

عنوان البحث

دور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل
الطبيعي في إمارة أبو ظبي

إعداد الطالب/

محمد محمد المكاوي عبد العال السيد

252000504

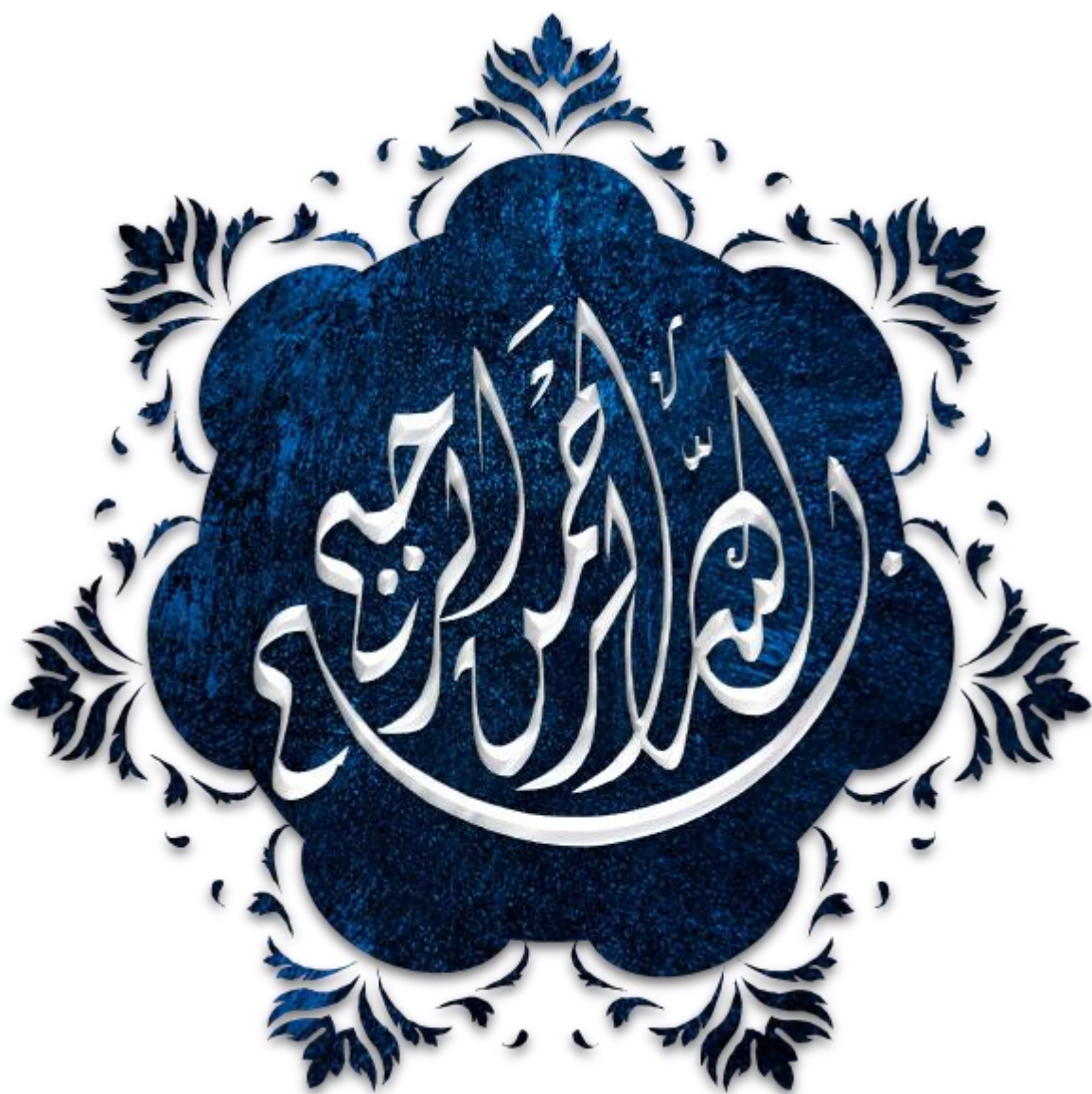
إشراف/

د. الفیصل عبد الحمید

د. فايز جراد

العام الدراسي:

2026



إهداء

إهداء

أهدي هذا العمل إلى روح والديّ العزيزين رحمهما الله، اللذين كانا لي النبراس والمعنى الحقيقي للدعم في حياتي، وإن غابا بالجسد فحضورهما باقي في قلبي وفي كل خطوة أخطوها.

إلى والديّ الحنونة رحمهما الله، التي غرست فيّ حب العلم والمعرفة، وإلى والدي الكريم رحمه الله، الذي علّمني قوة الإرادة والمثابرة، وأسّس في داخلي قيمة الاجتهاد والسعي الشريف.

إلى عائلتي العزيزة، التي كانت لي السند والداعم في مراحل هذه الرحلة، وشاركتني أعباء الوقت والمسؤولية بتفهم وصبر، أهدي هذا الإنجاز تقديرًا لمساندتهم وتشجيعهم المستمر.

إلى أساتذتي الأفاضل، الذين لم يخلوا عليّ بعلمهم وتوجيهاتهم، وكان لخبراتهم وإرشاداتهم أثر كبير في إنجاز هذا العمل وتحسينه بالشكل الأكاديمي المطلوب.

إلى زملائي وأصدقائي الأعزاء، الذين شاركوني التحديات والنجاحات، أهدي هذا العمل تعبيرًا عن شكري وامتناني لكل دعمهم وتشجيعهم.

وأخيرًا، أهدي هذا العمل إلى كل من ساهم في دعمي وشجعتني بكلمة طيبة أو مساعدة صادقة، سائلًا الله أن يجعل هذا الإنجاز بداية لمزيد من التقدم والنجاحات، وأن ينفع به في خدمة الاستدامة وتعزيز الأمن المائي في إمارة أبو ظبي.

الشكر والتقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى جامعة ميدأوشن، وكلية الإدارة، على ما وفرتة من بيئة أكاديمية داعمة أسهمت في إنجاز هذا العمل البحثي.

كما أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى السادة أعضاء هيئة الإشراف والمناقشة والتقييم، على ما قدموه من توجيهات علمية قيمة وملاحظات بناءة كان لها الأثر البالغ في تطوير هذا البحث وتحسينه وفق الأصول الأكاديمية.

وأخص بالشكر والتقدير مشرفيَّ الكريمين، الدكتور الفيصل عبد الحميد محمد حسن، والدكتور فايز جراد، على دعمهما العلمي، وتوجيهاتهما السديدة، ومتابعتهما المستمرة، وما قدماه من إرشادات قيمة أسهمت في إنجاز هذا البحث وإخراجه بالصورة المرجوة.

كما أعبر عن بالغ امتناني لجميع أفراد عينة الدراسة، ولكل من ساهم في إنجاز هذا العمل، وقدم لي المساعدة أو المشورة أو الدعم، سواء على المستوى العلمي أو العملي.

ولا يفوتني أن أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى أسرتي الكريمة، لما قدمته من دعم وصبر وتشجيع مستمر، كان له الأثر الكبير في تجاوز التحديات وإتمام هذا البحث.

وأسأل الله أن يجعل هذا العمل نافعًا، وأن يكتب له القبول، وأن يكون إضافة علمية وعملية تسهم في دعم التوجه نحو الاستدامة وتعزيز الأمن المائي.

حقوق الطباعة:

حقوق الطباعة تمتلكها جامعة ميدأوشن. حيث إن جميع المواد والمحتويات الواردة في هذا البحث هي ملك للجامعة، ولا يجوز استخدامها أو إعادة نشرها أو توزيعها بدون إذن مسبق من جامعة ميدأوشن .

الباحث

م/ محمد محمد المكاوي عبد العال السيد

فهرس المحتويات:

ج.....	إهداء
د.....	الشكر والتقدير
ه.....	حقوق الطباعة:
و.....	فهرس المحتويات:
ط.....	قائمة الجداول :
ي.....	فهرس الأشكال:
ك.....	قائمة المصطلحات
م.....	قائمة الاختصارات
ن.....	المستخلص
1.....	الفصل الأول
2.....	المقدمة
5.....	مشكلة الدراسة
7.....	أهمية الدراسة
7.....	أولاً : الأهمية العلمية والبحثية:
7.....	ثانياً : الأهمية العملية:
10.....	أهداف الدراسة
12.....	تساؤلات الدراسة
15.....	النموذج المفاهيمي للدراسة
15.....	أولاً: المتغير المستقل
15.....	ثانياً: المتغير التابع
17.....	فروض الدراسة
19.....	النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث
21.....	الفصل الثاني
22.....	مقدمة
23.....	الدراسات السابقة
23.....	1. دراسة جامعة الإمارات (2024): الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة الري الذكية
23.....	2. دراسة المنصوري (2023): التحول الرقمي في إدارة المساحات الخضراء
24.....	3. دراسة وزارة التغير المناخي والبيئة (2023): تقرير الاستدامة المائية في دولة الإمارات
24.....	4. دراسة الدرعي (2022): كفاءة نظم الري الذكية في الحدائق العامة بأبوظبي
24.....	5. دراسة العتيبة (2021): الأمن المائي والاستدامة الحضرية في إمارة أبوظبي
25.....	6. دراسة الحوسني (2020): كفاءة استخدام المياه في مشاريع الزراعة التجميلية بالإمارات
27.....	الإطار النظري

27	مقدمة
28	المبحث الأول: نظم الري الذكية والمستدامة
39	المبحث الثاني: تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي
47	المبحث الثالث: تفسير العلاقة بين نظم الري الذكية والمستدامة وتعزيز الأمن المائي
51	خاتمة الفصل الثاني
53	الفصل الثالث
54	مقدمة
55	المنهجية وطرق البحث
55	أولاً: تصميم البحث (Research Design)
55	ثانياً: المدخل المنهجي للدراسة (Research Approach)
55	ثالثاً: أداة جمع البيانات الرئيسية (الاستبانة) وطبيعة القياس
57	رابعاً: إجراءات جمع البيانات (Data Collection Procedures)
57	خامساً: أساليب تحليل البيانات (Statistical Analysis Method)
58	سادساً: ضمان جودة البيانات (Validity & Reliability)
59	مجتمع البحث
60	عينة الدراسة
62	حدود البحث
62	أولاً: الحدود المكانية (الجغرافية):
62	ثانياً : الحدود الزمانية:
62	ثالثاً: الحدود الموضوعية (المحورية):
63	رابعاً : الحدود البشرية (العينة):
63	خامساً: الحدود العلمية (النظرية):
63	خلاصة حدود الدراسة:
64	الفصل الرابع
65	مقدمة
66	تحليل البيانات
66	خصائص عينة الدراسة (البيانات الديموغرافية):
68	ثبات أداة الدراسة (Cronbach's Alpha):
69	التحليل الوصفي لمحاور الدراسة
71	اختبار الارتباط (Pearson Correlation)
72	اختبار تأثير نظم الري الذكية والمستدامة على تعزيز الأمن المائي (تحليل الانحدار الخطي)
77	النتائج
79	مناقشة النتائج
82	الاستنتاجات
83	التوصيات
85	المراجع

86	 المراجع العربية
87	 المراجع الأجنبية
88	 الملاحق
89	 الاستبانة
92	 Abstract

قائمة الجداول :

جدول 1 ملخص الدراسات السابقة	26
جدول 2 - ملخص العينة المستهدفة والفعلية ونسبة الاستجابة	60
جدول 3 - توزيع أفراد عينة الدراسة حسب النوع الاجتماعي (ن=104)	66
جدول 4 - توزيع أفراد عينة الدراسة حسب الفئة العمرية (ن=104)	67
جدول 5 - توزيع أفراد عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة (ن=104)	67
جدول 6 - نتائج اختبار الثبات (Cronbach's Alpha) لأبعاد الاستبانة	69
جدول 7 - الإحصاءات الوصفية لأبعاد الدراسة والمتغيرات الكلية	70
جدول 8 - نتائج اختبار ارتباط بيرسون بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وأبعاد تعزيز الأمن المائي	71
جدول 9 - نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط لأثر تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة على تعزيز الأمن المائي	73
جدول 10 - ملخص نتائج الانحدار الخطي المتعدد لتأثير أبعاد نظم الري الذكية والمستدامة على تعزيز الأمن المائي (إجمالاً)	74
جدول 11 - معاملات الانحدار الخطي المتعدد لأبعاد نظم الري الذكية والمستدامة في تفسير تعزيز الأمن المائي	74
جدول 12 - اختبار التداخل الخطي (Tolerance / VIF)	75
جدول 13 - ملخص نتائج اختبار الفرضيات الرئيسية للدراسة	77

فهرس الأشكال:

- رسم توضيحي 1 - النموذج المفاهيمي لدور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي بإمارة أبو ظبي 16
- رسم توضيحي 2 - التوزيع النسبي لأفراد العينة حسب النوع الاجتماعي 66
- رسم توضيحي 3 - التوزيع النسبي لأفراد العينة حسب الفئة العمرية 67
- رسم توضيحي 4 - التوزيع النسبي لأفراد العينة حسب سنوات الخبرة 68

قائمة المصطلحات

المصطلح بالعربية	English Term	التعريف المعتمد في الدراسة
نظم الري الذكية والمستدامة	Smart and Sustainable Irrigation Systems	أنظمة ري تعتمد على التقنيات الحديثة والبيانات الفعلية لترشيد استخدام المياه وتحسين كفاءة التشغيل بما يدعم الاستدامة البيئية والمائية.
الأمن المائي	Water Security	القدرة على ضمان توافر المياه بالكميات والجودة المناسبة بشكل مستدام لتلبية الاحتياجات الحالية والمستقبلية مع تقليل المخاطر المرتبطة بندرتها أو سوء إدارتها.
مشاريع التجميل الطبيعي	Landscape Projects	المشاريع البلدية والحضرية الخاصة بالحدائق العامة والمساحات الخضراء والتشجير والعناصر النباتية التي تهدف إلى تحسين البيئة الحضرية والمظهر الجمالي.
استخدام التقنيات الذكية في نظم الري	Smart Technologies in Irrigation	توظيف الحساسات والأنظمة الرقمية والتحكم الآلي وتحليل البيانات في إدارة وتشغيل الري.
كفاءة استخدام المياه	Water Use Efficiency	قدرة النظام على تحقيق أفضل استفادة ممكنة من المياه المستخدمة مع تقليل الهدر والفاقد.
الاستدامة البيئية لنظم الري	Environmental Sustainability of Irrigation Systems	مدى توافق نظم الري مع متطلبات المحافظة على الموارد الطبيعية وتقليل الأثر البيئي السلبي على التربة والنبات والطاقة.
إدارة وتشغيل نظم الري	Irrigation Operation and Management	الأنشطة والإجراءات المتعلقة بالتشغيل والصيانة والمتابعة والتحكم وضمان استمرارية أداء نظم الري بكفاءة.
ترشيد استهلاك المياه	Water Conservation	خفض الاستهلاك غير الضروري للمياه من خلال الإدارة الرشيدة والتشغيل الدقيق والمراقبة المستمرة.
استدامة الموارد المائية	Water Resources Sustainability	المحافظة على الموارد المائية وضمان استمرار توافرها واستخدامها بكفاءة على المدى الطويل.

تقليل المخاطر المائية	Water Risk Reduction	الحد من احتمالات نقص المياه أو الهدر أو الأعطال أو التسربات التي تؤثر في استمرارية الإمداد وكفاءة الاستخدام.
الحوكمة وإدارة المياه	Water Governance and Management	مجموعة السياسات والإجراءات والآليات التنظيمية التي تضبط استخدام المياه وتتابع استهلاكها وتضمن الالتزام بالمعايير البيئية والتشغيلية.
المياه المعالجة	Treated Wastewater	المياه التي تمت معالجتها لتصبح صالحة للاستخدام في أغراض الري وفق الاشتراطات والمعايير المعتمدة.
حساسات رطوبة التربة	Soil Moisture Sensors	أجهزة تقيس نسبة الرطوبة في التربة للمساعدة في تحديد الاحتياج الفعلي للري.
أنظمة التحكم المركزي	Central Control Systems	أنظمة إلكترونية أو رقمية تُستخدم لمراقبة وتشغيل شبكات الري وإدارة برامج الري من موقع مركزي.
التحليل الوصفي	Descriptive Analysis	مجموعة الأساليب الإحصائية المستخدمة لتحخيص البيانات ووصف خصائصها الأساسية.
الانحدار الخطي	Linear Regression	أسلوب إحصائي يُستخدم لقياس أثر متغير مستقل على متغير تابع وتفسير مقدار التغير الناتج عنه.
الثبات	Reliability	درجة اتساق أداة القياس في إعطاء نتائج مستقرة ومتماسكة.
الصدق	Validity	مدى قدرة أداة البحث على قياس ما وُضعت لقياسه فعلاً.
مقياس ليكرت الخماسي	Five-Point Likert Scale	مقياس تدريجي يُستخدم في الاستبانة لقياس اتجاهات وآراء المبحوثين عبر خمس درجات استجابة.

قائمة الاختصارات

الاختصار	المصطلح الكامل بالإنجليزية	المقابل أو الشرح بالعربية
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences	الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية
IoT	Internet of Things	إنترنت الأشياء
GIS	Geographic Information System	نظام المعلومات الجغرافية
VIF	Variance Inflation Factor	معامل تضخم التباين
R^2	Coefficient of Determination	معامل التحديد
DN	Diameter Nominal	القطر الاسمي

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل دور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي، من خلال قياس مستوى تطبيق هذه النظم وأثرها في دعم ترشيد استهلاك المياه، واستدامة الموارد المائية، وتقليل المخاطر المائية، وتعزيز الحوكمة وإدارة المياه. واعتمدت الدراسة على نموذج تحليلي تناول المتغير المستقل، وهو نظم الري الذكية والمستدامة، عبر أربعة أبعاد رئيسية هي: استخدام التقنيات الذكية في نظم الري، وكفاءة استخدام المياه، والاستدامة البيئية لنظم الري، وإدارة وتشغيل نظم الري، كما تناولت المتغير التابع، وهو تعزيز الأمن المائي، عبر أربعة أبعاد هي: ترشيد استهلاك المياه، واستدامة الموارد المائية، وتقليل المخاطر المائية، والحوكمة وإدارة المياه.

واعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، واستخدمت الاستبانة أداة رئيسية لجمع البيانات وفق مقياس ليكرت الخماسي. وتم تطبيق الدراسة على عينة قصدية من الفئات ذات العلاقة المباشرة بتخطيط وتنفيذ وتشغيل وصيانة والإشراف على مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي. وقد بلغ عدد الاستبانات الصالحة للتحليل (104) استبانة من أصل (120) استبانة مستهدفة، بنسبة استجابة بلغت (86.7%). كما تم تحليل البيانات باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، من خلال الإحصاءات الوصفية، واختبار الثبات باستخدام معامل كرونباخ ألفا، واختبار ارتباط بيرسون، وتحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد.

وأظهرت النتائج ارتفاع مستوى الثبات الداخلي لأداة الدراسة، حيث تراوحت قيم معامل كرونباخ ألفا بين (0.890) و(0.970)، بما يدل على تمتع الأداة بدرجة عالية من الاتساق الداخلي. كما بينت نتائج التحليل الوصفي وجود مستوى مرتفع لكل من تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وتعزيز الأمن المائي. وأظهرت نتائج اختبار ارتباط بيرسون وجود علاقات ارتباط إيجابية قوية ودالة إحصائية بين نظم الري الذكية والمستدامة وأبعاد تعزيز الأمن المائي. كذلك أظهرت نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط أن نظم الري الذكية والمستدامة تفسر ما نسبته (87.3%) من التباين في تعزيز الأمن المائي. كما أوضحت نتائج الانحدار المتعدد أن بعدي إدارة وتشغيل نظم الري والاستدامة البيئية لنظم الري كانا الأكثر تأثيراً في تفسير تعزيز الأمن المائي عند اختبار الأبعاد مجتمعة.

وخلصت الدراسة إلى أن نظم الري الذكية والمستدامة تمثل عاملاً جوهرياً ومتعدد الأبعاد في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي، خاصة عندما يتم توظيفها ضمن إطار

متكامل يجمع بين الكفاءة التقنية، وفعالية التشغيل، والاستدامة البيئية، والاعتماد على البيانات في المتابعة واتخاذ القرار.

الكلمات المفتاحية: نظم الري الذكية والمستدامة، الأمن المائي، مشاريع التجميل الطبيعي، كفاءة استخدام المياه، إدارة المياه، إمارة أبو ظبي.

الفصل الأول

المقدمة

يعتبر الأمن المائي من القضايا الاستراتيجية التي تحتل موقعا هاما ، في الخطط الخاصة بالتنمية المستدامة لدولة الإمارات العربية المتحدة، وعلى وجه الخصوص في إمارة أبو ظبي بسبب ما تواجهه من ظروف مناخية قاسية ، واتصافها بالندرة الواضحة في الموارد المائية الطبيعية ، والمقترنة بالارتفاع في معدلات الاستهلاك بسبب التوسع عمرانيا، وزراعيا.

بسبب كل تلك التحديات نجد أنه من اللازم أن يتم التوصل لحلول فاعلة، ومبتكرة في مجال إدارة الموارد المائية بحيث يتم تحقيق الكفاءة والاستدامة معا . ومن أهم ما تبنته إمارة أبو ظبي من الحلول في هذا المجال مؤخرا استخدام نظم الري الذكية والمستدامة، التي تعتبر بمثابة نقلة نوعية في المجال الخاص بإدارة المياه ضمن مشاريع التجميل الطبيعي والحدائق العامة (وزارة التغير المناخي والبيئة، 2023).

إن أنظمة الري الذكية تعتمد على مبدأ استخدام التقنيات الحديثة كإنترنت الأشياء (IoT)، والمجسات الأرضية في قياس رطوبة التربة، واستخدام محطات الرصد المناخي المصغرة، بالإضافة لاستخدام أنظمة التحكم المركزي التي ترتبط بشبكة الإنترنت، على النحو الذي يمكن من تحديد كميات المياه المطلوبة بشكل دقيق ، على النحو الذي يتفق مع احتياجات النبات الفعلي، وظروف الطقس ، وهو ما يتسق مع المبادئ المرجعية لتقدير الاحتياجات المائية وحساب البخر-نتح المرجعي في تخطيط الري (Allen et al., 1998).

هذا التوجه لا يساهم فقط في تخفيض الهدر المائي، ولكنه يحقق هدف التحسين لجودة الغطاء النباتي ، ويخفض تكلفة التشغيل والصيانة. هذا ، وقد بينت تقارير دائرة البلديات والنقل في أبو ظبي (2024) أن تطبيق أنظمة الري الذكية في مجموعة من المشاريع كحدائق منطقة الوثبة ، وحديقة العاصمة بأبوظبي، وممشى القرم يساهم في تخفيض الاستهلاك المائي بنسبة تتراوح ما بين 25% إلى 40% عند مقارنتها بالأنظمة التقليدية.

تعتبر مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي من أهم مظاهر التنمية الحضرية المستدامة بهدف تحسين جودة الحياة في الإمارة ، وتعزيز الهوية البصرية، وتحسين مستوى الراحة البيئية للسكان. كما أنه بالتوسع الواضح في إنشاء المساحات المزروعة في المخططات الحضرية ، تزداد الحاجة لإدارة رشيدة للمياه ، بحيث توازن ما بين المتطلبات اليومية للري ، والمحدودية والندرة الواضحة في تلك الموارد ، لذلك فعندما يتم تطبيق أنظمة الري الذكية ، فإن هذا يعتبر من الخطوات الاستراتيجية التي تساعد

على تحقيق أهداف رؤية أبو ظبي 2030 ، والتي تؤكد على ضرورة الإدارة الرشيدة للموارد الطبيعية ، وتكامل الحلول التقنية فيما يتم تقديمه من خدمات البلدية (بلدية أبو ظبي، 2023).

إن مفهوم الاستدامة المائية قد تحول إلى عمود رئيسي في استراتيجية الأمن المائي الإماراتي 2036، ومن أهدافها ضمان الاستمرارية في الإمدادات المائية بجودة وكفاءة عالية ، وعلى وجه الخصوص في مواجهة النمو السكاني المستمر ، والتغير المتواصل في المناخ.

من هذا الجانب ، فإن لأنظمة الري الذكية دورها الكبير في أن تحقق تلك الاستراتيجية، كونها تساهم في تحسين توزيع المياه، كما تتيح فرصة المراقبة الفورية للاستهلاك، وتحد من الفاقد المائي بسبب التسريبات ، أو التشغيل المفرط، كما أنها تساعد في وضع سياسات تقوم على البيانات الفعلية (وزارة الطاقة والبنية التحتية، 2023).

يضاف لما سبق، فإن التقنيات الذكية تساهم في رفع الكفاءة التشغيلية بأقسام صيانة التجميل الطبيعي، والمرافق الترفيهية عبر الربط ما بين أنظمة الري والبيانات الجغرافية (GIS)، الأمر الذي يتيح تتبع الأعطال ، ومراقبة أداء شبكات الري عن بعد. كما

أيضا فإن الدمج بين هذه النظم ، وأنظمة إدارة الأصول البلدية الرقمية الخاصة بإدارة الأصول والبيانات والتشغيل يساهم في تكوين قاعدة بيانات متكاملة تساعد في دعم اتخاذ القرارات، وتحسن من استدامة العمليات اليومية. تلك التحولات تعبر عن التوجه العام لإمارة أبو ظبي والمتمثل في الاتجاه نحو تطبيق الإدارة الرقمية للخدمات العامة، وتؤكد على أهمية الابتكار من أجل تحقيق الأمن المائي والبيئي في ذات الوقت (دائرة البلديات والنقل، 2024).

ومن هنا تبرز أهمية هذه الدراسة التي تهدف إلى تحليل دور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي، فهي تدور حول تقييم أثر تلك الأنظمة في تخفيض استهلاك المياه ، وتحسين كفاءة استخدامها، بالإضافة لدراسة التحديات التشغيلية والمؤسسية التي تواجه تطبيق تلك الأنظمة .

كما أن الدراسة تهدف للإجابة عن تساؤلات هامة متعلقة بمدى التكامل ما بين الجهات المختلفة من منفذين، ومشغلين، ومشرعين ، ومدى ما يتم تحقيقه من توافق ما بين النظم الحالية ، ومعايير الاستدامة البيئية التي صاغتها الدولة ضمن استراتيجياتها الوطنية (وزارة التغير المناخي والبيئة، 2023).

وبناءً على ما سبق، فإن هذه الدراسة تعتبر إضافة فريدة في مجال البحوث البيئية والإدارية في مجال الإدارة الذكية للمياه، ذلك لأنها تهدف لعرض رؤية علمية، وعملية حول الكيفية التي تحقق التوازن ما بين الجمال العمراني من جهة، والكفاءة البيئية من جهة أخرى، بما يتفق مع الأهداف الوطنية لأمن الموارد الطبيعية، والتنمية المستدامة في إمارة أبو ظبي بصفة خاصة، ودولة الإمارات العربية المتحدة بشكل عام.

