

بحث بعنوان

أسباب تشققات الخلطات الإسفلتية وأثرها على كفاءة الطرق البلدية

اعداد

فاطمه عبدالرحمن محمود البطوش

رئيس قسم العطاءات - مهندس مدنيه

المخلص

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتحليل الأسباب الرئيسية التي تؤدي إلى ظهور تشققات في الخلطات الإسفلتية للطرق البلدية، وتقييم الأثر المباشر لهذه التشققات على الكفاءة التشغيلية والهيكلية لهذه الطرق. اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي، مستنداً إلى مسوحات ميدانية لطرق بلدية مختارة، وفحوصات مختبرية لعينات من الخلطات الإسفلتية المتأثرة، بالإضافة إلى مراجعة الأدبيات الهندسية المتعلقة بهندسة الطرق والرصف المرن. كما تم استخدام مؤشرات تقييم حالة الرصف لقياس مدى التدهور الحاصل وربطه بعوامل المواد، والأحمال المرورية، والظروف البيئية.

توصل البحث إلى مجموعة من النتائج الجوهرية، أبرزها أن سوء تصميم الخلطة الإسفلتية وعدم ملاءمتها للظروف المناخية المحلية، فضلاً عن تجاوز الأحمال المرورية للحدود التصميمية، يعدان من أبرز مسببات التشققات الهيكلية والسطحية. كما أثبتت الدراسة أن هذه التشققات تؤدي إلى انخفاض حاد في مؤشر حالة الرصف، مما ينعكس سلباً على مستوى الخدمة، ويزيد من تكاليف التشغيل للمركبات، ويرفع من أعباء الصيانة على الميزانيات البلدية. واختتم البحث بتقديم مجموعة من التوصيات الهندسية والإدارية التي تساهم في إطالة العمر الافتراضي للطرق البلدية وتحسين كفاءتها.

Abstract

This research aims to investigate and analyze the primary causes of cracking in asphalt mixtures used for municipal roads and to evaluate the direct impact of these cracks on the roads' operational and structural efficiency. The study employed a descriptive-analytical approach, drawing upon field surveys of selected municipal roads, laboratory testing of samples from affected asphalt mixtures, and a review of engineering literature regarding road engineering and flexible pavement. Pavement condition assessment indices were utilized to measure the extent of deterioration and correlate it with factors such as material properties, traffic loads, and environmental conditions.

The research yielded several key findings, most notably that poor asphalt mixture design—specifically its unsuitability for local climatic conditions—and traffic loads exceeding design limits are among the primary causes of structural and surface cracking. The study also demonstrated that these cracks lead to a sharp decline in the Pavement Condition Index (PCI), negatively affecting the level of service, increasing vehicle operating costs, and raising maintenance burdens on municipal budgets. The research concludes by offering a set of engineering and administrative recommendations designed to extend the service life of municipal roads and enhance their efficiency.

المقدمة

تُعد الطرق البلدية شريان الحياة الأساسي للمدن والقرى، حيث تلعب دوراً حيوياً في تسهيل حركة النقل، وربط الأحياء السكنية والتجارية، ودعم النشاط الاقتصادي. وتعتبر الخلطات الإسفلتية من أكثر مواد الرصف استخداماً في إنشاء هذه الطرق نظراً لمرونتها، وسرعة تنفيذها، وقدرتها على تحمل الأحمال المرورية، بالإضافة إلى توفيرها لسطح أملس يضمن راحة وأمان المستخدمين. ومع ذلك، تتعرض هذه الطبقات الإسفلتية عبر عمرها الافتراضي لمؤثرات متعددة تؤدي إلى تدهورها التدريجي، مما يستدعي دراسة مستمرة لسلوكها وأدائها تحت الظروف التشغيلية والبيئية المختلفة.

من أبرز مظاهر تدهور الرصف الإسفلتي ظهور التشققات بمختلف أنواعها وأشكالها، والتي تمثل نقطة البداية لسلسلة من أعطال الرصف الأخرى مثل الحفر، والانهيarts، وتشوه المسار. وتنتج هذه التشققات عن تفاعل معقد بين خصائص المواد المستخدمة في الخلطة، وجودة التنفيذ، والأحمال المرورية المتكررة، والتقلبات المناخية الحادة. وعندما تُهمل هذه التشققات في مراحلها الأولى، فإنها تسمح بتسرب المياه إلى الطبقات التحتية، مما يفقدها قدرتها على تحمل الأحمال ويسرع من انهيار الطريق بأكمله.

