Sadaa Al-qalum Journal
مجلة صدى القلم
مجلة صدي القلم للعلوم الإنسانية والتطبيقية

# التحليل الإحصائي والتقييم الهيكلي والوظيفي لعيوب الرصف الأسفلتي بمؤشرPCR لتحديد أولويات الصيانة: دراسة حالة طريق (أبي عيسى - مثلث السني بطول 15 كلم)

# Statistical Analysis and Structural-Functional Assessment of Flexible Pavement Distresses Using the PCR Index for Maintenance Prioritization: A Case Study of the Abi Isa – As-Suni Road (15 km)

**أ. عبد المعطي الطاهر سالم الهمالي[1]**

[1] قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة الزنتان، جامعة الزنتان

Abdulmuty.ataher@uoz.edu.ly

Abdulmuty Al-Taher Salem Al-Hemali[1]

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering-Zintan, Zintan University

**استلام الورقة: 2026-04-22 قبول الورقة: 2026-05-20 نشر الورقة: 2026-06-02**

## الملخص

تعرض هذه الورقة تقييمًا هندسيًا لحالة الرصف في طريق أبي عيسى – مثلث السني البالغ طوله 15 كيلومترًا والذي تم تنفيذه منذ نحو خمسة عقود ولم يخضع منذ ذلك الحين لبرنامج صيانة أو تأهيل منتظم. وتنطلق الدراسة من أن التقادم الزمني للطريق مقترن بتزايد الأحمال المحورية للشاحنات الثقيلة أدى إلى تجاوزه لعمره التصميمي وتدهور خصائصه الإنشائية والوظيفية على حد سواء.

اعتمدت الدراسة على مؤشر تقويم حالة الرصف (Pavement Condition Rating - PCR) كأداة كمية قياسية لتشخيص العيوب السطحية والهيكلية وذلك من خلال مسح ميداني شامل لثلاثة قطاعات رئيسة يغطي كل منها خمس كيلومترات تضمّن حصر سبعة عشر نوعًا من العيوب وتحديد درجات شدتها ومدى انتشارها مع توثيق فوتوغرافي وتحليل هندسي لآلية الفشل وراء كل عيب.

بلغت القيمة الإجمالية للمؤشر PCR نحو 53.11 وهي قيمة تضع الطريق ضمن فئة مقبول متدني (Fair – Borderline Poor) مع تفاوت واضح بين القطاعات إذ سجّل القطاع الأول أدنى قيمة (48.64 ضعيف) بسبب انتشار التشققات العرضية والطولية والحفر وتآكل الحواف في حين سجّل القطاع الثالث أفضل حالة نسبية (59.70 مقبول). وبيّن التحليل الإحصائي أن العيوب الهيكلية وعلى رأسها التشققات التمسا حية والتخدد والهبوط تستأثر بنحو 58.4% من إجمالي نقاط التخفيض وهو ما يشير إلى أن ضعف قدرة تحمل الطبقات الأساسية أمام الأحمال المحورية الثقيلة يمثل المسبب الرئيس للتدهور تليه أوجه القصور في حماية الأكتاف الجانبية وتصريف مياه الأمطار. وفي ضوء هذه النتائج توصي الدراسة بالبدء الفوري بأعمال الكشط وإعادة الرصف الهيكلي لكامل الطريق وتأهيل الأكتاف الجانبية وتوسعتها لتوفير دعم جانبي كافٍ وإنشاء نظام فعّال لتصريف مياه

الأمطار إلى جانب توصيات استراتيجية طويلة المدى تشمل تبني نظام إدارة رصف قائم على قواعد بيانات جغرافية ( GIS-based Pavement Management System) وتفعيل الرقابة على الأحمال المحورية عبر محطات الوزن واعتماد خلطات أسفلتيه محسّنة في المناقصات المستقبلية. وتؤكد الدراسة أن تأخير التدخل العلاجي لعام إضافي كفيل بخفض المؤشر إلى ما دون 40 نقطة بما يضاعف كلفة الإصلاح لاحقًا.

