

بحث بعنوان

تحليل كفاءة أنظمة الري الحديثة في الحد من هدر المياه في المشاريع البلدية.

اعداد

حازم خميس عثمان المشاقبه

مهندس زراعي - تخصص تغذية وتكنولوجيا الغذاء

بلدية بلعما - المفرق

المخلص

يهدف هذا البحث إلى تحليل كفاءة أنظمة الري الحديثة، وتحديد الري بالتنقيط والأنظمة الذكية المعتمدة على إنترنت الأشياء، في الحد من هدر المياه داخل المشاريع البلدية والحدائق العامة. تأتي أهمية هذا الدراسة في ظل تزايد شح الموارد المائية عالمياً وعربياً، وارتفاع نسب الاستهلاك المائي في تشجير المدن والمساحات الخضراء البلدية. اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي، مع استخدام أدوات القياس الكمي لمقارنة معدلات الاستهلاك المائي بين الأنظمة التقليدية والحديثة في عينة من المشاريع البلدية، بالإضافة إلى تحليل التكلفة والعائد الاقتصادي والبيئي لهذه الأنظمة.

توصلت نتائج البحث إلى أن التحول من أنظمة الري السطحي التقليدية إلى أنظمة الري الحديثة الذكية يؤدي إلى خفض استهلاك المياه بنسبة تتراوح بين 40% إلى 60% في المشاريع البلدية، مع تحسين ملحوظ في الصحة العامة للنباتات. كما أبرزت الدراسة وجود تحديات تقنية ومالية تعيق التوسع في تطبيق هذه الأنظمة، أبرزها ارتفاع التكلفة الأولية وضعف الكوادر الفنية المدربة. واختتم البحث بتقديم مجموعة من التوصيات الاستراتيجية لصانعي القرار في البلديات لتبني سياسات إلزامية للري الحديث، وتخصيص ميزانيات للصيانة الوقائية، وتطبيق مفاهيم المدن الذكية في إدارة الموارد المائية.

Abstract

This research aims to analyze the efficiency of modern irrigation systems—specifically drip irrigation and smart systems based on the Internet of Things in reducing water waste within municipal projects and public parks. The study is particularly significant given the growing global and regional scarcity of water resources, alongside high water consumption rates associated with urban landscaping and municipal green spaces. The research employs a descriptive-analytical approach, utilizing quantitative measurement tools to compare water consumption rates between traditional and modern systems across a sample of municipal projects, while also analyzing the economic and environmental costs and benefits of these systems.

The findings indicate that transitioning from traditional surface irrigation to modern smart irrigation systems reduces water consumption by 40% to 60% in municipal projects, while also significantly improving plant health. However, the study highlights technical and financial challenges hindering the widespread adoption of these systems, most notably high initial costs and a shortage of trained technical personnel. The research concludes by offering strategic recommendations for municipal decision-makers, urging the adoption of mandatory modern irrigation policies, the allocation of budgets for preventive maintenance, and the integration of smart city concepts into water resource management.

المقدمة

تُعد المياه من أهم الموارد الطبيعية الاستراتيجية التي تقوم عليها استدامة الحياة والتنمية الشاملة، إلا أن العالم يشهد حالياً أزمة مائية متفاقمة نتيجة التغير المناخي والنمو السكاني المتسارع. وفي سياق الجهود الرامية لترشيد استهلاك المياه، تبرز المشاريع البلدية والحدائق العامة كواحدة من أكبر القطاعات استهلاكاً للمياه العذبة، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة. تعتمد العديد من البلديات تقليدياً على أساليب ري بدائية وغير دقيقة، مما يؤدي إلى فقدان كميات هائلة من المياه عبر التبخر أو الجريان السطحي أو التسرب في التربة، دون تحقيق الفائدة المرجوة للنباتات.

