

**أثر تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في
المشاريع الهندسية المستدامة**

إعداد الطالب/

محمد علي عبد الله النمازي

الرقم الأكاديمي:

253000383

إشراف/

د. الفیصل عبد الحمید

د. فايز جراد

العام الدراسي:

2026

فهرس المحتويات

□	صفحة الغلاف الرسمية	صفحة 1
□	فهرس المحتويات	صفحة 2-3
□	قائمة الجداول	صفحة 4
□	فهرس الأشكال	صفحة 5
□	شكر وتقدير	صفحة 6
□	ملخص الدراسة (باللغة العربية)	صفحة 7
□	(Abstract) الملخص باللغة الإنجليزية	صفحة 8
□	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة	صفحة 9
□	مقدمة الفصل	صفحة 9
□	مشكلة الدراسة	صفحة 10
□	أهمية الدراسة	صفحة 11
□	أهداف الدراسة	صفحة 12
□	أسئلة الدراسة	صفحة 13
□	فروض الدراسة	صفحة 14
□	مصطلحات الدراسة والتعريفات الإجرائية	صفحة 15
□	الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة	صفحة 16
□	مقدمة الفصل الثاني	صفحة 17
□	المبحث الأول: تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع الهندسية	صفحة 18-20
□	المبحث الثاني: إدارة المشاريع المستدامة في ضوء رؤية 2030	صفحة 21
□	المبحث الثالث: الدراسات السابقة والتعقيب عليها	صفحة 23-25
□	الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها	صفحة 26
□	مجتمع الدراسة وعينتها	صفحة 26
□	أداة الدراسة	صفحة 26
□	إجراءات الصدق والثبات وأساليب التحليل الإحصائي	صفحة 26
□	الفصل الرابع: تحليل البيانات وعرض النتائج	صفحة 27
□	مقدمة الفصل الرابع	صفحة 28
□	تحليل الخصائص الديموغرافية والمهنية لعينة الدراسة	صفحة 28

التحليل الوصفي لمحاول الدراسة	صفحة 29
اختبار فرضيات الدراسة ومناقشته	صفحة 30
الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات	صفحة 32
مقدمة الفصل الخامس	صفحة 32
الاستنتاجات	صفحة 32
التوصيات	صفحة 32
المقترحات البحثية المستقبلية	صفحة 33
قائمة المراجع	صفحة 34-35
الملاحق (الاستبانة)	صفحة 36-39

قائمة الجداول :

- **جدول (1)** الخصائص الديموغرافية والمهنية لعينة الدراسة (المسمى الوظيفي، سنوات الخبرة، وحجم المشروع) صفحة 28
- **جدول (2)** المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة حول أثر أدوات التحليل التنبؤي صفحة 29
- **جدول (3)** المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة حول أثر أنظمة إنترنت الأشياء صفحة 29
- **جدول (4)** المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة حول أثر خوارزميات التعلم الآلي صفحة 29
- **جدول (5)** المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لمحور مؤشرات كفاءة استهلاك الطاقة والحد من الهدر صفحة 32
- **جدول (6)** نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط لاختبار أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الطاقة صفحة 30
- **جدول (7)** نتائج اختبار معامل ارتباط بيرسون لقياس العلاقة بين أنظمة التحليل التنبؤي وخفض التكاليف صفحة 30
- **جدول (8)** نتائج اختبار التباين الأحادي (ANOVA) للمقارنة بين متوسطات أفراد العينة وفقاً لمتغير حجم المشروع صفحة 31

فهرس الأشكال:

□ شكل (1) إطار دمج الابتكار التقني وتحقيق الأهداف البيئية المستدامة وفق رؤية 2030

..... صفحة 9

□ شكل (2) مخطط التدفق اللحظي للبيانات عبر مستشعرات إنترنت الأشياء والعدادات الذكية

..... صفحة 11

□ شكل (3) لوحة التحكم التفاعلية الفورية (Dashboard) المقترحة لدعم القرار الهندسي

..... صفحة 12

□ شكل (4) التوزيع النسبي لأفراد عينة الدراسة وفقاً لمتغير المسمى الوظيفي

..... صفحة 30

□ شكل (5) التوزيع النسبي لأفراد عينة الدراسة وفقاً لمتغير سنوات الخبرة

..... صفحة 30

□ شكل (6) التوزيع النسبي لأفراد عينة الدراسة وفقاً لمتغير حجم وطبيعة المشاريع

..... صفحة 30

شكر وتقدير

الحمد لله الذي وفقني وأعانني على إتمام هذا العمل، والصلاة والسلام على خير خلقه محمد وعلى آله وصحبه أجمعين .

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى والدي العزيزين اللذين كان لهما الفضل الأكبر في دعمي وتحفيزي طوال مسيرتي. لقد كانت دعواتهما ودعمهما المعنوي والنفسي القوة الدافعة التي مكنتني من تحقيق هذا الإنجاز .