مشكلة الدراسة

إن إمارة أبو ظبي - كغيرها من الإمارات بدولة الإمارات العربية المتحدة - تواجه تحدي متزايد ، ومستمر في المجال الخاص بإدارة الموارد المائية ، وذلك بسبب الطبيعة الجغرافية للدولة ، وبسبب الندرة في مصادر المياه العذبة، الأمر الذي يجعلها معتمدة بشكل كبير على تحلية المياه، ومعالجتها ثلاثيا من أجل توفير مياه صالحة للاستخدام في ري الحدائق والمساحات الخضراء .

وعلى الرغم من تطبيق نظم الري الذكية في بعض المشاريع، لا توجد دراسة تحليلية شاملة تقيس أثرها المؤسسي والتشغيلي على الأمن المائي في إمارة أبو ظبي.

إن مثل هذا الواقع يفرض ضغط متواصل على منظومة الأمن المائي بالدولة ، وعلى وجه الخصوص في ظل ما تشهده الدولة والإمارة من توسع عمراني كبير، وتوسع أيضا في مشاريع التجميل الطبيعي التي تحتاج إلى كميات ضخمة من المياه من أجل المحافظة على الغطاء النباتي ، وعلى المظهر الجمالي للإمارة (وزارة الطاقة والبنية التحتية، 2023).

لكن برغم ما تبذله الجهات الحكومية من جهود كبيرة كدائرة البلديات ، والنقل ، وبلدية أبو ظبي لتطبيق أنظمة حديثة في الري، فإن هناك مجموعة كبيرة من المشاريع التي ما تزال معتمدة على أساليب تشغيل تقليدية معتمدة على الجداول الزمنية الثابتة، من دون أن تتم مراعاة كل العوامل المناخية، أو مستويات الرطوبة في التربة.

إن تلك الممارسات تؤدي في الغالب لهدر قدر كبير من المياه بسبب الري الزائد، أو التسريبات في الشبكات القديمة، أو بسبب عدم ضبط مواعيد التشغيل بدقة (بلدية أبو ظبي، 2023).

من جانب آخر، نلاحظ أن هناك تفاوت في مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة بين مناطق الإمارة المختلفة، حيث يتم تطبيق بعض الأنظمة المتقدمة في الحدائق النموذجية والمشاريع المركزية، بينما نجد أنه ما زالت المواقع الطرفية أو التي يتم تخصيص ميزانيات محدودة لها تطبق أنظمة شبه يدوية. يعكس هذا التفاوت فجوة مؤسسية واضحة في تطبيق التكنولوجيا، وتوحيد المعايير التشغيلية (دائرة البلديات والنقل، 2024).

على رغم أنه قد ثبت أن أنظمة الري الذكية قد نتج عنها نتائج إيجابية في بعض المواقع، إلا أن هناك محدودية واضحة في تطبيقها عن المقارنة بينها وبين حجم المشاريع القائمة، وهذا الأمر ينتج عنه تساؤل حول مدى فاعلية تلك النظم في أن تحقق أمن مائي فعلي ، وأيضا يثير التساؤل حول قدرتها

على أن تحقيق استدامة بيئية واقتصادية على المدى الطويل، على وجه الخصوص في ظل المتغيرات المناخية ، وارتفاع معدلات الطلب على المياه.

لذلك، تتمحور مشكلة هذه الدراسة حول الحاجة إلى تحليل علمي وعملي لمدى مساهمة نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي، وذلك من خلال الإجابة على السؤال الأهم التالي:

إلى أي مدى تساهم نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي؟

إن هذه المشكلة لا تؤثر فقط على الجوانب الفنية للري، لكنها تمتد لتشمل الأبعاد الاقتصادية، والمؤسسية، والتشريعية، الأمر الذي يجعل منها قضية متعددة الأبعاد تتطلب الدراسة العميقة استنادا للأدلة الميدانية ، والمعلومات التشغيلية من المشاريع الفعلية. لذلك ، فإن هذه الدراسة تساعد على سد فجوة معرفية في الأدبيات العربية التي تناقش دور التقنيات الذكية في إدارة المياه في البيئات الحضرية الجافة، ولتساهم في دعم جهود إمارة أبو ظبي التي تسعى لتحقيق تنمية خضراء تقوم على الكفاءة والاستدامة.

أهمية الدراسة

تتمثل أهمية هذه الدراسة في إنها تتناول موضوع حيوي معاصر يرتبط بصورة وثيقة بأمن الموارد الطبيعية، واستدامتها في دولة الإمارات العربية المتحدة، وهو الموضوع الخاص بنظم الري الذكية والمستدامة ، والدور الذي تلعبه في تحقيق الأمن المائي في نطاق مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي.

تعتبر دراسة دور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي من الضرورات الاستراتيجية في ظل ما يواجه المنطقة من تحديات في مجال البيئة والمناخ ، وفي ظل سعي إمارة أبو ظبي لتطبيق مبادئ التنمية المستدامة التي توازن ما بين الجمال العمراني ، وكفاءة استخدام الموارد الطبيعية (وزارة التغير المناخي والبيئة، 2023).

أولاً : الأهمية العلمية والبحثية:

تعتبر هذه الدراسة إضافة علمية جديدة للمكتبة العربية في المجال الخاص بالإدارة الذكية للموارد المائية، حيث إن الأبحاث العربية التي تناقش نظم الري الذكية لا تزال محدودة عند مقارنتها بالأدبيات الأجنبية. إن هذه الدراسة تساهم في معالجة النقص في الدراسات الخاصة بتطبيق التقنيات الذكية في مشاريع التجميل الطبيعي في منطقة الخليج العربي، وبيان كيفية تأثيرها على كفاءة استخدام المياه. كما أنها ستساهم من ناحية أخرى في بناء قاعدة بيانات علمية من الممكن أن يعتمد عليها الباحثون، والمهندسون، والجهات البلدية من أجل تطوير المعايير التصميمية ، والتشغيلية الجديدة لأنظمة الري (جامعة الإمارات، 2024).

ثانياً : الأهمية العملية:

على الصعيد الوطني:

تبرز الأهمية الوطنية لهذه الدراسة في كونها ترتبط بشكل مباشر برؤية أبو ظبي 2030، كما ترتبط باستراتيجية الأمن المائي لدولة الإمارات 2036، وكلاهما تسعيان لضمان استدامة الموارد المائية عبر توظيف التقنيات الحديثة بشكل فاعل في كافة القطاعات.

إن مشاريع التجميل الطبيعي في أبو ظبي، والتي تشمل الحدائق العامة، والمتنزهات ، والمماشي المظللة ، والزراعة في الطرقات ، تستهلك كميات كبيرة من المياه المعالجة بشكل يومي ، وهي تعتبر من

القطاعات البلدية الأعلى من حيث استهلاك المياه. عليه، فإن تحسين كفاءة تلك المشاريع عبر نظم الري الذكية يساهم في تحقيق هدف الأمن المائي الوطني، وهو هدف استراتيجي يتمثل في تخفيض استهلاك المياه في القطاعات غير الإنتاجية بنسبة تتعدى 20% بحلول العام 2036 (وزارة الطاقة والبنية التحتية، 2023).

هكذا، نجد أن هذه الدراسة تدعم توجهات قيادة دولة الإمارات العربية الرشيدة التي تسعى لبناء مجتمع يتصف بالوعي البيئي العالي، والإدارة الرشيدة للموارد المتاحة، بما فيها الموارد المائية.

على الصعيد البيئي:

من الجانب البيئي، فإن هذه الدراسة تعتبر إضافة نوعية للجهود العلمية التي تهدف لأن تحقق التوازن ما بين التنمية الحضرية، والمحافظة على الموارد الطبيعية. ذلك لأن التحول من أنظمة الري التقليدي لأنظمة الري الذكية معتمد على معايير دقيقة لرطوبة التربة، ودرجة الحرارة، واتجاه الرياح، الأمر الذي ينتج عنه تقليل الهدر في المياه والطاقة، وخفض الانبعاثات الكربونية التي تنتج عن معدل التشغيل الزائد للمضخات (بلدية أبو ظبي، 2023).

أيضا، فإن تطبيق أنظمة الري المستدامة يزيد من قدرة النظم البيئية الحضرية على أن تصمد أمام التغيرات المناخية، ويساهم في تحسين جودة التربة، ويقلل من ملوحتها، وهو ما يعتبر من العناصر الأساسية في الاستدامة البيئية طويلة المدى (الدرعي، 2022).

على الصعيد الاقتصادي والتطبيقي:

من الناحية الاقتصادية، يشير خفض استهلاك المياه عبر استخدام النظم الذكية إلى خفض النفقات التشغيلية التي تتحملها البلديات، وشركات الصيانة بشكل كبير، كما أنه عندما تستخدم البرمجيات التحليلية في إدارة الري يحد من الأعطال الطارئة، ويزيد في عمر شبكات الري، والمعدات.

أما من الجانب التطبيقي، فتقدم هذه الدراسة نموذج واقعي عملي قابل للتطبيق، والتعميم في إمارات الدولة المختلفة. هذا، كما أنه يمكن اعتماد الدراسة بوصفها مرجع من أجل تطوير أدلة تشغيل وطنية للري الذكي في نطاق مشاريع الزراعة التجميلية، والمساحات الخضراء (المنصوري، 2023).

على الصعيد الاجتماعي والتنموي:

للمساحات الخضراء دورها المهم في تحسين جودة الحياة في المدن، كما تعزز أيضا من صحة السكان بدنيا، ونفسيا، وهي أيضا تخفف من حدة الجزر الحرارية التي يتسبب فيها العمران الكثيف. وعليه،

فإن المحافظة على تلك المساحات بطريقة مستدامة يساعد على تعزيز الاستقرار البيئي، والاجتماعي. (وزارة التغير المناخي والبيئة، 2023).

أهداف الدراسة

تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والعملية التي تتفق مع أولويات إمارة أبو ظبي في المجال الخاص بإدارة الموارد المائية المستدامة ، وتعزيز كفاءة مشاريع التجميل الطبيعي. إن هذه الأهداف تنبثق من الحاجة للربط ما بين الجانب التقني المتمثل في نظم الري الذكية، والجانب البيئي والمؤسسي المتمثل في الأمن المائي والاستدامة في إطار متكامل.

فيما يلي نفضل الأهداف الرئيسية والفرعية للدراسة:

الهدف الأول: تحليل دور نظم الري الذكية في خفض استهلاك المياه في مشاريع التجميل الطبيعي.

من أهداف الدراسة تحليل تأثير تطبيق نظم الري الذكية على كفاءة استخدام المياه في الحدائق العامة والمساحات الخضراء بصورة مباشرة . فهذه الأنظمة معتمدة على المجسات الحسية ومحطات الرصد المناخي في تحديد كميات المياه المطلوبة بشكل دقيق ، ينتج عن ذلك تقليل الهدر بسبب التشغيل المفرط ، أو الري في أوقات غير مناسبة (الدرعي، 2022).

عندما يتم تحليل هذا الجانب من الممكن قياس نسبة التوفير المائي الناتجة عن التحول من أنظمة الري التقليدية إلى الأنظمة الذكية، ومن ثم تحديد فروقات الأداء بين المواقع التي يتم فيها تطبيق تلك التقنيات وتلك التي لا تزال تعتمد الأساليب التقليدية. (وزارة الطاقة والبنية التحتية، 2023).

الهدف الثاني: تقييم مدى توافق نظم الري المطبقة في إمارة أبو ظبي مع معايير الاستدامة البيئية.

يركز هذا الهدف على تقييم النظم الذكية في الوقت الحالي في ضوء المعايير العالمية والمحلية الخاصة بالاستدامة البيئية، مثل كفاءة استخدام الطاقة، وجودة المياه المستخدمة، والحد من الأثر البيئي للتشغيل والصيانة. إذ تعتبر نظم الري الذكية المستدامة جزء من منظومة التخطيط الأخضر للمدن، الهادف لتقليل البصمة المائية والكربونية للأنشطة البلدية (بلدية أبو ظبي، 2023).

الهدف الثالث: تحليل دور الجهات الحكومية في دعم التحول نحو إدارة مائية ذكية ومتكاملة.

يهتم هذا الهدف بدراسة الدور المؤسسي لدائرة البلديات والنقل، وهيئة البيئة في أبو ظبي، ووزارة التغير المناخي والبيئة في تحقيق التحول نحو أنظمة الري الذكية عبر التشريعات، والسياسات، والدعم الفني. وذلك لأن نجاح تطبيق هذه النظم لا يعتمد فقط على التكنولوجيا ، ولكنه يعتمد أيضا على التكامل المؤسسي والحوكمة البيئية (العتيبة، 2021). كما أن التحليل يعمل على تحديد نقاط القوة في السياسات المطبقة في الوقت الحالي ، مثال على ذلك الرقابة الميدانية على أداء المقاولين، بالإضافة إلى التعرف

على أوجه القصور ، مثال على ذلك ضعف التدريب أو تعدد المرجعيات الإدارية. عندما يتحقق هذا الهدف ، فإن ذلك يساهم في صياغة تصور علمي لإطار حوكمة متكامل يدعم تطبيق أنظمة الري الذكية في كافة مشاريع التجميل الطبيعي على مستوى الإمارة.

الهدف الرابع: تحديد التحديات التشغيلية والفنية التي تواجه تطبيق نظم الري الذكية واقتراح حلول عملية لمعالجتها.

تبين الممارسات الميدانية وجود تحديات متعددة تعيق التشغيل الأمثل لأنظمة الري الذكية، مثال على ذلك ضعف الخبرات الفنية، أو عدم توافر قطع الغيار، أو الأعطال التقنية التي ترتبط بالاتصال الشبكي. يهدف هذا الجزء من الدراسة لتحليل تلك التحديات بصورة منهجية ، وتصنيفها إلى فنية، وإدارية، وبشرية، وتشريعية (المنصوري، 2023). من جانب آخر تسعى الدراسة لتقديم توصيف واقعي للحلول المقترحة، عبر تحسين أنظمة التدريب والتأهيل، أو عن طريق تطوير لوائح التشغيل والصيانة، أو دعم الابتكار المحلي في تصميم مكونات أنظمة الري (وزارة التغير المناخي والبيئة، 2023).

الهدف الخامس (الفرعي): بناء قاعدة بيانات علمية لتقييم كفاءة الري الذكي في البيئة الحضرية.

يهدف هذا الهدف الفرعي إلى توثيق البيانات التشغيلية والمناخية الخاصة بمشاريع الري الذكي في أبو ظبي، بما يساعد على إنشاء قاعدة معرفية محلية يمكن أن يتم استخدامها في المستقبل من أجل المقارنة ، والتحسين المستمر. وجود مثل تلك البيانات الموثقة يساعد صانعي القرار على وضع خطط طويلة المدى تساعد على خفض استهلاك المياه وتحقيق الاستدامة (جامعة الإمارات، 2024).

خلاصة:

عبر هذه الأهداف الخمسة، تسعى الدراسة لأن تحقق التكامل بين الجوانب التقنية، والمؤسسية، والبيئية في إدارة الري، بحيث تقدم نموذج تطبيقي قابل للتعميم على باقي الإمارات، كما تساهم في دعم التوجه الوطني نحو إدارة ذكية مستدامة للمياه تحقق الكفاءة التشغيلية ، وتحافظ على الأمن المائي في ظل التغيرات المناخية السريعة.

تساؤلات الدراسة

تشكل التساؤلات البحثية المحور الرئيسي في الدراسة لأنها تعمل على ترجمة مشكلة البحث إلى استفسارات علمية موجهة بهدف توضيح العلاقة ما بين نظم الري الذكية والمستدامة ، وتحقيق الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي بإمارة أبو ظبي.

هذه التساؤلات لا تغطي الجوانب التقنية للري فقط ، ولكنها تمتد لتشمل الأبعاد المؤسسية، والبيئية، مما يجعل منها إطار شامل لتحليل فعالية تلك النظم في الواقع التطبيقي (وزارة التغير المناخي والبيئة، 2023).

بناء على ذلك، من الممكن تحديد التساؤلات الرئيسة والفرعية على النحو الآتي:

التساؤل الأول: ما مدى كفاءة نظم الري الذكية في تقليل استهلاك المياه في مشاريع التجميل الطبيعي بأبوظبي؟

ينبثق هذا التساؤل من الفرضية الرئيسة التي تفترض أن تطبيق نظم الري الذكية يساهم في خفض كميات المياه المستخدمة ، مقارنة بالأنظمة التقليدية التي تعمل ببرامج زمنية ثابتة.

أهمية هذا التساؤل تأتي من الحاجة إلى تحديد المردود الكمي ، والاقتصادي لتلك الأنظمة، على وجه الخصوص في ظل ما تشير إليه تقارير دائرة البلديات والنقل (2024) من أن قطاع التجميل الطبيعي يستهلك حوالي 60% من المياه المعالجة في الإمارة.

الإجابة عن ذلك التساؤل ستساعد على قياس مدى تحقيق الأهداف الاستراتيجية للأمن المائي، وتحديد نسب التوفير المحققة بالفعل عبر تطبيق الأنظمة الذكية في مواقع متعددة، مثال على ذلك حدائق الوثبة، والشامخة، وممشى القرم، وحديقة العاصمة. أيضا تسعى الدراسة إلى مقارنة الأداء بين المشاريع التي تطبق تلك الأنظمة والمشاريع التي ما زالت تطبق الطريقة التقليدية (الدرعي، 2022).

التساؤل الثاني: كيف تساهم نظم الري الذكية في تعزيز الأمن المائي ضمن المنظومة البيئية لإمارة أبو ظبي؟

يستكشف هذا التساؤل العلاقة بين كفاءة نظم الري الذكية ، وبين تحقيق الأمن المائي على المستوى المحلي، ليس من حيث كمية المياه التي يتم توفيرها فحسب ، بل عبر مساهمتها في تحسين إدارة الموارد المائية ورفع كفاءة البنية التحتية أيضا .

وهنا، تبحث الدراسة في مدى قدرة الأنظمة الذكية على أن تدعم خطط إمارة أبو ظبي الخاصة بتقليل الاعتمادية على المياه المحلاة مرتفعة التكلفة، وزيادة الاستفادة من المياه المعالجة ثلاثيا في الزراعة التجميلية (وزارة الطاقة والبنية التحتية، 2023).

كما تتناول الدراسة البعد البيئي لهذا التساؤل، حيث إنه من المتوقع أن يقود تطبيق نظم الري المستدامة إلى خفض البصمة المائية للمدينة، وتحسين مؤشرات الاستدامة البيئية (المنصوري، 2023).

التساؤل الثالث: ما مدى فاعلية إدارة وتشغيل نظم الري الذكية والمستدامة في مشاريع التجميل الطبيعي؟

من خلال هذا التساؤل، تهدف الدراسة إلى تحليل مدى فاعلية منظومة إدارة وتشغيل نظم الري في الواقع التطبيقي، وذلك من حيث مستوى تطبيق خطط التشغيل والصيانة الدورية، وسرعة اكتشاف الأعطال ومعالجتها، ومدى كفاءة إجراءات المتابعة الميدانية، وقدرة فرق التشغيل على ضبط برامج الري وفق المتغيرات المناخية واحتياجات النبات. كما يركز هذا التساؤل على قياس مدى انعكاس جودة الإدارة والتشغيل على استمرارية النظام وتقليل الفاقد والتشغيل غير المنضبط، باعتبار أن كفاءة التشغيل تمثل أحد المحددات الأساسية لتحقيق الأثر المتوقع من نظم الري الذكية.

أهمية هذا التساؤل تنبع من أن تبني التقنية وحده لا يضمن تحقيق النتائج المرجوة، إذ قد تتحول الأنظمة الذكية إلى تشغيل شبه تقليدي أو تشغيل يدوي عند غياب الإدارة التشغيلية الفعالة أو ضعف إجراءات الصيانة والمتابعة. ولذلك فإن الإجابة عن هذا التساؤل تساعد على تحديد مستوى جاهزية التشغيل والصيانة في مشاريع التجميل الطبيعي، ورصد الممارسات التي ترفع كفاءة الأداء، وتحديد جوانب التحسين اللازمة لضمان الاستفادة المثلى من التقنيات الذكية بما يدعم أهداف الأمن المائي على مستوى المشاريع (جامعة الإمارات، 2024).

التساؤل الرابع: إلى أي مدى تسهم الحوكمة وإدارة المياه في دعم تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وتعزيز الأمن المائي؟

هذا التساؤل ذو طابع تنظيمي وإداري، يركز على دراسة مدى توافر حوكمة فعّالة لإدارة المياه داخل مشاريع التجميل الطبيعي، وذلك من حيث وجود سياسات وإجراءات واضحة لترشيد الاستهلاك، وآليات متابعة الاستهلاك عبر تقارير دورية، ومدى الالتزام بالمعايير البيئية ذات العلاقة، إضافة إلى وضوح آلية اتخاذ القرار والمتابعة عند ظهور استهلاك غير طبيعي أو حالات هدر. إن هذا التساؤل يتناول جانب "إدارة المورد" وليس مجرد تشغيل الشبكة، حيث يفترض أن نجاح نظم الري الذكية لا يعتمد فقط على أدوات القياس والتحكم، بل يرتبط أيضًا بوجود إطار إداري يضمن ضبط الاستهلاك وتوجيهه نحو تحقيق الاستدامة.

وتكمن أهمية هذا التساؤل في كونه يساعد على فهم مدى قدرة نظم الإدارة المائية داخل المشاريع على تحويل البيانات التشغيلية إلى قرارات رشيدة، وضمان الالتزام بمؤشرات الأداء ومعايير الاستدامة، بما يحد من الهدر ويرفع كفاءة إدارة الموارد المائية المعالجة. كما أن الإجابة عنه تسهم في تقييم فاعلية الإجراءات والسياسات المتبعة في إدارة المياه داخل مشاريع التجميل الطبيعي، ومدى توافقها مع التوجهات الوطنية المرتبطة بالاستدامة البيئية وتعزيز الأمن المائي (وزارة التغير المناخي والبيئة، 2023).

التساؤل الخامس: ما انعكاس تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة على الاستدامة البيئية واستدامة الموارد المائية وتقليل المخاطر المائية في مشاريع التجميل الطبيعي؟

ينبثق هذا التساؤل من مبدأ أن نظم الري الذكية والمستدامة لا تُعد مجرد تقنية تشغيلية، وإنما تمثل مدخلاً متكاملًا لدعم الاستدامة المائية والبيئية داخل مشاريع التجميل الطبيعي، من خلال ترشيد الاستهلاك، وتعزيز الاعتماد على مصادر مياه أكثر استدامة مثل المياه المعالجة، وتقليل الهدر الناتج عن التشغيل غير المنضبط أو الأعطال، بما ينعكس على رفع كفاءة إدارة الموارد المائية على المدى الطويل. كما يركز هذا التساؤل على قياس مدى مساهمة تطبيق هذه النظم في خفض المخاطر المرتبطة بنقص المياه أو عدم استقرار الإمداد، وتعزيز القدرة على التعامل مع فترات الذروة المناخية، إضافة إلى دعم الالتزام بالمعايير البيئية التي تحافظ على التربة والنباتات واستدامة المساحات الخضراء.

وتكمن أهمية هذا التساؤل في كونه يقدم رؤية شاملة للأثر المستدام لنظم الري الذكية ضمن مشاريع التجميل الطبيعي، ليس فقط عبر خفض الاستهلاك، بل عبر تعزيز استدامة الموارد وتقليل المخاطر المائية وتحسين الإدارة الرشيدة للمياه، بما يتوافق مع توجهات الاستدامة البيئية وتعزيز الأمن المائي في إمارة أبو ظبي (وزارة التغير المناخي والبيئة، 2023).

خلاصة: إن التساؤلات الخمسة السابقة تمثل الإطار المنهجي للدراسة، فهي تعتبر خريطة طريق للإجابة على السؤال الرئيس:

"إلى أي مدى تساهم نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي؟"

النموذج المفاهيمي للدراسة

تستند هذه الدراسة إلى نموذج مفاهيمي يوضح طبيعة العلاقة بين المتغيرات الرئيسة محل الدراسة، وذلك في إطار تحليل دور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي. وقد تم بناء هذا النموذج بالاستناد إلى الأدبيات السابقة والإطار النظري للدراسة، وبما يتوافق مع مشكلة الدراسة وتساؤلاتها، وبما ينسجم مع محاور القياس المعتمدة في الاستبانة.

أولاً: المتغير المستقل

نظم الري الذكية والمستدامة

يتمثل المتغير المستقل في مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة في مشاريع التجميل الطبيعي، ويقاس من خلال أربعة أبعاد رئيسية كما تم قياسها في هذه الدراسة:

1. استخدام التقنيات الذكية في نظم الري (مثل حساسات رطوبة التربة، التشغيل التلقائي وفق بيانات الطقس، أنظمة رقمية لمراقبة الاستهلاك، وربط الري بتحليل البيانات).
2. كفاءة استخدام المياه (مثل تقليل الهدر، ضبط كميات المياه وفق نوع النبات والتربة، ومراقبة الاستهلاك دورياً).
3. الاستدامة البيئية لنظم الري (مثل استخدام المياه المعالجة عند الإمكان، تقليل التأثيرات البيئية السلبية على التربة والنبات، ودعم استدامة المساحات الخضراء).
4. إدارة وتشغيل نظم الري (مثل وجود خطط صيانة دورية، تدريب العاملين، سرعة اكتشاف الأعطال ومعالجتها، وتحسين أداء المشاريع).

ثانياً: المتغير التابع

تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي

يتمثل المتغير التابع في مستوى تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي، ويقاس من خلال أربعة أبعاد رئيسية كما تم قياسها في هذه الدراسة:

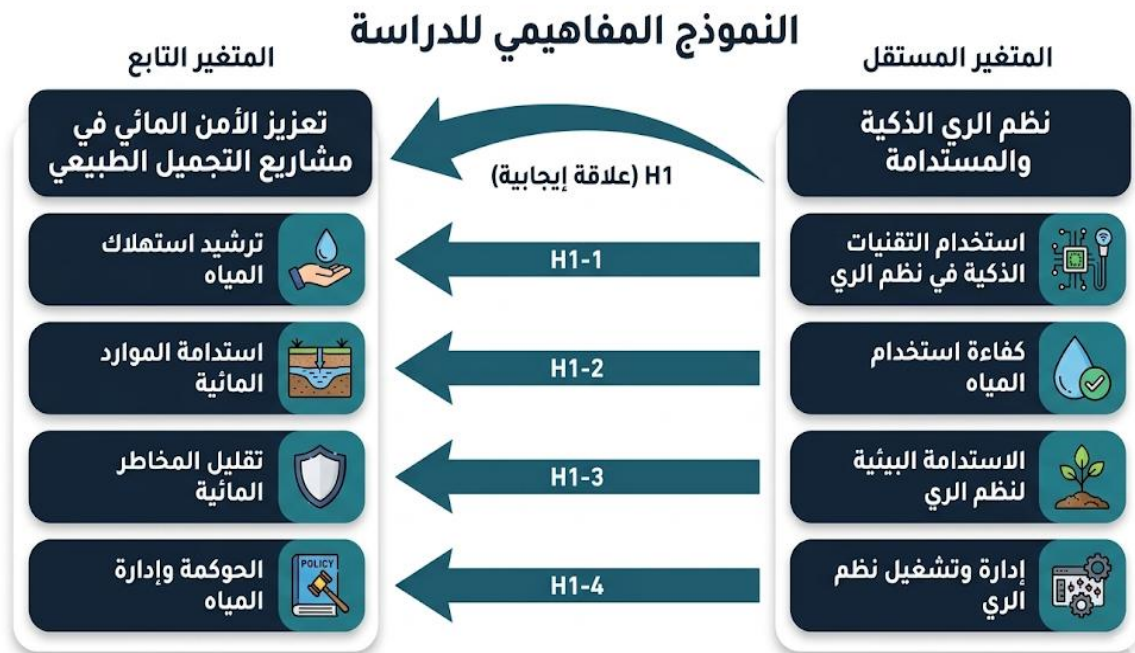
1. ترشيد استهلاك المياه (خفض الاستهلاك والفاقد وتطبيق سياسات ترشيد واضحة).
2. استدامة الموارد المائية (رفع استدامة الموارد وتقليل الاعتماد على المياه العذبة واستخدام مصادر بديلة مثل المياه المعالجة).