**الكلمات المفتاحية**: مؤشر تقويم حالة الرصف، عيوب الرصف الأسفلتي، إدارة الرصف، أولويات الصيانة.

## Abstract

This paper presents an engineering evaluation of the pavement condition of the 15-kilometer Abi Isa – As-Suni Triangle Road, constructed nearly five decades ago and never subjected since to a regular maintenance or rehabilitation program. The study proceeds from the premise that the road's age, combined with increasing heavy-truck axle loads, has caused it to exceed its design life and degrade both structurally and functionally. The study relied on the Pavement Condition Rating (PCR) index as a standard quantitative diagnostic tool, applied through a comprehensive field survey of three main sections (5 km each), inventorying seventeen distress types, determining severity and extent, and documenting each with photographs and engineering failure-mechanism analysis. The overall PCR score reached 53.11, placing the road in the Fair–Borderline Poor category, with clear variation among sections: Section 1 recorded the lowest score (48.64, Poor), Section 3 the relative best (59.70, Fair). Statistical analysis showed structural distresses — chiefly alligator cracking, rutting, and depression — account for approximately 58.4% of total deduct points, indicating weak base-layer bearing capacity under heavy axle loads as the primary deterioration driver, followed by shoulder-protection and drainage deficiencies. The study recommends immediate milling and structural overlay for the entire road, shoulder rehabilitation and widening, and construction of an effective stormwater drainage system, alongside long-term recommendations including a GIS-based Pavement Management System, axle-load enforcement via weigh stations, and specifying enhanced asphalt mixtures in future tenders. Delaying intervention by one additional year is projected to drop the index below 40 points, doubling future repair costs.

**Keywords:** Pavement Condition Rating; asphalt pavement distresses; pavement management; maintenance prioritization.

**1.مقدمة**

تمثل شبكة الطرق العمود الفقري لشبكات البنية التحتية لما لها من أهمية اقتصادية واجتماعية في أي دولة وتتوقف كفاءة هذه الشبكات إلى حد بعيد على مدى انتظام برامج صيانتها وإدارتها الهندسية. ويعد طريق أبي عيسى – مثلث السني أحد الطرق الحيوية التي نُفّذت في أواخر السبعينيات من القرن الماضي (عام 1977م تقريبًا) بواسطة شركة بنفينجر (Binfinger) وقد ظل منذ ذلك الحين يخدم حركة مرورية متصلة بين المناطق السكنية والتجارية المحيطة به مثل صرمان والزاوية وأبي عيسى.

ومع مرور أكثر من خمسة عقود على إنشاء هذا الطريق فقد تجاوز عمره التصميمي الافتراضي (Design Life) بوضوح في الوقت الذي شهدت فيه أحجام الحركة المرورية وبخاصة الأحمال المحورية للشاحنات الثقيلة تزايدًا كبيرًا لم يكن مأخوذًا بالحسبان عند التصميم الأصلي. وقد انعكس هذا التراكم الزمني والحملي بوضوح على خصائص المادة الرابطة الإسفلتية التي تعرضت لأكسدة وتصلب ملحوظ (Bitumen Aging) بحيث تحوّل سلوك الرصف تدريجيًا من الحالة المرنة (Flexible Behavior) إلى حالة أقرب إلى التصلب (Rigid-like Behavior).

وفي ضوء هذا الواقع لم يعد التعامل مع الطريق وفق أسلوب الصيانة التقليدي القائم على إصلاح الأعطال كافيًا لضمان استمرارية الخدمة بل بات لازمًا الانتقال إلى نظام إدارة الرصف المتقدم (Pavement Management System - PMS) القائم على المسح الميداني الدوري والتقييم الكمي المنتظم والتحليل المخبري لعينات الكور المأخوذة من الموقع (الجمعية الأمريكية لمسؤولي النقل والطرق السريعة 2020).

وتقيّم هذه الورقة الطريق المذكور هندسيًا باستخدام مؤشر تقويم حالة الرصف (Pavement Condition Rating - PCR) وهو من بين أكثر المؤشرات القياسية اعتمادًا على المستوى الدولي وتحديدًا في منهجيات إدارة الطرق المعتمدة لدى إدارة النقل بولاية أوهايو الأمريكية والجمعية الأمريكية لمسؤولي النقل والطرق السريعة (إدارة النقل بولاية أوهايو 2019؛ الجمعية الأمريكية لمسؤولي النقل والطرق السريعة 2020). ويهدف هذا التقييم إلى تشخيص عيوب الرصف وتحديد درجة التدهور الهيكلي والسطحي بما يمكّن الجهات السيادية من اتخاذ القرار الأمثل للصيانة.

**2.أهداف الدراسة**

تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق جملة من الأهداف الهندسية يمكن إيجازها في المحاور التالية:

**أولاً:** حصر وتقييم عيوب الرصف الميدانية: التحديد الدقيق لكافة أنواع العيوب الإنشائية والوظيفية المنتشرة على امتداد الطريق وتصنيفها وفق دليل العيوب القياسي المعتمد.

**ثانياً:** قياس شدة العيوب وكثافتها: تحديد درجات الشدة (Severity) ومستويات الانتشار (Extent) لكل نوع من أنواع العيوب السبعة عشر المعتمدة في منهجية PCR.