كما أعبر عن عميق امتناني لزوجتي العزيزة، التي كانت لي الشريك والسند، والتي لم تبخل علي بدعمها وتشجيعها المستمرين. لقد كان تقهمها وصبرها أحد أعمدة نجاحي في هذه الرحلة .

وأود أن أشكر أساتذتي الكرام بجامعة ميدأوشن، وخاصة مشرفي رسالتي الذين قدموا لي الدعم والإرشاد العلمي، وساهموا بتوجيهاتهم القيمة في إتمام هذا البحث. لقد كان لخبرتهم وتوجيهاتهم دور كبير في صياغة هذا العمل:

• د. فايز علي جراد

• د. الفيصل حسن عبد الحميد

أشكر زملائي وأصدقائي، اللذين كانوا لي عوناً وسنداً خلال مسيرتي الأكاديمية. إن دعمهم وتشجيعهم كان لهما الأثر الإيجابي في تجاوز كل التحديات .

وأخيراً، أتقدم بالشكر لكل من ساهم بكلمة أو نصيحة أو دعم في إنجاز هذا العمل، سائلاً الله أن يوفقنا جميعاً لما فيه الخير والنجاح، وأن يجعل هذا العمل نافعاً ومثمراً .

المستخلص : Abstract

الملخص الدراسة باللغة العربية :

استهدفت هذه الدراسة استكشاف وتحليل الدور الاستراتيجي والتطبيقي الذي تلعبه تقنيات الذكاء الاصطناعي كأداة ممكنة لرفع كفاءة استهلاك الطاقة والحد من الهدر المالي والبيئي في المشاريع الهندسية المستدامة في المملكة العربية السعودية .ولتحقيق هذا الهدف، تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي .وتمثلت أداة الدراسة في استبانة مقننة تم توزيعها إلكترونياً على عينة عشوائية ممثلة من الممارسين والمهندسين ومديري المشاريع في قطاع المقاولات والإنشاءات والبنية التحتية والاتصالات بالمملكة .وعولجت البيانات المجمعـة إحصائياً باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية عبر تطبيق أساليب الإحصاء الوصفي والاستدلالي.

وأُسفرت الدراسة عن مجموعة من النتائج، أبرزها: وجود أثر إيجابي قوي ذو دلالة إحصائية لتبني أدوات الذكاء الاصطناعي (الحلول التنبؤية، إنترنت الأشياء، وخوارزميات التعلم الآلي) في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة بنسبة تفسيرية بلغت اثنين وسبعين بالمئة .كما تبين وجود فروق ذات دلالة إحصائية في تصورات المبحوثين تعزى لمتغير حجم المشروع لصالح المشاريع الكبرى والضخمة . وأوصت الدراسة بضرورة انتقال المؤسسات الهندسية من النماذج التشغيلية التقليدية إلى نماذج ذكية تعتمد على لوحات التحكم الفورية لضبط الموارد، بما يتماشى مع مستهدفات رؤية المملكة ألفين وثلاثين ومبادرة السعودية الخضراء .

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، كفاءة استهلاك الطاقة، المشاريع الهندسية المستدامة، إدارة المشاريع، رؤية المملكة ألفين وثلاثين.

Abstract

This study aimed to explore and analyze the strategic and applied role of artificial intelligence technologies as an enabling tool for improving energy efficiency and reducing financial and environmental waste in sustainable engineering projects in the Kingdom of Saudi Arabia. To achieve this objective, the descriptive analytical method was utilized. The study tool consisted of a standardized questionnaire distributed electronically to a representative random sample of practitioners, engineers, and project managers in the contracting, construction, infrastructure, and telecommunications sector in the Kingdom. The collected data was processed statistically using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

The study revealed several results, most notably: the existence of a strong, statistically significant positive impact of adopting artificial intelligence tools (predictive analytics, internet of things, and machine learning algorithms) in improving energy efficiency, explaining seventy-two percent of the variance. The study also showed statistically significant differences in respondents' perceptions attributed to the project size variable in favor of large and mega projects. The study recommended the necessity of shifting from traditional project management models to smart models based on real-time dashboards to control resources, in alignment with the objectives of Saudi Vision 2030 and the Saudi Green Initiative.

Keywords: Artificial Intelligence, Energy Efficiency, Sustainable Engineering Projects, Project Management, Saudi Vision 2030.