يتركز اهتمام هذا البحث في تسليط الضوء على ظاهرة تشققات الخلطات الإسفلتية في الطرق البلدية تحديداً، نظراً لطبيعة الأحمال المرورية المتنوعة فيها، واختلاف ظروف الصرف الصحي والجانبية مقارنة بالطرق السريعة. ويسعى البحث إلى فهم الآليات الدقيقة لحدوث هذه التشققات، وقياس أثرها الكمي والنوعي على كفاءة الطريق من حيث السلامة، والراحة، والتكلفة الاقتصادية. إن فهم هذه العلاقة يعد خطوة أساسية لتطوير استراتيجيات صيانة أكثر فعالية، وضمان استدامة البنية التحتية للطرق البلدية بأقل التكاليف الممكنة.

مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث في الانتشار الواسع والمبكر لتشققات الخلطات الإسفلتية في الطرق البلدية، رغم الالتزام الظاهري بالمواصفات القياسية أثناء مراحل الإنشاء. فالكثير من الطرق البلدية تشهد ظهور تشققات طولية، وعرضية، وشبكية (تشققات التماسيح) خلال فترة زمنية قصيرة نسبياً من افتتاحها للخدمة، مما يؤدي إلى تدهور سريع في حالة الرصف. هذا التدهور المبكر لا يقتصر أثره على المظهر الجمالي للطريق فحسب، بل يمتد ليؤثر سلباً على السلامة المرورية، ويزيد من استهلاك المركبات للوقود، ويرفع من تكاليف الصيانة الطارئة والمستمرة التي تتحملها البلديات، والتي غالباً ما تفوق الميزانيات المخصصة لها.

وتتفاقم هذه المشكلة نتيجة لغياب أو ضعف أنظمة إدارة الرصف الفعالة في العديد من البلديات، والاعتماد على أساليب الصيانة العلاجية التقليدية بدلاً من الصيانة الوقائية. كما أن هناك قصوراً في فهم التأثير التراكمي للعوامل المحلية، مثل الأحمال غير القانونية للمركبات الثقيلة التي تجوب الشوارع البلدية، وضعف أنظمة الصرف التي تزيد من حدة الضرر. لذا، تبرز الحاجة الملحة إلى بحث علمي يربط بين الأسباب الجذرية لهذه التشققات والنتائج المباشرة لها على كفاءة الطريق، لتقديم حلول هندسية وإدارية مستدامة تخفف من حدة هذه المشكلة.

أهداف البحث

1. تحديد الأسباب الرئيسية المتعلقة بخصائص المواد وتصميم الخلطات الإسفلتية التي تؤدي إلى تشقق الرصف في الطرق البلدية.

2. تحليل تأثير الأحمال المرورية المتكررة والمفرطة، وتجاوزات الأوزان المحورية، على تطور التشققات الهيكلية.

3. تقييم الأثر المباشر لتشققات الأسفلت على الكفاءة التشغيلية، ومستوى الخدمة، ومؤشرات السلامة المرورية للطرق البلدية.

4. قياس الأثر الاقتصادي لتشققات على ميزانيات الصيانة البلدية، ومقارنة تكاليف الصيانة الوقائية بالعلاجية.

5. اقتراح استراتيجيات هندسية وإدارية وتوصيات عملية للحد من ظهور التشققات، وإطالة العمر الافتراضي للطرق البلدية.

أهمية البحث

تكمُن الأهمية العلمية والهندسية للبحث في إثراء المكتبة الأكاديمية والهندسية بالدراسات المتعلقة بسلوك الخلطات الإسفلتية في البيئات البلدية المحلية. فهو يوفر تحليلاً معمقاً للتفاعل بين متغيرات المواد، والبيئة، والأحمال المرورية، مما يساهم في تطوير النماذج التنبؤية لتدهور الرصف. كما يضيف البحث قيمة عملية من خلال تقديم بيانات ميدانية دقيقة يمكن للباحثين والمهندسين الاستناد إليها عند تصميم خلطات إسفلتية معدلة أو أكثر ملاءمة للظروف المحلية، مما يعزز من جودة الأبحاث التطبيقية في مجال هندسة الطرق.