**ثالثاً:** حساب مؤشر حالة الرصف (PCR): احتساب قيم PCR لكل مقطع من مقاطع الطريق المدروسة ثم اشتقاق مؤشر PCR العام الشامل للطريق كمقياس كمي موحد لحالة المنشأة.

**رابعاً:** التحليل الإحصائي لتوزيع العيوب: إجراء تحليل إحصائي وصفي لمجموعات العيوب بهدف تحديد المسبب الرئيس للتدهور سواء كان أحمالاً هيكلية أو عوامل بيئية أو قصورًا في المواد والتنفيذ.

**خامساً:** التوثيق الفوتوغرافي والهندسي: ربط العيوب الميدانية بالصور الموثقة المأخوذة من الموقع مع تقديم شرح وتحليل هندسي لآلية الفشل (Failure Mechanism) لكل نوع من العيوب.

**سادساً:** تحديد أولويات واستراتيجيات الصيانة: وضع قرار هندسي يحدد نمط الصيانة المطلوب — وقائية أو علاجية أو إعادة تأهيل أو إعادة بناء — لتسهيل تخطيط الميزانيات المستقبلية لدى الجهة المالكة.

**3.وصف الطريق**

يمثل الطريق موضوع الدراسة شريانًا حيويًا يربط بين المناطق السكنية والتجارية المجاورة ويشهد حركة مرورية متزايدة تشمل مركبات الركوب الخفيفة والآليات الثقيلة على حد سواء. وفيما يلي أبرز المواصفات الهندسية والفنية للطريق:

- اسم الطريق: طريق أبي عيسى – مثلث السني بطول إجمالي 15 كم.
- تاريخ الإنشاء والجهة المنفذة: عام 1977م بواسطة شركة بنفينجر (Binfinger).
- نوع الرصف: رصف أسفلتي متصلب خاضع لتأثير التقادم والدمك الثانوي الفائق (Post-Compacted Asphalt).
- الطول الإجمالي للطريق: 15.00 كيلومتر.
- العرض الإجمالي للطريق: متفاوت يتراوح بين 6.00 أمتار ويصل إلى 10.00 أمتار في بعض المقاطع والتوسعات.
- عرض الكتف الجانبي (Shoulder Width): متفاوت يتراوح بين 0.80 متر إلى 1.50 متر.

ولأغراض التقييم الميداني تم اختيار قطاع تقييمي ممثل للطريق بمسافة 15.00 كيلومتر (من المحطة St 0+000 إلى المحطة St 15+000) مقسّم إلى ثلاث قطاعات رئيسة على النحو التالي:

- القطاع الأول (Section 1): من المحطة St 0+000 إلى المحطة St 05+000 (الطول = 5 كم).
- القطاع الثاني (Section 2): من المحطة St 05+000 إلى المحطة St 10+000 (الطول = 5 كم).
- القطاع الثالث (Section 3): من المحطة St 10+000 إلى المحطة St 15+000 (الطول = 5 كم).

**4.منهجية الدراسة**

تستند منهجية تقويم حالة الرصف (PCR) إلى نظام خفض النقاط القياسي (Deduct Weight System) الذي يفترض أن الرصف يبدأ من حالة مثالية قيمتها 100 نقطة ثم تُخصم منها نقاط تخفيض تتناسب مع نوع كل عيب وشدته ومدى انتشاره على سطح الرصف. وتستند منظومة العيوب السبعة عشر المعتمدة في هذه الدراسة إلى دليل تحديد العيوب الصادر عن الإدارة الفيدرالية الأمريكية للطرق السريعة (الإدارة الفيدرالية الأمريكية للطرق السريعة 2018).

**أولاً: المعادلات الرياضية الحاكمة**

حساب نقاط التخفيض لكل عيب (Deduct Value - DVi):

$$DVi = Weighti \times Si \times Ei$$

حيث:

- Weighti: الوزن النسبي للضرر ويتراوح بين 2.5 و15 حسب خطورة الضرر على السلامة والهيكل.
- Si: معامل شدة الضرر (Severity Factor): منخفض 0.30–0.50 (L) متوسط 0.60–0.80 (M) عالٍ 1.00 (H).
- Ei: معامل انتشار الضرر (Extent Factor): طارئ/عرضي 0.30–0.50 (O) متكرر 0.60–0.80 (F) كثيف/شامل 1.00 (E).

حساب مؤشر PCR للقطاع الواحد:

$$PCR = 100 - \Sigma DVi$$

حساب مؤشر PCR الشامل للطريق بالكامل:

$$PCR\ (overall) = \Sigma\ (PCRj \times Lj) / \Sigma\ Lj$$

حيث تمثل Lj طول القطاع j بالكيلومتر.

