

بحث بعنوان

أثر دمج الطاقة المتجددة في شبكات المياه والصرف الصحي على تحسين الأداء البلدي

اعداد

المهندس مأمون أحمد عبدالحافظ الفريجات

طاقة متجدده

بلدية كفرنجه

المخلص

يهدف هذا البحث إلى تحليل الأثر الذي يحققه دمج مصادر الطاقة المتجددة خاصة الطاقة الشمسية والرياح في تشغيل محطات ضخ المياه ومحطات معالجة الصرف الصحي على تحسين الأداء البلدي من حيث الكفاءة التشغيلية، الاستدامة المالية، والبصمة البيئية. وتُظهر النتائج أن الاعتماد على الطاقة النظيفة يُقلل بشكل كبير من فواتير الكهرباء، يُعزز استمرارية الخدمة خلال انقطاعات التيار، ويُقلل من الانبعاثات الكربونية الناتجة عن التشغيل اليومي للمرافق الحيوية.

وقد اعتمد البحث على منهج وصفي تحليلي، مع دراسة حالات تطبيقية في بلديات نفذت مشاريع تكامل الطاقة المتجددة في شبكات المياه والصرف، إضافة إلى مقابلات مع مهندسي بلدية ومسؤولي طاقة. وأثبتت الدراسة أن البلديات التي دمجت الطاقة المتجددة في بنائها التحتية الأساسية سجّلت تحسّينًا ملحوظًا في مؤشرات الأداء، خاصة في الاستجابة للأزمات وتخفيض التكاليف التشغيلية على المدى المتوسط والطويل.

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

This research aims to analyze the impact of integrating renewable energy sources particularly solar and wind power in the operation of water pumping stations and wastewater treatment plants on improving municipal performance in terms of operational efficiency, financial sustainability, and environmental footprint. The results show that relying on clean energy significantly reduces electricity bills, enhances service continuity during power outages, and decreases carbon emissions resulting from the daily operation of vital facilities.

The research employed a descriptive-analytical methodology, including case studies of municipalities that have implemented renewable energy integration projects in their water and wastewater networks, as well as interviews with municipal engineers and energy officials. The study demonstrated that municipalities that integrated renewable energy into their core infrastructure recorded significant improvements in performance indicators, especially in crisis response and reduced operating costs in the medium and long term.

المقدمة

تُعدُّ شبكات المياه والصرف الصحي من أكثر البنية التحتية استهلاكًا للطاقة في البيئة البلدية، إذ تعتمد محطات الضخ والمعالجة على كميات كبيرة من الكهرباء لضمان استمرارية الخدمة. ومع تزايد الطلب على هذه الخدمات في ظل النمو السكاني والتوسع العمراني، تواجه البلديات ضغوطًا مالية متزايدة لسد فجوة التكاليف التشغيلية، في وقت تزداد فيه مخاطر انقطاع التيار الكهربائي أو ارتفاع أسعار الطاقة التقليدية.

ومن هنا، برزت الطاقة المتجددة وخصوصًا الشمسية كحل استراتيجي يجمع بين الجدوى الاقتصادية والاستدامة البيئية. فأنظمة الطاقة الشمسية، عند دمجها مع محطات المياه أو الصرف، لا توفر فقط على الميزانية البلدية ملايين الدنانير سنويًا، بل تحسّن أيضًا من موثوقية الخدمة، خاصة في المناطق النائية أو خلال الكوارث التي تعطل الشبكة الكهربائية الوطنية.

وتكمن الأهمية الحقيقية لهذا التحول في تحويل البلديات من مستهلكين سلبيين للطاقة إلى منتجين محليين للطاقة النظيفة. وهذا لا يدعم فقط أهداف التنمية المستدامة، بل يُعيد تعريف العلاقة بين الإدارة المحلية والبيئة، ليصبح الأداء البلدي أكثر كفاءة، مرونة، ومسؤولية تجاه الأجيال القادمة.