3. تقليل المخاطر المائية (خفض مخاطر نقص المياه، دعم القدرة على مواجهة فترات الجفاف، والكشف المبكر عن التسريبات والأعطال).

4. الحوكمة وإدارة المياه (وجود سياسات واضحة، متابعة الاستهلاك عبر تقارير دورية، الالتزام بالمعايير البيئية، وتحسين إدارة الموارد المائية بالمشاريع).

ثالثاً: العلاقة المتوقعة بين المتغيرين

يفترض النموذج وجود علاقة تأثير إيجابية بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة (بأبعادها الأربعة) وبين تعزيز الأمن المائي (بأبعاده الأربعة). وبناءً على ذلك، كلما ارتفع مستوى تطبيق التقنيات الذكية وتحسنت كفاءة الاستخدام والاستدامة البيئية وكفاءة الإدارة والتشغيل، انعكس ذلك على ترشيد الاستهلاك واستدامة الموارد وتقليل المخاطر وتحسين الحوكمة وإدارة المياه ضمن مشاريع التجميل الطبيعي.



رسم توضيحي 1 - النموذج المفاهيمي لدور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي بإمارة أبو ظبي

فروض الدراسة

تستند هذه الدراسة إلى عدد من الفروض العلمية حول العلاقة المتوقعة بين المتغيرات الرئيسية، وهي نظم الري الذكية والمستدامة (المتغير المستقل) وتعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي (المتغير التابع). وقد تمت صياغة هذه الفروض بأسلوب كمي يوضح اتجاه العلاقة ودلالاتها الإحصائية، وبالاعتماد على الإطار النظري والأدبيات السابقة التي أكدت أن تبني تقنيات الري الذكي ورفع كفاءة التشغيل ينعكس على ترشيد الاستهلاك وتحسين إدارة الموارد وتقليل الهدر والمخاطر.

الفرضية الأولى (H1)

هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة ومستوى ترشيد استهلاك المياه في مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي.

يفترض هذا الفرض أن ارتفاع مستوى تطبيق التقنيات الذكية ورفع كفاءة التشغيل يؤدي إلى خفض الاستهلاك غير الضروري وتقليل الفاقد المرتبط بالري الزائد أو التشغيل غير المنضبط. ويعتمد ذلك على أن نظم الري الذكية—عند تشغيلها بكفاءة—تسهم في ضبط كميات المياه وفق الاحتياج الفعلي للنبات والظروف المناخية، بما يدعم سياسات الترشيد على مستوى المشاريع.

الفرضية الثانية (H2):

هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة ومستوى استدامة الموارد المائية في مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي.

تتطلب هذه الفرضية من أن تطبيق نظم الري الذكية لا يقتصر على خفض الاستهلاك، بل يمتد إلى تعزيز استدامة الموارد عبر رفع كفاءة إدارة مصادر المياه المتاحة، وبالأخص المياه المعالجة، وتقليل الاعتماد على المياه العذبة مرتفعة التكلفة. كما يفترض الفرض أن تحسين كفاءة الاستخدام وتطوير أساليب التشغيل يدعم استمرارية الموارد على المدى الطويل ويعزز قدرة المشاريع على التكيف مع الضغوط المناخية.

الفرضية الثالثة (H3):

هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة ومستوى تقليل المخاطر المائية في مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي.

يفترض هذا الفرض أن نظم الري الذكية والمستدامة تساهم في خفض المخاطر المرتبطة بعدم استقرار الإمداد أو ارتفاع الاستهلاك أو فقد المياه بسبب التسريبات والأعطال، وذلك من خلال المراقبة المستمرة

وتحسين الاستجابة التشغيلية، بما يدعم الكشف المبكر عن المشكلات وتقليل آثارها. كما ترتبط هذه الفرضية بقدرة الأنظمة الذكية على دعم المرونة التشغيلية خلال فترات الذروة المناخية، وهو ما يقلل احتمالات حدوث تأثيرات سلبية على استمرارية الري واستدامة الأصول الزراعية.

الفرضية الرابعة (H4):

هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة ومستوى الحوكمة وإدارة المياه في مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي.

تتعلق هذه الفرضية من أن نظم الري الذكية تعزز مفهوم الإدارة المبنية على البيانات، وتدعم وجود آليات متابعة ورقابة عبر التقارير الدورية ومؤشرات الأداء، بما يساعد على تطبيق سياسات واضحة لإدارة المياه والالتزام بالمعايير البيئية ذات العلاقة. وبناءً عليه، يفترض الفرض أن ارتفاع مستوى تطبيق نظم الري الذكية ينعكس على رفع جودة الإدارة والحوكمة داخل المشاريع من خلال ضبط الاستهلاك، وتوجيه قرارات التشغيل والصيانة بصورة أكثر رشادة وشفافية.

الفرضية الخامسة (H5):

هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة ومستوى تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي.

يمثل هذا الفرض خلاصة منطق الدراسة، إذ يفترض أن أثر نظم الري الذكية والمستدامة لا يظهر في جانب واحد فقط، بل ينعكس بصورة شاملة على أبعاد الأمن المائي المرتبطة بترشيد الاستهلاك، واستدامة الموارد، وتقليل المخاطر المائية، وتحسين الحوكمة وإدارة المياه. وعليه، فإن ارتفاع مستوى التطبيق في المشاريع يؤدي إلى رفع مستوى الأمن المائي الإجمالي ضمن قطاع التجميل الطبيعي، بما يتوافق مع توجهات الاستدامة وتعزيز كفاءة إدارة الموارد في الإمارة.

النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث

تعتمد هذه الدراسة على إطار نظري تكاملي يجمع بين عدد من النظريات والمفاهيم العلمية التي تفسر العلاقة بين التكنولوجيا والإدارة المستدامة للموارد المائية، وذلك على النحو الآتي:

أولاً: نظرية الإدارة المتكاملة للموارد المائية

(Integrated Water Resources Management – IWRM)

تعد هذه النظرية أحد الأطر المرجعية الرئيسة للدراسة، حيث تقوم على مبدأ تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد المائية من خلال التكامل بين الأبعاد البيئية والإدارية، وتعزيز كفاءة إدارة الطلب على المياه عبر سياسات وتشغيل منضبط يعتمد على البيانات. وترتكز الدراسة على هذا المفهوم في تفسير دور نظم الري الذكية والمستدامة كأداة تنفيذية تدعم الإدارة الرشيدة للمياه في البيئات الحضرية الجافة.

ويعد هذا المفهوم من أكثر الأطر المرجعية اعتماداً في تفسير الإدارة الرشيدة للمياه، إذ يؤكد على التكامل بين الأبعاد البيئية والمؤسسية والاقتصادية في إدارة الموارد المائية (Global Water Partnership, 2000).

ثانياً: نظرية الاستدامة البيئية

(Sustainability Theory)

تستند الدراسة إلى مفهوم الاستدامة باعتباره إطاراً معيارياً يهدف إلى تحقيق التوازن بين الاستخدام الحالي للموارد وضمان استمراريتهما للأجيال القادمة. وفي هذا السياق، تم توظيف مفهوم الاستدامة لتفسير العلاقة بين تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين تعزيز الأمن المائي على المدى الطويل، من خلال ترشيد الاستهلاك، ودعم استدامة الموارد المائية، وتقليل المخاطر المائية.

ثالثاً: نظرية الحوكمة المؤسسية

(Institutional Governance Theory)

تستند الدراسة كذلك إلى نظرية الحوكمة المؤسسية التي تؤكد على أهمية وجود سياسات وإجراءات واضحة، وآليات متابعة ورقابة، واعتماد معايير تشغيلية وبيئية تدعم اتخاذ القرار الرشيد. ويتم توظيف هذه النظرية لتفسير بُعد “الحوكمة وإدارة المياه” بوصفه أحد أبعاد تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي.

رابعاً: نموذج العلاقة السببية في البحوث الكمية

(Causal Model Approach)

اعتمدت الدراسة على النموذج السببي في تحليل العلاقة بين المتغير المستقل (نظم الري الذكية

والمستدامة) والمتغير التابع (تعزيز الأمن المائي)، وذلك من خلال قياس كل متغير عبر أبعاده الرئيسية وتحليل العلاقات الإحصائية بينها باستخدام الأساليب الكمية المناسبة. وبذلك، فإن الدراسة تستند إلى إطار نظري تكاملي يدمج بين البعد التقني والبعد الإداري والبعد البيئي، بما يتناسب مع طبيعة المشكلة البحثية وأهدافها.

الفصل الثاني

مقدمة

تعتبر الدراسات السابقة هي الأساس العلمي لبناء الإطار النظري للدراسة الحالية، حيث تسهم في تحديد أوجه الاتفاق والاختلاف في نتائج البحوث السابقة، وتظهر الثغرات البحثية التي تسعى الدراسة لتجاوزها .

في هذا البحث ، وقع الاختيار على ست من الدراسات الحديثة التي تتصل بشكل مباشر بموضوع نظم الري الذكية والمستدامة، وتعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي في الإمارات العربية المتحدة، لما تمثله هذه القضايا من أهمية استراتيجية في تحقيق التنمية المستدامة.

الدراسات السابقة

1. دراسة جامعة الإمارات (2024): الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة الري الذكية

بحثت الدراسة العلاقة بين تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحسين أداء أنظمة الري في البيئات الحضرية. الهدف من الدراسة هو تطوير نموذج تجريبي يعتمد على الذكاء الاصطناعي لتوقع الاحتياجات المائية بناءً على تحليل الظروف المناخية ومستوى التربة. فيما يخص منهجية الدراسة فقد اعتمد فريق البحث المنهج التطبيقي التجريبي، من خلال إنشاء حقل تجريبي يستخدم خوارزميات تعلم الآلة للتحكم الآلي في الري. لقد أظهرت الدراسة أن النظام التجريبي خفّض استهلاك المياه بنسبة 45% مقارنة بالأنظمة المبرمجة الثابتة، كما طور سرعة الاستجابة للتغيرات المناخية بنسبة 60%. في الختام، أوصت الدراسة بإنشاء منصة وطنية للري الذكي تعتمد على الذكاء الاصطناعي وترتبط المشاريع البلدية بالمزارع التجارية لتبادل البيانات وتعزيز الكفاءة التشغيلية (جامعة الإمارات، 2024).

وتتسجم هذه النتيجة مع ما أكدته المراجعات المنهجية الحديثة، التي بينت أن نظم الري الذكية القائمة على الحساسات وتحليل البيانات والتحكم الآلي أصبحت تمثل اتجاهاً متقدماً لتحسين كفاءة استخدام المياه ودعم الإدارة الدقيقة للري (Vallejo-Gómez et al., 2023).

ومن خلال استعراض الدراسات السابقة المحلية والدولية ذات الصلة بموضوع نظم الري الذكية والأمن المائي، يمكن تلخيص أوجه التشابه والاختلاف وأبرز النتائج كما هو موضح في الجدول (1).

2. دراسة المنصوري (2023): التحول الرقمي في إدارة المساحات الخضراء

بحثت الدراسة العلاقة بين التحول الرقمي في إدارة المساحات الخضراء وتحقيق الاستدامة المائية في إمارة أبو ظبي، وهي تهدف إلى تحليل مدى تأثير استخدام التقنيات الرقمية - مثل أجهزة الاستشعار ومحطات الطقس الذكية - على تقليل استهلاك المياه وتحسين كفاءة التشغيل. اعتمدت الباحثة على منهج دراسة الحالة بثلاثة مواقع رئيسية: حديقة العاصمة، ممشى القرم، وحديقة الوشبة، وجمعت بياناتها من أنظمة البلدية الرقمية وتقارير التشغيل والصيانة. كما بيّنت النتائج أن الجمع بين البيانات المناخية والمجسات الأرضية أدى إلى تقليل الري الزائد بنسبة 40% وخفض التكاليف التشغيلية بنسبة 18%. كما أظهرت أن التنسيق المؤسسي بين الجهات ساهم في رفع كفاءة الأداء. في الختام أوصت الدراسة بإنشاء مركز تحكم موحد لجميع مشاريع التجميل الطبيعي وربطها بشبكة بيانات آنية لتحليل الأداء (المنصوري، 2023).

3. دراسة وزارة التغير المناخي والبيئة (2023): تقرير الاستدامة المائية في دولة

الإمارات

استعرضت الدراسة التجارب الوطنية في إدارة المياه المستدامة، مع تركيز خاص على مشاريع الزراعة التجميلية واستخدام المياه المعالجة. الهدف من الدراسة هو تحليل أثر الابتكار التقني في تحسين كفاءة إدارة المياه وتقليل الفاقد ضمن مشاريع البنية التحتية الخضراء. كما اعتمدت الدراسة المنهج الوثائقي التحليلي، باستخدام بيانات رسمية من البلديات والهيئات البيئية والشركات العاملة في قطاع الري. لقد توصل التقرير إلى أن تطبيق نظم الري الذكية أسهم في تقليل استهلاك المياه المعالجة بنسبة 31% على مستوى الدولة. كما أظهرت الدراسة أن أنظمة المراقبة الآلية رفعت كفاءة الصيانة الوقائية بنسبة 25%. في الختام أوصت بإعداد دليل وطني موحد لتصميم وتشغيل أنظمة الري الذكية، ووضع معايير ملزمة لدمج الاستدامة في جميع مشاريع التجميل الطبيعي (وزارة التغير المناخي والبيئة، 2023).

4. دراسة الدرعي (2022): كفاءة نظم الري الذكية في الحدائق العامة بأبوظبي

تناولت الدراسة كفاءة أنظمة الري الذكية في الحدائق العامة ومدى مساهمتها في خفض استهلاك المياه وتحسين كفاءة التشغيل. الهدف من الدراسة هو قياس أثر تطبيق نظام الري الذكي المركزي على كميات المياه المستهلكة وجودة الغطاء النباتي في المشاريع البلدية. لقد استخدم الباحث المنهج الوصفي التحليلي، واعتمد على بيانات كمية تم جمعها من عشر حدائق عامة خلال عام واحد، قبل وبعد تطبيق النظام الذكي. أظهرت النتائج انخفاض استهلاك المياه بنسبة 35%، وتحسناً في رطوبة التربة واستقرار نمو النباتات بنسبة 22%. كما تبين أن النظام الذكي يقلل الحاجة إلى التدخل البشري ويحد من الأخطاء التشغيلية. في نهاية الدراسة قدم الباحث توصيات، حيث دعت الدراسة إلى توسيع تطبيق النظام الذكي في جميع الحدائق العامة وربطه بنظام تحكم مركزي موحد على مستوى الإمارة، مع ضرورة تدريب الكوادر الفنية (الدرعي، 2022).

5. دراسة العتيبة (2021): الأمن المائي والاستدامة الحضرية في إمارة أبو ظبي

تناولت العلاقة بين مفهوم الأمن المائي والتخطيط الحضري المستدام، مع التركيز على دور المشاريع البيئية في تحقيق التوازن المائي. الهدف من الدراسة هو استكشاف دور التقنيات الذكية في دعم خطط الأمن المائي من خلال إدارة فعالة لموارد المياه في القطاع البلدي. لقد اعتمد الباحث المنهج التحليلي المقارن، من خلال تحليل البيانات الصادرة عن هيئة البيئة ودائرة البلديات والنقل بين عامي 2018-2020. هذا، وقد أوضحت الدراسة أن تطبيق تقنيات المراقبة الذكية ساهم في خفض نسبة الهدر في المياه المخصصة للري من 11% إلى 6% خلال ثلاث سنوات، مع ارتفاع كفاءة التشغيل بنسبة 15%.

في الختام، أكدت الدراسة ضرورة تبني مفهوم “المدينة الذكية المائية” ودمج إدارة المياه في الخطط الاستراتيجية الحضرية لأبو ظبي (العتيبة، 2021).

6. دراسة الحوسني (2020): كفاءة استخدام المياه في مشاريع الزراعة التجميلية

بالإمارات

موضوع الدراسة هو فعالية أنظمة الري الحديثة في الحدائق العامة والمساحات الخضراء باستخدام المياه المعالجة، وهي تهدف إلى تقييم مدى قدرة أنظمة الري الحديثة على تقليل استهلاك المياه وتحسين جودة التربة والغطاء النباتي. لقد اعتمدت الدراسة المنهج التجريبي من خلال متابعة أداء 12 موقعاً تطبق أنظمة مختلفة (الري بالتنقيط، الرش، الري الذكي) لمدة عامين. كما أظهرت أن دمج المياه المعالجة مع الأنظمة الذكية أدى إلى خفض الاستهلاك بنسبة 28% دون تأثير سلبي على النمو النباتي. كما حسنت الأنظمة الذكية من توزيع المياه بنسبة 20% مقارنة بالأنظمة التقليدية. أما عن التوصيات، فقد أوصت الدراسة بتعميم استخدام المياه المعالجة في جميع مشاريع التجميل الطبيعي وزيادة نسبة الاعتماد عليها لتصل إلى 90% من إجمالي مياه الري (الحوسني، 2020).

رقم	الباحث / السنة	عنوان الدراسة	المنهج المستخدم	نطاق الدراسة	أبرز النتائج	الفجوات التي تعالجها الدراسة الحالية
1	الدرعي (2022)	كفاءة نظم الري الذكية في الحدائق العامة بأبوظبي	وصفي تحليلي	عشر حدائق عامة في أبو ظبي	خفض استهلاك المياه بنسبة 35% وتحسين نمو النباتات	ركزت على الكفاءة التقنية فقط دون التحليل المؤسسي
2	المنصوري (2023)	التحول الرقمي في إدارة المساحات الخضراء	دراسة حالة	ثلاث حدائق كبرى في أبو ظبي	تقليل استهلاك المياه بنسبة 40% وخفض التكاليف التشغيلية 18%	لم تتناول العلاقة بين الجهات الحكومية ودور الحوكمة
3	وزارة التغير المناخي والبيئة (2023)	تقرير الاستدامة المائية في دولة الإمارات	تحليلي وثائقي	مستوى وطني	خفض استهلاك المياه بنسبة 31% وتحسين الصيانة الوقائية 25%	دراسة وصفية عامة بدون تحليل ميداني أو تطبيقي

4	العتبة (2021)	الأمن المائي والاستدامة الحضرية في إمارة أبو ظبي	تحليلي مقارن	بيانات 2018-2020 من بلدية أبو ظبي وهيئة البيئة	خفض الهدر من 11% إلى 6% وزيادة كفاءة التشغيل 15%	لم تتناول دور نظم الري الذكية كمتغير مستقل
5	الحوسني (2020)	كفاءة استخدام المياه في مشاريع الزراعة التجميلية	تجريبي	12 موقعًا زراعيًا في الإمارات	خفض الاستهلاك بنسبة 28% وتحسين توزيع المياه 20%	لم تربط النتائج بمفهوم الأمن المائي أو التحول المؤسسي
6	جامعة الإمارات (2024)	الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة الري	تطبيقي تجريبي	حقل تجريبي حضري	خفض استهلاك المياه 45% وتحسين الاستجابة المناخية 60%	لم تربط الابتكار التقني بالإطار الإداري في البلديات

جدول 1 ملخص الدراسات السابقة

يبين الجدول السابق أن غالبية الدراسات السابقة تتفق على أن هناك علاقة إيجابية قوية بين تطبيق نظم الري الذكية وتحسين كفاءة استخدام المياه في مشاريع الزراعة التجميلية، حيث تتراوح نسب التوفير ما بين 28% و 45%. كما بينت نتائج كافة الدراسات أن التحول إلى الأنظمة الذكية يساهم في تخفيض التكلفة التشغيلية ويزيد من كفاءة الصيانة الوقائية.

على الرغم من ذلك ، فإن غالبية الدراسات ركزت على الجانب التقني والبيئي للري الذكي، في حين كان التناول أقل عمقًا للجوانب الإدارية والتشغيلية والحوكمة التي تحدد كيفية تحويل التقنية إلى نتائج قابلة للاستمرار، مثل سياسات إدارة المياه، وآليات المتابعة عبر التقارير، وكفاءة إدارة التشغيل والصيانة، ومدى انعكاس ذلك على ترشيد الاستهلاك واستدامة الموارد وتقليل المخاطر المائية ضمن المشاريع البلدية.

ومن هنا تتبع الثغرة البحثية التي تسعى الدراسة الحالية إلى معالجتها، والتي تتمثل في تحليل الدور التكميلي بين التقنية والحوكمة المؤسسية في تعزيز الأمن المائي في إطار مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي، بما يربط بين أثر التطبيق على ترشيد الاستهلاك واستدامة الموارد وتقليل المخاطر وتحسين الحوكمة وإدارة المياه ضمن سياق الاستدامة الوطنية في إطار رؤية الاستدامة الوطنية 2036.

الإطار النظري

مقدمة

يهدف هذا الفصل إلى بناء الأساس النظري الذي تستند إليه الدراسة في تفسير العلاقة بين تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي. ويأتي هذا الإطار النظري استنادًا إلى ما أبرزته الدراسات السابقة من نتائج تؤكد الأثر الإيجابي للتحويل نحو تقنيات الري الذكي على كفاءة استخدام المياه واستدامة الموارد، مع وجود تباين في تركيز تلك الدراسات بين الجوانب التقنية من جهة، والجوانب التشغيلية والحوكومية من جهة أخرى.

وانطلاقًا من ذلك، يقوم الإطار النظري في هذه الدراسة على تحديد المفاهيم الرئيسية وأبعادها، وشرح الآليات التي يُتوقع أن تؤدي من خلالها نظم الري الذكية والمستدامة إلى تحسين مؤشرات الأمن المائي، بما يشمل ترشيد الاستهلاك، واستدامة الموارد المائية، وتقليل المخاطر المائية، وتحسين الحوكمة وإدارة المياه داخل المشاريع. كما يسهم هذا الفصل في ربط الإطار المفاهيمي بالدلالات النظرية ذات الصلة، بما يدعم صياغة فروض الدراسة وتفسير النتائج الإحصائية لاحقًا.

وبناءً على ذلك، تم تقسيم هذا الفصل إلى ثلاثة مباحث على النحو الآتي:

- **المبحث الأول:** نظم الري الذكية والمستدامة.
- **المبحث الثاني:** تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي.
- **المبحث الثالث:** تفسير العلاقة بين نظم الري الذكية وتعزيز الأمن المائي في ضوء الأطر النظرية وفروض الدراسة.

المبحث الأول: نظم الري الذكية والمستدامة

1.1 مقدمة المبحث

تمثل نظم الري الذكية والمستدامة أحد التحولات الرئيسية في إدارة مياه الري داخل البيئات الحضرية الجافة، حيث تقوم على الانتقال من أساليب الري التقليدية المعتمدة على الجداول الزمنية الثابتة إلى أساليب أكثر دقة ومرونة تعتمد على البيانات الفعلية وخصائص الموقع واحتياجات النبات. وتزداد أهمية هذه النظم في مشاريع التجميل الطبيعي بصورة خاصة، نظرًا لكونها من القطاعات ذات الاستهلاك المرتفع للمياه، ولارتباطها المباشر بجودة الغطاء النباتي واستدامة الأصول الزراعية، بما يجعل تحسين كفاءة الري شرطاً أساسياً لتحقيق الاستدامة البيئية وتعزيز الأمن المائي.

ويستند هذا المبحث إلى توضيح مفهوم نظم الري الذكية والمستدامة، وبيان خصائصها ومكوناتها في سياق مشاريع التجميل الطبيعي، ثم شرح أبعادها الرئيسية التي تم اعتمادها في الدراسة، وهي: استخدام التقنيات الذكية في نظم الري، كفاءة استخدام المياه، الاستدامة البيئية لنظم الري، وإدارة وتشغيل نظم الري. ويهدف ذلك إلى توفير أساس نظري دقيق لفهم المتغير المستقل وتحديد آليات تأثيره المحتملة على مؤشرات الأمن المائي التي سنتناولها الدراسة في المباحث اللاحقة.

1.2 مفهوم نظم الري الذكية والمستدامة

يشير مفهوم نظم الري الذكية إلى منظومة ري تعتمد على القياس والتحكم واتخاذ القرار بصورة آلية أو شبه آلية، من خلال جمع البيانات من مصادر متعددة (مثل حساسات رطوبة التربة ومحطات الطقس) وتحليلها ثم تحويلها إلى أوامر تشغيل تُطبّق على شبكة الري بهدف تزويد النبات باحتياجاته المائية الفعلية في الوقت المناسب وبالكمية المناسبة. وبذلك تتميز هذه النظم بأنها قائمة على البيانات وليست قائمة على "جداول تشغيل ثابتة"، وهو ما يجعلها أكثر قدرة على الاستجابة للتغيرات المناخية والفروق بين أنواع النباتات والتربة وظروف الموقع.

أما نظم الري المستدامة فهي النظم التي تُصمم وتُدار بهدف تحقيق الاستخدام الرشيد للموارد المائية والطاقة وتقليل الآثار البيئية السلبية على المدى الطويل، مع الحفاظ على جودة الغطاء النباتي واستمرارية الأصول الزراعية. ويقوم مفهوم "الاستدامة" في الري على مبادئ مثل ترشيد الاستهلاك، تقليل الفاقد، دعم استخدام مصادر مياه بديلة (عند الإمكان) مثل المياه المعالجة، وحماية التربة والنبات من آثار التشغيل غير الملائم.

وبالتالي، فإن عبارة “نظم الري الذكية والمستدامة” في هذه الدراسة لا تعني مجرد إدخال أجهزة حديثة أو برمجيات تحكم، بل تعني منظومة متكاملة تجمع بين:

- **ذكاء التشغيل (Smartness):** دقة القياس، والتحكم، والتعديل المستمر للري بناءً على البيانات.

- **استدامة الأثر (Sustainability):** تحقيق نتائج طويلة المدى في الحفاظ على الموارد وتقليل المخاطر ورفع كفاءة الإدارة البيئية للمياه.

