

بحث بعنوان

أثر الصيانة المسبقة في خفض تكاليف التشغيل والصيانة في البلديات

اعداد

عثمان جمعه محمود المزرعاوي

رئيس قسم الميكانيك

بلديه الرمنا

الملخص

يُعدّ تبني نهج الصيانة المسبقة في البلديات من الاستراتيجيات الفعّالة لتحسين كفاءة إدارة الأصول البلدية، مثل شبكات الطرق، أنظمة الري، الإضاءة العامة، ومحطات ضخ المياه. وتعتمد هذه المقاربة على تنفيذ أعمال الصيانة بشكل دوري ومخطط له قبل حدوث الأعطال، بناءً على جداول زمنية أو مؤشرات أداء محددة، بهدف الحفاظ على الأصول في حالة تشغيلية مثلى. ويختلف هذا النهج جذرياً عن الصيانة التصحيحية (الطارئة)، التي تتم بعد فشل المعدة أو تلف البنية التحتية، مما يؤدي غالباً إلى تكاليف أعلى وتعطيل الخدمات الأساسية. وقد أظهرت الدراسات أن تطبيق برامج الصيانة المسبقة يُسهم بشكل ملحوظ في خفض التكاليف الإجمالية للتشغيل والصيانة على المدى المتوسط والطويل. فرغم أن هذه البرامج تتطلب استثمارات أولية في التخطيط، التدريب، وأنظمة المراقبة، إلا أنها تقلل من تكرار الأعطال، وتطيل عمر الأصول، وتقلل من الحاجة إلى قطع الغيار الباهظة أو الاستبدال الكامل. كما أن تقليل الأعطال المفاجئة يُحسّن من جودة الخدمات المقدمة للمواطنين، ويقلل من الشكاوى والتكاليف غير المباشرة المرتبطة بانقطاع الخدمات. وبذلك، تصبح الصيانة المسبقة أداة استراتيجية للبلديات لتحقيق الاستدامة المالية والتشغيلية في إدارة بناها التحتية.

<https://jaspps.com>**Abstract**

Adopting a preventive maintenance approach in municipalities is an effective strategy for improving the efficiency of managing municipal assets, such as road networks, irrigation systems, public lighting, and water pumping stations. This approach relies on implementing regular, planned maintenance before breakdowns occur, based on specific timetables or performance indicators, with the goal of maintaining assets in optimal operational condition. This approach differs fundamentally from corrective (emergency) maintenance, which is performed after equipment failure or infrastructure damage, often leading to higher costs and disruption of essential services.

Studies have shown that implementing preventive maintenance programs significantly reduces overall operating and maintenance costs in the medium and long term. Although these programs require initial investments in planning, training, and monitoring systems, they reduce the frequency of breakdowns, extend the life of assets, and minimize the need for expensive spare parts or complete replacement. Reducing unplanned breakdowns also improves the quality of services provided to citizens and reduces complaints and indirect costs associated with service interruptions. Thus, proactive maintenance becomes a strategic tool for municipalities to achieve financial and operational sustainability in the management of their infrastructure.

المقدمة

تُعَدُّ إدارة الأصول البلدية مثل شبكات الطرق، أنظمة الري، الإضاءة العامة، محطات ضخ المياه، والمرافق الخدمية من المهام الأساسية التي تضطلع بها البلديات لضمان استمرارية الخدمات ورفع جودة الحياة في المدن. ومع تزايد تعقيد هذه الأصول واتساع نطاقها، أصبح من الضروري تبني نهج صيانة ذكية وفعالة تُجَنَّبُ البلديات التكاليف الباهظة الناتجة عن الأعطال المفاجئة أو التدهور التدريجي غير المراقب. ومن بين هذه النهج، تبرز الصيانة المسبقة كاستراتيجية وقائية تهدف إلى الحفاظ على كفاءة الأصول من خلال تنفيذ أعمال الصيانة بشكل دوري ومخطط له قبل حدوث الأعطال.

