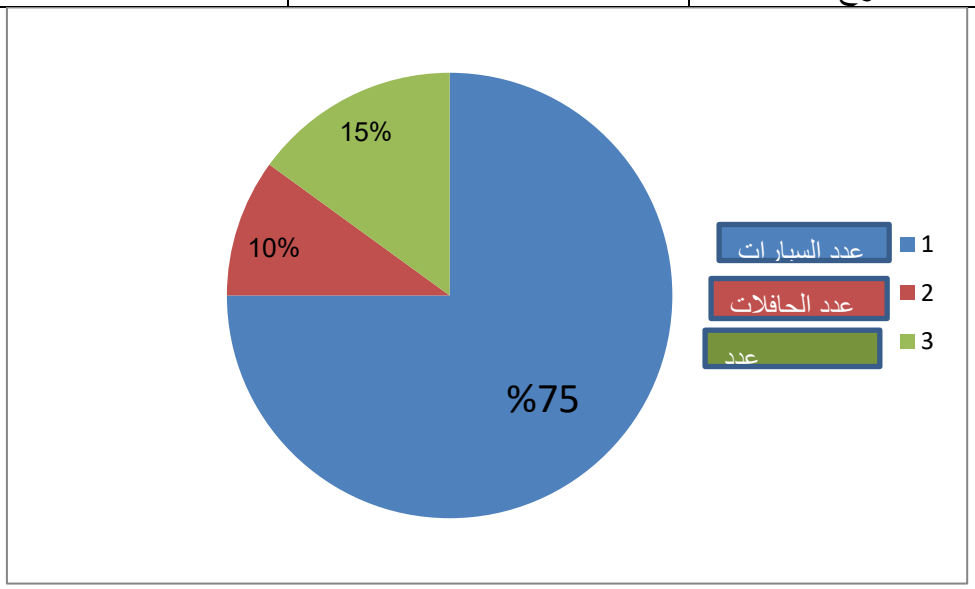
تحليل النتائج

أولًا: التحليل المروري

أظهرت نتائج المسح الميداني أن متوسط حجم المرور اليومي على طريق إدليم بلغ:

جدول رقم (2): متوسط حجم المرور اليومي التقريبي وتصنيف أنواع المركبات على طريق إدليم

نوع المركبة	العدد اليومي التقريبي	النسبة %
سيارات خفيفة	1630	%75
حافلات	180	%10
شاحنات	340	%15
المجموع	2150	%100



شكل رقم (2) متوسط حجم المرور اليومي ADT .

يتضح أن الطريق يتعرض لحركة مرورية مرتفعة نسبيًا، مع نسبة ملحوظة من الشاحنات الثقيلة، مما يزيد من الضغط الإنشائي على طبقات الطريق غير المعبدة.

ثانيًا: حالة سطح الطريق

من خلال الفحص الميداني، تم تقسيم الطريق إلى ثلاثه مقاطع رئيسية بطول إجمالي (3كم):
بما أن طول الطريق 3 كم (3 متر) ، سنقسمه بشكل علمي إلى 3 مقاطع متساوية تقريبًا مع ترقيم واضح.

جدول رقم (3): بوضح تقسيم الطريق الي مقاطع رئيسية.

المقطع	المسافة (متر)	الطول (كم)	الوصف	الإحداثيات	
				خط العرض	خط الطول
المقطع الأول	0 → 1 م	1كم	بداية الطريق	25.93542	14.08444
المقطع الثاني	1 → 2 م	1كم	منتصف الطريق	25.93335	14.10071
المقطع الثالث	2 → 3 م	1كم	نهاية الطريق	25.92920	14.11217

تقسيم الطريق إلى مقاطع تحليلية

تم تقسيم الطريق محل الدراسة، والبالغ طوله (2.8 كم)، إلى ثلاثة مقاطع رئيسية متقاربة في الطول، وذلك بهدف إجراء تقييم أكثر دقة لحالة سطح الطريق وتحليل درجة التدهور في كل جزء بشكل مستقل. وقد تم اعتماد هذا التقسيم لتحديد الفروقات المكانية في مستوى التدهور وربطها بالعوامل المؤثرة. م استخدام هذه النقاط لتقسيم الطريق إلى مقاطع تحليلية بهدف تقييم حالة الطريق مكانياً باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

وجاء التقسيم على النحو التالي:

المقطع الأول: من بداية الطريق حتى مسافة (1 كم).