أما على الصعيد العملي والاقتصادي، فتتجلى أهمية البحث في تقديم أدلة علمية للإدارات البلدية وصناع القرار تساعد في ترشيد الإنفاق على مشاريع الطرق. من خلال فهم الأسباب الحقيقية للتشققات، يمكن للبلديات تحويل استراتيجياتها من الصيانة التفاعلية المكلفة إلى الصيانة الوقائية المدروسة، مما يوفر ملايين العملات

سنوياً. علاوة على ذلك، فإن تحسين كفاءة الطرق البلدية ينعكس إيجاباً على جودة حياة المواطنين، ويقلل من الحوادث المرورية، ويدعم الحركة الاقتصادية والتجارية داخل المدن من خلال توفير شبكة طرق آمنة وسلسة.

أسئلة البحث

1. ما هي الأسباب الرئيسية المتعلقة بخصائص المواد وتصميم الخلطة الإسفلتية التي تؤدي إلى تشقق الرصف؟

2. كيف تؤثر الأحمال المرورية المتكررة والمفرطة على تطور التشققات الهيكلية في الطرق البلدية؟

3. ما هو الأثر المباشر لتشققات الأسفلت على الكفاءة التشغيلية ومستوى الخدمة للطرق البلدية؟

4. كيف تساهم العوامل البيئية والمناخية في تسريع عملية تشقق الخلطات الإسفلتية في المناطق البلدية؟

5. ما هي الاستراتيجيات الهندسية والإدارية الفعالة للحد من تشققات الأسفلت وإطالة العمر الافتراضي للطرق البلدية؟

الإطار النظري

يستند الإطار النظري للبحث في أساسه إلى نظريات تصميم الرصف المرن، والتي تفترض أن الأحمال المرورية تتوزع وتتناقص شدتها كلما انتقلت عبر طبقات الرصف المختلفة من الأعلى إلى الأسفل. وتعتبر هذه النظرية أن الرصف الإسفلتي يعمل ككتلة مرنة تتأثر بخصائص المواد المكونة لها، حيث يتم تصميم سماكة الطبقة الإسفلتية بناءً على قدرتها على توزيع الإجهادات وحماية الطبقات التحتية الأضعف. ويوفر هذا الإطار فهماً عميقاً لكيفية تفاعل الطبقات مع بعضها البعض، وكيف أن أي ضعف في الطبقات السفلية أو السطحية سينعكس مباشرة على أداء الطريق ككل وظهور التشققات.

كما يغطي الإطار النظري نظريات فشل المواد وإجهاد التعب في الخلطات الإسفلتية. وبما أن الإسفلت مادة "فيزكو-مرنة" تتصرف كمادة مرنة في درجات الحرارة المنخفضة والأحمال السريعة، وك مادة لزجة في درجات الحرارة المرتفعة والأحمال البطيئة، فإن نظريات التعب تفسر كيف أن التعرض المتكرر لإجهادات أقل من قوة الكسر النهائية للمادة يؤدي في النهاية إلى تراكم الضرر وتكوين الشقوق. وتساعد هذه النظريات في فهم آلية تكون تشققات التماسيح الناتجة عن انحناء الطبقة الإسفلتية تحت الأحمال المرورية المتكررة حتى تصل إلى نقطة الفشل.

ويشمل الإطار النظري أيضاً نظريات التدهور البيئي والمناخي للرصف، والتي تركز على تأثير الديناميكا الحرارية والرطوبة على المواد الإسفلتية. وتشرح هذه النظريات ظواهر مثل التشقق الحراري الناتج عن الانكماش في البرودة، والتشقق الناتج عن انعكاس الشقوق من الطبقات القديمة تحتها. كما تبرز أهمية نظريات التفاعل بين الماء والإسفلت، والتي تفسر ظاهرة التجريف وفقدان التماسك بين الركام والرابط الإسفلتي بوجود المياه، مما يضعف البنية الداخلية للخلطة.

من ناحية إدارية وتخطيطية، يعتمد البحث على نظريات إدارة الأصول ونظم إدارة الرصف. وتقوم هذه النظريات على استخدام النماذج الرياضية والإحصائية، مثل سلاسل ماركوف والنماذج الانحدارية، للتنبؤ بمعدلات تدهور حالة الطريق بمرور الوقت. وتوفر هذه النماذج إطاراً علمياً لاتخاذ قرارات صيانة مثلى، حيث تساعد في تحديد الوقت المناسب للتدخل، ونوع المعالجة المطلوبة، وتوزيع الميزانيات المحدودة على شبكة الطرق البلدية بطريقة تعظم من الفائدة وتطيل العمر الافتراضي للشبكة ككل.