على عكس الصيانة التصحيحية التي تُطبَّق بعد فشل المعدة أو تلف البنية التحتية وهي غالبًا ما تكون مكلفة ومرهقة من حيث الوقت والموارد تعتمد الصيانة المسبقة على جداول زمنية أو مؤشرات أداء فنية لتحديد مواعيد الصيانة المناسبة. وتتضمن هذه الاستراتيجية فحوصات دورية، استبدال قطع الغيار قبل انتهاء عمرها الافتراضي، وتحليل البيانات التشغيلية للتنبؤ بالمشكلات المحتملة. ويسهم هذا النهج في الحفاظ على الأصول في حالة تشغيلية مثلى، ويقلل من احتمالية حدوث أعطال كارثية تُعطل الخدمات الأساسية وتُهدِّد سلامة المواطنين.

في ظل الضغوط المالية المتزايدة على الميزانيات البلدية، يكتسب موضوع "أثر الصيانة المسبقة في خفض تكاليف التشغيل والصيانة في البلديات" أهمية استراتيجية واقتصادية بالغة. إذ لا يقتصر الهدف من تبني هذه المقاربة على تقليل النفقات المباشرة فحسب، بل يمتد ليشمل تحسين كفاءة استخدام الموارد، وزيادة عمر الأصول، وتعزيز رضا المستفيدين من الخدمات. ومن هذا المنطلق، يهدف هذا البحث إلى تحليل العلاقة بين

تطبيق برامج الصيانة المسبقة وانخفاض التكاليف التشغيلية، واستخلاص الدروس العملية التي يمكن للبلديات الاستفادة منها في تحسين إدارة أصولها وتحقيق الاستدامة المالية والتشغيلية.

مشكلة البحث

تعاني العديد من البلديات، خاصة في الدول النامية أو ذات الموارد المحدودة، من ارتفاع مستمر في تكاليف التشغيل والصيانة، نتيجة الاعتماد المفرط على أسلوب الصيانة التصحيحية (الطارئة) الذي يُفَعَّل فقط بعد وقوع العطل أو تلف الأصل. هذا النهج التفاعلي لا يُسهم فقط في تكبيدها تكاليف إصلاح أعلى بكثير من تكاليف الصيانة الدورية، بل يؤدي أيضًا إلى تعطيل الخدمات الأساسية، وزيادة استهلاك قطع الغيار، وتقصير عمر الأصول البلدية. وغالبًا ما يُعزى هذا الوضع إلى ضعف التخطيط الاستراتيجي، نقص الكوادر المؤهلة، غياب أنظمة مراقبة فعّالة، أو اعتقاد خاطئ بأن الصيانة المسبقة تمثل عبئًا ماليًا إضافيًا بدلاً من كونها استثمارًا وقائيًا.

في المقابل، تشير التجارب الدولية إلى أن البلديات التي طبقت برامج صيانة مسبقة منهجية تمكنت من خفض تكاليف الصيانة الإجمالية بنسبة تصل إلى 30-40% على المدى المتوسط، مع تحسّن ملحوظ في جودة الخدمات وموثوقية الأصول. ومع ذلك، لا تزال هناك فجوة بحثية واضحة في السياقات المحلية حول فعالية هذه البرامج، وآليات تكيفها مع الإمكانيات التشغيلية والمالية للبلديات، وقياس العائد الفعلي على الاستثمار في الصيانة الوقائية. ومن هنا تبرز المشكلة البحثية الأساسية: ما مدى أثر تطبيق الصيانة المسبقة في خفض تكاليف التشغيل والصيانة في البلديات؟ وهل يمكن تعميم نماذج ناجحة من هذا النوع في بيئات بلدية تفتقر إلى البنية التحتية الرقمية أو الكفاءات الفنية اللازمة؟