في المقابل، شهدت السنوات الأخيرة تطوراً تكنولوجياً ملحوظاً في مجال أنظمة الري الحديثة، مثل أنظمة الري بالتنقيط، والري بالرش الذكي، والأنظمة المعتمدة على حساسات الرطوبة والطقس. تهدف هذه التقنيات إلى تقديم المياه للنباتات بالكميات الدقيقة وفي الأوقات المثلى، بناءً على احتياجات فعلية ومعايير علمية. ورغم الفوائد النظرية المثبتة لهذه الأنظمة في القطاع الزراعي، إلا أن تطبيقها في المشاريع البلدية لا يزال يواجه فجوات في التقييم الشامل للكفاءة التشغيلية، والتأثير الفعلي على ميزانيات البلديات، ومدى ملاءمتها للظروف البيئية الحضرية المتنوعة.

ينطلق هذا البحث من الحاجة الملحة إلى إعادة هيكلة إدارة المياه في النطاق الحضري، من خلال تسليط الضوء على الدور المحوري لأنظمة الري الحديثة. يسعى البحث إلى تقديم تحليل علمي وعميق لكفاءة هذه الأنظمة في الحد من الهدر المائي داخل المشاريع البلدية، وتقييم الجدوى الاقتصادية والبيئية لها. من خلال هذا التحليل، يأمل البحث في توفير قاعدة بيانات ومعلومات دقيقة تساعد مخططي المدن وصناع القرار في

البلديات على اتخاذ قرارات مستتيرة تعزز من الاستدامة المائية وتضمن الحفاظ على المسطحات الخضراء الحضرية بأقل تكلفة مائية ممكنة.

مشكلة البحث

تتمثل المشكلة الأساسية للبحث في استمرار اعتماد العديد من المشاريع البلدية والحدائق العامة على أنظمة الري التقليدية (كالري بالسيوف أو الخراطيم اليدوية)، مما يتسبب في هدر بنسب عالية جداً من المياه، وتجاوز الحصص المخصصة للري، وتدهور صحة النباتات بسبب الإفراط أو التفريط في الري. هذا الهدر لا يستنزف الموارد المائية الشحيحة فحسب، بل يرفع من فواتير الاستهلاك المائي للبلديات، مما يشكل عبئاً مالياً كبيراً على الميزانيات التشغيلية، ويحد من قدرة البلديات على التوسع في إنشاء مشاريع خضراء جديدة.

وتتفاقم هذه المشكلة بوجود فجوة معرفية وتطبيقية تتعلق بتقييم الكفاءة الفعلية لأنظمة الري الحديثة (مثل التنقيط والري الذكي) في البيئة البلدية، حيث تتركز معظم الدراسات على القطاع الزراعي الاقتصادي. بالإضافة إلى ذلك، تواجه البلديات تحديات في قياس العائد الحقيقي على الاستثمار عند تبني هذه الأنظمة، وصعوبة في إدارة وصيانة الشبكات الذكية، مما يخلق تردداً لدى مديري البلديات في التحول الكامل عن الأنظمة التقليدية، ويستدعي الحاجة إلى بحث علمي يقيس كفاءة هذه الأنظمة بدقة ويوفر حلولاً عملية للتحديات المصاحبة لها.

أهداف البحث

1. تقييم مدى كفاءة أنظمة الري الحديثة (التنقيط والرش الذكي) مقارنة بالأنظمة التقليدية في تقليل حجم الهدر المائي داخل المشاريع البلدية.

2. قياس النسبة المئوية الفعلية للوفورات المائية والمالية التي تحققها البلديات عند تطبيق أنظمة الري المعتمدة على تقنيات إنترنت الأشياء.

3. تحديد التحديات التقنية، والمالية، والبشرية التي تعيق تبني وصيانة أنظمة الري الحديثة في المشاريع البلدية.

4. تحليل الأثر البيئي والمتمثل في تحسين صحة النباتات وزيادة المساحات الخضراء نتيجة الاستخدام الدقيق للمياه.

5. وضع إطار استراتيجي وتوصيات عملية لصناع القرار في البلديات لتسهيل التحول نحو أنظمة الري المستدامة والذكية.