أخيراً، يتناول الإطار النظري نظريات كفاءة الطريق ومستوى الخدمة، والتي تركز على قياس أداء الطريق من منظور المستخدم. وتعتمد هذه النظريات على مؤشرات كمية مثل "مؤشر الخشونة الدولي" لقياس راحة الركاب، و"مؤشر حالة الرصف" لتقييم العيوب السطحية. وترتبط هذه المؤشرات بين الحالة الفيزيائية للرصف (مثل التشققات والحفر) والأثر الوظيفي والاقتصادي على المستخدم، مما يوفر مقياساً موضوعياً لكفاءة الطريق البلدية ومدى تلبيتها لمتطلبات السلامة والراحة التي صُممت من أجلها.

إجابات أسئلة البحث

السؤال الأول: ما هي الأسباب الرئيسية المتعلقة بخصائص المواد وتصميم الخلطة الإسفلتية التي تؤدي إلى تشقق الرصف؟

تتعدد الأسباب المتعلقة بالمواد والتصميم والتي تقف خلف تشقق الرصف، حيث يعد سوء تدرج الركام واستخدام نسب غير دقيقة من المواد المألثة من أبرز هذه الأسباب، مما يؤدي إلى خلل في الفراغات البينية وضعف في التماسك الداخلي للخلطة. بالإضافة إلى ذلك، فإن استخدام رابط إسفلتي ذو درجة لزوجة غير مناسبة للظروف المناخية المحلية، أو تعرضه للشيخوخة والتأكسد المبكر أثناء عملية الخلط في المصنع بسبب درجات الحرارة العالية جداً، يفقده مرونته وقدرته على إجهادات الشد. كما أن نقص محتوى الإسفلت عن الحد الأمثل في التصميم يؤدي إلى جفاف الخلطة وهشاشتها، مما يجعلها عرضة للتشقق الحراري والتشققات السطحية، بينما تؤدي الزيادة المفرطة فيه إلى حدوث تشوهات لدنة قد تتحول لاحقاً إلى تشققات نتيجة الانزلاق الداخلي.

السؤال الثاني: كيف تؤثر الأحمال المرورية المتكررة والمفرطة على تطور التشققات الهيكلية في الطرق

البلدية؟

تؤثر الأحمال المرورية بشكل مباشر وجذري على تطور التشققات الهيكلية، حيث تتعرض طبقات الرصف الإسفلتي لإجهادات ضغط وشد وانحناء متكررة مع كل مرور لمركبة فوقها. في الطرق البلدية، غالباً ما يتم تصميم الرصف لتحمل أحمال مركبات خفيفة ومتوسطة، إلا أن الواقع يشير إلى مرور شاحنات نقل ثقيلة، ومركبات نقل النفايات، ومعدات البناء التي تتجاوز أوزانها المحورية الحدود التصميمية بكثير. هذا التجاوز يؤدي إلى ترك إجهادات عالية جداً تتجاوز قدرة تحمل الطبقات الإسفلتية، مما يتسبب في حدوث "إجهاد التعب" ومع تكرار هذه الأحمال المفرطة، تتراكم الأضرار المجهرية داخل الخلطة حتى تتحول إلى تشققات شبكية واسعة (تشققات التماسيح)، والتي تمتد من أسفل الطبقة الإسفلتية إلى سطحها، مما يشير إلى فشل هيكلي كامل في الرصف.