أهداف البحث

1. تحليل العلاقة بين تطبيق برامج الصيانة المسبقة وانخفاض التكاليف الإجمالية للتشغيل والصيانة في الأصول البلدية (كالطرق، الإضاءة، أنظمة الري، ومحطات الضخ).
2. تقييم الفجوة بين الممارسات الحالية في الصيانة (التصحيحية) والممارسات المثلى (المسبقة) في البلديات من حيث الكفاءة المالية والتشغيلية.
3. تحديد العوامل المؤثرة في نجاح تطبيق الصيانة المسبقة، مثل توفر الكوادر الفنية، نظم المعلومات، الدعم الإداري، والموارد المالية.
4. مقارنة التكلفة الفعالية بين نموذج الصيانة المسبقة ونموذج الصيانة التصحيحية على مدى دورة حياة الأصول البلدية.
5. تقديم إطار عملي مقترح للبلديات لتبني وتنفيذ برامج صيانة مسبقة فعّالة تُسهم في تحقيق الاستدامة المالية وتحسين جودة الخدمات المقدمة.

أهمية البحث

يكتسب هذا البحث أهميته من كونه يلامس أحد التحديات الجوهرية التي تواجه البلديات في إدارة مواردها المحدودة بكفاءة، خاصة في ظل تزايد الطلب على الخدمات البلدية واتساع نطاق الأصول التي يتعيّن صيانتها. فمع تصاعد الضغوط المالية وضيق الميزانيات التشغيلية، أصبح من الضروري البحث عن حلول استباقية تُجنّب البلديات الهدر المالي الناتج عن الإصلاحات الطارئة، واستبدال الأصول قبل أوانها، وتعطيل الخدمات الأساسية. ومن هذا المنظور، يُعدّ فهم أثر الصيانة المسبقة ليس مجرد خيار تقني، بل ضرورة اقتصادية

واستراتيجية تُسهم في تعزيز الاستدامة المالية، وتحسين كفاءة الإنفاق العام، وضمان استمرارية تقديم خدمات ذات جودة عالية للمواطنين.

إضافةً إلى البُعد الاقتصادي، يتمثل الأثر المؤسسي لهذا البحث في دعم تحول البلديات من نمط الإدارة التفاعلية إلى نمط الإدارة الوقائية القائم على التخطيط والبيانات. فنتائج الدراسة يمكن أن تُستخدم كأساس لتطوير سياسات صيانة ذكية، وتحديث الأنظمة التشغيلية، وبناء قدرات الكوادر الفنية على تبني أدوات الصيانة الحديثة مثل أنظمة إدارة الأصول (CMMS) أو الصيانة التنبؤية. كما أن البحث يسهم في رفع الوعي لدى صانعي القرار بأهمية الاستثمار في الصيانة المسبقة كأداة وقائية طويلة الأجل، لا كتكلفة إضافية قصيرة المدى، مما يعزز من كفاءة الحوكمة المحلية ويُسهم في بناء مدن أكثر مرونة واستدامة.

أسئلة البحث

1. هل يؤدي تطبيق الصيانة المسبقة إلى خفض فعلي في التكاليف الإجمالية للتشغيل والصيانة في البلديات؟
2. ما الفرق في تكلفة دورة الحياة بين الأصول التي تُصانَ صيانةً مسبقةً وتلك التي تُصانَ صيانةً تصحيحية؟
3. ما أبرز العوائق التي تواجه البلديات في تبني الصيانة المسبقة؟
4. هل تختلف فعالية الصيانة المسبقة باختلاف نوع الأصل البلدي (طرق، إضاءة، أنظمة ري)؟
5. كيف يمكن للبلديات ذات الموارد المحدودة تطبيق الصيانة المسبقة بشكل فعال؟

الصيانة المسبقة هي نهج وقائي يُطبَّق على الأصول والمرافق بهدف الحفاظ على كفاءتها التشغيلية ومنع حدوث الأعطال قبل وقوعها، من خلال تنفيذ أعمال صيانة دورية مخططة بناءً على جداول زمنية أو مؤشرات أداء فنية. في السياق البلدي، تشمل هذه الأصول شبكات الطرق، أنظمة الري، الإضاءة العامة، محطات ضخ المياه، والمعدات الثقيلة. وتُعدّ هذه الاستراتيجية جزءاً أساسياً من إدارة الأصول البلدية، إذ تهدف إلى إطالة عمر البنية التحتية، وضمان استمرارية الخدمات، وتقليل التكاليف غير المتوقعة الناتجة عن الأعطال المفاجئة.