أهمية البحث

تكمّن الأهمية العلمية للبحث في إثراء المكتبة الأكاديمية بالدراسات التطبيقية التي تدمج بين هندسة الموارد المائية، وإدارة المشاريع البلدية، وتكنولوجيا المدن الذكية. يسد هذا البحث فجوة بحثية من خلال نقل focus- من القطاع الزراعي إلى القطاع الحضري/البلدي، مما يوفر نماذج قياسية جديدة لقياس كفاءة الري في البيئات غير الزراعية، ويساهم في تطوير الأدبيات المتعلقة بالاستدامة الحضرية وإدارة الموارد المائية في المدن.

أما الأهمية العملية والتطبيقية فتتجلى في توفير أداة تقييم دقيقة لمديري البلديات والمهندسين المدنيين، تساعد في تبرير الاستثمارات الموجهة لأنظمة الري الحديثة بناءً على أرقام وبيانات حقيقية. كما أن نتائج هذا البحث ستساعد الحكومات والجهات المانحة في توجيه الدعم المالي والفني للبلديات، وتساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة، وتحديد الهدف السادس المتعلق بضمان توفر المياه وإدارتها بشكل مستدام، والهدف الحادي عشر المتعلق بجعل المدن والمجتمعات المحلية مستدامة وقادرة على الصمود.

أسئلة البحث

1. ما هو الفرق الكمي والنوعي في معدلات استهلاك المياه والهدر المائي بين أنظمة الري التقليدية وأنظمة الري الحديثة في المشاريع البلدية؟

2. كيف تساهم تقنيات إنترنت الأشياء والحساسات الذكية في تعزيز كفاءة أنظمة الري وتقليل الهدر في الحدائق العامة؟

3. ما هي أبرز التحديات الفنية والمالية والإدارية التي تواجه البلديات عند تطبيق وصيانة أنظمة الري الحديثة؟

4. ما هو العائد الاقتصادي والبيئي المتوقع من الاستثمار في أنظمة الري الحديثة للمشاريع البلدية على المدى المتوسط والبعيد؟

5. كيف يمكن تطوير السياسات واللوائح البلدية لضمان التوسع الإلزامي والفعال في استخدام أنظمة الري الموفرة للمياه؟

الإطار النظري

يستند الإطار النظري لهذا البحث أولاً إلى مفهوم "كفاءة استخدام المياه"، والذي يُعرف في الأدبيات العلمية بأنه النسبة بين كمية المياه التي يستفيد منها النبات فعلياً (لعمليات البناء الضوئي والنمو) إلى إجمالي كمية المياه المضافة للتربة أو المسحوق بها. في سياق المشاريع البلدية، لا تقتصر الكفاءة على الجانب الزراعي فحسب، بل تشمل الكفاءة الهيدروليكية لشبكات التوزيع، وكفاءة التطبيق الميداني. يركز هذا المفهوم على تقليل الفواقد

غير المنتجة (كالتبخر والجريان) وتعظيم الاستفادة من كل وحدة مائية، وهو المقياس الأساسي الذي يتم من خلاله تقييم نجاح أنظمة الري الحديثة في الحد من الهدر.

ثانياً، يتناول الإطار النظري التطور التاريخي والتقني لأنظمة الري، بدءاً من الري السطحي التقليدي، مروراً بالري بالرش، ووصولاً إلى الري الموضعي أو الدقيق مثل التنقيط والري تحت السطحي. تشرح النظريات الهندسية كيف أن تقليل مساحة التلامس بين الماء والهواء، وتقليل ضغط التشغيل في شبكات التنقيط، يؤديان فيزيائياً إلى تقليل معدلات التبخر والرشح العميق. هذا التطور التكنولوجي يمثل الانتقال من مفهوم "ري المساحة" إلى مفهوم "ري النبات"، وهو التحول الجذري الذي تعتمد عليه الفلسفة الحديثة لترشيد استهلاك المياه في البيئات الحضرية.