الفرق بين “الري الذكي” و “الري المستدام”

على الرغم من الارتباط الوثيق بين المفهومين، إلا أن هناك فرقاً منهجياً مهماً:

- **الري الذكي** يركز على كيف يتم التشغيل واتخاذ القرار (آلية التحكم المعتمدة على البيانات والأنظمة الرقمية).

- **الري المستدام** يركز على ماذا يحقق التشغيل على المدى الطويل (تقليل الهدر، حماية الموارد، تقليل الآثار البيئية، رفع كفاءة الاستخدام).

وبعبارة أخرى:

قد تكون هناك أنظمة “ذكية” لكنها غير “مستدامة” إذا لم تُدار وفق سياسات تشغيل تحافظ على التربة وتقلل الفاقد وتمنع التشغيل المفرط. كما قد توجد ممارسات “مستدامة” تقليدية (مثل تحسين توقيت الري يدوياً) لكنها ليست “ذكية” لأنها لا تعتمد على قياس وتحكم رقمي مستمر. لذلك تتبنى هذه الدراسة الجمع بين البعدين لضمان تحليل أكثر شمولاً لواقع مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي.

خصائص نظم الري الذكية والمستدامة في مشاريع التجميل الطبيعي

تتصف نظم الري الذكية والمستدامة في السياق البلدي بعدة خصائص رئيسة تجعلها ذات تأثير مباشر على كفاءة استخدام المياه والأمن المائي، ومن أهمها:

1. الاعتماد على القياس الفعلي للاحتياج المائي بدل الاعتماد على تقديرات ثابتة.
2. المرونة التشغيلية من خلال تعديل برامج الري وفق التغيرات المناخية وخصائص الموقع.
3. القدرة على المراقبة والتحكم عن بعد عبر منصات رقمية وتقارير تشغيلية.

4. دعم الصيانة الوقائية عبر الإنذارات المبكرة والتتبع المستمر للأداء.

5. تقليل الفاقد والهدر الناتج عن الري الزائد أو التسريبات أو سوء الضبط.

6. تعزيز الاستدامة البيئية عبر تحسين إدارة المياه المعالجة وتقليل التأثيرات السلبية على التربة والنبات.

وبناء على هذا التعريف المركب، تُعد نظم الري الذكية والمستدامة في هذه الدراسة متغيراً مستقلاً يتم تفسيره وقياسه من خلال أبعاد محددة، تم تناولها تفصيلاً في الفقرات التالية.

1.3 مكونات نظم الري الذكية في مشاريع التجميل الطبيعي

تقوم نظم الري الذكية والمستدامة في مشاريع التجميل الطبيعي على منظومة مترابطة من المكونات الميدانية (Field Components) والمكونات الرقمية (Digital Components) تعمل معاً لتحقيق هدفين متلازمين: رفع دقة قرار الري وتحسين كفاءة التشغيل والمتابعة. ويمكن عرض المكونات الأساسية على النحو الآتي:

1.3.1 أجهزة القياس والاستشعار (Sensors & Monitoring Devices)

تمثل أجهزة الاستشعار العمود الفقري في الري الذكي، لأنها توفر بيانات فورية تُستخدم في اتخاذ قرار الري، ومن أبرزها:

- حساسات رطوبة التربة: (Soil Moisture Sensors) لقياس محتوى الرطوبة في طبقات التربة وتحديد الاحتياج الفعلي للري، وهو ما يقلل الري الزائد ويحسن ضبط الكميات.
- حساسات/محطات المناخ المصغرة (Weather Stations / Microclimate Sensors): تقيس عناصر مثل الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح وأحياناً الإشعاع الشمسي، بما يساعد على تعديل برامج الري وفق الظروف المناخية.
- حساسات التدفق والضغط: (Flow & Pressure Sensors) تُستخدم لمراقبة أداء الشبكة والكشف عن الانحرافات التشغيلية (مثل تسريبات أو اختناقات أو تشغيل غير طبيعي).

1.3.2 وحدات التحكم والمنفذات (Controllers & Actuators)

هي عناصر تنفيذ القرار داخل الشبكة، وتشمل:

- **وحدات التحكم (Irrigation Controllers)** وهي العقل التشغيلي الذي يطبق برامج الري ويستقبل أوامر التشغيل/الإيقاف، وقد تكون محلية في الموقع أو مرتبطة بمنصة مركزية.
- **الصمامات الكهربائية (Solenoid Valves) ومنظمات الضغط:** تتحكم في فتح/غلق المناطق (Zones) وضبط الضغط بما يضمن توزيعًا متوازنًا للمياه.
- **المضخات (عند وجودها) وأجهزة التشغيل المرتبطة بها:** وتُدار وفق متطلبات التدفق والضغط، ويؤثر ضبطها مباشرة على كفاءة الطاقة واستقرار التشغيل.

1.3.3 البنية الاتصالية ونقل البيانات (Connectivity & Data Transmission)

الري الذكي يعتمد على تدفق البيانات بصورة مستمرة بين الميدان ومنصة التحكم، لذلك تُعد البنية الاتصالية عنصرًا حاسمًا، وقد تشمل:

- اتصال شبكي (سلكي/لاسلكي) بين الحساسات ووحدات التحكم.
- قنوات اتصال تربط المواقع بأنظمة المراقبة/المنصات الرقمية.
- آليات تضمن استمرارية الاتصال، لأن أي انقطاع يؤدي غالبًا للعودة للتشغيل التقليدي أو تقليل دقة القرار.

1.3.4 المنصات الرقمية وتحليل البيانات (Digital Platforms & Analytics)

لا تكتمل “الذكاء” بمجرد وجود أجهزة؛ بل يتحقق عندما تتحول البيانات إلى قرار، لذلك تشمل المنظومة عادة:

- **منصة مراقبة وتحكم (Dashboard/Platform):** تعرض بيانات الاستهلاك، حالات التشغيل، التنبيهات، وتقارير الأداء.
- **تحليل البيانات ودعم القرار (Data Analytics & Decision Support):** ويشمل مقارنة الاستهلاك بخطط التشغيل، وتحديد الانحرافات، وتقييم فرص التحسين.
- **التقارير الدورية ومؤشرات الأداء (KPIs):** مثل معدلات الاستهلاك، الانحرافات، زمن الاستجابة للأعطال، وغيرها—وهي التي تربط التقنية بالإدارة والحوكمة.

1.3.5 التكامل مع نظم إدارة الأصول والبيانات (Asset & Information Systems Integration)

في سياق المشاريع البلدية، تتزايد قيمة الري الذكي عندما يتكامل مع نظم إدارة الأصول والخرائط والبلاغات، لأن ذلك يساعد على:

- رفع جودة التوثيق وتحديد مواقع الأعطال بدقة.
- تسريع الصيانة وتحسين متابعة المقاولين/ فرق التشغيل.
- بناء قاعدة بيانات تشغيلية داعمة للتحسين المستمر.

1.3.6 إجراءات التشغيل والصيانة (Operational & Maintenance Procedures)

حتى مع اكتمال المكونات التقنية، يبقى نجاح المنظومة مرتبطاً بوجود إطار تشغيلي، مثل:

- خطط صيانة وقائية وجدول معايرة للحساسات.
- إجراءات واضحة للاستجابة للتنبيهات والتسريبات والانحرافات التشغيلية.
- تنظيم مسؤوليات التشغيل والمتابعة وإدارة البلاغات بما يمنع تكرار الأعطال ويقلل الهدر.

خلاصة 1.3:

يمكن القول إن نظم الري الذكية والمستدامة في مشاريع التجميل الطبيعي هي منظومة “تقنية-إدارية” مترابطة؛ تبدأ بقياس الاحتياج عبر الحساسات، ثم نقل البيانات، ثم تحليلها على منصات رقمية، ثم تنفيذ القرار عبر وحدات التحكم والصمامات، وتنتهي بمتابعة الأداء عبر التقارير وإجراءات التشغيل والصيانة. وهذا الترابط هو ما يمهد لفهم أبعاد المتغير المستقل في هذه الدراسة.

1.4 البعد الأول: استخدام التقنيات الذكية في نظم الري (Smart Technology Utilization)

يركز هذا البعد على مدى توظيف التقنيات الذكية بوصفها أدوات تشغيلية فعالة لدعم قرار الري، وليس بوصفها مجرد معدات مُركبة داخل المشروع. فالمعيار الحقيقي “لاستخدام التقنيات الذكية” يتمثل في درجة الاعتماد على البيانات (Data-Driven Irrigation) في ضبط برامج الري وتشغيل الشبكة، بما يقلل الاجتهادات التشغيلية ويحد من الري الزائد أو التشغيل في أوقات غير مناسبة.

1.4.1 مفهوم استخدام التقنيات الذكية في نظم الري

يقصد باستخدام التقنيات الذكية في هذا السياق: قدرة منظومة الري على جمع بيانات ميدانية (مثل رطوبة التربة والطقس والتدفق)، ثم تحليلها أو ترجمتها إلى تعليمات تشغيل تُطبّق على الشبكة بصورة تلقائية أو شبه تلقائية. ويؤدي ذلك إلى رفع دقة “متى نروي؟ وكم نروي؟” بما يتوافق مع احتياج النبات وظروف الموقع.

1.4.2 مؤشرات استخدام التقنيات الذكية في مشاريع التجميل الطبيعي

يمكن التعبير عن هذا البعد من خلال مجموعة من المؤشرات التطبيقية التي تعكس مستوى التحول الذكي داخل المشروع، ومن أهمها:

1. استخدام حساسات رطوبة التربة لتحديد الاحتياج الحقيقي بدل التشغيل وفق وقت ثابت.
2. استخدام بيانات الطقس (حرارة/رطوبة/رياح) لتعديل برامج الري أو إيقافها عند الظروف غير المناسبة.
3. المراقبة الرقمية للاستهلاك عبر منصات تعرض بيانات التشغيل والانحرافات.
4. ربط التشغيل بتحليل البيانات (مثل تحديد مناطق تستهلك أعلى من الطبيعي، أو تتكرر فيها الأعطال).
5. التنبيهات والإنذارات التشغيلية للكشف المبكر عن التسريبات أو التشغيل خارج النطاق.
6. التحديث الدوري للبرامج وفق موسمية المناخ وتغير احتياجات النبات (Summer/Winter Programs).

1.4.3 الأثر المتوقع لاستخدام التقنيات الذكية

من الناحية النظرية، كلما ارتفع مستوى استخدام التقنيات الذكية، نتج عن ذلك:

- زيادة دقة الجرعة المائية المخصصة لكل منطقة ري (Zone) ، مما يقلل الفاقد.
- خفض الري الزائد الناتج عن الجداول الثابتة التي لا تراعي اختلاف المواقع والظروف.
- رفع كفاءة الاستجابة للتغيرات المناخية، خصوصاً في فترات الذروة الحرارية والرياح.
- تعزيز الصيانة الوقائية عبر الكشف المبكر عن الانحرافات (ضغط/تدفق/استهلاك غير طبيعي).
- تحسين قابلية الرقابة والمتابعة لأن التشغيل يصبح قابلاً للتوثيق والمراجعة عبر التقارير.

وبالتالي فإن استخدام التقنيات الذكية يمثل نقطة الانطلاق نحو تحقيق أهداف الأمن المائي، لأنه يغيّر نمط إدارة الري من "تشغيل زمني" إلى "تشغيل قائم على البيانات"، وهو ما يدعم ترشيد الاستهلاك واستدامة الموارد على مستوى المشروع.

1.4.4 حدود هذا البعد (متى لا يحقق أثره؟)

رغم أهمية هذا البعد، إلا أن فعاليته قد تتخفف إذا توافرت التقنية دون تفعيل حقيقي، مثل:

- وجود حساسات دون معايرة أو دون اعتماد قراءاتها في التشغيل.
 - وجود منصة رقمية دون متابعة دورية أو دون تحويل البيانات إلى قرارات.
 - ضعف التدريب التشغيلي مما يؤدي للعودة إلى التشغيل اليدوي عند أول عطل.
 - الاعتماد على برامج ثابتة دون تحديث موسمي رغم تغير المناخ واحتياج النبات.
- وهذا يبرز أهمية النظر إلى “الذكاء” بوصفه سلوكًا تشغيليًا وإداريًا بقدر ما هو تقنية.

خلاصة البعد الأول

يُعد استخدام التقنيات الذكية في نظم الري أساس التحول نحو إدارة مائية أكثر كفاءة في مشاريع التجميل الطبيعي، لأنه يربط التشغيل ببيانات ميدانية قابلة للقياس والتحليل، ويحسن دقة قرار الري ويخفض الهدر الناتج عن التشغيل غير المنضبط. ومن هنا ينتقل التحليل في البعد التالي إلى قياس الأثر المباشر لهذا الاستخدام على كفاءة استخدام المياه.

1.5 البعد الثاني: كفاءة استخدام المياه (Water Use Efficiency)

يمثل هذا البعد جوهر القيمة التشغيلية المتوقعة من نظم الري الذكية والمستدامة، لأنه يركز على النتيجة المائية المترتبة على التطبيق، أي: مدى القدرة على تحقيق الاحتياج المائي للنباتات مع تقليل الفاقد والهدر إلى الحد الأدنى. وتُعد كفاءة استخدام المياه معيارًا رئيسًا في تقييم أداء مشاريع التجميل الطبيعي، خاصة في البيئات الجافة التي تتسم بمحدودية الموارد وارتفاع الطلب.

1.5.1 مفهوم كفاءة استخدام المياه في مشاريع التجميل الطبيعي

يقصد بكفاءة استخدام المياه: تحقيق أفضل إنتاجية/جودة للغطاء النباتي مقابل أقل كمية ممكنة من المياه ضمن الحدود المقبولة لسلامة النبات واستدامة التربة. وتزداد أهمية هذا المفهوم في المشاريع البلدية لأن جزءًا كبيرًا من الاستهلاك مرتبط بعوامل تشغيلية (برامج الري، الضبط، التسريبات، سوء التوزيع)، وليس فقط بعوامل طبيعية.

1.5.2 مؤشرات كفاءة استخدام المياه في سياق الري الذكي

يمكن تقييم كفاءة استخدام المياه من خلال مؤشرات عملية، من أبرزها:

1. تقليل الهدر في المياه الناتج عن الري الزائد أو التشغيل في ظروف غير مناسبة.
2. ضبط كميات المياه وفق نوع النبات والتربة بما يمنع التعميم غير الدقيق.

3. مراقبة الاستهلاك دوريًا ومقارنته بالمعدلات المستهدفة أو الطبيعية للموقع.

4. خفض الفاقد الناتج عن التسريبات عبر سرعة الاكتشاف والمعالجة.

5. تحسين توزيع المياه بين المناطق بما يقلل التفاوت في الري داخل المشروع.

1.5.3 كيف يحقق الري الذكي كفاءة استخدام أعلى؟

تتحقق كفاءة الاستخدام الأعلى عبر عدة آليات مترابطة:

- الجدولة وفق الاحتياج الفعلي بدل الجدولة الزمنية الثابتة.
- تعديل الري وفق الطقس (الحرارة/الرياح/الرطوبة) مما يمنع التشغيل غير الملائم.
- تقليل أخطاء التشغيل البشري عبر الأتمتة والتنبيهات.
- إدارة أفضل للضغط والتدفق بما يمنع الفاقد ويحقق توزيعًا متوازنًا.
- دعم الصيانة الوقائية لتقليل الأعطال التي تسبب هدرًا طويلًا غير ملحوظ.

1.5.4 العلاقة بين كفاءة استخدام المياه وترشيد الاستهلاك

تُعد كفاءة استخدام المياه المدخل المباشر لترشيد الاستهلاك داخل المشاريع، لأن أي تحسن في ضبط الجرعات وتقليل الفاقد سينعكس على انخفاض الاستهلاك الإجمالي دون الإضرار بجودة الغطاء النباتي. وبذلك يمثل هذا البعد نقطة وصل واضحة بين المتغير المستقل (نظم الري الذكية والمستدامة) وبين بعد "ترشيد استهلاك المياه" ضمن الأمن المائي الذي سنتناوله الدراسة لاحقًا.

خلاصة البعد الثاني

يركز هذا البعد على النتيجة التشغيلية الأكثر مباشرة لنظم الري الذكية، وهي خفض الهدر ورفع دقة التوزيع وضبط الاستهلاك بما يحافظ على جودة الأصول الزراعية. وفي البعد التالي تم توسيع التحليل من "الكفاءة المائية" إلى "الاستدامة البيئية" بوصفها أثرًا طويل المدى يرتبط بحماية التربة والنبات وإدارة الموارد بصورة مستدامة.

1.6 البعد الثالث: الاستدامة البيئية لنظم الري (Environmental Sustainability)

ينتقل هذا البعد من التركيز على "كمية المياه وكفاءة استخدامها" إلى التركيز على الأثر البيئي طويل المدى لنظم الري داخل مشاريع التجميل الطبيعي. فنجاح الري الذكي لا يقاس فقط بقدرته على خفض

الاستهلاك، بل يقاس كذلك بقدرته على دعم استدامة البيئة الحضرية، وحماية التربة والنبات، وتقليل الآثار السلبية المصاحبة لسوء التشغيل أو الاستخدام غير الرشيد للمياه والطاقة.

1.6.1 مفهوم الاستدامة البيئية في نظم الري

يقصد بالاستدامة البيئية لنظم الري: تشغيل وإدارة منظومة الري بطريقة تحقق توازنًا بين:

- استمرار جودة الغطاء النباتي على المدى الطويل،
 - حماية التربة من التدهور والملوحة والانجراف،
 - تقليل الهدر البيئي الناتج عن التشغيل غير الملائم (مثل التشبع الزائد أو الجريان السطحي)،
 - إدارة مصادر المياه بصورة لا تؤثر سلبًا على البيئة ولا ترفع البصمة المائية للمشروع.
- وبذلك يرتبط هذا المفهوم بقدرة النظام على تحقيق نتائج مستدامة تتجاوز “الحل المؤقت”، وتدعم أهداف الاستدامة البيئية في المشاريع البلدية.

1.6.2 مؤشرات الاستدامة البيئية لنظم الري في مشاريع التجميل الطبيعي

يمكن التعبير عن هذا البعد من خلال مجموعة مؤشرات عملية توضح مدى مراعاة تشغيل الري للاعتبارات البيئية، ومن أبرزها:

1. تعزيز استخدام المياه المعالجة (عند الإمكان) ضمن الري، بما يقلل الاعتماد على المياه العذبة ويدعم كفاءة إدارة الموارد.
2. تقليل التأثيرات البيئية السلبية على التربة والنبات مثل التشبع الزائد، أو تدهور التربة بسبب سوء الضبط، أو زيادة الملوحة نتيجة التشغيل غير المتوازن.
3. الحفاظ على استدامة المساحات الخضراء عبر تشغيل يضمن استمرار جودة النبات دون إسراف أو إجهاد مائي.
4. تقليل الجريان السطحي والفواقد البيئية الناتجة عن الري المفرط أو التشغيل في ظروف غير مناسبة.
5. دعم التشغيل الرشيد للطاقة المرتبطة بالري بصورة غير مباشرة، عبر تقليل التشغيل الزائد للمضخات وتقليل الأعطال التي ترفع استهلاك الطاقة.

1.6.3 كيف تسهم نظم الري الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية؟

تسهم نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الاستدامة البيئية عبر عدة آليات، أهمها:

- التحكم الدقيق في التوقيت والكمية يقلل التشبع المائي الذي يضر التربة ويؤثر على جذور النبات.
- اعتماد الري على بيانات الطقس والرطوبة يقلل التشغيل في ظروف تؤدي إلى تبخر مرتفع أو فواقد كبيرة.
- مراقبة الأداء والإنذارات المبكرة يساعد على اكتشاف التسريبات أو الانحرافات التشغيلية قبل أن تتحول إلى أثر بيئي سلبي (مثل تجمع المياه أو تآكل التربة).
- رفع جودة إدارة المياه المعالجة من خلال ضبط البرامج بما يقلل تراكم الأملاح ويحسن توزيع المياه بصورة متوازنة، مع مراعاة خصائص التربة والنبات.

1.6.4 الاستدامة البيئية وعلاقتها بأبعاد الأمن المائي

يرتبط هذا البعد مباشرة ببعدين من أبعاد الأمن المائي في الدراسة:

- استدامة الموارد المائية: لأن توجيه الاستخدام نحو مصادر أكثر استدامة يقلل الضغط على الموارد العذبة.
- تقليل المخاطر المائية: لأن التشغيل المستدام يقلل احتمالات التدهور التدريجي للأصول الزراعية أو زيادة الأعطال الناتجة عن سوء الضبط، وبالتالي يقلل المخاطر التشغيلية والمائية المرتبطة باستمرار الخدمة.

خلاصة البعد الثالث

يمثل بعد الاستدامة البيئية لنظم الري امتدادًا منطقيًا لمفهوم الري الذكي، إذ يربط بين دقة التشغيل والنتائج طويلة المدى على التربة والنبات والموارد. فكلما كان التشغيل قائمًا على بيانات دقيقة ومعايير بيئية واضحة، زادت استدامة الغطاء النباتي وقلت الآثار السلبية المصاحبة للهدر وسوء إدارة المياه. ومن هنا ينتقل التحليل في البعد التالي إلى إدارة وتشغيل نظم الري بوصفها البنية التي تضمن استمرار فعالية النظام وتحويل التقنية إلى نتائج دائمة.

1.7 البعد الرابع: إدارة وتشغيل نظم الري (Irrigation Management & Operation)

يركز هذا البعد على الجانب الإداري والتشغيلي الذي يضمن استمرار عمل نظم الري الذكية والمستدامة بكفاءة، لأن التقنية مهما كانت متقدمة، فإن أثرها العملي يعتمد على جودة التشغيل والصيانة والمتابعة

اليومية. وتبرز أهمية هذا البعد في مشاريع التجميل الطبيعي نظرًا لطبيعتها التشغيلية المستمرة، وتعدد مواقعها، وتنوع مكوناتها، وارتفاع احتمالية الأعطال أو الانحرافات التشغيلية إذا غابت الإدارة الفعالة.

1.7.1 مفهوم إدارة وتشغيل نظم الري

يقصد بإدارة وتشغيل نظم الري: مجموعة الممارسات والإجراءات التي تشمل:

- التخطيط التشغيلي لبرامج الري وتحديثها،
 - تطبيق الصيانة الدورية والوقائية،
 - سرعة الاستجابة للأعطال والتسريبات،
 - تدريب الفرق الفنية ورفع جاهزيتها،
 - متابعة الأداء والتحقق من التزام التشغيل بالمستهدفات،
 - توثيق الأعمال والبلاغات والتقارير التشغيلية بما يدعم التحسين المستمر.
- وبذلك فإن هذا البعد يربط بين التقنية والأداء الفعلي في الميدان، ويحدد قدرة النظام على الاستمرارية وعدم التحول إلى تشغيل تقليدي عند أول عائق.

1.7.2 مؤشرات إدارة وتشغيل نظم الري في الواقع التطبيقي

يمكن قياس هذا البعد من خلال مؤشرات تشغيلية واضحة، من أبرزها:

1. وجود خطط صيانة دورية واضحة تشمل الفحص والمعايرة والتنظيف واستبدال القطع عند الحاجة.
2. سرعة اكتشاف الأعطال ومعالجتها بما يقلل فترة الهدر ويمنع تدهور الأصول الزراعية.
3. تأهيل وتدريب العاملين على تشغيل الأنظمة الذكية وبرمجتها وقراءة بياناتها.
4. القدرة على متابعة الأداء ميدانيًا ورقميًا لضمان التزام التشغيل بالبرامج وعدم وجود تشغيل غير منضبط.
5. فعالية إجراءات التشغيل القياسية (SOPs) ومدى تطبيقها داخل المواقع المختلفة.

1.7.3 دور الإدارة والتشغيل في دعم الأمن المائي

يسهم هذا البعد بصورة مباشرة في دعم الأمن المائي من خلال:

- تقليل الهدر الناتج عن تأخر الإصلاح أو التشغيل غير المنضبط.

- رفع استقرار الخدمة المائية للمساحات الخضراء وتقليل المخاطر المرتبطة بالأعطال أو التسريبات.
- دعم تطبيق سياسات ترشيد الاستهلاك عبر تحويل الأهداف إلى برامج تشغيل واقعية قابلة للقياس.
- تعزيز جودة البيانات والتقارير التشغيلية التي تعتمد عليها الحوكمة وإدارة المياه.

خلاصة البعد الرابع

تمثل إدارة وتشغيل نظم الري العامل الذي يضمن استدامة أثر التقنية، لأن استمرارية تشغيل الأنظمة الذكية بكفاءة تتطلب صيانة فعالة، وتدريباً مناسباً، واستجابة سريعة للأعطال، ونظام متابعة يحد من الانحرافات. وبذلك يكتمل تحليل أبعاد المتغير المستقل، تمهيداً للانتقال في **المبحث الثاني** إلى مفهوم تعزيز الأمن المائي وأبعاده الأربعة.

1.8 خلاصة المبحث الأول

خلص هذا المبحث إلى أن نظم الري الذكية والمستدامة تمثل منظومة متكاملة تجمع بين **القياس والتحكم الرقمي** وبين **التشغيل الرشيد** الذي يحقق كفاءة أعلى في استخدام المياه ويحد من الهدر، مع مراعاة الأثر البيئي طويل المدى على التربة والنبات واستدامة المساحات الخضراء. وقد تم تناول المتغير المستقل في هذه الدراسة عبر أربعة أبعاد رئيسية: **استخدام التقنيات الذكية** بوصفه مدخل التحول نحو تشغيل قائم على البيانات، و**كفاءة استخدام المياه** بوصفها الناتج التشغيلي المباشر للتطبيق، و**الاستدامة البيئية** بوصفها أثراً ممتداً يرتبط بحماية الموارد والبيئة الحضرية، و**إدارة وتشغيل نظم الري** بوصفها الضمانة التي تحول التقنية إلى نتائج قابلة للاستمرار. وبناءً على ذلك، يهدف هذا المبحث نظرياً لفهم كيف يمكن لهذه الأبعاد أن تنعكس على تعزيز الأمن المائي داخل مشاريع التجميل الطبيعي، وهو ما تم تناوله تفصيلاً في المبحث الثاني من خلال تعريف مفهوم الأمن المائي وأبعاده ومؤشراته في السياق البلدي.

المبحث الثاني: تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي

2.1 مقدمة المبحث

يمثل **الأمن المائي** أحد المرتكزات الاستراتيجية للتنمية المستدامة في البيئات الجافة وشبه الجافة، حيث يرتبط بقدرة المجتمع والمؤسسات على توفير المياه بالكميات والجودة اللازمة وبصورة مستمرة، مع إدارة

المخاطر المحتملة وضمان استدامة الموارد على المدى الطويل. وفي سياق إمارة أبو ظبي، يكتسب الأمن المائي أهمية مضاعفة نظرًا لمحدودية الموارد الطبيعية واعتماد جزء كبير من الاستخدامات - خصوصًا في مشاريع التجميل الطبيعي - على مصادر مثل المياه المعالجة، إلى جانب التأثير المتزايد للتغيرات المناخية وارتفاع الطلب.