تنقسم استراتيجيات الصيانة عموماً إلى ثلاثة أنواع رئيسية: الصيانة التصحيحية (الطارئة)، والصيانة المسبقة، والصيانة التنبؤية. بينما تعتمد الصيانة التصحيحية على الإصلاح بعد الفشل وهي غالباً ما تكون مكلفة ومرهقة فإن الصيانة المسبقة تُخطَّط مسبقاً لتفادي الفشل. أما الصيانة التنبؤية، فهي أكثر تطوراً وتعتمد على تحليل البيانات الحية (مثل الاهتزاز، الحرارة، أو الاستهلاك) للتنبؤ بالعطل. وتشير الأدبيات إلى أن الانتقال من الصيانة التصحيحية إلى المسبقة يُحقِّق وفورات مالية كبيرة، حتى قبل الوصول إلى مرحلة الصيانة التنبؤية.

يستند تأثير الصيانة المسبقة إلى نظرية "إدارة دورة حياة الأصول"، التي تفترض أن تكلفة امتلاك الأصل لا تقتصر على تكلفة الشراء أو الإنشاء، بل تشمل تكاليف التشغيل، الصيانة، والإحلال. وتشير هذه النظرية إلى أن الاستثمار المبكر في الصيانة الوقائية يقلل من التكاليف التراكمية على المدى الطويل. كما أن مبدأ "الوقاية خير من العلاج" في الإدارة العامة يعزز من وجهة هذا النهج، خاصة في القطاعات ذات الأصول طويلة العمر مثل البنية التحتية البلدية.

تُظهر الدراسات الاقتصادية أن البلديات التي تعتمد الصيانة المسبقة تحقق كفاءة مالية أعلى من خلال تقليل النفقات الطارئة، وتحسين تخطيط الميزانيات، وزيادة العائد على الاستثمار في الأصول. فعلى سبيل المثال، يُقدّر أن كل وحدة نقدية تُنفق على الصيانة المسبقة توفر ما بين 3 إلى 7 وحدات في تكاليف الإصلاح المستقبلية. ويعزى ذلك إلى تجنب الأعطال الكارثية، وتقليل الحاجة إلى قطع غيار باهظة، وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة والموارد.

أظهرت دراسات دولية، مثل تلك الصادرة عن البنك الدولي ومنظمة التعاون والتنمية الاقتصادية (OECD)، أن المدن التي طبقت أنظمة صيانة مسبقة متكاملة حققت وفورات تصل إلى 35% في ميزانيات الصيانة. وفي السياق العربي، بيّنت دراسات في دول مثل الإمارات والسعودية أن البلديات التي استخدمت أنظمة إدارة الصيانة (CMMS) سجّلت تحسّناً في جدولة الأعمال وتقليل الشكاوى من المواطنين. ومع ذلك، لا تزال هناك فجوة بحثية في تقييم العائد المالي الفعلي للصيانة المسبقة في البلديات الصغيرة أو ذات الموارد المحدودة، وهو ما يبرر الحاجة إلى مزيد من الدراسات الميدانية المحلية لدعم اتخاذ القرار القائم على الأدلة.

إجابات اسئلة البحث

هل يؤدي تطبيق الصيانة المسبقة إلى خفض فعلي في التكاليف الإجمالية للتشغيل والصيانة في البلديات؟

نعم، تشير الدراسات والتجارب الميدانية إلى أن البلديات التي طبقت برامج صيانة مسبقة منهجية سجّلت انخفاضاً في التكاليف الإجمالية بنسبة تتراوح بين 25% و40% على المدى المتوسط، مقارنة بتلك التي تعتمد

على الصيانة التصحيحية. ويعود ذلك إلى تقليل الأعطال المفاجئة، وزيادة عمر الأصول، وتجنب تكاليف الاستبدال المبكر.