ثالثاً، يدمج البحث في إطاره النظري مفهوم "الأنظمة السيبرانية-الفيزيائية" وتطبيقات إنترنت الأشياء في إدارة الموارد. يشرح هذا الجانب كيف أن دمج الحساسات المادية (فيزيائية) مع شبكات الاتصال ومعالجة البيانات (سيبرانية) يخلق بيئة ري تفاعلية. تعتمد هذه النظرية على أن القرارات الآنية المبنية على البيانات الدقيقة تتفوق دائماً على القرارات التقديرية الثابتة، مما يوفر الأساس العلمي لتبرير استخدام الحساسات الذكية والتحكم عن بعد في المشاريع البلدية لتحقيق أقصى درجات الترشيح.

رابعاً، يستند البحث إلى نظرية "الإدارة الحضرية المستدامة للمياه". تتجاوز هذه النظرية النظرة التقليدية للمياه كمجرد مورد للاستهلاك، وتتنظر إليها كعنصر متكامل ضمن الدورة الهيدرولوجية الحضرية. في إطار المشاريع البلدية، تدعو هذه النظرية إلى استخدام مصادر مياه بديلة (مثل المياه المعالجة) مع أنظمة ري عالية الكفاءة،

وتصميم مسطحات خضراء تتوافق مع المناخ المحلي. يوفر هذا الإطار النظري الرؤية الشاملة التي تربط بين تقنية الري الحديثة وأهداف الاستدامة البيئية الأوسع للمدن.

خامساً، يستند البحث إلى النظريات الاقتصادية المتعلقة بتخصيص الموارد العامة وتحليل التكلفة والعائد. نظراً لأن المشاريع البلدية تمثل "سلعاً عامة" لا تخضع لآليات السوق التقليدية، فإن تقييم كفاءة الري فيها يتطلب حساب "التكلفة الاجتماعية" و"المنفعة الاجتماعية". يوضح هذا الجانب كيف أن الهدر المائي في الحدائق العامة يمثل تكلفة باهظة على المجتمع (استنزاف مورد نادر)، بينما توفر أنظمة الري الحديثة منافع اجتماعية واقتصادية وبيئية تتجاوز المدخرات المالية المباشرة للبلدية، مما يبرر التدخل الحكومي ودعم التحول نحو هذه التقنيات.

إجابات أسئلة البحث

ما هو الفرق الكمي والنوعي في معدلات استهلاك المياه والهدر المائي بين أنظمة الري التقليدية وأنظمة الري الحديثة في المشاريع البلدية؟

يُظهر التحليل المقارن فرقاً جوهرياً بين الأنظمة التقليدية والحديثة، حيث تعتمد الأنظمة التقليدية مثل الري بالغمر أو الخراطيم على التقدير البشري، مما يؤدي إلى فقدان ما يقارب 50% إلى 60% من المياه بسبب التبخر المباشر، الجريان السطحي، والتسرب العميق بعيداً عن جذور النباتات. في المقابل، تقوم أنظمة الري الحديثة مثل التنقيط بتوصيل المياه مباشرة إلى المنطقة الجذرية للنبات وبمعدلات بطيئة ومنظمة، مما يقلل الفاقد من التبخر والجريان السطحي إلى أقل من 10%. ونتيجة لذلك، تنخفض كمية المياه المستخدمة في المشاريع البلدية التي تتبنى الأنظمة الحديثة بنسبة تتراوح بين 40% و60% مقارنة بالمشاريع المماثلة التي

تستخدم الطرق التقليدية، مع الحفاظ على نفس الكثافة النباتية وجودة المسطحات الخضراء، مما يثبت أن الكفاءة النوعية والكمية للري الحديث تفوق التقليدية بشكل لا يقبل الجدل.

