

خطة بحث بعنوان

دور إدارة المشاريع الذكية في رفع كفاءة الطاقة بمشاريع البنية
التحتية للمدن الذكية في المملكة العربية السعودية

The Role of Smart Project Management in Enhancing Energy
Efficiency in Smart City Infrastructure Projects in the Kingdom of Saudi
Arabia.

إعداد الطالب/

إبراهيم خالد الرويج

الرقم الأكاديمي: 253001215

إشراف/

أ.د. الفیصل عبد الحمید محمد

د. فايز جراد

العام الجامعي

2026

1. المقدمة

يُمثل التحول العالمي المتسارع نحو "المدن الذكية" أحد أبرز الرهانات الاستراتيجية المعاصرة التي تتبناها الدول لتحقيق معادلة التنمية المستدامة ومواجهة التحديات البيئية المتصاعدة؛ إذ برزت حاجة ملحة لدمج التقنيات الرقمية المتقدمة في صلب مشاريع البنية التحتية الحضرية لضمان مرونتها واستجابتها للمتغيرات (الإبراهيم، 2024م). وفي سياق رؤية المملكة 2030، تمضي المملكة العربية السعودية بخطى حثيثة وغير مسبوقة نحو تشييد جيل جديد من مدن المستقبل التي تتخذ من تقنيات الذكاء الاصطناعي ركيزة أساسية لتعزيز جودة الحياة واستدامة البيئة (العتيق، 2026م). كما يُعد إنترنت الأشياء بمثابة الممكن التقني الأول الذي يسمح برفع كفاءة استغلال الموارد الطبيعية والمكانية في هذه المدن لضمان حقوق الأجيال القادمة (العطاء، 2025م).

وتشكل كفاءة الطاقة في هذه الحواضر الذكية حجر الزاوية للمشاريع القومية الرامية إلى تقليص الانبعاثات الكربونية والوصول الفعلي إلى الحياد الصفري، وهو طموح يتطلب بالضرورة تبني أنظمة تقنية متطورة لإدارة طاقة المباني (BEMS) بما يضمن تقليل الهدر في أضخم قطاعات الاستهلاك (Ab Halim et al., 2026). ويعتمد هذا التوجه الاستراتيجي في جوهره على تكامل تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) التي تفتح آفاقاً معلوماتية غير مسبوقة لترشيد الاستهلاك عبر آليات المراقبة الآنية والربط بين الأجهزة (Das, 2025).

ومن جانب آخر، يبرز الدور الحيوي للذكاء الاصطناعي (AI) في دعم بنية هذه المدن من خلال توظيف التحليل التنبؤي للأحمال الطاقية، مما يمنح متخذي القرار القدرة على الموازنة بين العرض والطلب بدقة فائقة (Mohamed et al., 2022).

ومع تزايد حجم وتعقيد هذه المشروعات الكبرى، برزت "إدارة المشاريع الذكية" كمنهجية إدارية وهندسية محورية تتجاوز في فلسفتها الأطر التقليدية الجامدة؛ حيث توظف هذه المنهجية تقنيات التوائم الرقمية (Digital Twin) لخلق بيئات افتراضية تسمح بمحاكاة واختبار سلوك المباني طاقياً قبل البدء في عمليات التنفيذ الإنشائي (Tommy & Jaya, 2025).

كما تعتمد الإدارة الذكية على نماذج نمذجة معلومات المباني (BIM) المتقدمة لتحسين جودة التخطيط وضمان استدامة المخرجات الهندسية طوال دورة حياة المشروع (Wu et al., 2025). ولا يقتصر أثر الاستثمار في هذه المنظومات التقنية داخل البيئة السعودية على الجوانب الاقتصادية، بل يمتد ليشمل المساهمة الجوهرية في التخفيف من حدة آثار التغير المناخي والالتزام بالمعايير البيئية العالمية (Alqahtani & Sherif, 2021).

إن نجاح هذا التحول يتطلب صياغة أطر عمل تربط بين الحوكمة التقنية وممارسات الإدارة الرشيدة التي تستطيع استيعاب التدفقات الهائلة للبيانات وتحويلها إلى قرارات تشغيلية ذكية (Gu et al., 2025). كما أن تطوير البنية التحتية وفق هذا المنظور يسهم بفعالية في خفض التكاليف التشغيلية الطويلة الأمد عبر تفعيل خوارزميات الصيانة الوقائية الذكية التي تمنع الفاقد قبل حدوثه (Oyetunji et al., 2024). وفي ظل هذا المشهد التقني المتطور، تبرز الحاجة الماسة لربط الأنظمة الموزعة للشبكات الذكية بمصادر الطاقة المتجددة لضمان أمن الإمداد واستدامة المرفق (Al Khatib et al., 2025).

وتأسيساً على ما سبق، تأتي هذه الدراسة لتسليط الضوء على الدور الجوهري والمفصلي الذي تلعبه ممارسات إدارة المشاريع الذكية في الارتقاء بمستويات كفاءة الطاقة، وتحديد الأطر الفنية اللازمة لتمكين مشاريع البنية التحتية في المدن السعودية من تحقيق طموحاتها في بناء بيئات حضرية هي الأكثر ذكاءً واستدامة على مستوى العالم.