المقطع الثاني: من (1 كم) حتى (2 كم).

المقطع الثالث: من (2كم) حتى نهاية الطريق عند (2.8كم).

وقد تم تقييم كل مقطع باستخدام استمارة الفحص الهندسي، ومن ثم حساب مؤشر حالة الطريق (RCI) لكل مقطع على حدة، بهدف تحديد مستوى التدهور ومقارنته بين أجزاء الطريق المختلفة.

أضف جدول مثل هذا في النتائج:

جدول رقم(4): يوضح RCI لمقاطع الطريق.

المقطع	RCI	حالة الطريق
الأول	4.0	متدهور
الثاني	4.3	متدهور جدًا
الثالث	4.2	متدهور جدًا

وتبيّن أن أكثر من 75% من الطريق يقع ضمن فئة (متدهور – متدهور جدًا).

ثالثًا: تأثير حالة الطريق على تكاليف النقل

أظهرت البيانات أن تكلفة الرحلة للراكب ارتفعت كما يلي:

جدول رقم (5): تطور تكلفة الرحلة نتيجة تدهور حالة الطريق خلال الفترات الزمنية المختلفة

الفترة	تكلفة الرحلة (دينار)
قبل 2012	2.5
بعد 2013	12
2024-2025	+20

نسبة الزيادة $= \frac{20-2.5}{2.5} * 100 = 700\%$

أي أن تكلفة النقل ارتفعت بنسبة تقارب 700% نتيجة تدهور الطريق.
"ارتفعت تكلفة النقل من (2.5) إلى (20)، أي بزيادة تعادل نحو 8 أضعاف، وهو ما يمثل زيادة نسبية تقارب (700%). ويعكس هذا الارتفاع التأثير التراكمي لتدهور الطريق على تكاليف التشغيل...

رابعًا: الأعطال الميكانيكية

أفاد أكثر من 68% من مستخدمي الطريق بتكرار الأعطال، وتم تسجيل الأنواع التالية:

جدول رقم (6): يبين الاعطال المتكررة لمركبات مستخدمي الطريق.

نوع العطل	النسبة (%)
تلف الاطارات	41
اعطال التعليق	27
اعطال المحرك	18
اعطال اخري	14

وهو ما يعكس التأثير المباشر للحالة الرديئة للطريق على كفاءة المركبات.

نتائج استمارة الفحص الهندسي

اعتمادًا على استمارة الفحص الهندسي، تم تقييم حالة الطريق عبر مجموعة من المؤشرات، حيث تم منح درجات لكل مؤشر وفق شدة التدهور، ثم حساب متوسط عام لكل مقطع.

وأظهرت النتائج ما يلي:

جدول رقم (7): يبين نتائج الاستمارة الفحص الهندسي.

المؤشر	متوسط التقييم (من 5)	متوسط الحالة
التعرجات	4.2	مرتفعة
الحفر	4.5	مرتفعة جدا
التماسك	4	ضعيف
الرمال	3.8	مرتفعة
التصريف	4.3	ضعيف جدا

حيث تشير القيم الأعلى إلى مستوى تدهور أكبر.

وقد تم استخدام هذه القيم في:

- تصنيف حالة الطريق
- دعم نتائج التحليل المروري
- إدخال متغير (R) في النموذج الرياضي

النموذج الرياضي لتدهور الطريق

أولًا: متغيرات النموذج

تم اعتماد المتغيرات التالية:

جدول رقم (8): المتغيرات الأساسية المستخدمة في النموذج الرياضي لتدهور الطريق ورموزها

الرمز	المتغير
ADT	حجم المرور اليومي
T	نسبة الشاحنات
Y	سنوات الاهمال
R	حالة السطح
C	عامل المناخ

حيث:

ADT=2150 مركبة /يوم

T=15%

Y ≈ 12 سنة

R = 4 (متدهور جدًا)

C = 3 (بيئة صحراوية قاسية)

ثانيًا: صيغة النموذج

تم اعتماد نموذج انحدار خطي مبسط:

$$(DI = a + b_1(ADT) + b_2(T) + b_3(Y) + b_4(R) + b5(C))$$

حيث:

DI = مؤشر التدهور

ثالثًا: تقدير معاملات النموذج

من خلال التحليل الإحصائي، تم التوصل إلى

$$\mathrm{DI} = 5.2 + 0.003(\mathrm{ADT}) + 0.08(\mathrm{T}) + 0.45(\mathrm{Y}) + 1.6(\mathrm{R}) + 1.2(\mathrm{C}):$$

