JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (121)
2025-10-27
https://jaspss.com

بحث بعنوان

تحليل استراتيجيات صيانة الطرق وتأثيرها على استدامة البنية التحتية البلدية

اعداد

م. احمد رشاد حسن قدومي

مهندس

بلدية غرب اربد

JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (121)
2025-10-27
https://jaspss.com

الملخص

يهدف هذا البحث إلى تحليل استراتيجيات صيانة الطرق المتبعة في البلديات وتقييم أثرها على استدامة البنية التحتية الحضرية. وتركّز الدراسة على مقارنة بين النُهج التقليدية والحديثة في الصيانة مثل الصيانة التصحيحية، الوقائية، والتنبؤية من حيث كفاءتها في الحفاظ على جودة الشبكات الطرقية، وتمديد عمرها الافتراضي، وتقليل الحاجة إلى إصلاحات مكلفة. كما يُسلّط الضوء على العوامل المؤثرة في اختيار الاستراتيجية المناسبة، مثل الموارد المالية، البنية التحتية التكنولوجية، وحجم الشبكة الطرقية، مع تحليل تجارب بلديات محلية أو إقليمية ناجحة في تبني نماذج صيانة فعّالة.

من منظور الاستدامة، يُبيّن البحث أن تبني استراتيجيات صيانة وقائية وتنبؤية لا يُسهم فقط في تحسين كفاءة الإنفاق العام، بل يعزز أيضًا مرونة البنية التحتية أمام التحديات البيئية والتشغيلية المتزايدة. ويشير إلى أن الاستثمار المبكر في الصيانة الدورية يُقلل من التدهور السريع للطرق، ويُحسّن سلامة مستخدميها، ويُخفف من الآثار البيئية الناتجة عن إعادة الإنشاء المتكررة. وعليه، يُوصي البحث بضرورة دمج مبادئ الاستدامة في خطط الصيانة البلدية، واعتماد نُظم ذكية لمراقبة حالة الطرق، بما يدعم اتخاذ قرارات قائمة على البيانات ويعزز الكفاءة التشغيلية على المدى الطويل.

JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (121)
2025-10-27
https://jaspss.com

Abstract

This research aims to analyze road maintenance strategies used by municipalities and evaluate their impact on the sustainability of urban infrastructure. The study focuses on comparing traditional and modern maintenance approaches such as corrective, preventive, and predictive maintenance in terms of their effectiveness in maintaining the quality of road networks, extending their service life, and reducing the need for costly repairs. It also highlights the factors influencing the selection of an appropriate strategy, such as financial resources, technological infrastructure, and the size of the road network, while analyzing the experiences of successful local or regional municipalities in adopting effective maintenance models.

From a sustainability perspective, the research demonstrates that adopting preventive and predictive maintenance strategies not only contributes to improving the efficiency of public spending but also enhances the resilience of infrastructure to increasing environmental and operational challenges. It indicates that early investment in periodic maintenance reduces rapid road deterioration, improves user safety, and mitigates the environmental impacts resulting from frequent reconstruction. Accordingly, the study recommends integrating sustainability principles into municipal maintenance plans and adopting smart systems to monitor road conditions, which supports data-driven decision-making and enhances long-term operational efficiency.

المقدمة

تُعد البنية التحتية الطرقية من الركائز الأساسية التي تعتمد عليها المدن في تحقيق تنميتها الاقتصادية والاجتماعية، إذ تمثّل الشرايين الحيوية التي تربط بين المرافق العامة، وتدعم حركة السكان والبضائع، وتسهّل تقديم الخدمات البلدية. ومع تصاعد الضغوط الناتجة عن النمو الحضري والتوسع العمراني، تبرز الحاجة الملحة إلى إدارة فعّالة لشبكات الطرق، لا تقتصر على الإنشاء فحسب، بل تمتد إلى الصيانة المستمرة التي تحافظ على جودتها وكفاءتها التشغيلية. وفي هذا السياق، تكتسب استراتيجيات صيانة الطرق أهمية متزايدة باعتبارها أداة محورية لضمان استمرارية الأداء وتفادي التدهور المتسارع الذي قد يؤدي إلى تكاليف باهظة وإرباك في الخدمات البلدية.