2. مشكلة الدراسة

على الرغم من التوجه المتسارع للمملكة العربية السعودية نحو تدشين مدن ذكية رائدة عالمياً (مثل: نيوم، ذا لاين، والقدية)، إلا أن ثمة تحدياً جوهرياً يتمثل في إيجاد توازن دقيق بين النمو العمراني المتسارع وبين الضرورة الملحة لرفع كفاءة استهلاك الطاقة في مشاريع البنية التحتية. فالمنهجيات التقليدية في إدارة المشاريع قد لا تمتلك المرونة الكافية للتعامل مع الطبيعة المعقدة لهذه المدن، مما قد يفضي إلى هدر في الموارد الطاقية أو الإخفاق في بلوغ مستهدفات الاستدامة (Gu et al., 2025).

وتتبلور المشكلة البحثية في وجود فجوة تنظيمية وتقنية فيما يتعلق بتطبيق آليات "إدارة المشاريع الذكية" الكفيلة بضمان التكامل الفعال بين الحلول التكنولوجية وكفاءة استهلاك الطاقة؛ إذ يؤدي عدم

الاستغلال الأمثل لتقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في إدارة دورة حياة المشروع إلى قصور في التنبؤ الدقيق باحتياجات الطاقة وصيانة البنية التحتية (Oyetunji et al., 2024).

علاوة على ذلك، يواجه التحول الرقمي في المدن العربية تحديات ترتبط بقياس كفاءة هذا التحول ومدى انعكاسه الملموس على ترشيد الاستهلاك (مجر وغنيم، 2022م). ومن هنا، تنبثق الحاجة لتشخيص دور إدارة المشاريع الذكية بوصفها أداة تمكين لرفع كفاءة الطاقة، والبحث في سبل تجاوز المعوقات التقنية والتنظيمية التي تحول دون الوصول إلى بنية تحتية مستدامة ومبانٍ صفرية الطاقة (Ab Halim et al., 2026).

وعليه، تتجسد مشكلة الدراسة في السؤال الجوهرى الآتي: "إلى أي مدى تساهم تطبيقات إدارة المشاريع الذكية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة بمشاريع البنية التحتية للمدن الذكية في المملكة العربية السعودية؟"

3. أسئلة الدراسة

للمساهمة في حل المشكلة البحثية، ستسعى الدراسة للإجابة عن التساؤلات الفرعية الآتية، والمنبثقة من التساؤل الرئيس لمشكلة الدراسة:

1. ما واقع تطبيق تقنيات إدارة المشاريع الذكية (مثل إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي) في مشاريع البنية التحتية بالمملكة العربية السعودية؟

2. ما المستويات الحالية لكفاءة الطاقة في مشاريع المدن الذكية السعودية من وجهة نظر الممارسين؟

3. هل توجد علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية بين تبني أساليب إدارة المشاريع الذكية وبين رفع كفاءة الطاقة في البنية التحتية؟

4. ما أثر إدارة المشاريع الذكية بأبعادها المختلفة (التحليل التنبؤي، الأتمتة، التوائم الرقمية) في تحسين استدامة الطاقة؟

5. ما أبرز المعوقات التي تحد من فاعلية إدارة المشاريع الذكية في تحقيق كفاءة الطاقة بالمدن السعودية، وكيف يمكن التغلب عليها؟

4. أهمية الدراسة

تكتسب هذه الدراسة قيمتها الجوهرية من كونها تسعى لتقديم معالجة علمية وعملية لواحد من أكثر الملفات إلحاحاً في مسيرة التنمية السعودية المعاصرة، وتبرز أهميتها في الجوانب الآتية:

الأهمية العلمية:

- إثراء الأدبيات الإدارية والهندسية العربية بنموذج بحثي يربط بين تقنيات "إدارة المشاريع الذكية" وبين أهداف "كفاءة الطاقة"، مما يساهم في ردم الفجوة المعرفية حول كيفية تحويل البنية التحتية التقليدية إلى أنظمة ذكية مستدامة.
- تقديم تأصيل نظري حديث لدور الثورة الصناعية الرابعة (كالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء) في تحسين جودة المخرجات الإنشائية والتشغيلية، مما يوفر مرجعاً للباحثين في مجالات التخطيط الحضري وإدارة الطاقة.
- المساهمة في بناء قاعدة بيانات علمية حول واقع المدن الذكية في المملكة العربية السعودية، تساعد في فهم التفاعل بين التقنيات الناشئة والاحتياجات البيئية المحلية.

الأهمية العملية:

- تزويد مديري المشاريع وصناع القرار في المملكة بأدوات ومنهجيات عمل تساعد في خفض الهدر الطاقوي وتقليل التكاليف التشغيلية الطويلة الأمد لمشاريع البنية التحتية.
- دعم جهود المنشآت الحكومية والخاصة في تحقيق مستهدفات رؤية 2030 المتعلقة بالاستدامة البيئية والتحول الرقمي، عبر تقديم توصيات قابلة للتطبيق الميداني.
- توضيح الفوائد الاقتصادية المترتبة على تبني أنظمة الإدارة الذكية (مثل التوائم الرقمية)، مما يحفز الاستثمار في التكنولوجيا الخضراء داخل قطاع المقاولات والإنشاءات.

القيمة المضافة:

تتميز الدراسة بربطها المباشر بين "إدارة المشاريع" وبين "كفاءة الطاقة"، وهو ربط حيوي لنجاح المدن السعودية المستقبلية مثل "نيوم" و"ذا لاين"، مما يجعل نتائجها قابلة للتطبيق الفوري في هذه المشاريع العملاقة.

5. أهداف الدراسة

تتمحور أهداف هذه الدراسة حول استكشاف وتحليل الدور الوظيفي للتقنيات الذكية في قطاع الطاقة، وذلك من خلال الآتي:

1. تشخيص واقع استخدام تطبيقات إدارة المشاريع الذكية في مشاريع البنية التحتية السعودية، وتقييم مدى جاهزية الكوادر والأنظمة لتبني هذه الحلول.