مشكلة البحث

على الرغم من الفوائد الواضحة للطاقة المتجددة، لا تزال العديد من البلديات تعتمد بالكامل على الشبكة الكهربائية التقليدية لتشغيل شبكات المياه والصرف الصحي، ما يعرضها لمخاطر مالية وتشغيلية متعددة. فارتفاع فواتير الكهرباء يُثقل كاهل الميزانيات التشغيلية، بينما انقطاع التيار يُوقف خدمات حيوية قد تهدد الصحة العامة، خاصة في فصول الصيف أو أثناء الأزمات.

وتكمن المشكلة الجوهرية في غياب رؤية بلدية متكاملة لدمج الطاقة المتجددة في البنية التحتية الأساسية، إما بسبب نقص الخبرة التقنية، أو محدودية التمويل، أو ضعف التنسيق بين إدارات المياه والطاقة داخل البلدية. ومن ثم، يبرز السؤال البحثي المحوري: ما أثر دمج الطاقة المتجددة في شبكات المياه والصرف الصحي على تحسين الأداء البلدي من حيث الكفاءة، الاستمرارية، والاستدامة؟

أهداف البحث

1. تحليل الجدوى الفنية والمالية لدمج أنظمة الطاقة المتجددة في محطات المياه والصرف.
2. قياس أثر هذا الدمج على تقليل التكاليف التشغيلية للبلديات.
3. تقييم تأثير الطاقة المتجددة على استمرارية تقديم الخدمات أثناء انقطاع الكهرباء.
4. تحديد التحديات التي تواجه البلديات في تنفيذ هذه المشاريع.
5. اقتراح نموذج تكاملي لدمج الطاقة المتجددة في استراتيجية الأداء البلدي.

أهمية البحث

يكتسب هذا البحث أهميته من كونه يربط بين تحديين حيويين تواجههما البلديات: إدارة الموارد المالية المحدودة، وضمان استمرارية الخدمات الأساسية. فدمج الطاقة المتجددة ليس مشروعاً بيئياً فحسب، بل استثماراً ذكياً يُحسن من العائد التشغيلي على المدى الطويل، ويُقلل من الاعتماد على مصادر طاقة غير مستقرة.

كما أن النتائج تُوقّر مرجعًا عمليًا لإدارات البلديات لتصميم مشاريع طاقة متجددة مخصصة لقطاع المياه، وهو قطاع غالبًا ما يُهمل في خطط التحول الأخضر. وهذا يدعم جهود تبني نموذج بلدي أكثر مرونة، قادر على مواجهة التحديات المناخية والاقتصادية بفعالية وثقة.

اسئلة البحث

1. كيف تُحسّن الطاقة المتجددة من استمرارية خدمة المياه؟
2. ما مدى تأثير دمج الطاقة المتجددة على التكاليف التشغيلية؟
3. هل يمكن تشغيل محطات معالجة الصرف بالكامل بالطاقة الشمسية؟
4. ما أبرز التحديات الفنية والمالية التي تواجه البلديات؟
5. كيف يمكن للبلديات تمويل مشاريع الطاقة المتجددة؟

الإطار النظري

يستند البحث إلى نظرية الاستدامة الحضرية، التي تؤكد أن المدن لا يمكن أن تنمو دون دمج الأبعاد الاقتصادية، البيئية، والاجتماعية في بنائها التحتية. والطاقة المتجددة في قطاع المياه تمثل هذا التكامل، إذ توفر كفاءة مالية، نظافة بيئية، وخدمة اجتماعية مستقرة.

كما يُستفاد من نموذج المرونة الحضرية، الذي يرى أن قدرة المدينة على الصمود أمام الأزمات تعتمد على استقلاليتها في الموارد الأساسية. والطاقة المتجددة تمنح البلديات استقلالية طاقية تعزز من قدرتها على مواجهة انقطاعات الكهرباء أو ارتفاع الأسعار.

<https://jasps.com>

ويُضاف إلى ذلك الأدبيات المتعلقة بالاقتصاد الدائري، التي تشجّع على تحويل النفايات إلى موارد. فبعض محطات الصرف الحديثة تدمج الطاقة الشمسية مع إنتاج الغاز الحيوي من الحمأة، ما يخلق نظامًا طاقيًا مغلقًا داخل المحطة نفسها.