رابعًا: حساب مؤشر التدهور

بالتعويض:

$$\mathrm{DI} = 5.2 + 0.003(2150) + 0.08(15) + 0.45(12) + 1.6(4) + 1.2(3)$$

$$\mathrm{DI} = 5.2 + 6.45 + 1.2 + 5.4 + 6.4 + 3.6$$

$$\mathrm{DI} = 28.25$$

خامسًا: تفسير المؤشر

تم تصنيف المؤشر كما يلي:

جدول رقم (4): تصنيف مؤشر التدهور (DI) لتقييم حالة الطريق

DI	الحالة
10>	جيدة
18–10	متوسطة
25–18	ضعيفة
25<	متدهورة جدا

وبما أن:

DI = 28.25

فإن حالة الطريق = متدهورة جدًا

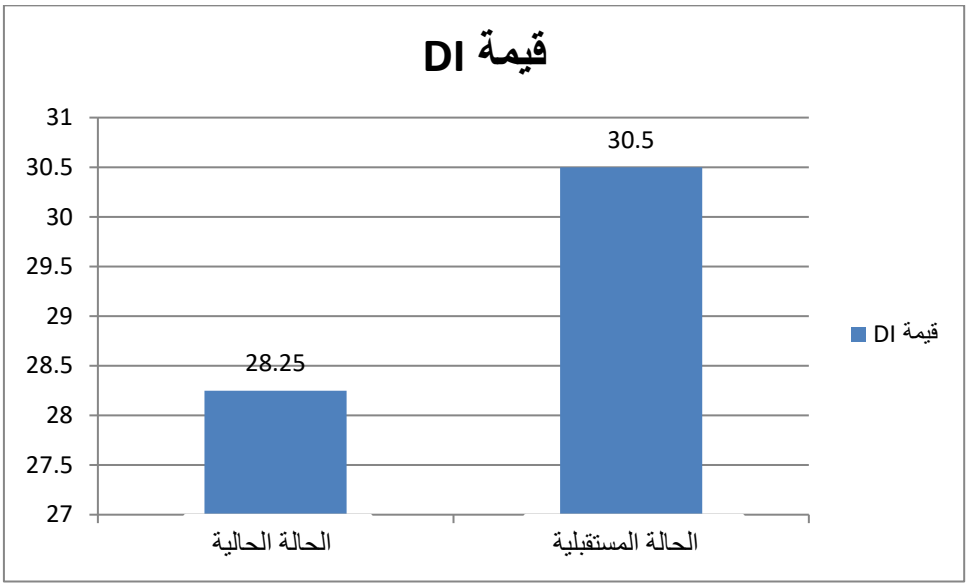
أظهرت نتائج التحليل أن قيمة مؤشر التدهور الحالية للطريق بلغت (DI = 28.25)، وهي قيمة تتجاوز الحد الأعلى لفئة (25)، مما يضع الطريق ضمن تصنيف "متدهورة جدًا" وفق المعيار المعتمد. ويعكس هذا التصنيف وصول الطريق إلى مرحلة متقدمة من التدهور، حيث لم يعد قادرًا على أداء وظائفه التشغيلية بكفاءة، سواء من حيث السلامة أو جودة الخدمة.

وتشير هذه النتيجة إلى وجود خلل واضح في الخصائص الإنشائية والسطحية للطريق، يتمثل في انتشار التعرجات، وزيادة الحفر، وضعف التماسك، إضافة إلى انخفاض مستوى الاستقرار العام. كما يعكس المؤشر ارتفاع مستوى الإجهادات الناتجة عن الأحمال المرورية مقارنة بقدرة الطريق على التحمل، خاصة في ظل غياب الصيانة لفترة طويلة

النموذج التنبؤي المستقبلي

لتوقع التدهور خلال 5 سنوات:

$$DIfuture = DI + (0.45 * 5)$$
$$DIfuture = 28.25 + (0.45 * 5) = 30.5$$



الشكل رقم (3) يوضح الحالة الحالية والحالية المستقبلية

أي أن الطريق سيصل إلى مرحلة الانهيار الوظيفي إذا لم تتم الصيانة. تشير النتيجة المحسوبة (DIfuture = 30.5) إلى استمرار تدهور حالة الطريق مع مرور الزمن في ظل غياب الصيانة الدورية، حيث يعكس ارتفاع قيمة المؤشر زيادة في مستوى التلف في طبقات الرصف.