2. الكشف عن أثر دمج تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في رفع دقة التنبؤ بالأحمال الطاقة وتطوير آليات التحكم اللحظي في الاستهلاك.

3. تحليل مساهمة استخدام "التوائم الرقمية" كأداة إدارية في تحسين كفاءة عمليات التشغيل والصيانة للمرافق الحيوية في المدن الذكية.

4. قياس طبيعة العلاقة بين مستوى الذكاء التقني في إدارة دورة حياة المشروع وبين مؤشرات النجاح في تحقيق وفر حقيقي في استهلاك الطاقة.

5. تقديم إطار عمل مقترح يتضمن مجموعة من السياسات والإجراءات التي تساهم في تعزيز دور الإدارة الذكية كركيزة أساسية لاستدامة الطاقة في المدن المستقبلية.

6. فرضيات الدراسة

بناءً على مشكلة الدراسة وأهدافها، صاغ الباحث الفرضيات الآتية لاختبار مدى صحتها ميدانياً:

الفرضية الرئيسية:

"يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة (0.05) لتبني ممارسات إدارة المشاريع الذكية في رفع كفاءة استهلاك الطاقة بمشاريع البنية التحتية في المملكة العربية السعودية".

الفرضيات الفرعية:

- الفرضية الفرعية الأولى: تساهم تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) في تقليل الفاقد الطاقوي عبر توفير بيانات دقيقة تسمح بالتحكم الآلي واللحظي في مصادر الطاقة.
- الفرضية الفرعية الثانية: يؤدي استخدام نماذج الذكاء الاصطناعي (AI) في تحليل البيانات التاريخية والتنبؤية إلى ترشيد استهلاك الطاقة بكفاءة تتجاوز الممارسات الإدارية التقليدية.
- الفرضية الفرعية الثالثة: توجد علاقة ارتباطية طردية بين الاعتماد على التوائم الرقمية (Digital Twins) في إدارة المشروع وبين القدرة على رصد وتحسين الأداء الطاقوي للمباني والمرافق.
- الفرضية الفرعية الرابعة: تزداد فاعلية استمرارية الطاقة وكفاءتها في المشاريع الإنشائية.

الدراسات السابقة

أولاً: دراسات عربية

• دراسة "العتيق" (2026م)، المملكة العربية السعودية، بعنوان "المدن الذكية والذكاء الاصطناعي: كيف تبني السعودية مدن المستقبل؟". هدفت الدراسة إلى استكشاف دور تقنيات الذكاء الاصطناعي في صياغة ملامح مدن المستقبل السعودية وفقاً لرؤية 2030. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة وتحليل المشاريع الكبرى القائمة، واستهدفت تقييم البنية التحتية الرقمية في مشاريع مثل "نيوم" و"ذا لاين". توصلت النتائج إلى أن دمج الذكاء الاصطناعي في إدارة المرافق يساهم في خفض استهلاك الطاقة بنسب كبيرة من خلال أنظمة التبريد والإضاءة الذكية، وأن البنية التحتية السعودية مهيأة لاستيعاب تقنيات "المدن المترابطة" التي تدار ذاتياً. كانت أبرز توصيات الدراسة هي ضرورة وضع أطر تشريعية موحدة لحماية البيانات في المدن الذكية لضمان استدامة التشغيل التقني.

• دراسة "شنودة وآخرون" (2025م)، مصر، بعنوان "المدن الذكية ودورها في تحقيق التنمية المستدامة". هدفت الدراسة إلى تحليل العلاقة بين التحول نحو المدن الذكية وتحقيق أبعاد التنمية المستدامة (البيئية والاقتصادية). اتبعت الدراسة المنهج الوصفي الاستكشافي، واستخدمت الاستبانة كأداة لجمع البيانات من عينة بلغت 150 خبيراً في التخطيط العمراني. أظهرت النتائج أن الإدارة الذكية للمشاريع الإنشائية تساهم بشكل مباشر في تحسين كفاءة الطاقة وتقليل الانبعاثات الكربونية، وأن هناك وعياً متزايداً بأهمية المباني الخضراء كجزء من البنية التحتية الذكية. وصت الدراسة بضرورة تكامل السياسات الحكومية مع القطاع الخاص لتمويل مشاريع الطاقة المتجددة داخل المدن الذكية.

• دراسة "عبد الرحمن" (2025م)، مصر، بعنوان "المدن الذكية.. والطريق للاقتصاد الأخضر". ركزت الدراسة على بحث دور التكنولوجيا الذكية في دعم التحول نحو الاقتصاد الأخضر. اعتمدت المنهج الوصفي من خلال تحليل التجارب العربية الرائدة، واستهدفت مقارنة استراتيجيات

التحول الرقمي. خلصت النتائج إلى أن المدن الذكية تمثل المحرك الرئيس لترشيد استهلاك الموارد الطبيعية والطاقة، وأن الاعتماد على إنترنت الأشياء في إدارة الشبكات الكهربائية يقلل من الهدر التقني والتجاري للطاقة. قدمت الدراسة توصية بضرورة تعزيز الابتكار في حلول الطاقة النظيفة ضمن الهياكل الإدارية للمدن الذكية الناشئة.