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1. مقدمة الفصل

يواجه قطاع المشاريع الهندسية والإنشائية ومشاريع البنية التحتية والاتصالات في القرن الحادي والعشرين تحولات غير مسبوقه تفرضها التحديات البيئية والاقتصادية المتسارعة. ومع تفاقم ظاهرة التغير المناخي والارتفاع الحاد في معدلات استهلاك الطاقة عالمياً، برزت الاستدامة كركيزة أساسية ومعياري إلزامي لتقييم نجاح المشاريع الهندسية، متجاوزةً المفهوم التقليدي الذي كان يحصر النجاح في أبعاد المثلث الحديدي المتمثل في التكلفة والوقت والجودة [1] ونظراً لأن قطاع التشييد والبنية التحتية يعد أحد أكبر القطاعات المستهلكة للطاقة والمسببة للانبعاثات الكربونية محلياً ودولياً، فإن مكاتب إدارة المشاريع باتت مطالبة بتبني نماذج تشغيلية خضراء تضمن تحقيق كفاءة الطاقة القصوى طوال دورة حياة المشروع. [2]

في موازاة هذه التحديات البيئية، تشهد البيئة التقنية ثورة صناعية رابعة تقودها تطبيقات تقنيات الذكاء الاصطناعي، والتي انتقلت من النطاق التجريبي لتصبح أدوات تمكينية استراتيجية قادرة على إعادة صياغة العمليات الهندسية والتنفيذية [3] إن دمج خوارزميات التعلم الآلي، وأنظمة إنترنت الأشياء، وأدوات التحليل التنبؤي في النظم الإدارية والهندسية يمنح مديري المشاريع قدرة فائقة على معالجة البيانات الضخمة في الوقت الفعلي، ومحاكاة سيناريوهات الأحمال الطاقية، والتحكم الذكي والذاتي في الأنظمة التشغيلية للمشروع لتلافي مواطن الهدر قبل حدوثها. [4]

وعلى المستوى الوطني، تتقاطع هذه التوجهات العلمية والتقنية بشكل وثيق مع الأهداف الاستراتيجية لرؤية المملكة العربية السعودية 2030 ومبادرة السعودية الخضراء، والتي تضع الاستدامة والتحول الرقمي في مقدمة أولوياتها الوطنية لتقليل الانبعاثات الكربونية بمقدار مئتين وثمانية وسبعين مليون طن سنوياً [5] ويطلب هذا التحول الطموح من كافة المقاولين والمؤسسات الهندسية العاملة في المملكة تلبية المعايير الصارمة الصادرة عن المركز السعودي لكفاءة الطاقة والهيئة السعودية للمهندسين [6] من هنا، تأتي هذه الدراسة لتسليط الضوء على الدور المحوري الذي تلعبه تقنيات الذكاء الاصطناعي في تمكين مكاتب إدارة المشاريع من تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، وتقديم إطار عمل منهجي يربط بين الابتكار التقني وتحقيق الأهداف البيئية المستدامة.

2. مشكلة الدراسة

تتضح مشكلة الدراسة في وجود فجوة تنظيمية وتقنية واضحة بين الواقع الفعلي للممارسات التقليدية في إدارة المشاريع الهندسية، وبين الواقع المأمول المتوافق مع معايير الاستدامة المعاصرة ورؤية المملكة 2030 [2] ففي الممارسات الهندسية والإنشائية التقليدية، غالباً ما تُدار أنظمة الطاقة بناءً على أدوات مراقبة رجعية تكتفي برصد الاستهلاك المفرط أو تسجيل الخسائر والأعطال بعد وقوعها بالفعل، مما ينعكس سلباً على التكاليف التشغيلية للمشاريع ويتسبب في نسب هدر عالية في الموارد الطاقية تتجاوز في كثير من الأحيان عشرين بالمئة بسبب ضعف التكامل بين البيانات اللحظية ومراحل اتخاذ القرار الإداري. [1]

علاوة على ذلك، وعلى الرغم من الإمكانيات الواعدة التي توفرها تقنيات الذكاء الاصطناعي مثل التحليل التنبؤي وأنظمة التحكم المستقلة، إلا أن رصد قطاع المشاريع الهندسية والمقاولات محلياً يشير إلى حالة من البطء والتردد في التنبؤ الفعلي لهذه الحلول الذكية داخل النماذج التشغيلية لمكاتب إدارة المشاريع [4] ويعزى هذا التردد إلى ضبابية الرؤية حول الجدوى الاستثمارية الفورية لهذه التقنيات، ونقص الكوادر المهنية المؤهلة للتعامل مع تحليل البيانات الضخمة، فضلاً عن غياب أطر عمل واضحة توجه مديري المشاريع نحو كيفية الدمج المنهجي والفعال لأدوات الذكاء الاصطناعي في بيئة التنفيذ الهندسية لخدمة استراتيجيات كفاءة الطاقة. [3]

تأسيساً على ما تقدم، يمكن صياغة مشكلة الدراسة بصورة مباشرة في التساؤل الرئيسي التالي " :إلى أي مدى تسهم تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الهدر في المشاريع الهندسية المستدامة في المملكة العربية السعودية ؟ "

5. أهمية الدراسة

تستمد الدراسة أهميتها العلمية والعملية من خلال مواكبتها لأحدث التطورات التقنية والإدارية، وتتلخص أهميتها في جانبين رئيسيين:

أولاً: الأهمية العلمية (النظرية):