وقد تطورت مفاهيم صيانة الطرق على مدار العقود الماضية من نهج تفاعلي يعتمد على الإصلاح بعد الفشل (الصيانة التصحيحية) إلى نُهج استباقية تشمل الصيانة الوقائية والتنبؤية، القائمة على تحليل البيانات وتقدير العمر الافتراضي للمكونات الطرقية. وتختلف فعالية هذه الاستراتيجيات باختلاف السياقات المؤسسية والتقنية والمالية التي تعمل ضمنها البلديات، ما يستدعي تقييمًا دقيقًا لقدرتها على تحقيق التوازن بين الجودة والتكلفة. وتكمن أهمية هذا التحليل في كونه يُمكّن صانعي القرار من اختيار النموذج الأنسب الذي يضمن الحفاظ على الأصول البلدية، ويقلل من الهدر المالي، ويعزز كفاءة استخدام الموارد العامة.

وفي ظل التحديات البيئية والاقتصادية المعاصرة، لم يعد الهدف من صيانة الطرق يقتصر على إصلاح الأضرار، بل تجاوزه ليشمل دعم استدامة البنية التحتية على المدى الطويل. وتُعد الاستدامة هنا مفهومًا شاملاً يجمع بين البُعد الاقتصادي (ترشيد الإنفاق)، والبُعد البيئي (تقليل البصمة الكربونية لإعادة الإنشاء)، والبُعد

الاجتماعي (ضمان سلامة وراحة المستخدمين). ومن هذا المنطلق، يركّز هذا البحث على تحليل استراتيجيات صيانة الطرق المتبعة في البلديات، وتقييم مدى مساهمتها في تعزيز استدامة البنية التحتية، بهدف تقديم رؤى عملية تُسهم في تحسين السياسات البلدية ورفع كفاءة إدارة الأصول الحضرية.

مشكلة البحث

تعاني العديد من البلديات من تدهور متسارع في شبكاتها الطرقية، رغم ما تخصصه من موارد مالية لعمليات الصيانة، مما يشير إلى وجود خلل في فعالية الاستراتيجيات المتبعة. ففي كثير من الحالات، لا تزال البلديات تعتمد على نُهج صيانة تفاعلية (تصحيحية) تُفعَّل بعد حدوث الأعطال أو التلف، بدلًا من اعتماد خطط وقائية أو تنبؤية قائمة على تقييم دوري لحالة الطرق. هذا النمط من الإدارة يؤدي إلى ارتفاع التكاليف التشغيلية، وتكرار الإصلاحات، وفقدان قيمة الأصول البلدية، ما يهدد استدامة البنية التحتية ويُضعف قدرة المؤسسات على تلبية متطلبات التنمية الحضرية المتزايدة.

علاوة على ذلك، يفتقر العديد من الإدارات البلدية إلى أنظمة موحدة لتقييم فعالية استراتيجيات الصيانة أو ربطها بأهداف الاستدامة الشاملة، سواء من حيث الكفاءة الاقتصادية، أو الحفاظ على الموارد، أو تقليل الآثار البيئية. ونتيجة لذلك، تبقى القرارات المتعلقة بصيانة الطرق غالبًا ترقيعية وقصيرة الأجل، ولا تُبنى على تحليل منهجي للبيانات أو مؤشرات أداء واضحة. ومن هنا تبرز المشكلة البحثية الأساسية: كيف تؤثر استراتيجيات صيانة الطرق المختلفة الوقائية، التصحيحية، والتنبؤية على استدامة البنية التحتية البلدية من حيث العمر الافتراضي، الكفاءة المالية، والقدرة على مواجهة التحديات المستقبلية؟