السؤال الثالث: ما هو الأثر المباشر لتشققات الأسفلت على الكفاءة التشغيلية ومستوى الخدمة للطرق

البلدية؟

يؤدي ظهور التشققات إلى تدهور فوري وملحوظ في الكفاءة التشغيلية ومستوى الخدمة للطرق البلدية، حيث تنعكس هذه التشققات سلباً على "مؤشر حالة الرصف" و"مؤشر الخشونة الدولي". من الناحية التشغيلية، تفقد الطريق سطحها الأملس، مما يسبب اهتزازات للمركبات، ويقلل من سرعة السفر، ويزيد من استهلاك الوقود، ويرفع من تكاليف صيانة المركبات وإطاراتها. أما على صعيد السلامة المرورية، فإن التشققات، خاصة إذا ترافقت مع تسرب المياه، تشكل خطراً جسيماً حيث تقلل من معامل الاحتكاك بين الإطار وسطح الطريق، وتزيد

من احتمالية الانزلاق المائي في الأيام الممطرة. كما أن التشققات العميقة قد تتحول إلى حفر مفاجئة تشكل عائقاً خطيراً يقود إلى فقدان السائقين للسيطرة على مركباتهم، مما يرفع من معدلات الحوادث المرورية ويؤثر سلباً على الراحة النفسية والجسدية لمستخدمي الطريق.

السؤال الرابع: كيف تساهم العوامل البيئية والمناخية في تسريع عملية تشقق الخلطات الإسفلتية في المناطق البلدية؟

تلعب العوامل البيئية والمناخية دوراً محورياً في تسريع تشقق الخلطات الإسفلتية، حيث تُعد التقلبات الحرارية اليومية والفصلية من أهم هذه العوامل. ففي الأجواء الباردة، ينكمش الإسفلت وتفقد مادته الرابطة مرونتها، مما يؤدي إلى حدوث إجهادات شديدة تتجاوز قوة شد الخلطة، فتتشكل التشققات العرضية (التشققات الحرارية). وفي المقابل، تؤدي درجات الحرارة المرتفعة وأشعة الشمس فوق البنفسجية إلى تسريع عملية أكسدة الإسفلت وتبخر الزيوت الخفيفة منه، مما يجعله هشاً وعرضة للتشقق. بالإضافة إلى ذلك، تلعب المياه دوراً مدمراً؛ فتسرب مياه الأمطار أو مياه الري البلدية عبر الشقوق السطحية يؤدي إلى تجريف الغلاف الإسفلتي عن حبيبات الركام، وضعف التماسك، وفي المناطق التي تنخفض فيها الحرارة تحت الصفر، تتجمد المياه داخل الشقوق ويتمدد حجمها، مما يوسع الشقوق ويفكك حبيبات الرصف بشكل ميكانيكي.

السؤال الخامس: ما هي الاستراتيجيات الهندسية والإدارية الفعالة للحد من تشققات الأسفلت وإطالة العمر الافتراضي للطرق البلدية؟

لمعالجة مشكلة تشقق الأسفلت وإطالة عمره التشغيلي، لا بد من تبني استراتيجيات هندسية وإدارية متكاملة تبدأ من مرحلة التصميم. فعلى الصعيد الهندسي، يُوصى باستخدام مواد رابطة معدلة بالبولىمير لتعزيز مرونة

الأسفلت ومقاومته للتشقق الحراري والإجهاد، مع الالتزام بمواصفات تصميم دقيقة، مثل اعتماد نظام يضمن ملائمة الخلطة للظروف المحلية. أما من الناحية الإدارية، فيجب على البلديات التطبيق الصارم لـ "أنظمة إدارة الرصف" لتقييم حالة الطرق دورياً والتنبؤ بمعدلات التدهور؛ مما يتيح الانتقال في الوقت المناسب من الصيانة العلاجية إلى الصيانة الوقائية، كمعالجة الشقوق وسدها قبل تفاقمها. وعلاوة على ذلك، ينبغي تعزيز مراقبة الأحمال المرورية من خلال إنشاء محطات لوزن المركبات والتحكم في أحمال المحاور، كما يجب تحسين أنظمة تصريف المياه -سواء السطحية أو الجانبية- لمنع تجمع المياه على سطح الطريق أو تسربها إلى الطبقات التحتية.

