

أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة

إعداد

محمد ساطر القرشي

الرقم الأكاديمي: 251000074

الإشراف/

أ.د. الفصيل عبد الحميد محمد

أ.د. فايز علي جراد

العام الجامعي

2025م

الشكر والعرفان

الحمد لله رب العالمين الذي وفقني لإتمام هذه الرسالة العلمية، والصلاة والسلام على نبينا محمد وعلى آله الغر الميامين القائل: (من لا يشكر الناس لا يشكر الله).

مع انتهائي من هذه الرسالة لا يسعني إلا أن أعترف لكل ذي فضل عليّ بفضلته، فهم أهلّ للشكر والثناء، ولذا اتقدم بالشكر الجزيل وبخالص المودة والتقدير للمشرفين على هذه الرسالة، الأستاذ الدكتور/ الفيصّل عبد الحميد، والأستاذ الدكتور/ فايز علي جراد لما قدماه لي من إرشادات وتوجيهات علمية ومنهجية قيمة وسديدة، وعلى سعة صدرهما في الأخذ والعطاء طوال فترة الدراسة.

كما أتوجه بالشكر إلى جميع القائمين على مشاريع المياه في منطقة جده، الذين قدموا لي الدعم والمؤازرة فيما يتعلق بالحصول على المعلومات، والاستجابة على تساؤلات وفقرات أداة الدراسة.

كما أشكر كل من انتفعت بعلمه، وكل من ساعدني على إخراج هذه الدراسة إلى النور، فما وفقني فيه فمن الله، وما قصرت فمني ومن الشيطان، والله الهادي إلى سواء السبيل.

الباحث

ملخص الدراسة

أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة

إعداد: محمد ساطر القرشي

المستخلص

هدفت هذه الدراسة بشكل رئيسي إلى استكشاف وتقييم أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة بالمملكة العربية السعودية، وسعت للإجابة عن مجموعة من التساؤلات البحثية المتعلقة بأنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة، ومستوى تبنيها، وأثرها على أبعاد جودة خدمات المياه المتمثلة في موثوقية الخدمة، جودة المياه المقدمة، كفاءة توزيع وإدارة الموارد، ورضا العملاء، بالإضافة إلى كفاءة الاستجابة للحالات الطارئة والاستدامة التشغيلية. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي الذي يُعد ملائماً لدراسة العلاقات السببية المحتملة وتأثير متغير على آخر في سياقه الطبيعي، حيث يُمكن من وصف الظاهرة وتحليل البيانات المجمعة لتحديد هذه العلاقات. تمثلت الأداة الرئيسية لجمع البيانات الأولية في استبانة مُصممة خصيصاً لأغراض هذه الدراسة بناءً على الإطار النظري والأدبيات السابقة، واستهدفت الاستبانة الكادر الإداري والوظيفي القائم على مشاريع المياه في منطقة جدة باعتبارهم الأكثر دراية بالعمليات التشغيلية وتأثير التقنيات عليها، وتم جمع البيانات من عينة بلغ حجمها (334) مستجيباً. شملت الأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات الكمية، التي تم معالجتها باستخدام برنامج SPSS v.28، الإحصاء الوصفي (المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية، التكرارات والنسب المئوية) لوصف متغيرات الدراسة وأبعادها، والإحصاء الاستدلالي الذي تضمن معامل ارتباط بيرسون لقياس العلاقة بين المتغيرات، وتحليل الانحدار الخطي البسيط لاختبار فرضيات الأثر. كما تم استخدام معامل ألفا كرونباخ لتقدير ثبات أبعاد أداة الدراسة.

أظهرت نتائج الدراسة أن مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة يُعد مرتفعاً بمتوسط حسابي بلغ (4.04)، مع تركيز أبرز الاستخدامات على أنظمة مراقبة الشبكات والتنبؤ بأنماط الاستهلاك والأعطال وتحليل بيانات جودة المياه. كما كشفت النتائج عن مستوى تبني مرتفع لتقنيات الذكاء الاصطناعي بمتوسط حسابي بلغ (4.10)، مما يُشير إلى دمجها

الفعلي في العمليات والاعتماد على مخرجاتها في دعم اتخاذ القرارات التشغيلية. وفيما يتعلق بأثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة الخدمات، فقد توصلت الدراسة إلى وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية على جميع أبعاد جودة الخدمات التي تم قياسها. فكان الأثر على موثوقية الخدمة إيجابياً وقوياً ($R^2=0.429$, $Sig.=0.000$)، مما يؤدي إلى تحسين استمرارية الخدمة وتقليل الانقطاعات. كما كان الأثر على جودة المياه المقدمة إيجابياً وقوياً جداً ($R^2=0.473$, $Sig.=0.000$)، مما يسهم في ضمان مطابقة جودة المياه للمعايير الصحية. وأظهر التحليل أثراً إيجابياً وقوياً على كفاءة توزيع وإدارة موارد المياه ($R^2=0.455$, $Sig.=0.000$)، مما يؤدي إلى تقليل الفاقد المائي وتحسين استخدام الموارد. وامتد الأثر الإيجابي والقوي أيضاً إلى مستوى رضا العملاء ($R^2=0.386$, $Sig.=0.000$)، مما يعكس أن التحسينات في الأبعاد الفنية والتشغيلية تنعكس إيجاباً على تقييم العميل للخدمة. تدعم هذه النتائج مجتمعة الفرضية الرئيسية للدراسة بوجود أثر إيجابي شامل لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة، وتتسق مع ما أشارت إليه الأدبيات النظرية والدراسات السابقة حول إمكانيات الذكاء الاصطناعي في تطوير قطاع المياه، وتسهم في سد الفجوة البحثية من خلال تقديم دليل إمبريقي في السياق المحلي ومن منظور الكادر العامل.

وبناءً على هذه الاستنتاجات، تُوصي الدراسة بمواصلة وتوسيع نطاق الاستثمار في تقنيات الذكاء الاصطناعي المتخصصة، وترسيخ وتعميم تطبيقات الصيانة التنبؤية والمراقبة اللحظية، وتطوير برامج تدريب متخصصة للكادر البشري، وتعزيز البنية التحتية الرقمية، واستخدام مخرجات الذكاء الاصطناعي في دعم اتخاذ القرارات، والاستفادة منها في تطوير قنوات خدمة العملاء وزيادة كفاءة استخدام الطاقة وتقليل الفاقد، ووضع إطار حوكمة وأخلاقيات للاستخدام.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، جودة الخدمات، مشاريع المياه، إدارة المياه، جدة، كفاءة التشغيل.

قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع
الصفحات التمهيدية	
أ	صفحة الغلاف.
ب	الشكر والعرفان.
ج	ملخص الدراسة.
د	قائمة المحتويات.
الفصل الأول: الإطار العام للدراسة	
2	- المقدمة.
4	- مشكلة الدراسة.
7	- أهمية الدراسة.
8	- تساؤلات الدراسة.
9	- أهداف الدراسة.
9	- فرضيات الدراسة.
10	- حدود الدراسة.
10	- المصطلحات الإجرائية للدراسة.
الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة	
- مقدمة	
المحور الأول: الدراسات السابقة	
13	تمهيد
14	أولاً: الدراسات العربية
16	ثانياً: الدراسات الأجنبية
20	ثالثاً: تعقيب عام على الدراسات السابقة
المحور الثاني: الإطار النظري	

30	تمهيد
30	المبحث الأول: تقنيات الذكاء الاصطناعي واستخداماتها.
32	المبحث الثاني: جودة خدمات مشاريع المياه.
35	المبحث الثالث: أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه
38	المبحث الرابع: المنطلقات النظرية.
41	خاتمة الإطار النظري
الفصل الثالث: منهجية الدراسة	
45	تمهيد.
45	- منهج الدراسة.
46	- مصادر جمع البيانات.
47	- مجتمع الدراسة وعينتها.
48	- أداة الدراسة.
49	- الخصائص السيكمترية لأداة الدراسة.
50	- طريقة ومعيار تصحيح أداة الدراسة.
51	- إجراءات الدراسة.
53	- الأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة.
الفصل الرابع: نتائج الدراسة ومناقشتها	
65	تمهيد.
65	- تحليل نتائج التساؤل الأول للدراسة.
60	- تحليل نتائج التساؤل الثاني للدراسة.
65	- تحليل نتائج التساؤل الثالث للدراسة.
67	- تحليل نتائج التساؤل الرابع للدراسة.
70	- خلاصة بنتائج الدراسة.
الفصل الخامس: استنتاجات الدراسة، توصياتها، ومقترحاتها	

72	- تمهيد
72	- استنتاجات الدراسة.
73	- توصيات الدراسة العملية وإجراءات التنفيذ.
76	- مقترحات بدراسات مستقبلية.
78	- خاتمة الدراسة.
قائمة المراجع	
80	أولاً: المراجع بالعربية.
81	ثانياً: المراجع بالإنجليزية.
قائمة الملاحق	
87	- ملحق الاستبانة في صورتها النهائية.
90	- ملخص الدراسة باللغة الإنجليزية.
93	- صفحة غلاف الدراسة باللغة الإنجليزية.

الفصل الأول

الإطار العام للدراسة

1. المقدمة.
2. مشكلة الدراسة.
3. تساؤلات الدراسة.
4. أهداف الدراسة.
5. أهمية الدراسة.
6. متغيرات وأبعاد الدراسة.
7. فرضيات الدراسة.
8. حدود الدراسة.
9. مصطلحات الدراسة وتعريفاتها الإجرائية.

الفصل الأول

الإطار العام للدراسة

تمهيد

يُمثل هذا الفصل اللبنة الأساسية التي تُبنى عليها الدراسة برمتها، حيث يُقدم خريطة مفاهيمية ومنهجية تُحدد مسار البحث. يتناول الفصل الإطار العام للدراسة، بدءاً بتحديد سياقها ومشكلاتها المحورية، مروراً بصياغة تساؤلاتها وأهدافها التي تسعى لتحقيقها، وصولاً إلى إيضاح أهميتها النظرية والتطبيقية، وتحديد المتغيرات الرئيسية وأبعادها، ووضع الفرضيات التي ستُختبر إمبيريقياً، ليُشكل بذلك الأساس الذي ستنتقل منه الفصول اللاحقة.

مقدمة الدراسة

يشهد العالم تطوراً تكنولوجياً متسارعاً، يتصدره الذكاء الاصطناعي (AI) الذي أصبح قوة محورية في إعادة تشكيل مختلف القطاعات الحيوية، بما في ذلك قطاع إدارة المياه. تُعد خدمات المياه ركيزة أساسية للتنمية المجتمعية والاقتصادية والصحية، إلا أنها تواجه تحديات متزايدة تتمثل في ندرة الموارد المائية، زيادة الطلب، قدم البنية التحتية، والحاجة الماسة لرفع كفاءة التشغيل والصيانة (World Health Organization [WHO], 2022). في المملكة العربية السعودية، تؤدي إدارة وتوفير خدمات المياه دوراً استراتيجياً هاماً، وتحديدًا في مناطق مثل جدة التي تشهد نمواً سكانياً وتنموياً ملحوظاً.

في هذا السياق، تبرز تقنيات الذكاء الاصطناعي كأداة واعدة لتعزيز جودة وكفاءة خدمات مشاريع المياه. يمكن لهذه التقنيات، مثل التعلم الآلي (Machine Learning)، وتحليلات البيانات الضخمة (Big Data Analytics)، وإنترنت الأشياء (IoT)، أن تسهم بشكل فعال في تحسين عمليات مراقبة جودة المياه، الكشف المبكر عن التسريبات في الشبكات، التنبؤ بأنماط الاستهلاك، تحسين إدارة الطاقة في محطات الضخ والمعالجة، وتعزيز كفاءة الاستجابة للطوارئ (Gabella et al., 2021; Sharma et al., 2020). إن تطبيق هذه التقنيات يمتلك القدرة على تحويل النهج التقليدي لإدارة المياه إلى نهج أكثر استباقية، ذكاءً، واستدامة.

تُركز هذه الدراسة على استكشاف وتقييم أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة الخدمات المقدمة في مشاريع المياه بمنطقة جدة. تسعى الدراسة إلى تحديد ما إذا كانت هذه التقنيات

تساهم فعلياً في رفع مستوى موثوقية الخدمة، تحسين جودة المياه، زيادة كفاءة التوزيع، وتعزيز رضا العملاء. كما تهدف إلى فهم طبيعة التحديات والفرص المرتبطة بتبني هذه التقنيات في هذا القطاع الحيوي ضمن سياق المنطقة الجغرافية المستهدفة. إن نتائج هذه الدراسة من شأنها أن توفر رؤى قيمة للمؤسسات المعنية بإدارة المياه، وصانعي القرار، والمطورين التقنيين في منطقة جدة وخارجها، حول كيفية الاستفادة المثلى من الذكاء الاصطناعي لتحقيق أهداف استراتيجية في قطاع المياه.

مشكلة الدراسة (Problem Statement)

تواجه مشاريع المياه في منطقة جدة، كسائر مناطق المملكة العربية السعودية، تحديات متنامية تتعلق بكفاءة تقديم الخدمات واستدامتها. تتمثل هذه التحديات في ارتفاع معدلات استهلاك المياه، التغيرات المناخية التي تؤثر على المصادر المائية، تزايد حجم الشبكات وتأثير العوامل البيئية عليها، وضرورة ضمان جودة المياه وفقاً للمعايير الصحية والتشغيلية الصارمة. إن الأساليب التقليدية لإدارة هذه المشاريع قد لا تكون دائماً كافية لمواجهة هذه التعقيدات بكفاءة، مما قد يؤدي إلى هدر في الموارد، انخفاض في موثوقية الخدمة، وعدم رضا العملاء.

على الرغم من الإمكانيات الواعدة التي توفرها تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين أداء الأنظمة المعقدة وإدارة البيانات الضخمة، إلا أن مدى تطبيق هذه التقنيات وآثارها الفعلية على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة لا يزال بحاجة إلى دراسة متعمقة. إن الفجوة المعرفية حول كيفية تأثير استخدام هذه التقنيات على المؤشرات الرئيسية لجودة الخدمة (مثل موثوقية التوزيع، جودة المياه، وكفاءة العمليات التشغيلية) في سياق محدد بمنطقة جدة، تمثل المشكلة البحثية الرئيسية التي تسعى هذه الدراسة لمعالجتها. إن عدم استغلال الإمكانيات التي يوفرها الذكاء الاصطناعي قد يعني تقويت فرص جوهريّة لتحسين كفاءة إدارة موارد المياه وضمان استدامتها للأجيال القادمة.

تساؤلات الدراسة (Research Questions)

بناءً على مشكلة الدراسة، سيتم الإجابة عن التساؤلات البحثية التالية:

التساؤل الرئيس: ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة؟

التساؤلات الفرعية:

1. ما أبرز تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة حالياً في مشاريع المياه بمنطقة جدة؟

2. ما مستوى تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة؟
3. ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على موثوقية خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة؟
4. ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة من مشاريع المياه في منطقة جدة؟
5. ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على كفاءة توزيع وإدارة موارد المياه في منطقة جدة؟
6. ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العملاء عن خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة؟

أهداف الدراسة (Research Objectives)

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق الأهداف التالية:

الهدف العام: استكشاف أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة.

الأهداف الفرعية:

1. تحديد أنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المطبقة حالياً في مشاريع المياه بمنطقة جدة.
2. قياس درجة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة.
3. تقييم أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على موثوقية خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة.
4. تقييم أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة من مشاريع المياه في منطقة جدة.
5. تقييم أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على كفاءة توزيع وإدارة موارد المياه في منطقة جدة.
6. تقييم أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العملاء عن خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة.

أهمية الدراسة (Significance of the Study)

تكتسب هذه الدراسة أهمية بالغة على عدة مستويات، نظرًا لطبيعة القطاع الحيوي الذي تتناوله والحاجة الملحة لتحديث وتطوير آليات تقديم الخدمات فيه. يمكن تلخيص أهمية الدراسة في المحاور التالية:

1. الأهمية النظرية (Theoretical Significance):

- **تعميق الفهم الأكاديمي:** تساهم الدراسة في إثراء المعرفة الأكاديمية حول العلاقة بين تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وجودة خدمات قطاع المياه. فهي تقدم إطارًا نظريًا وفهمًا عمليًا لكيفية تأثير هذه التقنيات على أبعاد محددة من جودة الخدمة في سياق جغرافي واقتصادي معين.
- **اختبار النماذج النظرية:** قد تساعد نتائج الدراسة في اختبار وتأكيده أو تعديل النماذج النظرية الحالية التي تربط بين التبني التكنولوجي (خاصة الذكاء الاصطناعي) وتحسين الأداء التنظيمي في قطاعات الخدمات العامة.
- **إضافة معرفة سياقية:** توفر الدراسة رؤى معرفية خاصة بالسياق السعودي ومنطقة جدة، مما يثري الأدبيات العلمية التي قد تركز بشكل عام على تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه، دون تخصيص جغرافي محدد بهذا الشكل.

2. الأهمية التطبيقية (Practical Significance):

- **دعم صنع القرار:** تقدم الدراسة نتائج وتوصيات عملية للمسؤولين والمديرين في الجهات الحكومية والخاصة المعنية بإدارة مشاريع المياه في منطقة جدة والمملكة بشكل عام. يمكن لهذه النتائج أن توجه قراراتهم بشأن الاستثمار في تقنيات الذكاء الاصطناعي وتخطيط استراتيجيات التبني.
- **تحسين جودة الخدمات:** من خلال تحديد أثر الذكاء الاصطناعي على جودة الخدمة، يمكن للمشغلين والمقدمين للخدمات اتخاذ خطوات ملموسة لتحسين موثوقية التوزيع، ضمان جودة المياه، وزيادة رضا العملاء.

- **رفع الكفاءة التشغيلية:** يمكن للمؤسسات المستفيدة من نتائج الدراسة تحسين عملياتها التشغيلية، تقليل الهدر (ماديًا، مائيًا، وطاقيًا)، وتعزيز كفاءة استخدام الموارد من خلال تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل استراتيجي.
- **توجيه الابتكار التقني:** يمكن أن تلهم الدراسة المزيد من الابتكارات في تطوير وتطبيق حلول الذكاء الاصطناعي المخصصة لتحديات قطاع المياه السعودي.

3. القيمة المضافة (Value Added):

- **سد فجوة معرفية:** تسد الدراسة فجوة معرفية حول التطبيقات المحددة للذكاء الاصطناعي وتأثيراتها على جودة خدمات المياه في منطقة جدة، مما يضيف بعدًا جديدًا للأبحاث السابقة.
 - **قياس الأثر الفعلي:** تقدم الدراسة قياسًا لمدى تأثير استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على مؤشرات جودة محددة، وهو ما يوفر دليلًا عمليًا لتقييم جدوى الاستثمار في هذه التقنيات.
 - **تحديد أفضل الممارسات:** يمكن للدراسة أن تسلط الضوء على أفضل الممارسات في تبني وتطبيق الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه، مما يساعد المؤسسات الأخرى على التعلم منها.
 - **تعزيز الاستدامة:** من خلال تحسين كفاءة استخدام الموارد وتقليل الهدر، تساهم الدراسة بشكل غير مباشر في تعزيز استدامة موارد المياه في ظل التحديات المتزايدة.
- المتغيرات الرئيسية وأبعاد كل متغير:**

بناءً على عنوان الدراسة، يمكننا تحديد متغيرين رئيسيين وأبعادهما المحتملة:

المتغير الأول: استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (المتغير المستقل)

هذا المتغير يمثل السبب أو الأداة التي يُفترض أن تؤثر على جودة الخدمات. أبعاد هذا المتغير قد تشمل:

- **أنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة:** يمكن أن تشمل هذه البعد أنواعًا مختلفة من تقنيات الذكاء الاصطناعي التي يمكن تطبيقها في قطاع المياه، مثل:

- **تحليلات البيانات والتنبؤات:** استخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل كميات هائلة من البيانات المتعلقة باستهلاك المياه، جودة المياه، أعطال الشبكات، والتنبؤ بالاحتياجات المستقبلية أو المشاكل المحتملة.
- **التعلم الآلي (Machine Learning):** لتطوير نماذج تنبؤية لتحسين كفاءة التشغيل، اكتشاف التسريبات، أو تحسين إدارة الموارد.
- **إنترنت الأشياء (IoT) مع الذكاء الاصطناعي:** استخدام أجهزة الاستشعار الذكية لجمع البيانات حول حالة الشبكات وأنظمة التوزيع، ثم استخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل هذه البيانات واتخاذ قرارات استباقية.
- **الروبوتات والأتمتة:** استخدام الروبوتات في عمليات الصيانة أو المراقبة أو حتى في تطبيقات معالجة المياه.
- **معالجة اللغات الطبيعية (NLP):** لتحليل ملاحظات العملاء أو التفاعل معهم عبر قنوات خدمة العملاء الذكية.
- **أنظمة الخبراء (Expert Systems):** لتقديم توصيات حول إدارة العمليات أو استكشاف الأخطاء وإصلاحها.
- **درجة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي:** يمكن أن تقيس هذه البعد مدى انتشار واستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي داخل مشاريع المياه في جدة. هل هي مجرد تجارب محدودة، أم أنها جزء أساسي من العمليات؟ يمكن قياسها من خلال:
 - الاستثمار في تقنيات الذكاء الاصطناعي.
 - عدد المشاريع التي تطبق الذكاء الاصطناعي.
 - مستوى تعقيد التطبيقات.
- **الكفاءة في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي:** مدى فعالية وكفاءة استخدام هذه التقنيات. هل يتم استخدامها بالشكل الأمثل لتحقيق الأهداف المرجوة؟

المتغير الثاني: جودة خدمات مشاريع المياه (المتغير التابع)

هذا المتغير يمثل النتيجة أو التأثير المتوقع لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. أبعاد جودة خدمات مشاريع المياه قد تشمل:

- **موثوقية الخدمة (Reliability):** مدى استمرارية توفير المياه دون انقطاع أو مشاكل غير متوقعة. يمكن قياسها من خلال:
 - عدد الانقطاعات في الخدمة.
 - فترات انقطاع المياه.
 - مدى استقرار ضغط المياه.
- **كفاءة التوزيع وإدارة الموارد:** مدى فعالية توصيل المياه وإدارة استهلاكها ومواردها. يمكن قياسها من خلال:
 - معدلات فقد المياه (تسربات).
 - كفاءة استخدام الطاقة في عمليات الضخ والمعالجة.
 - مدى تلبية الطلب على المياه.
- **جودة المياه المقدمة (Water Quality):** مدى مطابقة المياه للمواصفات والمعايير الصحية والتشغيلية. يمكن قياسها من خلال:
 - نتائج اختبارات جودة المياه (مثل مستويات الكلور، العكارة، الملوثات).
 - شكاوى العملاء المتعلقة بجودة المياه.
- **رضا العملاء (Customer Satisfaction):** مدى قناعة وتلبية احتياجات وتوقعات المستفيدين من خدمات المياه. يمكن قياسها من خلال:
 - استبيانات رضا العملاء.
 - عدد الشكاوى المتعلقة بالخدمة (باستثناء جودة المياه وموثوقيتها).
 - سرعة الاستجابة لطلبات واستفسارات العملاء.

- كفاءة الاستجابة للحالات الطارئة أو الأعطال: مدى سرعة وفعالية التعامل مع المشاكل غير المتوقعة في الشبكة أو أنظمة التوزيع.
- الاستدامة البيئية والتشغيلية: مدى مساهمة استخدام التقنيات في تحقيق أهداف الاستدامة، مثل تقليل الهدر أو تحسين الكفاءة الطاقوية.

ملخص العلاقة بين المتغيرات:

تسعى الدراسة إلى التحقق مما إذا كان تطبيق أنواع مختلفة من تقنيات الذكاء الاصطناعي (المتغير المستقل)، وبدرجات متفاوتة من التبني والكفاءة، يؤدي إلى تحسين أو تدهور في أبعاد جودة خدمات مشاريع المياه (المتغير التابع) مثل موثوقية الخدمة، كفاءة التوزيع، جودة المياه، ورضا العملاء في منطقة جدة.

فرضيات الدراسة (Research Hypotheses)

لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة على تساؤلاتها، سيتم اختبار الفرضيات التالية:

- الفرضية الرئيسية الأولى (H1): يوجد أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على موثوقية خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة.
 - الفرضية الفرعية 1.1 (H1.1): استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في الكشف المبكر عن التسريبات يساهم في زيادة موثوقية خدمات المياه.
 - الفرضية الفرعية 1.2 (H1.2): استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال يساهم في زيادة موثوقية خدمات المياه.
- الفرضية الرئيسية الثانية (H2): يوجد أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة من مشاريع المياه في منطقة جدة.
 - الفرضية الفرعية 2.1 (H2.1): استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مراقبة جودة المياه وتحليلها يساهم في تحسين جودة المياه المقدمة.
- الفرضية الرئيسية الثالثة (H3): يوجد أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على كفاءة توزيع وإدارة موارد المياه في منطقة جدة.

- **الفرضية الفرعية 3.1 (H3.1):** استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين أنماط التوزيع يساهم في زيادة كفاءة توزيع المياه.
- **الفرضية الفرعية 3.2 (H3.2):** استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة استهلاك المياه يساهم في زيادة كفاءة إدارة الموارد.
- **الفرضية الرئيسية الرابعة (H4):** يوجد أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العملاء عن خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة.
- **الفرضية الفرعية 4.1 (H4.1):** استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين سرعة الاستجابة لشكاوى العملاء يساهم في زيادة رضا العملاء.
- **الفرضية الفرعية 4.2 (H4.2):** تحسين موثوقية الخدمة وجودة المياه نتيجة لاستخدام الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى زيادة رضا العملاء.

حدود الدراسة

تقتصر نتائج هذه الدراسة وتوصياتها على النطاق المحدد الذي غطته، وبالتالي يجب تفسيرها وتعميمها في ضوء الحدود التالية:

1. **الحدود العلمية (الموضوعية):** تقتصر الدراسة علمياً على استكشاف وقياس أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه، وتحديداً كما يُقاس من خلال الأبعاد التسعة التي تم تحديدها في المتغيرين الرئيسيين (ثلاثة أبعاد للمتغير المستقل وستة أبعاد للمتغير التابع). لا تتناول الدراسة كافة الجوانب النظرية أو التطبيقية المرتبطة بالذكاء الاصطناعي في قطاعات أخرى، كما أنها لا تُقدم تحليلاً شاملاً لجميع العوامل الأخرى التي قد تؤثر على جودة خدمات مشاريع المياه بخلاف استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. كما تقتصر على تقييم الأثر من منظور الكادر الإداري والوظيفي، وليس من منظور المستهلك النهائي أو الإدارة العليا أو الخبراء الفنيين فقط.

2. **الحدود المكانية:** تقتصر الدراسة مكانياً على مشاريع المياه التي تُقدم خدماتها ضمن نطاق منطقة جدة بالمملكة العربية السعودية. تُعد الظروف التشغيلية، البيئية، التنظيمية، والبنية التحتية في مشاريع المياه بجدة محددات مكانية لنتائج الدراسة. وبالتالي، قد لا تعمم نتائج الدراسة بشكل مباشر على مشاريع المياه في مناطق جغرافية أخرى داخل المملكة أو خارجها،

حيث قد تختلف طبيعة التحديات، ومستوى التبني التقني، وأنواع التقنيات المستخدمة، والإطار التنظيمي.

3. **الحدود البشرية:** تقتصر الدراسة بشرياً على عينة من الكادر الإداري والوظيفي العاملين في مشاريع المياه بمنطقة جدة والذين لديهم معرفة أو تفاعل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي والعمليات المتأثرة بها. لا تشمل الدراسة شرائح أخرى قد يكون لها وجهة نظر مختلفة حول الموضوع، مثل المستهلكين (العملاء النهائيين)، أو كبار المسؤولين وصناع القرار في الجهات المعنية، أو الموردين لتقنيات الذكاء الاصطناعي. وبالتالي، تُعبر النتائج عن إدراكات وتجارب هذه الفئة المحددة من العاملين.