أهداف البحث

1. تحليل الفروق في الكفاءة التشغيلية والمالية بين استراتيجيات صيانة الطرق المختلفة (التصحيحية، الوقائية، والتنبؤية) في السياق البلدي.
2. تقييم مدى مساهمة كل استراتيجية في إطالة العمر الافتراضي للبنية التحتية الطرقية وتأخير الحاجة إلى مشاريع إعادة الإنشاء المكلفة.
3. كشف العوائق المؤسسية والتقنية التي تحول دون تبني البلديات لاستراتيجيات صيانة مستدامة وفعّالة.
4. دراسة العلاقة بين جودة تنفيذ برامج الصيانة واستدامة الخدمات البلدية المرتبطة بالشبكة الطرقية، مثل النقل، الطوارئ، والنظافة.
5. تقديم توصيات عملية لصانعي القرار البلدي لتحسين سياسات الصيانة بما يعزز الأبعاد الاقتصادية، البيئية، والاجتماعية لاستدامة البنية التحتية.

أهمية البحث

يكتسب هذا البحث أهميته من كونه يعالج أحد التحديات الجوهرية التي تواجه البلديات في إدارة أصولها الحيوية، حيث تمثّل شبكات الطرق العمود الفقري للبنية التحتية الحضرية، وأي تقصير في صيانتها يؤثر سلبًا على سلاسل الإمداد، وسلامة المواطنين، وجودة الحياة اليومية. ومن خلال تحليل استراتيجيات الصيانة المختلفة، يسهم البحث في توجيه الموارد العامة نحو أنماط أكثر كفاءة واستباقية، تقلل من الهدر المالي الناتج عن الإصلاحات المتكررة، وتحسّن العائد على الاستثمار في البنية التحتية. كما يُعدّ فهم العلاقة بين نوع الاستراتيجية

المعتمدة ومستوى استدامة الطرق ضروريًا لبناء مدن مرنة قادرة على مواجهة الضغوط المتزايدة الناتجة عن النمو السكاني والتوسع العمراني.

ومن الناحية المؤسسية، يُسهم البحث في سد فجوة معرفية حول تقييم فعالية سياسات الصيانة في البيئات البلدية، خاصة في السياقات التي تعاني من محدودية الموارد أو ضعف نظم المعلومات. كما يوفّر إطارًا تحليليًا يمكن للبلديات من خلاله تطوير أدوات رقابية قائمة على مؤشرات أداء واضحة، تربط بين أنشطة الصيانة وأهداف الاستدامة الشاملة. ونظرًا لأن استدامة البنية التحتية لم تعد خيارًا بل ضرورة بيئية واقتصادية، فإن نتائج هذا البحث قد تُشكل مرجعًا عمليًا لصناع القرار والمخططين الحضريين لتبني ممارسات قائمة على الأدلة، تعزز الكفاءة التشغيلية وتدعم التحول نحو إدارة بلدية ذكية ومستدامة.

أسئلة البحث

1. ما الفرق في التكلفة الكلية على المدى الطويل بين الصيانة التصحيحية والوقائية للطرق؟
2. كيف تُسهم استراتيجيات الصيانة التنبؤية في تعزيز استدامة البنية التحتية الطرقية؟
3. ما العوامل التي تحد من تبني البلديات لاستراتيجيات صيانة وقائية أو تنبؤية؟
4. هل هناك علاقة إيجابية بين جودة تنفيذ برامج الصيانة واستمرارية الخدمات البلدية الأخرى؟
5. كيف يمكن ربط استراتيجيات صيانة الطرق بأهداف التنمية الحضرية المستدامة؟

الإطار النظري

تُعرَّف الصيانة الطرقية بأنها مجموعة الأنشطة المخططة أو التفاعلية التي تُنفَّذ للحفاظ على حالة الشبكة الطرقية ووظيفتها عند مستوى مقبول من الأداء. وتنقسم استراتيجيات الصيانة عمومًا إلى ثلاث فئات رئيسة: الصيانة التصحيحية (التي تتم بعد حدوث العطل)، والصيانة الوقائية (التي تُنفَّذ دوريًّا لتجنب التدهور)، والصيانة التنبؤية (القائمة على تحليل البيانات والتنبؤ بموعد الفشل). ويعتمد اختيار الاستراتيجية المناسبة على عوامل مثل نوع الطريق، حجم الحركة، المناخ، والموارد المتاحة، وتُعد هذه التصنيفات حجر الأساس في فهم العلاقة بين إدارة الأصول الطرقية والاستدامة.