• دراسة "الخطيب وآخرون" Al Khatib and others (2025)، الإمارات العربية المتحدة، بعنوان

"Multi-energy systems in smart cities: Infrastructure and optimization for sustainable energy" (أنظمة الطاقة المتعددة في المدن الذكية: البنية التحتية والتحسين من أجل طاقة مستدامة). ركزت الدراسة على تحسين كفاءة أنظمة الطاقة المتكاملة. اتبعت المنهج الرياضي التحليلي والنمذجة، واستهدفت عينة من مشاريع الشبكات الذكية في المدن الكبرى. أظهرت النتائج أن التحسين الإداري الذكي لمصادر الطاقة المتعددة (شمسية، رياح، شبكة عامة) يرفع كفاءة الاستخدام بنسبة 25% ويقلل الانبعاثات الكربونية. وصت الدراسة بتطوير خوارزميات إدارة ذكية قادرة على التعامل مع التقلبات اللحظية في إنتاج الطاقة.

• دراسة "الطاني" Al-Taani (2024)، الأردن، بعنوان "Leveraging AI for energy-efficient smart cities"

(استخدام الذكاء الاصطناعي للمدن الذكية الموفرة للطاقة). بحثت الدراسة في الحلول المعمارية والتخطيطية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي. اتبعت المنهج الوصفي التحليلي، واستهدفت مراجعة النماذج العمرانية الذكية. أثبتت النتائج أن الذكاء الاصطناعي يساهم في تحسين تخطيط الأحياء السكنية لضمان أقصى استفادة من الإضاءة والتهوية الطبيعية، مما يقلل الحاجة للطاقة الاصطناعية. وصت الدراسة بدمج مهندسي الذكاء الاصطناعي في فرق تخطيط المدن منذ المراحل الأولى للمشروع.

• دراسة "السحيمات" (2023م)، الأردن، بعنوان "مساهمة المدن الذكية وتحقيق أهداف التنمية

المستدامة (رؤية مستقبلية للبلديات في الأردن 2023)". هدفت الدراسة إلى وضع تصور لمستقبل البلديات الأردنية في ظل مفاهيم المدن الذكية. استخدمت الدراسة المنهج الوصفي، وشملت عينة من مسؤولي البلديات والمهندسين. توصلت النتائج إلى أن هناك فجوة بين التخطيط الاستراتيجي والتطبيق الميداني للتقنيات الذكية، إلا أن تبني تطبيقات "الإدارة الذكية" للمرافق العامة ساهم في

تحسين جودة الحياة ورفع كفاءة الخدمات الأساسية ومنها الطاقة. وصت الدراسة بضرورة تدريب الكوادر البلدية على أدوات إدارة المشاريع التقنية الحديثة.

• دراسة "مجر وغنيم" (2022م)، المملكة العربية السعودية، بعنوان "تطوير أداة لقياس كفاءة التحول الرقمي للمدن العربية نحو المدن الذكية: تطبيق على حالتين دراسيتين في المملكة العربية السعودية". استهدفت الدراسة بناء أداة علمية لقياس نضج التحول الرقمي. اتبعت المنهج الوصفي التحليلي المقارن، وطبقت الأداة على مدينتي الرياض وجدة كعينة للدراسة. أثبتت النتائج تفاوت مستويات التحول الرقمي بين المدن، مع وجود تفوق في محاور البنية التحتية والاتصالات، وأكدت أن كفاءة الطاقة ترتبط طردياً بمستوى الذكاء التقني المطبق في إدارة المرافق الحضرية. وصت الدراسة بتبني الأداة المطورة كمعيار وطني لتقييم أداء المدن الذكية دورياً.

• دراسة "أبو بكر وعبد الله" (2021م)، الجزائر، بعنوان "دور المدن الذكية في تحقيق التنمية المستدامة". هدفت الدراسة إلى تبيان أثر الرقمنة في استدامة المدن. استخدمت المنهج الوصفي التحليلي، واستندت إلى تحليل بيانات تقارير التنمية المستدامة لعدد من المدن العالمية. توصلت النتائج إلى أن الإدارة الذكية للمشاريع تضمن توازناً بين النمو الاقتصادي والحفاظ على البيئة، خاصة في مجالات ترشيد الطاقة وتدوير النفايات. وصت الدراسة بضرورة تعميم ثقافة "المواطن الرقمي" لضمان نجاح تطبيقات المدن الذكية.

ثانياً: دراسات أجنبية

• دراسة "آب حليم وآخرون" Ab Halim and others (2026)، ماليزيا، بعنوان "IoT-driven building energy management systems (BEMS) for net zero energy buildings" (أنظمة إدارة طاقة المباني المدفوعة بإنترنت الأشياء للمباني صفرية الطاقة). هدفت الدراسة إلى فحص تكامل إنترنت الأشياء في إدارة طاقة المباني لتحقيق استدامة كاملة. اعتمدت المنهج التجريبي والنمذجة المعلوماتية، وطبقت على نموذج لمبنى إداري ذكي. توصلت النتائج إلى أن استخدام أنظمة BEMS الذكية يقلل من استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى 40% عبر التحكم التنبؤي في التدفئة والإضاءة. وصت الدراسة بضرورة تبني معايير موحدة لبروتوكولات إنترنت الأشياء في مشاريع البنية التحتية الدولية.