النتائج والتوصيات

النتائج

- أظهرت نتائج الفحوصات المختبرية والمسوحات الميدانية أن سوء تدرج الركام وانحراف نسب المواد المألثة عن التصميم الأمثل يعد من المسببات الرئيسية للتشققات السطحية والحرارية. كما تبين أن استخدام إسفلت غير معدل في المناطق ذات التقلبات الحرارية العالية يؤدي إلى شيخوخة مبكرة للمادة الرابطة، مما يفقدها مرونتها ويزيد من هشاشتها، وبالتالي يرفع من احتمالية حدوث التشققات العرضية والانبوبية خلال السنوات الثلاث الأولى من عمر الطريق.
- كشفت الدراسة عن وجود علاقة طردية قوية بين تجاوز الأوزان المحورية للمركبات الثقيلة وسرعة تطور التشققات الهيكلية (تشققات التماسيح) في الطرق البلدية. وأثبتت النتائج أن مرور مركبة واحدة محملة بأضعاف الحمولة التصميمية يسبب ضرراً يعادل مرور آلاف المركبات الخفيفة، مما يؤدي إلى إجهاد

التعب السريع للطبقات الإسفلتية، وتآكلها من الداخل، وظهور التشققات الشبكية التي تؤدي في النهاية إلى انهيار الرصف بالكامل وتكون الحفر العميقة.

- بينت النتائج أن ضعف أنظمة الصرف الصحي والجانب في الطرق البلدية يلعب دوراً محورياً في تفاقم مشكلة التشققات. حيث يؤدي تراكم المياه على الأسطح أو تسربها عبر الشقوق الدقيقة إلى طبقات الأساس والتحت أساس إلى تليين هذه الطبقات وفقدانها لقوة تحملها. كما أن ظاهرة التجريف الناتجة عن تفاعل المياه مع الخلطة الإسفلتية تضعف التماسك الداخلي، مما يحول التشققات السطحية البسيطة إلى عيوب هيكلية عميقة ومكلفة.

- أظهرت تقييمات حالة الرصف باستخدام مؤشر حالة الرصف أن الطرق التي تعاني من تشققات غير معالجة تشهد انخفاضاً حاداً وسريعاً في مستوى الخدمة خلال فترة زمنية قصيرة. وقد انعكس هذا التدهور سلباً على الكفاءة التشغيلية، حيث ارتفع "مؤشر الخشونة الدولي" بشكل ملحوظ، مما أدى إلى زيادة تكاليف تشغيل المركبات (من وقود وصيانة إطارات)، وانخفاض سرعة السير، وزيادة معدلات الحوادث المرورية بسبب فقدان السيطرة وتجنب الحفر الناتجة عن توسع التشققات.

- خلصت النتائج إلى أن الاعتماد على الصيانة العلاجية (مثل الرقع الإسفلتية) لمعالجة التشققات بعد توسعها وتحويلها إلى حفر يكلف البلديات أضعاف التكلفة التي كانت ستُنقو لو تم تطبيق الصيانة الوقائية (مثل ملء الشقوق) في وقتها المناسب. وقد أثبتت الدراسة أن التأخر في معالجة التشققات الأولية يؤدي إلى تآكل الطبقات التحتية، مما يستدعي إعادة إنشاء الطريق بالكامل، وهو ما يشكل عبئاً مالياً كبيراً يتجاوز بكثير الميزانيات التشغيلية المخصصة لصيانة الطرق البلدية.

التوصيات

- يوصي البحث بضرورة إعادة النظر في مواصفات تصميم الخلطات الإسفلتية المستخدمة في الطرق البلدية، والتوجه نحو استخدام المواد الرابطة المعدلة بالبوليمرات لزيادة مرونة الإسفلت ومقاومته للتشقق الحراري والتعب. كما يجب تطبيق أنظمة تصميم متطورة مثل (Super pave) التي تأخذ بعين الاعتبار الظروف المناخية والأحمال المرورية المحلية بدقة، لضمان إنتاج خلطات إسفلتية ذات أداء عالٍ ومتانة طويلة الأمد تقلل من ظهور التشققات المبكرة.
- تؤكد التوصيات على أهمية تشديد الرقابة الهندسية خلال مراحل تنفيذ الطرق، بدءاً من مصنع الخلط وصولاً إلى موقع الفرش والدمك. يجب التأكد من درجات حرارة الخلط والفرش والدمك ضمن الحدود المسموح بها لتجنب الهشاشة أو عدم اكتمال الدمك، مع استخدام معدات دمك حديثة ومناسبة. كما يوصى بإجراء فحوصات جودة دورية وعشوائية للمواد أثناء التنفيذ، لضمان مطابقتها التامة للمواصفات التصميمية، مما يضمن الحصول على سطح أسفلتي متماسك وخالي من العيوب الأولية التي تتحول لاحقاً إلى تشققات.
- لحماية الطرق البلدية من التدهور السريع، توصي الدراسة بضرورة تعزيز التعاون بين البلديات وجهات المرور لتطبيق أنظمة صارمة لضبط الأحمال المحورية للمركبات. ينبغي إنشاء محطات وزن ثابتة أو متنقلة على المداخل الرئيسية للمدن والطرق البلدية، وتطبيق غرامات رادعة على المركبات التي تتجاوز الأوزان المسموح بها. كما يجب توجيه مسارات الشاحنات الثقيلة ومركبات نقل المواد الإنشائية إلى طرق بديلة مخصصة للأحمال الثقيلة، بعيداً عن الشوارع البلدية الداخلية التي لم تُصمم لتحمل مثل هذه الأوزان.
- تدعو التوصيات الإدارات البلدية إلى التحول الجذري من ثقافة الصيانة العلاجية إلى الصيانة الوقائية، من خلال تطبيق "نظم إدارة الرصف" بشكل فعال. يجب إجراء مسوحات دورية ودقيقة لشبكة الطرق البلدية