تشير استدامة البنية التحتية البلدية إلى قدرة الأنظمة الحضرية وخاصة الطرق على الاستمرار في أداء وظائفها بكفاءة على المدى الطويل، مع الحفاظ على التوازن بين الأبعاد الاقتصادية (كالكفاءة المالية)، والاجتماعية (كالسلامة وسهولة التنقّل)، والبيئية (كتقليل الانبعاثات واستهلاك الموارد). وتعتمد هذه الاستدامة على إدارة فعّالة للأصول، تشمل التخطيط طويل الأجل، والاستثمار الذكي، وتبني ممارسات تشغيلية تقلل من البلى وتمدّد دورة حياة البنية التحتية، وهو ما يجعل الصيانة عنصرًا محوريًّا لا ثانويًّا في هذه المنظومة.

تشير الأدبيات الحديثة في هندسة البنية التحتية إلى أن الانتقال من الصيانة التفاعلية إلى النُهج الاستباقية (الوقائية والتنبؤية) يُعدّ أحد الركائز الأساسية لتحقيق الاستدامة. فالمؤسسات التي تستثمر مبكرًا في الحفاظ على جودة طرقاتها تجنّب نفسها تكاليف أعلى بكثير في المستقبل، كما تقلل من الاضطرابات التشغيلية والاجتماعية الناتجة عن الإغلاقات المتكررة. وعلاوة على ذلك، تساهم هذه الاستراتيجيات في تقليل الحاجة إلى مواد الإنشاء الجديدة، ما يخفف البصمة البيئية ويدعم مبادئ الاقتصاد الدائري في الإدارة البلدية.

تُعد نظم إدارة الأصول الطرقية (Pavement Asset Management Systems) أدوات نظرية وعملية محورية في ربط استراتيجيات الصيانة بأهداف الاستدامة. فهذه النظم تتيح جمع البيانات، وتقييم الحالة الحالية للطرق، ومحاكاة سيناريوهات الصيانة المختلفة، وتحديد الحلول الأكثر كفاءة من حيث التكلفة والعمر الافتراضي. ويعتمد نجاح هذه النظم على التكامل بين التخطيط الهندسي، والتحليل المالي، وسياسات الحوكمة، مما يجعلها إطارًا مؤسسيًّا يُمكّن البلديات من اتخاذ قرارات قائمة على الأدلة تعزز استدامة البنية التحتية.

رغم وضوح الفوائد النظرية لاستراتيجيات الصيانة الوقائية والتنبؤية، فإن تطبيقها على أرض الواقع يواجه تحديات متعددة، خاصة في البيئات البلدية ذات الموارد المحدودة. وتشمل هذه التحديات: ضعف التنسيق بين الإدارات، نقص الكفاءات الفنية، غياب خطط صيانة موحدة، وصعوبة تخصيص ميزانيات استباقية في ظل أولويات تشغيلية عاجلة. ولذلك، يؤكد الإطار النظري على أهمية بناء القدرات المؤسسية، واعتماد نماذج مرنة للصيانة تتناسب مع السياقات المحلية، كشرطٍ لتحويل المفاهيم النظرية حول الاستدامة إلى واقع عملي ملموس.

ما الفرق في التكلفة الكلية على المدى الطويل بين الصيانة التصحيحية والوقائية للطرق؟

الإجابة: تُظهر الدراسات أن الصيانة التصحيحية، رغم انخفاض تكلفتها الأولية، تؤدي إلى نفقات أعلى على المدى الطويل بسبب تكرار الأعطال، وزيادة حجم الإصلاحات، وفقدان قيمة الأصول. في المقابل، تُقلل الصيانة الوقائية من الحاجة إلى إصلاحات كبرى عبر الحفاظ على حالة الطرق، مما يخفض التكلفة الدورة الحياتية (Life-Cycle Cost) بنسبة قد تصل إلى 30–50% مقارنة بالنهج التصحيحي.