4. **الحدود الزمنية:** تقتصر الدراسة زمنياً على البيانات التي تم جمعها خلال فترة زمنية محددة وهي **الثلث الأول من شهر يوليو 2025م**. يُشكل هذا حداً زمنياً مهماً نظراً للتطور المتسارع في مجال تقنيات الذكاء الاصطناعي والتغيرات المحتملة في استراتيجيات التبني والتطبيق في قطاع المياه. لذلك، فإن النتائج التي توصلت إليها الدراسة تعكس الواقع خلال هذه الفترة الزمنية المحددة، وقد تتغير مستويات الاستخدام أو التبني أو الأثر المدرك لهذه التقنيات في فترات زمنية لاحقة نتيجة للتطورات التكنولوجية، السياسات الجديدة، أو الخبرة المتراكمة.

مصطلحات الدراسة وتعريفاتها الإجرائية

تستند هذه الدراسة إلى مجموعة من المصطلحات المحورية التي تمثل المتغيرات الرئيسية وأبعادها. يتطلب تحليل العلاقة بين هذه المتغيرات فهماً واضحاً ومحددًا لكل مصطلح في سياق البحث الراهن. وفيما يلي، سيتم استعراض المصطلحات الرئيسية في هذه الدراسة وتقديم تعريفها الاصطلاحي والإجرائي بناءً على أحدث الأدبيات العلمية المتاحة.

1. استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (Use of Artificial Intelligence Techniques)

يُعد الذكاء الاصطناعي أحد أبرز التطورات التكنولوجية التي تُعيد تشكيل مختلف القطاعات، ويُمثل مجموعة من التقنيات التي تهدف إلى تمكين الآلات من أداء مهام تتطلب عادةً قدرات معرفية بشرية.

اصطلاحياً، يُمكن تعريف الذكاء الاصطناعي بأنه "القدرة التي تمتلكها الأنظمة الحاسوبية على أداء مهام تُعتبر بشكل عام مرتبطة بالذكاء البشري، مثل التعلم من الخبرة، التعرف على الأنماط، وحل المشكلات" (Wang et al., 2021, p. 2). كما يُنظر إليه على أنه "مجموعة من التقنيات

والأدوات التي تُتيح للأنظمة تحليل البيانات، التعلم منها، واتخاذ قرارات مستقلة أو تقديم توصيات بناءً على هذا التحليل (UNESCO, 2022, p. 4). تُبرز هذه التعاريف الجانب الوظيفي للذكاء الاصطناعي كأداة لمحاكاة القدرات المعرفية واتخاذ القرارات المدفوعة بالبيانات.

إجرائياً، يُعرف "استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي" في نطاق هذه الدراسة بمجمل التطبيقات والحلول القائمة على تقنيات الذكاء الاصطناعي (مثل التعلم الآلي، تحليلات البيانات التنبؤية، الرؤية الحاسوبية، أو المعالجة الذكية للبيانات الحسية) التي تم دمجها وتطبيقها ضمن العمليات التشغيلية والإدارية في مشاريع المياه داخل منطقة جدة خلال الفترة الزمنية محل البحث، وذلك بهدف تحقيق تحسينات في الأداء أو الخدمات.

• أبعاد استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي:

○ أنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة (Types of AI Techniques Used):

اصطلاحياً، تُشير هذه الأنواع إلى التصنيفات الفرعية للتقنيات ضمن حقل الذكاء الاصطناعي التي تُطبق لأغراض محددة، مثل "التعلم الآلي لتطوير نماذج تنبؤية، الشبكات العصبية للتعرف على الأنماط المعقدة، أو الأنظمة الخبيرة لمحاكاة عملية صنع القرار البشري" (Hamidon et al., 2022, p. 3).

إجرائياً، تُقصد بها التقنيات المحددة للذكاء الاصطناعي (مثل خوارزميات التعلم العميق المستخدمة لتحليل صور الأنابيب، أو نماذج الانحدار المستخدمة للتنبؤ بالاستهلاك) التي تم تحديد وجودها وتطبيقها ضمن مشاريع المياه في منطقة جدة من خلال أدوات جمع البيانات.

○ درجة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي (Degree of AI Adoption):

اصطلاحياً، يُعرف التبني التكنولوجي بأنه "مدى دمج وقبول تقنية جديدة ضمن السياق التنظيمي أو المجتمعي، والذي يُمكن قياسه بمستويات الاستثمار، نطاق التطبيق، أو عدد المستخدمين" (Dwivedi et al., 2021, p. 2).

إجرائياً، تُقاس "درجة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي" في هذه الدراسة بمدى انتشار وتكامل تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مختلف وظائف وعمليات مشاريع المياه بمنطقة جدة، وذلك من خلال مؤشرات تعكس حجم الاستثمار فيها، أو نسبة العمليات التي تعتمد عليها.

○ الكفاءة في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي (Efficiency in Applying AI Techniques)

اصطلاحياً، تُشير كفاءة التطبيق إلى "مدى فعالية استخدام الموارد المتاحة لتحقيق الأهداف المرجوة من تبني التقنية الجديدة، وتُقاس غالباً بالنسبة بين المخرجات والمدخلات" (Chen et al., 2023, p. 5).

إجرائياً، تُعرف "الكفاءة في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي" في سياق هذه الدراسة بمدى قدرة الحلول المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بجدة على تحسين الأداء التشغيلي، تقليل الهدر، أو زيادة الإنتاجية بأقل قدر ممكن من الموارد (مالية، زمنية، طاقة)، وذلك مقارنة بالأساليب التقليدية.

2. جودة خدمات مشاريع المياه (Quality of Water Projects Services)

تُمثل جودة خدمات مشاريع المياه المقياس الذي يعكس مدى تلبية الخدمات المقدمة للمتطلبات التنظيمية وتوقعات المستهلكين. تُعد هذه الجودة عنصراً حيوياً للصحة العامة والتنمية المستدامة.

اصطلاحياً، تُعرف جودة خدمات المياه بأنها "مدى تلبية المياه الموزعة للمعايير الصحية والتشغيلية من حيث الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية، بالإضافة إلى موثوقية واستمرارية التوريد وسهولة الوصول إلى الخدمة" (Smith et al., 2023, p. 3). كما يُمكن وصفها بأنها "تقييم المستخدم النهائي لأداء الخدمة المقدمة مقارنةً بتوقعاته المسبقة واحتياجاته من حيث التوفر، الجودة، السعر، وسهولة التعامل مع مقدم الخدمة" (World Bank Group, 2020, p. 12). تُشير هذه التعاريف إلى الأبعاد الفنية والوظيفية وتجربة العميل كعناصر أساسية للجودة.

إجرائياً، تُقاس "جودة خدمات مشاريع المياه" في نطاق هذه الدراسة من خلال مجموعة من المؤشرات المعتمدة لقياس الأداء في مشاريع المياه بمنطقة جدة، والتي تشمل على وجه الخصوص: موثوقية إمداد المياه، كفاءة إدارة وتوزيع الموارد المائية، جودة المياه المطابقة للمواصفات، سرعة الاستجابة للحالات الطارئة، ومستوى رضا العملاء عن مجمل الخدمات.

• أبعاد جودة خدمات مشاريع المياه:

○ موثوقية الخدمة (Service Reliability):

اصطلاحياً، تُعرف موثوقية خدمة المياه بأنها "القدرة على توفير إمدادات المياه للمستهلكين بشكل مستمر وغير منقطع، مع الحفاظ على ضغط تدفق مناسب ومستقر داخل شبكة التوزيع" (Rossi et al., 2021, p. 2).

إجرائياً، تُقاس "موثوقية الخدمة" في هذه الدراسة بمؤشرات مثل عدد الانقطاعات غير المخططة لإمداد المياه في منطقة جدة خلال فترة زمنية معينة، ومتوسط مدة هذه الانقطاعات، ومعدل الشكاوى المرتبطة بضعف أو عدم استقرار ضغط المياه.

○ كفاءة التوزيع وإدارة الموارد (Distribution and Resource Management Efficiency):

اصطلاحياً، تُشير إلى "مدى فعالية استخدام الموارد المائية والطاقوية في عمليات نقل، معالجة، وتوزيع المياه، وتُقاس غالباً بنسبة الفاقد المائي غير الإيرادي وكفاءة استخدام الطاقة في المحطات" (Araújo et al., 2021, p. 2).

إجرائياً، تُقاس "كفاءة التوزيع وإدارة الموارد" في هذه الدراسة بنسبة الفاقد المائي في شبكات توزيع المياه بجدة، ومعدلات استهلاك الطاقة الكهربائية لكل متر مكعب من المياه المنتجة أو الموزعة، بالإضافة إلى مؤشرات تعكس مدى التوازن بين العرض والطلب.

○ جودة المياه المقدمة (Water Quality):

اصطلاحياً، تُعرف بأنها "مدى مطابقة خصائص المياه (الفيزيائية، الكيميائية، الميكروبيولوجية) للمعايير الصحية والبيئية المحددة، لضمان سلامتها وصلاحياتها للاستهلاك البشري أو الاستخدامات الأخرى المقصودة" (Gupta & Singh, 2021, p. 2).

إجرائياً، تُقاس "جودة المياه المقدمة" في هذه الدراسة من خلال نتائج الاختبارات الدورية التي تُجرى على عينات المياه الموزعة في جدة للتأكد من مطابقتها للمواصفات القياسية الوطنية لمياه الشرب، وعدد الشكاوى المسجلة المتعلقة بتغير لون أو طعم أو رائحة المياه.

○ رضا العملاء (Customer Satisfaction):

اصطلاحياً، يُعرف رضا العملاء في سياق الخدمات العامة بأنه "التقييم الإيجابي للعميل لتجربته الكلية مع الخدمة المقدمة، والذي ينتج عن مقارنة الأداء الفعلي للخدمة بتوقعاته واحتياجاته" (Zeithaml et al., 2020, p. 31).

إجرائياً، يُقاس "رضا العملاء" في هذه الدراسة من خلال استبيانات أو أدوات مسح تُطبق على عينة من مستخدمي خدمات المياه في منطقة جدة، بهدف جمع تقييماتهم حول مختلف جوانب الخدمة مثل موثوقية التوريد، الاستجابة للشكاوى، والتعامل مع مقدم الخدمة.

○ كفاءة الاستجابة للحالات الطارئة أو الأعطال (Emergency/Fault Response Efficiency):

اصطلاحياً، تُعرف بأنها "قدرة مرفق المياه على اكتشاف الأعطال والحوادث غير المخططة في الشبكة أو النظام (مثل التسربات الكبيرة أو التلوث)، والتعامل معها بسرعة وفعالية لتقليل التأثير على الخدمة والبيئة والمستخدمين" (Admassu et al., 2021, p. 4).

إجرائياً، تُقاس "كفاءة الاستجابة للحالات الطارئة أو الأعطال" في هذه الدراسة بزمان الاستجابة الأولية لبلاغات الأعطال في شبكات المياه بجدة (من تلقي البلاغ حتى وصول فريق الصيانة)، ومتوسط زمن الإصلاح الكامل للعطل، وفعالية الإجراءات المتخذة لاحتواء الضرر.

○ الاستدامة البيئية والتشغيلية (Environmental and Operational Sustainability):

اصطلاحياً، تُشير الاستدامة في قطاع المياه إلى "إدارة الأنظمة والموارد بطرق تضمن تلبية الاحتياجات الحالية والمستقبلية، مع الأخذ في الاعتبار التأثيرات البيئية للعمليات (مثل هدر المياه واستهلاك الطاقة) والقدرة على مواصلة العمليات بكفاءة على المدى الطويل" (Makaya et al., 2023, p. 2).

إجرائياً، تُقاس "الاستدامة البيئية والتشغيلية" في هذه الدراسة بمؤشرات تعكس الأداء البيئي لمشاريع المياه في جدة (مثل حجم المياه المفقودة، نسبة استخدام الطاقة المتجددة في العمليات، ومعدلات الامتثال للوائح البيئية)، بالإضافة إلى مؤشرات الكفاءة التشغيلية على المدى الطويل.

الفصل الثاني

مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة

- مقدمة
- المحور الأول: الدراسات السابقة
- المحور الثاني: الإطار النظري للدراسة

الفصل الثاني

مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة

مقدمة

تُعد مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة ركيزة أساسية في بناء أي عمل بحثي رصين، فهي تُسهم في رسم خريطة المعرفة القائمة، وتحديد مسار التطور الفكري في المجال المدروس، والكشف عن النقاط التي لم تُستكشف بعد بشكل كافٍ. يهدف هذا الفصل إلى استعراض وتحليل الأطر النظرية والأبحاث التطبيقية التي تناولت المتغيرات الرئيسية للدراسة والعلاقة بينها، وذلك لتوفير الأساس المعرفي اللازم لتأطير البحث الحالي، وتحديد الفجوة البحثية التي يسعى لسدها، وتوضيح المساهمة المتوقعة للدراسة في حقل المعرفة.

المحور الأول: الدراسات السابقة (Previous Studies)

تمهيد

يُسهم استعراض الدراسات والأبحاث السابقة في إثراء الفهم النظري والمنهجي للظاهرة محل الدراسة، كما يُساعد في تحديد ما توصل إليه الباحثون السابقون، والكشف عن الفجوات المعرفية التي لا تزال بحاجة إلى استكشاف. في سعي هذه الدراسة إلى تحديد ودراسة العلاقة بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وجودة خدمات مشاريع المياه، يُقدم هذا الجزء عرضاً تحليلياً لأبرز الدراسات الحديثة ذات الصلة، وذلك بهدف بناء أساس معرفي يُعزز من قدرة الدراسة الحالية على تحقيق أهدافها والمساهمة بفاعلية في مجال البحث العلمي.

أولاً: الدراسات العربية

يُقدم هذا القسم استعراضاً لعدد من الدراسات العربية الحديثة ومنها السعودية، التي تناولت تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه أو جوانب مرتبطة به، وذلك لتوفير رؤية شاملة للأبحاث السابقة في السياق الإقليمي، مرتبةً من الأحدث إلى الأقدم.

- أشار المالكي وآخرون (2024)، في دراسة أجريت في المملكة العربية السعودية، إلى أن تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة شبكات المياه يستهدف تحسين كفاءة توزيع المياه وتقليل الفاقد المائي من خلال توظيف نماذج التنبؤ الذكية، مع التركيز على التحديات المرتبطة بعملية التنبؤ. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، واعتمدت على الاستبيانات كأداة لجمع البيانات من عينة بلغت (150) متخصصاً في قطاع المياه. وقد أظهرت النتائج أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يؤدي بالفعل إلى رفع كفاءة الشبكات وتعزيز موثوقية الخدمة، ومع ذلك، تواجه عملية التنبؤ تحديات جوهرية تتعلق بالبنية التحتية الرقمية وكلفة التنفيذ العالية.
- وفي مصر، هدفت دراسة عمران وعلي (2023) إلى تقييم أثر استخدام تطبيقات إنترنت الأشياء المدعومة بالذكاء الاصطناعي في تحسين جودة مياه الشرب في أنظمة التوزيع. اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي مع تحليل البيانات، وتم جمع البيانات من خلال قياسات ميدانية وتحليل نماذج محاكاة باستخدام عينة من (20) نقطة مراقبة في شبكة توزيع مياه. أظهرت النتائج أن استخدام المستشعرات الذكية مع خوارزميات التعلم الآلي يسهم في الكشف المبكر عن التلوث ويحسن استجابة النظام لضمان توفير مياه ذات جودة أعلى للمستهلكين.
- من جانب آخر، استكشفت دراسة الحربي والغامدي (2023)، في المملكة العربية السعودية، دور تحليلات البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة استجابة قطاع المياه للطوارئ وإدارة الأزمات، لا سيما فيما يتعلق بالكشف عن التسريبات غير الظاهرة. اتبعت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي باستخدام المسوحات الميدانية والمقابلات مع (50) مسؤولاً في إدارات المياه. أشارت النتائج إلى أن القدرة التنبؤية لأنظمة الذكاء الاصطناعي في تحديد مواقع التسريبات المحتملة تقلل من زمن الاستجابة للطوارئ وتحد من الخسائر المادية والمائية بشكل كبير.
- وفي سياق آخر، قامت عبدالله وجابر (2022) في الأردن بدراسة استكشافية حول إمكانية تطبيق الذكاء الاصطناعي لتحسين إدارة الطلب على المياه والتنبؤ بأنماط الاستهلاك المستقبلية. اعتمدت الدراسة على تحليل البيانات التاريخية للاستهلاك وتطبيق نماذج التعلم

الآلي، مع الاعتماد على المنهج الوصفي التحليلي. شملت عينة الدراسة بيانات استهلاك لـ (1000) أسرة على مدار خمس سنوات. أوضحت النتائج أن نماذج الذكاء الاصطناعي يُمكن أن تحقق دقة عالية في التنبؤ بالطلب المستقبلي، الأمر الذي يُساعد على تحسين تخطيط الموارد المائية وزيادة كفاءة التوزيع.

- كما هدفت دراسة الحازمي والشهري (2022)، التي أجريت في المملكة العربية السعودية، إلى قياس مستوى وعي وتوقعات العاملين في قطاع المياه تجاه استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي، وتم جمع البيانات عبر استبيان وُجه لعينة عشوائية بسيطة من (120) موظفاً في إدارات المياه. كشفت النتائج عن وجود وعي متوسط لدى العاملين بإمكانات الذكاء الاصطناعي، مصحوباً برغبة عالية في تبني هذه التقنيات لزيادة الكفاءة التشغيلية، إلا أنها أشارت إلى ضرورة توفير برامج تدريب وتأهيل متخصصة.

- وفي دولة الإمارات العربية المتحدة، استكشفت دراسة محمد ونصر (2021) أثر استخدام أنظمة دعم القرار المستندة إلى الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة شبكات الصرف الصحي، مع التركيز على الكشف المبكر عن الأعطال المحتملة. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي مع استخدام برامج المحاكاة، وجمعت البيانات من خلال تحليل البيانات التشغيلية لشبكة صرف صحي كبرى. أظهرت النتائج أن هذه الأنظمة تُسهم في تقليل زمن اكتشاف الأعطال وتحسين كفاءة الاستجابة لها، مما يُرفع من الأداء الكلي للنظام ويُقلل من الآثار البيئية السلبية.

- أخيراً، بحثت دراسة الخالدي والضبيب (2020) في المملكة العربية السعودية في مدى توافر البنية التحتية الداعمة لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه، وتقييم المعوقات الرئيسية لذلك. اتبعت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتم جمع البيانات عبر مقابلات متعمقة مع (40) من خبراء وقادة قطاع المياه. أظهرت النتائج أن البنية التحتية الرقمية القائمة والتحديات المتعلقة بتكامل الأنظمة القديمة مع التقنيات الحديثة تُعد من أبرز المعوقات المؤسسية، إلى جانب الحاجة الماسة إلى استثمارات أكبر في رأس المال البشري والتقني.

ثانياً: الدراسات الأجنبية

يستعرض هذا الجزء ملخصات لأبرز الدراسات الأجنبية الحديثة التي تناولت تقاطع الذكاء الاصطناعي مع جودة خدمات المياه أو كفاءة إدارتها، وذلك لتقديم رؤية أوسع للنطاق العالمي لهذه الأبحاث، مرتبةً من الأحدث إلى الأقدم.

- في سياق دولي، أشارت دراسة Jovanović وآخرون (2024) في صربيا إلى أهمية استخدام نماذج التعلم العميق (Deep Learning) لتحليل بيانات شبكات المياه بهدف تحسين دقة التنبؤات المتعلقة بأنماط استهلاك المياه وتقدير الاحتياجات المستقبلية من الموارد المائية. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وقامت بتحليل بيانات ضخمة مستمدة من (300) ألف عداد ذكي. وقد توصلت النتائج إلى أن هذه النماذج تُظهر قدرة عالية على تحقيق دقة تنبؤية تفوق (90%)، مما يُسهم بشكل فعال في دعم جهود إدارة الموارد المائية وتخطيط الاستثمارات في البنية التحتية.
- في كندا، استكشفت دراسة Li وآخرون (2023) أثر تطبيق منصات الذكاء الاصطناعي المعتمدة على إنترنت الأشياء (IoT) في تحسين الكشف عن التسريبات وتشخيص الأعطال في شبكات توزيع المياه، بهدف زيادة موثوقية الخدمة. اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي والتحليلي على شبكة مياه في إحدى المدن الكبرى، وتم جمع البيانات من خلال تحليل أداء شبكة موزعة على (500) وحدة توزيع رئيسية. أكدت النتائج أن النظام الجديد يُقلل بشكل ملحوظ من وقت اكتشاف التسريبات ويُحسن من كفاءة الاستجابة للحالات الطارئة والأعطال.
- من جهتها، سعت دراسة Ahmed وآخرون (2023)، التي أجريت في باكستان، إلى تقييم العلاقة بين استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي في محطات معالجة مياه الشرب وجودة المياه المنتجة، وذلك باستخدام المنهج الوصفي الارتباطي. اعتمدت الدراسة على تحليل بيانات معالجة مياه من سبع محطات، مع التركيز على مؤشرات الجودة مثل العكارة والمحتوى الكيميائي، بالإضافة إلى قياسات أداء أنظمة التحكم الذكية. أظهرت النتائج وجود ارتباط إيجابي قوي بين تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحسن مستويات جودة المياه، وذلك من خلال التحكم الدقيق والمستمر في عمليات المعالجة.

- وفي إسبانيا، هدفت دراسة García وآخرون (2022) إلى تحليل أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين رضا العملاء عن خدمات المياه من خلال توفير تطبيقات الهاتف المحمول وقنوات التفاعل الذكية. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، واستخدمت الاستبيانات الإلكترونية وتحليل بيانات التفاعل مع العملاء لـ (1000) مستخدم. أشارت النتائج إلى أن تقديم خدمات مخصصة والتنبؤ باحتياجات العملاء المحتملة باستخدام الذكاء الاصطناعي أدى إلى زيادة ملحوظة في مؤشرات رضا العملاء.
- وفي سياق مختلف، استكشفت دراسة Patel وآخرون (2022)، التي أجريت في الهند، فعالية خوارزميات التعلم الآلي في تحسين إدارة استهلاك المياه على مستوى المنازل الذكية، بهدف تعزيز كفاءة استخدام الموارد على نطاق المستخدم النهائي. استخدمت الدراسة المنهج الوصفي مع تحليل بيانات استهلاك مستمدة من (250) منزلاً مزوداً بأنظمة مراقبة ذكية. خلصت النتائج إلى أن استخدام أنظمة التنبؤ وإدارة الاستهلاك المدعومة بالذكاء الاصطناعي يُمكن أن يؤدي إلى ترشيد استهلاك المياه بنسبة تصل إلى (15%).
- كما بحثت دراسة Tang وآخرون (2021)، التي أجريت في الصين، في كيفية استخدام الذكاء الاصطناعي لتحسين كفاءة الطاقة في محطات ضخ المياه من خلال التنبؤ بالأحمال وتحسين جداول التشغيل. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي والنمذجة، وتم جمع البيانات من محطات ضخ متعددة. أوضحت النتائج أن تطبيق خوارزميات التحسين المدعومة بالذكاء الاصطناعي يُمكن أن يُحقق وفورات في استهلاك الطاقة تتراوح بين (10%) و (20%)، مما يُسهم بشكل كبير في خفض التكاليف التشغيلية وتعزيز الاستدامة.
- أخيراً، قامت دراسة Stephens وآخرون (2020)، التي أجريت في أستراليا، بتقييم فعالية استخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين موثوقية شبكات المياه من خلال الكشف المبكر عن تدهور حالة الأنابيب وتحديد أولويات الصيانة بناءً على المخاطر. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي وتحليل بيانات تاريخية حول عمر الشبكات وحالتها، مع تطبيق نماذج التنبؤ بالمخاطر. أظهرت النتائج أن تقنيات الذكاء الاصطناعي يُمكن أن تُسهم في تقليل حالات فشل الأنابيب بنسبة تصل إلى (25%)، مما يُعزز من موثوقية الخدمة ويُقلل من تكاليف الصيانة غير المخطط لها.

ثالثاً: التعقيب العام على الدراسات السابقة

يُظهر استعراض الدراسات السابقة، سواء العربية أو الأجنبية، أن هناك اهتماماً متزايداً بتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه، وتسلط الضوء على فوائدها المحتملة والتحديات المرتبطة بتبنيها. يُمكن تحديد جوانب الاتفاق والاختلاف، الفجوة البحثية، استفادة الدراسة الحالية، والجوانب المميزة للدراسة الراهنة على النحو التالي:

- جوانب الاتفاق مع الدراسات السابقة:

تتفق الدراسة الحالية مع العديد من الدراسات السابقة في عدة جوانب جوهرية:

- **الأثر الإيجابي للذكاء الاصطناعي:** تُجمع غالبية الدراسات، مثل دراسة المالكي وآخرون (2024)، عمران وعلي (2023)، الحربي والغامدي (2023)، Li وآخرون (2023)، Ahmed وآخرون (2023)، و Stephens وآخرون (2020)، على أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يُمكن أن يحدث تأثيراً إيجابياً على جوانب مختلفة من خدمات المياه، سواء كان ذلك في تحسين الكفاءة، زيادة الموثوقية، أو رفع جودة المياه.
- **المنهجية المتبعة:** تُشاطر الدراسة الحالية العديد من الدراسات السابقة، لا سيما في السياق العربي، استخدام المنهج الوصفي التحليلي، مما يُشير إلى أن هذا المنهج يُعد ملائماً لاستكشاف وتحليل العلاقة بين استخدام الذكاء الاصطناعي ومؤشرات الأداء في قطاع الخدمات.
- **التحديات المشتركة:** تتفق الدراسة الحالية مع نتائج بعض الدراسات (مثل الخالدي والضبيب، 2020؛ المالكي وآخرون، 2024) على وجود تحديات هيكلية وتشغيلية تُعيق التبني الكامل والفعال لتقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه، مثل الحاجة إلى بنية تحتية رقمية متقدمة، وتكاليف الاستثمار، ونقص الكفاءات البشرية.

- جوانب الاختلاف مع الدراسات السابقة:

تتميز الدراسة الحالية عن بعض الدراسات السابقة في عدة جوانب:

• **النطاق الجغرافي المحدد:** تُركز الدراسة الحالية على سياق جغرافي محدد وهو منطقة جدة، مما يُوفر نتائج مُخصصة تعكس الواقع والظروف المحلية لهذه المنطقة الهامة في المملكة العربية السعودية، في حين أن بعض الدراسات السابقة قد تناولت سياقات عامة أو مدن أخرى.

• **الأبعاد الشاملة لجودة الخدمة:** تسعى الدراسة الحالية إلى تقييم أثر استخدام الذكاء الاصطناعي على مجموعة شاملة ومتكاملة من أبعاد جودة خدمات مشاريع المياه (الموثوقية، الكفاءة، الجودة، رضا العملاء، الاستجابة للطوارئ، الاستدامة)، بدلاً من التركيز على بُعد واحد أو بُعدين كما هو الحال في بعض الدراسات السابقة (مثل دراسات ركزت فقط على الكشف عن التسربات أو التنبؤ بالطلب).

• **منظور الكادر التشغيلي والإداري:** تُقدم الدراسة رؤية لأثر استخدام الذكاء الاصطناعي من منظور الكادر الإداري والوظيفي القائمين على المشاريع، الذين يمتلكون معرفة عملية مباشرة بتأثير هذه التقنيات على الأداء اليومي وجودة الخدمة، وهو منظور قد لا يكون قد تم التركيز عليه بنفس الدرجة في الدراسات السابقة التي ربما ركزت على الجوانب التقنية البحتة أو منظور العميل فقط.

– الفجوة البحثية:

على الرغم من الجهود البحثية السابقة، لا تزال هناك فجوة معرفية واضحة تتعلق بالتقدير الكمي والتحليلي الشامل لأثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على مختلف أبعاد جودة خدمات مشاريع المياه مجتمعة في سياق جغرافي محدد وحيوي مثل منطقة جدة، وذلك من وجهة نظر الكادر التشغيلي والإداري الذي يُعد عنصراً فاعلاً في عملية التبنّي والتطبيق. تقتصر الأدبيات إلى دراسات تجمع بين هذه الجوانب المتعددة في تحليل واحد ضمن هذا السياق المحدد.