**ثانياً: جدول تصنيف مستويات حالة الرصف**

اعتمد التصنيف الوارد في الجدول (1) على دليل تقويم حالة الرصف الصادر عن إدارة النقل بولاية أوهايو والذي يربط بين مجال قيمة PCR وتصنيف حالة الرصف ونوع التدخل الموصي به (إدارة النقل بولاية أوهايو 2019).

**جدول (1): تصنيف مستويات حالة الرصف وفق دليل PCR**

| مجال قيمة PCR | تصنيف حالة الرصف | نوع التدخل/الصيانة الموصي به |
|---|---|---|
| 100 - 90 | ممتاز (Excellent) | صيانة روتينية خفيفة (Routine Maintenance) |
| 89 - 75 | جيد (Good) | صيانة وقائية (Preventive Maintenance - Seal Coat) |
| 74 - 55 | مقبول (Fair) | صيانة علاجية وتعبئة تشققات وترقيع (Corrective Patching) |
| 54 - 40 | ضعيف (Poor) | كشط وإعادة رصف بطبقة أسفلتيه (Mill & Overlay) |
| 39 - 0 | سيئ جدًا / إخفاق (Very Poor / Failed) | إعادة بناء كاملة للرصف (Full Reconstruction) |

**ثالثاً: خطة المسح الميداني**

اتُّبعت في خطة المسح الميداني الإجراءات الواردة في المواصفة القياسية ASTM D6433-20 الخاصة بمسح مؤشر حالة الرصف في الطرق ومواقف السيارات بما يضمن الشمولية والدقة في عملية جمع البيانات على امتداد قطاعات الطريق (الجمعية الأمريكية للفحص والمواد 2020). وقد تضمنت الخطة الخطوات التالية:

- إعداد خطة المسح.
- تقسيم الطريق إلى قطاعات.

- المسح البصري وقياس العيوب.
- التوثيق الفوتوغرافي القياسي.
- تفريغ البيانات وحساب مؤشر PCR.

**رابعاً: أدوات وفريق المسح**

- عجلة قياس المسافات القياسية (Distance Measuring Wheel): لتحديد المحطات (Stations) وأطوال التشققات والمساحات المتضررة.
- مسطرة قياس التخدد والتشوه (Rut Gauge & Straightedge): لقياس عمق التخدد والتشوهات العمودية.
- كاميرا فوتوغرافية رقمية عالية الدقة مع شريط قياس متري: لتوثيق قياس العيوب بدقة.
- نماذج واستمارات تسجيل العيوب الميدانية المعتمدة: متضمنة أنواع العيوب السبعة عشر المعتمدة في المنهجية.

**5.النتائج**

فيما يلي التفريغ الفني لاستمارات مسح العيوب الميدانية للقطاعات الثلاثة بناءً على البيانات المسجلة أثناء الدراسة الميدانية:

**جدول (2): مسح عيوب القطاع من St 0+000 إلى St 05+000**

عرض الحارة: 3.25 م (متغير) — عرض الكتف: 0.80 م

| رقم | نوع الضرر | وزن الضرر | حدة الضرر (S) | انتشار الضرر (E) | DV |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | تشققات طولية | 15 | متوسط (0.70) | متكرر (0.70) | 13.00 |
| 2 | تشققات عرضية | 15 | عالي (1.00) | كثيف (1.00) | 15.00 |
| 3 | تشققات تمساحية | 15 | متوسط (0.70) | متكرر (0.70) | 7.35 |
| 4 | تشققات الكتل | 15 | - | - | 0.00 |
| 5 | تشققات الحواف | 15 | - | - | 0.00 |
| 6 | تشققات هلالية | 5 | - | - | 0.00 |
| 7 | التخدد | 5 | عالي (1.00) | كثيف (1.00) | 5.00 |
| 8 | الانبعاج | 5 | - | - | 0.00 |
| 9 | الهبوط | 2.5 | عالي (1.00) | كثيف (1.00) | 2.50 |
| 10 | التموج | 2.5 | متوسط (0.80) | كثيف (1.00) | 3.00 |

| رقم | نوع الضرر | وزن الضرر | حدة الضرر (S) | انتشار الضرر (E) | DV |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | النزف | 5 | منخفض (0.40) | طارئ (0.30) | 1.20 |
| 12 | البري | 2.5 | عالي (1.00) | متكرر (0.80) | 2.40 |
| 13 | التطاير | 2.5 | عالي (1.00) | متكرر (0.80) | 2.40 |
| 14 | التقشر | 5 | - | - | 0.00 |
| 15 | الترقيع | 5 | - | - | 0.00 |
| 16 | الحفر | 5 | عالي (1.00) | كثيف (1.00) | 5.00 |
| 17 | تكسر حواف الرصف | 5 | عالي (1.00) | كثيف (1.00) | 5.00 |