ووفقًا للتعريف الإجرائي الذي تبنته الأمم المتحدة للمياه، يشير الأمن المائي إلى القدرة على ضمان توافر المياه بالكميات والجودة المناسبة بصورة مستدامة، مع إدارة المخاطر المرتبطة بها على نحو يدعم الإنسان والاقتصاد والنظم البيئية (UN-Water, 2013).

وترتبط مشاريع التجميل الطبيعي بالأمن المائي ارتباطًا مباشرًا لأنها تمثل قطاعًا خدميًا واسع النطاق يحتاج إلى ري منتظم للمحافظة على الأصول الزراعية والمشهد الحضري، وفي الوقت نفسه يتطلب إدارة رشيدة للمياه لتجنب الهدر وضمان الاستدامة. ومن هنا، فإن هذا المبحث يركز على توضيح مفهوم تعزيز الأمن المائي في إطار مشاريع التجميل الطبيعي، وبيان أبعاده الرئيسية التي تعتمد عليها الدراسة، وهي: ترشيد استهلاك المياه، استدامة الموارد المائية، تقليل المخاطر المائية، والحوكمة وإدارة المياه. كما يهدف إلى توضيح كيف تُترجم هذه الأبعاد إلى مؤشرات قابلة للقياس والتحليل ضمن السياق البلدي.

2.2 مفهوم الأمن المائي ومؤشراته في السياق الحضري البلدي

يشير مفهوم الأمن المائي في السياق الحضري إلى قدرة الجهات المعنية على إدارة موارد المياه بصورة تضمن تلبية الاحتياجات الحالية مع الحفاظ على حقوق الأجيال القادمة، ويشمل ذلك إدارة العرض والطلب، وحماية الموارد من الهدر والتلوث، وتقليل المخاطر المرتبطة بتغير المناخ أو عدم استقرار الإمداد. وفي مشاريع التجميل الطبيعي، يظهر الأمن المائي بصورة أكثر عملية من خلال ثلاثة محاور متداخلة:

1. **التحكم في الطلب: (Demand Management)** عبر ترشيد الاستهلاك ورفع كفاءة الاستخدام وتقليل الفاقد.

2. **استدامة المصادر: (Resource Sustainability)** عبر تعظيم الاستفادة من المصادر المتاحة بصورة مستدامة—خصوصًا المياه المعالجة—والحد من الاعتماد على المياه العذبة.

3. **إدارة المخاطر والحوكمة: (Risk & Governance)** عبر القدرة على التنبؤ بالمشكلات التشغيلية والاستجابة لها، ووجود سياسات ومتابعة ورقابة تضمن الانضباط والاستمرارية.

وبناء على ذلك، لا يُقاس الأمن المائي داخل مشاريع التجميل الطبيعي فقط بكمية المياه التي يتم توفيرها، بل يُقاس كذلك بمدى استدامة المورد، ومستوى القدرة على مواجهة المخاطر، وجودة الحوكمة والإدارة التي توجه عملية الاستخدام.

2.3. البعد الأول: ترشيد استهلاك المياه (Water Consumption Rationalization)

يُعد ترشيد استهلاك المياه أحد أكثر أبعاد الأمن المائي ارتباطاً بالتطبيق العملي داخل مشاريع التجميل الطبيعي، لأنه يعكس قدرة المشروع على خفض الاستهلاك غير الضروري وتقليل الفاقد دون التأثير السلبي على جودة الغطاء النباتي واستدامة الأصول الزراعية. ويأخذ هذا البعد أهمية خاصة في البيئات الحضرية الجافة، حيث يمثل ترشيد الاستهلاك مدخلاً مباشراً لتقليل الضغط على منظومة الإمداد وتقليل الكلفة التشغيلية غير المباشرة المرتبطة بالتشغيل الزائد.

2.3.1 مفهوم ترشيد استهلاك المياه في مشاريع التجميل الطبيعي

يقصد بترشيد الاستهلاك: تطبيق إجراءات وممارسات تشغيلية وإدارية تؤدي إلى تقليل الاستهلاك الفعلي للمياه إلى المستوى الأمثل الذي يحقق احتياج النبات دون إسراف، ويحد من الهدر الناتج عن أخطاء الجدولة أو سوء الضبط أو التسريبات. وبذلك يختلف ترشيد الاستهلاك عن "تقليل الري" بشكل عشوائي؛ لأنه يستند إلى منطق الإدارة الرشيدة التي توازن بين الاحتياج الزراعي وندرة المورد.

2.3.2 مؤشرات ترشيد الاستهلاك

يمكن التعبير عن هذا البعد عبر مؤشرات تطبيقية، من أبرزها:

1. خفض الاستهلاك والفاقد الناتج عن الري الزائد أو التشغيل في أوقات غير مناسبة.
2. تطبيق سياسات ترشيد واضحة داخل المشاريع، بحيث تكون مستندة إلى معايير تشغيل وليس إلى اجتهادات فردية.
3. متابعة الاستهلاك بصورة دورية ومقارنته بالمستهدفات أو المتوسطات التشغيلية.
4. ضبط البرامج وفق الموسم والظروف المناخية بما يمنع استمرار نفس البرنامج طوال العام رغم اختلاف الاحتياج.
5. التعامل السريع مع مصادر الفاقد مثل التسريبات أو الأعطال التي تسبب فقدًا غير ملحوظ إذا تأخر إصلاحها.

2.3.3 علاقة ترشيد الاستهلاك بنظم الري الذكية

من الناحية النظرية، يمثل ترشيد الاستهلاك الناتج الطبيعي لتبني نظم الري الذكية والمستدامة، لأن التشغيل القائم على البيانات يقلل الانحرافات ويضبط توقيت وكمية الري وفق الاحتياج الفعلي. كما أن المراقبة الرقمية والتقارير تساعد على كشف الانحرافات وتصحيحها، مما يجعل الترشيح نتيجة مترتبة على رفع دقة القرار التشغيلي وتعزيز المتابعة والرقابة.

خلاصة البعد الأول

ترشيد الاستهلاك يمثل بعداً عملياً مباشراً للأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي، ويعكس قدرة المشروع على تقليل الفاقد وتحقيق تشغيل أكثر كفاءة. ومن هنا ينتقل التحليل إلى البعد الثاني الذي يتناول استدامة الموارد المائية بوصفها معياراً طويل المدى يتجاوز إدارة الاستهلاك إلى إدارة المصدر ذاته.

2.4 البعد الثاني: استدامة الموارد المائية (Water Resources Sustainability)

يركز هذا البعد على استمرارية المورد المائي وقدرة المشاريع على الاعتماد على مصادر أكثر استدامة وتقليل الضغط على الموارد العذبة. وفي السياق المحلي، ترتبط استدامة الموارد بتحسين إدارة المياه المعالجة وتعظيم الاستفادة منها، إلى جانب رفع كفاءة الاستخدام وتقليل الاعتماد على مصادر مرتفعة الكلفة أو شديدة الحساسية مثل المياه المحلاة.

2.4.1 مفهوم استدامة الموارد المائية

يقصد باستدامة الموارد المائية: ضمان استمرار توفر المياه اللازمة لمشاريع التجميل الطبيعي على المدى الطويل من خلال:

- تقليل الاعتماد على المياه العذبة قدر الإمكان،
- تعظيم الاستفادة من المياه المعالجة كمصدر بديل في الري،
- رفع كفاءة إدارة التوزيع وتقليل الفاقد بما يحافظ على المورد ويُحسن استقراره.

وبذلك يرتبط هذا البعد بمنطق "إدارة المورد" وليس "إدارة الاستهلاك" فقط.

2.4.2 مؤشرات استدامة الموارد المائية

يمكن تمثيل هذا البعد عبر مؤشرات عملية، أبرزها:

1. تقليل الاعتماد على المياه العذبة مقابل رفع الاعتماد على مصادر بديلة أكثر استدامة.
 2. زيادة كفاءة إدارة المياه المعالجة داخل مشاريع التجميل الطبيعي.
 3. رفع قدرة المشاريع على الاستمرار في توفير الاحتياجات المائية دون انقطاعات أو ضغط مفرط على المورد.
 4. تحقيق توازن بين متطلبات الري واستمرارية المورد بما يتسق مع مبادئ الاستدامة طويلة المدى.
- 2.4.3 كيف تسهم نظم الري الذكية في استدامة الموارد؟**
- تسهم نظم الري الذكية والمستدامة في هذا البعد عبر:
- رفع كفاءة التشغيل بما يقلل الاستهلاك الإجمالي، وبالتالي يقل الضغط على المورد.
 - دعم إدارة المياه المعالجة بصورة أفضل من خلال الضبط الدقيق للجرعات والحد من التشغيل غير المنضبط الذي قد يرفع احتمالية تراكم الأملاح أو سوء الاستخدام.
 - دعم بناء سياسات تشغيل مبنية على بيانات الاستهلاك، ما يساعد الجهات المعنية على التخطيط الأفضل للموارد وتوزيعها.

خلاصة البعد الثاني

استدامة الموارد المائية تمثل البعد الذي يترجم ترشيد الاستهلاك إلى أثر طويل المدى على استمرارية المورد، وتعكس قدرة المشاريع على التوافق مع توجهات الاستدامة عبر تحسين إدارة المصادر المتاحة. وفي البعد التالي يتم تناول تقليل المخاطر المائية بوصفه عنصرًا أساسيًا لضمان استقرار الخدمة وحماية المشاريع من آثار الأعطال أو نقص الإمداد.

2.5 البعد الثالث: تقليل المخاطر المائية (Water Risk Reduction)

يركز هذا البعد على قدرة مشاريع التجميل الطبيعي على تقليل احتمالات التعرض لمخاطر مرتبطة بالمياه، سواء كانت مخاطر تشغيلية (مثل التسريبات والأعطال)، أو مخاطر مرتبطة بالإمداد (مثل عدم الاستقرار أو النقص)، أو مخاطر مرتبطة بالظروف المناخية (مثل الذروة الحرارية وفترات الجفاف). وتُعد إدارة المخاطر عنصرًا جوهريًا للأمن المائي، لأن وفرة المياه وحدها لا تكفي إذا كانت الخدمة غير مستقرة أو معرضة لانقطاعات أو فاقد مستمر.

2.5.1 مفهوم المخاطر المائية في مشاريع التجميل الطبيعي

يقصد بالمخاطر المائية: أي عوامل قد تؤدي إلى عدم استقرار استخدام المياه أو ارتفاع الفاقد أو تعطل الخدمة بما ينعكس سلباً على استدامة الأصول الزراعية أو كفاءة إدارة المورد. وتتضمن هذه المخاطر عادة:

- التسريبات والأعطال التي ترفع الهدر.
- عدم استقرار الإمداد أو الانقطاعات.
- الارتفاع المفاجئ في الاستهلاك بسبب أخطاء تشغيلية.
- تأثيرات المناخ (حرارة/رياح/جفاف) على الاحتياج المائي وعلى استقرار الأداء.

2.5.2 مؤشرات تقليل المخاطر المائية

يمكن التعبير عن هذا البعد عبر مؤشرات مثل:

1. خفض مخاطر نقص المياه وتأثيره على استمرارية ري المساحات الخضراء.
2. دعم القدرة على مواجهة فترات الجفاف والذروة المناخية من خلال مرونة التشغيل وضبط البرامج.
3. الكشف المبكر عن التسريبات والأعطال وتقليل زمن الاستجابة.
4. تقليل احتمالات الاستهلاك غير الطبيعي عبر المراقبة والتنبيهات والإجراءات التصحيحية.

2.5.3 علاقة نظم الري الذكية بتقليل المخاطر

تسهم نظم الري الذكية في تقليل المخاطر عبر:

- المراقبة المستمرة للاستهلاك والضغط والتدفق بما يساعد على اكتشاف الانحرافات مبكراً.
- التشغيل المرن الذي يسمح بتعديل البرامج وفق الظروف المناخية، مما يقلل مخاطر الإجهاد النباتي أو الري غير الملائم.
- تحسين الاستجابة للأعطال عبر التنبيهات الرقمية والتوثيق، مما يقلل زمن الهدر ويحمي الأصول.

خلاصة البعد الثالث

يمثل تقليل المخاطر المائية عنصراً حاسماً في الأمن المائي لأنه يضمن استقرار الخدمة وحماية المشروع من الفاقد غير المرئي والانقطاعات التشغيلية. ويتكامل هذا البعد مع البعد الرابع المتعلق بالحوكمة وإدارة المياه، لأن إدارة المخاطر بكفاءة تتطلب سياسات واضحة ومتابعة وتقارير وآليات اتخاذ قرار رشيدة.

2.6 البعد الرابع: الحوكمة وإدارة المياه (Water Governance & Management)

يمثل هذا البعد الإطار التنظيمي والإداري الذي يُحوّل إدارة المياه داخل مشاريع التجميل الطبيعي من "تشغيل يومي" إلى منظومة منضبطة تعتمد على السياسات والمتابعة والرقابة واتخاذ القرار المبني على البيانات. وتزداد أهمية الحوكمة في مشاريع التجميل الطبيعي لأنها تجمع بين عناصر متعددة: مورد مائي حساس، أصول زراعية يجب الحفاظ عليها، تشغيل متواصل، ومسؤوليات موزعة بين جهات متعددة (إشراف/تنفيذ/تشغيل)، مما يجعل الحوكمة عنصراً حاسماً لضمان الاتساق والاستمرارية وتقليل الهدر.

2.6.1 مفهوم الحوكمة وإدارة المياه في المشاريع البلدية

يقصد بحوكمة وإدارة المياه: مجموعة السياسات والإجراءات والآليات التي تضمن:

- وضوح قواعد إدارة المياه داخل المشروع (ما هي السياسات؟ من يقرر؟ كيف تُراقب النتائج؟).
 - استمرارية المتابعة والتقييم من خلال مؤشرات قياس وتقارير دورية.
 - الالتزام بالمعايير البيئية والتشغيلية التي تضبط الاستخدام وتمنع الانحرافات.
 - اتخاذ قرارات تصحيحية عند ظهور استهلاك غير طبيعي أو حالات هدر أو قصور في الأداء.
- وبالتالي فإن الحوكمة ليست مجرد "تعليمات"، بل هي نظام إدارة يضمن أن تشغيل الشبكة يتوافق مع أهداف الأمن المائي والاستدامة.

2.6.2 مؤشرات الحوكمة وإدارة المياه

يمكن التعبير عن هذا البعد من خلال مؤشرات عملية، أبرزها:

1. وجود سياسات واضحة لإدارة المياه داخل مشاريع التجميل الطبيعي (ترشيد، متابعة، معايير تشغيل).
2. متابعة الاستهلاك عبر تقارير دورية تسمح بتقييم الأداء وتحديد الانحرافات.
3. الالتزام بالمعايير البيئية ذات العلاقة التي تضمن استدامة الاستخدام وحماية البيئة.

4. تحسين إدارة الموارد المائية داخل المشاريع من خلال التنظيم والمتابعة واتخاذ القرار الرشيد.
5. القدرة على التدخل عند الاستهلاك غير الطبيعي أو الهدر عبر إجراءات تصحيحية واضحة ومحددة.

2.6.3 علاقة الحوكمة بتعزيز الأمن المائي

يمثل هذا البعد “الضمانة الإدارية” للأمن المائي داخل المشاريع، لأن أي تحسن في التقنية أو التشغيل قد يتآكل أثره إذا غابت السياسات والمتابعة. ومن ثم فإن الحوكمة:

- تدعم ترشيد الاستهلاك عبر تحويل الترشيد إلى التزام تشغيلي قابل للمتابعة.
- تعزز استدامة الموارد عبر ضبط سياسات استخدام المياه المعالجة وتقليل الاعتماد غير الرشيد على مصادر أعلى حساسية.
- تقلل المخاطر المائية عبر تنظيم إجراءات الاستجابة والإنذار المبكر والتصعيد.
- تضمن أن “البيانات التشغيلية” تتحول إلى قرارات وليس مجرد سجلات.

2.6.4 الحوكمة في سياق الإدارة المبنية على البيانات

في نظم الري الذكية، تبرز الحوكمة بصورة أقوى لأن الإدارة تصبح قادرة على الاعتماد على بيانات الاستهلاك والتنبهات والتقارير. وهذا يخلق فرصة لرفع جودة القرار، لكنه يتطلب في الوقت نفسه وجود إطار واضح:

- من يراجع البيانات؟ وبأي دورية؟
 - ما حدود الاستهلاك المقبولة؟
 - ما الإجراء عند الانحراف؟
 - كيف يتم توثيق المعالجة وقياس التحسن؟
- هذه العناصر تمثل جوهر “حوكمة المياه” داخل مشاريع التجميل الطبيعي.

خلاصة البعد الرابع

يمثل بعد الحوكمة وإدارة المياه عنصراً محورياً في تعزيز الأمن المائي لأنه يضمن استمرارية الأداء وانضباطه، ويحول إدارة المياه إلى عملية مؤسسية قائمة على السياسات والمتابعة والتقارير والالتزام بالمعايير، بما يقلل الهدر ويعظم أثر التقنيات الذكية داخل المشاريع.

2.7 خلاصة المبحث الثاني

تناول هذا المبحث مفهوم تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي بوصفه مفهومًا متعدد الأبعاد لا يقتصر على خفض الاستهلاك فقط، بل يشمل كذلك استدامة الموارد وتقليل المخاطر وتحسين الحوكمة. وقد تم تحليل المتغير التابع في هذه الدراسة عبر أربعة أبعاد رئيسية: ترشيد استهلاك المياه بوصفه المدخل المباشر لتقليل الضغط على الموارد، واستدامة الموارد المائية بوصفها معيارًا طويل المدى مرتبطًا بإدارة المصدر وتحسين الاعتماد على المياه المعالجة، وتقليل المخاطر المائية بوصفه عنصر الاستقرار والمرونة في مواجهة الأعطال أو نقص الإمداد أو الذروة المناخية، والحوكمة وإدارة المياه بوصفها الإطار التنظيمي الذي يضمن تحويل البيانات والتقارير إلى قرارات وسياسات منضبطة. وبذلك يمهّد هذا المبحث للانتقال إلى المبحث الثالث الذي يفسر العلاقة بين نظم الري الذكية والمستدامة وبين تعزيز الأمن المائي، ويوضح الآليات النظرية التي تبرر فروض الدراسة.

المبحث الثالث: تفسير العلاقة بين نظم الري الذكية والمستدامة وتعزيز الأمن المائي

3.1 مقدمة المبحث

يهدف هذا المبحث إلى تفسير العلاقة المتوقعة بين المتغير المستقل (نظم الري الذكية والمستدامة بأبعادها) والمتغير التابع (تعزيز الأمن المائي بأبعاده)، من خلال توضيح الآليات السببية التي تشرح كيف ينتج عن رفع مستوى تطبيق التقنيات الذكية وتحسين التشغيل والصيانة والاستدامة البيئية أثر ملموس على ترشيد الاستهلاك واستدامة الموارد وتقليل المخاطر وتحسين الحوكمة وإدارة المياه داخل مشاريع التجميل الطبيعي. كما يسعى هذا المبحث إلى ربط هذه الآليات بالأطر النظرية الداعمة للدراسة، بما يوفر أساسًا علميًا لتفسير نتائج التحليل الإحصائي واختبار فروض الدراسة.

كما تدعم الأدبيات الحديثة هذا التفسير، إذ تشير إلى أن نظم الري الذكية في البيئات الجافة تسهم في تحسين الإنتاجية المائية ورفع كفاءة استخدام المياه وتعزيز القدرة على التكيف مع ضغوط المناخ وندرة الموارد (Ahmed et al., 2023).

3.2 آليات التأثير السببي بين نظم الري الذكية وتعزيز الأمن المائي

لفهم العلاقة بين نظم الري الذكية والمستدامة وتعزيز الأمن المائي داخل مشاريع التجميل الطبيعي، لا يكفي الاكتفاء بوصف وجود تقنية أو نظام تحكم؛ بل يتطلب الأمر تفسير كيف يتحول التطبيق التقني والتشغيلي إلى نتائج مائية قابلة للقياس. وفي هذا السياق، يمكن صياغة آليات التأثير السببي على أساس

منطقي يربط بين أبعاد المتغير المستقل (نظم الري الذكية والمستدامة) وأبعاد المتغير التابع (تعزيز الأمن المائي) على النحو الآتي:

3.2.1 من استخدام التقنيات الذكية إلى ترشيد الاستهلاك وتقليل الفاقد

عندما تعتمد مشاريع التجميل الطبيعي على حساسات رطوبة التربة وبيانات الطقس والمراقبة الرقمية للاستهلاك، يصبح قرار الري قائمًا على بيانات فعلية، مما يؤدي إلى:

- منع التشغيل في ظروف غير مناسبة (مثل الري عند ارتفاع الرياح أو ارتفاع التبخر).
- ضبط كمية المياه وفق احتياج النبات والتربة بدل الجرعات الثابتة.
- تقليل التفاوت بين المناطق الناتج عن الاجتهادات التشغيلية.

وبذلك تتحول التقنيات الذكية إلى وسيلة مباشرة لترشيد الاستهلاك، لأنها تقلل الري الزائد وتخفض الفاقد الناتج عن سوء الضبط، وهو ما ينعكس على خفض الاستهلاك الإجمالي دون الإضرار بجودة الغطاء النباتي.

3.2.2 من كفاءة استخدام المياه إلى استدامة الموارد المائية

تمثل كفاءة الاستخدام حلقة وصل بين "إدارة الطلب" و"إدارة المورد". فكلما تحسنت كفاءة الاستخدام—أي تم تحقيق احتياج النبات بأقل فاقد—انعكس ذلك على:

- تقليل الضغط على منظومة الإمداد.
 - تعزيز قدرة المشاريع على الاستمرار بالاعتماد على موارد أكثر استدامة.
 - دعم الاستقرار طويل المدى في توفير الاحتياجات المائية للمساحات الخضراء.
- وبالتالي، فإن رفع الكفاءة لا يحقق وفورات تشغيلية فقط، بل يُنتج أثرًا استراتيجيًا يتمثل في تحسين استدامة الموارد وتقليل حساسية المشاريع لأي نقص محتمل في الإمداد.

3.2.3 من الاستدامة البيئية إلى تعزيز أمن المورد واستقرار الأصول الزراعية

يرتبط الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي باستقرار الأصول الزراعية بقدر ارتباطه بالمياه نفسها. فالتشغيل غير الرشيد قد يؤدي إلى:

- تدهور التربة وزيادة الملوحة.
- إجهاد النباتات نتيجة سوء التوازن بين الري والاحتياج.
- تزايد الأعطال والفاقد البيئي بسبب الجريان السطحي أو التشبع.

وعليه، فإن الاستدامة البيئية في نظم الري تعزز الأمن المائي عبر حماية "بيئة المشروع" نفسها، لأنها تقلل الآثار السلبية طويلة المدى وتحافظ على جودة التربة والنبات، بما يضمن استمرارية الخدمة واستقرار الحاجة المائية دون زيادات غير مبررة.

3.2.4 من إدارة وتشغيل نظم الري إلى تقليل المخاطر المائية

تقليل المخاطر المائية يعتمد بصورة كبيرة على فعالية الإدارة التشغيلية، لأن كثيراً من المخاطر داخل مشاريع التجميل الطبيعي ترتبط بأسباب تشغيلية مثل التسريبات والأعطال أو بطء الاستجابة. وعندما تكون الإدارة والتشغيل فعالين (خطط صيانة، تدريب، سرعة معالجة الأعطال)، ينتج عن ذلك:

- تقليل زمن التسريبات غير المرئية وبالتالي خفض الهدر.
 - تقليل احتمالات الانقطاعات التشغيلية أو التدهور المفاجئ للغطاء النباتي.
 - رفع مرونة المشروع في التعامل مع فترات الذروة المناخية أو تغير الاحتياج المائي.
- وبذلك فإن الإدارة والتشغيل يمثلان الآلية الواقعية التي تحول "الري الذكي" إلى استقرار وتقليل مخاطر.

3.2.5 من البيانات التشغيلية إلى الحوكمة وإدارة المياه

تتميز نظم الري الذكية بأنها تنتج بيانات مستمرة (استهلاك، أعطال، انحرافات، تقارير). لكن قيمة هذه البيانات لا تتحقق إلا إذا وُجد إطار حوكمي يحول البيانات إلى قرارات. لذلك، فإن العلاقة بين التطبيق الذكي والحوكمة تظهر من خلال:

- وضع سياسات مبنية على بيانات الاستهلاك الفعلية بدل الافتراضات.
 - اعتماد تقارير دورية لمتابعة الأداء ومؤشرات الانحراف.
 - تحديد مسؤوليات واضحة للاستجابة عند الاستهلاك غير الطبيعي أو الهدر.
 - رفع مستوى الالتزام بالمعايير البيئية والتشغيلية.
- وبذلك تصبح الحوكمة ليست عنصراً منفصلاً عن التقنية، بل نتيجة مباشرة لوجود معلومات قابلة للمراجعة والمساءلة واتخاذ القرار.

3.2 خلاصة

يمكن تلخيص آليات التأثير السببي في أن نظم الري الذكية والمستدامة تعزز الأمن المائي عبر أربعة مسارات مترابطة:

(1) تحسين دقة قرار الري → ترشيد الاستهلاك،

- (2) رفع كفاءة الاستخدام → استدامة الموارد،
(3) دعم الاستدامة البيئية → استقرار الأصول وتقليل الآثار طويلة المدى،
(4) رفع كفاءة التشغيل وإنتاج بيانات قابلة للمتابعة → تقليل المخاطر وتحسين الحوكمة وإدارة المياه.

3.3.3.1 توضيف الأطر النظرية الداعمة لتفسير العلاقة

تعتمد الدراسة في تفسير العلاقة بين نظم الري الذكية والمستدامة وتعزيز الأمن المائي على مجموعة من الأطر النظرية التي تُسهم في فهم التحول من "التقنية" إلى "إدارة المورد" بصورة مستدامة، وذلك على النحو الآتي:

3.3.3.1 إطار الإدارة المتكاملة للموارد المائية (IWRM)

يوفر IWRM أساسًا نظريًا لتفسير كيف يؤدي تحسين إدارة الطلب على المياه ورفع كفاءة التوزيع والمتابعة إلى استخدام أمثل للموارد داخل المشاريع. وفي سياق مشاريع التجميل الطبيعي، يُفهم هذا الإطار بوصفه منهجًا يدعم دمج البيانات التشغيلية والاعتبارات البيئية في قرارات الري، بما يحقق ترشيد الاستهلاك واستدامة المورد وتقليل الفاقد.

3.3.3.2 إطار الاستدامة البيئية (Sustainability Theory)

يدعم هذا الإطار تفسير الأثر طويل المدى لنظم الري الذكية، حيث يربط بين التشغيل الرشيد وحماية التربة والنبات وتقليل الآثار البيئية السلبية، بما يضمن استمرارية المساحات الخضراء دون استنزاف المورد المائي. ومن ثم يفسر هذا الإطار كيف يمكن للتحول نحو الري المستدام أن يعزز الأمن المائي من خلال دعم استدامة الموارد وتقليل المخاطر على المدى الطويل.