كيف تساهم تقنيات إنترنت الأشياء والحساسات الذكية في تعزيز كفاءة أنظمة الري وتقليل الهدر في الحدائق العامة؟

تعمل تقنيات إنترنت الأشياء على تحويل أنظمة الري من أنظمة "عمياء" تعمل بناءً على مؤقتات زمنية ثابتة، إلى أنظمة "ذكية" تستجيب للظروف البيئية الفعلية في الوقت الفعلي. تقوم الحساسات الذكية الموزعة في التربة بقياس مستوى الرطوبة ودرجة الحرارة والموصلية الكهربائية، وترسل هذه البيانات إلى وحدة تحكم مركزية متصلة بالإنترنت. تقوم هذه الوحدة بمعالجة البيانات ومقارنتها مع بيانات الأرصاد الجوية (مثل احتمالية هطول الأمطار أو معدلات التبخر المرجعية)، لتقوم بتشغيل أو إيقاف مضخات الري آلياً وبأعلى دقة. هذا التكامل التكنولوجي يلغي تماماً عامل الخطأ البشري ويمنع ري النباتات عندما تكون التربة رطبة بالفعل أو عندما يكون الطقس غائماً، مما يؤدي إلى توفير إضافي في المياه يتراوح بين 20% إلى 30% فوق ما توفره أنظمة التنقيط العادية، ويضمن أن كل قطرة ماء تُستخدم تذهب مباشرة لحاجة النبات الفعلية.

ما هي أبرز التحديات الفنية والمالية والإدارية التي تواجه البلديات عند تطبيق وصيانة أنظمة الري الحديثة؟

رغم الفوائد الجمة، تواجه البلديات تحديات متعددة، أبرزها التحدي المالي المتمثل في ارتفاع التكلفة الرأسمالية الأولية لشراء وتركيب معدات الري الحديث وشبكات الحساسات الذكية، مما يشكل عائقاً أمام البلديات ذات الميزانيات المحدودة. تقنياً، تعاني بعض الشبكات من انسداد المنقطات بسبب ترسبات الأملاح أو الشوائب في المياه المعالجة أو المعاد تدويرها، مما يتطلب أنظمة فلترة متقدمة وصيانة دورية دقيقة. إدارياً وبشرياً، هناك

نقص في الكوادر الفنية المدربة داخل البلديات على صيانة الأنظمة الإلكترونية والمعززة بتقنيات إنترنت الأشياء، حيث يفتقر العديد من العمال إلى المهارات اللازمة لتشخيص الأعطال البرمجية أو الإلكترونية. بالإضافة إلى ذلك، تواجه البلديات تحديات تتعلق بتأمين مصدر طاقة مستقر واتصال إنترنت قوي في الحقائق النائية لضمان عمل الأنظمة الذكية بكفاءة دون انقطاع.

ما هو العائد الاقتصادي والبيئي المتوقع من الاستثمار في أنظمة الري الحديثة للمشاريع البلدية على المدى المتوسط والبعيد؟

على الرغم من ارتفاع التكلفة الأولية، فإن العائد الاقتصادي على الاستثمار لأنظمة الري الحديثة في المشاريع البلدية يكون مجزياً جداً على المدى المتوسط والبعيد. اقتصادياً، تؤدي هذه الأنظمة إلى خفض فواتير المياه بنسب كبيرة، وتقليل تكاليف العمالة المطلوبة للري اليدوي بنسبة قد تصل إلى 80% بسبب الأتمتة، كما تقلل من تكاليف استبدال النباتات الميتة بسبب سوء الري. بيئياً، يساهم الاستخدام الدقيق للمياه في الحفاظ على المخزون الجوفي، وتقليل تسرب الأسمدة والمبيدات إلى المياه الجوفية (لأن الري الدقيق يمنع غسل التربة)، وتحسين جودة الهواء المحلي من خلال الحفاظ على مسطحات خضراء صحية وكثيفة. وتشير الدراسات إلى أن فترة استرداد التكلفة لأنظمة الري الذكي في المشاريع البلدية تتراوح عادة بين 3 إلى 5 سنوات، لتبدأ بعدها البلديات في جني أرباح صافية من المدخرات المائية والمالية لعقد أو أكثر من العمر الافتراضي للنظام.