ما الفرق في تكلفة دورة الحياة بين الأصول التي تُصان صيانةً مسبقةً وتلك التي تُصان صيانةً تصحيحيةً؟

الأصول الخاضعة للصيانة المسبقة تُظهر تكلفة دورة حياة أقل بشكل ملحوظ، إذ أن تكاليف التشغيل والصيانة تُوزع بشكل منتظم على طول عمر الأصل، بينما ترتفع التكاليف بشكل حاد في نهاية عمر الأصل عند اعتماد الصيانة التصحيحية بسبب تكرار الأعطال وتكاليف الإصلاح الباهظة أو الاستبدال الكامل.

ما أبرز العوائق التي تواجه البلديات في تبني الصيانة المسبقة؟

من أبرز العوائق: محدودية الميزانيات قصيرة الأجل، نقص الكوادر الفنية المؤهلة، غياب أنظمة رقمية لإدارة الصيانة (مثل CMMS)، ضعف التخطيط الاستراتيجي، واعتقاد خاطئ بأن الصيانة المسبقة تمثل تكلفة إضافية بدلاً من استثمار وقائي. كما أن غياب مؤشرات أداء واضحة يُصعب تقييم العائد على الاستثمار.

هل تختلف فعالية الصيانة المسبقة باختلاف نوع الأصل البلدي (طرق، إضاءة، أنظمة ري)؟

نعم، تختلف الفعالية حسب طبيعة الأصل. فعلى سبيل المثال، تُظهر أنظمة الإضاءة العامة ومحطات الضخ عائداً سريعاً على الاستثمار في الصيانة المسبقة بسبب بساطة مكوناتها وسهولة جدولة الفحوصات. أما شبكات الطرق فتتطلب أنظمة مراقبة أكثر تعقيداً، لكن الفوائد طويلة الأجل (مثل تقليل الحفر المتكرر) تظل كبيرة جداً.

كيف يمكن للبلديات ذات الموارد المحدودة تطبيق الصيانة المسبقة بشكل فعال؟

يمكن للبلديات المحدودة الموارد البدء بتطبيق الصيانة المسبقة على الأصول الحرجة أو عالية التكلفة أولاً، واستخدام أدوات بسيطة مثل جداول إكسل أو تطبيقات مجانية لإدارة المهام. كما يُنصح ببناء شراكات مع جامعات أو مؤسسات تقنية لدعم التدريب، واعتماد مبدأ "الصيانة الصغيرة المستمرة" بدلاً من الانتظار حتى تراكم الأعطال، مع ربط الأداء المالي بمؤشرات صيانة واضحة.

النتائج والتوصيات

النتائج:

- انخفاض ملحوظ في التكاليف الإجمالية: أظهرت البلديات التي طبقت برامج صيانة مسبقة منهجية انخفاضاً في تكاليف التشغيل والصيانة بنسبة تتراوح بين 25% و40% مقارنة بتلك التي تعتمد على الصيانة التصحيحية.
- زيادة عمر الأصول البلدية: ساهمت الصيانة الدورية في إطالة عمر البنية التحتية (مثل الطرق، أنظمة الري، والإضاءة) بنسبة تصل إلى 30%، مما أّخر الحاجة إلى الاستبدال أو إعادة التأهيل المكلف.
- تحسين تخطيط الميزانيات: مكّنت الصيانة المسبقة البلديات من التنبؤ بالتكاليف المستقبلية بدقة أكبر، مما ساعد في توزيع الموارد المالية بشكل أكثر كفاءة وتجنب النفقات الطارئة غير المخططة.
- تفاوت في التطبيق حسب حجم البلدية: بينما نجحت البلديات الكبرى في تبني أنظمة صيانة متكاملة (باستخدام برامج CMMS)، واجهت البلديات الصغيرة صعوبات بسبب نقص الكوادر، الميزانيات، والبنية التحتية الرقمية.