3.3.3.3 إطار الحوكمة المؤسسية (Institutional Governance)

يُفسر هذا الإطار جانب "إدارة المياه" بوصفه منظومة سياسات ومتابعة ومساءلة، ويؤكد أن نجاح تطبيق أي تقنية يعتمد على وجود تنظيم فعال يُحوّل البيانات إلى قرارات ويضمن الالتزام بالمعايير. وفي الدراسة الحالية، يُستخدم هذا الإطار لتفسير بُعد الحوكمة وإدارة المياه باعتباره أحد مخرجات الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي.

3.3.3.4 النموذج السببي في البحوث الكمية (Causal Model Approach)

يسهم النموذج السببي في ربط المتغير المستقل بالمتغير التابع بصورة قابلة للاختبار الإحصائي، من خلال قياس كل متغير عبر أبعاده وتحليل العلاقات بينها. ويتيح هذا المدخل التحقق من اتجاه العلاقة

ودلالاتها الإحصائية، وهو ما يتسق مع تصميم الدراسة الكمي واستخدام التحليل الإحصائي لاختبار الفروض.

3.4 الربط النهائي بفروض الدراسة (H1-H5)

انطلاقاً من آليات التأثير السابقة، وبالاستناد إلى الأطر النظرية الداعمة، تتم صياغة فروض الدراسة بما يعكس أن رفع مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة من شأنه أن ينعكس إيجاباً على أبعاد الأمن المائي داخل مشاريع التجميل الطبيعي، وذلك من خلال:

- دعم ترشيد استهلاك المياه. (H1)
 - تعزيز استدامة الموارد المائية. (H2)
 - تقليل المخاطر المائية. (H3)
 - تحسين الحوكمة وإدارة المياه. (H4)
 - رفع مستوى الأمن المائي الإجمالي بوصفه مؤشراً مركباً. (H5)
- وبذلك يكتمل الإطار النظري في هذه الدراسة من خلال تقديم تفسير علمي للعلاقة المتوقعة بين المتغيرين، بما يمهد لعرض منهجية الدراسة في الفصل الثالث وتحليل النتائج في الفصول اللاحقة.

خاتمة الفصل الثاني

تناول هذا الفصل الإطار النظري الذي تستند إليه الدراسة في تفسير العلاقة بين نظم الري الذكية والمستدامة وبين تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبوظبي. وقد بدأ الفصل بعرض المفهوم النظري لنظم الري الذكية والمستدامة ومكوناتها، ثم تحليل أبعادها الأربعة المتمثلة في : استخدام التقنيات الذكية، كفاءة استخدام المياه، الاستدامة البيئية، وإدارة وتشغيل نظم الري. كما تناول الفصل مفهوم تعزيز الأمن المائي في السياق الحضري البلدي، وبيّن أبعاده الأربعة المتمثلة في : ترشيد الاستهلاك، استدامة الموارد المائية، تقليل المخاطر المائية، والحوكمة وإدارة المياه.

وفي المبحث الثالث، تم تفسير العلاقة السببية بين المتغيرين من خلال آليات تأثير واضحة تربط التطبيق التقني والتشغيلي بنتائج مائية قابلة للقياس، كما تم توظيف الأطر النظرية الداعمة (الإدارة المتكاملة

للموارد المائية، الاستدامة البيئية، الحوكمة المؤسسية، والنموذج السببي في البحوث الكمية) لتفسير منطق العلاقة المتوقعة وتبرير فروض الدراسة. (H1-H5)

وبذلك، يوفّر هذا الفصل أساساً علمياً متماسكاً يمهد للانتقال إلى الفصل الثالث الذي يتناول **منهجية الدراسة** وإجراءات جمع البيانات وأدوات القياس وأساليب التحليل الإحصائي المستخدمة لاختبار الفروض والتحقق من العلاقات بين المتغيرات.

الفصل الثالث

منهجية الدراسة

مقدمة

يهدف هذا الفصل إلى عرض المنهجية العلمية التي تم الاعتماد عليها في الدراسة الحالية لاختبار فروض البحث والإجابة عن تساؤلاته، وذلك من خلال تحديد الأسس المنهجية لجمع البيانات وتحليلها بصورة منظمة تضمن الموضوعية والدقة. وتأتي أهمية هذا الفصل من كونه يوضح "كيف" تم الانتقال من الإطار النظري الذي تم بناؤه في الفصل السابق إلى نتائج قابلة للقياس والتحليل، بحيث يمكن التحقق من العلاقة بين تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي.

وتعتمد الدراسة على منهجية تتناسب مع طبيعة المشكلة البحثية التي لا تقتصر على جانب تقني بحت، بل تمتد لتشمل أبعادًا تشغيلية وإدارية مرتبطة بكفاءة التطبيق داخل المشاريع؛ إذ إن نجاح نظم الري الذكية لا يرتبط فقط بتوافر الأجهزة والأنظمة، وإنما يتأثر كذلك بجودة التشغيل والمتابعة والالتزام بإجراءات إدارة المياه، بما ينعكس على مؤشرات ترشيد الاستهلاك واستدامة الموارد وتقليل المخاطر وتحسين الحوكمة وإدارة المياه. ومن هنا، فإن الفصل الثالث يوضح تصميم البحث، ومجتمع الدراسة الذي تنتمي إليه العينة المستهدفة، وأداة جمع البيانات (الاستبانة)، وإجراءات تطبيقها، إضافة إلى أساليب التحليل الإحصائي المناسبة لاستخلاص النتائج واختبار الفروض.

كما يوضح الفصل المبررات العلمية لاختيار مجتمع البحث والعينة، وآلية ضمان جودة البيانات من خلال التحقق من صدق وثبات الأداة، بما يضمن أن النتائج المستخلصة تمثل واقع تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة في المشاريع البلدية بصورة يمكن الاستناد إليها في صياغة التوصيات العملية التي تخدم الجهات ذات العلاقة، وتسهم في دعم توجهات الاستدامة والأمن المائي على مستوى الإمارة.

المنهجية وطرق البحث.

تعتمد هذه الدراسة على منهجية علمية منظمة تهدف إلى تحليل العلاقة بين تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي، وذلك من خلال جمع بيانات ميدانية من الأطراف الأكثر ارتباطاً بالتطبيق الواقعي (موظفو الجهات البلدية، شركات التشغيل والصيانة/المقاولات، والاستشاريون والخبراء). وقد تم تصميم منهجية الدراسة بما ينسجم مع طبيعة المشكلة البحثية التي تجمع بين أبعاد تقنية وتشغيلية وحوكومية، وبما يضمن تحقيق الدقة والموضوعية وإمكانية تفسير النتائج بصورة علمية قابلة للاعتماد.

أولاً: تصميم البحث (Research Design)

اعتمدت الدراسة تصميمًا وصفيًا-تحليليًا (Descriptive-Analytical Design) ذا طبيعة مقطعية (Cross-Sectional)، حيث تم جمع البيانات خلال فترة زمنية محددة بهدف قياس مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة داخل مشاريع التجميل الطبيعي، ثم تحليل أثر ذلك على مؤشرات الأمن المائي، واختبار العلاقات الإحصائية بين المتغيرات الرئيسة كما تم قياسها في هذه الدراسة. ويُعد هذا التصميم مناسباً للدراسة لأنه يسمح بوصف الظاهرة كما هي في واقعها التطبيقي، ثم الانتقال إلى تحليل العلاقات بين المتغيرات والتحقق من دلالتها الإحصائية بما يتوافق مع فروض الدراسة.

ثانياً: المدخل المنهجي للدراسة (Research Approach)

تم الاعتماد على مدخل بحث كمي تطبيقي (Quantitative Applied Approach)، وذلك من خلال استخدام الاستبانة بوصفها الأداة الأساسية لجمع بيانات قابلة للقياس حول متغيرات الدراسة، بما يتيح تحليل العلاقة بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي. ويُعد هذا المدخل مناسباً لطبيعة الدراسة لأنه يسمح باختبار فروضها والتحقق من دلالة العلاقات الإحصائية بين المتغيرات استناداً إلى بيانات ميدانية من الفئات المهنية الأكثر ارتباطاً بالتطبيق الواقعي داخل المشاريع البلدية.

ثالثاً: أداة جمع البيانات الرئيسية (الاستبانة) وطبيعة القياس

تعتمد الدراسة على الاستبانة بوصفها الأداة الرئيسية لجمع البيانات، نظراً لقدرتها على قياس اتجاهات وآراء عدد كبير من المشاركين من الفئات الثلاث محل الدراسة، وبما يسمح بتحليل إحصائي موضوعي. وقد تم تصميم الاستبانة وفق مقياس ليكرت الخماسي (Likert Scale) لقياس درجة اتفاق المشاركين مع العبارات من (موافق بشدة) إلى (غير موافق بشدة). وقد تم توزيع فقرات القياس على أبعاد المتغيرين الرئيسين بما ينسجم مع النموذج المفاهيمي للدراسة.

وتتضمن الاستبانة محاور تعكس متغيرات الدراسة كما تم قياسها في هذه الدراسة، على سبيل المثال:

- محور قياس مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة (المتغير المستقل).
- محور قياس مؤشرات تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي (المتغير التابع).

وبذلك يصبح قياس المتغيرات متسقاً مع الإطار النظري والنموذج المفاهيمي وفروض الدراسة.

مقياس القياس والترميز

اعتمدت الدراسة مقياس ليكرت الخماسي لقياس درجة اتفاق المشاركين، وتم ترميز الاستجابات إحصائياً على النحو الآتي:

(1) لا أوافق بشدة، (2) لا أوافق، (3) محايد، (4) أوافق، (5) أوافق بشدة.

وقد جرى تحويل البيانات النصية إلى قيم رقمية قبل التحليل الإحصائي لضمان دقة العمليات الحسابية واختبارات العلاقات.

معياري تفسير المتوسطات الحسابية

لأغراض تفسير المتوسطات الحسابية الناتجة عن مقياس ليكرت الخماسي، تم اعتماد معيار ثلاثي المستويات على النحو الآتي:

- من 1.00 إلى أقل من 2.33 = درجة منخفضة
- من 2.33 إلى أقل من 3.67 = درجة متوسطة
- من 3.67 إلى 5.00 = درجة مرتفعة

تركيب الاستبانة ومحاورها

تتكون الاستبانة في صورتها النهائية من جزأين رئيسيين:

- الجزء الأول: بيانات عامة عن المشارك (مثل النوع الاجتماعي، الفئة العمرية، سنوات الخبرة).
- الجزء الثاني: فقرات القياس، وقد بلغ عددها (32) فقرة موزعة بواقع (4) فقرات لكل بُعد وفق النموذج المفاهيمي للدراسة، على النحو الآتي:

○ المتغير المستقل (نظم الري الذكية والمستدامة):

- استخدام التقنيات الذكية في نظم الري
- كفاءة استخدام المياه
- الاستدامة البيئية لنظم الري

- إدارة وتشغيل نظم الري
- المتغير التابع (تعزيز الأمن المائي):

- ترشيد استهلاك المياه
- استدامة الموارد المائية
- تقليل المخاطر المائية
- الحوكمة وإدارة المياه

رابعاً: إجراءات جمع البيانات (Data Collection Procedures)

تم جمع البيانات وفق خطوات منظمة لضمان جودة النتائج، وتشمل:

1. إعداد نسخة أولية من الاستبانة وفق محاور الدراسة ومتغيراتها.
2. عرض الاستبانة على مجموعة محدودة من المختصين (بلدية/استشاريين/المقاولين) للتحقق من وضوحها وملاءمة العبارات (صدق المحتوى).
3. توزيع الاستبانة على المشاركين المستهدفين من الفئات الثلاث، وجمع الاستجابات خلال فترة زمنية محددة.
4. مراجعة الاستبانات واستبعاد الاستجابات غير المكتملة أو غير الصالحة للتحليل.
5. إدخال البيانات في برنامج SPSS وتجهيزها للتحليل الإحصائي.

خامساً: أساليب تحليل البيانات (Statistical Analysis Method)

تم تحليل بيانات الاستبانة باستخدام برنامج SPSS عبر:

- التحليل الوصفي: المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، التكرارات والنسب المئوية لوصف اتجاهات العينة.
- اختبار الثبات: (Cronbach's Alpha) للتحقق من اتساق محاور الاستبانة.
- تحليل الارتباط: (Pearson Correlation) لقياس قوة واتجاه العلاقة بين المتغيرات بما يخدم اختبار الفروض.

- تحليل الانحدار (Regression Analysis) (عند الحاجة): لقياس مقدار تأثير مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة (المتغير المستقل) على مستوى تعزيز الأمن المائي (المتغير التابع)، وذلك إما على المستوى الكلي، أو عبر اختبار تأثير أبعاد المتغير المستقل مجتمعة في المتغير التابع الكلي ، وفقاً لفرضيات الدراسة.

سادساً: ضمان جودة البيانات (Validity & Reliability)

لضمان جودة القياس، تم التحقق من:

- صدق المحتوى عبر مراجعة الاستبانة من قبل خبراء مختصين لضمان شموليتها ووضوحها وارتباطها بمحاور الدراسة.
- ثبات الأداة باستخدام معامل كرونباخ ألفا، بحيث يُعد الثبات مقبولاً إحصائياً إذا تجاوز (0.70)، بما يدعم موثوقية النتائج المستخلصة.

مجتمع البحث

يتمثل مجتمع الدراسة في الجهات والأفراد ذوي العلاقة المباشرة بتخطيط وتنفيذ وتشغيل وصيانة مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي، وبالأخص الأطراف المرتبطة بتطبيق نظم الري الذكية والمستدامة داخل هذه المشاريع، سواء على مستوى اتخاذ القرار، أو الإشراف والمتابعة، أو التنفيذ الميداني والتشغيل اليومي. ويُعد هذا المجتمع مجتمعًا "مهنياً تخصصياً" لأن أعضائه يمتلكون خبرة مباشرة في التعامل مع شبكات الري، وأنظمة التحكم، وآليات التشغيل والصيانة، ويشاركون فعلياً في عمليات المتابعة والتقييم المرتبطة باستهلاك المياه وجودة الأداء التشغيلي.

ومن أجل ضمان شمولية التقييم وعدم الاقتصار على زاوية واحدة (تقنية أو تشغيلية أو إدارية)، يشمل مجتمع البحث ثلاث فئات رئيسية مترابطة تمثل سلسلة القيمة الكاملة لتطبيق نظم الري الذكية في المشاريع البلدية:

1- موظفو الجهات البلدية

وتشمل هذه الفئة المهندسين والمشرفين والمسؤولين المعنيين بإدارة مشاريع التجميل الطبيعي ومتابعة شبكات الري، ووضع أو اعتماد سياسات التشغيل، وتقييم مستوى الالتزام بالمعايير والمواصفات، إضافة إلى متابعة مؤشرات الاستهلاك ومعالجة الملاحظات المرتبطة بالهدر أو الأعطال أو ضعف الأداء. وتمثل هذه الفئة الجانب التنظيمي والرقابي وصاحب المصلحة الرئيسي في ضمان تحقيق الأهداف الاستراتيجية للأمن المائي ضمن القطاع البلدي.

2- شركات التشغيل والصيانة والمقاولات

وتشمل هذه الفئة مديري المشاريع، ومهندسي وفنيي التشغيل والصيانة، والمشرفين الميدانيين المسؤولين عن التشغيل الفعلي للأنظمة، وبرمجة وحدات التحكم، ومتابعة أداء الشبكات، وتنفيذ أعمال الصيانة الدورية ومعالجة الأعطال الطارئة، بما في ذلك التعامل مع التسريبات، واستبدال القطع، وضبط برامج الري وفق المتطلبات الموسمية. وتُعد هذه الفئة الأكثر ارتباطاً بالتطبيق العملي اليومي، وبالتالي فهي مصدر أساسي للبيانات المتعلقة بالتحديات التشغيلية والفنية التي قد تؤثر على كفاءة نظم الري الذكية واستمراريتها.

3- الاستشاريون والخبراء

وتشمل هذه الفئة الاستشاريين المشرفين على مراقبة جودة التنفيذ والتشغيل والصيانة، وتقييم مدى الالتزام بالمواصفات والمعايير الفنية، وتحليل الأداء التشغيلي واستهلاك المياه، ورصد أسباب القصور أو التفاوت بين المواقع، واقتراح إجراءات تحسين مبنية على الخبرة الفنية والمعرفة المؤسسية. وتمثل هذه الفئة عنصراً

مهماً في تقديم “تفسير مهني محايد” للواقع التطبيقي، وربط النتائج التقنية بالأبعاد المؤسسية والحوكومية، وهو ما يتوافق مع توجه الدراسة في تحليل الدور التكميلي بين التقنية والحوكمة.

وقد تم اختيار هذا المجتمع البحثي لأنه الأكثر تماساً مع واقع تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة في إمارة أبو ظبي، ولأنه يضم الأطراف التي تمتلك معلومات تشغيلية وإدارية متكاملة تتيح تقييم مستوى التطبيق وانعكاسه على مؤشرات تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي. كما أن تنوع الفئات داخل مجتمع البحث يساعد على تحقيق توازن في النتائج ويقلل من تحيز التقييم باتجاه جهة واحدة، بما يعزز موثوقية النتائج وقيمتها التطبيقية.

عينة الدراسة

تم اختيار عينة الدراسة من مجتمع البحث الذي يضم الأطراف ذات العلاقة المباشرة بتطبيق نظم الري الذكية والمستدامة في مشاريع التجميل الطبيعي بإمارة أبو ظبي، وتشمل: موظفي الجهات البلدية، وشركات التشغيل والصيانة/المقاولات، والاستشاريين والخبراء. وقد استهدفت الدراسة توزيع الاستبانة على (120) مشاركاً من هذه الفئات، وتم الحصول على (104) استجابة مكتملة وصالحة للتحليل الإحصائي، بنسبة استجابة بلغت (86.7%). ويعكس هذا الحجم تمثيلاً مناسباً للفئات المهنية الرئيسة ذات الصلة بموضوع الدراسة، بما يدعم تحليل العلاقة بين متغيرات الدراسة واختبار فروضها.

البيان	العدد
حجم العينة المستهدف	120
عدد الاستجابات المستلمة	104
عدد الاستجابات الصالحة للتحليل	104
عدد الاستجابات المستبعدة	0
نسبة الاستجابة	86.7%

جدول 2 - ملخص العينة المستهدفة والفعالية ونسبة الاستجابة

تشير بيانات الجدول (2) إلى أن حجم العينة المستهدف بلغ (120) مشاركاً، بينما بلغ عدد الاستجابات المستلمة (104) استجابة، وقد تم اعتمادها جميعاً كاستجابات صالحة للتحليل الإحصائي، بنسبة استجابة بلغت (86.7%). ويُعد هذا المعدل مناسباً لأغراض التحليل الإحصائي في الدراسات المسحية التطبيقية ذات المجتمع التخصصي، كما يدعم موثوقية النتائج وإمكانية اختبار فروض الدراسة على مستوى الأبعاد والمتغيرات الكلية.

1. أسلوب اختيار العينة (Sampling Method)

اعتمدت الدراسة أسلوب العينة القصدية (Purposive Sampling)، نظرًا لأن مجتمع الدراسة مجتمع تخصصي يتطلب اختيار مشاركين لديهم خبرة مباشرة في تشغيل أو متابعة أو إدارة نظم الري الذكية والمستدامة. كما روعي تمثيل الفئات المهنية الرئيسية ذات الصلة بموضوع الدراسة، بما يعزز شمولية الرؤية ويحد من انحياز النتائج نحو فئة واحدة.

2. حجم العينة وتبريره (Sample Size)

تم اعتماد (104) استجابة صالحة للتحليل الإحصائي من أصل (120) استبانة مستهدفة، بنسبة استجابة بلغت (86.7%). ويُعد هذا الحجم مناسبًا لطبيعة الدراسة الحالية لعدة اعتبارات. أولاً، أن مجتمع الدراسة مجتمع تخصصي ومهني محدد، ويضم فئات تمتلك خبرة مباشرة في تخطيط وتنفيذ وتشغيل وصيانة والإشراف على نظم الري الذكية والمستدامة، وهو ما يجعل أسلوب العينة القصدية أكثر ملاءمة من العينات العشوائية في هذا السياق. ثانيًا، أن أداة الدراسة في صورتها النهائية تضمنت (32) فقرة قياس موزعة على (8) أبعاد رئيسية، الأمر الذي يجعل عدد الاستجابات الصالحة كافيًا لإجراء التحليل الوصفي، واختبار ثبات الأداة، وتحليل الارتباط، والانحدار الخطي البسيط والمتعدد على مستوى الأبعاد والمتغيرات الكلية. ثالثًا، أن نموذج الانحدار المتعدد في الدراسة يختبر أثر أربعة أبعاد مستقلة رئيسية، وهو ما يجعل حجم العينة المعتمد مناسبًا لطبيعة التحليل الإحصائي المستخدم، دون توسع مبالغ فيه في عدد المتغيرات المدخلة. وعليه، فإن حجم العينة المعتمد يوفر أساسًا منهجيًا مقبولًا لاختبار فروض الدراسة واستخلاص نتائج قابلة للتفسير في ضوء حدودها البشرية والموضوعية.

3. خصائص العينة (Sample Characteristics)

تتكون العينة من مشاركين ذوي أدوار وظيفية مرتبطة مباشرة بموضوع الدراسة، وتشمل فئات مهنية ذات صلة بتخطيط وتنفيذ وتشغيل وصيانة والإشراف على نظم الري الذكية والمستدامة. كما روعي عند اختيار المشاركين وجود تنوع في الخبرات وسنوات العمل وطبيعة الدور الوظيفي، بما يدعم تمثيل الواقع التشغيلي والمؤسسي للدراسة.

4. توزيع العينة

تم توجيه الاستبانة إلى الفئات المهنية ذات العلاقة المباشرة بتطبيق نظم الري الذكية والمستدامة في مشاريع التجميل الطبيعي (الجهات البلدية، شركات التشغيل والصيانة/المقاولات، والاستشاريون). وتم اعتماد (104) استجابة مكتملة وصالحة للتحليل الإحصائي. ويعرض الفصل الرابع التوزيع الفعلي لخصائص العينة وفق المتغيرات الديموغرافية المعتمدة في الدراسة.

حدود البحث

أولاً: الحدود المكانية (الجغرافية):

تقتصر هذه الدراسة على نطاق إمارة أبو ظبي، وبشكل أكثر تحديداً على مشاريع التجميل الطبيعي والمرافق الترفيهية والغابات التي تشرف عليها دائرة البلديات والنقل - مركز الوثبة.

وقد تم اختيار هذا النطاق المكاني لعدة أسباب:

- لأن إمارة أبو ظبي تعتبر الأكثر تطبيقاً لتقنيات الري الذكي ضمن مشاريعها التجميلية مقارنة ببقية الإمارات.
- لأنها تمتلك قاعدة بيانات رقمية متقدمة ومتكاملة في مجال إدارة الأصول والبيانات والتشغيل التي تسهل عمليات التحليل الكمي والمقارن.
- لأنها تضم بيانات متنوعة (مدن، ضواحي، مناطق صحراوية) تمثل نموذج مثالي لدراسة كفاءة الأنظمة الذكية في ظروف مناخية متغيرة.

وبذلك، فإن نتائج الدراسة تعبر عن واقع مشاريع التجميل الطبيعي في أبو ظبي على وجه التحديد.

ثانياً : الحدود الزمانية:

تتم هذه الدراسة خلال العام 2026.

ثالثاً: الحدود الموضوعية (المحورية):

تتمحور الدراسة حول تحليل دور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي، من دون التوسع في دراسة كافة الجوانب الأخرى التي ترتبط بإدارة المياه في القطاعات الصناعية أو الزراعية.

وتتحدد الحدود الموضوعية في النقاط التالية:

- دراسة آثار نظم الري الذكية في مشاريع التجميل الطبيعي فقط، وليس في مجالات الزراعة الإنتاجية أو المزارع التجارية.
- تحليل العلاقة بين أبعاد تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وأبعاد تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي، بما يشمل الجوانب التشغيلية والحوكومية كما تم قياسها في هذه الدراسة.
- عدم التطرق لتفاصيل التصميم الهندسي للأنظمة الميكانيكية أو الكهربائية، والاكتفاء فقط بتحليل الأداء العام من منظور الإدارة والاستدامة.

يهدف هذا التحديد الموضوعي إلى التركيز على البعد الإداري البيئي والتنموي، باعتباره المجال الأكثر تأثراً من حيث تحقيق أهداف الاستدامة المائية للإمارة (المنصوري، 2023).

رابعاً : الحدود البشرية (العينة):

تشمل الدراسة عينة من المهندسين ، والفنيين والمشرفين ، ومديري المشاريع العاملين في مشاريع التجميل الطبيعي التابعة لبلدية أبو ظبي، إلى جانب عدد من الخبراء والاستشاريين المشرفين على التنفيذ ، والتشغيل في شركات المقاولات المتعاقدة. ويبلغ حجم العينة الأساسية (104) من المشاركين موزعين على مناطق الوثبة، الشامخة، وبني ياس. تم اختيار هذه الفئة المهنية بالتحديد لأنها الأكثر قرباً للتطبيق العملي لأنظمة الري الذكية، والأقدر على تقديم تقييم فني وإداري دقيق لمدى فعالية تلك الأنظمة في تحقيق أهداف الأمن المائي، والاستدامة البيئية في مشاريع التجميل الطبيعي (الدرعي، 2022).

خامساً: الحدود العلمية (النظرية):

من الجانب النظري ، تقتصر الدراسة على نموذج العلاقة السببية بين نظم الري الذكية والأمن المائي، ولا تتناول بصورة مباشرة نماذج الاقتصاد البيئي، أو سياسات التمويل المستدام. ومع ذلك، تستند الدراسة إلى أطر نظرية داعمة من مفاهيم الإدارة المتكاملة للموارد المائية والاستدامة البيئية، بما يضمن توافق التحليل النظري مع الواقع التطبيقي في الإمارات (جامعة الإمارات، 2024).

خلاصة حدود الدراسة:

تحدد هذه الحدود إطار البحث المكاني، والزمني، والموضوعي، والمنهجي ، على النحو الذي يسمح بتفسير النتائج ضمن بيئة محددة وواضحة، هي إمارة أبو ظبي خلال العام 2026 في نطاق مشاريع التجميل الطبيعي التابعة للبلديات.

وعليه ، فإن الدراسة تقدم نموذج تطبيقي واقعي قابل للتعميم ، والتطوير في إمارات أخرى، بشرط مراعاة الخصائص المناخية والإدارية لكل منطقة.

الفصل الرابع

النتائج والتوصيات

مقدمة

يُعد هذا الفصل المحطة التطبيقية الرئيسة في الدراسة، إذ يعرض نتائج تحليل بيانات الاستبانة التي تم جمعها من الجهات ذات العلاقة بمشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي، بهدف التحقق من طبيعة العلاقة بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين تعزيز الأمن المائي وفق النموذج المفاهيمي المعتمد في الدراسة. ويأتي هذا الفصل بوصفه حلقة الوصل المنهجية بين الإطار النظري وفروض الدراسة من جهة، وبين المخرجات العملية القابلة للاستخدام من قبل الجهات البلدية والشركات المنفذة والاستشارية من جهة أخرى.