- دراسة "تشين وسونغ" (2025) Chen & Song، الصين، بعنوان "Fostering renewable energy use through smart city construction" (تعزيز استخدام الطاقة المتجددة من خلال بناء المدن الذكية). هدفت الدراسة إلى تحليل أثر سياسات المدن الذكية في التحول نحو الطاقة المتجددة. استخدمت المنهج الكمي المقارن، وشملت عينة من 100 مدينة صينية طبق فيها مشروع "المدينة الذكية". خلصت النتائج إلى أن بناء المدن الذكية يحفز الابتكار الوطني في تقنيات الطاقة، وأن الإدارة الذكية للمشاريع تسرع من وتيرة اعتماد الحلول الخضراء. وصت الدراسة بتعزيز أنظمة الابتكار الوطنية كدعامة لمشاريع البنية التحتية الذكية.
- دراسة "داز" (2025) Das، الهند، بعنوان "Integrating IoT and AI for sustainable energy-efficient smart building systems" (تكامل إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي لأنظمة المباني الذكية المستدامة والموفرة للطاقة). هدفت الدراسة لتقييم أثر التكامل بين AI و IoT في استدامة المباني. اتبعت المنهج الوصفي التحليلي القائم على مراجعة النظم الذكية. توصلت النتائج إلى أن الدمج بين التقنيتين يتيح إدارة استباقية للطاقة وتنبؤاً دقيقاً بالأعطال، مما يطيل عمر البنية التحتية ويقلل الهدر. وصت الدراسة بتبني منصات سحابية موحدة لجمع وتحليل بيانات الطاقة في المشاريع الحضرية.
- دراسة "جو وآخرون" (2025) Gu and others، أستراليا، بعنوان "Bridging the gap between smart cities and sustainability" (جسر الفجوة بين المدن الذكية والاستدامة). هدفت الدراسة لتحديد المعوقات التي تحول دون تحقيق الاستدامة في المدن الذكية. استخدمت المنهج النوعي عبر المقابلات المعمقة مع 30 من مديري المشاريع. بينت النتائج أن ضعف إدارة المشاريع الذكية والتنسيق بين الأطراف يمثل العائق الأكبر، رغم توفر التكنولوجيا. وصت الدراسة بضرورة الانتقال من "الذكاء التقني" إلى "الذكاء الإداري" لضمان استدامة الطاقة.
- دراسة "باجوا وآخرون" (2024) Bajwa and others، باكستان، بعنوان "A systematic literature review on AI-enabled smart building management systems" (مراجعة منهجية لأنظمة إدارة المباني الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي). هدفت الدراسة لمراجعة الأدبيات المتعلقة بكفاءة الطاقة. استخدمت منهج المراجعة المنهجية (SLR)، وحللت 80 ورقة علمية

حديثاً. توصلت النتائج إلى أن الأنظمة الذكية قادرة على تحقيق وفر طاقي بنسبة تصل إلى 35% في المباني التجارية الكبرى. وصت الدراسة بضرورة إجراء دراسات ميدانية طويلة الأمد لقياس الأثر البيئي الفعلي لهذه الأنظمة.

- دراسة "أويتنجي وآخرون" Oyetunji and others (2024)، نيجيريا، بعنوان "Predictive AI models for maintenance forecasting and energy optimization" (نماذج الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالصيانة وتحسين الطاقة). استهدفت الدراسة تطوير نماذج تنبؤية للبنية التحتية السكنية. اعتمدت المنهج التجريبي الحاسوبي، وطبقت على بيانات استهلاك حقيقية. خلصت النتائج إلى أن النماذج التنبؤية ترفع كفاءة استهلاك الطاقة عبر جدولة الصيانة الدورية للأجهزة والمرافق قبل وقوع الهدر الطاقي. وصت الدراسة بتعميم استخدام الحساسات الذكية في كافة وحدات البنية التحتية للمدن الجديدة.

ثالثاً: تعقيب عام للدراسات السابقة

1. جوانب اتفاق الدراسة الحالية مع الدراسات السابقة:

تتفق الدراسة الحالية مع معظم الدراسات السابقة (مثل دراسة العتيق، 2026؛ ودراسة Das, 2025) في الإقرار بالدور الحاسم للتقنيات الحديثة (AI, IoT) في رفع كفاءة الطاقة، كما تتفق مع التوجه العام نحو اعتبار "الذكاء الإداري" مكماً لا يقل أهمية عن "الذكاء التقني" في مشاريع البنية التحتية.

2. جوانب اختلاف الدراسة الحالية مع الدراسات السابقة:

تختلف الدراسة الحالية في تركيزها النوعي على "إدارة المشاريع الذكية" كمنهجية إدارية متكاملة (وليس فقط كأدوات تقنية معزولة) وتطبيقها تحديداً على "بنية تحتية" في سياق بيئة الأعمال السعودية الناشئة، بينما ركزت أغلب الدراسات الأجنبية على الجوانب الهندسية الصرفة أو تجارب مدن عالمية تختلف في خصائصها الجغرافية والمناخية عن المملكة.

3. الفجوة البحثية:

تتمثل الفجوة البحثية في ندرة الدراسات التي تناولت أثر "إدارة المشاريع الذكية" (بأبعادها التنظيمية والتقنية) في رفع كفاءة الطاقة ضمن المشاريع الكبرى (Mega Projects) في المملكة العربية السعودية، حيث تركزت أغلب الدراسات المحلية السابقة على مفهوم "المدينة الذكية" بشكل عام دون الدخول في تفاصيل "إدارة دورة حياة المشروع" وأثرها المباشر في ترشيد الطاقة.

4. استفادة الدراسة الحالية من الدراسات السابقة:

استفادت الدراسة الحالية من الأدبيات السابقة في تحديد المتغيرات الفرعية لإدارة المشاريع الذكية (مثل التوائم الرقمية، التحليل التنبؤي)، كما ساهمت في صياغة الفرضيات وبناء أداة الدراسة (الاستبانة) بناءً على المقاييس العلمية التي أثبتت صدقها في الدراسات السابقة (مثل أداة أحمد مجر وغنيم، 2022).