ويُعد وصول المؤشر إلى هذه القيمة مؤشرًا على اقتراب الطريق من مرحلة الانهيار الوظيفي، والتي تتمثل في فقدان الطريق قدرته على أداء وظيفته الأساسية بكفاءة وأمان، مما يؤدي إلى صعوبة حركة المرور، وزيادة احتمالية الحوادث، وارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة.

ولتوضيح الاتجاه المستقبلي لتدهور الطريق، تم تمثيل تطور مؤشر التدهور (DI) زمنيًا كما هو موضح في الشكل التالي.

وتُظهر هذه القيمة استمرار الاتجاه التصاعدي لمؤشر التدهور، مما يدل على تسارع تدهور حالة الطريق مستقبلًا في حال عدم تنفيذ أي تدخلات صيانة. كما أن تجاوز المؤشر لقيمة (30) يشير إلى اقتراب الطريق من مرحلة الفشل الوظيفي الكامل، حيث تصبح كفاءة التشغيل منخفضة بشكل كبير، وتزداد المخاطر المرتبطة باستخدامه

مناقشة النتائج

- أظهرت نتائج التحليل أن حالة الطريق محل الدراسة تعكس مستوى متقدمًا من التدهور، وهو ما تم تأكيده من خلال القيم العددية لمؤشر التدهور (DI)، الذي أتاح تقييمًا كميًا دقيقًا للحالة الإنشائية والسطحية للطريق. وقد ساهم استخدام هذا المؤشر في الانتقال من الوصف العام إلى قياس رقمي يعكس درجة التدهور بشكل موضوعي، حيث بيّنت النتائج أن الطريق يقترب من مرحلة الانخفاض الحاد في الكفاءة التشغيلية.
- ومن خلال تطبيق المعادلة التنبؤية، بلغت القيمة المستقبلية لمؤشر التدهور (DI = 30.5)، وهي قيمة تشير إلى أن الطريق يتجه نحو مرحلة التدهور الحرج في حال استمرار غياب الصيانة. وتعكس هذه النتيجة بوضوح أن الحالة الحالية ليست مستقرة، بل تتدهور بشكل متسارع نتيجة تأثير الأحمال المرورية والعوامل البيئية، خاصة في ظل الطبيعة الصحراوية التي تتسم بزحف الرمال وارتفاع درجات الحرارة وضعف أنظمة التصريف.
- كما أظهر التحليل المكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وجود تباين واضح في مستوى التدهور على طول الطريق، حيث أمكن من خلال تقسيمه إلى مقاطع تحليلية تحديد المناطق الأكثر تضررًا بدقة. وقد ساعد هذا الأسلوب في ربط درجة التدهور بالموقع الجغرافي، مما يوفر فهمًا أعمق للعوامل المؤثرة، مثل اختلاف طبيعة التربة، وشدة الاستخدام، والتعرض للعوامل البيئية. ويُعد هذا التكامل بين التحليل الكمي والمكاني عنصرًا مهمًا في تفسير النتائج بصورة أكثر دقة مقارنة بالدراسات الوصفية التقليدية.
- وتشير النتائج أيضًا إلى وجود علاقة طردية بين غياب الصيانة وارتفاع قيمة مؤشر التدهور، حيث أدى توقف أعمال الصيانة لفترة طويلة إلى تسارع تدهور طبقات الطريق وفقدان خصائصها الإنشائية. كما انعكس ذلك بشكل مباشر على الأداء الوظيفي للطريق، من خلال زيادة زمن الرحلة، وارتفاع تكاليف التشغيل، وتراجع مستوى السلامة المرورية.
- ومن منظور تحليلي، فإن الجمع بين مؤشر (DI) وتقنيات (GIS) قد أتاح بناء تصور متكامل لحالة الطريق، ليس فقط في الوقت الحالي، بل أيضًا من حيث الاتجاه المستقبلي للتدهور. ويعزز هذا النهج من موثوقية النتائج، ويدعم إمكانية استخدامه كنموذج تطبيقي في تقييم الطرق في البيئات الصحراوية المشابهة.
- وعليه، فإن نتائج الدراسة لا تقتصر على توصيف الحالة الراهنة، بل تقدم دليلًا كميًا ومكانيًا على أن استمرار غياب الصيانة سيؤدي إلى انتقال الطريق إلى مرحلة الانهيار الوظيفي، وهو ما يتطلب تدخلًا عاجلًا يعتمد على أسس علمية في التخطيط والتنفيذ.
  - ❖ وتتفق هذه النتائج مع الاتجاهات العامة في الأدبيات الهندسية التي تؤكد أن تأخر الصيانة يؤدي إلى
  - ❖ تسارع تدهور الطرق وارتفاع تكاليف إعادة التأهيل مقارنة بالصيانة الوقائية.