– استفادة الدراسة الحالية من الدراسات السابقة:

استفادت الدراسة الحالية بشكل كبير من الدراسات السابقة في عدة محاور:

- **بناء الإطار النظري:** ساعدت الدراسات السابقة في تحديد النظريات والمفاهيم الأساسية المرتبطة بالذكاء الاصطناعي وجودة الخدمات والتبني التكنولوجي، مما يُسر عملية بناء الإطار النظري للدراسة.
- **تحديد المتغيرات وأبعادها:** أسهمت الدراسات السابقة في تحديد الأبعاد الرئيسية لكل من المتغير المستقل (استخدام الذكاء الاصطناعي) والمتغير التابع (جودة خدمات المياه) ذات الصلة بسياق قطاع المياه.
- **صياغة أداة الدراسة:** استُلهمت صياغة عبارات الاستبانة وتحديد أبعادها الفرعية من المفاهيم والمؤشرات التي تناولتها الدراسات السابقة، مما يُعزز من صدق الأداة وملاءمتها لقياس الظواهر المرتبطة بالبحث.
- **اختيار المنهجية:** أكدت المنهجيات المتبعة في دراسات سابقة (لا سيما المنهج الوصفي التحليلي واستخدام الاستبانات) على ملاءمتها لطبيعة الدراسة الحالية وأهدافها.
- **تحديد التحديات المحتملة:** قدمت الدراسات السابقة رؤى حول التحديات المتوقعة في عملية التبني والتطبيق، مما يُمكن الدراسة الحالية من أخذها في الاعتبار عند تحليل النتائج وتقديم التوصيات.

– الجوانب المميزة للدراسة الحالية:

- تُقدم الدراسة الحالية مساهمة معرفية وتطبيقية مميزة من خلال سعيها لسد الفجوة البحثية المحددة. وتتمثل أبرز جوانب تميزها فيما يلي:
- **السياق الجغرافي المحدد:** التركيز على منطقة جدة يُضيف قيمة معرفية مُخصصة لهذا السياق الاقتصادي والديموغرافي الهام في المملكة العربية السعودية.
- **التحليل الشمولي للأثر:** تقييم الأثر على مجموعة متكاملة من أبعاد جودة الخدمة يُقدم صورة أكثر شمولاً وتفصيلاً مقارنة بالدراسات التي تُركز على بُعد واحد.

- **منظور الكادر العامل:** جمع البيانات من الكادر الإداري والوظيفي يُوفر رؤية فريدة ومباشرة حول كيفية تأثير الذكاء الاصطناعي على العمليات اليومية وجودة الخدمة من منظور العاملين في الميدان.

- **تكامل النظريات:** الاستناد إلى مجموعة متكاملة من النظريات (TAM, RBV, Service Quality, Complex Systems, DOI) يُوفر إطاراً تحليلياً قوياً ومتعدد الأبعاد لتفسير النتائج.

- **توصيات عملية ومُستهدفة:** بناءً على النتائج من هذا السياق المحدد ومن منظور الكادر العامل، يُتوقع أن تُقدم الدراسة توصيات عملية ومُستهدفة لمُعززي استخدام الذكاء الاصطناعي ومُحسني جودة خدمات المياه في منطقة جدة والمملكة بشكل عام.

في الختام، تُشكل الدراسات السابقة أساساً راسخاً تنطلق منه الدراسة الحالية، مستفيدةً من نتائجها ومنهجياتها، وفي الوقت ذاته، تسعى لتقديم مساهمة معرفية جديدة من خلال معالجة الفجوة البحثية المتعلقة بالتحليل الشامل لأثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على الأبعاد المتعددة لجودة خدمات مشاريع المياه في سياق منطقة جدة ومن منظور الكادر العامل.

المحور الثاني: الإطار النظري للدراسة (Theoretical Framework)

تمهيد

يُعد الإطار النظري بمثابة الخارطة التي توجه مسار البحث، حيث يُوفر العدسات المفاهيمية اللازمة لفهم الظواهر قيد الدراسة وتفسير العلاقات المحتملة بين متغيراتها.

المبحث الأول: تقنيات الذكاء الاصطناعي واستخداماتها

يشهد العالم اليوم تحولات جذرية مدفوعة بالتطور المتسارع في مجال الذكاء الاصطناعي، الذي لم يعد مجرد مفهوم مستقبلي بل أصبح واقعاً يُعيد تشكيل بنية العديد من القطاعات الحيوية. تُعد تطبيقات الذكاء الاصطناعي وأنظمته الذكية قوة دافعة نحو الابتكار وتحسين الكفاءة في مختلف المجالات، بما في ذلك إدارة الموارد والخدمات الحيوية مثل المياه. يهدف هذا المبحث إلى استعراض الإطار النظري المتعلق باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتحديدًا في السياقات المشابهة لقطاع خدمات المياه، وذلك من خلال تفصيل ماهية هذه التقنيات، العوامل المؤثرة في تبنيها، ومؤشرات كفاءة تطبيقها.

مفهوم تقنيات الذكاء الاصطناعي

يُعرف الذكاء الاصطناعي بأنه قدرة الآلات والأنظمة الحاسوبية على محاكاة القدرات المعرفية البشرية المعقدة، مثل التعلم من البيانات، الاستنتاج، اتخاذ القرارات، وإدراك البيئة المحيطة (Russell & Norvig, 2021, p. 2). تمتد تطبيقات الذكاء الاصطناعي لتشمل نطاقات واسعة، من الأنظمة الخبيرة البسيطة إلى الشبكات العصبية العميقة المعقدة التي تعالج كميات هائلة من البيانات غير المهيكلة (Goodfellow et al., 2016, p. 1). في سياق الخدمات العامة والبنية التحتية، يُعد الذكاء الاصطناعي أداة محورية لتحسين الكفاءة التشغيلية، تعزيز موثوقية الأنظمة، وتقديم خدمات أكثر استجابة للاحتياجات المتغيرة (Manyika et al., 2020, p. 4).

يتأثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في أي قطاع بمجموعة من الأبعاد المترابطة، أبرزها أنواع التقنيات التي يتم استخدامها، ودرجة تبني هذه التقنيات داخل المؤسسات، ومستوى الكفاءة في

تطبيقها عملياً. فهم هذه الأبعاد يُعد أساسياً لتقييم التأثير الكلي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على جودة الخدمات المقدمة في قطاع حيوي كالمياه.

أنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة

تُشكل أنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المطبقة للبنية الأولى في فهم كيفية عمل أنظمة الذكاء الاصطناعي في سياق معين. تتنوع هذه التقنيات بشكل كبير، وتشمل مقاربات مختلفة لحل المشكلات المعرفية. اصطلاحياً، يمكن الإشارة إلى أن "الذكاء الاصطناعي يشمل مجموعة واسعة من التقنيات مثل التعلم الآلي، ومعالجة اللغات الطبيعية، والرؤية الحاسوبية، والتخطيط، والروبوتات، والتي تُصمم لتمكين الأنظمة من أداء مهام تتطلب ذكاءً" (AI High-Level Expert Group, 2020, p. 9).

في قطاع المياه، تجد هذه التقنيات تطبيقات متنوعة، فمثلاً، يُستخدم التعلم الآلي بشكل واسع لبناء نماذج تنبؤية تساعد في توقع الطلب المستقبلي على المياه، أو تحديد احتمالية حدوث أعطال في الشبكة (Gharehpetian et al., 2021, p. 2). كما يُعد دمج إنترنت الأشياء (IoT) مع الذكاء الاصطناعي (AIoT) مهماً بشكل متزايد لتمكين المراقبة اللحظية لشبكات المياه وتحليل البيانات الضخمة الناتجة عن أجهزة الاستشعار لاكتشاف التسربات أو مراقبة الجودة بشكل استباقي (Gupta & Singh, 2021, p. 2). يضاف إلى ذلك استخدام الرؤية الحاسوبية المدعومة بالذكاء الاصطناعي في فحص حالة الأنابيب داخلياً أو مراقبة محطات المعالجة، وتُستخدم أنظمة الخبراء لدعم القرارات التشغيلية المعقدة. إجمالاً في هذه الدراسة، سيتم تحديد أنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي بناءً على التقنيات المحددة (مثل نماذج التعلم الآلي للتنبؤ، أنظمة تحليل بيانات الاستشعار بالذكاء الاصطناعي، إلخ) التي تُطبق حالياً ضمن عمليات مشاريع المياه في منطقة جدة، كما ستُحدد من خلال أدوات جمع البيانات الميدانية.

درجة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي:

يُشير هذا البعد إلى مدى انتشار واستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي داخل المؤسسات العاملة في قطاع المياه. يُعد تبني التكنولوجيا عملية معقدة تتأثر بالعديد من العوامل التنظيمية، التكنولوجية، والبيئية (Rogers, 2003, p. 15). اصطلاحياً، يُعرف تبني التكنولوجيا بأنه "العملية التي من خلالها

تقوم المؤسسات بتقييم، اختيار، وتطبيق ابتكارات تكنولوجية جديدة ضمن هياكلها وعملياتها الحالية " (Al-Adwani, 2021, p. 120). تتأثر درجة التبني بعوامل مثل توفر البنية التحتية الرقمية، وجود الكفاءات البشرية المدربة على التعامل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي، القدرة المالية على الاستثمار، وثقافة الابتكار داخل المؤسسة (Kamble et al., 2021, p. 2). قد يكون التبني جزئياً ومقتصراً على عمليات محددة (مثل مراقبة جودة المياه)، أو شاملاً يغطي مراحل متعددة من سلسلة قيمة خدمات المياه (من المصدر إلى التوزيع). إجرائياً في هذه الدراسة، سيتم قياس "درجة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي" من خلال تقييم مستوى انتشار استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي عبر مختلف الأقسام والوظائف في مشاريع المياه بمنطقة جدة، وذلك عبر مؤشرات مثل نسبة العمليات المغطاة بتقنيات الذكاء الاصطناعي، أو حجم الاستثمار الموجه نحو هذه التقنيات.

الكفاءة في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي:

يركز هذا البعد على مدى فعالية ونجاح استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحقيق الأهداف المرجوة منها. لا يكفي مجرد تبني التكنولوجيا، بل يجب التأكد من أنها تُستخدم بالكفاءة المطلوبة لتحقيق أقصى استفادة ممكنة. اصطلاحياً، تُعرف كفاءة تطبيق التكنولوجيا بأنها "مدى قدرة النظام أو التقنية على تحقيق المخرجات المطلوبة باستخدام أقل قدر ممكن من المدخلات، أو تحقيق أقصى قدر من المخرجات بمدخلات معينة" (Sinkovics & Sinkovics, 2021, p. 12). في سياق الذكاء الاصطناعي، قد تُقاس الكفاءة بمؤشرات مثل دقة النماذج التنبؤية، سرعة معالجة البيانات واتخاذ القرارات، القدرة على تقليل الأخطاء البشرية، أو تحقيق وفورات في الموارد كالطاقة أو المياه (Chen et al., 2023, p. 5). تتأثر كفاءة التطبيق بعوامل مثل جودة البيانات المتاحة لتدريب نماذج الذكاء الاصطناعي، التكامل السلس للتقنيات الجديدة مع الأنظمة الموجودة، وجود آليات تقييم ومتابعة للأداء، والقدرة على التكيف وتحسين النماذج بمرور الوقت. إجرائياً في هذه الدراسة، سيتم تقييم "الكفاءة في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي" من خلال مؤشرات تعكس الأداء العملي للأنظمة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بجدة، مثل نسبة دقة التنبؤات (كالتنبؤ بالتسربات أو الطلب)، ومدى تحسن مؤشرات الكفاءة التشغيلية بعد التطبيق، أو سرعة الاستجابة للمشكلات التي يتم تحديدها بواسطة هذه التقنيات.

وبصفة عامة، يُشكل استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، بأبعاده المتعددة هذه، المتغير المستقل الذي يُفترض أن يحدث تأثيراً على طبيعة وجودة خدمات مشاريع المياه. يُمكن للقدرات التحليلية والتنبؤية والأتمتة التي توفرها هذه التقنيات أن تُساهم في تحويل الأساليب التقليدية لإدارة المياه إلى نهج أكثر ذكاءً واستباقية، مما قد ينعكس إيجاباً على مؤشرات الأداء وجودة الخدمة المقدمة للمستخدمين. الانتقال من الفهم النظري للمتغير المستقل إلى استكشاف المتغير التابع (جودة خدمات مشاريع المياه) سيكون محور المبحث التالي، قبل الربط بينهما لتحليل طبيعة الأثر المتوقع.

المبحث الثاني: جودة خدمات مشاريع المياه

أهمية جودة خدمات مشاريع المياه

تُمثل خدمات المياه عصب الحياة في المجتمعات الحديثة، وتتجاوز أهميتها مجرد توفير سائل الشرب لتشمل دعامة أساسية للصحة العامة، التنمية الاقتصادية، والاستقرار الاجتماعي. في ظل التحديات المتزايدة مثل ندرة الموارد، النمو السكاني، والتغيرات المناخية، يصبح التركيز على جودة خدمات مشاريع المياه أمراً بالغ الأهمية لضمان استدامتها وكفاءتها. يُنظر إلى جودة خدمات المياه على أنها مفهوم متعدد الأوجه لا يقتصر على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه نفسها، بل يمتد ليشمل كفاءة عملية التوصيل، موثوقية الإمداد، وسهولة التفاعل مع مقدم الخدمة.

قياس وتقييم جودة خدمات المياه

يُعد قياس وتقييم جودة خدمات المياه أمراً معقداً نظراً لتعدد أبعادها وتأثيرها بعوامل فنية، تشغيلية، وإدارية متنوعة. ويُمكن النظر إلى جودة الخدمة في هذا القطاع من منظورين متكاملين: الأول يتعلق بالجودة الفنية أو التقنية للخدمة (مثل جودة المياه وموثوقية التوصيل)، والثاني يرتبط بالجودة الوظيفية أو الخدمة كما يدركها العميل (مثل الاستجابة والتعامل) (Parasuraman et al., 1988, p. 15). تُسهّم التقنيات الحديثة، ومنها الذكاء الاصطناعي، في إحداث تحولات محتملة في جميع هذه الأبعاد.

أبعاد جودة خدمات مشاريع المياه

تتضمن جودة خدمات مشاريع المياه، كما تم تحديدها في هذه الدراسة، مجموعة من الأبعاد المترابطة التي تُعكس الأداء الكلي للمرفق وقدرته على تلبية احتياجات المستخدمين والمعايير

التنظيمية. وإن فهم هذه الأبعاد وتحليلها بشكل منفصل ومجتمع يُمكن من تحديد الأثر الفعلي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي.

موثوقية الخدمة (Service Reliability): تُعد موثوقية إمداد المياه بعداً جوهرياً في تقييم جودة الخدمة. تُشير موثوقية الخدمة اصطلاحياً إلى "القدرة على توفير إمدادات مياه مستمرة وغير متقطعة للمستهلكين، والحفاظ على ضغط مياه كافٍ ومستقر في جميع أنحاء شبكة التوزيع لضمان إمكانية الوصول إلى المياه عند الطلب" (Giustolisi et al., 2021, p. 310). تُعد الانقطاعات غير المخططة في الخدمة، وتقلبات ضغط المياه، من المؤشرات الرئيسية التي تُعكس ضعف الموثوقية وتُسبب إزعاجاً كبيراً للمستخدمين، وقد تؤثر على الصحة العامة في بعض الحالات (Abadia-Torres et al., 2022, p. 2). إجرائياً في سياق هذه الدراسة، سيتم قياس موثوقية الخدمة من خلال مؤشرات تشغيلية مثل عدد ومدة انقطاعات إمداد المياه المبلغ عنها أو المرصودة في منطقة جدة، ومعدلات الشكاوى المتعلقة بانخفاض أو عدم استقرار ضغط المياه.

كفاءة التوزيع وإدارة الموارد (Distribution and Resource Management Efficiency): تُمثل كفاءة إدارة الموارد وتوزيعها عنصراً حيوياً في تحقيق الاستدامة التشغيلية والمالية لمشاريع المياه. تُعرف كفاءة التوزيع وإدارة الموارد اصطلاحياً بأنها "مدى فعالية استخدام المياه والموارد الأخرى (مثل الطاقة والمواد الكيميائية) في عمليات نقل، معالجة، وتوزيع المياه، مع التركيز على تقليل الفاقد غير الإيرادي وتعظيم الاستفادة من كل وحدة مورد" (Lambert et al., 2021, p. 4). يُعد الفاقد غير الإيرادي (Non-Revenue Water - NRW)، والذي يشمل التسريبات الحقيقية والفواتير غير الصحيحة والاستهلاك غير المصرح به، تحدياً عالمياً يؤدي إلى هدر كميات كبيرة من المياه المعالجة ويتسبب في خسائر مالية (Li et al., 2020, p. 1). كما تُعد كفاءة استخدام الطاقة في محطات الضخ والمعالجة مؤشراً هاماً على الكفاءة الإجمالية. إجرائياً في هذه الدراسة، تُقاس كفاءة التوزيع وإدارة الموارد بمؤشرات مثل نسبة الفاقد غير الإيرادي في شبكات توزيع المياه بجدة، ومعدلات استهلاك الطاقة لكل متر مكعب من المياه المنتجة أو الموزعة.

جودة المياه المقدمة (Water Quality): تُعد جودة المياه الصحية والأمنة للاستهلاك البشري الركيزة الأساسية لجودة خدمات المياه من منظور الصحة العامة. تُعرف جودة المياه اصطلاحياً بأنها "مدى مطابقة الخصائص الفيزيائية، الكيميائية، والبيولوجية للمياه للمعايير الصحية والبيئية

المحددة من قبل الهيئات التنظيمية الوطنية والدولية، لضمان سلامة المياه للاستخدامات المقصودة " (World Health Organization, 2022, p. 1). يتطلب ضمان جودة المياه مراقبة دقيقة ومستمرة لمستويات الملوثات المحتملة، ومراقبة عمليات المعالجة، والتأكد من سلامة المياه في نقاط التوزيع (Schoen et al., 2020, p. 2). أي انحراف عن المعايير يُمكن أن يُشكل خطراً على الصحة العامة ويُقلل من ثقة المستهلكين في الخدمة. إجمالاً في هذه الدراسة، سيتم تقييم جودة المياه المقدمة بناءً على مدى مطابقة نتائج اختبارات جودة المياه التي تُجرى في مشاريع المياه بمنطقة جدة للمعايير الوطنية المعتمدة، وعدد الشكاوى المرتبطة بجودة المياه.

رضا العملاء (Customer Satisfaction): يُشكل رضا العملاء المقياس النهائي لنجاح مقدم الخدمة في تلبية توقعات واحتياجات المستفيدين. يُعرف رضا العملاء اصطلاحياً في قطاع الخدمات بأنه "التقييم الإيجابي للعميل لتجربته الكلية مع الخدمة المقدمة، والذي يتكون نتيجة مقارنة الأداء الفعلي للخدمة (بما في ذلك موثوقيتها، جودتها، وسهولة الوصول إليها) بتوقعاته المسبقة واحتياجاته" (Oliver, 2010, p. 13). يتأثر رضا العملاء ليس فقط بالجوانب الفنية للخدمة، بل أيضاً بجودة التفاعل مع موظفي المرفق، سرعة الاستجابة للاستفسارات والشكاوى، وتوفير قنوات اتصال سهلة (Tuan, 2021, p. 2). يُعد قياس رضا العملاء أمراً ضرورياً لتحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسين وفهم أولويات المستهلكين. إجمالاً في هذه الدراسة، يُقاس رضا العملاء من خلال بيانات تُجمع عبر استبيانات موجهة للمستفيدين من خدمات المياه في منطقة جدة، بهدف تقييم آرائهم ومشاعرهم حول الجوانب المختلفة للخدمة.

كفاءة الاستجابة للحالات الطارئة أو الأعطال (Emergency/Fault Response Efficiency): تُعد القدرة على التعامل بفعالية مع الأعطال والحالات الطارئة غير المخططة مؤشراً هاماً على مرونة وكفاءة مرفق المياه. تُعرف كفاءة الاستجابة اصطلاحياً بأنها "سرعة وفعالية اكتشاف الأعطال (مثل التسربات الكبيرة أو انكسار الأنابيب)، تحديد مواقعها بدقة، وتنفيذ إجراءات الإصلاح اللازمة في أقصر وقت ممكن لتقليل فترة التعطل والأضرار الناجمة" (Mugume et al., 2020, p. 2). "يُمكن أن تُقلل الاستجابة السريعة والفعالة من كميات المياه المفقودة، وتُخفف من الأضرار التي قد تلحق بالبنية التحتية المحيطة، وتُحسن من إدراك العملاء لكفاءة الخدمة (Giustolisi et al., 2021, p. 315). إجمالاً في هذه الدراسة، سيتم قياس كفاءة الاستجابة للحالات الطارئة أو الأعطال بمؤشرات

مثل متوسط زمن الإبلاغ عن العطل، متوسط زمن الاستجابة الأولية (وصول فريق الطوارئ)، ومتوسط زمن الإصلاح الكامل للعطل في شبكات المياه بجدة.

الاستدامة البيئية والتشغيلية (Environmental and Operational Sustainability): يعكس هذا البعد التزام مرفق المياه بالممارسات التي تضمن استمرارية الخدمة على المدى الطويل مع تقليل الآثار السلبية على البيئة. تُعرف الاستدامة اصطلاحياً في سياق مرافق المياه بأنها "القدرة على إدارة مصادر المياه والبنية التحتية والعمليات ذات الصلة بطرق تلبي الاحتياجات الحالية دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها، مع الأخذ في الاعتبار الكفاءة الاقتصادية، المسؤولية الاجتماعية، وحماية البيئة" (Pu et al., 2020, p. 3). تشمل المؤشرات ذات الصلة الحد من هدر المياه والطاقة، إدارة المخلفات الناتجة عن محطات المعالجة بشكل صحيح، والالتزام بالمعايير البيئية في عمليات التشغيل والصيانة (Makaya et al., 2023, p. 2). إجمالاً في هذه الدراسة، سيتم تقييم الاستدامة البيئية والتشغيلية من خلال مؤشرات تعكس الأداء البيئي لمشاريع المياه في جدة مثل نسبة الطاقة المتجددة المستخدمة، ومعدلات الامتثال للوائح البيئية المتعلقة بتصريف المياه، بالإضافة إلى مؤشرات الكفاءة التشغيلية التي تُسهم في استمرارية الخدمة.

يُعد الفهم الشامل لهذه الأبعاد الستة لجودة خدمات مشاريع المياه أمراً حيوياً لتقييم التأثير المحتمل لتقنيات الذكاء الاصطناعي. إن تحسين أي من هذه الأبعاد، أو مجموعة منها، من شأنه أن يساهم في رفع مستوى جودة الخدمة الكلية المقدمة للمجتمع. سيتم في المبحث التالي ربط المتغير المستقل (استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي) بالمتغير التابع (جودة خدمات مشاريع المياه) لاستكشاف طبيعة العلاقة المحتملة بينهما بناءً على الأدبيات المتاحة والفرضيات المطروحة.

المبحث الثالث: أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه

تُمثل العلاقة بين الابتكار التكنولوجي وتحسين الأداء في قطاع الخدمات محور اهتمام متزايد، لا سيما في القطاعات الحيوية التي تُقدم خدمات أساسية للمجتمع مثل قطاع المياه. يُعد تحديد طبيعة هذا التأثير أمراً بالغ الأهمية لصانعي القرار والمديرين المسؤولين عن تشغيل هذه المرافق. يهدف هذا المبحث إلى بناء أساس نظري قوي يُفسر الكيفية التي يُمكن بها لاستخدام تقنيات الذكاء

الاصطناعي أن يُسهم في التأثير على جودة خدمات مشاريع المياه، وذلك من خلال تحليل الأثر المحتمل لهذه التقنيات على الأبعاد المختلفة لجودة الخدمة التي تم تناولها في المبحث السابق.

الذكاء الاصطناعي كأداة لتحسين خدمات المياه

تُقدم تقنيات الذكاء الاصطناعي، بفضل قدراتها الفائقة على تحليل البيانات المعقدة، تحديد الأنماط، التنبؤ بالأحداث المستقبلية، وأتمتة المهام، إمكانيات غير مسبقة لمواجهة التحديات المعاصرة في قطاع المياه. تُشير الأدبيات الحديثة إلى أن تطبيق هذه التقنيات يُمكن أن يُحدث تحولاً جوهرياً في طريقة إدارة وتشغيل شبكات ومشاريع المياه، مما يؤدي إلى رفع مستوى الكفاءة والفعالية (العلانيي وآخرون، 2022، ص. 5). فبدلاً من الاعتماد على الأساليب التقليدية التي قد تتسم بالقصور في التعامل مع الحجم الهائل من البيانات المتاحة والتفاعلات المعقدة ضمن النظام المائي، يُمكن للذكاء الاصطناعي توفير رؤى دقيقة ومدعومة بالبيانات لدعم اتخاذ القرارات وتحسين العمليات بشكل استباقي.

تأثير الذكاء الاصطناعي على أبعاد جودة خدمات مشاريع المياه:

يُمكن تحليل أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه من خلال فحص تأثيره على الأبعاد الرئيسية المكونة لهذه الجودة:

تعزيز موثوقية الخدمة:

يُعد تحسين موثوقية إمداد المياه أحد أبرز التأثيرات المتوقعة لاستخدام الذكاء الاصطناعي. تُساهم نماذج التعلم الآلي في تحليل بيانات الضغط، التدفق، العمر الافتراضي للأنباب، وحتى العوامل البيئية، للتنبؤ باحتمالية حدوث تسربات أو انكسارات في الشبكة قبل وقوعها (O'Connell et al., 2021, p. 6). يُمكن لهذه القدرة التنبؤية أن تُمكن المرافق من التحول من الصيانة التفاعلية إلى الصيانة التنبؤية أو الاستباقية، مما يُقلل بشكل كبير من عدد الانقطاعات غير المخططة للمياه ويُحافظ على استقرار الضغط في الشبكة (Abadia-Torres et al., 2022, p. 5885). كما يُمكن لأنظمة الذكاء الاصطناعي مراقبة أداء المضخات والمعدات الأخرى في المحطات وتحديد مؤشرات الأعطال المبكرة، مما يُقلل من مخاطر التوقف المفاجئ للعمليات.

تحسين كفاءة التوزيع وإدارة الموارد:

يؤدي استخدام الذكاء الاصطناعي إلى رفع مستوى كفاءة إدارة الموارد المائية والعمليات اللوجستية المرتبطة بالتوزيع. تُمكن خوارزميات الذكاء الاصطناعي من تحليل بيانات الاستشعار الضخمة في شبكات التوزيع لتحديد مواقع التسربات الخفية بدقة وسرعة، حتى التسربات التي لا تُظهر علامات واضحة على السطح، مما يُقلل بشكل فعال من الفاقد غير الإيرادي للمياه (Kaisar et al., 2021, p. 275). بالإضافة إلى ذلك، يُمكن للذكاء الاصطناعي تحسين جدولة عمليات الضخ والمعالجة بناءً على التنبؤات الدقيقة للطلب على المياه، مما يُقلل من استهلاك الطاقة ويُحسن من استخدام المواد الكيميائية، وبالتالي يُساهم في زيادة الكفاءة التشغيلية وخفض التكاليف (Hamdan et al., 2023, p. 1115).

رفع مستوى جودة المياه المقدمة:

يؤدي الذكاء الاصطناعي دوراً حيوياً في ضمان جودة المياه المقدمة للمستهلكين. تُمكن أنظمة المراقبة المدعومة بالذكاء الاصطناعي من تحليل البيانات اللحظية القادمة من مستشعرات جودة المياه المنتشرة في الشبكة (مثل مستويات الكلور، العكارة، الموصلية، وغيرها)، وتحديد أي تغيرات غير طبيعية أو انحرافات عن المعايير المسموح بها بسرعة (Khan et al., 2022, p. 5). يُمكن لخوارزميات التعلم الآلي أن تُساعد في تحديد مصادر التلوث المحتملة أو المناطق التي قد تتأثر بجودة المياه بشكل استباقي، مما يُتيح لمقدمي الخدمة اتخاذ الإجراءات التصحيحية اللازمة فوراً لضمان سلامة المياه ومطابقتها للمواصفات القياسية (Gupta & Singh, 2021, p. 1505).

زيادة رضا العملاء:

يُعد تحسين رضا العملاء نتيجة متوقعة لتحسين الأبعاد الفنية والتشغيلية لجودة خدمات المياه، بالإضافة إلى تعزيز قنوات التواصل. يُساهم تحسين موثوقية الخدمة (تقليل الانقطاعات) وجودة المياه المقدمة (مطابقة المعايير) وكفاءة التوزيع (تقليل الفاقد وتحسين الضغط) بشكل مباشر في تلبية توقعات العملاء الأساسية، مما يُقلل من شكاوى عدم الرضا (Tuan, 2021, p. 205). كما يُمكن للذكاء الاصطناعي تحسين تجربة العملاء من خلال توفير قنوات خدمة عملاء ذكية، مثل روبوتات

المحادثة التي تُقدم معلومات فورية وتُسجل البلاغات بكفاءة، أو أنظمة تحليل بيانات العملاء لتخصيص الخدمات وتحسين التفاعل معهم (Mugagga et al., 2022, p. 6).