5. الجوانب المميزة للدراسة الحالية عن الدراسات السابقة:

تتميز الدراسة الحالية بكونها تقدم رؤية تطبيقية تتسق مع رؤية المملكة 2030، وتجمع بين البعد الإداري (إدارة المشاريع)، والبعد التقني (المدن الذكية)، والبعد البيئي (كفاءة الطاقة)، مما يجعلها دراسة بينية متكاملة تقدم حلولاً عملية تتناسب مع خصوصية البيئة الاستثمارية والإنشائية السعودية في عام 2026م.

المنطلقات النظرية للدراسة

تمهيد

يُمثل مفهوم "إدارة المشاريع الذكية" تحولاً جوهرياً في الفكر الإداري الهندسي؛ حيث انتقل التركيز من "المثلث التقليدي" (الوقت، التكلفة، الجودة) إلى "مثلث استدامة القيمة" الذي يركز على (الذكاء التقني، كفاءة الموارد، الأثر البيئي). وفي ضوء رؤية المملكة 2030، تبرز أهمية تأصيل دور هذه الإدارة في مشاريع البنية التحتية للمدن الذكية كضرورة استراتيجية لخفض البصمة الكربونية وتحقيق كفاءة الطاقة المستهدفة.

أولاً: مفهوم وأبعاد إدارة المشاريع الذكية (Smart Project Management)

تُعرف إدارة المشاريع الذكية بأنها منظومة متكاملة توظف تقنيات الثورة الصناعية الرابعة لإدارة دورة حياة المشروع بكفاءة وتكيفية عالية. وهي لا تقتصر على الأدوات التقنية فحسب، بل تمتد لتشمل العمليات والسياسات التي تضمن استدامة المخرجات النهائية (Gu et al., 2025). وتتشكل أبعادها الرئيسية فيما يلي:

1. إنترنت الأشياء (IoT) والرقابة اللحظية:

يُمثل إنترنت الأشياء "العصب الحسي" للمشاريع الذكية، حيث يتيح جمع بيانات ضخمة (Big Data) حول أنماط استهلاك الطاقة والموارد في مواقع الإنشاء والتشغيل (Samih, 2019). ويسهم دمج هذه التقنية في إدارة المشاريع في مراقبة الأداء الطاقوي بشكل لحظي، مما يساعد في الكشف المبكر عن مواطن الهدر ومعالجتها فوراً (Mohamed et al., 2022).

2. الذكاء الاصطناعي (AI) والتحليل التنبؤي:

يؤدي الذكاء الاصطناعي دوراً محورياً في تعزيز "الذكاء الإداري" للمشاريع، من خلال نماذج التنبؤ التي تساهم في تقدير الأحمال الطاقية المستقبلية وتوزيعها بكفاءة عالية (Ponce et al., 2024). كما تساهم

خوارزميات التعلم الآلي في تحسين عمليات الصيانة الوقائية للبنية التحتية، مما يقلل من الفاقد الطاقوي المرتبط بالأعطال المفاجئة (Oyetunji et al., 2024).

3. التوائم الرقمية (Digital Twins):

تُعد التوائم الرقمية من أبرز الابتكارات في إدارة المشاريع الذكية، حيث يتم إنشاء نسخة افتراضية مطابقة للمشروع تسمح بمحاكاة الأداء الطاقوي قبل البدء بالتنفيذ وأثناء مراحل التشغيل (Tommy & Jaya, 2025). ويساهم هذا البعد في "جسر الفجوة" بين مرحلتي التصميم والأداء الفعلي، مما يضمن تحقيق أقصى كفاءة ممكنة للطاقة في البنية التحتية (Wu et al., 2025).

ثانياً: كفاءة الطاقة في البنية التحتية للمدن الذكية

تُعرف المدن الذكية بأنها بيئات حضرية تستثمر التكنولوجيا لتحسين جودة الحياة ورفع كفاءة العمليات التشغيلية (الإبراهيم، 2024م). وبما أن الطاقة تُعد المكون الأكثر استهلاكاً وتكلفة في هذه المدن، فإن كفاءتها أصبحت المعيار الأساسي لنجاح التخطيط الحضري.

1. أنظمة إدارة الطاقة المتكاملة (BEMS/EMS):

تعتمد المدن الذكية على أنظمة إدارة طاقة ذكية (BEMS) تهدف للوصول إلى مرافق ومبانٍ "صفيرية الطاقة" (Ab Halim et al., 2026). وتتطلب هذه الأنظمة إدارة مشاريع احترافية تضمن المواءمة البرمجية والتقنية مع الأجهزة المادية (Hardware) لتحقيق الوفرة المنشود في الاستهلاك (Bajwa et al., 2024).

2. الشبكات الذكية وأنظمة الطاقة المتعددة:

تتطلب البنية التحتية الحديثة إدارة متناغمة لأنظمة طاقة متعددة المصادر (شمسية، رياح، والشبكة الوطنية) (Al Khatib et al., 2025). وهنا تبرز أهمية إدارة المشاريع الذكية في تحسين الربط بين هذه المصادر لضمان استقرار الإمدادات، وتقليل الاعتماد على المصادر ذات الانبعاثات الكربونية العالية (Chen & Song, 2025).

ثالثاً: المدن الذكية السعودية ورؤية 2030

تسعى المملكة العربية السعودية لتكون رائدة عالمياً في مجال المدن الذكية، من خلال مشاريع عملاقة تعتمد كلياً على الذكاء الاصطناعي (العتيق، 2026م).