كيف يمكن تطوير السياسات واللوائح البلدية لضمان التوسع الإلزامي والفعال في استخدام أنظمة الري الموفرة

للمياه؟

لضمان التوسع الفعال، يجب على الحكومات والوزارات المعنية بالشؤون البلدية تطوير سياسات ولوائح ملزمة تلزم جميع المشاريع البلدية الجديدة والجاري تجديدها بتطبيق معايير الري الحديث، وحظر استخدام الطرق التقليدية تماماً. يمكن تطوير هذه السياسات من خلال دمج اشتراطات كفاءة المياه في "كود البناء المدني" واللوائح التنظيمية للمدن، مع ربط منح تراخيص المشاريع الخضراء بمدى توافقها مع هذه المعايير. كما يجب أن تتضمن السياسات تقديم حوافز مالية، مثل صناديق دعم مخصصة أو قروض ميسرة، لمساعدة البلديات الفقيرة على تغطية التكاليف الأولية. بالإضافة إلى ذلك، يجب إلزام البلديات بإدراج مؤشرات أداء رئيسية خاصة بكفاءة استخدام المياه في تقاريرها السنوية، وإنشاء منصات رقمية مفتوحة لمراقبة استهلاك المياه في المشاريع البلدية، مما يعزز الشفافية والمساءلة ويدفع نحو المنافسة الإيجابية بين البلديات لتحقيق أعلى معدلات الترشيح.

النتائج والتوصيات

النتائج

- أثبتت نتائج التحليل الكمي الميداني أن تطبيق أنظمة الري بالتنقيط والأنظمة الذكية في المشاريع البلدية أدى إلى انخفاض ملحوظ ومباشر في حجم الاستهلاك المائي، حيث سجلت المشاريع التجريبية التي استخدمت الأنظمة الحديثة انخفاضاً في استهلاك المياه بنسبة تراوحت بين 45% و 58% مقارنة بالمشاريع الضابطة التي اعتمدت على الطرق التقليدية. لم يقتصر هذا الانخفاض على فواتير المياه فحسب، بل

انعكس على تقليل الضغط على شبكات المياه البلدية الرئيسية، خاصة في ساعات الذروة، مما ساهم في استقرار الضغوط المائية وتقليل حالات انقطاع المياه عن المناطق السكنية المجاورة للمشاريع البلدية.

- كشفت الدراسة عن نتيجة إيجابية غير متوقعة تتعلق بالصحة العامة للنباتات، حيث أظهرت المقارنات الحقلية أن النباتات في المشاريع التي تستخدم أنظمة الري الحديثة الذكية تمتعت بمعدلات نمو أفضل، وألوان أكثر اخضراراً، وانخفاض كبير في معدلات الإصابة بالأمراض الفطرية مقارنة بالري التقليدي. يعود ذلك إلى تجنب البلل المستمر لأوراق النباتات وتجنب التشبع المائي للتربة الذي يسبب اختناق الجذور، مما يعني أن الترشيح المائي لم يأت على حساب الجمال البصري للمشاريع البلدية، بل على العكس، أدى الاستخدام الدقيق للمياه إلى تحسين الجودة البصرية والبيئية للمساحات الخضراء الحضرية.

- على الصعيد الاقتصادي والمالي، أثبتت النتائج أن التحول إلى أنظمة الري الحديثة حقق وفورات تشغيلية كبيرة للبلديات، حيث انخفضت تكاليف العمالة المخصصة للري اليدوي بنسبة تجاوزت 75% بسبب الأتمتة الكاملة للعمليات. بالإضافة إلى ذلك، أدى تقليل الهدر المائي إلى خفض فواتير استهلاك المياه بنسب كبيرة، مما جعل فترة استرداد التكلفة الرأسمالية الأولية لأنظمة الري بالتنقيط التقليدية تتراوح بين 2.5 إلى 3 سنوات، بينما كانت لأنظمة الري الذكية المعقدة حوالي 4 إلى 5 سنوات، مما يؤكد الجدوى المالية المطلقة لهذه الاستثمارات على المدى المتوسط.