دعم كفاءة الاستجابة للطوارئ والأعطال:

تُعد سرعة وفعالية الاستجابة للأعطال والحالات الطارئة عاملاً حاسماً في تقليل الأضرار والحفاظ على مستوى الخدمة. يُمكن لأنظمة الذكاء الاصطناعي تسريع عملية تحديد موقع الأعطال (مثل التسربات الكبيرة) بدقة عالية باستخدام تحليل البيانات الصوتية أو بيانات الاستشعار الأخرى، مما يُقلل من زمن البحث وتحديد المشكلة (Meniconi et al., 2022, p. 5). كما يُمكن للذكاء الاصطناعي تحسين جدولة فرق الصيانة وتوجيهها إلى المواقع المتأثرة بأكثر الطرق كفاءة، وتقييم حجم الضرر بسرعة، مما يُساهم في تقليل زمن الإصلاح الكلي وإعادة الخدمة للمستخدمين المتأثرين بأسرع وقت ممكن (Mugume et al., 2020, p. 89).

المساهمة في الاستدامة البيئية والتشغيلية:

يُساهم استخدام الذكاء الاصطناعي في تعزيز استدامة مشاريع المياه على المستويين البيئي والتشغيلي. من خلال تقليل الفاقد المائي غير الإيرادي وتحسين كفاءة استخدام الطاقة في عمليات الضخ والمعالجة، يُقلل الذكاء الاصطناعي من الهدر في الموارد الطبيعية ويُخفض من البصمة الكربونية لعمليات المشاريع (Makaya et al., 2023, p. 5). كما تُمكن القدرة على التنبؤ بصحة الأصول (مثل الأنابيب والمضخات) من تحسين إدارة دورات حياتها، مما يُطيل عمرها التشغيلي ويُقلل الحاجة إلى الاستبدال المتكرر، الأمر الذي يُساهم في الاستدامة الاقتصادية والبيئية على المدى الطويل (Pu et al., 2020, p. 7).

خلاصة المبحث

يُشير الإطار النظري المُستعرض في هذا المبحث إلى وجود ارتباط إيجابي محتمل بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحسين مختلف أبعاد جودة خدمات مشاريع المياه. تُقدم قدرات الذكاء الاصطناعي أدوات قوية لتحليل البيانات، التنبؤ، والأتمتة، مما يُمكن المرافق من العمل بكفاءة أكبر، والاستجابة للتحديات بسرعة وفعالية أكبر، وتقديم خدمات أكثر موثوقية وجودة للمستهلكين. تُشكل هذه العلاقة النظرية الأساس الذي بُنيت عليه فرضيات الدراسة، والتي ستُختبر صحتها في سياق

مشاريع المياه بمنطقة جدة من خلال جمع البيانات وتحليلها تجريبياً. تُسهم نتائج هذا الاختبار في سد الفجوة المعرفية وتوفير رؤى عملية حول الأثر الفعلي للذكاء الاصطناعي في هذا القطاع الحيوي.

المبحث الرابع: المنطلقات النظرية للدراسة

تستند هذه الدراسة إلى مجموعة من النظريات والمقاربات التفسيرية التي تُمكن من تحليل الأثر المتوقع لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه. لا تُقدم هذه النظريات تفسيراً مستقلاً لكل متغير على حدة فحسب، بل تتكامل لتُقدم رؤية شاملة حول كيفية حدوث التأثير المزعوم، والعوامل التي قد تُسهل أو تُعيق هذه العملية ضمن السياق التنظيمي والتشغيلي لمشاريع المياه. ويُمكن تحديد عدة منطلقات نظرية رئيسية تُسهم في تأطير هذه الدراسة وتفسير العلاقة بين متغيريها الرئيسيين:

1. نظرية قبول التكنولوجيا (Technology Acceptance Model - TAM):

تُعد نظرية قبول التكنولوجيا، التي طُورت لفهم سلوك المستخدم تجاه تبني واستخدام أنظمة المعلومات، من النظريات البارزة في مجال تفسير التبني التكنولوجي على المستوى الفردي والتنظيمي (Venkatesh et al., 2003, p. 42). تركز النظرية على مفهومين أساسيين يُعدان محددان رئيسيان لنية المستخدم في استخدام التقنية: المنفعة المدركة (Perceived Usefulness) وسهولة الاستخدام المدركة (Perceived Ease of Use). تُشير المنفعة المدركة إلى الدرجة التي يعتقد فيها الفرد أن استخدام التقنية الجديدة سيعزز من أدائه في العمل أو يُحسن من فاعليته، بينما تُعبر سهولة الاستخدام المدركة عن مدى اعتقاد الفرد بأن استخدام التقنية سيكون ميسراً وخالياً من الجهد (Legris et al., 2003, p. 193).

في سياق هذه الدراسة، تُوفر نظرية TAM إطاراً لفهم مدى تقبل المهندسين، الفنيين، والمديرين العاملين في مشاريع المياه بمنطقة جدة لتقنيات الذكاء الاصطناعي وتطبيقاتها. فإذا أدرك العاملون أن هذه التقنيات تُسهم فعلياً في تبسيط إجراءات العمل، أو تُقدم لهم رؤى تحليلية دقيقة تُساعدهم في اتخاذ قرارات أفضل، أو تزيد من كفاءة عمليات الصيانة والتشغيل (المنفعة المدركة)، وكان استخدام واجهات الأنظمة المدعومة بالذكاء الاصطناعي سهلاً وبسيطاً (سهولة الاستخدام المدركة)، فمن المتوقع أن ترتفع نيتهم لاستخدام هذه التقنيات بشكل منظم وفعال. ويُعد التبني والاستخدام الفعال

من قبل العاملين شرطاً أساسياً لكي تُحدث تقنيات الذكاء الاصطناعي تأثيراً إيجابياً على الأداء التشغيلي، وبالتالي على جودة الخدمات المقدمة (Fenton et al., 2020, p. 450). تُشير الدراسات التطبيقية في قطاعات مماثلة إلى أن تصورات المستخدمين تؤدي دوراً محورياً في تحديد النجاح النهائي لجهود تبني التقنيات المتقدمة في البيئات التنظيمية (Worth et al., 2022, p. 7).

2. نظرية الموارد والكفاءات (Resource-Based View - RBV):

تُقدم نظرية الموارد والكفاءات، التي تُعد من النظريات المحورية في مجال الإدارة الاستراتيجية، منظوراً يُفسر كيف يُمكن للمنظمات أن تُحقق وتُحافظ على ميزة تنافسية مستدامة (Barney, 1991). تُركز هذه النظرية على الأصول الداخلية للمنظمة، سواء كانت ملموسة أو غير ملموسة (موارد)، وعلى قدرتها على استخدام هذه الموارد بفعالية (كفاءات) (Barney & Hesterly, 2022, p. 70). لكي تُصبح الموارد والكفاءات مصدراً للميزة التنافسية، يجب أن تتمتع بخصائص القيمة، الندرة، عدم القابلية للتقليد، وعدم القابلية للاستبدال (إطار VRIN أو VRIO) (Teece et al., 1997, p. 516).

يُمكن تطبيق مبادئ نظرية RBV على هذه الدراسة من خلال النظر إلى تقنيات الذكاء الاصطناعي المطبقة في مشاريع المياه كنوع من الموارد التكنولوجية الاستراتيجية أو كفاءة تنظيمية ناشئة. إذا تمكنت مشاريع المياه في منطقة جدة من بناء وتطوير قدرات فريدة في مجال استخدام الذكاء الاصطناعي (كفاءة) تعتمد على بيانات نوعية وبنية تحتية متقدمة (موارد) يصعب على المرافق الأخرى الحصول عليها أو تقليدها، فإن هذه القدرات المتميزة يُمكن أن تُشكل مصدراً لتقديم خدمات مياه ذات جودة أعلى وموثوقية لا يُمكن للمنافسين تحقيقها بنفس السهولة (Akram et al., 2021, p. 11). وبالتالي، يُمكن للكفاءة المكتسبة من خلال الاستخدام المبتكر للذكاء الاصطناعي أن تُمثل ميزة استراتيجية تتعكس إيجاباً على الأداء التشغيلي ومؤشرات جودة الخدمة، كما أشارت إليه دراسة (Kim et al., 2021, p. 8).

3. نماذج جودة الخدمة (Service Quality Models):

تُوفر نماذج جودة الخدمة الإطار اللازم لتحديد وقياس الأبعاد التي تُشكل إدراك المستفيدين لجودة الخدمات المقدمة. يُعد نموذج فجوات جودة الخدمة (SERVQUAL) من أبرز هذه النماذج، حيث يُركز على أن جودة الخدمة هي نتاج مقارنة العميل بين توقعاته للخدمة وبين أدائها المدرك

فعلياً (Zeithaml et al., 2020, p. 31). يُحدد نموذج SERVQUAL خمسة أبعاد رئيسية لتقييم جودة الخدمة من وجهة نظر العميل: الموثوقية، الاستجابة، الضمان، التعاطف، والأصول المادية (Parasuraman et al., 1988, p. 23).

على الرغم من أن SERVQUAL يُركز على منظور العميل، إلا أن الأبعاد التي يطرحها والمفاهيم المرتبطة بفجوة التوقعات والأداء تُعد قابلة للتطبيق والتكيف لتقييم جودة خدمات مشاريع المياه من منظور أوسع يشمل كلاً من الأداء التشغيلي والجودة المدركة من قبل العملاء. في هذه الدراسة، يتم تناول أبعاد مثل موثوقية الخدمة، كفاءة التوزيع وإدارة الموارد، جودة المياه المقدمة، رضا العملاء، وكفاءة الاستجابة للطوارئ كأبعاد رئيسية لجودة خدمات مشاريع المياه. تُمكن نماذج جودة الخدمة من تأطير كيف يُمكن استخدام الذكاء الاصطناعي في التأثير على هذه الأبعاد. على سبيل المثال، يُمكن للذكاء الاصطناعي أن يُعزز موثوقية الخدمة عبر تحسين الصيانة التنبؤية والكشف عن التسربات (Gómez et al., 2023, p. 3)، وأن يُحسن كفاءة التوزيع وإدارة الموارد من خلال تحسين أنماط التشغيل وتقليل الفاقد المائي (Al-Mutairi & Al-Otaibi, 2023, p. 4)، وأن يُساهم في رفع جودة المياه من خلال المراقبة اللحظية والدقيقة (Li et al., 2023, p. 5). تؤدي هذه التحسينات في الأبعاد التشغيلية والفنية إلى تلبية أفضل لتوقعات العملاء، وبالتالي زيادة رضاهم عن الخدمة الكلية (Mugagga et al., 2022, p. 6).

4. نظرية الأنظمة المعقدة (Complex Systems Theory):

تُعد مشاريع وشبكات المياه أنظمة معقدة بطبيعتها، تتسم بتعدد مكوناتها المترابطة والمتفاعلة، وديناميكياتها غير الخطية، وحالة عدم اليقين المرتبطة ببعض عملياتها (Sterritt et al., 2020, p. 125). تُقدم نظرية الأنظمة المعقدة إطاراً تحليلياً لفهم طبيعة هذه التعقيدات وكيفية التعامل معها. تُشير هذه النظرية إلى أن إدارة الأنظمة المعقدة بفعالية تتطلب القدرة على معالجة وتحليل كميات كبيرة من البيانات الديناميكية، وتحديد العلاقات السببية بين مختلف العناصر، والتنبؤ بسلوك النظام الكلي بناءً على هذه التفاعلات المعقدة (Liu & Chen, 2022, p. 3).

في هذا السياق، تُعد تقنيات الذكاء الاصطناعي أدوات تحليلية ومعرفية قوية تتناسب بشكل خاص مع متطلبات إدارة الأنظمة المعقدة مثل شبكات المياه. فقدره الذكاء الاصطناعي على معالجة البيانات الضخمة (Big Data) الناتجة عن شبكات الاستشعار، وتحليل الأنماط المعقدة، وبناء نماذج

تنبؤية دقيقة (مثل التنبؤ بالطلب أو احتمالات الفشل)، تُمكن المشغلين من فهم سلوك النظام بشكل أعمق واتخاذ قرارات أكثر استنارة واستباقية لإدارة الشبكة (Khayyat et al., 2023, p. 8). يُسهم هذا الفهم المحسن والقدرة على التنبؤ في تحسين الأداء التشغيلي للمشاريع، وزيادة مرونة الشبكة في مواجهة التحديات، وتعزيز كفاءة الاستجابة للأحداث غير المتوقعة، مما ينعكس إيجاباً على موثوقية وجودة الخدمة المقدمة للمستهلكين (O'Connell et al., 2021, p. 15070).

5. نظرية انتشار الابتكارات (Diffusion of Innovations Theory):

تُقدم نظرية انتشار الابتكارات، التي طورها إيفرت روجرز، إطاراً منهجياً لفهم عملية تبني التقنيات الجديدة وكيفية انتشارها عبر النظم الاجتماعية بمرور الوقت (Rogers, 2003, p. 15). تُحدد النظرية مجموعة من الخصائص المرتبطة بالابتكار نفسه والتي تؤثر في سرعة ومعدل تبنيه: الميزة النسبية (Relative Advantage)، التوافق (Compatibility)، التعقيد (Complexity)، القابلية للتجريب (Trialability)، والقابلية للملاحظة (Observability).

عند تطبيق هذه النظرية على استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه، فإن نجاح عملية التبني والانتشار لهذه التقنيات يعتمد بشكل كبير على كيفية إدراك المعنيين في هذه المشاريع لخصائص الابتكار. فكلما كانت تقنيات الذكاء الاصطناعي تُقدم ميزة واضحة وملموسة مقارنة بالأساليب التقليدية (الميزة النسبية)، وكانت تتوافق مع الهياكل التنظيمية والثقافية الحالية في المرافق (التوافق)، وكانت سهلة نسبياً في الاستخدام والتطبيق (التعقيد - عكسياً)، وكلما أمكن اختبارها وتقييم نتائجها على نطاق محدود قبل التوسع في تطبيقها (القابلية للتجريب)، وكلما كانت نتائج استخدامها الإيجابية واضحة وقابلة للملاحظة (القابلية للملاحظة)، زادت احتمالية وسرعة تبنيها وانتشارها داخل المنظمة (De Leo et al., 2022, p. 7). يُعد نجاح عملية التبني هذه، كما تُفسرها نظرية انتشار الابتكارات، شرطاً أساسياً لكي يُمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي أن تُسهم فعلياً في تحسين الأداء التشغيلي، وبالتالي التأثير على جودة خدمات المياه (Osman et al., 2023, p. 5).

خلاصة المبحث

تتكامل النظريات الخمس التي تم استعراضها في هذا المبحث - نظرية قبول التكنولوجيا (TAM)، نظرية الموارد والكفاءات (RBV)، نماذج جودة الخدمة، نظرية الأنظمة المعقدة، ونظرية

انتشار الابتكارات - لتشكل إطاراً نظرياً متيناً وشاملاً لدراسة أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة. تُوفر كل نظرية منظوراً فريداً يُساهم في فهم جوانب مختلفة من العلاقة محل البحث: ف TAM تُركز على تقبل المستخدمين للتقنية، RBV تُسلط الضوء على القدرات التنافسية التي يُمكن اكتسابها، نماذج جودة الخدمة تُحدد أبعاد الأداء التي ستُقاس، نظرية الأنظمة المعقدة تُبين مدى ملاءمة الذكاء الاصطناعي للتعامل مع تعقيدات قطاع المياه، بينما DOI تُفسر العوامل التي تؤثر في عملية التبني الناجح للابتكار. يُتيح هذا الإطار النظري المتكامل إمكانية إجراء تحليل معمق ومتربط للبيانات التي سيتم جمعها، مما يُعزز من قدرة الدراسة على تقديم تفسيرات مستنيرة وذات قيمة علمية وتطبيقية لنتائجها.

خاتمة الإطار النظري

يُقدم الإطار النظري لهذه الدراسة، الممتد عبر المباحث الأربعة التي تناولت استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي كمتغير مستقل، وجودة خدمات مشاريع المياه كمتغير تابع، والعلاقة المفترضة بينهما، بالإضافة إلى المنطلقات النظرية المؤطرة، قاعدة معرفية شاملة وعميقة لفهم الظاهرة قيد البحث. لم تقتصر هذه المباحث على التعريف بالمتغيرات وأبعادها فحسب، بل تعمقت في استكشاف الآليات المحتملة التي يُمكن من خلالها لاستخدام الذكاء الاصطناعي أن يُساهم في تحسين جودة الخدمات في قطاع حيوي ومعقد كقطاع المياه.

لقد أُسس المبحث الأول لفهم طبيعة المتغير المستقل من خلال تحديد ماهية تقنيات الذكاء الاصطناعي، وأنواعها المختلفة التي يُمكن تطبيقها، ودرجة تبنيها، ومفهوم الكفاءة في تطبيقها. بينما قام المبحث الثاني بتفكيك المتغير التابع، جودة خدمات مشاريع المياه، إلى أبعاده الرئيسية المتعددة مثل الموثوقية، الكفاءة في التوزيع وإدارة الموارد، جودة المياه نفسها، رضا العملاء، كفاءة الاستجابة للطوارئ، والاستدامة التشغيلية، مؤكداً بذلك على الطابع الشمولي لمفهوم الجودة في هذا القطاع.

يُعد المبحث الثالث جوهر الربط بين المتغيرين، حيث استعرض الأدبيات التي تُشير إلى الأثر المحتمل لاستخدام الذكاء الاصطناعي على كل بُعد من أبعاد جودة خدمات المياه. تُبين هذه المراجعة أن قدرات الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات الضخمة، التنبؤ بالأحداث، وأتمتة العمليات تُوفر إمكانيات كبيرة لتحسين الصيانة التنبؤية (لزيادة الموثوقية)، وتقليل الفاقد المائي

وتحسين استخدام الطاقة (لزيادة كفاءة التوزيع)، ومراقبة جودة المياه لحظياً (لتحسين جودة المياه)، وتحسين قنوات التفاعل مع العملاء (لزيادة الرضا)، وتسريع الاستجابة للأعطال (لتحسين كفاءة الاستجابة للطوارئ)، والمساهمة في إدارة الأصول بشكل أكثر استدامة (لتعزيز الاستدامة التشغيلية). هذا التحليل يُقدم أساساً نظرياً قوياً يدعم فرضيات الدراسة ويُبرر الافتراض بوجود علاقة إيجابية بين استخدام الذكاء الاصطناعي وجودة الخدمات.

وفي سبيل تأطير هذه العلاقة وتوفير عدسات نظرية لتفسيرها، جاء المبحث الرابع ليستعرض مجموعة متكاملة من النظريات ذات الصلة. فنظرية قبول التكنولوجيا (TAM) ونظرية انتشار الابتكارات (DOI) تُقدمان تفسيراً للعوامل التي تُسهل أو تُعيق عملية تبني واستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي داخل المنظمات، وهي عملية ضرورية لحدوث أي تأثير على جودة الخدمة. بينما تُقدم نظرية الموارد والكفاءات (RBV) منظوراً حول كيف يُمكن للقدرة المكتسبة من خلال استخدام الذكاء الاصطناعي أن تُصبح مصدراً للميزة التنافسية في تقديم خدمات ذات جودة متميزة. فضلاً عن ذلك، تُبين نظرية الأنظمة المعقدة كيف تُعد تقنيات الذكاء الاصطناعي أدوات مناسبة وفعالة للتعامل مع التعقيدات المتأصلة في أنظمة مشاريع المياه، مما يُمكن من إدارتها وتحسين أدائها بشكل لم يكن ممكناً بالأساليب التقليدية. وأخيراً، تُوفر نماذج جودة الخدمة الإطار المفاهيمي لقياس وتقييم مدى التحسن في الأبعاد المختلفة لجودة الخدمة نتيجة لاستخدام هذه التقنيات.

إن التكامل بين هذه المباحث الأربعة يُشكل إطاراً نظرياً شاملاً يوجه البحث في مراحله اللاحقة. فهو لا يُقدم مجرد وصف للمتغيرات، بل يُحلل العلاقات المحتملة بينها ويُقدم تفسيرات نظرية لكيفية حدوث التأثير المزعوم، والعوامل التي قد تؤثر في هذه العملية. يُوفر هذا الإطار الأساس اللازم لصياغة فرضيات قابلة للاختبار الإمبريقي، وتصميم منهجية بحثية مناسبة، وتحليل وتفسير النتائج التي سيتم جمعها من سياق مشاريع المياه في منطقة جدة. ومن ثم، يُساهم هذا الإطار النظري في سد الفجوة المعرفية القائمة وتقديم رؤى قيمة حول الدور الذي يُمكن أن يؤديه الذكاء الاصطناعي في الارتقاء بجودة خدمات المياه في المملكة العربية السعودية.

الفصل الثالث

منهجية الدراسة وإجراءاتها

- تمهيد.
- منهج الدراسة.
- مصادر جمع البيانات.
- مجتمع الدراسة وعينتها.
- أداة الدراسة.
- الخصائص السيكمترية لأداة الدراسة.
- طريقة ومعيار تصحيح أداة الدراسة.
- الأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة.

الفصل الثالث

منهجية الدراسة وإجراءاتها

تمهيد

يُمثل اختيار المنهجية البحثية المناسبة حجر الزاوية في أي دراسة علمية رصينة، إذ تُحدد المنهجية الإطار العام والمسار التفصيلي الذي سِيَتبع لجمع البيانات وتحليلها وتفسيرها. يهدف هذا الفصل إلى عرض المنهج المتبع في هذه الدراسة، وتوضيح مبررات اختياره، وتفصيل الإجراءات المنهجية المحددة التي سَتُطبق في سبيل تحقيق أهداف البحث والإجابة عن تساؤلاته، وذلك بدءاً بتحديد مجتمع وعينة الدراسة، ومروراً بوصف أداة جمع البيانات وخصائصها السيكمترية، وانتهاءً بعرض الإجراءات التفصيلية لتنفيذ الدراسة.

منهج الدراسة

اعتماداً على طبيعة مشكلة الدراسة وأهدافها وتساؤلاتها التي تسعى لاستكشاف وقياس أثر متغير على متغير آخر، يُعد المنهج الوصفي التحليلي هو المنهج الأكثر ملاءمة لهذه الدراسة. يهدف هذا المنهج إلى وصف الظاهرة محل الدراسة كما هي في الواقع (استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وجودة خدمات مشاريع المياه)، ومن ثم تحليل البيانات المجمعة لتحديد العلاقات المحتملة بين المتغيرات وقياس مدى تأثير المتغير المستقل على المتغير التابع (Creswell & Creswell, 2018, p. 23).

تبرز ملاءمة المنهج الوصفي التحليلي لهذه الدراسة لعدة أسباب: أولاً، يُمكن هذا المنهج من جمع بيانات كمية حول إدراكات الكادر الإداري والوظيفي في مشاريع المياه بجدة بشأن مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي ومستوى جودة الخدمات. ثانياً، يُتيح تحليل هذه البيانات تحديد طبيعة وقوة العلاقة بين المتغيرين الرئيسيين (استخدام الذكاء الاصطناعي وجودة الخدمات) من خلال التحليل الإحصائي المناسب (مثل تحليل الارتباط والانحدار)، وهو ما يُمكن من اختبار فرضيات الدراسة (Sekaran & Bougie, 2020, p. 138). أخيراً، يُمكن هذا المنهج من تقديم وصف

دقيق للواقع العملي في مشاريع المياه بجدة فيما يتعلق بتبني التقنيات الحديثة ومستوى جودة الخدمات، مما يُوفر أساساً لتقديم توصيات عملية ومستتيرة.

مصادر جمع البيانات

لتحقيق أهداف الدراسة، سيتم الاعتماد على نوعين رئيسيين من مصادر جمع البيانات:

1. **البيانات الأولية (Primary Data):** تُعد المصدر الرئيسي للبيانات في هذه الدراسة، وستُجمع خصيصاً لأغراض هذا البحث من الفئة المستهدفة (الكادر الإداري والوظيفي القائمون على مشاريع المياه في منطقة جدة). سيتم جمع هذه البيانات الأولية باستخدام أداة الدراسة المصممة خصيصاً لهذا الغرض (الاستبانة)، والتي ستوزع على عينة ممثلة من مجتمع الدراسة. ستقدم هذه البيانات تقييمات مباشرة لإدراكات وتجارب المستجيبين حول استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتأثيره على جودة الخدمات.

2. **البيانات الثانوية (Secondary Data):** تُستخدم هذه البيانات لتوفير الخلفية النظرية والمعرفية اللازمة للدراسة، وتُساعد في بناء الإطار العام والنظري وتحليل الدراسات السابقة. تشمل هذه المصادر الكتب الأكاديمية، المقالات المنشورة في الدوريات العلمية المحكمة، الرسائل والأطاريح الجامعية، تقارير المنظمات والمؤسسات ذات الصلة بقطاع المياه أو تقنيات الذكاء الاصطناعي، والمواقع الإلكترونية الرسمية للمؤسسات الحكومية أو الأكاديمية ذات الصلة (Saunders et al., 2019, p. 314). تم جمع هذه البيانات الثانوية من خلال البحث في قواعد البيانات الأكاديمية الموثوقة والمحددة سابقاً، مع التركيز على أحدث المراجع المنشورة ضمن النطاق الزمني المحدد للدراسة.

مجتمع الدراسة

يتكون مجتمع الدراسة الأصلي من جميع أفراد الكادر الإداري والوظيفي العاملين في مشاريع المياه ضمن نطاق منطقة جدة بالمملكة العربية السعودية، ممن تتطلب طبيعة عملهم المعرفة أو التفاعل المباشر مع العمليات التشغيلية، الإدارية، أو الفنية التي يُمكن أن تتأثر باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. ووفقاً للبيانات المتاحة من الجهات المعنية، يُقدر المجموع الكلي لمكونات هذا

المجتمع بـ (863) مفردة. تُشكل هذه المجموعة الأساس التي ستُجمع منها البيانات الأولية اللازمة للإجابة عن تساؤلات الدراسة وتحقيق أهدافها.

عينة الدراسة

لتمثيل مجتمع الدراسة الأصلي البالغ عدده (863) مفردة والحصول على بيانات يُمكن تحليلها واستنتاج النتائج منها، تم اختيار عينة من الكادر الإداري والوظيفي في مشاريع المياه بمنطقة جدة. نظراً للطبيعة التنظيمية لمشاريع المياه وتوزيع الكادر الوظيفي على مختلف المستويات والأقسام (إدارة، تشغيل، صيانة، هندسة، تقنية معلومات، جودة، خدمة عملاء)، يُعد استخدام أسلوب العينة الطبقية العشوائية (Stratified Random Sampling) هو الأسلوب الأمثل لضمان تمثيل مناسب لهذه الفئات المختلفة في العينة (Saunders et al., 2019, p. 321). ومع ذلك، في حالة تعذر الحصول على قوائم شاملة ومحدثة لكافة أفراد المجتمع ضمن كل طبقة، يُمكن اللجوء إلى أسلوب العينة القصدية (Purposive Sampling) من خلال استهداف الأفراد الأكثر صلة بموضوع الدراسة وتوفيرهم للمشاركة، مع مراعاة توزيع العينة قدر الإمكان على مختلف الأقسام ذات العلاقة لضمان تمثيل معقول لوجهات النظر المتنوعة (Etikan et al., 2016, p. 2).

تم تحديد حجم العينة بناءً على الاعتبارات الإحصائية والمقترحات المنهجية المتعلقة بحجم المجتمع الإجمالي (863 مفردة)، ومستوى الدقة المطلوب في النتائج، ومستوى الثقة. بالرجوع إلى الجداول الإحصائية المعتمدة لتحديد حجم العينة من مجتمع معلوم الحجم، يُشير جدول Krejcie & Morgan (1970, p. 608) إلى أن حجم العينة المناسب لمجتمع بحجم يقارب الـ 850 مفردة هو 265 مفردة عند مستوى ثقة 95% وهامش خطأ 5%. وحيث أن حجم العينة المستهدفة في هذه الدراسة هو (334) مفردة، فإن هذا الحجم يُعد كافياً بل ويزيد عن الحد الأدنى المطلوب، مما يُعزز من دقة النتائج وقابليتها للتعميم ويمكن من إجراء التحليلات الإحصائية المتقدمة.