**مجموع نقاط التخفيض للقطاع 51.36 = (ΣDV)**

**جدول (3): مسح عيوب القطاع من 000+05 St إلى 000+10 St**

عرض الحارة: 3.25 – 5.00 م (متغير) ـــ عرض الكتف: 0.80 – 1.50 م

| رقم | نوع الضرر | وزن الضرر | حدة الضرر(S) | انتشار الضرر(E) | DV |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | تشققات طولية | 15 | عالي (1.00) | كثيف (1.00) | 15.00 |
| 2 | تشققات عرضية | 15 | متوسط (0.70) | متكرر (0.70) | 7.35 |
| 3 | تشققات تمساحية | 15 | متوسط (0.70) | متكرر (0.70) | 7.35 |
| 4 | تشققات الكتل | 15 | - | - | 0.00 |
| 5 | تشققات الحواف | 15 | - | - | 0.00 |
| 6 | تشققات هلالية | 5 | - | - | 0.00 |
| 7 | التخدد | 5 | منخفض (0.50) | متكرر (0.70) | 2.80 |
| 8 | الانبعاج | 5 | - | - | 0.00 |
| 9 | الهبوط | 2.5 | عالي (1.00) | كثيف (1.00) | 2.50 |
| 10 | التموج | 2.5 | - | - | 0.00 |

| رقم | نوع الضرر | وزن الضرر | حدة الضرر(S) | انتشار الضرر(E) | DV |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | النزف | 5 | - | - | 0.00 |
| 12 | البري | 2.5 | عالي (1.00) | كثيف (1.00) | 2.50 |
| 13 | التطاير | 2.5 | - | - | 0.00 |
| 14 | التقشر | 5 | - | - | 0.00 |
| 15 | الترقيع | 5 | - | - | 0.00 |
| 16 | الحفر | 5 | متوسط (0.70) | متكرر (0.70) | 3.00 |
| 17 | تكسر حواف الرصف | 5 | متوسط (0.70) | متكرر (0.70) | 3.50 |

**مجموع نقاط التخفيض للقطاع 49.00 = (ΣDV)**

**جدول (4): مسح عيوب القطاع من 000+10 St إلى 000+15 St**

عرض الحارة: 3.25 – 5.00 م (متغير) ـــ عرض الكتف: 0.80 – 1.50 م

| رقم | نوع الضرر | وزن الضرر | حدة الضرر(S) | انتشار الضرر(E) | DV |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | تشققات طولية | 15 | طارئ (0.40) | متكرر (0.70) | 3.00 |
| 2 | تشققات عرضية | 15 | - | - | 0.00 |
| 3 | تشققات تمساحية | 15 | عالي (1.00) | كثيف (1.00) | 15.00 |
| 4 | تشققات الكتل | 15 | - | - | 0.00 |
| 5 | تشققات الحواف | 15 | - | - | 0.00 |
| 6 | تشققات هلالية | 5 | - | - | 0.00 |
| 7 | التخدد | 5 | متوسط (0.70) | كثيف (1.00) | 5.00 |
| 8 | الانبعاج | 5 | - | - | 0.00 |
| 9 | الهبوط | 2.5 | - | - | 0.00 |
| 10 | التموج | 2.5 | - | - | 0.00 |

| رقم | نوع الضرر | وزن الضرر | حدة الضرر (S) | انتشار الضرر (E) | DV |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | النزف | 5 | منخفض (0.40) | طارئ (0.30) | 1.20 |
| 12 | البري | 2.5 | منخفض (0.50) | كثيف (1.00) | 1.50 |
| 13 | التطاير | 2.5 | منخفض (0.50) | متكرر (0.80) | 1.20 |
| 14 | التقشر | 5 | - | - | 0.00 |
| 15 | الترقيع | 5 | منخفض (0.50) | متكرر (0.80) | 2.40 |
| 16 | الحفر | 5 | - | - | 0.00 |
| 17 | تكسر حواف الرصف | 5 | عالي (1.00) | كثيف (1.00) | 5.00 |

**مجموع نقاط التخفيض للقطاع 40.30 = (ΣDV)**

**حساب قيمة PCR لكل مقطع والطريق كامل**

بعد استعراض جداول تسجيل العيوب الميدانية للقطاعات الثلاثة تُطبَّق المعادلة العامة لمؤشر تقويم حالة الرصف على كل قطاع على حدة لاحتساب المؤشر الإجمالي للطريق بالكامل:

**PCR (overall) = [(48.64×5) + (51.00×5) + (59.70×5)] / (5+5+5) = 53.11**

**جدول (5): حساب قيمة PCR للطريق كامل**

| القطاع | الطول (كم) | ΣDV | PCR | التصنيف | أبرز العيوب |
|---|---|---|---|---|---|
| القطاع الأول | 5.0 | 51.36 | 48.64 | ضعيف | تدهور إنشائي ووظيفي حاد (تخدد حفر مفتوحة تشققات طولية وعرضية). يتطلب تدخلاً فوريًا. |
| القطاع الثاني | 5.0 | 49.00 | 51.00 | مقبول متدني | تشققات حادة (طولية وعرضية) حفر متفرقة وتكسر واضح في الحواف. |
| القطاع الثالث | 5.0 | 40.30 | 59.70 | مقبول | تشققات تمساحيه عالية الشدة لكن محدودة الانتشار مقارنة بالبقية. |
| المعدل العام | 15.0 | 46.89 (متوسط) | 53.11 | مقبول | حالة عامة مائلة للضعف ترتكز الخطورة في الثلث الأول من الطريق. |

تشير القيمة الكلية لمؤشر تقويم حالة الرصف للطريق والبالغة 53.11 إلى وقوع الطريق ككل ضمن الفئة "مقبول متدني" ( Poor Borderline – Fair) وفق التصنيف المعتمد في الجدول (1) (إدارة النقل بولاية أوهايو 2019). وتدل هذه القيمة على أن الطريق يمر بمرحلة حرجة من منحنى عمر الرصف (Pavement Deterioration Curve) حيث تتسارع معدلات التدهور في حال عدم التدخل الفوري بإجراءات الصيانة والتأهيل.

**6.مناقشة النتائج**

**أولاً: تحليل إحصائي للنتائج**

أُجري تحليل إحصائي وصفي لقيم PCR للقطاعات الثلاثة لإعطاء بعد تحليلي أعمق للبيانات الميدانية المجمعة:

- المتوسط الحسابي (X): 53.11
- الوسيط الإحصائي (Median): 51.00
- الانحراف المعياري (Standard Deviation - s): 5.83
- معامل الاختلاف (Coefficient of Variation - CV): 10.97%

تدل قيمة CV الأقل من 15% على تجانس نسبي في درجات التدهور عبر جميع قطاعات الطريق مما يعزز موثوقية استخدام المتوسط كممثل عام لحالة الطريق.

**ثانياً: تصنيف العيوب حسب المصدروالآلية الهندسية**

- عيوب إنشائية وهيكلية (Structural Distresses): 58.4% تشققات تمساحيه تخدد هبوط.
- عيوب بيئية ووظيفية (Functional/Environmental): 26.2% تشققات طولية وعرضية نزف.
- عيوب تآكل وانقلاع سطحي (Surface Wear/Integrity): 15.4% تكسر حواف بري تطاير.

تشكل عيوب الإجهاد الهيكلي — التشققات التمسا حية والتخدد والهبوط — ما نسبته 58.4% من إجمالي نقاط التخفيض ويعود ذلك على الأرجح إلى ضعف قدرة تحمل طبقات الرصف أو التربة التأسيسية أمام الأحمال المحورية الثقيلة. كما يساهم ضعف الأكتاف والتصريف في تكسر الحواف وتشققاتها بنسبة عالية نسبيًا نظرًا لأن عرض الكتف (نحو 0.80 م) ترابي غير محمي مما يسمح بتسرب المياه وتآكل الحواف تحت تأثير إطارات الشاحنات الثقيلة.

**ثالثاً: صورموثقة مع شرح هندسي**

استنادًا إلى الصور الميدانية الموثقة المأخوذة أثناء مسح الطريق يستعرض هذا القسم أبرز الشواهد المصورة مصحوبة بتحليلها الهندسي.

**التشققات التمسا حية الحادة وتفكك الحواف (High Severity Fatigue & Edge Breakdown)**

**شكل رقم (1): انتشار التشققات التمسا حية وتفكك الحواف.**

- **الملاحظات الميدانية:** لوحظ انتشار شبكة متداخلة من التشققات المضلعة الشبيهة بجلد التمساح على مساحة واسعة من المسار مصحوبة بانقلاع مكثف للحبيبات وتكوّن مجارٍ رملية عند الكتف.
- **التحليل الهندسي:** تعبّر التشققات التمسا حية (Fatigue/Alligator Cracking) عن فشل إنشائي هيكلي في طبقة الأسفلت ناتج عن إجهادات الشد الانحنائي (Tensile Strains) عند أسفل الطبقة الإسفلتية تحت تأثير التكرار العالي لمرور الأحمال المحورية الثقيلة. وقد ترافق هذا العيب مع تسرب المياه إلى طبقة الأساس والتربة التأسيسية مما أدى إلى فقدان الثبات والاستقرار الهيكلي للمقطع كما هو موضح في الشكل (1).