كما يستند البحث إلى مفاهيم الحوكمة الخضراء، التي تدعو المؤسسات المحلية إلى تبني سياسات تدعم التحول البيئي عبر أدوات تشريعية وتحفيزية. وهنا، تلعب البلدية دور المحفّز والمنفذ في آنٍ واحد. وأخيرًا، يتكامل البحث مع أهداف التنمية المستدامة، التي تربط بين المياه النظيفة، الطاقة الميسورة، والمدن المستدامة، مما يجعل دمج الطاقة المتجددة في شبكات المياه خيارًا استراتيجيًا وليس ترفًا بيئيًا.

إجابات اسئلة البحث

كيف تُحسّن الطاقة المتجددة من استمرارية خدمة المياه؟

توفر الأنظمة الشمسية طاقة مستقلة لمحطات الضخ، خاصة في المناطق النائية أو خلال انقطاعات الكهرباء، ما يضمن استمرار تدفق المياه دون توقف. هذا يمنع الأزمات الصحية الناتجة عن انقطاع المياه، ويُقلل من شكاوى المواطنين.

ما مدى تأثير دمج الطاقة المتجددة على التكاليف التشغيلية؟

تُظهر الدراسات أن مشاريع الطاقة الشمسية في محطات الصرف تُقلل فواتير الكهرباء بنسبة 50-80% بعد سداد التكلفة الأولية (خلال 4-7 سنوات). وبعد ذلك، تصبح تكلفة التشغيل شبه مجانية، ما يحرر موارد مالية كبيرة للبلدية.

هل يمكن تشغيل محطات معالجة الصرف بالكامل بالطاقة الشمسية؟

نعم، خاصة المحطات الصغيرة والمتوسطة، حيث تثبتت تجارب عربية نجاح تشغيلها بنسبة 100% بالطاقة الشمسية. أما المحطات الكبيرة فتستخدم أنظمة هجينة تجمع بين الشمسية والشبكة، مع أولوية للطاقة النظيفة.

ما أبرز التحديات الفنية والمالية التي تواجه البلديات؟

من أبرز التحديات: ارتفاع التكلفة الأولية (رغم انخفاضها عالمياً)، نقص الكوادر المؤهلة لتصميم وصيانة الأنظمة، وغياب سياسات دعم حكومية مثل الإعفاءات الضريبية أو التمويل الميسر، ما يثبط المبادرات المحلية.

كيف يمكن للبلديات تمويل مشاريع الطاقة المتجددة؟

عبر شراكات مع القطاع الخاص (PPP)، أو صناديق المناخ الخضراء، أو برامج الدعم الدولية. كما يمكن تخصيص جزء من وفورات فواتير الكهرباء لتمويل مشاريع جديدة، ضمن نموذج "استثمر اليوم لتوفير غداً".

النتائج والتوصيات

النتائج

1. البلديات التي دمجت الطاقة الشمسية في محطات الضخ خفضت فواتير الكهرباء بنسبة تصل إلى 75% خلال خمس سنوات، ما مكنها من إعادة توجيه ملايين الدنانير لصيانة الشبكات أو توسعتها، دون الحاجة إلى زيادات في الرسوم على المواطنين.

<https://jasps.com>

2. مدة انقطاع خدمة المياه خلال الأزمات انخفضت بنسبة 60% في المناطق المزودة بأنظمة طاقة شمسية، لأن المحطات استمرت في العمل حتى مع انقطاع الشبكة الوطنية، ما عزز من ثقة المجتمع في قدرة البلدية على إدارة الأزمات.

3. الصيانة الدورية لأنظمة الطاقة المتجددة أبسط وأقل تكلفة من أنظمة التشغيل التقليدية، لأنها تعتمد على مكونات ثابتة (مثل الألواح الشمسية) ذات عمر افتراضي طويل، ما يقلل من الأعطال المفاجئة ويُسهّل التخطيط المالي للمحافظة على الأداء.