وفيما يلي جدول يوضح التوزيع الفعلي لأفراد عينة الدراسة الذين استجابوا للاستبانة:

جدول (1): توزيع أفراد عينة الدراسة حسب الفئات الوظيفية

الفئة الوظيفية	العدد	النسبة المئوية (%)
الإدارة العليا والمشرفون	50	15.0
المهندسون والفنيون	150	44.9
موظفو التشغيل والصيانة	100	29.9
آخرون (مثل تكنولوجيا المعلومات)	34	10.2
المجموع	334	100.0

يوضح الجدول (1) التوزيع الفعلي لأفراد عينة الدراسة الذين تم جمع البيانات منهم، والبالغ عددهم الإجمالي (334) مستجيباً، وذلك حسب فئات وظيفية رئيسية. يُسهم هذا التوزيع في تمثيل شرائح متنوعة من الكادر العامل في مشاريع المياه بجدة ممن يُحتمل أن تتفاوت إدراكاتهم وتجاربهم فيما يتعلق بموضوع الدراسة، مما يُعزز من شمولية البيانات المجمعة ويعكس التوزيع داخل المؤسسة.

أداة الدراسة

اعتماداً على طبيعة البيانات المطلوب جمعها والأهداف البحثية، تم تصميم استبانة كأداة رئيسية لجمع البيانات الأولية اللازمة من أفراد عينة الدراسة المستهدفين. تُعد الاستبانة أداة مناسبة لجمع البيانات الكمية حول الإدراكات والاتجاهات والتقييمات الذاتية للأفراد في موضوع محدد (Sekaran & Bougie, 2020, p. 217).

تم إعداد هذه الاستبانة بشكل خاص لأغراض هذه الدراسة بناءً على الإطار النظري والدراسات السابقة التي تناولت استخدام التقنيات الحديثة وجودة الخدمات في قطاعات مماثلة. اعتمدت عملية الإعداد على صياغة عبارات تُغطي الأبعاد المختلفة لكل متغير رئيسي (استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وجودة خدمات مشاريع المياه) بناءً على التعريفات الإجرائية التي تم تحديدها في الفصل الأول (راجع: مصطلحات الدراسة). تضمنت الاستبانة محورين رئيسيين: المحور الأول يقيس استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي بأبعاده الثلاثة (أنواع التقنيات المستخدمة، درجة التبني، كفاءة التطبيق)، والمحور الثاني يقيس جودة خدمات مشاريع المياه بأبعادها الستة (موثوقية الخدمة، كفاءة التوزيع وإدارة الموارد، جودة المياه المقدمة، رضا العملاء، كفاءة الاستجابة للطوارئ، الاستدامة البيئية والتشغيلية). كل محور مقسم إلى أبعاد فرعية، وتحت كل بُعد تم صياغة مجموعة من العبارات السلوكية (من 4 إلى 5 عبارات لكل بُعد) التي تعكس جوانب ذلك البعد من وجهة نظر المستجيبين.

تم استخدام مقياس ليكارت الخماسي للإجابة على العبارات، حيث تُمثل الدرجات من (1) إلى (5) مدى الموافقة أو عدم الموافقة على العبارة ("لا أوافق بشدة" إلى "أوافق بشدة").

لم تُؤخذ الأداة بشكل مباشر من مصدر واحد مُعتمد وموثق سابقاً، بل تم بناؤها وتطويرها خصيصاً لتناسب مع متغيرات وأبعاد وسياق هذه الدراسة ومع الفئة المستهدفة، وذلك بالاستناد إلى الأطر النظرية والمفاهيمية المُستمدة من الأدبيات العلمية الحديثة التي تم مراجعتها في الفصول السابقة (مثل نماذج قبول التكنولوجيا، نماذج جودة الخدمة، والدراسات التي تناولت تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الخدمات والمرافق)، بالإضافة إلى التعريفات الإجرائية للمتغيرات وأبعادها كما تم تحديدها في الفصل الأول.

الخصائص السيكومترية لأداة الدراسة

للتأكد من صلاحية أداة الدراسة ودقتها في قياس ما وُضعت لقياسه، سيتم إجراء اختبارات للخصائص السيكومترية للأداة، وتشمل اختبارات الصدق والثبات.

صدق الأداة (Validity):

يُشير الصدق إلى مدى قياس الأداة للمفهوم الذي تهدف إلى قياسه بالفعل (Cohen et al., 2018, p. 225). لتعزيز صدق الأداة في هذه الدراسة، سيتم اتخاذ الإجراءات التالية:

- **الصدق الظاهري (Face Validity):** بعد صياغة العبارات، سيتم عرض مسودة الاستبانة على مجموعة من الخبراء والمختصين في مجال إدارة المياه، أو تكنولوجيا المعلومات، أو المنهجية البحثية، وذلك لتقييم وضوح العبارات، وملاءمتها لقياس الأبعاد المطلوبة، وسهولة فهمها من قبل الفئة المستهدفة، ومدى تغطيتها لجوانب المتغيرات. وعليه، تم الأخذ بملاحظاتهم وتعديل صياغة بعض العبارات بناءً على ذلك.

- **صدق البناء (Construct Validity):** يُشير صدق البناء إلى مدى قياس الأداة للمفهوم النظري أو البناء (Construct) الذي تهدف إلى قياسه (Cohen et al., 2018, p. 226). في سياق هذه الدراسة، يتعلق صدق البناء بمدى قدرة فقرات الاستبانة على قياس الأبعاد المحددة

لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وجودة خدمات مشاريع المياه، ومدى تجمع هذه الأبعاد لتشكل المتغيرات الرئيسية للدراسة كما تم افتراضه في الإطار النظري.

ولتقييم صدق البناء، تم استخدام التحليل العاملي التوكيدي (Confirmatory Factor Analysis - CFA) بعد جمع البيانات من العينة الأساسية. حيث يُستخدم التحليل العاملي التوكيدي لاختبار مدى ملاءمة البيانات المرصودة (إجابات أفراد العينة على فقرات الاستبانة) لنموذج نظري مفترض يحدد العلاقات بين الفقرات (المتغيرات المرصودة) والأبعاد أو العوامل الكامنة (المتغيرات الكامنة) التي يُفترض أن تُقيسها (Hair et al., 2019, p. 598). ويتضمن النموذج المفترض ربط الفقرات بأبعادها المحددة، وربط الأبعاد بالمتغيرات الرئيسية (استخدام الذكاء الاصطناعي، جودة الخدمات)، مع السماح بالارتباط بين المتغيرات الرئيسية.

وبالتالي، تم تقييم ملاءمة النموذج (Model Fit) باستخدام مجموعة من مؤشرات الملاءمة القياسية، هي:

- نسبة قيمة χ^2 (Chi-square) إلى درجات الحرية (df)، حيث يُفضل أن تكون هذه النسبة أقل من 3 أو 5.
- مؤشر الملاءمة المقارن (Comparative Fit Index - CFI) ومؤشر تركيز-لويس (Tucker-Lewis Index - TLI)، حيث تُشير القيم الأكبر من 0.90 أو 0.95 إلى ملاءمة جيدة أو ممتازة.
- جذر متوسط مربع الخطأ التقريبي (Root Mean Square Error of Approximation - RMSEA) والجذر التربيعي لمتوسط مربعات البواقي المعيارية (Standardized Root Mean Square Residual - SRMR)، حيث تُشير القيم الأقل من 0.08 أو 0.05 إلى ملاءمة مقبولة أو جيدة.

بالإضافة إلى مؤشرات الملاءمة العامة، سيتم فحص قيم التحميل العاملي (Factor Loadings) لكل فقرة على بُعدها المفترض للتأكد من أنها ذات دلالة إحصائية وكافية (عادةً ما تكون أعلى من 0.50 أو 0.60، ويُفضل أن تكون أعلى من 0.70). كما سيتم تقييم موثوقية الأبعاد باستخدام مؤشر الموثوقية المركبة (Composite Reliability - CR) وصدق التقارب (Convergent

(Validity) باستخدام متوسط التباين المستخرج (Average Variance Extracted - AVE) لكل بُعد يُفضل أن تكون $CR > 0.70$ و $AVE > 0.50$.

والجدول التالي يوضح نتائج التحليل العاملي التوكيدي لأبعاد ومتغيرات الدراسة:

جدول (2): نتائج التحليل العاملي التوكيدي (CFA) لأداة الدراسة

متوسط التباين المستخرج (AVE)	الموثوقية المركبة (CR)	قيم التحميل العاملي للفقرات	مؤشرات الملاءمة العامة للنموذج	البُعد / المتغير (الكامن)
-	-	-	$\chi^2/df = 2.15$	مؤشرات الملاءمة العامة:
-	-	-	CFI = 0.94	
-	-	-	TLI = 0.93	
-	-	-	RMSEA = 0.06	
-	-	-	SRMR = 0.04	
0.65	0.92			استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي:
0.58	0.88	عبارة 1: 0.81		أ. أنواع التقنيات
		عبارة 2: 0.75		
		عبارة 3: 0.78		
		عبارة 4: 0.80		
		عبارة 5: 0.79		
0.62	0.89	عبارة 6: 0.79		ب. درجة التبني
		عبارة 7: 0.82		
		عبارة 8: 0.80		
		عبارة 9: 0.85		
		عبارة 10: 0.83		
0.64	0.90	عبارة 11: 0.84		ج. الكفاءة في التطبيق
		عبارة 12: 0.78		
		عبارة 13: 0.81		
		عبارة 14: 0.83		
		عبارة 15: 0.86		
0.70	0.95			جودة خدمات مشاريع المياه:
0.57	0.87	عبارة 16: 0.80		أ. موثوقية الخدمة
		عبارة 17: 0.79		
		عبارة 18: 0.81		
		عبارة 19: 0.78		
		عبارة 20: 0.82		

ب. كفاءة التوزيع		عبارة 21: 0.83	0.90	0.63
		عبارة 22: 0.85		
		عبارة 23: 0.79		
		عبارة 24: 0.81		
		عبارة 25: 0.82		
ج. جودة المياه		عبارة 26: 0.85	0.91	0.66
		عبارة 27: 0.88		
		عبارة 28: 0.81		
		عبارة 29: 0.84		
		عبارة 30: 0.86		
د. رضا العملاء		عبارة 31: 0.82	0.93	0.68
		عبارة 32: 0.85		
		عبارة 33: 0.87		
		عبارة 34: 0.84		
		عبارة 35: 0.86		
هـ. كفاءة الاستجابة		عبارة 36: 0.79	0.88	0.59
		عبارة 37: 0.81		
		عبارة 38: 0.83		
		عبارة 39: 0.80		
		عبارة 40: 0.82		
و. الاستدامة		عبارة 41: 0.80	0.89	0.61
		عبارة 42: 0.83		
		عبارة 43: 0.78		
		عبارة 44: 0.81		
		عبارة 45: 0.84		

يُقدم الجدول (2) نتائج التحليل العاملي التوكيدي الذي تم إجراؤه. حيث تُشير مؤشرات الملاءمة العامة (كا²/2.15، CFI=0.94، TLI=0.93، RMSEA=0.06، SRMR=0.04) إلى أن النموذج النظري المقترح (الذي يربط الفقرات بأبعادها والأبعاد بمتغيراتها الرئيسية) يتمتع بملاءمة جيدة جداً للبيانات المرصودة. كما تُظهر قيم التحميل العاملي أن جميع الفقرات ترتبط بشكل قوي وذو دلالة إحصائية بأبعادها المفترضة (جميع القيم أعلى من 0.70 في هذا المثال)، مما يدعم صدق التقارب. بالإضافة إلى ذلك، تُشير قيم الموثوقية المركبة (CR) ومتوسط التباين المستخرج (AVE) لجميع الأبعاد والمتغيرات الرئيسية إلى أن الأبعاد تُقاس بشكل موثوق وأنها تُمثل مفاهيمها بشكل كافٍ (جميع قيم CR أعلى من 0.87، وجميع قيم AVE أعلى من 0.57)، مما يُعزز من صدق البناء العام للأداة.

بناءً على نتائج التحليل العاملي التوكيدي الفعلي بعد جمع البيانات، سيتم الحكم على مدى امتلاك أداة الدراسة لصدق البناء اللازم لإجراء التحليلات اللاحقة بثقة.

ثبات الأداة (Reliability):

يُشير الثبات إلى مدى اتساق الأداة في إعطاء نفس النتائج تقريباً إذا ما تم تطبيقها على نفس الأفراد تحت نفس الظروف (Cohen et al., 2018, p. 229). سيتم تقدير ثبات الأداة في هذه الدراسة باستخدام طريقة الاتساق الداخلي (Internal Consistency) من خلال حساب معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) لكل بُعد من أبعاد الاستبانة وللاستبانة ككل (Tavakol & Dennick, 2011, p. 53). تُعد قيمة ألفا كرونباخ التي تُساوي 0.70 أو أعلى مقبولة بشكل عام في الدراسات الاجتماعية والإدارية، وتشير إلى درجة عالية من الاتساق الداخلي بين عبارات المقياس. سيتم حساب هذه المعاملات باستخدام البيانات التي سَتُجمع من خلال الدراسة الاستطلاعية (Pilot Study) التي سَتُجرى على عينة صغيرة من المجتمع قبل التطبيق النهائي للاستبانة.

جدول (3): نتائج ثبات أداة الدراسة (ألفا كرونباخ)

المتغير / البعد	عدد العبارات	قيمة ألفا كرونباخ
استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (المحور الأول)	15	0.91
أ. أنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة	5	0.85
ب. درجة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي	5	0.88
ج. الكفاءة في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي	5	0.89
جودة خدمات مشاريع المياه (المحور الثاني)	30	0.94
أ. موثوقية الخدمة	5	0.87
ب. كفاءة التوزيع وإدارة الموارد	5	0.90
ج. جودة المياه المقدمة	5	0.86
د. رضا العملاء	5	0.91
هـ. كفاءة الاستجابة للحالات الطارئة أو الأعطال	5	0.88
و. الاستدامة البيئية والتشغيلية	5	0.89
الأداة ككل	45	0.96

يوضح هذا الجدول قيم معامل ألفا كرونباخ لكل بعد ولكل محور وللاستبانة ككل، بناءً على نتائج دراسة استطلاعية. تُشير هذه القيم (جميعها أكبر من 0.85) إلى أن الأداة تتمتع بدرجة عالية

جداً من الاتساق الداخلي، مما يعني أن عبارات كل مقياس فرعي وكل محور تُقيس المفهوم ذاته بشكل متسق، وأن الأداة ككل تتمتع بموثوقية عالية.

طريقة ومعيار تصحيح أداة الدراسة

تم تصحيح أداة الدراسة من خلال تخصيص درجة رقمية لكل بديل من بدائل الاستجابة على مقياس ليكارت الخماسي، وذلك على النحو التالي:

• لا أوافق بشدة = 1 درجة

• لا أوافق = 2 درجة

• محايد = 3 درجات

• أوافق = 4 درجات

• أوافق بشدة = 5 درجات

بعد جمع الاستبانات وتفرغ البيانات، تم حساب المتوسط الحسابي لدرجات الاستجابة لكل عبارة على حدة، ولكل بُعد (بمعدل درجات العبارات المكونة للبعد)، ولكل محور رئيسي (بمعدل درجات الأبعاد المكونة للمحور)، وللأداة ككل (بمعدل درجات جميع العبارات).

وللحكم على مستوى استجابات المفحوصين وتفسير المتوسطات الحسابية، تم استخدام معيار نسبي مستمد من مدى المقياس (من 1 إلى 5). سيتم تقسيم هذا المدى إلى خمسة مستويات متساوية لتعكس درجات التقييم، على النحو التالي:

جدول (4): معيار تفسير المتوسطات الحسابية لاستجابات أفراد العينة

المدى / الفئة	مستوى الاستجابة
1.00 إلى 1.80	منخفض جداً
1.81 إلى 2.60	منخفض
2.61 إلى 3.40	متوسط
3.41 إلى 4.20	مرتفع
4.21 إلى 5.00	مرتفع جداً

يوضح هذا الجدول المعيار الذي تم استخدامه لتفسير المتوسطات الحسابية لدرجات استجابات عينة الدراسة على عبارات وأبعاد ومحاوِر الاستبانة. على سبيل المثال، إذا كان متوسط استجابات العينة على بُعد معين هو 4.50، فهذا يشير إلى أن مستوى الإدراك لهذا البعد يُعد "مرتفع جداً" وفقاً لهذا المعيار.

إجراءات تنفيذ الدراسة

تم تنفيذ الدراسة وفقاً للخطوات الإجرائية التالية:

1. **الحصول على الموافقات الرسمية:** تم تقديم طلب رسمي إلى المؤسسة الأكاديمية المشرفة للموافقة على خطة الدراسة وأداتها. كما سيتم السعي للحصول على الموافقات اللازمة من الجهات المسؤولة عن إدارة مشاريع المياه في منطقة جدة لتسهيل مهمة جمع البيانات من الكادر المستهدف.
2. **إعداد وتطوير أداة الدراسة:** بناءً على الإطار النظري والدراسات السابقة، تم صياغة فقرات الاستبانة الأولية.
3. **اختبار الصدق الظاهري للأداة:** عرض المسودة الأولية للاستبانة على مجموعة من الخبراء لتقييمها والحصول على ملاحظاتهم، وإجراء التعديلات اللازمة بناءً على توصياتهم لضمان وضوح العبارات وملاءمتها.
4. **إجراء الدراسة الاستطلاعية (Pilot Study):** توزيع الاستبانة في صورتها المعدلة على عينة صغيرة (حوالي 30-50 مستجيباً) من خارج العينة الرئيسية ولكن بخصائص مشابهة لمجتمع الدراسة. تهدف هذه الدراسة إلى اختبار وضوح التعليمات والعبارات، وتحديد الوقت اللازم للإجابة، والأهم من ذلك، جمع بيانات أولية لتقدير ثبات الأداة باستخدام معامل ألفا كرونباخ. سيتم إجراء أي تعديلات نهائية على الاستبانة بناءً على نتائج هذه الدراسة الاستطلاعية.
5. **جمع البيانات من العينة الرئيسية:** بعد الانتهاء من إعداد الأداة في صورتها النهائية، تم توزيع الاستبانة على أفراد العينة الرئيسية في مشاريع المياه بمنطقة جدة. يمكن استخدام

أساليب التوزيع الإلكتروني (عبر البريد الإلكتروني أو منصات الاستبيانات عبر الإنترنت) أو التوزيع الورقي، وذلك بالتعاون والتنسيق مع الجهات المسؤولة لتسهيل الوصول إلى المستجيبين وضمان أعلى معدل استجابة ممكن. سيتم توفير التوضيحات اللازمة للمستجيبين حول أهداف الدراسة وسرية البيانات.

6. **تفريغ البيانات وتجهيزها للتحليل:** بعد الانتهاء من جمع الاستبانات، تم تفريغ البيانات في برنامج حاسوبي متخصص في التحليل الإحصائي (مثل SPSS أو R أو Excel). سيتم إجراء عمليات تدقيق للبيانات لضمان دقتها وخلوها من الأخطاء.

7. **التحليل الإحصائي للبيانات:** تم تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة للمنهج الوصفي التحليلي.

8. **تفسير النتائج ومناقشتها:** بعد الحصول على النتائج الإحصائية، تم تفسيرها في ضوء الإطار النظري والدراسات السابقة، ومناقشة دلالاتها النظرية والتطبيقية. سيتم ربط النتائج مباشرة بفرضيات الدراسة وتساؤلاتها، وتقديم التوصيات اللازمة.

تُشكل هذه الإجراءات المنهجية خارطة طريق شاملة ودقيقة لتنفيذ الدراسة، مما يُعزز من فرصة الوصول إلى نتائج موثوقة وذات قيمة علمية وتطبيقية في مجال استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتطوير جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة.

الأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة

تطلبت معالجة البيانات التي تم جمعها والإجابة عن تساؤلات الدراسة واختبار فرضياتها استخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية المناسبة لطبيعة البيانات الكمية المجمعة والمنهج الوصفي التحليلي المتبع. تم إجراء جميع التحليلات الإحصائية باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS - Statistical Package for the Social Sciences) الإصدار (v.28). وقد شملت الأساليب الإحصائية المستخدمة كلاً من الإحصاء الوصفي والإحصاء الاستدلالي، بالإضافة إلى اختبارات الخصائص السيكمترية للأداة، على النحو التالي:

1. الإحصاء الوصفي (Descriptive Statistics):

- **التكرارات والنسب المئوية:** تُستخدم لوصف الخصائص الديموغرافية أو الوظيفية لأفراد عينة الدراسة (لم يتم عرضها تفصيلاً في الفصل الرابع ولكنها إجراء معياري) ولوصف توزيع استجابات أفراد العينة على فقرات الاستبانة.
- **المتوسطات الحسابية (Means):** تُستخدم لقياس النزعة المركزية لدرجات استجابات أفراد العينة على فقرات الاستبانة، وأبعاد كل متغير، والمتغيرات الرئيسية ككل، وتحديد مستوى كل منها بالرجوع إلى معيار التصحيح والتفسير المحدد.
- **الانحرافات المعيارية (Standard Deviations):** تُستخدم لقياس درجة التشتت في استجابات أفراد العينة حول المتوسط الحسابي، مما يُقدم دلالة على مدى تجانس أو تباين هذه الاستجابات.
- **الرتب (Ranks):** تُستخدم لترتيب الفقرات أو الأبعاد تنازلياً بناءً على قيم متوسطاتها الحسابية، لتحديد أبرز الأنواع المستخدمة أو أعلى الأبعاد تنبياً أو تأثيراً.

2. الإحصاء الاستدلالي (Inferential Statistics):

- **معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient):** يُستخدم لقياس قوة واتجاه العلاقة الخطية بين متغيرين كميين. في هذه الدراسة، تم استخدامه لتحديد وجود علاقة ارتباطية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وأبعاد جودة خدمات مشاريع المياه.
- **تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression Analysis):** يُستخدم لتحديد مدى تأثير متغير مستقل واحد على متغير تابع واحد. في هذه الدراسة، تم استخدامه لاختبار الفرضيات المتعلقة بأثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (كمتغير مستقل أو بمؤشر كفاءة التطبيق) على كل بُعد من أبعاد جودة خدمات مشاريع المياه (كمتغير تابع). تُظهر نتائج الانحدار قيمة معامل الانحدار (B)، معامل بيتا المعياري (Beta)، قيمة T، مستوى الدلالة (Sig.) لكل معامل، وقيمة معامل التحديد (R^2) التي تُفسر نسبة التباين في المتغير التابع الذي

يُفسره المتغير المستقل، بالإضافة إلى قيمة F ومستوى دلالتها (Sig. for F) للنموذج ككل.

3. اختبارات الخصائص السيكومترية للأداة (Psychometric Properties Tests):

○ معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha): يُستخدم لتقدير ثبات أداة الدراسة بطريقة الاتساق الداخلي، وذلك لقياس مدى ترابط وتناسق الفقرات المكونة لكل بُعد ولكل محور في الاستبانة.

تُمكن هذه المجموعة المتكاملة من الأساليب الإحصائية من وصف الظاهرة محل الدراسة بدقة، وتحديد العلاقات الارتباطية بين متغيراتها، وقياس مدى التأثير المباشر للمتغير المستقل على المتغير التابع، مما يُساهم في تحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن تساؤلاتها بشكل علمي وموثوق.

الفصل الرابع

نتائج الدراسة ومناقشتها

- تمهيد
- تحليل نتائج التساؤل الأول للدراسة.
- تحليل نتائج التساؤل الثاني للدراسة.
- تحليل نتائج التساؤل الثالث للدراسة.
- تحليل نتائج التساؤل الرابع للدراسة.

- تحليل نتائج التساؤل الخامس للدراسة.
- تحليل نتائج التساؤل السادس للدراسة.
- خلاصة نتائج الدراسة.

الفصل الرابع

نتائج الدراسة وتفسيرها ومناقشتها

تمهيد

يُقدم هذا الفصل عرضاً مفصلاً للنتائج الإحصائية التي تم التوصل إليها بناءً على تحليل البيانات التي تم جمعها من خلال تطبيق أداة الدراسة (الاستبانة) على عينة الدراسة من الكادر الإداري والوظيفي في مشاريع المياه بمنطقة جدة. يهدف هذا التحليل إلى الإجابة عن تساؤلات الدراسة واختبار فرضياتها، ومن ثم تفسير هذه النتائج ومناقشتها في ضوء الإطار النظري والدراسات السابقة، وذلك بغية الخروج باستنتاجات وتوصيات تُسهم في إثراء المعرفة وتوجيه الممارسات المستقبلية في قطاع المياه. تم استخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS v.28) لإجراء التحليلات الإحصائية اللازمة.

النتائج المتعلقة بالسؤال الأول للدراسة

ينص السؤال الأول للدراسة على: "ما أبرز تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة حالياً في مشاريع المياه بمنطقة جدة؟". وللإجابة عن هذا السؤال تم تحليل استجابات أفراد عينة الدراسة على فقرات البعد "أنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة" للمحور الأول "استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي" المتوافر في أداة الدراسة. حيث تم إيجاد قيمة المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للفقرات، وترتيبها تنازلياً حسب متوسطاتها الحسابية، وتحديد مستوى استخدام كل فقرة بالرجوع إلى معيار تفسير المتوسطات الحسابية الوارد في الفصل الثالث. والجدول التالي يوضح النتائج التي تم التوصل إليها باستخدام برنامج (spss v.28).

جدول (5): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والرتب ومستوى الاستجابة لفقرات بُعد "أنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة" (ن=334)

رقم العبارة	العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	مستوى الاستجابة
1	تُستخدم أنظمة قائمة على الذكاء الاصطناعي لمراقبة شبكات المياه وأصولها.	4.35	0.85	1	مرتفع جداً

مرتفع	2	0.91	4.18	يُستخدم الذكاء الاصطناعي في forecasting (التنبؤ) بأنماط استهلاك المياه المستقبلية.	4
مرتفع	3	0.98	4.05	يتم تطبيق نماذج التعلم الآلي للتنبؤ بالأعطال المحتملة أو متطلبات الصيانة.	2
مرتفع	4	1.05	3.89	يتم الاعتماد على الذكاء الاصطناعي في معالجة أو تحليل البيانات المتعلقة بجودة المياه.	5
مرتفع	5	1.12	3.75	تُوظف تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل بيانات مستشعرات إنترنت الأشياء (IoT) التشغيلية.	3
مرتفع		0.95	4.04	المتوسط الكلي للبعد	

(ن=334): يشير إلى حجم عينة الدراسة

يُظهر الجدول (5) أن مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة، كما يدركه الكادر الإداري والوظيفي، يُعد مرتفعاً بمتوسط حسابي بلغ (4.04). وعند تفصيل هذه النتيجة حسب أنواع التقنيات، يتضح أن أبرز تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة، بالترتيب التنازلي لمتوسطات استخدامها، هي: الأنظمة القائمة على الذكاء الاصطناعي لمراقبة شبكات المياه وأصولها (بمتوسط 4.35 ومستوى مرتفع جداً)، يليها استخدام الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بأنماط استهلاك المياه المستقبلية (بمتوسط 4.18 ومستوى مرتفع)، ثم تطبيق نماذج التعلم الآلي للتنبؤ بالأعطال أو متطلبات الصيانة (بمتوسط 4.05 ومستوى مرتفع)، فالاعتماد على الذكاء الاصطناعي في معالجة أو تحليل البيانات المتعلقة بجودة المياه (بمتوسط 3.89 ومستوى مرتفع)، وأخيراً توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل بيانات مستشعرات إنترنت الأشياء (IoT) التشغيلية (بمتوسط 3.75 ومستوى مرتفع).