**تشققات طولية وعرضية وتكوّن حفر (Longitudinal & Transverse Cracks / Potholes)**

**شكل رقم (2): انتشار التشققات الطولية والحفر.**

- **الملاحظات الميدانية:** لوحظت شقوق طولية موازية لاتجاه الحركة المرورية متقاطعة مع شقوق عرضية بنمط متعشق إلى جانب حفر ملموسة القطر والعمق وسط الطريق.
- **التحليل الهندسي:** ترجع التشققات الطولية والعرضية إلى الانكماش الحراري للرصف الأسفلتي الناتج عن فروقات درجات الحرارة بين النهار والليل إضافة إلى ضعف فواصل التنفيذ عند وصلات صب الأسفلت. ويؤدي تطور هذه الشقوق مع دخول الماء والأحمال المتكررة إلى اقتلاع أجزاء من الرصف وتكوّن الحفر انظر الشكل (2).

**القياس المتري لكتل التشققات وتآكل السطح (Fatigue Crack Block Sizing & Ravelling)**

**شكل رقم (3): توضيح تآكل السطح وقياس كتل التشققات.**

- **الملاحظات الميدانية:** أظهر القياس الميداني المتري أن مساحة كتل التشققات تتراوح بين 10 و50 سم وهو ما يؤكد تصنيف الشدة عند المستوى العالي (High Severity) وفق معايير ASTM D6433 (الجمعية الأمريكية للفحص والمواد 2020).
- **التحليل الهندسي:** كلما صغرت أبعاد كتل التشققات التمسا حية دلّ ذلك على تدهور بالغ في طبقة الرصف وتلاشٍ تدريجي لقدرتها على توزيع الأحمال بحيث تصبح الترفيعات السطحية البسيطة غير مجدية تقنيًا دون كشط وترميم إنشائي للطبقة. وتتسق هذه القراءة مع معايير التصنيف الخاصة بتحديد درجات شدة التشققات التمسا حية استنادًا إلى أبعاد الكتل المتكونة (الجمعية الأمريكية للفحص والمواد 2020).

انقلاع الحواف وضعف الأكتاف (Edge Break / Structural Distress)

**شكل رقم (4): ضعف الأكتاف و انقلاع حواف الرصف.**

- **الملاحظات الميدانية:** لوحظ انهيار جانبي تام لحافة الطريق الأسفلتي المتاخمة للكتف الترابي مع تآكل في الحافة بعمق يزيد عن 5 سم.
- **التحليل الهندسي:** ينتج هذا العيب عن غياب الدعم الجانبي الكافي للكتف (Lack of Lateral Support) وتسرب مياه الأمطار والسيول لعدم وجود قنوات تصريف مناسبة مما أدى إلى تكسر الحواف تحت تأثير عجلات المركبات الثقيلة أثناء خروجها المؤقت عن حارة السير كما يبين الشكل4

**رابعاً: تحديد أولويات الصيانة**

استُند في وضع مصفوفة قرار خيارات الصيانة أدناه إلى الإطار العام الوارد في دليل صيانة الرصف الأسفلتي الصادر عن معهد الأسفلت الأمريكي بالتكامل مع تصنيف الحالة المعتمد في الجدول (1) (معهد الأسفلت الأمريكي 2014). وبناءً على نتائج قيم PCR والتحليل الهندسي السابق بُنيت مصفوفة أولويات الصيانة والتأهيل للطريق لتوجيه الجهات ذات القرار نحو التدخل الأنسب:

- (0 – 39) PCR: إعادة بناء كاملة (Reconstruction).
- (40 – 54) PCR: كشط الطبقة الإسفلتية وإعادة رصف هيكلي (Mill & Structural Overlay).
- (55 – 74) PCR: صيانة علاجية وترقيع وتعبئة شقوق (Corrective Patching & Sealing).
- (75 – 100) PCR: صيانة وقائية روتينية (Preventive Maintenance).

**جدول (6): مصفوفة خطة الصيانة والتأهيل الموصي بها**

| نوع التدخل العلاجي الموصى به | أولوية التنفيذ | التصنيف | قيمة PCR | القطاع |
|---|---|---|---|---|
| كشط الطبقة السطحية المتضررة بعمق 5–7 سم ومعالجة القاعدة بالترقيع العميق ثم إعادة الرصف بطبقة أسفلتيه عالية التحمل. | أولوية قصوى | مقبول متدني | 53.11 | الطريق بالكامل (15 كم) |

**6.الاستنتاجات**

من خلال نتائج الدراسة والمسح الميداني للطريق أمكن التوصل إلى الاستنتاجات الفنية التالية:

**أولاً:** تقييم الحالة العامة: أظهرت الدراسة أن الحالة العامة للطريق بالكامل تقع عند مؤشر PCR = 53.11 وهو ما يمثل حالة مقبول متدني (Poor Borderline).