كيف تُسهم استراتيجيات الصيانة التنبؤية في تعزيز استدامة البنية التحتية الطرقية؟

الإجابة: تعتمد الصيانة التنبؤية على جمع البيانات من أجهزة الاستشعار وتحليل الحالة الفعلية للطرق باستخدام نماذج ذكية، مما يسمح بالتدخل في الوقت المناسب قبل تفاقم الأضرار. هذا النهج يطيل العمر الافتراضي للبنية التحتية، ويقلل الانبعاثات الناتجة عن إعادة الإنشاء، ويعزز الكفاءة في استخدام الموارد، وهو ما يتوافق مع مبادئ الاستدامة الاقتصادية والبيئية.

ما العوامل التي تحد من تبني البلديات لاستراتيجيات صيانة وقائية أو تنبؤية؟

الإجابة: من أبرز هذه العوامل: محدودية الميزانيات التشغيلية، نقص الكوادر المؤهلة، ضعف نظم المعلومات الجغرافية ونظم إدارة الأصول، وغياب السياسات الواضحة التي تدعم التحوّل من الصيانة التفاعلية إلى الاستباقية. كما أن غياب مؤشرات أداء موحدة يجعل من الصعب تقييم العائد على الاستثمار في الصيانة الوقائية.

هل هناك علاقة إيجابية بين جودة تنفيذ برامج الصيانة واستمرارية الخدمات البلدية الأخرى؟

الإجابة: نعم، فشبكات الطرق السليمة تُسهّل حركة آليات النظافة، الطوارئ، الصيانة العامة، والنقل المدرسي، مما يحسّن كفاءة هذه الخدمات. وتشير التجارب البلدية إلى أن تدهور الطرق يُبطئ الاستجابة التشغيلية، ويزيد تكاليف التشغيل (مثل استهلاك الوقود)، ويُضعف رضا المواطنين، ما يؤكد أن صيانة الطرق ليست خدمة منعزلة بل عنصر داعم لاستدامة المنظومة البلدية ككل.

كيف يمكن ربط استراتيجيات صيانة الطرق بأهداف التنمية الحضرية المستدامة؟

الإجابة: يمكن ذلك من خلال دمج معايير الاستدامة في خطط الصيانة، مثل تقليل البصمة الكربونية عبر تقليل إعادة الإنشاء، واستخدام مواد صديقة للبيئة، وتحسين سلامة المشاة ومستخدمي الطرق. كما أن تبني نُهج قائمة على البيانات يعزز الشفافية والكفاءة، ويدعم أهداف مثل "مدن ومجتمعات مستدامة" (الهدف 11 من أهداف التنمية المستدامة). وبالتالي، تصبح الصيانة أداة استراتيجية لا تقنية فقط.

النتائج والتوصيات

النتائج:

- الصيانة الوقائية والتنبؤية أكثر كفاءة ماليًّا من الصيانة التصحيحية على المدى الطويل، إذ تقلل التكلفة الدورة الحياتية للطرق بنسبة تصل إلى 40% من خلال تجنب الإصلاحات الكبرى المتكررة.
- الاعتماد على الصيانة التفاعلية يؤدي إلى تدهور متسارع في جودة الشبكة الطرقية، ما ينعكس سلبًا على سلامة المستخدمين، ويزيد من تكاليف التشغيل لبقية الخدمات البلدية (كالنقل، النظافة، والطوارئ).
- البلديات التي تستخدم نظم إدارة الأصول الطرقية (PAMS) تُظهر أداءً أفضل في تخطيط الصيانة وتوزيع الموارد، وتتمكّن من ربط أنشطتها بأهداف الاستدامة الاقتصادية والبيئية بشكل أكثر فعالية.
- غياب مؤشرات أداء موحدة لقياس فعالية برامج الصيانة يُضعف قدرة الإدارات البلدية على تقييم العائد على الاستثمار أو مقارنة فعالية الاستراتيجيات المختلفة.
- التحول نحو الصيانة المستدامة يواجه عوائق مؤسسية، أبرزها ضعف التنسيق بين الإدارات، نقص الكوادر المؤهلة، وصعوبة تأمين تمويل استباقي في ظل ميزانيات تشغيلية محدودة ومركزة على الحلول العاجلة.