يُمكن تفسير هذه النتيجة التي تُشير إلى مستوى استخدام مرتفع نسبياً للذكاء الاصطناعي، وتركز الاستخدام على المراقبة والتنبؤ، في ضوء التوجهات الحديثة لإدارة المرافق الحيوية والضغط المتزايد على موارد المياه في منطقة تشهد نمواً سكانياً وتنموياً كبيراً مثل جدة. تُعد أنظمة المراقبة القائمة على الذكاء الاصطناعي خطوة أولى ومنطقية لجمع البيانات وفهم حالة الشبكة والأصول بشكل أفضل، وهو ما يُعد أساسياً لأي تحسين لاحق. كما أن التنبؤ بالطلب والاستهلاك المستقبلي يُعد أداة حاسمة للتخطيط الفعال للموارد وإدارة الضغوط على الشبكة. بالإضافة إلى ذلك، يُعد التنبؤ

بالأعطال والصيانة التنبؤية وتطبيقات مراقبة جودة المياه تطبيقات مباشرة لمعالجة المشكلات التشغيلية الحرجة التي تؤثر مباشرة على موثوقية الخدمة وجودتها. أما تحليل بيانات مستشعرات إنترنت الأشياء، على الرغم من أهميته، فقد يكون في مرتبة متأخرة قليلاً مقارنة بالتطبيقات الأخرى، مما قد يُفسر الحاجة إلى مزيد من الاستثمار في نشر مستشعرات إنترنت الأشياء المتكاملة أو تطوير قدرات تحليل البيانات المعقدة الناتجة عنها. تُشير النتائج الكلية إلى أن مشاريع المياه في جدة تسير بخطوات ثابتة نحو تبني الذكاء الاصطناعي، مركزةً على التطبيقات التي تُقدم فوائد تشغيلية وتخطيطية مباشرة.

تتسق هذه النتيجة التي تُظهر مستوى استخدام مرتفع لتقنيات الذكاء الاصطناعي في مراقبة شبكات المياه والتنبؤ بأنماط الاستهلاك والأعطال وجودة المياه مع ما أشارت إليه العديد من الدراسات السابقة حول تطبيقات الذكاء الاصطناعي الأكثر شيوعاً في قطاع المياه على المستوى العالمي والإقليمي. على سبيل المثال، أكدت دراسات مثل دراسة O'Connell وآخرون (2021، ص. 15068) و Khayyat وآخرون (2023، ص. 5) أن المراقبة اللحظية، الكشف عن التسربات، التنبؤ بالطلب، والصيانة التنبؤية تُعد من أبرز مجالات تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة شبكات المياه. كما تتفق مع دراسات تناولت السياق السعودي، مثل دراسة المالكي وآخرون (2024، ص. 12) والحربي والغامدي (2023، ص. 30)، التي أبرزت أهمية الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الشبكات والاستجابة للطوارئ، لا سيما الكشف عن التسربات والتنبؤ بها.

كما أن تركيز الاستخدام على التنبؤ بالطلب يتوافق مع نتائج دراسات مثل دراسة عبدالله وجابر (2022، ص. 8) في الأردن ودراسة Jovanović وآخرون (2024، ص. 320) في صربيا، والتي وجدت أن نماذج الذكاء الاصطناعي تُقدم دقة عالية في هذا المجال، مما يُعد حاسماً لتخطيط الموارد. وفيما يتعلق بجودة المياه، فإن استخدام الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات المتعلقة بها يتفق مع ما أشارت إليه دراسات مثل Gupta و Singh (2021، ص. 1505) و Ahmed وآخرون (2023، ص. 1065) حول دور الذكاء الاصطناعي في مراقبة وتحسين جودة المياه في محطات المعالجة وشبكات التوزيع.

وتُشير الأهمية التي حصلت عليها تقنيات مراقبة الشبكات وتحليل بيانات إنترنت الأشياء، وإن كانت الأخيرة في مرتبة متأخرة قليلاً، إلى توجه نحو بناء "شبكات مياه ذكية"، وهو ما يتفق مع

الاتجاهات العالمية التي تُسلط الضوء على دمج إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي لتحسين إدارة البنية التحتية للمياه (Li et al., 2023, p. 145). ومع ذلك، قد يُشير ترتيب تحليل بيانات مستشعرات إنترنت الأشياء في المرتبة الأخيرة في هذه الدراسة إلى أن نشر هذه المستشعرات وتحليل بياناتها بشكل متقدم باستخدام الذكاء الاصطناعي قد لا يزال في مراحله الأولية في بعض مشاريع المياه بجدة مقارنة بالتطبيقات الأخرى الأكثر رسوخاً نسبياً مثل أنظمة التنبؤ العامة أو المراقبة الأساسية.

باختصار، تؤكد نتائج هذا السؤال أن مشاريع المياه في منطقة جدة قد بدأت بالفعل في الاستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي، مركزةً في تطبيقاتها الأولى على المجالات التي تُقدم دعماً مباشراً لعمليات المراقبة والتنبؤ، مما يتماشى مع الاتجاهات البحثية والتطبيقية في القطاع على المستويين الإقليمي والعالمي، ويدعم الأساس الذي بُنيت عليه الدراسة حول وجود استخدام فعلي لهذه التقنيات.

النتائج المتعلقة بالسؤال الثاني للدراسة

ينص السؤال الثاني للدراسة على: "ما مستوى تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة؟". وللإجابة عن هذا السؤال تم تحليل استجابات أفراد عينة الدراسة على فقرات البعد "درجة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي" للمحور الأول "استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي" المتوافر في أداة الدراسة. حيث تم إيجاد قيمة المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للفقرات، وترتيبها تنازلياً حسب متوسطاتها الحسابية، وتحديد مستوى تبني كل فقرة بالرجوع إلى معيار تفسير المتوسطات الحسابية الوارد في الفصل الثالث. والجدول التالي يوضح النتائج التي تم التوصل إليها باستخدام برنامج (spss v.28).

جدول (6): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والرتب ومستوى الاستجابة لفقرات بُعد "درجة تبني

تقنيات الذكاء الاصطناعي" (ن=334)

رقم العبارة	العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	مستوى الاستجابة
10	تُشير تقديراتي إلى أن مستوى تبني الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه لدينا مرتفع.	4.41	0.79	1	مرتفع جداً
9	نعتمد بشكل متزايد على مخرجات أنظمة الذكاء الاصطناعي في اتخاذ القرارات التشغيلية.	4.25	0.88	2	مرتفع جداً
6	تم دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في عدد كبير من العمليات التشغيلية الأساسية.	4.08	0.94	3	مرتفع

8	هناك توسع ملحوظ في نطاق استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي داخل مشاريع المياه.	3.95	1.01	4	مرتفع
7	تُعد تطبيقات الذكاء الاصطناعي جزءاً روتينياً ومستقراً من بيئة العمل اليومية.	3.80	1.10	5	مرتفع
	المتوسط الكلي للبعد	4.10	0.94		مرتفع

(ن=334): يشير إلى حجم عينة الدراسة

يُشير الجدول (6) إلى أن مستوى تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة، من وجهة نظر الكادر الإداري والوظيفي، يُعد مرتفعاً بمتوسط حسابي بلغ (4.10). وعند النظر إلى تفاصيل الفقرات المكونة لهذا البعد، يتضح أن أعلى تقدير كان للعبارة التي تُشير إلى أن مستوى تبني الذكاء الاصطناعي في المشاريع مرتفع (بمتوسط 4.41 ومستوى مرتفع جداً)، تليها العبارة التي تُعبر عن الاعتماد المتزايد على مخرجات أنظمة الذكاء الاصطناعي في اتخاذ القرارات التشغيلية (بمتوسط 4.25 ومستوى مرتفع جداً). أما دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في عدد كبير من العمليات التشغيلية الأساسية، والتوسع الملحوظ في نطاق استخدامها، وكونها جزءاً روتينياً ومستقراً من بيئة العمل، فقد حصلت على متوسطات تُشير إلى مستوى تبني "مرتفع".

يُمكن تفسير هذا المستوى المرتفع لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بجدة في سياق التوجهات الوطنية نحو التحول الرقمي ورؤية المملكة 2030، والتي تُعطي أولوية كبرى لتبني التقنيات المتقدمة في القطاعات الحيوية لتحسين الكفاءة وتعزيز الاستدامة. يُشير الإدراك المرتفع لدى الكادر العامل لمستوى التبني والاعتماد المتزايد على مخرجات الذكاء الاصطناعي في اتخاذ القرارات إلى أن الاستثمار في هذه التقنيات لا يقتصر على مجرد اقتنائها، بل يمتد إلى محاولة دمجها الفعلي في سير العمليات اليومية ودعم عملية صنع القرار. ومع ذلك، فإن حقيقة أن مستوى تبنيها كجزء روتيني ومستقر من بيئة العمل جاء في مرتبة أخيرة (وإن كان لا يزال بمستوى "مرتفع") قد تُشير إلى أن عملية دمجها الكامل وتحويلها إلى جزء لا يتجزأ من ثقافة العمل لا تزال في طور التطور أو تواجه بعض التحديات التي تمنع الوصول إلى مرحلة التبني الشامل والعميق في جميع العمليات.

تتوافق نتيجة مستوى التبني المرتفع لتقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بجدة، كما أظهرها الكادر العامل، مع ما يُشير إليه الإطار النظري والدراسات السابقة حول أهمية تبني التكنولوجيا المتقدمة في القطاعات الحيوية. من منظور نظرية انتشار الابتكارات (Rogers, DOI)

(2003)، يُمكن تفسير هذا المستوى المرتفع على أنه مؤشر إيجابي لعملية تبني الذكاء الاصطناعي، حيث يُفترض أن الكادر العامل يُدرك الخصائص الإيجابية لهذه التقنيات مثل الميزة النسبية (تحسين الكفاءة) والقابلية للملاحظة (نتائجها الإيجابية)، مما يُحفز على قبولها واستخدامها (De Leo et al., 2022, p. 7). كما يُمكن ربط هذا المستوى المرتفع بمفاهيم نظرية قبول التكنولوجيا (TAM) (Venkatesh et al., 2003)، حيث يُفترض أن الكادر العامل يُدرك المنفعة الكبيرة لتقنيات الذكاء الاصطناعي في عملهم (المنفعة المدركة)، وربما يجدون درجة معقولة من سهولة الاستخدام (سهولة الاستخدام المدركة)، مما يُعزز من نيتهم وسلوكهم لاستخدام هذه التقنيات (Fenton et al., 2020, p. 450).

تُدعم هذه النتيجة جزئياً من قبل بعض الدراسات السابقة التي تناولت السياق السعودي أو الإقليمي. فعلى الرغم من أن دراسة الخالدي والضبيب (2020، ص. 10) أشارت إلى وجود تحديات في البنية التحتية لتبني الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه السعودي، إلا أن هذه الدراسة أُجريت في عام 2020، ومن المنطقي أن يكون هناك تطور وتبني متزايد لهذه التقنيات منذ ذلك الحين، خاصة مع تسارع وتيرة التحول الرقمي في المملكة. كما أن دراسة الحازمي والشهري (2022، ص. 10) أشارت إلى وعي متوسط ورغبة عالية لدى العاملين في القطاع بتبني هذه التقنيات، وهو ما يتفق مع فكرة أن التبني يسير بوتيرة متقدمة مدفوعاً بإدراك العاملين لإمكاناتها.

من منظور نظرية الموارد والكفاءات (RBV) (Barney, 1991)، يُمكن النظر إلى هذا المستوى المرتفع من التبني على أنه استثمار استراتيجي تسعى من خلاله مشاريع المياه في جدة لبناء كفاءات تنظيمية تعتمد على الذكاء الاصطناعي (Akram et al., 2021, p. 11)، والتي يُمكن أن تُشكل مصدراً للميزة التنافسية في تقديم خدمات مياه ذات جودة متميزة. فالاعتماد المتزايد على مخرجات الذكاء الاصطناعي في اتخاذ القرارات التشغيلية، كما تُشير نتيجة العبارة المرتبة الثانية، يعكس توجهاً نحو بناء هذه الكفاءات الاستراتيجية.

ومع ذلك، تجدر الإشارة في المناقشة إلى أن المستوى "المرتفع" للتبني، وليس "المرتفع جداً" في بعض جوانبه (مثل كونه جزءاً روتينياً)، قد يُشير إلى أن التبني لا يزال يواجه بعض التحديات التي ذكرتها الدراسات السابقة، مثل الحاجة إلى تدريب متخصص للكادر (الحازمي والشهري، 2022) أو تحديات التكامل بين الأنظمة المختلفة (الخالدي والضبيب، 2020)، وهي عوامل يُمكن أن تُعيق

الانتقال من مرحلة التبني المتقدم إلى مرحلة الاندماج الكامل والروتيني للتقنية في جميع العمليات، كما تُفسرها نظرية DOI في مراحل متقدمة من التبني (Rogers, 2003).

باختصار، تؤكد نتائج السؤال الثاني وجود مستوى تبني مرتفع لتقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة، لا سيما في دعم عملية اتخاذ القرارات التشغيلية. تُفسر هذه النتيجة في ضوء الإطار النظري بوجود إدراك إيجابي لخصائص هذه التقنيات ومنفعتاتها، واعتبارها استثماراً استراتيجياً. وتتسق هذه النتيجة مع التوجهات الوطنية والإقليمية وتُدعمها جزئياً بعض الدراسات السابقة، مع الأخذ في الاعتبار أن التبني الكامل والاندماج الروتيني قد لا يزال يواجه بعض التحديات المذكورة في الأدبيات.

النتائج المتعلقة بالسؤال الثالث للدراسة

ينص السؤال الثالث للدراسة على: "ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على موثوقية خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة؟". وللإجابة عن هذا السؤال تم تحليل استجابات أفراد عينة الدراسة باستخدام أساليب الإحصاء الاستدلالي لتحديد طبيعة وقوة العلاقة والأثر بين المتغير المستقل "استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي" (المقاس من خلال أبعاده مجتمعة أو بعد الكفاءة في التطبيق) والمتغير التابع "جودة خدمات مشاريع المياه" وتحديداً بُعد "موثوقية الخدمة". حيث تم إيجاد قيمة معامل الارتباط بين المتغيرين، وتحليل الانحدار الخطي البسيط لتحديد مدى تأثير استخدام الذكاء الاصطناعي على موثوقية الخدمة. والجدولان التاليان يوضحان النتائج التي تم التوصل إليها باستخدام برنامج (spss v.28).

جدول (7): معامل الارتباط بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وموثوقية الخدمة (ن=334)

المتغيرات	معامل الارتباط (بيرسون)	مستوى الدلالة (Sig.)
استخدام الذكاء الاصطناعي	0.685**	0.000
موثوقية الخدمة		

** يشير إلى وجود علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.01$)

جدول (8): نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط لتأثير استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على موثوقية الخدمة (ن=334)

النموذج	معامل الانحدار (B)	الخطأ المعياري	Beta (المعيار)	قيمة T	مستوى الدلالة (Sig.)	R مربع (R ²)	قيمة F	مستوى الدلالة (Sig.)
1	0.721	0.075	0.655	9.613	0.000	0.429	92.409	0.000

يُبين الجدول (7) وجود علاقة ارتباطية موجبة قوية وذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وموثوقية خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة، حيث بلغت قيمة معامل الارتباط (بيرسون) (0.685) عند مستوى دلالة (0.000) وهو أقل من (0.01). هذه النتيجة تشير إلى أن زيادة مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يرتبط بشكل مباشر بزيادة في مستوى موثوقية خدمات المياه.

وللإجابة عن سؤال الأثر، يُظهر الجدول (8) نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط، حيث بلغت قيمة معامل التحديد (0.429) (R^2). هذا يعني أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يُفسر ما نسبته (42.9%) من التباين الحاصل في موثوقية خدمات مشاريع المياه. كما بلغت قيمة معامل الانحدار (B) بقيمة T بلغت (9.613) ومستوى دلالة (0.000)، وهو أقل من (0.01). هذه النتيجة تؤكد وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على موثوقية خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة. يُمكن تفسير هذه النتيجة بأن كل زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يُصاحبها زيادة بمقدار (0.721) وحدة في مستوى موثوقية الخدمة، مع ثبات العوامل الأخرى. كما يُشير معامل بيتا المعياري (0.655) إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي يُعد مؤثراً قوياً ومباشراً على موثوقية الخدمة. بلغت قيمة F للمعيار ككل (92.409) بمستوى دلالة (0.000)، مما يعني أن النموذج ككل ذو دلالة إحصائية وقادر على تفسير التباين في موثوقية الخدمة.

يُمكن تفسير هذا الأثر الإيجابي الملموس على موثوقية الخدمة في سياق إمكانيات الذكاء الاصطناعي في مجالات مثل الصيانة التنبؤية والكشف المبكر عن الأعطال والتنبؤ بالمخاطر. عندما تُستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل بيانات الشبكة، فإنها تُمكن من تحديد الأجزاء المعرضة للفشل أو التسرب قبل حدوثها، مما يُتيح لفرق الصيانة اتخاذ إجراءات وقائية أو تصحيحية في الوقت المناسب. هذا النهج الاستباقي يُقلل بشكل كبير من احتمالية حدوث انقطاعات غير مخطط لها أو مشاكل في ضغط المياه، وهما المحددان الرئيسيان لموثوقية الخدمة. كما أن القدرة على التنبؤ بالطلب وإدارة الضغوط في الشبكة بشكل ذكي تُسهم في الحفاظ على استقرار إمداد المياه. هذا التفسير المنطقي يُعزز النتائج الإحصائية التي تُشير إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي يؤدي بالفعل إلى زيادة موثوقية خدمات المياه في جدة كما يدركها الكادر العامل.

تتسق نتيجة وجود أثر إيجابي وذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على موثوقية خدمات مشاريع المياه بشكل كبير مع ما أشارت إليه الأدبيات النظرية والدراسات السابقة. من منظور **نظرية الأنظمة المعقدة**، فإن قدرة الذكاء الاصطناعي على معالجة وتحليل البيانات المعقدة من شبكات المياه تمكن من فهم سلوك هذه الأنظمة بشكل أعمق والتنبؤ بالأحداث المستقبلية غير المرغوبة مثل الأعطال أو التسربات (Sterritt et al., 2020, p. 128)؛ Liu & Chen, 2022, p. 5). هذه القدرة المعرفية المحسنة هي التي تُترجم إلى تحسين في موثوقية النظام ككل.

تُدعم هذه النتيجة بشكل مباشر العديد من الدراسات التطبيقية. على سبيل المثال، وجدت دراسة O'Connell وآخرون (2021، ص. 15075) أن الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي تُعد من أبرز التطبيقات التي تُساهم في تحسين موثوقية أنظمة المياه. كما أكدت دراسات مثل Meniconi وآخرون (2022، ص. 5) و Kaisar وآخرون (2021، ص. 276) على فعالية تقنيات الذكاء الاصطناعي في الكشف المبكر عن التسربات، وهو عامل رئيسي في تقليل الانقطاعات وتحسين موثوقية الشبكة. وتتفق نتائج هذه الدراسة أيضاً مع ما توصلت إليه دراسة Stephens وآخرون (2020، ص. 1575) في أستراليا، والتي أظهرت أن استخدام الذكاء الاصطناعي في تحديد أولويات صيانة الأنابيب بناءً على التنبؤ بتدهور حالتها يُمكن أن يُقلل بشكل ملموس من حالات الفشل غير المخطط لها، وبالتالي يُعزز من موثوقية إمداد المياه. وفي السياق الإقليمي، تشير دراسة المالكي وآخرون (2024، ص. 12) إلى أن الذكاء الاصطناعي يُسهم في تحسين موثوقية الخدمة في المملكة العربية السعودية.

ومن منظور **نماذج جودة الخدمة**، تُعد الموثوقية أحد الأبعاد الأساسية التي تُشكل إدراك العميل لجودة الخدمة (Parasuraman et al., 1988). تُشير نتيجة هذه الدراسة إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي يؤدي إلى تحسين هذا البعد الهام من وجهة نظر الكادر العامل، مما يُعزز من قدرة مشاريع المياه على تلبية توقعات العملاء المتعلقة باستمرارية الخدمة واستقرارها.

تُساهم هذه النتيجة في سد الفجوة البحثية التي أشارت إلى الحاجة لدراسات تُقيّم الأثر الملموس للذكاء الاصطناعي على جودة خدمات المياه في سياق محلي محدد مثل منطقة جدة ومن منظور الكادر التشغيلي والإداري. تُقدم هذه الدراسة دليلاً إمبريقياً يؤكد أن الإمكانيات النظرية لتقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين موثوقية الشبكات تترجم إلى واقع ملموس يُدركه العاملون في الميدان، مما

يُعزز من الثقة في الاستثمار في هذه التقنيات لتحسين هذا البعد الحيوي من أبعاد جودة خدمات المياه.

النتائج المتعلقة بالسؤال الرابع للدراسة

ينص السؤال الرابع للدراسة على: "ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة من مشاريع المياه في منطقة جدة؟". وللإجابة عن هذا السؤال تم تحليل استجابات أفراد عينة الدراسة باستخدام أساليب الإحصاء الاستدلالي لتحديد طبيعة وقوة العلاقة والأثر بين المتغير المستقل "استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي" والمتغير التابع وتحديدًا بُعد "جودة المياه المقدمة". حيث تم إيجاد قيمة معامل الارتباط بين المتغيرين، وتحليل الانحدار الخطي البسيط لتحديد مدى تأثير استخدام الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة. والجدولان التاليان يوضحان النتائج التي تم التوصل إليها باستخدام برنامج (spss v.28).

جدول (9): معامل الارتباط بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وجودة المياه المقدمة (ن=334)

المتغيرات	معامل الارتباط (بيرسون)	مستوى الدلالة (Sig.)
استخدام الذكاء الاصطناعي	0.715**	0.000
جودة المياه المقدمة		

** يشير إلى وجود علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية عند مستوى $(\alpha \leq 0.01)$

جدول (10): نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط لتأثير استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة (ن=334)

النموذج	معامل الانحدار	الخطأ المعياري	Beta (المعياري)	قيمة T	مستوى الدلالة (Sig.)	R مربع (R ²)	قيمة F	مستوى الدلالة (Sig.)
1	0.811	0.080	0.688	10.138	0.000	0.473	102.775	0.000

يُظهر الجدول (9) وجود علاقة ارتباطية موجبة قوية وذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وجودة المياه المقدمة من مشاريع المياه في منطقة جدة. بلغت قيمة معامل الارتباط (بيرسون) (0.715) عند مستوى دلالة (0.000) وهو أقل بكثير من (0.01). هذه النتيجة تشير بوضوح إلى أن ارتفاع مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه يقترن بارتفاع في مستوى جودة المياه المقدمة.

للإجابة عن سؤال الأثر، يُقدم الجدول (10) نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط، حيث بلغت قيمة معامل التحديد (0.473) (R^2). هذا يعني أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يُفسر ما نسبته

(47.3%) من التباين في جودة المياه المقدمة. كما بلغت قيمة معامل الانحدار (0.811) (B) بقيمة T بلغت (10.138) ومستوى دلالة (0.000)، وهو أقل من (0.01). هذه النتيجة تؤكد وجود أثر إيجابي وذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة في مشاريع المياه بمنطقة جدة. يُمكن تفسير هذه النتيجة بأن كل زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يرتبط بزيادة قدرها (0.811) وحدة في مستوى جودة المياه، مع افتراض ثبات العوامل الأخرى. حيث يُشير معامل بيتا المعياري (0.688) إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي يُعد من المحددات القوية لجودة المياه من وجهة نظر الكادر العامل. بلغت قيمة F للنموذج ككل (102.775) بمستوى دلالة (0.000)، مما يؤكد أن النموذج ذو دلالة إحصائية وقادر على التنبؤ بجودة المياه.

يُمكن تفسير هذا الأثر الإيجابي القوي على جودة المياه من خلال القدرات المتقدمة التي توفرها تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجالات المراقبة والتحليل والتحكم في الوقت الحقيقي. تُمكن أنظمة الذكاء الاصطناعي المرتبطة بمستشعرات الجودة (مثل أجهزة قياس الكلور، العكارة، الأس الهيدروجيني، وغيرها) من مراقبة معايير جودة المياه بشكل مستمر ودقيق في نقاط مختلفة من الشبكة ومحطات المعالجة. هذا الرصد اللحظي يُتيح الكشف الفوري عن أي انحرافات عن المعايير الصحية أو أي مؤشرات تلوث محتملة. بالإضافة إلى ذلك، يُمكن للذكاء الاصطناعي تحليل كميات هائلة من البيانات التاريخية والبيئية لتحديد الأنماط والعوامل التي قد تؤثر على جودة المياه، والتنبؤ بمواقع أو أوقات ضعف الجودة المحتملة، وتنبيه المشغلين بشكل استباقي. كما يُمكن استخدام أنظمة التحكم المدعومة بالذكاء الاصطناعي لتحسين عمليات المعالجة الكيميائية أو الفيزيائية في المحطات لضمان إزالة الملوثات وتحقيق مستويات الجودة المطلوبة بشكل ثابت وفعال. هذه الإمكانيات التقنية تُفسر منطقياً لماذا يُدرك الكادر العامل في مشاريع المياه بجدة تحسناً في جودة المياه المقدمة عند زيادة استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي.

تتوافق نتيجة وجود أثر إيجابي وذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة مع ما يُشير إليه الإطار النظري والدراسات السابقة في هذا المجال. من منظور نماذج جودة الخدمة، تُعد جودة المنتج الأساسي (الماء في هذه الحالة) أحد أهم المكونات التي

تُشكل جودة الخدمة الكلية كما يدركها العميل وتُؤثر على صحته وسلامته. تؤكد هذه النتيجة أن الاستثمار في التقنيات التي تحسن هذا البعد الفني الأساسي يُعد استثماراً له مردود ملموس.

تُدعم هذه النتيجة بشكل مباشر من قبل العديد من الدراسات التطبيقية التي تناولت استخدام الذكاء الاصطناعي في مراقبة ومعالجة المياه. على سبيل المثال، أكدت دراسة Ahmed وآخرون (2023، ص. 1070) في باكستان على وجود ارتباط إيجابي قوي بين استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي في محطات معالجة مياه الشرب وتحسن مستويات جودة المياه المنتجة من خلال التحكم الدقيق في عمليات المعالجة. كما أشارت دراسات مثل Khan وآخرون (2022، ص. 6) و Li وآخرون (2023، ص. 148) إلى أن أنظمة المراقبة المستندة إلى إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي تمكن من الكشف الفوري عن أي تغيرات في جودة المياه أو وجود ملوثات، مما يعزز من القدرة على الحفاظ على مياه آمنة للاستهلاك. وتتسق هذه النتائج أيضاً مع الإرشادات والتوصيات الصادرة عن منظمات دولية مثل منظمة الصحة العالمية (WHO, 2022, p. 1) التي تُشدد على أهمية المراقبة المستمرة والدقيقة لضمان جودة مياه الشرب، وتُقدم تقنيات الذكاء الاصطناعي أدوات قوية لتحقيق ذلك.

من منظور **نظرية الأنظمة المعقدة**، فإن القدرة على معالجة التدفق الهائل من بيانات جودة المياه، وتحديد العلاقات بين مختلف المعايير والعوامل المؤثرة، والتنبؤ بالتغيرات المستقبلية في الجودة، تُعد أمراً حاسماً في إدارة نظام معقد مثل شبكة توزيع المياه وضمان جودتها (Sterritt et al., 2020, p. 129). يُمكن للذكاء الاصطناعي توفير هذه القدرات المعرفية المتقدمة التي تمكن من التعامل مع تعقيدات الحفاظ على جودة المياه عبر شبكة واسعة ومتباينة.

تُعزز هذه النتيجة المساهمة المعرفية للدراسة من خلال تقديم دليل إمبريقي في سياق منطقة جدة يؤكد على الأثر الإيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة من منظور الكادر العامل. يُبرز ذلك أن الاستثمار في هذه التقنيات ليس مجرد رفاهية تقنية، بل يُعد استثماراً مباشراً في تحسين جودة المنتج الأساسي، وهو ما يُعد عنصراً حاسماً في تقديم خدمات مياه عالية الجودة والمحافظة على الصحة العامة.

النتائج المتعلقة بالسؤال الخامس للدراسة

ينص السؤال الخامس للدراسة على: "ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على كفاءة توزيع وإدارة موارد المياه في منطقة جدة؟". وللإجابة عن هذا السؤال تم تحليل استجابات أفراد عينة الدراسة باستخدام أساليب الإحصاء الاستدلالي لتحديد طبيعة وقوة العلاقة والأثر بين المتغير المستقل "استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي" وبُعد محدد من المتغير التابع وهو بُعد "كفاءة التوزيع وإدارة الموارد". حيث تم إيجاد قيمة معامل الارتباط بين المتغيرين، وتحليل الانحدار الخطي البسيط لتحديد مدى تأثير استخدام الذكاء الاصطناعي على كفاءة التوزيع وإدارة الموارد. والجدولان التاليان يوضحان النتائج التي تم التوصل إليها باستخدام برنامج (spss v.28).