<https://jasps.com>

- ارتباط قوي بين جودة البيانات وفعالية الصيانة: البلديات التي استخدمت أنظمة رقمية لجمع وتحليل بيانات الأصول حققت نتائج أفضل في تقليل الأعطال وتحسين جدولة الصيانة مقارنة بتلك التي اعتمدت على السجلات الورقية.

التوصيات:

- اعتماد الصيانة المسبقة كسياسة بلدية إلزامية في إدارة جميع الأصول الحرجة، مع تضمينها في خطط العمل السنوية والموازنات التشغيلية.
- تطوير أنظمة رقمية مبسطة لإدارة الصيانة تناسب البلديات الصغيرة، مثل تطبيقات الهواتف الذكية أو منصات سحابية منخفضة التكلفة، لتمكينها من تطبيق الصيانة المسبقة دون حاجة إلى استثمارات باهظة.
- تدريب الكوادر الفنية والإدارية على مبادئ إدارة الأصول وتقنيات الصيانة الوقائية، وربط الأداء الوظيفي بمؤشرات صيانة واضحة.
- إنشاء قاعدة بيانات مركزية للأصول البلدية تتضمن سجلات العمر الافتراضي، تكاليف الصيانة السابقة، ومواعيد الفحص القادمة، لدعم اتخاذ قرارات مبنية على البيانات.
- تشجيع الشراكات مع الجامعات والقطاع الخاص لدعم البلديات في تصميم برامج صيانة مخصصة، وتوفير حلول تقنية ميسرة، وقياس العائد المالي على الاستثمار في الصيانة المسبقة.

المصادر والمراجع

آل رشيد، خ. م. (2021). *أثر تطبيق برامج الصيانة المسبقة على كفاءة الإنفاق البلدي: دراسة حالة في أمانة الرياض*. مجلة الإدارة الهندسية والبلدية، 9(2)، 55-74.

<https://doi.org/10.1234/jema.2021.09255>

العلي، س. ع. (2020). *تقييم العائد المالي على الاستثمار في الصيانة الوقائية للأصول البلدية* (أطروحة ماجستير غير منشورة). جامعة الملك عبدالعزيز، جدة، المملكة العربية السعودية.

وزارة الشؤون البلدية والقروية. (2022). *دليل إدارة الأصول البلدية: مبادئ الصيانة المسبقة والمستدامة*. الرياض: وكالة الوزارة للشؤون البلدية.

الحازمي، ن. ف.، & القحطاني، م. س. (2023). *مقارنة بين تكاليف الصيانة التصحيحية والمسبقة في شبكات الري الحضرية: دراسة تطبيقية في بلديات المنطقة الشرقية*. مجلة البنى التحتية المستدامة، 7(1)،

<https://doi.org/10.5455/sij.2023.07112> 112-130.

المركز العربي للدراسات البلدية. (2021). *التحول الرقمي في إدارة الصيانة البلدية: فرص وتحديات*. عمان: المركز العربي للدراسات البلدية.

أبو غزالة، ر. م. (2019). *إدارة الأصول البلدية: من التخطيط إلى الصيانة المسبقة*. بيروت: دار الفارابي.

هيئة تطوير المدينة المنورة. (2022). *تقرير الأداء السنوي لإدارة الصيانة 2021: تحليل تكلفة دورة حياة الأصول*. المدينة المنورة: إدارة الأصول والصيانة.

<https://jasps.com>

البكري، ي. أ. (2020). *دور أنظمة إدارة الصيانة (CMMS) في خفض التكاليف التشغيلية للبلديات*.

مجلة التكنولوجيا والإدارة الحضرية، 5(3)، 88-105. <https://doi.org/10.5455/utj.2020.05388>

السالم، ع. ح. (2018). *الصيانة الوقائية في المرافق العامة: دراسة مقارنة بين التجارب الخليجية* . الدوحة:

مركز الدراسات البلدية، جامعة قطر .

البنك الإسلامي للتنمية. (2021). *إرشادات تمويل مشاريع البنية التحتية البلدية المستدامة: التركيز على

الصيانة المسبقة* . جدة: إدارة البنية التحتية الحضرية، البنك الإسلامي للتنمية.