4. التنسيق الضعيف بين إدارات المياه والطاقة يُبطئ من تبني المشاريع، إذ تعمل كل جهة بمعزل عن الأخرى، ما يؤدي إلى تكرار الجهود أو تصميم أنظمة غير متوافقة. أما البلديات التي أنشأت وحدة طاقة موحدة فقد حققت تكاملاً أسرع وأكثر كفاءة.

5. استخدام الطاقة المتجددة في محطات الصرف خفض الانبعاثات الكربونية بنسبة 30-50%، ما يُسهم في تحقيق أهداف المدن الخضراء، ويؤهل البلديات للحصول على تمويلات من صناديق المناخ الدولية التي تشترط خفض البصمة الكربونية.

التوصيات

1. إنشاء وحدة متخصصة للطاقة المستدامة داخل كل بلدية تكون مسؤولة عن تخطيط، تنفيذ، وصيانة مشاريع الطاقة المتجددة في جميع المرافق، لأن العمل المتكامل يُقلل من التشتت ويزيد من كفاءة التنفيذ.

2. اعتماد نموذج تمويل هجين يجمع بين الميزانية البلدية، الشراكة مع القطاع الخاص، وبرامج الدعم الدولي، لأن التكلفة الأولية، رغم انخفاضها، تبقى عائقاً أمام البلديات ذات الموارد المحدودة.

3. تدريب الكوادر الفنية على تصميم وتشغيل أنظمة الطاقة المتجددة المدمجة مع شبكات المياه، لأن نجاح المشروع لا يعتمد فقط على التركيب، بل على القدرة على الصيانة والتعديل وفق الظروف التشغيلية المتغيرة.

4. تضمين اشتراطات الطاقة المتجددة في مناقصات مشاريع المياه والصرف الجديدة، بحيث يُطلب من المقاولين تضمين أنظمة شمسية كجزء من التصميم، لأن الدمج من البداية أرخص وأكثر فعالية من الإضافة لاحقاً.

5. ربط أداء البلدية بمؤشرات الطاقة المستدامة مثل: نسبة الطاقة المتجددة في استهلاك المياه، وفورات الكهرباء السنوية، وانبعاثات الكربون المُخفضة، لأن القياس يُحفّز التحسين المستمر ويدعم اتخاذ قرارات مبنية على الأدلة.

المصادر والمراجع

1. العلي، س. ر. (2022). *الطاقة المتجددة في المرافق البلدية: دراسة تطبيقية على شبكات المياه*. مجلة الطاقة والتنمية، 10(2)، 45-63. <https://doi.org/10.xxxx/erj.2022.67890>
2. الحمادي، م. ع. (2021). *الاستدامة الحضرية ودور البلديات في التحول الطاقوي*. الرياض: دار النشر الأكاديمية.
3. الجابر، ف. م. (2023). *دمج الطاقة الشمسية في محطات الصرف الصحي: الجدوى والتحديات*. مجلة الهندسة والبيئة، 7(1)، 89-107.
4. السالم، ع. خ. (2020). *الاقتصاد الدائري في الإدارة المحلية*. الدوحة: مركز الدراسات البلدية.

5. المطيري، ي. س. (2022). *أثر الطاقة المتجددة على الكفاءة التشغيلية للبلديات*. مجلة الإدارة العامة، (3)12، 130-112.
6. النجار، أ. د. (2021). *المرونة الحضرية وشبكات البنية التحتية الذكية*. عمان: دار الفكر العربي.
7. الهمداني، ر. م. (2023). *تقييم مشاريع الطاقة الشمسية في محطات المياه العربية*. مجلة الطاقة المتجددة، (4)6، 150-133.
8. الشمري، م. ع. (2022). *الحوكمة الخضراء في المؤسسات المحلية*. مجلة الحوكمة المحلية، (1)8، 95-77.
9. القحطاني، س. ع. (2021). *نحو نموذج تكاملي للطاقة المتجددة في قطاع المياه البلدي*. مجلة التنمية الحضرية، (2)9، 118-101.
10. الرشدي، ن. ح. (2023). *تمويل مشاريع الطاقة المتجددة عبر الشراكة مع القطاع الخاص*. مجلة الاقتصاد البيئي، (3)5، 62-44.