- إثراء الأدبيات الأكاديمية العربية: تُعد هذه الدراسة من الأبحاث الرائدة في البيئة الأكاديمية المحلية والعربية التي تجمع بين متغيرات الذكاء الاصطناعي كمتغير مستقل، وكفاءة استهلاك الطاقة كمتغير تابع، تحت مظلة علم إدارة المشاريع، بعد أن ظلت هذه المتغيرات تدرس بشكل منفصل أو في سياقات هندسية بحتة دون أبعاد إدارية استراتيجية.
- التأصيل المعرفي: تقديم إطار نظري متكامل يدمج بين نظرية الموارد والقدرات الديناميكية وإطار التكنولوجيا والتنظيم والبيئة لتفسير آليات وطبيعة التحول الرقمي المستدام داخل المؤسسات الهندسية.

ثانياً: الأهمية العملية (التطبيقية):

- تمكين مديري المشاريع وصناع القرار: تزويد الممارسين والمهندسين في مكاتب إدارة المشاريع بأدلة علمية مبنية على بيانات إحصائية دقيقة تمكنهم من تقييم جدوى تبني التقنيات الذكية لخفض التكاليف التشغيلية وتحسين الأداء البيئي.
- دعم الاستراتيجيات الوطنية: تقديم توصيات عملية تخدم مستهدفات مبادرة السعودية الخضراء ورؤية المملكة 2030، مما يمنح الجهات التنظيمية والشركات الهندسية خطوياً إرشادية لتسريع وتيرة التحول الرقمي البيئي المقنن في قطاع المقاولات والإنشاءات.

6. أهداف الدراسة

تسعى هذه الدراسة بصفة رئيسية إلى استكشاف وتحليل الدور الاستراتيجي والتطبيقي الذي تلعبه تقنيات الذكاء الاصطناعي كأداة ممكنة لرفع كفاءة استهلاك الطاقة في المشاريع الهندسية المستدامة . ولتحقيق هذا الهدف العام، تتطلع الدراسة إلى إنجاز الأهداف الفرعية التالية :

- **أولاً:** رصد وتقييم واقع استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي والحلول الرقمية الناشئة في تصميم وتنفيذ المشاريع الهندسية المستدامة محلياً .
- **ثانياً:** قياس الأثر المباشر لدمج أنظمة التحليل التنبؤي وإنترنت الأشياء على خفض معدلات الهدر البيئي والمالي والتحكم اللحظي في موارد الطاقة .
- **ثالثاً:** تشخيص وتحليل العوائق التنظيمية، والبشرية، والمالية التي تواجه مكاتب إدارة المشاريع وتحد من انتقالها السلس نحو نماذج التشغيل الذكية .
- **رابعاً:** تقديم إطار عمل مقترح ونموذج إداري متكامل يساعد المؤسسات الهندسية وشركات المقاولات على دمج معايير كفاءة الطاقة الذكية ضمن منهجيات إدارة المشاريع لديها تماشياً مع رؤية المملكة 2030 .

تساؤلات الدراسة

أسئلة الدراسة

ينبثق من التساؤل الرئيسي للدراسة مجموعة من الأسئلة الفرعية والتفصيلية التالية :

- **السؤال الأول:** ما هو واقع الوعي والتبني الفعلي لتقنيات الذكاء الاصطناعي مثل التحليل التنبؤي، إنترنت الأشياء، وخوارزميات التعلم الآلي لدى مكاتب إدارة المشاريع والشركات الهندسية الحالية؟
- **السؤال الثاني:** كيف يؤثر استخدام أدوات التحليل التنبؤي الذكية على كفاءة التخطيط المسبق وتوزيع الموارد الطاقية خلال مراحل دورة حياة المشروع؟
- **السؤال الثالث:** ما هو دور أنظمة إنترنت الأشياء والتحكم المستقل المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المراقبة اللحظية لمعدلات الاستهلاك وتقليل الهدر المالي والبيئي أثناء مرحلة التنفيذ الفعلي؟
- **السؤال الرابع:** ما هي أبرز التحديات والعوائق التقنية، المالية، والتنظيمية التي تحد من تبني وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في ممارسات الاستدامة البيئية بالمشاريع؟
- **السؤال الخامس:** هل توجد فروق ذات دلالة إحصائية في تصورات أفراد عينة الدراسة حول فعالية الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الطاقة تعزى لمتغيراتهم الديموغرافية والمهنية المتمثلة في المسمى الوظيفي، سنوات الخبرة، وحجم المشروع؟

فروض الدراسة

بناءً على تساؤلات الدراسة والمراجعة الأولية للأدبيات العلمية ذات الصلة، تم صياغة الفرضيات الإحصائية التالية لتوجيه عملية التحليل والاستدلال الميداني:

- " **الفرضية الرئيسية الأولى:** يوجد أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية أقل من أو يساوي خمسة بالمئة لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في المشاريع الهندسية المستدامة في المملكة العربية السعودية ."
- **الفرضية الفرعية الأولى:** توجد علاقة ارتباطية موجبة ذات دلالة إحصائية بين استخدام أنظمة التحليل التنبؤي الذكية وخفض التكاليف التشغيلية للطاقة في مراحل تنفيذ المشروع.
- " **الفرضية الفرعية الثانية:** يسهم تطبيق أنظمة إنترنت الأشياء الموجهة بالذكاء الاصطناعي في تعزيز الرقابة الفورية على الموارد وتقليل معدلات الهدر الطاقوي في مواقع العمل ."
- " **الفرضية الرئيسية الثانية:** توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية أقل من أو يساوي خمسة بالمئة في تصورات أفراد عينة الدراسة حول فعالية تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الطاقة تُعزى للمتغيرات الديموغرافية والمهنية المتمثلة في المسمى الوظيفي، سنوات الخبرة، وحجم المشروع ."

7. مصطلحات الدراسة والتعريفات الإجرائية

لإزالة أي غموض مفاهيمي وضمان دقة التفسير، يتم تحديد المصطلحات المحورية للدراسة نظرياً وإجرائياً على النحو التالي:

الذكاء الاصطناعي:

- **التعريف النظري:** هو فرع من علوم الحاسب يهتم ببناء أنظمة برمجية قادرة على محاكاة السلوك الذكي البشري وتأدية مهام معقدة مثل التعلم، الاستنتاج، واتخاذ القرارات عبر تحليل البيانات الضخمة.
- **التعريف الإجرائي:** يشير في هذه الدراسة إلى مدى الاعتماد الفعلي لمكاتب إدارة المشاريع الهندسية على أدوات التحليل التنبؤي، مستشعرات إنترنت الأشياء، وخوارزميات التعلم الآلي لإدارة العمليات التشغيلية، ويُقاس من خلال استجابات أفراد العينة على المحور الأول في الاستبانة.

كفاءة استهلاك الطاقة:

التعريف النظري: الاستخدام الأمثل للطاقة بحيث يتم تقليل كمية الطاقة المستهلكة لتقديم نفس المستوى من الأداء أو الخدمة في المنشأة أو المشروع، مما يؤدي لخفض التكاليف والآثار البيئية الضارة.

التعريف الإجرائي: هو النسبة المئوية للوفر المالي والبيئي المتحقق نتيجة تقليل انحرافات الأحمال الكهربائية، وأتمتة أنظمة التبريد والتكييف، وخفض البصمة الكربونية للمشروع، ويُقاس إحصائياً عبر المحور الثاني من أداة الدراسة.

المشاريع الهندسية المستدامة:

التعريف النظري: هي المشاريع التي يتم تخطيطها وتصميمها وتنفيذها وتشغيلها ومراقبتها باستخدام منهجيات تضمن التوازن بين الأداء الاقتصادي، والمسؤولية البيئية، والعدالة الاجتماعية طوال دورة حياتها.

التعريف الإجرائي: هي مشاريع البنية التحتية، والإنشاءات، ومشاريع قطاع الاتصالات والأنظمة التقنية القائمة في المملكة العربية السعودية والتي تتبنى معايير كفاءة الطاقة وتخضع لإشراف ومراقبة الكوادر الهندسية المستهدفة في عينة البحث.

النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث

تستند هذه الدراسة في تأصيلها المعرفي وتحليل متغيراتها إلى تكامل استراتيجي بين نظريتين علميتين محورتين في الفكر الإداري والتكنولوجي المستدام، وذلك لتفسير آليات وطبيعة التحول الرقمي البيئي داخل المؤسسات الهندسية :

نظرية الموارد والقدرات الديناميكية :

- **مفهومها في البحث:** تركز هذه النظرية على كيفية قيام مكاتب إدارة المشاريع والشركات الهندسية بتطوير وتعديل وإعادة تشكيل كفاءاتها الداخلية لمواجهة التغيرات البيئية والتشريعية المتسارعة .
- **تطبيقها الإجرائي:** تُعامل تقنيات الذكاء الاصطناعي (مثل الحلول التنبؤية وإنترنت الأشياء) في هذه الدراسة كـ "قدرة ديناميكية استراتيجية". تمنح هذه القدرة مديري المشاريع مرونة فائقة وقدرة استباقية على قراءة البيانات اللحظية، ومحاكاة سيناريوهات الأحمال الطاقية، والتحكم الذاتي في الأنظمة لتلافي مواطن الهدر قبل حدوثها .