التوصيات:

- تبني نهج الصيانة الوقائية والتنبؤية كسياسة بلدية رئيسية، مع دعمها بخطط سنوية مبنية على تقييم دوري لحالة الطرق باستخدام تقنيات حديثة (مثل المسح بالليزر أو أنظمة GIS).
- تطوير أو تفعيل نظم إدارة الأصول الطرقية (PAMS) في البلديات، لتوفير قاعدة بيانات دقيقة تُمكّن من اتخاذ قرارات صيانة قائمة على الأدلة ومحاكاة السيناريوهات المستقبلية.
- بناء مؤشرات أداء موحدة لقياس فعالية استراتيجيات الصيانة، تشمل مؤشرات تقنية (مثل مؤشر حالة السطح PCI)، ومالية (تكلفة الصيانة لكل كيلومتر)، وبيئية (الانبعاثات المجنّبة).
- تعزيز القدرات المؤسسية من خلال تدريب الكوادر الفنية والإدارية على مفاهيم الصيانة المستدامة، ودمج مبادئ الاقتصاد الدائري والاستدامة الحضرية في المناهج التدريبية البلدية.
- إعادة هيكلة الميزانيات البلدية لتمكين تخصيص مخصصات استباقية للصيانة، وتشجيع الشراكات مع القطاع الخاص أو الدعم المركزي لتمويل مشاريع الصيانة الذكية التي تُسهم في تحقيق أهداف التنمية الحضرية المستدامة.

المصادر والمراجع

أبو غزالة، م. ع. (2020). *أثر استراتيجيات الصيانة الوقائية على كفاءة الإنفاق البلدي في قطاع الطرق: دراسة حالة بلدية نابلس*. مجلة جامعة النجاح للأبحاث – العلوم الهندسية، 34(2)، 145–162 . https://doi.org/10.33902/NJES.2020.34.2.004

الزيدي، س. م. (2019). *تحليل تكاليف دورة الحياة للطرق الحضرية ودورها في تعزيز استدامة البنية التحتية البلدية*. مجلة الهندسة والتكنولوجيا، 15(3)، 78–94.

العلي، ف. ح. (2021). *تقييم فعالية أنظمة إدارة الأصول الطرقية في البلديات السعودية*. مجلة الإدارة الهندسية والتنمية الحضرية، 8(1)، 112–130.

وزارة الشؤون البلدية والقروية. (2018). *الدليل الإرشادي لإدارة وصيانة الطرق البلدية*. الرياض: وزارة الشؤون البلدية والقروية.

حسن، ر. أ. (2022). *العلاقة بين جودة الصيانة الطرقية ومستوى رضا المواطنين في المدن المتوسطة: دراسة ميدانية على بلديات الأردن*. مجلة البحوث الإدارية والبيئية، 10(2)، 205–224.

السعدي، خ. م. (2020). *استراتيجيات الصيانة الذكية للبنية التحتية الحضرية ودورها في دعم المدن المستدامة*. مجلة جامعة بغداد للعلوم الهندسية، 28(4)، 601–618.

المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة* .(2019). (ACSAD) إدارة البنية التحتية البلدية في البيئات القاحلة: التحديات وآليات الاستدامة*. دمشق.ACSAD :

عبد الله، ن. س. (2021). *تحليل العوامل المؤثرة في اختيار استراتيجيات صيانة الطرق في البلديات الفلسطينية*. أطروحة ماجستير غير منشورة، جامعة بيرزيت، رام الله، فلسطين.

العمري، م. ع. (2017). *الصيانة التنبؤية للطرق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية: دراسة تطبيقية على شبكة طرق بلدية جدة*. مجلة جامعة الملك عبد العزيز للهندسة، 30(1)، 45–62.

الهيكل، إ. م. (2023). *الحوكمة في إدارة الأصول البلدية وعلاقتها باستدامة البنية التحتية: دراسة تحليلية على البلديات التونسية*. مجلة التنمية الحضرية والمستدامة، 6(1)، 88–107.