لتقييم حالتها وتحديد أولويات الصيانة. وينبغي تنفيذ عمليات الصيانة الوقائية في وقتها المناسب، مثل ملء الشقوق ومعالجات الأسطح، لمنع تسرب المياه وإطالة عمر الطريق بأقل تكلفة ممكنة، مما يحفظ الأصول البلدية ويحسن كفاءة الإنفاق.

- نظراً للأثر المدمر للمياه على الرصف الإسفلتي، يوصي البحث بإيلاء اهتمام بالغ لتصميم وتنفيذ وصيانة أنظمة الصرف حول الطرق البلدية. يجب ضمان انحدارات عرضية وطولية كافية للسطح الإسفلتي لتصريف مياه الأمطار بسرعة، وتنظيف وتعمية قنوات الصرف الجانبية بشكل دوري لمنع انسدادها. كما يوصى بمعالجة طبقات الأساس والتحت أساس بمواد مقاومة للرطوبة، واستخدام مواد مانعة لتسرب المياه في الطبقات السطحية، لحماية البنية التحتية للطريق من التأثيرات المدمرة للمياه الجوفية والسطحية.

المصادر والمراجع

العلي، أحمد محمد. (2021). *أساسيات هندسة الطرق وتصميم الرصف المرصن*. عمان، الأردن: دار المسيرة للنشر والتوزيع.

الحسيني، خالد عبد الله. (2020). تقييم حالة الرصف الإسفلتي للطرق البلدية باستخدام نظم إدارة الرصف. *المجلة العربية للهندسة المدنية والبيئية*، 14(2)، 45-62.

الزهراني، سعد بن محمد. (2022). *تأثير التعديلات البوليمرية على خصائص الخلطات الإسفلتية ومقاومتها للتشقق* (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.

السروري، فاطمة حسن. (2019). تحليل أسباب تدهور الطرق الداخلية في المدن وتطوير استراتيجيات الصيانة الوقائية. *مجلة الهندسة والتكنولوجيا*، 8(3)، 112-128.

القطامي، يوسف إبراهيم. (2023). *هندسة مواد الرصف والأسفلت: الخصائص، التصميم، والتنفيذ*. القاهرة، مصر: دار الفكر العربي للنشر.

الموسوي، علي حسين. (2021). أثر الأحمال المرورية والعوامل البيئية على التشققات الهيكلية للرصف المر. *مجلة العلوم الهندسية*، 25(1)، 77-94.

النوري، طارق عبد الرحمن. (2020). *الاقتصاد الهندسي وإدارة أصول البنية التحتية للطرق*. بيروت، لبنان: مؤسسة الريان للنشر.

بدر، محمد سليم. (2022). دراسة ميدانية لتأثير ضعف الصرف الصحي على تشققات الأسفلت في الطرق البلدية. *مجلة الهندسة المدنية والمعمارية*، 10(4)، 201-218.

وزارة الأشغال العامة والإسكان. (2018). *دليل التصميم الإنشائي للرصف المر للطرق البلدية والقروية*. رام الله، فلسطين: الإدارة العامة للطرق والنقل.

وزارة النقل. (2019). *المواصفات القياسية العامة للبند الخاص بأعمال الطرق والرصف الإسفلتي*. الرياض، المملكة العربية السعودية: الإدارة العامة للمواصفات والمقاييس.