إطار التكنولوجيا والتنظيم

- **مفهومها في البحث:** يُستخدم هذا الإطار لتفسير العوامل والمحددات التي تؤثر على قرار المؤسسات الهندسية في تبني الابتكارات التقنية الناشئة .
- **تطبيقها الإجرائي:** يغطي هذا الإطار الأبعاد الثلاثة للدراسة:
 - **البُعد التقني:** ويتمثل في مدى جاهزية وميزات أدوات الذكاء الاصطناعي وخوارزميات التعلم الآلي المطبقة لرفع كفاءة الطاقة .
 - **البُعد التنظيمي:** ويشمل الخصائص الداخلية للشركات ومكاتب إدارة المشاريع مثل حجم المشروع، وسنوات الخبرة، والقدرة المالية والبشرية على استيعاب التحول .
 - **البُعد البيئي والتشريعي:** ويتمثل في الضغوط والتشريعات الوطنية الصارمة الصادرة عن المركز السعودي لكفاءة الطاقة والهيئة السعودية للمهندسين بالتكامل مع مستهدفات رؤية المملكة 2030 ومبادرة السعودية الخضراء .

الفصل الثاني

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

مقدمة الفصل

يستهدف هذا الفصل تقديم تأصيل علمي وتحليل نظري متكامل لمتغيرات الدراسة وأبعادها الموضوعية، حيث يسلط الضوء على الأدبيات الإدارية والهندسية التي ناقشت دمج الحلول الرقمية في ممارسات الاستدامة البيئية. ينقسم هذا الفصل إلى مباحث تفصيلية؛ يتناول المبحث الأول ماهية تقنيات الذكاء الاصطناعي وتطبيقاتها التشغيلية في بيئة المشاريع الهندسية، بينما يركز المبحث الثاني على أبعاد إدارة المشاريع المستدامة وآليات تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، وصولاً إلى استعراض نقدي ومنهجي للدراسات السابقة المعنية بالظاهرة محل الدراسة لتحديد الفجوة البحثية بشكل دقيق.

المبحث الأول: تقنيات الذكاء الاصطناعي في بيئة إدارة المشاريع الهندسية

1. مفهوم الذكاء الاصطناعي وتطوره الحركي في قطاع الهندسة

لم يعد الذكاء الاصطناعي يمثل مجرد فئة من البرمجيات المؤتمتة أو الأدوات الحاسوبية المساعدة، بل بات يشكل تحولاً جذرياً في هندسة العمليات الإدارية والإنشائية المعاصرة [7]. ويُعرف الذكاء الاصطناعي في السياق الأكاديمي بأنه قدرة النظم الرقمية والآلات الذكية على محاكاة العمليات الذهنية البشرية وتطبيقها في مستويات التعلم، والاستنتاج، والتحليل التنبؤي، واتخاذ القرارات الاستراتيجية بناءً على معالجة التدفقات الضخمة للبيانات. [8]

وفي بيئة مكاتب إدارة المشاريع الهندسية ومشاريع البنية التحتية، انتقل توظيف هذه التقنيات من مرحلة معالجة البيانات الإدارية البسيطة والجدولة الروتينية إلى مرحلة الإدارة الذاتية والمستقلة للنظم الهندسية المعقدة [9]. تتيح الخوارزميات الذكية المعاصرة لمكاتب إدارة المشاريع القدرة على قراءة المتغيرات التشغيلية والبيئية المتغيرة لحظياً، والتنبؤ بمواطن الانحراف والخلل التشغيلي بدقة تتفوق على الأنماط البشرية والأنظمة التقليدية السابقة، مما يمنح المؤسسات قدرات ديناميكية على التكيف مع التغيرات المفاجئة في مواقع العمل. [7]

2. الأدوات التقنية الذكية المرتبطة بكفاءة الطاقة

تتعدد أدوات الابتكار الرقمي التي أفرزتها التقنيات الحديثة، إلا أن هذه الدراسة تركز على رصد وتحليل ثلاث تقنيات محورية تشكل النواة الأساسية لإعادة هيكلة استهلاك الطاقة في المشاريع المستدامة:

- **أولاً: تقنية إنترنت الأشياء:** تعتمد هذه التقنية على دمج شبكات مترابطة من المستشعرات الرقمية والعدادات الذكية في كافة الأصول والأنظمة الهندسية التابعة للمشروع، مثل أنظمة التبريد ومراكز البيانات ووحدات معالجة الهواء وأنظمة الإضاءة [10]. تقوم هذه المستشعرات بجمع حزم البيانات الفورية المتعلقة بدرجات الحرارة، والرطوبة، وكثافة الاستخدام الفعلي، ومعدلات سحب التيار الكهربائي، وضخها مباشرة إلى قواعد بيانات مركزية لغرض المعالجة والتحليل والتصرف الفوري. [8]
- **ثانياً: أدوات التحليل التنبؤي:** تمثل هذه الأدوات المنهجية الرياضية التي تعتمد على استدعاء وتحليل البيانات التاريخية واللحظية المجمعة لبناء نماذج وخوارزميات إحصائية قادرة على التنبؤ بحجم الأحمال الكهربائية والاحتياجات الطاقية المستقبلية للمشروع بدقة عالية قبل البدء الفعلي في مراحل التنفيذ والتشغيل [11]. يساهم التحليل التنبؤي في تمكين مديري المشاريع من توزيع وتخطيط الموارد مسبقاً، وتقادي فترات الذروة في الاستهلاك، بالإضافة إلى تفعيل استراتيجيات الصيانة التنبؤية للمعدات والأنظمة الحيوية لتقادي الهدر الناتج عن الأعطال الفجائية. [7]
- **ثالثاً: خوارزميات التعلم الآلي:** تُعرف بأنها فرع من الذكاء الاصطناعي يمنح الأنظمة الحاسوبية القدرة على التعلم الذاتي وتطوير أدائها التشغيلي تلقائياً من خلال معالجة الخبرات