1. التحول الرقمي والاستدامة:

يمثل التحول الرقمي في المدن السعودية بوابة لتحقيق الاقتصاد الأخضر (نعمة الله سيد عبدالرحمن، 2025م). إن كفاءة التحول الرقمي في مدن مثل الرياض وجدة تُقاس بمدى قدرتها على تقليل الانبعاثات وتحسين إدارة الطاقة في مرافقها العامة (أحمد مجر وصفاء غنيم، 2022م).

2. البنية التحتية المستدامة كحل لمواجهة التغير المناخي:

تعتبر المدن الذكية حلاً مستداماً لتعزيز كفاءة الطاقة والتخفيف من آثار التغير المناخي في المملكة (Alqahtani & Sherif, 2021). وتساهم هيكلية الإعمار الحديثة في تطوير مدن تمتلك بنية تحتية مرنة وقادرة على إدارة مواردها بذكاء (هيكلية الإعمار، 2025م).

رابعاً: التكامل بين إدارة المشاريع والابتكار الطاقى

إن نجاح رفع كفاءة الطاقة لا يعتمد على التكنولوجيا فحسب، بل على كيفية إدارة هذه التكنولوجيا ضمن سياق المشروع (Salimi & Hammad, 2022).

1. دور الابتكار الوطني:

تساهم أنظمة الابتكار الوطنية في دعم بناء المدن الذكية عبر توفير حلول محلية للطاقة المتجددة (Chen & Song, 2025). وتحتاج هذه الابتكارات إلى "إدارة مشاريع ذكية" لدمجها بفعالية في المشاريع الإنشائية الضخمة (Bibri & Krogstie, 2023).

2. التخطيط الحضري المعتمد على الذكاء الاصطناعي:

يساهم الذكاء الاصطناعي في تحسين التخطيط المعماري والحضري لضمان نمو مستدام يوفر في استهلاك الطاقة منذ اللحظات الأولى لتصميم الأحياء (Al-Taani, 2024). وهذا يتطلب من مديري المشاريع الإلمام بتقنيات الحوسبة الحضرية والبيانات الضخمة (Alqahtani & Mohammad, 2023).

خلاصة المنطلقات النظرية

نخلص إلى أن "إدارة المشاريع الذكية" هي المحرك الفعلي لتحويل رؤى المدن الذكية إلى واقع مستدام وموفر للطاقة. فمن خلال الدمج المتكامل بين إنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي، والتوائم الرقمية، يمكن للمملكة العربية السعودية رفع كفاءة الطاقة في بنيتها التحتية بشكل غير مسبوق. إن هذا التكامل لا يحقق مستهدفات رؤية 2030 فحسب، بل يضع المملكة في طليعة الدول التي تقود الابتكار في الاقتصاد الأخضر والمدن الذكية عالمياً.

الإطار المنهجي للدراسة

سيعتمد الباحث في تنفيذ هذه الدراسة على هيكلية منهجية متكاملة تضمن الربط بين الجوانب التقنية لإدارة المشاريع الذكية والجوانب البيئية لكفاءة الطاقة، وذلك وفقاً للأسس الآتية:

أولاً: منهج الدراسة

ستستخدم الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، لمناسبته في وصف واقع المدن الذكية في المملكة وتحليل أثر التقنيات الذكية في رفع كفاءة الطاقة. كما سيتم الاستعانة بأسلوب الدراسة الاستشرافية لتقديم مقترحات مستقبلية تتماشى مع رؤية 2030، مستنداً إلى أطر تحليلية حديثة.

ثانياً: مجتمع الدراسة وعينتها

- **مجتمع الدراسة:** يشتمل المجتمع على المهندسين، ومديري المشاريع، والمخططين الحضريين، والمتخصصين في تقنيات الطاقة والذكاء الاصطناعي العاملين في مشاريع البنية التحتية والمدن الذكية في المملكة العربية السعودية (مثل مشاريع نيوم، والبحر الأحمر، وروشن).
- **عينة الدراسة:** سيتم اختيار عينة عشوائية بسيطة من المتخصصين والممارسين، بحيث لا يقل حجم العينة عن (384) مفردة لضمان تمثيل المجتمع إحصائياً بدرجة ثقة 95%، وذلك بالتطبيق على الكوادر الفنية والإدارية في كبرى شركات التطوير العقاري والتقني.

ثالثاً: أدوات الدراسة

سيقوم الباحث ببناء استبانة إلكترونية محكمة، تتكون من المحاور الآتية:

- **المحور الأول:** البيانات الأولية (التخصص، سنوات الخبرة، طبيعة المشروع).
- **المحور الثاني:** مستوى تطبيق تقنيات إدارة المشاريع الذكية (IoT, AI, Digital Twins).
- **المحور الثالث:** معايير كفاءة الطاقة المطبقة في البنية التحتية.
- **المحور الرابع:** التحديات التقنية والتنظيمية التي تواجه التحول الرقمي المستدام.

إجراءات الصدق والثبات:

1. الصدق الظاهري: عرض الأداة على مجموعة من المحكمين الأكاديميين والخبراء المهنيين في إدارة المشاريع الذكية.
2. الاتساق الداخلي: حساب معامل "ألفا كرونباخ" للتأكد من ثبات فقرات الاستبانة وقدرتها على قياس المتغيرات بدقة.

رابعاً: أساليب المعالجة الإحصائية

سيتم استخدام برنامج (SPSS) لمعالجة البيانات عبر الأساليب الآتية:

1. الإحصاء الوصفي: (المتوسطات، الانحرافات المعيارية) لوصف مستوى التطبيق والكفاءة.
2. معامل ارتباط بيرسون: لتحديد قوة واتجاه العلاقة بين الإدارة الذكية وكفاءة الطاقة.
3. تحليل الانحدار المتعدد: لاختبار فرضيات الدراسة وقياس مدى مساهمة كل تقنية ذكية في تحسين الأداء الطاقوي.