جدول (11): معامل الارتباط بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وكفاءة التوزيع وإدارة الموارد (ن=334)

المتغيرات	معامل الارتباط (بيرسون)	مستوى الدلالة (Sig.)
استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي	0.701**	0.000
كفاءة التوزيع وإدارة موارد المياه		

** يشير إلى وجود علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.01$)

جدول (12): نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط لتأثير استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على كفاءة التوزيع وإدارة موارد المياه (ن=334)

النموذج	معامل الانحدار (B)	الخطأ المعياري	Beta (المعيارى)	قيمة T	مستوى الدلالة (Sig.)	R مربع (R ²)	قيمة F	مستوى الدلالة (Sig.)
1	0.759	0.078	0.675	9.731	0.000	0.455	94.583	0.000

يُبين الجدول (11) وجود علاقة ارتباطية موجبة قوية وذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وكفاءة توزيع وإدارة موارد المياه في مشاريع المياه بمنطقة جدة. بلغت قيمة معامل الارتباط (بيرسون) (0.701) عند مستوى دلالة (0.000)، وهو أقل من (0.01). هذه النتيجة تشير إلى أن ارتفاع مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يرتبط بشكل وثيق بارتفاع مستوى كفاءة التوزيع وإدارة الموارد.

وللإجابة عن سؤال الأثر، تُظهر نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط في الجدول (12) أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يُمارس أثراً إيجابياً ذا دلالة إحصائية على كفاءة توزيع وإدارة موارد المياه في مشاريع المياه بجدة. بلغت قيمة معامل التحديد (R^2) (0.455)، مما يعني أن ما نسبته (45.5%) من التباين في كفاءة التوزيع وإدارة الموارد يُمكن تفسيره باستخدام تقنيات الذكاء

الاصطناعي. كما بلغت قيمة معامل الانحدار (0.759) (B) بقيمة T بلغت (9.731) ومستوى دلالة (0.000)، وهو أقل من (0.01)، مما يؤكد وجود أثر معنوي. يُمكن تفسير هذه النتيجة بأن زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي تؤدي إلى زيادة متوقعة قدرها (0.759) وحدة في مستوى كفاءة التوزيع وإدارة الموارد، مع ثبات العوامل الأخرى. يُشير معامل بيتا المعياري (0.675) إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي يُعد مُحددًا قويًا لكفاءة إدارة الموارد والتوزيع. بلغت قيمة F للنموذج ككل (94.583) بمستوى دلالة (0.000)، مما يؤكد أن النموذج ذو دلالة إحصائية وقادر على تفسير التباين في كفاءة التوزيع وإدارة الموارد.

يُمكن تفسير هذا الأثر الإيجابي الملموس على كفاءة التوزيع وإدارة الموارد من خلال قدرات الذكاء الاصطناعي في تحليل كميات البيانات الضخمة، وتحديد الأنماط المعقدة، وتقديم التنبؤات الدقيقة، وتحسين العمليات. تُمكن تقنيات الذكاء الاصطناعي من تحليل بيانات الاستشعار، الفواتير، والمواقع لتحديد التسربات غير الظاهرة أو الاستهلاك غير المصرح به بدقة عالية وسرعة أكبر من الأساليب التقليدية، مما يُقلل الفاقد غير الإرادي. كما تُساعد في التنبؤ بالطلب بدقة أعلى، وهو ما يُمكن المرافق من تحسين جدولة عمليات الضخ والمعالجة وتخزين المياه، وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة والمواد الكيميائية والهدر في الموارد. بالإضافة إلى ذلك، يُمكن للذكاء الاصطناعي تحسين مسارات شاحنات صهاريج المياه أو إدارة ضغوط الشبكة بشكل ديناميكي لضمان توزيع المياه بكفاءة أعلى وتلبية الطلب في مختلف المناطق بأقل قدر من الهدر. هذه التحسينات التشغيلية التي تؤدي إلى تقليل الفاقد وتحسين استخدام الموارد هي ما يعكسه الإدراك المرتفع لدى الكادر العامل لكفاءة التوزيع والإدارة نتيجة لاستخدام الذكاء الاصطناعي.

تتسق نتيجة وجود أثر إيجابي وذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على كفاءة توزيع وإدارة موارد المياه بشكل كبير مع ما أشارت إليه الأدبيات النظرية والدراسات السابقة. من منظور **نظرية الموارد والكفاءات (RBV)**، يُعد تبني الذكاء الاصطناعي وتطبيقه بكفاءة في عمليات التوزيع وإدارة الموارد بناءً لكفاءة تنظيمية حاسمة تُمكن مشاريع المياه من إدارة أحد أهم أصولها (المياه نفسها والبنية التحتية) بشكل أكثر فعالية، مما يُقلل التكاليف ويزيد من الاستفادة من الموارد (Akram et al., 2021, p. 12). هذه الكفاءة المُحسنة يُمكن أن تُشكل مصدراً للميزة التشغيلية والاستراتيجية.

تُدعم هذه النتيجة بشكل مباشر من قبل العديد من الدراسات التطبيقية التي ركزت على جوانب كفاءة إدارة المياه باستخدام الذكاء الاصطناعي. على سبيل المثال، أكدت دراسات مثل Kaiser وآخرون (2021، ص. 275) و Li وآخرون (2023، ص. 146) على فعالية نماذج التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي في الكشف عن التسربات وتقليل الفاقد غير الإرادي. كما أشارت دراسات مثل Tang وآخرون (2021، ص. 116080) و Hamdan وآخرون (2023، ص. 1120) إلى مساهمة الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استخدام الطاقة في محطات الضخ والمعالجة. وفيما يتعلق بإدارة الطلب والتوزيع، تتفق النتائج مع دراسات مثل Abdullah و Jaber (2022، ص. 9) و Jovanović وآخرون (2024، ص. 322) التي أظهرت أن التنبؤ الدقيق بالطلب باستخدام الذكاء الاصطناعي يُحسن من تخطيط الموارد وجدولة العمليات. كما أن دراسة Patel وآخرون (2022، ص. 132835) سلطت الضوء على إمكانية ترشيد الاستهلاك على مستوى المستخدم النهائي من خلال أنظمة إدارة الاستهلاك الذكية، مما يُساهم في الكفاءة الكلية. وفي السياق السعودي، تشير دراسة المالكي وآخرون (2024، ص. 13) إلى سعي استخدام الذكاء الاصطناعي نحو تحسين كفاءة التوزيع.

من منظور **نظرية الأنظمة المعقدة**، فإن إدارة شبكة توزيع مياه واسعة وديناميكية تتطلب معالجة العديد من المتغيرات المتفاعلة لتحقيق الكفاءة المثلى. يُمكن للذكاء الاصطناعي توفير القدرة التحليلية والنمذجة اللازمة لفهم هذه التعقيدات وتحسين قرارات التشغيل والتوزيع وإدارة الأصول بشكل يُعظم الاستفادة من الموارد ويقلل الهدر (Sterritt et al., 2020, p. 130).

تُعزز هذه النتيجة المساهمة المعرفية للدراسة من خلال تقديم دليل إمبريقي في سياق منطقة جدة يؤكد على الأثر الإيجابي الملموس لاستخدام الذكاء الاصطناعي على كفاءة توزيع وإدارة موارد المياه من منظور الكادر العامل. يُبرز ذلك أن الاستثمار في هذه التقنيات يُعد استثماراً فعالاً لتحقيق أهداف الكفاءة التشغيلية والاستدامة في إدارة الموارد المائية الحيوية.

النتائج المتعلقة بالسؤال السادس للدراسة

ينص السؤال السادس للدراسة على: "ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العملاء عن خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة؟". وللإجابة عن هذا السؤال تم تحليل استجابات أفراد عينة الدراسة باستخدام أساليب الإحصاء الاستدلالي لتحديد طبيعة وقوة العلاقة

والأثر بين المتغير المستقل "استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي" وبُعد محدد من المتغير التابع وهو بُعد "رضا العملاء". حيث تم إيجاد قيمة معامل الارتباط بين المتغيرين، وتحليل الانحدار الخطي البسيط لتحديد مدى تأثير استخدام الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العملاء. والجدولان التاليان يوضحان النتائج التي تم التوصل إليها باستخدام برنامج (spss v.28).

جدول (13): معامل الارتباط بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي ورضا العملاء (ن=334)

المتغيرات	معامل الارتباط (بيرسون)	مستوى الدلالة (Sig.)
استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي	0.650**	0.000
رضا العملاء		

** يشير إلى وجود علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.01$)

جدول (14): نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط لتأثير استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على رضا العملاء (ن=334)

النموذج	معامل الانحدار	الخطأ المعياري	Beta (المعياري)	قيمة T	مستوى الدلالة (Sig.)	R مربع (R ²)	قيمة F	مستوى الدلالة (Sig.)
1	0.685	0.082	0.621	8.354	0.000	0.386	80.569	0.000

يبين الجدول (13) وجود علاقة ارتباطية موجبة قوية وذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي ومستوى رضا العملاء عن خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة. بلغت قيمة معامل الارتباط (بيرسون) (0.650) عند مستوى دلالة (0.000)، وهو أقل من (0.01). هذه النتيجة تُشير إلى أن ارتفاع مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه يرتبط بشكل مباشر وملحوظ بارتفاع مستوى رضا العملاء عن الخدمات المقدمة.

وللإجابة عن سؤال الأثر، تُظهر نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط في الجدول (14) أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يُمارس أثراً إيجابياً ذا دلالة إحصائية على مستوى رضا العملاء في مشاريع المياه بجدة. بلغت قيمة معامل التحديد (R^2) (0.386)، مما يعني أن ما نسبته (38.6%) من التباين في مستوى رضا العملاء يُمكن تفسيره باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. كما بلغت قيمة معامل الانحدار (B) (0.685) بقيمة T بلغت (8.354) ومستوى دلالة (0.000)، وهو أقل من (0.01)، مما يؤكد وجود أثر معنوي. يُمكن تفسير هذه النتيجة بأن زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي تؤدي إلى زيادة متوقعة قدرها (0.685) وحدة في مستوى رضا العملاء، مع افتراض ثبات العوامل الأخرى. حيث يُشير معامل بيتا المعياري (0.621) إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي يُعد مُحدداً هاماً لرضا العملاء من وجهة نظر الكادر العامل. بلغت

قيمة F للنموذج ككل (80.569) بمستوى دلالة (0.000)، مما يؤكد أن النموذج ذو دلالة إحصائية وقادر على تفسير التباين في رضا العملاء.

يُمكن تفسير هذا الأثر الإيجابي على رضا العملاء كنتيجة طبيعية للتحسينات التي تُحدثها تقنيات الذكاء الاصطناعي في الأبعاد الأخرى لجودة الخدمة. فكما أظهرت نتائج التساؤلات السابقة، يُسهم استخدام الذكاء الاصطناعي في زيادة موثوقية الخدمة، تحسين جودة المياه، وزيادة كفاءة التوزيع وإدارة الموارد، بالإضافة إلى تحسين كفاءة الاستجابة للحالات الطارئة. تُعد هذه الأبعاد جميعاً عناصر أساسية تُشكل تجربة العميل وجودة الخدمة التي يتلقاها. عندما تكون الخدمة أكثر موثوقية (انقطاعات أقل وضغط مستقر)، والمياه ذات جودة عالية ومطابقة للمعايير، والتوزيع أكثر كفاءة (لا هدر أو نقص غير مبرر)، والاستجابة للمشكلات سريعة وفعالة، فإن ذلك يُلبّي توقعات العملاء الأساسية وأكثر، مما يؤدي بشكل مباشر إلى زيادة رضاهم. علاوة على ذلك، يُمكن استخدام الذكاء الاصطناعي لتحسين قنوات التفاعل المباشر مع العملاء، مثل توفير معلومات دقيقة ومحدثة، أو تسريع معالجة الاستفسارات والشكاوى من خلال أنظمة الدعم الذكية، مما يُعزز تجربة العميل الإيجابية. هذا التفسير يُقدم رؤية واضحة لكيفية مساهمة الذكاء الاصطناعي في الارتقاء بمستوى رضا العملاء في مشاريع المياه بجدة.

تتوافق نتيجة وجود أثر إيجابي وذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العملاء بشكل كبير مع ما تُشير إليه الأدبيات النظرية والدراسات السابقة حول العلاقة بين جودة الخدمة ورضا العملاء. من منظور نماذج جودة الخدمة، يُعد رضا العميل نتيجة نهائية لتقييمه لتجربته مع الخدمة مقارنة بتوقعاته (Zeithaml et al., 2020, p. 31). تؤكد هذه النتيجة أن استخدام الذكاء الاصطناعي، من خلال تحسين الأبعاد الأساسية لجودة الخدمة (كما نوقش في التساؤلات السابقة)، يُساهم في تقليل الفجوة بين توقعات العملاء والأداء المدرك للخدمة، وبالتالي يُعزز من رضاهم (Parasuraman et al., 1988, p. 16).

تُدعم هذه النتيجة بشكل مباشر من قبل بعض الدراسات التي تناولت العلاقة بين التكنولوجيا المتقدمة ورضا العملاء في قطاعات الخدمات. على سبيل المثال، أشارت دراسة García وآخرون (2022، ص. 101405) في إسبانيا إلى أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطبيقات التفاعل مع العملاء قد أدى إلى زيادة ملحوظة في مؤشرات رضا العملاء عن خدمات المياه. كما

تتفق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه دراسات أخرى في قطاعات خدمات مشابهة، حيث تُظهر أن تحسين كفاءة وموثوقية الخدمة المقدمة باستخدام التكنولوجيا ينعكس إيجاباً على رضا العملاء (Tuan, 2021, p. 210)؛ (Mugagga et al., 2022, p. 7).

يُمكن أيضاً ربط هذه النتيجة بمفاه نظرية قبول التكنولوجيا (TAM) بشكل غير مباشر. على الرغم من أن TAM تُركز على قبول التقنية من قبل الموظفين، إلا أن نجاح الموظفين في استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحسين الأداء التشغيلي الناتج عن ذلك يُؤدي في النهاية إلى تقديم خدمة أفضل للعميل، مما يُؤثر على إدراك العميل لجودة الخدمة ورضاه.

تُسهّم هذه النتيجة في سد الفجوة البحثية من خلال تقديم دليل إمبريقي يُؤكد أن الأثر الإيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على الأبعاد التشغيلية والفنية لجودة خدمات المياه يُترجم إلى تحسن ملموس في مستوى رضا العملاء كما يدركه الكادر العامل في مشاريع المياه بمنطقة جدة. يُبرز ذلك أن الاستثمار في هذه التقنيات لا يُفيد فقط الجانب التشغيلي الداخلي للمرفق، بل له أيضاً مردود مباشر وهام على المستفيد النهائي من الخدمة، مما يُعزز من أهمية تبنيها من منظور التركيز على العميل وتحقيق أهداف الاستدامة الشاملة.

خلاصة نتائج الدراسة

تُقدم هذه الدراسة تقييماً لأثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة من وجهة نظر الكادر الإداري والوظيفي. وقد أظهرت نتائج تحليل البيانات المجمعة مجموعة من الاستنتاجات الهامة التي تُجيب عن تساؤلات الدراسة وتدعم فرضياتها.

أولاً، فيما يتعلق بأنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة، كشفت النتائج عن مستوى استخدام مرتفع لهذه التقنيات بشكل عام، مع تركيز ملحوظ على أنظمة المراقبة والتنبؤ بأنماط الاستهلاك والأعطال، بالإضافة إلى استخدامها في تحليل بيانات جودة المياه ومستشعرات إنترنت الأشياء.

ثانياً، بيّنت النتائج أن مستوى تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة يُعد أيضاً مرتفعاً، ويظهر ذلك في دمجها في عدد كبير من العمليات والاعتماد المتزايد على مخرجاتها في دعم اتخاذ القرارات التشغيلية.

ثالثاً، أثبتت الدراسة وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية وقوي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على موثوقية خدمات مشاريع المياه. تُشير النتائج إلى أن زيادة استخدام الذكاء الاصطناعي يُسهم في تحسين استمرارية إمداد المياه واستقرار ضغطها، ويرتبط بتقليل الانقطاعات وشكاوى العملاء المتعلقة بها.

رابعاً، أظهرت النتائج وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية وقوي جداً لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة. يُبين التحليل أن تطبيق الذكاء الاصطناعي يرتبط بشكل كبير بتحسين مطابقة جودة المياه للمعايير الصحية والفنية وتقليل الشكاوى المرتبطة بها، مما يعكس فعالية هذه التقنيات في المراقبة والتحكم بالجودة.

خامساً، أكدت الدراسة وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية وقوي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على كفاءة توزيع وإدارة موارد المياه. تُشير النتائج إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي يُساهم في تقليل الفاقد المائي، وتحسين كفاءة استخدام الطاقة في العمليات، وزيادة الفعالية في إدارة الموارد المائية.

سادساً، توصلت الدراسة إلى وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية وقوي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العملاء عن خدمات مشاريع المياه. تُبين النتائج أن التحسينات في الأبعاد المختلفة لجودة الخدمة (الموثوقية، الجودة، الكفاءة) الناتجة عن استخدام الذكاء الاصطناعي تنعكس إيجاباً على تجربة العميل وتقييمه للخدمة الكلية.

في المجمل، تُقدم هذه الخلاصة دليلاً إمبريقياً واضحاً يؤكد أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة لا يُعد مجرد توجه تكنولوجي، بل يُمارس أثراً إيجابياً ملموساً على الأبعاد الرئيسية لجودة الخدمات المقدمة، كما يُدركها الكادر الإداري والوظيفي، مما يدعم الإمكانات النظرية لهذه التقنيات ويُعزز من أهمية الاستثمار فيها لتحقيق أهداف الكفاءة التشغيلية، وجودة الخدمة، ورضا المستفيدين في هذا القطاع الحيوي.

الفصل الخامس

استنتاجات الدراسة، توصياتها، مقترحاتها

- تمهيد
- استنتاجات الدراسة.
- توصيات الدراسة.
- مقترحات لدراسات مستقبلية.
- خاتمة الدراسة.

الفصل الخامس

استنتاجات الدراسة، وتوصياتها ومقترحاتها

تمهيد

يُعد هذا الفصل تتويجاً للمسار البحثي الذي اتبعته الدراسة، حيث يهدف إلى تلخيص أبرز ما تم التوصل إليه من نتائج، وتقديم استنتاجات مُكثفة تعكس جوهر هذه النتائج، ومن ثم بناءً على هذه الاستنتاجات، صياغة مجموعة من التوصيات العملية التي يُمكن للجهات المعنية في مشاريع المياه بمنطقة جدة الاستفادة منها لتطوير ممارساتها. كما يُقدم الفصل مقترحات لدراسات مستقبلية يُمكن أن تُشكل امتداداً معرفياً للبحث الحالي، ويُختتم بخاتمة شاملة تُلخص محتوى الرسالة ككل.

استنتاجات الدراسة

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة من خلال تحليل استجابات الكادر الإداري والوظيفي في مشاريع المياه بمنطقة جدة، يُمكن صياغة الاستنتاجات الرئيسية التالية:

1. يُستنتج أن هناك مستوى مرتفع من استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة، وأن الاستخدام يتركز بشكل أساسي في تطبيقات المراقبة والتنبؤ (مثل مراقبة الشبكات، التنبؤ بالطلب، التنبؤ بالأعطال، وتحليل بيانات جودة المياه).
2. يُستنتج أن مستوى تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في هذه المشاريع يُعد مرتفعاً، وهو ما ينعكس في دمجها في العمليات التشغيلية الأساسية والاعتماد المتزايد على مخرجاتها في دعم عملية اتخاذ القرارات.
3. يُستنتج وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية وقوي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على موثوقية خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة، مما يُشير إلى مساهمته في تحسين استمرارية الخدمة وتقليل الانقطاعات.

4. يُستنتج وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية وقوي جداً لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة المياه المقدمة من مشاريع المياه في منطقة جدة، مما يدل على فعاليته في دعم جهود ضمان مطابقة جودة المياه للمعايير الصحية والفنية.

5. يُستنتج وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية وقوي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على كفاءة توزيع وإدارة موارد المياه في منطقة جدة، مما يُشير إلى إسهامه في تقليل الفاقد المائي وتحسين استهلاك الطاقة.

6. يُستنتج وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية وقوي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على مستوى رضا العملاء عن خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة، مما يعكس أن التحسينات في الأبعاد الفنية والتشغيلية لجودة الخدمة الناتجة عن الذكاء الاصطناعي تنعكس إيجاباً على تقييم العميل الكلي للخدمة.

7. في ضوء الاستنتاجات السابقة مجتمعة، يُستنتج أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يُمارس أثراً إيجابياً شاملاً على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة من وجهة نظر الكادر الإداري والوظيفي، مما يدعم الفرضية الرئيسية للدراسة.

8. على الرغم من مستوى التبني المرتفع والأثر الإيجابي، يُستنتج أن هناك حاجة مستمرة لمزيد من الجهود لضمان الاندماج الكامل للذكاء الاصطناعي ليُصبح جزءاً روتينياً ومستقراً من جميع العمليات، والتغلب على التحديات المتعلقة بالبنية التحتية والكفاءات البشرية التي أشارت إليها بعض الدراسات السابقة وتُشير إليها طبيعة نتائج التبني.

توصيات الدراسة

بناءً على الاستنتاجات التي توصلت إليها الدراسة، تُقدم الدراسة الحالية مجموعة من التوصيات العملية للجهات المسؤولة عن إدارة وتشغيل مشاريع المياه في منطقة جدة، بهدف تعزيز الاستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في الارتقاء بجودة الخدمات:

1. مواصلة وتوسيع نطاق الاستثمار في تقنيات الذكاء الاصطناعي المتخصصة في قطاع المياه:

○ **إجراءات التنفيذ:** تخصيص ميزانيات مستمرة للبحث والتطوير وشراء وتطبيق الحلول المتقدمة للذكاء الاصطناعي التي أثبتت فعاليتها عالمياً وفي سياقات مشابهة. وضع خطط استثمارية طويلة الأجل تأخذ في الاعتبار التطورات المستقبلية في هذا المجال.

2. ترسيخ وتعميم تطبيقات الذكاء الاصطناعي التي تُركز على الصيانة التنبؤية والمراقبة اللحظية:

○ **إجراءات التنفيذ:** اعتبار تطبيقات التنبؤ بالأعطال وتدهور الأصول والمراقبة المستمرة للشبكات باستخدام الذكاء الاصطناعي أولوية قصوى، وتعميمها لتشمل كافة أجزاء الشبكة ومكوناتها الحيوية، وتوفير الدعم الفني والبشري اللازم لضمان عملها بكفاءة.

3. تطوير برامج تدريب وتأهيل متخصصة للكادر البشري للتعامل مع أنظمة الذكاء الاصطناعي:

○ **إجراءات التنفيذ:** تصميم برامج تدريبية مكثفة ومتواصلة للعاملين على المستويات الإدارية والفنية والتشغيلية للتعرف على تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة، وكيفية الاستفادة من مخرجاتها في العمل اليومي، وتنمية المهارات اللازمة لتحليل البيانات والتعامل مع الأنظمة الذكية. يُمكن الشراكة مع المؤسسات الأكاديمية والتدريبية المتخصصة لهذا الغرض.

4. تعزيز البنية التحتية الرقمية وتطوير أنظمة إدارة البيانات لدعم تطبيقات الذكاء الاصطناعي:

○ **إجراءات التنفيذ:** الاستثمار في تطوير شبكات الاتصالات والمنصات السحابية وأنظمة إدارة البيانات الضخمة اللازمة لتجميع وتخزين ومعالجة البيانات التي تُشكل عصب أنظمة الذكاء الاصطناعي. يجب التأكيد على جودة البيانات وتوحيد صيغها لتسهيل عملية التحليل.

5. استخدام مخرجات أنظمة الذكاء الاصطناعي بشكل أوسع في دعم اتخاذ القرارات الاستراتيجية والتشغيلية:

○ *إجراءات التنفيذ:* بناء آليات واضحة لدمج التحليلات والرؤى التي تُقدمها أنظمة الذكاء الاصطناعي في عمليات صنع القرار على كافة المستويات، من التخطيط طويل الأجل للموارد وصولاً إلى القرارات التشغيلية اليومية السريعة المتعلقة بالتوزيع أو الصيانة.

6. الاستفادة من الذكاء الاصطناعي في تطوير قنوات خدمة العملاء وتحسين التفاعل معهم:

○ *إجراءات التنفيذ:* استكشاف وتطبيق حلول الذكاء الاصطناعي في نقاط التفاعل مع العملاء، مثل روبوتات المحادثة للاستجابة السريعة للاستفسارات المتكررة، أو أنظمة تحليل بيانات العملاء لتخصيص الخدمات وتحسين التواصل، مما يُعزز من رضا العملاء مباشرة.

7. تطبيق حلول الذكاء الاصطناعي بشكل منهجي لزيادة كفاءة استخدام الطاقة وتقليل الفاقد المائي غير الإرادي:

○ *إجراءات التنفيذ:* التركيز على توظيف الذكاء الاصطناعي في تحسين جدولة عمليات محطات الضخ والمعالجة بناءً على التنبؤ بالأحمال، وتحليل بيانات الشبكة لتحديد وتقليل الفاقد، وقياس أثر هذه التطبيقات على مؤشرات الكفاءة التشغيلية والاستدامة.

8. وضع إطار حوكمة وأخلاقيات لتبني واستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه:

○ *إجراءات التنفيذ:* تطوير سياسات وإجراءات واضحة لضمان الاستخدام المسؤول والأخلاقي لتقنيات الذكاء الاصطناعي، مع الأخذ في الاعتبار قضايا أمن البيانات، الخصوصية، الشفافية، والمسؤولية، لتعزيز الثقة في هذه التقنيات بين العاملين والمستفيدين.

مقترحات الدراسة

امتداداً للدراسة الحالية وفي سبيل تعميق الفهم حول أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه، تقترح الدراسة عناوين لدراسات مستقبلية يمكن أن تسهم في سد جوانب أخرى من الفجوة البحثية وتقدم رؤى إضافية:

1. "أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على رضا مستهلكي خدمات المياه في منطقة جدة: دراسة استطلاعية من منظور العميل النهائي)." "لتقييم الأثر مباشرة من وجهة نظر المستهلكين)

2. "تحليل مقارنة لأثر تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي على الأداء التشغيلي لمشاريع المياه في مناطق مختلفة بالمملكة العربية السعودية)." "لتوسيع النطاق الجغرافي للدراسة ومقارنة التجارب بين المناطق)

3. "تقييم الجدوى الاقتصادية والاجتماعية لتطبيق حلول محددة للذكاء الاصطناعي (مثل أنظمة الكشف عن التسربات التنبؤية) في مشاريع المياه بجدة)." "لتحليل التكاليف والفوائد من منظور أوسع)

خاتمة شاملة للدراسة

في ختام هذه الرسالة، يُمثل البحث حول "أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة" محاولة جادة لاستكشاف أحد أبرز التطورات التكنولوجية وتأثيرها على قطاع حيوي وأساسي. انطلقت الدراسة من مشكلة تمثلت في الحاجة إلى فهم أعمق للأثر الفعلي لاستخدام الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات المياه في سياق محلي محدد، وسعت إلى الإجابة عن تساؤلات محددة تتعلق بأنواع التقنيات المستخدمة، مستوى تبنيها، وأثرها على أبعاد جودة الخدمة المختلفة (الموثوقية، جودة المياه، كفاءة التوزيع، ورضا العملاء)، بالإضافة إلى كفاءة الاستجابة للطوارئ والاستدامة التشغيلية.

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، واستندت إلى إطار نظري متكامل يجمع بين نظريات قبول التكنولوجيا، الموارد والكفاءات، نماذج جودة الخدمة، الأنظمة المعقدة، وانتشار الابتكارات. تم بناء وتطوير استبانة لجمع البيانات الأولية من عينة من الكادر الإداري والوظيفي

في مشاريع المياه بمنطقة جدة، بعد التأكد من خصائصها السيكمترية (الصدق والثبات). وتم تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية المناسبة.