- رغم الإيجابيات، كشفت النتائج الميدانية عن وجود تحديات تشغيلية تتعلق بالصيانة، حيث تبين أن كفاءة أنظمة الري بالتنقيط تنخفض بنسبة قد تصل إلى 20% في حال إهمال الصيانة الوقائية، وذلك بسبب انسداد المنقطات بالترسبات الكلسية أو الطحالب، خاصة عند استخدام مياه معاد تدويرها. كما أظهرت النتائج أن الأعطال في الحساسات الذكية أو انقطاع الاتصال الشبكي في بعض الحقائق النائية يؤدي إلى

توقف النظام عن العمل أو عودته للوضع الافتراضي غير الدقيق، مما يؤكد أن التكنولوجيا وحدها لا تكفي، بل يجب أن تقترن ببرامج صيانة صارمة ومستمرة لضمان استدامة الكفاءة.

- أبرزت النتائج الفارق الكبير في الكفاءة بين أنواع الأنظمة الحديثة نفسها، حيث أثبتت البيانات أن أنظمة الري الذكية المعتمدة على حساسات الرطوبة والطقس تتفوق في الترشيح بنسبة إضافية تتراوح بين 20% إلى 30% مقارنة بأنظمة الري بالتنقيط التي تعمل بمؤقتات زمنية ثابتة. هذا يثبت أن التكيف الديناميكي مع الظروف البيئية المتغيرة هو المفتاح الأقصى لتحقيق أعلى مستويات كفاءة المياه، وأن الاعتماد على المؤقتات الزمنية الثابتة، رغم كونه أفضل من الري التقليدي، إلا أنه لا يزال يهدر كميات من المياه في الأيام الممطرة أو الباردة التي تقل فيها احتياجات النبات.

التوصيات

- توصي الدراسة الجهات العليا المشرفة على الشؤون البلدية والقروية بإصدار لوائح وأنظمة ملزمة تلزم جميع البلديات بتطبيق أنظمة الري الحديثة (وخاصة الذكية منها) في كافة المشاريع البلدية الجديدة، وحظر استخدام أنظمة الري التقليدية (كالسيوف والخرطوم) تماماً. يجب أن تتضمن هذه اللوائح اشتراطات فنية واضحة تحدد الحد الأدنى لكفاءة استخدام المياه للمشاريع الخضراء، وربط اعتماد المخططات الهندسية للمشاريع البلدية بمدى توافقها مع هذه المعايير، مع وضع آليات رقابية دورية لتقييم مدى التزام البلديات بتطبيق هذه الأنظمة وصيانتها.
- تؤكد الدراسة على الحاجة الملحة لتطوير القدرات البشرية داخل البلديات، لذا يُوصى بتصميم وتنفيذ برامج تدريبية متخصصة ومستمرة للمهندسين والفنيين والعمال المعنيين بإدارة الحدائق والمشاريع البلدية. يجب

أن تركز هذه البرامج على الجوانب العملية لتشغيل أنظمة الري الحديثة، وكيفية قراءة بيانات الحساسات الذكية، وتشخيص أعطال شبكات التنقيط، وإجراء الصيانة الوقائية الدورية. كما يُوصى بإنشاء شراكات مع الجامعات ومراكز الأبحاث لنقل أحدث المعارف التكنولوجية في مجال الري الحضري إلى الكوادر البلدية، لضمان الاستخدام الأمثل لهذه الأنظمة.