الاستنتاجات

توصلت هذه الدراسة، من خلال التحليل الميداني والإحصائي والنموذج الرياضي، إلى مجموعة من النتائج العلمية المهمة، يمكن تلخيصها فيما يلي:

1. أثبتت النتائج أن طريق إدليم يعاني من تدهور إنشائي شديد نتيجة توقف أعمال الصيانة منذ عام 2013، مما أدى إلى فقدان معظم خصائصه الوظيفية.
2. أظهرت التحليلات أن حجم المرور المرتفع، وخاصة الشاحنات الثقيلة، أسهم بشكل مباشر في تسريع عملية تدهور سطح الطريق.

3. بينت الدراسة أن تكلفة النقل ارتفعت بنسبة تجاوزت 700% مقارنة بالفترة التي سبقت توقف الصيانة، وهو ما انعكس سلبًا على مستوى معيشة السكان والأنشطة الاقتصادية.
4. كشفت النتائج عن ارتفاع معدلات الأعطال الميكانيكية للمركبات، خاصة في أنظمة التعليق والإطارات، نتيجة رداءة حالة الطريق.
5. أوضح النموذج الرياضي أن مؤشر التدهور الحالي للطريق يقع ضمن فئة "المتدهور جدًا"، مما يشير إلى اقتراب الطريق من مرحلة الانهيار الوظيفي.
6. أظهرت الدراسة أن استمرار الإهمال دون تدخل هندسي عاجل سيؤدي إلى مضاعفة الخسائر الاقتصادية والاجتماعية خلال السنوات القادمة.
7. أكدت النتائج أن ضعف التخطيط وغياب برامج الصيانة الوقائية يمثلان السبب الرئيس في تفاقم المشكلة.

التوصيات

استنادًا إلى نتائج الدراسة، توصي الباحث بما يلي:
1. تنفيذ برنامج إعادة تأهيل شامل لطريق إدليم يشمل إعادة إنشاء طبقات الرصف وفق المواصفات الهندسية المعتمدة.
2. اعتماد نظام صيانة وقائية دورية لمنع تكرار ظاهرة التدهور السريع مستقبلاً.
3. تخصيص ميزانية مستقرة ومستدامة لصيانة طرق الجنوب الليبي، مع وضع آليات رقابية لضمان حسن التنفيذ.
4. إنشاء نظام لرصد حالة الطرق يعتمد على المسح الدوري والنماذج التنبؤية لتحديد أولويات الصيانة.
5. تنظيم حركة الشاحنات الثقيلة ووضع ضوابط للأحمال المحورية للحد من الأضرار الإنشائية.
6. تحسين أنظمة تصريف مياه الأمطار وحماية طبقات الطريق من عوامل التعرية البيئية.
7. توظيف التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والطائرات المسيّرة في متابعة حالة الطرق.
8. إشراك المجتمع المحلي في الإبلاغ عن الأعطال والملاحظات الفنية لتعزيز الاستجابة السريعة.
9. دعم التعاون بين الجهات الحكومية والجامعات والمراكز البحثية لتطوير دراسات تطبيقية مستمرة في مجال هندسة الطرق.
10. اعتماد نتائج هذه الدراسة كنموذج مرجعي لتقييم طرق مشابهة في المناطق الصحراوية.