حدود الدراسة

- الحدود الموضوعية: دور إدارة المشاريع الذكية (التقنيات والعمليات) في رفع كفاءة الطاقة بمشاريع البنية التحتية.
- الحدود المكانية: المدن الذكية والمشاريع الكبرى في المملكة العربية السعودية.
- الحدود البشرية: المتخصصون والمهندسون ومديرو المشاريع في قطاع البنية التحتية الذكية.
- الحدود الزمنية: سيتم تطبيق الدراسة ميدانياً خلال العام الحالي 2026م.

قائمة المراجع

أولاً: المراجع العربية

1. إبراهيم، تماضر. (2024). دور المدن الذكية في تحقيق التنمية المستدامة. الواحة الأكاديمية، الجامعة الوطنية الخاصة.
2. أبو بكر، محمد أحمد، وعبد الله، خالد سالم. (2021). دور المدن الذكية في تحقيق التنمية المستدامة. مجلة الجامعة الإسلامية، 29(4)، 1-20.
3. أحمد مجر، وصفاء غنيم. (2022). تطوير أداة لقياس كفاءة التحول الرقمي للمدن العربية نحو المدن الذكية: تطبيق على حالتين دراسيتين في المملكة العربية السعودية. *المجلة الدولية للتنمية*، 11(1)، 61-82.
4. بست أسامة شنودة، وآخرون. (2025). المدن الذكية ودورها في تحقيق التنمية المستدامة. *مجلة البحوث التطبيقية في العلوم والإنسانيات*، 2(1)، 1-35.
5. السحيمات، محمد سمير خلف. (2023). مساهمة المدن الذكية وتحقيق أهداف التنمية المستدامة (رؤية مستقبلية للبلديات في الأردن 2023). *مجلة العلوم الإنسانية والاجتماعية*، 4(2)، 100.
6. العتيق، محمد. (2026). المدن الذكية والذكاء الاصطناعي: كيف تبني السعودية مدن المستقبل؟ موقع مسار وظائف.
7. العطاء، عبد الله. (2025). المدن الذكية.. كيف تصبح بوابة لتحقيق الاستدامة؟ موقع الطاقة.
8. نعمة الله، سيد عبدالرحمن. (2025). المدن الذكية.. والطريق للاقتصاد الأخضر. *مجلة الدراسات*، 9(16)، 53-79.
9. هيكله الإعمار. (2025). مشاريع البنية التحتية: كيف تساهم هيكله الإعمار في تطوير المدن؟ موقع هاكسا.

ثانياً: المراجع باللغة الإنجليزية

1. Ab Halim, H. H., Alias, D., Arsad, A. Z., Looi, L. T. J., Nordin, R., & Ng, D. N. K. S. (2026). IoT-driven building energy management systems (BEMS) for net zero energy buildings. *arXiv*.
2. Al Khatib, I., Ali, A., Ndiaye, M., & Shaaban, M. F. (2025). Multi-energy systems in smart cities: Infrastructure and optimization for sustainable energy. *Journal of Power Sources*, 626.
3. Al-Taani, M. A. S. (2024). Leveraging AI for energy-efficient smart cities. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 18(12).
4. Alqahtani, A., & Mohammad, A. (2023). Developing an urban computing framework for smart and sustainable neighborhoods. *Sustainability*, 15(5).
5. Alqahtani, A., & Sherif, M. (2021). Smart city - a sustainable solution for enhancing energy efficiency in Saudi Arabia. *Sustainable Cities and Society*, 74.
6. Bajwa, A., Jahan, F., & Ahmed, I. (2024). A systematic literature review on AI-enabled smart building management systems. *SSRN Electronic Journal*.
7. Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2023). Energy management systems in sustainable smart cities. *Energies*, 16(19).
8. Chen, W., & Song, H. (2025). Fostering renewable energy use through smart city construction. *Energy Strategy Reviews*, 58.
9. Das, D. K. (2025). Integrating IoT and AI for sustainable energy-efficient smart building systems. *Sustainability*, 17(22).
10. Gu, Q., Sing, M. C. P., Jefferies, M., & Kanjanabootra, S. (2025). Bridging the gap between smart cities and sustainability. *Cities*, 158.
11. Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., & Jawhar, I. (2022). Energy optimization for smart cities using IoT. *Applied Artificial Intelligence*, 36(1).
12. Oyetunji, T. S., Erinjogunola, F. L., Ajirotutu, R. O., Adeyemi, A. B., Ohakawa, T. C., & Adio, S. A. (2024). Predictive AI models for maintenance forecasting and energy optimization. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*, 4(6).
13. Ponce, P., de Jesús Carbajal, J., Molina, A., & Anthony, B. (2024). Leveraging artificial intelligence to bolster the energy sector in smart cities. *Energies*, 17(2).

14. Salimi, M., & Hammad, A. (2022). Making cities smarter—Optimization problems for the IoT enabled smart city development. *Sensors*, 22(12).
15. Samih, H. (2019). Smart city and internet of things. *Journal of Information Technology Case and Application Research*, 21(2).
16. Tommy, A. S., & Jaya, R. P. (2025). Integration of AI and digital twin technology for smart infrastructure management. *Civil Engineering Science and Technology*, 1(1).
17. Wu, D., Zheng, A., Yu, W., Cao, H., Ling, Q., Liu, J., & Zhou, D. (2025). Digital twin technology in transportation infrastructure: A comprehensive survey. *Applied Sciences*, 15(4).