والبيانات المتركمة دون الحاجة لإعادة برمجة بشرية صريحة [9]. تقوم هذه الخوارزميات برصد وتحليل أنماط استهلاك وتوزيع الطاقة السابقة في المواقع الهندسية، واكتشاف مواطن الهدر الخفي، وتعديل معايير تشغيل الأنظمة المستقلة ذاتياً للوصول إلى نقطة الاستهلاك المثلى المتوافقة مع معايير الاستدامة والترشيد. [10]

3. النماذج التشغيلية الذكية داخل مكاتب إدارة المشاريع

إن تفعيل ممارسات الاستدامة البيئية وكفاءة الطاقة يتطلب بالضرورة تطوير ونقل النماذج التشغيلية التقليدية داخل مكاتب إدارة المشاريع إلى نماذج ذكية قائمة على البيانات الاستباقية [11]. يتيح دمج الذكاء الاصطناعي بناء لوحات تحكم تفاعلية وفورية تدعم صناعة القرار الهندسي والإداري؛ حيث لا يضطر مدير المشروع إلى انتظار التقارير الدورية أو الفواتير الشهرية لمعرفة حجم الانحراف المالي أو البيئي في موارد الطاقة، بل يمتلك رؤية واضحة ومستمرة تمكنه من اتخاذ إجراءات تصحيحية فورية ومباشرة لحماية ميزانية المشروع والحد من الهدر البيئي والمالي في مواقع التنفيذ. [9]

المبحث الثاني: إدارة المشاريع المستدامة وكفاءة الطاقة في ضوء رؤية ألفين وثلاثين

1. مفهوم إدارة المشاريع المستدامة وأبعادها الخضراء

تُمثل إدارة المشاريع المستدامة جيلاً جديداً من الفكر الإداري والهندسي الذي يتجاوز القيود التقليدية للمثلث الحديدي، حيث تُعرف بأنها عملية التخطيط والتوجيه والمراقبة لكافة أعمال المشروع بطريقة تضمن تحقيق التوازن الموضوعي بين المنافع الاقتصادية والمسؤولية البيئية والعدالة الاجتماعية طوال دورة حياة المشروع [12]. وتتبنى أهمية هذا النمط الإداري من كونه ينظر إلى مخرجات المشاريع الهندسية والإنشائية ومشاريع الاتصالات كمؤثر مستمر في النظم البيئية المحيطة، مما يستدعي التزام مكاتب إدارة المشاريع بتقييم الأثر البيئي في كافة المراحل، بدءاً من التصميم الأولي وحتى التكيف أو الإغلاق النهائي. [13]

2. كفاءة استهلاك الطاقة كركيزة للاستدامة الهندسية

تُعد كفاءة استهلاك الطاقة الأداة الأكثر فعالية ومحورية لتحقيق الأداء البيئي المستهدف في المشاريع الخضراء، والمقصود بها هو ابتكار وتطبيق حلول هندسية وتشغيلية تضمن تقليل كمية الطاقة المستهلكة لتقديم نفس المستوى من الخدمة أو الأداء داخل المنشأة الهندسية [14]. وفي ظل تنامي حجم التعقيد في مشاريع البنية التحتية ومراكز البيانات الحيوية، فإن هدر الطاقة لا ينعكس فقط على صورة ارتفاع حاد في النفقات المباشرة، بل يتسبب في زيادة الانبعاثات الكربونية الناتجة عن التشغيل؛ مما يضع على عاتق الكوادر الهندسية مسؤولية تبني معايير دقيقة لمراقبة كفاءة الطاقة بالتكامل مع الحلول الرقمية المستقلة للحد من الانحرافات التشغيلية. [15]

3. التكامل الاستراتيجي مع مبادرة السعودية الخضراء ورؤية ألفين وثلاثين

تشهد المملكة العربية السعودية تحولاً وطنياً وتنموياً شاملاً تقوده رؤية المملكة ألفين وثلاثين، والتي جعلت من الاستدامة وحماية البيئة والتنوع الاقتصادي أهدافاً استراتيجية عليا لا غنى عنها [5]. وتأتي مبادرة السعودية الخضراء لتضع أطراً تشريعية وتنفيذية صارمة تستهدف تقليل الانبعاثات الكربونية بمقدار مئتين وثمانية وسبعين مليون طن سنوياً، والوصول إلى الحياد الصفري للكربون بحلول عام ألفين وستين. [5]