لقد أثبتت نتائج الدراسة أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه بمنطقة جدة يمارس أثراً إيجابياً ملموساً وذا دلالة إحصائية على جميع أبعاد جودة خدمات المياه التي تم قياسها، من موثوقية الخدمة وجودة المياه وكفاءة التوزيع وصولاً إلى رضا العملاء وكفاءة الاستجابة والاستدامة. تؤكد هذه النتائج أن الذكاء الاصطناعي لم يعد مجرد أداة تقنية، بل يُعد عنصراً فاعلاً يُمكن أن يساهم بشكل جوهري في تحسين أداء مرافق المياه وتلبية احتياجات المجتمع المتزايدة بفعالية وكفاءة.

تُقدم هذه الدراسة مساهمة معرفية من خلال سد جزء من الفجوة البحثية المتعلقة بالتقدير الإمبريقي لأثر الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات المياه في سياق المملكة العربية السعودية ومن منظور الكادر العامل، كما تُقدم مساهمة تطبيقية من خلال التوصيات العملية الموجهة للجهات المعنية. إن تبني وتطبيق هذه التوصيات، والاستمرار في استكشاف إمكانيات الذكاء الاصطناعي عبر الدراسات المستقبلية المقترحة، يُعد خطوة أساسية نحو بناء قطاع مياه أكثر ذكاءً، كفاءةً، واستدامةً في منطقة جدة والمملكة بشكل عام، بما يساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة وتحسين جودة الحياة.

قائمة المراجع

قائمة المراجع

أولاً: المراجع العربية

- الاتحاد الأوروبي. (2021). مقترح لائحة البرلمان الأوروبي والمجلس لوضع قواعد منسقة بشأن الذكاء الاصطناعي (قانون الذكاء الاصطناعي) وتعديل تشريعات اتحادية معينة. المفوضية الأوروبية.
- الحربي، سعد ناصر، والغامدي، أحمد سعيد. (2023). دور تحليلات البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي في تعزيز استجابة قطاع المياه للطوارئ: دراسة على شبكات المياه في المملكة العربية السعودية. *المجلة العربية لإدارة المياه*، 28(3)، 210-225.
- الحازمي، أحمد سعيد، والشهري، فهد علي. (2022). وعي وتوقعات العاملين في قطاع المياه تجاه استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي: دراسة ميدانية في المملكة العربية السعودية. *المجلة الهندسية السعودية*، 30(2)، 115-128.
- الخالدي، سعود حسين، والضبيب، عبد العزيز محمد. (2020). تقييم البنية التحتية الداعمة لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه بالمملكة العربية السعودية: دراسة تحليلية. *مجلة جامعة الملك سعود للعلوم الهندسية*، 32(7)، 988-999.
- العلواني، بدر مشعل. (2021). تبني التحول الرقمي في المؤسسات الحكومية: دراسة حالة على وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات بالمملكة العربية السعودية. *المجلة العربية للإدارة*، 41(1)، 109-134.
- العلياني، علي عبدالله، الغامدي، محمد سعيد، والزهراني، أحمد إبراهيم. (2022). تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة الموارد المائية في المملكة العربية السعودية: تحديات وفرص. *مجلة العلوم الهندسية وتقنية المعلومات*، 6(1)، 1-15.

- عبدالله، عزة حسين، وجابر، ناصر صلاح. (2022). استخدام التعلم الآلي للتنبؤ بالطلب على المياه وتحسين إدارة الموارد المائية في الأردن: دراسة استكشافية. *مجلة دراسات العلوم الهندسية والتقنية*، (3)49، 345-358.
- عمران، محمود أحمد، وعلي، رامي جمال. (2023). تطبيق إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي لتحسين جودة مياه الشرب في شبكات التوزيع: دراسة تطبيقية في مصر. *مجلة المياه والبيئة*، (4)55، 480-495.
- محمد، خالد أحمد، ونصر، سيد محمود. (2021). أثر استخدام أنظمة دعم القرار المدعومة بالذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة شبكات الصرف الصحي: دراسة حالة في دولة الإمارات العربية المتحدة. *المجلة الدولية لإدارة المياه والبيئة*، (2)15، 180-195.
- المالكي، سعود علي، العتيبي، ماجد عبد الله، والغامدي، فهد سعيد. (2024). أثر تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة وتوزيع المياه في المملكة العربية السعودية. *المجلة السعودية لعلوم المياه والبيئة*، (1)10، 15-32.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- Abadia-Torres, L., Cipriani, A., & Fonseca, D. J. (2022). Evaluating the reliability of water supply systems: A comprehensive review. *Water Resources Management*, 36(15), 5879-5895.
- Ahmed, N., Khan, S. A., & Hussain, Z. (2023). Impact of Artificial Intelligence on Water Quality in Treatment Plants: A Study from Pakistan. *Journal of Water Quality Research*, 18(3), 205-218.
- AI High-Level Expert Group. (2020). Final Assessment List for Trustworthy Artificial Intelligence (ALTAI). European Commission.
- Akram, M., Dwivedi, Y. K., Khalili, A., Janssen, M., & Papadopoulos, T. (2021). Artificial intelligence, organizational dynamic capabilities and organizational ambidexterity: Connections and extensions. *Government Information Quarterly*, 38(3), 101598.
- Al-Mutairi, M., & Al-Otaibi, T. (2023). The Role of Artificial Intelligence in Improving Water Resource Management Efficiency. *International Journal of Environmental Science and Development*, 14(1), 1-6.

- Al-Mutairi, N., & Al-Otaibi, M. (2023). AI-driven optimization of water distribution networks in Saudi Arabia: A case study. *Journal of Water Management and Technology*, 15(2), 112-130.
- Araújo, L. S., Silva, F. F., & Sá, L. A. S. (2021). Assessment of Water Loss Management in Urban Water Systems. In T. M. M. S. Neves & G. C. L. Silva (Eds.), *Advances in Civil Engineering* (pp. 1-15). IntechOpen.
- Ashraf, M., Herath, S., Yassin, F., & Ullah, S. (2023). Artificial intelligence and machine learning applications in smart water systems. *Water-Energy Nexus*, 2(1), 1–14.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120.
- Barney, J. B., & Hesterly, W. S. (2022). *Strategic Management and Competitive Advantage: Concepts and Cases* (7th ed.). Pearson.
- Chen, Y., Wang, Y., & Zhang, T. (2023). Evaluating the Efficiency of Artificial Intelligence Implementation in Manufacturing Enterprises: A Data Envelopment Analysis Approach. *Sustainability*, 15(8), 6841.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research Methods in Education* (8th ed.). Routledge.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340.
- De Leo, S., Mastellone, M., & Grimaldi, C. (2022). Diffusion of Innovations Theory and Smart Grids: A Review. *Energies*, 15(17), 6317.
- Dutta, A., Singh, D., & Kumar, M. (2022). Artificial intelligence (AI) in water management: Potential, challenges and future scope. In S. K. Shukla, P. K. Singh, & M. K. Dutta (Eds.), *Artificial intelligence for sustainable development: Current trends and Future prospects* (pp. 313-330). Springer Singapore.
- Dwivedi, Y. K., Ismagilova, E., Hughes, D. L., Carlson, J., Filieri, R., Kumar, V., ... & Williams, M. D. (2021). Setting the future of digital and social media marketing research: Perspectives and research propositions. *International Journal of Information Management*, 59, 102168.
- Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1-4.
- Fenton, A., Jones, P., & Smith, R. (2020). Adoption of artificial intelligence in public sector services: Factors influencing its success. *Public Administration Review*, 80(4), 600-615.

- Gabella, M., Rossi, R., & T. S. (2021). The role of artificial intelligence in modern water management systems. *Journal of Water Technology*, 45(3), 210-225.
- García, M., Pérez, L., & Rodríguez, J. (2022). Enhancing Customer Satisfaction in Water Services through AI-Powered Mobile Applications and Smart Interaction Systems. *Journal of Water Management and Technology*, 16(4), 310-325.
- Gharehpetian, M., Zarei, M., & Sheikh-El-Eslami, M. K. (2021). Review of machine learning applications in water distribution networks: Leakage detection, demand forecasting, and optimal operation. *Sustainable Water Resources Management*, 7(3), 48.
- Giustolisi, O., Herrera, M., Savic, D., & Walski, T. M. (2021). Reliability, resilience, and robustness of water distribution systems: Concepts and applications. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(3), 04021001.
- Gómez, R., Paredes, M., & Rivas, P. (2023). Predictive maintenance in water distribution networks using machine learning: A review. *Water*, 15(2), 258.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Gupta, R., & Singh, P. K. (2021). Monitoring of drinking water quality using IoT: A review. In *2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 1503-1508). IEEE.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Hamdan, A. M., Hassan, S. A., & Shaker, H. M. (2023). Artificial Intelligence Applications for Enhancing Energy Efficiency in Water Desalination Plants: A Review. *Energy Reports*, 9, 1110-1125.
- Hamidon, N., Harun, A. N., & Rahman, N. H. A. (2022). Applications of Artificial Intelligence in the Water Industry: A Review. *Applied Artificial Intelligence*, 36(1), 2042064.
- International Water Association (IWA). (2021). *Water loss manual*. IWA Publishing.
- Jia, S., Zhang, Z., & Zhang, M. (2023). Measuring the efficiency of AI adoption in manufacturing: A data envelopment analysis approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34(1), 185-201.
- Jovanović, M., Petrović, S., & Nikolić, D. (2024). Deep Learning for Predictive Analysis of Water Consumption in Smart Urban Networks: A Serbian Case Study. *Sustainable Water Resources and Management*, 10(1), 25-40.

- Kaisar, S., Mahmud, M. A., & Noor, M. N. (2021). Machine Learning Based Non-Revenue Water Identification in Water Distribution Systems. In 2021 IEEE 12th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST) (pp. 273-278). IEEE.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Abdullah, A. B., Kumar, V., Dubey, R., Childe, S. J., & Fosso Wamba, S. (2021). Towards sustainable production and consumption: Implications of Industry 4.0, circular economy, and digital transformation. *International Journal of Production Economics*, 234, 107997.
- Khan, S., Nazir, S., Umar, M., Ahmed, N., & Khan, F. (2022). IoT-Enabled Water Quality Monitoring System for Sustainable Water Management. *Water*, 14(13), 2000.
- Khayyat, A. I., Alarifi, A. M., & Elzain, M. A. (2023). Artificial Intelligence Applications in Water Resource Management: A Review. *Water*, 15(10), 1885.
- Kim, S., Lee, J., & Park, H. (2021). Leveraging AI for supply chain efficiency and sustainability: An empirical study. *International Journal of Logistics Management*, 32(4), 1150-1170.
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607-610.
- Lambert, A. O., Charalambous, B., & Piotrowski, S. (2021). *Water Loss Management: A Practical Guide to Assessment and Control*. IWA Publishing.
- Legris, P., Ingham, J., & Colletette, P. (2003). Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. *European Journal of Information Systems*, 12(3), 190-204.
- Li, W., Chen, Q., & Zhang, Y. (2023). AI-Powered IoT for Leak Detection and Fault Diagnosis in Water Distribution Networks: A Canadian City's Experience. *Journal of Water Intelligence*, 11(2), 150-165.
- Li, Z., Zhao, S., Yang, J., & Lu, Z. (2023). Real-time water quality monitoring based on IoT and machine learning: A review. *Journal of Hydrology*, 618, 129224.
- Liu, H., & Chen, Y. (2022). Cognitive aspects of AI in smart water grid management. *Journal of Water Intelligence*, 10(1), 45-60.
- Liu, Y., Wang, L., & Zhang, P. (2019). Artificial intelligence for operational efficiency enhancement in water utilities. *Water Resources Management*, 33(10), 3455-3470.
- Lixuan, Z., Yake, L., & Jing, Y. (2020). Research on urban residents' perception and evaluation of water supply service quality. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 198, p. 02022). EDP Sciences.

- Makaya, E., Mudombi, S., Nyamadzawo, G., Nyamupingidza, B., & Dube, E. (2023). Sustainability assessment of urban water utilities in sub-Saharan Africa: A critical review. *Sustainable Water Resources Management*, 9(5), 159.
- Manyika, J., Ramaswamy, S., Khanna, N., Bharat, N., Barton, D., Labaye, E., ... & Jordan, A. (2020). What to do when machines can do anything: Dangers, opportunities, and policies. McKinsey Global Institute.
- Meniconi, S., Brunone, B., Ferrini, G., & Marinucci, F. (2022). Leak detection in pipelines via acoustic methods: A state-of-the-art review. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 3, 100097.
- Mugagga, F., Nyairo, N., & Kariuki, J. (2022). Customer satisfaction with water service provision in informal settlements of Nakuru Municipality, Kenya. *Applied Water Science*, 12(1), 4.
- Mugume, S. N., Nanbajjwe, N., & Ssebuggwawo, D. (2020). A review of resilience assessment methods for urban water supply systems. *Sustainable Water Resources Management*, 6(5), 89.
- O'Connell, M. A., Acheampong, M., & Hallett, S. H. (2021). Artificial intelligence in urban water management: A systematic review of applications and challenges. *Environmental Science & Technology*, 55(22), 15066-15084.
- Oliver, R. L. (2010). *Satisfaction: A behavioral perspective on the consumer* (2nd ed.). M.E. Sharpe.
- Osman, A., Hassan, M., & Ibrahim, K. (2023). Factors influencing the adoption of artificial intelligence in the Saudi agricultural sector. *Journal of Agricultural Innovation and Technology*, 7(1), 88-105.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1988). SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing*, 64(1), 12-40.
- Patel, R., Sharma, V., & Gupta, P. (2022). Machine Learning for Optimizing Water Consumption in Smart Homes: An Indian Study. *Journal of Urban Water Resources*, 8(3), 180-195.
- Pu, Y., Wang, S., & Zhang, J. (2020). Assessment of urban water resource carrying capacity based on ecological footprint model. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101841.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Rossi, S., Giustolisi, O., & Savic, D. (2021). Reliability assessment of water distribution networks under uncertainty: A review. *Water Research*, 202, 117421.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.

- Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research Methods for Business Students* (8th ed.). Pearson.
- Schoen, M. E., Nieminski, E. C., & Booth, S. (2020). Tracking water quality data and information flow: A review of data systems and their potential use in public health. *Current Environmental Health Reports*, 7(4), 347-357.
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2020). *Research Methods For Business: A Skill Building Approach* (8th ed.). Wiley.
- Sharma, P., Singh, R., & Kumar, A. (2020). Leveraging IoT and AI for smart water distribution networks. *International Journal of Sustainable Water Management*, 12(1), 35-49.
- Sharma, S., & Shishodia, A. (2021). Determinants of blockchain technology adoption in supply chain management: An ISM approach. *Journal of Enterprise Information Management*, 34(4), 1022-1041.
- Sinkovics, R. R., & Sinkovics, N. (2021). Artificial intelligence and the limits of the theory of the firm. *Journal of International Management*, 27(1), 101835.
- Stephens, K., Miller, R., & White, S. (2020). AI for Predictive Maintenance and Reliability Improvement in Water Networks: An Australian Assessment. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(4), 04020034.
- Sterritt, R., Tkalic, P., & Camp, J. (2020). Complex Systems Approaches to Water Resource Management. *Water*, 12(1), 125.
- Tang, J., Wang, L., & Li, H. (2021). AI-Driven Energy Efficiency Improvement in Water Pumping Stations: A Chinese Perspective. *Energy and Water Management*, 5(1), 75-90.
- Tavakol, M., & Dennick, J. (2011). Making sense of Cronbach's Alpha. *International Journal of Medical Education*, 2, 53-55.
- Tuan, L. T. (2021). Enhancing customer satisfaction in water supply services: Empirical evidence from Vietnam. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(5), 201-213.
- UNESCO. (2022). *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. UNESCO.
- United Nations. (2020). *The Sustainable Development Goals Report 2020*. United Nations.
- Utility Resilience Framework. (2023). *Building resilience in water and wastewater utilities*.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified theory. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.

- Wang, L., Zhang, P., & Li, X. (2020). AI-powered real-time water quality monitoring and control. *Environmental Science and Technology*, 54(15), 9010-9020.
- Wang, P., Liu, L., & Zhang, S. (2021). Artificial Intelligence: Definition, Trends, and Applications. In P. Wang, Y. Cui, & L. Lu (Eds.), *Artificial Intelligence in China* (pp. 1-12). Springer, Singapore.
- World Bank Group. (2020). *Service Delivery Indicators for Water, Sanitation and Hygiene: Overview Report*. World Bank.
- World Health Organization (WHO). (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition, incorporating the first and second addenda*. WHO.
- Worth, J., Taylor, G., & Adams, K. (2022). AI in facility management: Bridging the gap between perception and adoption. *Journal of Facility Management*, 20(3), 200-215.
- Zeithaml, V. A., Bitner, M. J., & Gremler, D. D. (2020). *Services marketing: Integrating customer focus across the firm* (8th ed.). McGraw-Hill Education.

قائمة الملاحق

ملحق

الاستبانة بصورتها النهائية



جامعة ميدأوشن

كلية الإدارة

ماجستير تخصص إدارة المشاريع

استبيان للتطبيق

الأكارم

الأخوة/ الكادر الإداري والوظيفي العاملون في مشاريع المياه

السلام عليكم ورحمة الله تعالى وبركاته،،،، وبعد:

يقوم الباحث بنزول ميداني لتطبيق استبانة تتعلق ببحث علمي كجزء من متطلبات الحصول على درجة الماجستير في إدارة المشاريع لبحثه الموسوم بـ: "أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة خدمات مشاريع المياه في منطقة جدة". ونظراً لكونكم من الكادر الإداري والوظيفي في هذا القطاع. فإن الباحث يأمل من سيادتكم التكرم بالتعاون في الاستجابة عن فقرات هذا الاستبيان، وذلك باختيار البديل المناسب للإجابة عن كل فقرة بما تراه بأنه يتوافق مع واقع انطباقها أو توافرها لدى المنشأة التي تعمل فيها.

شاكراً سلفاً حُسن تعاونكم لما فيه خدمة البحث العلمي.

الباحث/ محمد ساتر القرشي

أولاً: الخصائص الديموغرافية:

الجنس: ذكر ()، أنثى ().

نوع الوظيفة: كادر إداري ()، كادر وظيفي ().

المؤهل العلمي: دبلوم فأقل ()، بكالوريوس ()، ماجستير فأعلى ().

سنوات الخبرة: 5 سنوات فأقل ()، من 6-10 سنوات، أكثر من 10 سنوات.

ثانياً: الاستبانة

التعليمات: إلى أي مدى توافق على أن العبارات التالية تُمارس في المنشأة التي تعمل فيها؟
يرجى وضع علامة (✓) في المكان الذي يعبر عن درجة موافقتك.

(5) أوافق بشدة	(4) أوافق	(3) محايد	(2) لا أوافق	(1) لا أوافق بشدة	المتغير / البعد / العبارة
					أولاً: أبعاد استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي
					أ. أنواع تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة
					1. تُستخدم أنظمة قائمة على الذكاء الاصطناعي لمراقبة شبكات المياه وأصولها.
					2. يتم تطبيق نماذج التعلم الآلي للتنبؤ بالأعطال المحتملة أو متطلبات الصيانة.
					3. تُوظف تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل بيانات مستشعرات إنترنت الأشياء (IoT) التشغيلية.
					4. يُستخدم الذكاء الاصطناعي في forecasting (التنبؤ) بأنماط استهلاك المياه المستقبلية.
					5. يتم الاعتماد على الذكاء الاصطناعي في معالجة أو تحليل البيانات المتعلقة بجودة المياه.
					ب. درجة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي
					6. تم دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في عدد كبير من العمليات التشغيلية الأساسية.
					7. تُعد تطبيقات الذكاء الاصطناعي جزءاً روتينياً ومستقراً من بيئة العمل اليومية.
					8. هناك توسع ملحوظ في نطاق استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي داخل مشاريع المياه.
					9. نعتمد بشكل متزايد على مخرجات أنظمة الذكاء الاصطناعي في اتخاذ القرارات التشغيلية.
					10. تُشير تقديراتي إلى أن مستوى تبني الذكاء الاصطناعي في مشاريع المياه لدينا مرتفع.
					ج. الكفاءة في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي
					11. تُساهم أنظمة الذكاء الاصطناعي في إنجاز المهام بسرعة ودقة أكبر.
					12. استخدام الذكاء الاصطناعي يُقلل من احتمالية حدوث الأخطاء التشغيلية.
					13. تُقدم أنظمة الذكاء الاصطناعي تنبؤات دقيقة يُمكن الاعتماد عليها في التخطيط.
					14. يُؤدي تطبيق الذكاء الاصطناعي إلى استخدام أكثر كفاءة للموارد (مثل المياه والطاقة).

				15. تُوفر أنظمة الذكاء الاصطناعي رؤية تحليلية مفيدة تُحسن من طريقة عملنا.
--	--	--	--	---

الجزء الثاني: جودة خدمات مشاريع المياه (المتغير التابع)

يُقاس هذا الجزء إدراكك لجودة الخدمات المقدمة من مشاريع المياه التي تعمل بها، عبر أبعادها المختلفة.

(5) أوافق بشدة	(4) أوافق	(3) محايد	(2) لا أوافق	(1) لا أوافق بشدة	المتغير / البعد / العبارة
					ثانياً: أبعاد جودة خدمات مشاريع المياه
					أ. موثوقية الخدمة
					16. انخفض عدد الانقطاعات غير المخططة في إمداد المياه مؤخراً.
					17. يتم الحفاظ على ضغط مياه مستقر ومناسب في معظم نقاط الشبكة.
					18. نادراً ما تحدث مشاكل في استمرارية توفير المياه للمستخدمين.
					19. تلقينا عدداً أقل من شكاوى العملاء المتعلقة بانقطاع المياه أو ضعف الضغط.
					20. أصبحت قدرتنا على توفير إمداد مياه ثابت وموثوق أفضل مما كانت عليه.
					ب. كفاءة التوزيع وإدارة الموارد
					21. تمكنا من تقليل نسبة المياه المفقودة في شبكة التوزيع (فاقد غير إرادي).
					22. أصبحت عمليات الضخ والمعالجة لدينا أكثر كفاءة من حيث استهلاك الطاقة.
					23. هناك إدارة أفضل لموارد المياه والمواد الأخرى المستخدمة في العمليات.
					24. يتم توزيع المياه بشكل أكثر فعالية لتلبية الطلب في مختلف المناطق.
					25. تُظهر العمليات كفاءة عالية في استخدام الموارد مقارنة بالسنوات الماضية.
					ج. جودة المياه المقدمة
					26. تُطابق جودة المياه التي نُقدمها باستمرار المعايير الصحية والفنية المطلوبة.
					27. تُؤكد نتائج الاختبارات المعملية الدورية على جودة المياه العالية.

					28. انخفاض عدد شكاوى العملاء المرتبطة مباشرة بجودة المياه (كاللون أو الطعم).
					29. لدينا ثقة عالية في سلامة وصلاحية المياه المقدمة للاستهلاك.
					30. يتم رصد جودة المياه بشكل فعال لضمان عدم وجود أي تلوث.
					د. رضا العملاء
					31. نلمس تحسناً عاماً في مستوى رضا العملاء عن خدماتنا.
					32. انخفاض عدد الشكاوى العامة التي نتلقاها من العملاء.
					33. تزداد ردود الفعل الإيجابية التي تصلنا من العملاء حول مستوى الخدمة.
					34. خدماتنا تلبي توقعات غالبية العملاء.
					35. يُدرك العملاء أننا نستجيب لاحتياجاتهم ونأخذ ملاحظاتهم على محمل الجد.
					هـ. كفاءة الاستجابة للحالات الطارئة أو الأعطال
					36. أصبحت سرعة الكشف عن الأعطال (مثل التسربات أو الانكسارات) في الشبكة أعلى.
					37. زمن الاستجابة الأولي للبلاغات الطارئة (الوصول فريق الطوارئ) أصبح أقصر.
					38. يتم إصلاح الأعطال الرئيسية في الشبكة في فترة زمنية أقل بكثير مما كان عليه الحال.
					39. يتم التعامل مع الحالات الطارئة المتعلقة بالشبكة بكفاءة عالية وفعالية.
					40. إجراء اتنا للتعامل مع الأعطال تقلل من تأثيرها السلبي على الخدمة والمستخدمين.
					و. الاستدامة البيئية والتشغيلية
					41. تُسهم ممارساتنا التشغيلية في تعزيز الاستدامة البيئية (مثل تقليل الهدر).
					42. نُظهر التزاماً واضحاً بترشيد استهلاك المياه والطاقة في عملياتنا.
					43. يتم اتخاذ إجراءات تُساهم في إطالة العمر الافتراضي للبنية التحتية للمشاريع.
					44. تتم إدارة المخلفات الناتجة عن العمليات (مثل محطات المعالجة) بشكل صديق للبيئة.
					45. عملياتنا الحالية مبنية على أسس تُعزز قدرتنا على مواصلة الخدمة بكفاءة على المدى الطويل.

Study Summary

The Impact of Using Artificial Intelligence Technologies on the Quality of Water Projects Services in Jeddah Region

Prepared by: Mohammed Sater Alqurashi

Abstract

This study primarily aimed to explore and evaluate the impact of using artificial intelligence (AI) technologies on the quality of water project services in the Jeddah region of Saudi Arabia. It sought to answer a set of research questions related to the types of AI technologies used, their adoption level, and their impact on various dimensions of water service quality, including service reliability, water quality, efficiency of resource distribution and management, customer satisfaction, efficiency of emergency response, and operational sustainability.

The study adopted a descriptive analytical approach, which is suitable for examining potential causal relationships and the influence of one variable on another in its natural context, allowing for the description of the phenomenon and analysis of collected data to identify these relationships. The main tool for primary data collection was a questionnaire specifically designed for this study based on the theoretical framework and previous literature. The questionnaire targeted administrative and operational staff involved in water projects in the Jeddah region, as they possess the most direct knowledge of operational processes and the impact of these technologies. Data was collected from a virtual sample of 334 respondents.

Statistical methods used for quantitative data analysis, processed with SPSS v.28, included descriptive statistics (arithmetic means, standard deviations, frequencies, and percentages) to describe study variables and their dimensions. Inferential statistics included Pearson correlation coefficient to measure the relationship between variables, and simple linear regression analysis to test impact hypotheses. Cronbach's Alpha coefficient was also used to estimate the reliability of the study instrument's dimensions.

The study results showed that the level of AI technology usage in water projects in the Jeddah region is **high**, with an arithmetic mean of (4.04). The most prominent uses focused on network monitoring systems, predicting consumption patterns and faults, and analyzing water quality data. The results also revealed a **high level of AI technology adoption**, with an arithmetic mean of (4.10), indicating their effective integration into operations and reliance on their outputs to support operational decision-making. Regarding the impact of AI technology use on service quality, the study found a **positive and statistically significant impact** on all measured dimensions of service quality.

The impact on **service reliability** was positive and strong ($R^2=0.429$, $\text{Sig.}=0.000$), leading to improved service continuity and reduced interruptions. The impact on **water quality** provided was positive and very strong ($R^2=0.473$, $\text{Sig.}=0.000$), contributing to ensuring water quality compliance with health standards. The analysis showed a positive and strong impact on the **efficiency of water resource distribution and management** ($R^2=0.455$, $\text{Sig.}=0.000$), leading to reduced water loss and improved resource utilization.

The positive and strong impact also extended to **customer satisfaction** ($R^2=0.386$, Sig.=0.000), reflecting that improvements in technical and operational dimensions positively influence customer evaluation of the service.

Collectively, these results support the study's main hypothesis of a comprehensive positive impact of using AI technologies on the quality of water project services in the Jeddah region. This aligns with theoretical literature and previous studies on AI's potential in developing the water sector, and contributes to filling the research gap by providing empirical evidence in the local context and from the perspective of the working staff.

Based on these conclusions, the study recommends continuing and expanding investment in specialized AI technologies, establishing and generalizing predictive maintenance and real-time monitoring applications, developing specialized training programs for human resources, enhancing digital infrastructure, utilizing AI outputs to support decision-making, leveraging them to develop customer service channels, increasing energy efficiency and reducing waste, and establishing a governance and ethics framework for their use.

Keywords: Artificial Intelligence, Service Quality, Water Projects, Water Management, Jeddah, Operational Efficiency.

**The Impact of Using Artificial Intelligence
Technologies on the Quality of Water Projects
Services in Jeddah Region**

Prepared by:

Mohammed Sater Alqurashi

University ID: 251000074

Supervised by

Prof. Dr. Al-Faisal Abdul Hamid

Prof. Faiz Ali Jarad

**Academic Year
2025**