وانطلاقاً من ذلك، يتناول الفصل إجراءات تحليل البيانات باستخدام برنامج IBM SPSS Statistics بصورة منظمة تبدأ بمرحلة تجهيز البيانات وترميزها، ثم عرض الخصائص الوصفية للعينة، يليها تحليل وصفي لمتغيرات الدراسة وأبعادها، ثم التحقق من جودة أداة القياس من خلال اختبارات الثبات الداخلي (Cronbach's Alpha)، وصولاً إلى اختبار العلاقات الإحصائية بين المتغيرات بما يسمح بالحكم على فروض الدراسة بدقة وموضوعية.

وفي ضوء النتائج الإحصائية التي يتم التوصل إليها، يعرض الفصل خلاصة النتائج بما يوضح مستوى تطبيق نظم الري الذكية وأثرها على أبعاد تعزيز الأمن المائي، ثم تُبنى التوصيات على تلك النتائج لتكون توصيات قابلة للتنفيذ وموجهة لتحسين كفاءة التشغيل، وترشيد الاستهلاك، ودعم الحوكمة وإدارة المياه في مشاريع التجميل الطبيعي على مستوى الإمارة.

تحليل البيانات

خصائص عينة الدراسة (البيانات الديموغرافية):

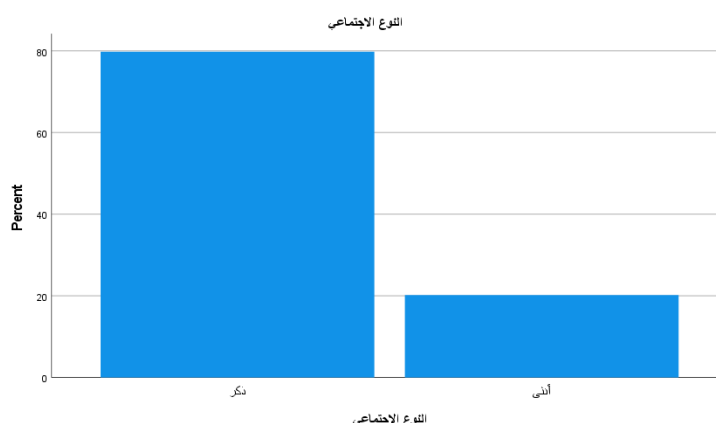
يعرض هذا الجزء الخصائص الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة، وذلك بهدف تقديم صورة واضحة عن توزيع المشاركين وفق المتغيرات العامة المعتمدة (النوع الاجتماعي، الفئة العمرية، سنوات الخبرة). ويسهم هذا العرض في دعم تفسير النتائج اللاحقة وربطها بخلفيات المشاركين.

النوع الاجتماعي

النوع الاجتماعي					
Cumulative Percent	Valid Percent	Percent	Frequency		
79.8	79.8	79.8	83	ذكر	Valid
100.0	20.2	20.2	21	أنثى	
	100.0	100.0	104	Total	

جدول 3 - توزيع أفراد عينة الدراسة حسب النوع الاجتماعي (ن=104)

يوضح جدول (3) أن غالبية أفراد العينة من الذكور بعدد (83) ونسبة (79.8%)، مقابل (21) من الإناث بنسبة (20.2%). ويعكس ذلك طبيعة القطاع محل الدراسة الذي يغلب عليه التمثيل الذكوري في وظائف التشغيل والصيانة والإشراف الميداني.



رسم توضيحي 2 - التوزيع النسبي لأفراد العينة حسب النوع الاجتماعي

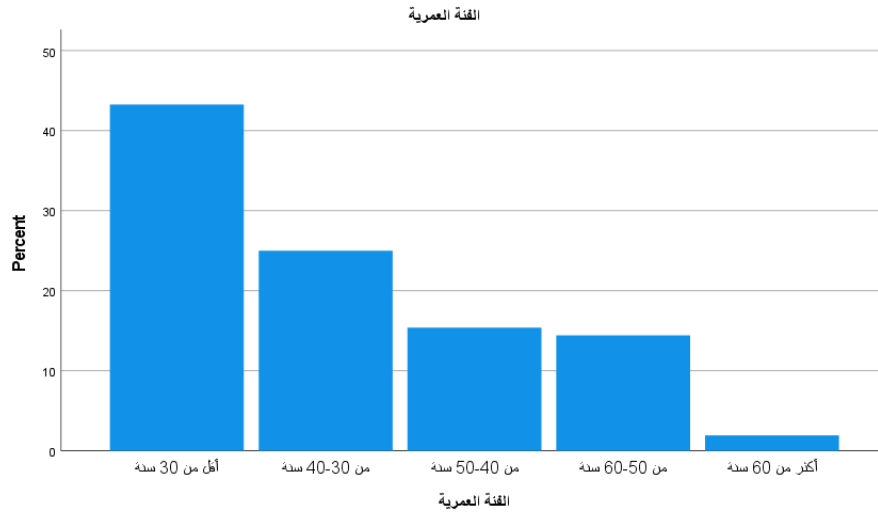
الفئة العمرية

الفئة العمرية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أقل من 30 سنة	45	43.3	43.3	43.3
	من 30-40 سنة	26	25.0	25.0	68.3

من 50-40 سنة	16	15.4	15.4	83.7
من 60-50 سنة	15	14.4	14.4	98.1
أكثر من 60 سنة	2	1.9	1.9	100.0
Total	104	100.0	100.0	

جدول 4 - توزيع أفراد عينة الدراسة حسب الفئة العمرية (ن=104)

تشير نتائج جدول (4) إلى أن الفئة العمرية أقل من 30 سنة كانت الأعلى تمثيلاً بعدد (45) وبنسبة (43.3%)، تلتها فئة 30-40 سنة بعدد (26) وبنسبة (25.0%). بينما بلغت فئة 40-50 سنة (16) بنسبة (15.4%)، وفئة 50-60 سنة (15) بنسبة (14.4%)، في حين كانت أقل فئة تمثيلاً أكثر من 60 سنة بعدد (2) وبنسبة (1.9%). ويُظهر ذلك أن معظم المشاركين ضمن فئات عمرية نشطة مهنيًا، بما يدعم ملائمة العينة لأغراض تقييم واقع التشغيل والتطبيق.



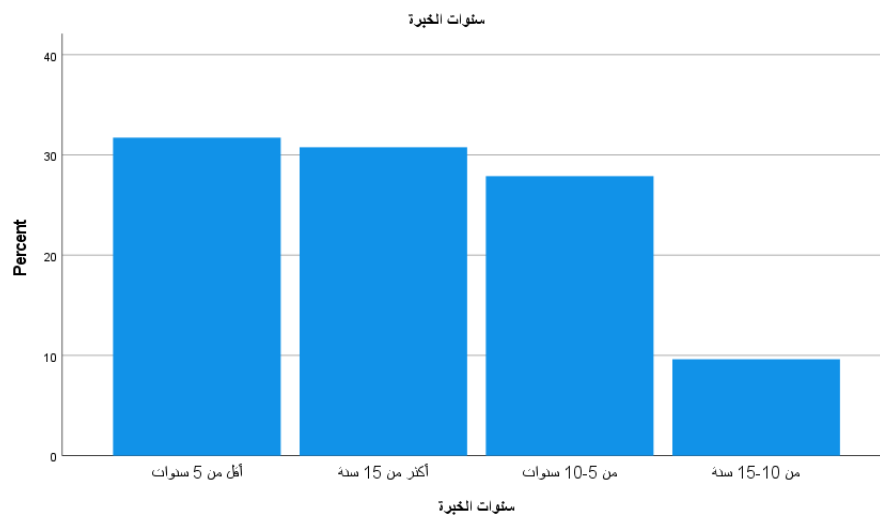
رسم توضيحي 3 - التوزيع النسبي لأفراد العينة حسب الفئة العمرية

سنوات الخبرة

سنوات الخبرة		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أقل من 5 سنوات	33	31.7	31.7	31.7
	أكثر من 15 سنة	32	30.8	30.8	62.5
	من 10-5 سنوات	29	27.9	27.9	90.4
	من 15-10 سنة	10	9.6	9.6	100.0
	Total	104	100.0	100.0	

جدول 5 - توزيع أفراد عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة (ن=104)

يبين جدول (5) أن أعلى فئة تمثيلاً كانت أقل من 5 سنوات بعدد (33) ونسبة (31.7%)، تلتها فئة أكثر من 15 سنة بعدد (32) ونسبة (30.8%)، ثم فئة 5-10 سنوات بعدد (29) ونسبة (27.9%)، بينما جاءت فئة 10-15 سنة كأقل فئة تمثيلاً بعدد (10) ونسبة (9.6%). ويعكس هذا التوزيع وجود توازن مقبول بين المشاركين ذوي الخبرة المبكرة والخبرة الطويلة، وهو ما يعزز جودة القراءة التحليلية لواقع التطبيق.



رسم توضيحي 4 - التوزيع النسبي لأفراد العينة حسب سنوات الخبرة

بعد عرض خصائص عينة الدراسة وتوزيعها الديموغرافي، ينتقل التحليل إلى تقييم جودة أداة القياس المستخدمة في الدراسة، وذلك من خلال اختبار الثبات (Cronbach's Alpha) على مستوى المحاور والأبعاد، للتأكد من اتساق الفقرات داخلياً وصلاحيته للاستخدام في التحليل الوصفي واختبار الفرضيات الإحصائية.

ثبات أداة الدراسة (Cronbach's Alpha):

بعد التحقق من خصائص العينة، تم تقييم جودة أداة القياس من خلال اختبار الثبات (الاتساق الداخلي) باستخدام معامل كرونباخ ألفا (Cronbach's Alpha) على مستوى الأبعاد الرئيسة وفق النموذج المفاهيمي للدراسة، وذلك للتأكد من اتساق فقرات كل بُعد وصلاحيته للاعتماد عليها في التحليل الوصفي واختبار الفرضيات.

المتغير	البُعد	Cronbach's Alpha
نظم الري الذكية والمستدامة (مستقل)	استخدام التقنيات الذكية في نظم الري	0.933
	كفاءة استخدام المياه	0.908
	الاستدامة البيئية لنظم الري	0.948
	إدارة وتشغيل نظم الري	0.950
تعزيز الأمن المائي (تابع)	ترشيد استهلاك المياه	0.890
	استدامة الموارد المائية	0.943
	تقليل المخاطر المائية	0.963
	الحوكمة وإدارة المياه	0.970

جدول 6 - نتائج اختبار الثبات (Cronbach's Alpha) لأبعاد الاستبانة

للتحقق من ثبات أداة الدراسة، تم حساب معامل الاتساق الداخلي (Cronbach's Alpha) لكل بُعد من أبعاد الاستبانة. وتشير نتائج جدول (6) إلى أن معاملات الثبات تراوحت بين (0.890-0.970)، وهي قيم مرتفعة تعكس اتساقاً داخلياً قوياً وملاءمة الفقرات لقياس الأبعاد المعتمدة في النموذج المفاهيمي. وبناءً عليه، تُعد أداة الدراسة موثوقة إحصائياً وقابلة للاعتماد في التحليل الوصفي واختبار الفرضيات.

التحليل الوصفي لمحاور الدراسة

بعد التحقق من ثبات أداة الدراسة، تم إجراء التحليل الوصفي لأبعاد النموذج المفاهيمي بهدف قياس مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة، ومستوى تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي، وذلك من خلال حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والحد الأدنى والأعلى لكل بُعد، بالإضافة إلى المتوسطات الكلية للمتغيرين المستقل والتابع.

المتغير/البُعد	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	مستوى التقدير
استخدام التقنيات الذكية في نظم الري	2.00	5.00	4.5385	0.64685	مرتفع
كفاءة استخدام المياه	2.00	5.00	4.5769	0.62617	مرتفع
الاستدامة البيئية لنظم الري	2.00	5.00	4.5986	0.61080	مرتفع

مرتفع	0.63739	4.5457	5.00	2.00	إدارة وتشغيل نظم الري
مرتفع	0.58858	4.5697	5.00	2.00	ترشيد استهلاك المياه
مرتفع	0.60851	4.5409	5.00	2.00	استدامة الموارد المائية
مرتفع	0.61099	4.5841	5.00	2.00	تقليل المخاطر المائية
مرتفع	0.62657	4.5601	5.00	2.00	الحوكمة وإدارة المياه
مرتفع	0.60238	4.5649	5.00	2.00	المتغير المستقل الكلي
مرتفع	0.58662	4.5637	5.00	2.00	المتغير التابع الكلي

جدول 7 - الإحصاءات الوصفية لأبعاد الدراسة والمتغيرات الكلية

تشير نتائج جدول (7) إلى أن متوسطات جميع أبعاد الدراسة جاءت ضمن المستوى المرتفع، إذ تراوحت المتوسطات الحسابية لأبعاد المتغير المستقل (نظم الري الذكية والمستدامة) بين (4.5385-4.5986)، بينما تراوحت متوسطات أبعاد المتغير التابع (تعزيز الأمن المائي) بين (4.5409-4.5841) ويعكس ذلك ارتفاع مستوى تبني وتطبيق ممارسات الري الذكي من جهة، وارتفاع مستوى مؤشرات تعزيز الأمن المائي من جهة أخرى وفق تقديرات المشاركين.

وعلى مستوى أبعاد المتغير المستقل، سجل بُد الاستدامة البيئية لنظم الري أعلى متوسط حسابي (4.5986)، يليه بُد كفاءة استخدام المياه بمتوسط (4.5769)، ثم إدارة وتشغيل نظم الري بمتوسط (4.5457)، بينما جاء بُد استخدام التقنيات الذكية بمتوسط (4.5385)، وجميعها ضمن المستوى المرتفع.

وعلى مستوى أبعاد المتغير التابع، حقق بُد تقليل المخاطر المائية أعلى متوسط حسابي (4.5841)، يليه ترشيد استهلاك المياه بمتوسط (4.5697)، ثم الحوكمة وإدارة المياه بمتوسط (4.5601)، بينما سجل بُد استدامة الموارد المائية متوسطاً قدره (4.5409)، وجميعها ضمن المستوى المرتفع.

أما على المستوى الكلي، فقد بلغ متوسط المتغير المستقل (4.5649) ومتوسط المتغير التابع (4.5637)، بما يشير إلى تقارب مستوى التقييم العام لكلا المتغيرين، ويدعم الانتقال لاحقاً لاختبارات العلاقة الإحصائية للتحقق من فروض الدراسة.

بناءً على النتائج الوصفية السابقة، ينتقل الفصل في الجزء التالي إلى اختبار فرضيات الدراسة من خلال تحليل الارتباط والانحدار لقياس قوة واتجاه العلاقة بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين تعزيز الأمن المائي، على المستويين الكلي والبعدي.

اختبار الارتباط (Pearson Correlation)

لاختبار فروض الدراسة وقياس قوة واتجاه العلاقة بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين أبعاد تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي، تم استخدام معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation) بوصفه اختباراً مناسباً لقياس العلاقة بين المتغيرات الكمية. وقد تم اعتماد مستوى الدلالة الإحصائية ($\alpha = 0.05$) وباستخدام اختبار ثنائي الطرف، وذلك استناداً إلى بيانات العينة البالغة (104).

الفرضية	العلاقة محل الاختبار	معامل الارتباط (r)	قيمة الدلالة (Sig.)	النتيجة
H1	تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة - ترشيد استهلاك المياه	0.888	<0.001	مقبولة
H2	تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة - استدامة الموارد المائية	0.902	<0.001	مقبولة
H3	تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة - تقليل المخاطر المائية	0.916	<0.001	مقبولة
H4	تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة - الحوكمة وإدارة المياه	0.896	<0.001	مقبولة
H5	تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة - تعزيز الأمن المائي (إجمالاً)	0.934	<0.001	مقبولة

جدول 8 - نتائج اختبار ارتباط بيرسون بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وأبعاد تعزيز الأمن المائي

تُظهر نتائج جدول (8) وجود علاقات ارتباط إيجابية قوية ودالة إحصائية بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين أبعاد تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي. فقد تبين وجود ارتباط إيجابي قوي بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية وبين ترشيد استهلاك المياه ($r = 0.888$, Sig. < 0.001)، وبين استدامة الموارد المائية ($r = 0.902$, Sig. < 0.001)، وبين تقليل المخاطر المائية ($r = 0.916$, Sig. < 0.001)، وبين الحوكمة وإدارة المياه ($r = 0.896$, Sig. < 0.001). كما أظهرت النتائج وجود ارتباط إيجابي قوي جداً بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين مستوى تعزيز الأمن المائي بشكل عام ($r = 0.934$, Sig. < 0.001)، بما يدعم قبول فروض الدراسة الخاصة

بعلاقات الارتباط، ويبرر الانتقال إلى اختبارات التأثير (تحليل الانحدار) للتحقق من حجم التأثير بصورة أدق.

اختبار تأثير نظم الري الذكية والمستدامة على تعزيز الأمن المائي (تحليل الانحدار الخطي)

يهدف هذا الجزء إلى اختبار حجم تأثير مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة على مستوى تعزيز الأمن المائي، وذلك من خلال استخدام تحليل الانحدار الخطي. ويُعد هذا الاختبار مكملًا لتحليل الارتباط، لأنه يوضح مقدار التباين في المتغير التابع الذي يمكن تفسيره بواسطة المتغير المستقل، إضافة إلى تحديد الأبعاد الأكثر إسهامًا في تفسير تعزيز الأمن المائي.

أولاً: تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لاختبار الفرضية الخامسة (H5)

لاختبار الفرضية الخامسة التي تفترض وجود تأثير إيجابي لمستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة على تعزيز الأمن المائي بشكل عام، تم استخدام الانحدار الخطي البسيط.

المؤشر	القيمة
معامل الارتباط (R)	0.934
معامل التحديد (R^2)	0.873
معامل التحديد المعدل ($Adjusted R^2$)	0.871
قيمة (F)	698.675
الدلالة الإحصائية للنموذج (Sig.)	< 0.001
الثابت B (Constant)	0.411
دلالة الثابت (Sig.)	0.011
معامل الانحدار غير المعياري للمتغير المستقل (B)	0.910
الخطأ المعياري للمعامل (SE)	0.034
معامل الانحدار المعياري (β)	0.934

26.432	قيمة (t)
< 0.001	الدلالة الإحصائية للمعامل (Sig.)
0.841 – 0.978	فاصل الثقة 95% للمعامل B

جدول 9 - نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط لأثر تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة على تعزيز الأمن المائي

تُظهر نتائج جدول (9) أن نموذج الانحدار دال إحصائيًا ($F = 698.675$, $\text{Sig.} < 0.001$)، ما يؤكد صلاحية النموذج في تفسير العلاقة بين المتغيرين. كما يشير معامل التحديد ($R^2 = 0.873$) إلى أن 87.3% من التباين في مستوى تعزيز الأمن المائي يمكن تفسيره من خلال مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة، وهي نسبة تفسير مرتفعة تعكس قوة التأثير.

وعلى مستوى المعاملات، تبين وجود تأثير إيجابي دال إحصائيًا لمستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة على تعزيز الأمن المائي ($B = 0.910$ ، $\beta = 0.934$ ، $t = 26.432$ ، $\text{Sig.} < 0.001$)، وبفاصل ثقة 95% للمعامل (0.841 – 0.978). وبناءً عليه، تُقبل الفرضية الخامسة ($H5$)، بما يعني أن زيادة مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة ترتبط بارتفاع مستوى تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي.

ولغرض العرض التفسيري، يمكن تمثيل معادلة الانحدار على النحو الآتي:

$$\text{تعزيز الأمن المائي} = 0.411 + (0.910 \times \text{مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة}).$$

بعد التحقق من دلالة تأثير المتغير المستقل الكلي على المتغير التابع الكلي ($H5$)، ينتقل التحليل في الجزء التالي إلى اختبار تأثير أبعاد المتغير المستقل الأربعة (التقنيات الذكية، كفاءة استخدام المياه، الاستدامة البيئية، إدارة وتشغيل نظم الري) على تعزيز الأمن المائي كليًا باستخدام الانحدار المتعدد؛ وذلك لتحديد أي الأبعاد أكثر تأثيرًا.

ثانيًا: تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression) لتحديد الأبعاد الأكثر تأثيرًا في تعزيز الأمن المائي

بعد التحقق من دلالة التأثير الكلي لمستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة على تعزيز الأمن المائي ($H5$) باستخدام الانحدار الخطي البسيط، تم إجراء تحليل الانحدار الخطي المتعدد لاختبار تأثير أبعاد المتغير المستقل الأربعة مجتمعة (استخدام التقنيات الذكية، كفاءة استخدام المياه، الاستدامة البيئية، إدارة وتشغيل نظم الري) على تعزيز الأمن المائي كليًا. ويهدف هذا التحليل إلى تحديد الأبعاد الأكثر إسهامًا في تفسير التغير في تعزيز الأمن المائي.

أ) ملخص نموذج الانحدار المتعدد ودلالته الإحصائية:

إحصائية	الدلالة	الخطأ	معامل التحديد	معامل	معامل	المؤشر
Durbin	الإحصائي	درجات	المعيار	المعدل	الارتباط	
-	ة	الحرية	للتقدير	(Adjusted	(R ²)	(R)
Watso	للمنموذج	(df)	(Std.	R ²)		
n	(Sig.)		Error)			
1.790	< 0.001	(4, 99)	229.8 21	0.1865 7	0.899	0.90 3
						0.95 0
						معامل الارتباط (R)

جدول 10 - ملخص نتائج الانحدار الخطي المتعدد لتأثير أبعاد نظم الري الذكية والمستدامة على تعزيز الأمن المائي (إجمالاً)

تُظهر النتائج أن نموذج الانحدار المتعدد دال إحصائياً ($F = 229.821$, $\text{Sig.} < 0.001$)، مما يؤكد ملاءمته لتفسير العلاقة. كما يشير معامل التحديد ($R^2 = 0.903$) إلى أن 90.3% من التباين في تعزيز الأمن المائي يمكن تفسيره من خلال الأبعاد الأربعة مجتمعة، وهي نسبة تفسير مرتفعة تعكس قوة النموذج.

ب) معاملات الانحدار وتحديد الأبعاد الأكثر تأثيراً:

لتحديد البعد الأكثر إسهاماً في تفسير تعزيز الأمن المائي، تم الاعتماد على معاملات الانحدار المعيارية (β) وقيم الدلالة الإحصائية (Sig.) كما يلي:

البُعد	B	SE	β	t	Sig.	(B) CI 95%
الثابت (Constant)	0.423	0.142	—	2.973	0.004	0.141 – 0.705
استخدام التقنيات الذكية في نظم الري	0.038	0.083	0.042	0.455	0.650	-0.127 – 0.202
كفاءة استخدام المياه	-0.073	0.068	-0.078	-1.077	0.284	-0.207 – 0.061
الاستدامة البيئية لنظم الري	0.376	0.081	0.392	4.621	< 0.001	0.215 – 0.538
إدارة وتشغيل نظم الري	0.566	0.084	0.615	6.759	< 0.001	0.400 – 0.732

جدول 11 - معاملات الانحدار الخطي المتعدد لأبعاد نظم الري الذكية والمستدامة في تفسير تعزيز الأمن المائي

تفسير الجدول: (11)

- تبين أن الاستدامة البيئية لنظم الري لها تأثير إيجابي دال إحصائياً على تعزيز الأمن المائي ($\beta = 0.392$, Sig. < 0.001).
- كما تبين أن إدارة وتشغيل نظم الري هي الأقوى تأثيراً بين الأبعاد ($\beta = 0.615$, Sig. < 0.001).
- في المقابل، لم يظهر تأثير ذو دلالة إحصائية لكل من استخدام التقنيات الذكية (Sig. = 0.650) وكفاءة استخدام المياه (Sig. = 0.284) عند إدخالهما مع بقية الأبعاد في نفس النموذج، وهو ما يُفسّر غالباً بتداخل الأبعاد وارتفاع الترابط بينها داخل الواقع التطبيقي (تأثير تشاركي بين الأبعاد).

ولغرض العرض التفسيري يمكن صياغة معادلة الانحدار المتعدد على النحو الآتي:

$$\text{تعزيز الأمن المائي} = 0.423 + (0.038 \times \text{التقنيات الذكية}) - (0.073 \times \text{كفاءة الاستخدام}) + (0.376 \times \text{الاستدامة البيئية}) + (0.566 \times \text{الإدارة والتشغيل}).$$

ج) فحص التداخل الخطي بين الأبعاد (Multicollinearity)

البُعد	Tolerance	VIF
استخدام التقنيات الذكية في نظم الري	0.117	8.527
كفاءة استخدام المياه	0.189	5.287
الاستدامة البيئية لنظم الري	0.137	7.322
إدارة وتشغيل نظم الري	0.119	8.425

جدول 12 - اختبار التداخل الخطي (Tolerance / VIF)

تفسير الجدول (12) :

توضح النتائج أن قيم **VIF** تراوحت بين (5.287 – 8.527) وهي أقل من الحد الشائع (10)، كما أن قيم **Tolerance** أعلى من (0.05)، وعليه يمكن اعتبار التداخل الخطي ضمن الحدود المقبولة لإجراء الانحدار المتعدد، مع الإشارة إلى أن ارتفاع الترابط بين الأبعاد متوقع منطقياً لأنها تمثل جوانب مترابطة لنفس المنظومة التشغيلية.

بناءً على نتائج الانحدار المتعدد، يتضح أن تعزيز الأمن المائي يتأثر بدرجة أكبر بالأبعاد المرتبطة بالاستدامة البيئية والإدارة والتشغيل أكثر من تأثير البعدين الآخرين عند اختبارها مجتمعة داخل نموذج واحد. وعليه، يدعم ذلك التوجه نحو إعطاء أولوية تشغيلية وإدارية لتطوير سياسات الاستدامة، وتفعيل خطط التشغيل والصيانة والمتابعة، باعتبارها الأكثر قدرة على تفسير التحسن في مؤشرات الأمن المائي وفق بيانات العينة. وفي الجزء التالي، يتم الانتقال إلى تلخيص النتائج النهائية للدراسة وربطها بفروضها، تمهيداً لصياغة التوصيات العملية.

النتائج

في ضوء التحليلات الإحصائية التي تم إجراؤها (الوصفية، الثبات، الارتباط، والانحدار)، تُظهر نتائج الدراسة اتجاهًا عامًا واضحًا يتمثل في ارتفاع مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وارتفاع مستوى تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي، مع وجود علاقات ارتباط وتأثير دالة إحصائية بين المتغيرين على المستويين الكلي والبعدي. كما تُظهر نتائج الانحدار المتعدد أن التأثير الأقوى على تعزيز الأمن المائي يرتبط بالأبعاد التشغيلية والبيئية بدرجة أكبر من البعدين التقني وكفاءة الاستخدام عند إدخال الأبعاد مجتمعة في نموذج واحد.