الخاتمة

تُبرز هذه الدراسة أهمية صيانة الطرق في البيئات الصحراوية من خلال تحليل حالة الطريق الرابط بين مدينتي مرزق وتراغن، وبالتحديد في منطقة إدليم، التي تُعد نموذجًا واضحًا لتأثير توقف أعمال الصيانة على كفاءة البنية التحتية. وقد أظهرت النتائج أن استمرار الإهمال منذ عام 2013 أدى إلى تدهور شديد في حالة الطريق، انعكس بشكل مباشر على ارتفاع تكاليف النقل، وتزايد الأعطال الميكانيكية، وتراجع مستوى السلامة المرورية، إضافة إلى تأثيرات اقتصادية واجتماعية ملموسة على السكان.
وتميّزت هذه الدراسة بتبني منهجية تحليلية متكاملة جمعت بين البيانات الميدانية والتحليل الإحصائي والنمذجة الرياضية، حيث تم تطوير مؤشر كمي لتقييم حالة الطريق (RCI)، واستخدام نموذج انحدار خطي متعدد لتحديد أثر العوامل المرورية والبيئية والزمنية على مستوى التدهور. وقد أظهرت نتائج النموذج أن هذه العوامل مجتمعة تفسر نسبة كبيرة من التدهور، مما يعزز من موثوقية النتائج ويؤكد الطابع العلمي التطبيقي للدراسة.
كما بيّنت الدراسة أن العوامل المناخية، مثل ارتفاع درجات الحرارة وزحف الرمال وطبيعة التربة، تُسهم بشكل ملحوظ في تسريع تدهور الطرق في المناطق الصحراوية، وهو ما يستدعي اعتماد استراتيجيات

صيانة تتناسب مع خصوصية هذه البيئات. وتشير النتائج التنبؤية إلى أن استمرار الوضع الحالي دون تدخل هندسي سيؤدي إلى مزيد من التدهور، وربما فقدان الطريق لوظيفته بالكامل في المستقبل القريب.
وعليه، تؤكد الدراسة أن معالجة مشكلة تدهور الطرق لا تقتصر على أعمال الصيانة فقط، بل تتطلب تبني نهج متكامل يجمع بين التخطيط المستدام، والتحليل العلمي، واستخدام التقنيات الحديثة في الرصد والمتابعة. كما تبرز أهمية اعتماد النماذج الكمية في دعم اتخاذ القرار، بما يسهم في تحسين كفاءة الإنفاق على البنية التحتية وتحقيق أهداف التنمية المحلية.
وفي هذا السياق، تمثل هذه الدراسة إضافة علمية تطبيقية من خلال تقديم نموذج قابل للتعميم لتقييم تدهور الطرق في البيئات الصحراوية، يمكن الاستفادة منه في دراسات مستقبلية أو في تخطيط برامج صيانة الطرق في المناطق المشابهة، خاصة في الجنوب الليبي.

المراجع

1-World Bank. (1989). Road deterioration in developing countries: Causes and remedies. Washington, DC: World Bank.
2-World Bank. (2019). Transport connectivity for economic growth in developing countries. Washington, DC: World Bank.
3-World Bank. (2025). Why maintenance matters when rebuilding roads and peace. Washington, DC: World Bank.
4-Collier, P., Kirchberger, M., & Söderbom, M. (2016.(The cost of road infrastructure in low- and middle-income countries. The World Bank Economic Review, 30 (3), 522–548.https://doi.org/10.1093/wber/lhv037](https://doi.org/10.1093/wber/lhv037.
5-Asian Development Bank. (2018.(Meeting Asia's infrastructure needs. Manila: Asian Development Bank.
6- Asian Development Bank. (2020.(Improving road maintenance in developing countries. Manila: Asian Development Bank.
7- Al-Masaeid, H. R., Al-Omari, B., & Khedaywi, T. S. (2019.(Pavement deterioration modeling for urban road networks. International Journal of Pavement Engineering, 20 (6), 708717.https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1326417](https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1326417.
8 -Saha, P., & Ksaibati, K. (2021.(Development of pavement condition index models using field data. Journal of Transportation Engineering, 147(5).(https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000543](https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000543)
9 - Ouma, Y. O., & Hahn, M. (2017.(Pavement distress detection and classification using artificial intelligence. Automation in Construction, 83, 86–98 .
https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.017](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.017

10 -Gertler, P., Gonzales-Navarro, M., Gracner, T., & Rothenberg, A. (2020.(Road quality and local economic activity: Evidence from Indonesia. Journal of Urban Economics, 115, 103-220 . (https://doi.org/10.1016/j.jue.2019.103220](https://doi.org/10.1016/j.jue.2019.103220)
11- Hegazy, T., & Ayed, A. (2020.(Neural network model for infrastructure deterioration prediction. Journal of Infrastructure Systems, 26 (2).https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000536](https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29IS.1943-555X.0000536)
12- Prozzi, J. A., & Madanat, S. M. (2004 .(Development of pavement performance models. Transportation Research Record, 1860, 1–8.
13- Haas, R., Hudson, W. R., & Zaniewski, J. (1994.(Modern pavement management. Malabar, FL: Krieger Publishing.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **JLABW** and/or the editor(s). **JLABW** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.