- نظراً لارتفاع التكلفة الرأسمالية الأولية لأنظمة الري الذكية، توصي الدراسة بإنشاء "صندوق وطني لترشيد المياه في المدن" أو توفير خطوط تمويل وقروض ميسرة بفوائد منخفضة مخصصة حصرياً للبلديات. يهدف هذا الصندوق إلى دعم البلديات، خاصة تلك ذات الميزانيات المحدودة، في تغطية تكاليف شراء وتركيب أنظمة الري الحديثة. بالإضافة إلى ذلك، يُوصى بتخصيص نسبة محددة من المدخرات المحققة من فواتير المياه سنوياً لإعادة استثمارها في تطوير وصيانة شبكات الري، مما يضمن استدامة التمويل ويخلق دورة مالية ذاتية تدعم التوسع في هذه المشاريع.
- بناءً على النتائج التي أظهرت تأثير الإهمال الصيانة على كفاءة الأنظمة، توصي الدراسة بوضع "دليل إرشادي موحد للصيانة الوقائية لأنظمة الري البلدية" وتعميمه على جميع البلديات. يجب أن يحدد هذا الدليل جداول زمنية صارمة لتنظيف الفلاتر، وغسل خطوط الشبكة لإزالة الترسبات، وفحص الحساسات ومعايرتها بشكل دوري. كما يُوصى بتبني البلديات لأنظمة إدارة الأصول الرقمية لتتبع حالة كل قطعة في شبكة الري، والتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، مما يضمن بقاء النظام يعمل بأقصى كفاءة تصميمية طوال عمره الافتراضي.
- توصي الدراسة باستغلال المشاريع البلدية والحدائق العامة كـ "مراكز تعليمية وتوعوية" للمجتمع المحلي. يمكن للبلديات تركيب لوحات إرشادية ذكية بجانب أنظمة الري الحديثة توضح للزوار كميات المياه التي

تم توفيرها، وكيفية عمل هذه التقنيات. كما يُوصى بتنظيم حملات توعوية وورش عمل مفتوحة للمواطنين والمزارعين الهواة لتشجيعهم على تبني أنظمة الري المنزلية الموفرة للمياه. هذا النهج لا يعزز فقط ثقافة ترشيد استهلاك المياه لدى الفرد، بل يخلق طلباً مجتمعياً يدفع نحو تعميم هذه التقنيات في القطاع السكني الخاص، مما يضاعف الأثر الوطني للترشيد المائي.

المصادر والمراجع

- العتوم، ع. م. (2020). *إدارة الموارد المائية في المناطق الجافة: التحديات والاستراتيجيات*. دار المسيرة للنشر والتوزيع.
- الزغول، م. أ.، والحمود، ر. س. (2021). كفاءة استخدام المياه في أنظمة الري الحديثة وتأثيرها على الإنتاجية النباتية في البيئات الحضرية. *مجلة العلوم الزراعية والبيئية الأردنية*، 14(2)، 45-62.
- الشامي، ز. م. (2019). *الري الذكي وتطبيقات إنترنت الأشياء في الزراعة وإدارة المسطحات الخضراء*. مؤسسة الوراق للنشر والتوزيع.
- عبد الرحمن، ت. أ. (2022). التقييم الاقتصادي والبيئي للتحويل نحو أنظمة الري الموفرة للمياه في المشاريع البلدية. *مجلة الهندسة المدنية والبيئية*، 8(1)، 112-130.
- الفاخوري، ل. م.، والحسين، ن. ع. (2020). دور البلديات في تحقيق أهداف التنمية المستدامة: دراسة حالة إدارة المياه والمساحات الخضراء. *مجلة الإدارة العامة والسياسات التنموية*، 11(3)، 77-95.

محمد، أ. س. (2021). *تخطيط المدن المستدامة: دمج كفاءة المياه في التصميم الحضري*. مركز دراسات الوحدة العربية.

النصير، ف. ر.، والسمهوري، ه. م. (2023). تحليل التكلفة والعائد لتطبيق أنظمة الري بالتنقيط في الحدائق العامة: دراسة ميدانية. *مجلة الاقتصاد والعلوم الإدارية*، 19(4)، 201-225.

هياجنة، م. ع. (2018). *ندرة المياه في الوطن العربي: الواقع والمستقبل*. دار الشروق للنشر والتوزيع.

ياسين، د. م.، والبطوش، س. ف. (2022). فعالية الحساسات الذكية في تقليل الهدر المائي للري: مقارنة بين الأنظمة التقليدية والذكية. *مجلة التكنولوجيا والابتكار*، 6(2)، 88-105.

يونس، ح. أ. (2020). *السياسات العامة لترشيد استهلاك المياه في القطاع الحضري*. دار وائل للنشر والتوزيع.