الفرضية	الاختبار المستخدم	المؤشر الإحصائي	الدلالة (Sig.)	القرار
H1	ارتباط بيرسون	$r = 0.888$	< 0.001	مقبولة
H2	ارتباط بيرسون	$r = 0.902$	< 0.001	مقبولة
H3	ارتباط بيرسون	$r = 0.916$	< 0.001	مقبولة
H4	ارتباط بيرسون	$r = 0.896$	< 0.001	مقبولة
H5	انحدار خطي بسيط	$F, B = 0.910, R^2 = 0.873$ $= 698.675$	< 0.001	مقبولة

جدول 13 - ملخص نتائج اختبار الفرضيات الرئيسية للدراسة

تؤكد نتائج اختبار الارتباط (جدول 8) أن العلاقة بين تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وتعزيز الأمن المائي علاقة موجبة قوية ودالة إحصائية عبر جميع أبعاد الأمن المائي، وهو ما يدعم منطق النموذج المفاهيمي للدراسة. كما تؤكد نتائج الانحدار الخطي البسيط (جدول 9) أن مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة يفسّر نسبة كبيرة من التباين في تعزيز الأمن المائي ($R^2 = 0.873$)، بما يعني أن رفع مستوى التطبيق يرتبط عمليًا بارتفاع ملموس في مؤشرات الأمن المائي داخل مشاريع التجميل الطبيعي.

وعند اختبار الأبعاد الأربعة مجتمعة (الانحدار المتعدد: جداول 10-11)، ظهرت إدارة وتشغيل نظم الري ثم الاستدامة البيئية لنظم الري كأكثر بعدين تأثيرًا ودلالة إحصائية في تفسير تعزيز الأمن المائي، بينما لم يظهر تأثير دال للبعدين الآخرين داخل النموذج المتعدد. ويُفسّر ذلك عمليًا بأن تحقيق الأثر على الأمن المائي لا يعتمد على "وجود التقنية" فقط، بل يعتمد بدرجة أكبر على حوكمة التشغيل

والصيانة والمتابعة الفعلية، وعلى الممارسات البيئية التي تضمن الاستدامة (مثل إدارة المصادر، تقليل الأثر البيئي، وتحسين الاستمرارية التشغيلية). كما أن ارتفاع الترابط بين الأبعاد (جدول 12) قد يؤدي إلى تقليل القدرة على إظهار الأثر الفريد لبعض الأبعاد عند إدخالها معًا في نموذج واحد.

بناءً على ما سبق، خلُصت الدراسة إلى قبول الفرضيات الخمس، مع تأكيد أن التحسينات التشغيلية والبيئية تمثل "رافعة تأثير" أعلى لتعزيز الأمن المائي مقارنة بالبعد التقني وحده عند قياس الأبعاد مجتمعة. وتُستخدم هذه الخلاصة كأساس مباشر لصياغة توصيات عملية قابلة للتطبيق موجهة للجهات البلدية وشركات التشغيل والاستشاريين.

مناقشة النتائج

في ضوء النتائج الإحصائية التي توصلت إليها الدراسة، يتضح وجود علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين مستوى تطبيق نظم الري الذكية والمستدامة وبين تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي. وتدل هذه النتيجة على أن التوسع في تطبيق نظم الري الذكية لا يمثل مجرد تطوير تقني في أساليب التشغيل، بل يُعد مدخلاً فعلياً لتحسين كفاءة إدارة المياه، وترشيد الاستهلاك، ورفع مستوى الاستدامة التشغيلية والبيئية داخل المشاريع البلدية. كما أن ارتفاع القدرة التفسيرية للنموذج الإحصائي يعزز من قوة هذه النتيجة، ويشير إلى أن المتغير المستقل بأبعاده المختلفة يرتبط بصورة جوهرية بتفسير التغير في مستوى تعزيز الأمن المائي.

وتتسجم هذه النتيجة مع الإطار النظري الذي اعتمدت عليه الدراسة، والقائم على الربط بين التكنولوجيا والإدارة المستدامة للموارد المائية، من خلال منظور الإدارة المتكاملة للموارد المائية، ونظرية الاستدامة البيئية، ونظرية الحوكمة المؤسسية. فهذه الأطر النظرية تقترض أن كفاءة إدارة المياه لا تتحقق من خلال توفر التقنية وحدها، وإنما من خلال تكامل التقنية مع السياسات والإجراءات التشغيلية والمتابعة المؤسسية. ومن هذا المنطلق، فإن النتائج الحالية تؤكد أن نظم الري الذكية والمستدامة يمكن أن تمثل أداة عملية لتفعيل الإدارة الرشيدة للمياه في البيئات الحضرية الجافة، متى ما اقترنت ببيئة تشغيلية وإدارية فعالة.

كما تتفق نتائج الدراسة مع ما عرضته الدراسات السابقة في الفصل الثاني، والتي أكدت بصورة عامة أن تطبيق نظم الري الذكية يساهم في خفض استهلاك المياه وتحسين كفاءة الأداء التشغيلي. فقد أشارت دراسة جامعة الإمارات (2024) إلى أن توظيف الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في الري أدى إلى خفض استهلاك المياه بنسبة كبيرة وتحسين سرعة الاستجابة للتغيرات المناخية، كما بينت دراسة المنصوري (2023) أن التحول الرقمي في إدارة المساحات الخضراء أسهم في تقليل الري الزائد وخفض التكاليف التشغيلية، في حين أوضح تقرير وزارة التغير المناخي والبيئة (2023) أن أنظمة الري الذكية ساهمت في تقليل استهلاك المياه المعالجة ورفع كفاءة الصيانة الوقائية. كذلك دعمت دراسة الدرعي (2022) هذا الاتجاه من خلال إظهار أثر النظام الذكي في خفض الاستهلاك وتحسين جودة التشغيل، بينما أكدت دراسة العنينة (2021) أهمية التقنيات الذكية في خفض الهدر المائي وتعزيز كفاءة التشغيل في السياق الحضري، وأظهرت دراسة الحوسني (2020) أن دمج الأنظمة الذكية مع استخدام المياه المعالجة يدعم كفاءة الاستخدام واستدامة الموارد المائية.

إلا أن الدراسة الحالية لا تقتصر أهميتها على تأكيد الاتجاه العام للدراسات السابقة، بل تضيف إليه بعداً تحليلياً أكثر تكاملاً، إذ لم تركز فقط على البعد التقني لنظم الري، بل تناولت أيضاً البعدين البيئي والتشغيلي ضمن نموذج تفسيري واحد. وهذه النقطة تمثل إحدى الإضافات النوعية للدراسة الحالية، لأن

عددًا من الدراسات السابقة كان يميل إلى التركيز على نتائج الكفاءة الفنية أو خفض الاستهلاك فقط، دون تحليل متكامل للعلاقة بين التشغيل والاستدامة والحوكمة من جهة، والأمن المائي من جهة أخرى.

ومن أهم ما أظهرته نتائج الدراسة الحالية أن البعدين الأكثر تأثيرًا في تعزيز الأمن المائي عند اختبار الأبعاد مجتمعة هما: الاستدامة البيئية لنظم الري وإدارة وتشغيل نظم الري. ويمكن تفسير هذه النتيجة بأن الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي لا يتحقق فقط عبر وجود الحساسات أو أدوات التحكم الذكي، وإنما عبر تحويل هذه الإمكانيات التقنية إلى ممارسات تشغيلية منضبطة، تشمل الصيانة الدورية، سرعة اكتشاف الأعطال، كفاءة الاستجابة التشغيلية، الالتزام بالإجراءات، والقدرة على توظيف البيانات في اتخاذ القرار. كما أن الاستدامة البيئية تمثل عاملاً محوريًا لأنها ترتبط باستخدام المياه المعالجة، والحد من الآثار البيئية السلبية، وضمان استمرار الموارد المائية على المدى الطويل.

وتشير هذه النتيجة أيضًا إلى أن بعض الأبعاد التي تبدو ذات أهمية نظرية عالية، مثل استخدام التقنيات الذكية وكفاءة استخدام المياه، قد لا تظهر بوصفها الأبعاد الأكثر تأثيرًا داخل نموذج الانحدار المتعدد عند إدخال جميع الأبعاد في وقت واحد، ليس لأنها غير مهمة، وإنما لأن أثرها قد يكون متداخلًا جزئيًا مع الأبعاد التشغيلية والبيئية. وبعبارة أكثر وضوحًا، فإن التقنية وحدها لا تنتج الأثر الكامل ما لم تُفعل ضمن منظومة تشغيلية وإدارية ناضجة، وهو ما يفسر لماذا ظهر تأثير الاستدامة البيئية والإدارة والتشغيل بصورة أقوى نسبيًا من غيرهما في النموذج النهائي.

ومن منظور تطبيقي، تعكس هذه النتائج أن المؤسسات المعنية بإدارة مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي تحتاج إلى تبني رؤية أوسع من مجرد شراء أو تركيب تقنيات ذكية، بحيث تشمل هذه الرؤية تطوير إجراءات التشغيل والصيانة، وتعزيز التدريب، ورفع كفاءة المتابعة، وربط البيانات التشغيلية بمؤشرات أداء واضحة، بالإضافة إلى دعم سياسات استخدام المياه المعالجة وتحقيق الامتثال البيئي. فالأمن المائي، وفق ما تكشفه النتائج الحالية، ليس ناتجًا عن وجود التكنولوجيا بحد ذاتها، بل عن جودة توظيفها المؤسسي والتشغيلي.

وفي المقابل، ينبغي قراءة النتائج بدرجة من التحفظ العلمي، خصوصًا في ظل الارتفاع الملحوظ في معاملات الارتباط والتفسير الإحصائي. فهذه المؤشرات تعكس قوة العلاقة بين المتغيرات، لكنها قد تتأثر أيضًا بطبيعة الأداة المستخدمة، باعتبار أن البيانات جُمعت من خلال استبانة تعتمد على تقديرات المبحوثين واتجاهاتهم. وعليه، فإن هذه النتائج تقدم مؤشرًا قويًا على طبيعة العلاقة بين المتغيرات، إلا أن تعميمها بشكل مطلق ينبغي أن يظل مرتبطًا بحدود الدراسة المكانية والزمانية والبشرية، وبالحاجة إلى دراسات لاحقة تدعم النتائج ببيانات تشغيلية ميدانية مباشرة ومؤشرات أداء فعلية من مواقع المشاريع.

وبناءً على ما سبق، يمكن القول إن النتائج الحالية تدعم بقوة الفرضية العامة للدراسة، وتؤكد أن نظم الري الذكية والمستدامة تمثل عنصرًا محوريًا في تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي، بشرط أن يتم النظر إليها بوصفها جزءًا من منظومة متكاملة تشمل التقنية، والاستدامة، والإدارة، والتشغيل، والحوكمة.

الاستنتاجات

في ضوء ما توصلت إليه الدراسة من نتائج تحليلية وإحصائية، يمكن استخلاص الاستنتاجات الآتية:

أولاً، أثبتت الدراسة أن نظم الري الذكية والمستدامة تمثل عاملاً مؤثراً وذا دلالة إحصائية في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي، وهو ما يؤكد أهمية تبني هذه النظم كخيار استراتيجي في إدارة المياه داخل المشاريع البلدية.

ثانياً، بينت الدراسة أن أثر نظم الري الذكية والمستدامة لا يقتصر على الجانب التقني فقط، بل يمتد إلى أبعاد أوسع تشمل الاستدامة البيئية، والإدارة والتشغيل، والحوكمة، بما يعكس الطبيعة المركبة للأمن المائي بوصفه قضية تشغيلية ومؤسسية وبيئية في آن واحد.

ثالثاً، أظهرت النتائج أن بعدي الاستدامة البيئية لنظم الري وإدارة وتشغيل نظم الري كانا الأكثر تأثيراً في تفسير التحسن في مستوى الأمن المائي، الأمر الذي يعني أن كفاءة التشغيل والالتزام البيئي يمثلان عاملين حاسمين في نجاح تطبيق نظم الري الذكية داخل مشاريع التجميل الطبيعي.

رابعاً، أكدت الدراسة أن استخدام التقنيات الذكية يظل مهماً في دعم الأمن المائي، إلا أن قيمته الحقيقية تظهر بصورة أكبر عندما يُدمج ضمن منظومة مؤسسية تتسم بفعالية التشغيل، وجودة الصيانة، والاعتماد على البيانات في المتابعة واتخاذ القرار.

خامساً، تشير النتائج إلى أن تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي يتطلب الانتقال من منطق “تطبيق التقنية” إلى منطق “إدارة المنظومة”، بحيث يتم التعامل مع نظم الري الذكية باعتبارها جزءاً من إطار شامل يربط التقنية بالاستدامة والحوكمة والتشغيل.

سادساً، تقدم الدراسة دليلاً علمياً وتطبيقياً على أن تحسين كفاءة الري في البيئة الحضرية الجافة، مثل إمارة أبو ظبي، يمكن أن يساهم في ترشيد استهلاك المياه، ودعم استدامة الموارد، وتقليل المخاطر المائية، وتعزيز القدرة المؤسسية على إدارة المورد المائي بكفاءة أعلى.

سابعاً، تمثل الدراسة إضافة علمية في الأدبيات العربية من خلال تقديم نموذج تحليلي يدمج بين البعد التقني والبعد البيئي والبعد الإداري في تفسير دور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي، وهو ما يوسع نطاق الفهم النظري والتطبيقي لهذا الموضوع في السياق المحلي والخليجي.

التوصيات

استنادًا إلى النتائج الإحصائية، وبالأخص نتائج الانحدار المتعدد التي أبرزت قوة تأثير بُعد إدارة وتشغيل نظم الري وبُعد الاستدامة البيئية لنظم الري على تعزيز الأمن المائي، توصي الدراسة بما يلي:

1. تعزيز إدارة وتشغيل نظم الري كأولوية تشغيلية: اعتماد إجراءات تشغيل وصيانة معيارية (Standard Operating Procedures) تشمل المتابعة الدورية، سرعة الاستجابة للأعطال، وتوثيق إجراءات الإصلاح والإغلاق وإعادة التشغيل؛ لأن هذا البعد أثبت أعلى تأثير على تعزيز الأمن المائي.
2. رفع مستوى الحوكمة التشغيلية بالبيانات: تفعيل تقارير استهلاك دورية، ومؤشرات أداء (KPIs) واضحة (فاقد/تسربات/ساعات تعطل/انحرافات الاستهلاك) وربطها بمساءلة تشغيلية داخل العقود.
3. تركيز الاستدامة البيئية كمكون ثابت في التشغيل: توسيع الاستخدام المنضبط للمياه المعالجة حيثما أمكن، وربط قرارات الري بمخاطر الملوحة/حساسية التربة/احتياج النبات، بما يضمن استدامة الموارد وتقليل الآثار البيئية السلبية.
4. تطوير "إدارة الأصول المائية" داخل مشاريع التجميل الطبيعي: توحيد سجلات الأصول والبلاغات والتسربات، وربطها بمراجعة شهرية للاستهلاك والانحرافات التشغيلية لضمان تقليل المخاطر المائية مبكرًا.
5. رفع كفاءة فرق التشغيل والتدخل السريع: تصميم برنامج تدريب تشغيلي عملي موجّه (Hands-on) لمشغلي الري والمشرفين على (التحكم، قراءة المؤشرات، كشف التسربات، معايرة الحساسات، التعامل مع الإنذارات).
6. تقليل الاعتماد على الحلول اليدوية كحل دائم: وضع سقف زمني لتشغيل الأنظمة يدويًا عند تعطل الأتمتة، مع إلزامية خطة تصحيح (Corrective Action Plan) محددة المدة.
7. تحسين التنسيق المؤسسي بين الأطراف: اعتماد قناة تنسيق واضحة بين الجهة البلدية والمقاول والاستشاري لتسريع اعتماد الإجراءات، خاصة في حالات الأعطال المؤثرة على الاستهلاك أو استمرارية الإمداد.

8. تحسين التصميم التشغيلي للقياس والمراقبة: التأكد من وجود نقاط قياس تدعم الرقابة (عدادات/حساسات/تقسيم مناطق) بما يسمح بعزل المناطق ذات الاستهلاك غير الطبيعي وتحديد مصدر الهدر بسرعة.

9. إعادة توجيه الاستثمار من "شراء التقنية" إلى "حوكمة التقنية": النتائج تشير أن العائد الأكبر يأتي من التشغيل والإدارة والاستدامة؛ لذا يجب أن يكون جزء معتبر من الميزانية مخصصًا للمتابعة والـ QA/QC والتدريب وليس الأجهزة فقط.

10. مقترح بحثي مستقبلي مختصر: إجراء دراسة مقارنة بين مواقع تستخدم نمط تشغيل مختلف (مركزي/لامركزي) أو بين مناطق مناخية داخل الإمارة لقياس فروقات الأثر على مؤشرات الأمن المائي.

المراجع

المراجع العربية

1. بلدية أبو ظبي. (2023). تقرير الأداء البيئي لمشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي 2023. أبو ظبي: دائرة البلديات والنقل – بلدية مدينة أبو ظبي.
2. جامعة الإمارات. (2024). الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة الري الذكية: نموذج تطبيقي للتنبؤ بالاحتياجات المائية في البيئات الحضرية. العين: مركز بحوث المياه والبيئة.
3. الحوسني، ن. س. (2020). كفاءة استخدام المياه في مشاريع الزراعة التجميلية باستخدام المياه المعالجة في دولة الإمارات العربية المتحدة. مجلة الزراعة المستدامة، 7(3)، 102-128.
4. دائرة البلديات والنقل. (2024). نظام إدارة الأصول (ATS): دليل التشغيل والصيانة لمشاريع التجميل الطبيعي. أبو ظبي: قطاع البنية التحتية والبلديات.
5. الدرعي، س. ع. (2022). كفاءة نظم الري الذكية في الحدائق العامة بمدينة أبو ظبي. مجلة دراسات البيئة والتنمية المستدامة، 14(2)، 78.55-.
6. العتيبة، م. ن. (2021). الأمن المائي والاستدامة الحضرية في إمارة أبو ظبي: دراسة تحليلية مقارنة. أبو ظبي: هيئة البيئة في أبو ظبي.
7. المنصوري، ف. م. (2023). التحول الرقمي في إدارة المساحات الخضراء ودوره في تحقيق الاستدامة المائية في إمارة أبو ظبي. مجلة العلوم البيئية والتقنية، 11(1)، 63.41-.
8. وزارة التغير المناخي والبيئة. (2023). تقرير الاستدامة المائية في دولة الإمارات: إدارة الموارد وتقنيات الري الذكية. دبي: إدارة الاستدامة البيئية، وزارة التغير المناخي والبيئة.
9. وزارة الطاقة والبنية التحتية. (2023). استراتيجية الأمن المائي لدولة الإمارات العربية المتحدة 2036. أبو ظبي: وزارة الطاقة والبنية التحتية.

1. Ahmed, Zeeshan; Gui, Dongwei; Murtaza, Ghulam; Liu, Yunfei; Ali, Sikandar (2023). *An Overview of Smart Irrigation Management for Improving Water Productivity under Climate Change in Drylands*. Agronomy, **13**(8), 2113.
2. Allen, Richard G.; Pereira, Luis S.; Raes, Dirk; Smith, Martin (1998). **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
3. Global Water Partnership (2000). **Integrated Water Resources Management**. TAC Background Papers No. 4. Stockholm: Global Water Partnership.
4. UN-Water (2013). **Water Security and the Global Water Agenda**. Analytical Brief. UN-Water.
5. Vallejo-Gómez, David; Osorio, Marisol; Hincapié, Carlos A. (2023). *Smart Irrigation Systems in Agriculture: A Systematic Review*. Agronomy, **13**(2), 342.

الملاحق

الاستبانة

دور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي

عزيزي المشارك،

تهدف هذه الاستبانة إلى جمع البيانات اللازمة لإجراء دراسة علمية حول دور نظم الري الذكية والمستدامة في تعزيز الأمن المائي ضمن مشاريع التجميل الطبيعي في إمارة أبو ظبي. يرجى قراءة كل عبارة بعناية، ثم وضع علامة (✓) أمام الخيار الذي يعبر عن رأيك. جميع المعلومات التي يتم جمعها ستستخدم لأغراض البحث العلمي فقط.

الباحث: محمد محمد المكاوي

أولاً: البيانات الشخصية والوظيفية

النوع الاجتماعي:

☐ ذكر

☐ أنثى

الفئة العمرية:

☐ أقل من 30 سنة

☐ من 30 إلى أقل من 40 سنة

☐ من 40 إلى أقل من 50 سنة

☐ من 50 إلى أقل من 60 سنة

☐ أكثر من 60 سنة

سنوات الخبرة:

☐ أقل من 5 سنوات

☐ من 5-10 سنوات

☐ من 10-15 سنوات

☐ أكثر من 15 سنة

ثانياً: المتغير المستقل

نظم الري الذكية والمستدامة

يرجى وضع إشارة (✓) امام الفقرة لكل سؤال

م	الفقرات	أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق بشدة	لا أوافق
البعد الأول: استخدام التقنيات الذكية في نظم الري						
1	يتم استخدام حساسات رطوبة التربة لتحديد احتياجات النباتات من المياه.					

2	يتم تشغيل نظام الري تلقائياً بناءً على بيانات الطقس والرطوبة.				
3	يتم استخدام أنظمة رقمية لمراقبة استهلاك المياه في مشاريع التجميل الطبيعي.				
4	يتم ربط نظم الري الذكية ببرمجيات تحليل البيانات لتحسين كفاءة الري				
البعد الثاني: كفاءة استخدام المياه					
1	تساهم نظم الري الحديثة في تقليل هدر المياه في مشاريع التجميل الطبيعي.				
2	يتم ضبط كميات المياه المستخدمة في الري وفقاً لنوع النبات والتربة.				
3	تساعد نظم الري بالتنقيط أو الري الذكي في تحسين كفاءة استخدام المياه.				
4	يتم مراقبة استهلاك المياه بشكل دوري لضمان الاستخدام الأمثل.				
البعد الثالث: الاستدامة البيئية لنظم الري					
1	يتم استخدام المياه المعالجة في مشاريع التجميل الطبيعي عندما يكون ذلك ممكناً.				
2	تسهم نظم الري الذكية في الحفاظ على الموارد المائية.				
3	تساعد تقنيات الري الحديثة في تقليل التأثيرات البيئية السلبية على التربة والنباتات.				
4	تساهم نظم الري الذكية في دعم الاستدامة البيئية للمساحات الخضراء.				
البعد الرابع: إدارة وتشغيل نظم الري					
1	توجد خطط واضحة لصيانة نظم الري الذكية بشكل دوري.				
2	يتم تدريب العاملين على استخدام أنظمة الري الذكية بكفاءة.				
3	يتم اكتشاف الأعطال في نظم الري بسرعة ومعالجتها بشكل فعال.				
4	تساهم الإدارة الجيدة لنظم الري في تحسين أداء مشاريع التجميل الطبيعي.				

ثالثاً: المتغير التابع

تعزيز الأمن المائي في مشاريع التجميل الطبيعي

يرجى وضع إشارة (✓) امام الفقرة لكل سؤال.

م	الفقرات	أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة
البعد الأول: ترشيد استهلاك المياه						
1	تساهم نظم الري الذكية في تقليل استهلاك المياه في مشاريع التجميل الطبيعي.					
2	تساعد نظم الري الحديثة في تحسين كفاءة استخدام المياه في المساحات الخضراء.					
3	يتم تطبيق سياسات واضحة لترشيد استهلاك المياه في المشاريع.					
4	تسهم التقنيات الحديثة في تقليل الفاقد من المياه أثناء الري.					
البعد الثاني: استدامة الموارد المائية						
1	تسهم نظم الري الذكية في تحقيق استدامة الموارد المائية.					
2	تساعد نظم الري الحديثة في تقليل الاعتماد على المياه العذبة.					
3	يتم استخدام مصادر مياه بديلة مثل المياه المعالجة في مشاريع الري.					
4	تسهم نظم الري الذكية في دعم إدارة الموارد المائية بشكل مستدام.					
البعد الثالث: تقليل المخاطر المائية						
1	تساعد نظم الري الذكية في تقليل مخاطر نقص المياه.					
2	تسهم نظم الري الحديثة في تحسين قدرة المشاريع على مواجهة فترات الجفاف.					
3	تساعد نظم الري الذكية في الكشف المبكر عن تسرب المياه أو الأعطال.					
4	تسهم نظم الري الحديثة في تقليل الهدر الناتج عن سوء إدارة المياه.					
البعد الرابع: الحوكمة وإدارة المياه						
1	توجد سياسات واضحة لإدارة المياه في مشاريع التجميل الطبيعي.					
2	يتم متابعة استهلاك المياه من خلال تقارير دورية.					
3	تلتزم المشاريع بالمعايير البيئية المتعلقة باستخدام المياه.					
4	تسهم نظم الري الذكية في تحسين إدارة الموارد المائية في المشاريع.					

Abstract

This study investigates the role of smart and sustainable irrigation systems in enhancing water security within landscape projects in Abu Dhabi Emirate. It examines the relationship between the level of implementing smart and sustainable irrigation systems as the independent variable and water security enhancement as the dependent variable, with each variable measured through four dimensions. The study adopted a descriptive–analytical approach using a five-point Likert-scale questionnaire.

Data were collected from a purposive sample of key stakeholders involved in planning, execution, operation and maintenance, and supervision of landscape projects. A total of 104 valid responses were obtained out of 120 targeted participants, yielding a response rate of 86.7%. The data were analyzed using IBM SPSS Statistics through descriptive statistics, reliability testing (Cronbach's Alpha), Pearson correlation, and simple and multiple linear regression.

The results indicated high internal consistency across all dimensions, with Cronbach's Alpha values ranging from 0.890 to 0.970. Descriptive analysis showed high levels for both the implementation of smart and sustainable irrigation systems and the enhancement of water security. Pearson correlation analysis revealed strong, positive, and statistically significant relationships between smart and sustainable irrigation systems and all dimensions of water security enhancement. In addition, simple linear regression showed that smart and sustainable irrigation systems explain 87.3% of the variance in water security enhancement. Multiple regression analysis further demonstrated that operation and management of irrigation systems and environmental sustainability of irrigation systems were the strongest predictors of water security enhancement when the dimensions were tested jointly.

The study concludes that smart and sustainable irrigation systems represent a significant and multidimensional contributor to enhancing water security in landscape projects in Abu Dhabi Emirate, particularly when technical applications are integrated with effective operational management and environmentally sustainable practices.

Keywords: Smart and sustainable irrigation systems, water security, landscape projects, water use efficiency, water management, Abu Dhabi Emirate.

Midocean University

College of Management

Master of Project Management

**The Role of Smart and Sustainable Irrigation Systems in Enhancing
Water Security within Landscape Projects in Abu Dhabi Emirate**

Prepared by:

Mohamed Mohamed Elmekawy Abd Alaal Elsayed

252000504

Supervised by:

Dr. Faisal Abdul Hamid

Dr. Fayez Jarad

Year:2026