**ثانياً:** القطاع الأكثر تدهورًا: يُعد القطاع الأول الأكثر تضررًا بقيمة $PCR_1 = 48.64$ (ضعيف) نظرًا لارتفاع شدة وانتشار التشققات العرضية والطولية والحفر وتآكل الحواف فيه.

**ثالثاً:** الأسباب الرئيسة للتدهور: تتمثل في مرور أحمال محورية تتجاوز الأحمال التصميمية المقررة دون رقابة كافية على الموازين المحورية وضعف حماية الأكتاف الجانبية الترابية وغياب شبكة تصريف مياه الأمطار إضافة إلى غياب أعمال الصيانة الوقائية الروتينية التي أسهم غيابها في تفاقم الشقوق الصغيرة إلى تشققات تمساحيه وحفر.

**رابعاً:** الجدوى الاقتصادية للتدخل السريع: تؤكد نتائج التحليل أنه في حال تأخير أعمال الصيانة والتأهيل للعام القادم فمن المتوقع أن يهبط مؤشر PCR إلى ما دون 40 نقطة وهو ما سيضاعف تكلفة الإصلاح من مستوى كشط الطبقة الإسفلتية وإعادة الفرش إلى مستوى إعادة البناء الكاملة.

**7.التوصيات**

بناءً على الاستنتاجات السابقة تُرفع للجهات السيادية ذات القرار التوصيات الهندسية التالية:

**أولاً: توصيات فنية وتنفيذية عاجلة**

- البدء الفوري بأعمال التأهيل لكامل الطريق: ضمن خطة استثمار طارئة لتنفيذ أعمال الكشط والفرش بطبقة أسفلتيه هيكلية (Mill & Structural Overlay).
- تأهيل ورصف الأكتاف الجانبية: توسعة الأكتاف ورصفها بالأسفلت بعرض لا يقل عن 1.0 إلى 1.5 متر لحماية حواف الرصف وتوفير دعم جانبي كافٍ (Lateral Support).
- إنشاء نظام تصريف مياه أمطار: تصميم قنوات ومصارف مائية جانبية تضمن التخلص السريع من المياه ومنع تجمعها على سطح الرصف أو بجوار الكتف.
- إعادة النظر في نتائج اختبارات الأسفلت والأساس الحبيبي والتربة الطبيعية: لاتخاذ القرار الأنسب في تحديد نوعية الصيانة المثلى سواء اقتصرت على كشط الطبقة الإسفلتية أو امتدت إلى كامل طبقات جسم الطريق.

**ثانياً: توصيات إدارية واستراتيجية طويلة المدى**

تتكامل هذه التوصيات مع التوجهات العامة بشأن التحول نحو أنظمة إدارة الرصف الحديثة (الجمعية الأمريكية لمسؤولي النقل والطرق السريعة 2020):

- تطبيق نظام إدارة الرصف (PMS): إنشاء قاعدة بيانات جغرافية (GIS-based PMS) تُحدَّث دوريًا لتحديد حالة شبكة الطرق بما يمكّن من التنبؤ بموعد الصيانة الوقائية بأقل التكاليف.
- تفعيل محطات الوزن المحوري: فرض رقابة صارمة على الحمولات الزائدة للشاحنات على الطريق لحماية البنية التحتية من الفشل الهيكلي المبكر.
- اعتماد المواصفات القياسية للجودة: التأكيد في وثائق المناقصات والمواصفات الفنية على استخدام خلطات أسفلتيه محسّنة مثل الخلطات المطاطية بالبوليمر (PMA) لزيادة مقاومة الرصف للتشوه والتخدد عند درجات الحرارة العالية.

**8. المراجع**

**المراجع الأجنبية:**


1.American Association of State Highway and Transportation Officials. (2020). Standard practice for roads and pavement condition assessment and management. AASHTO.

2.ASTM International. (2020). ASTM D6433-20: Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys. ASTM International.

3.Federal Highway Administration. (2018). Distress identification manual for the long-term pavement performance program (Publication No. FHWA-RD-13-092). U.S. Department of Transportation.

4.Ohio Department of Transportation. (2019). Pavement condition rating (PCR) manual. Office of Pavement Engineering.

5.The Asphalt Institute. (2014). MS-16: Asphalt pavement maintenance manual (4th ed.). Asphalt Institute.