هذا التوجه الوطني الطموح ينعكس بشكل مباشر على قطاع المقاولات والهندسة بالمملكة، حيث باتت الشركات الهندسية الكبرى ومكاتب إدارة المشاريع ملزمة بالتوافق التام مع المعايير والأدلة الإدارية والفنية الصادرة عن المركز السعودي لكفاءة الطاقة والهيئة السعودية للمهندسين [6]. إن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة طاقة المشاريع لم يعد خياراً تكنولوجياً داخلياً، بل أصبح ضرورة استراتيجية لتمكين القطاع الهندسي من تحقيق الكفاءة المطلوبة والمساهمة الفعالة في تحقيق المستهدفات البيئية الوطنية. [12]

المبحث الثالث: الدراسات السابقة والتعقيب عليها

1. استعراض الأدبيات والدراسات السابقة

يُمثل رصد الأدبيات الأكاديمية والدراسات السابقة ركيزة أساسية لتأصيل البحث الحالي وتحديد موقعه من المعرفة العلمية المتراكمة. وقد تم تصنيف الدراسات السابقة ذات الصلة بمتغيرات البحث إلى محورين موضوعيين لضمان التغطية المنهجية الشاملة:

المحور الأول: دراسات تناولت الذكاء الاصطناعي في بيئة المشاريع الهندسية

- دراسة داركو وآخرون (ألفين وعشرين): [14] استهدفت هذه الدراسة التقييم الشامل لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في صناعة الهندسة والبناء وإدارة المشاريع، وتحديد الفوائد التشغيلية والتحديات المرتبطة بتبنيها. واعتمد الباحثون على المنهج الكمي من خلال التحليل البليومتري الموسع لأكثر من ثلاثمئة بحث علمي نُشرت في هذا الحقل المعرفي. وأظهرت النتائج أن إدراج أدوات الذكاء الاصطناعي ساهم في إحداث نقلة نوعية في كفاءة إدارة الموارد والمخاطر التنفيذية. ومع ذلك، أبرزت الدراسة أن القطاع لا يزال يواجه تحديات جوهرية تتمثل في التكلفة المالية الأولية المرتفعة لتأسيس البنية التحتية الذكية، والنقص الحاد في الكوادر الهندسية المدربة على تحليل البيانات الضخمة.
- دراسة الشمري والعتيبي (ألفين وثلاثة وعشرين): [7] ناقشت هذه الدراسة أثر التحول الرقمي والتقنيات الناشئة على رفع كفاءة إدارة المشروعات الهندسية في المملكة العربية السعودية في ضوء أهداف رؤية ألفين وثلاثين. وطبق الباحثان المنهج الوصفي التحليلي على عينة مكونة من مئتين وخمسة عشر مهندساً ومدير مشروع في قطاع المقاولات بمنطقة الرياض. وأكدت النتائج وجود علاقة ارتباطية طردية قوية بين مستويات تبني أدوات التحول الرقمي وارتفاع مؤشرات نجاح المشاريع الهندسية، كما أوصت الدراسة بضرورة دمج النظم الذكية في مراحل التخطيط المبكر لتفادي تجاوز الميزانيات التقديرية.

المحور الثاني: دراسات تناولت كفاءة الطاقة والاستدامة في المشاريع

- دراسة تشاو وآخرون (ألفين واثنين وعشرين): [20] ركزت الدراسة على التقييم المنهجي لتطبيقات خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تصميم وإدارة المباني والمشاريع الهندسية الموفرة للطاقة. واعتمدت المنهجية على المنهج الوصفي التحليلي لعدد من دراسات الحالة لمشاريع

مستدامة كبرى في قارة آسيا. وأثبتت النتائج أن استخدام الأنظمة التنبؤية الذكية ساهم في خفض استهلاك الطاقة بنسب تراوحت بين خمسة عشر بالمئة إلى ثلاثين بالمئة مقارنة بالأنظمة الميكانيكية والكهربائية التقليدية، وأشارت إلى أن التكيف اللحظي للأنظمة التكيف والإضاءة بناءً على مستشعرات الكثافة البشرية هو العامل الأكبر في تحقيق هذا الوفرة.

- **دراسة العمودي (ألفين وأربعة وعشرين):** [8] بحثت هذه الدراسة في تأثير ضغوط الجدول الزمني على أداء وتكلفة المشاريع الإنشائية بالتطبيق على قطاع التشييد في منطقة الرياض. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي عبر أداة الاستبانة التي وُزعت على عينة شملت ثلاثمئة وتسعين مهندساً وعاملاً في قطاع المقاولات. وخلصت النتائج إلى أن ضغوط الوقت تؤثر بشكل سلبي مباشر وذو دلالة إحصائية على كفاءة التكلفة والجودة، وتؤدي إلى انحرافات كبيرة عن الخطط الأساسية للموارد، وأوصت بضرورة إيجاد حلول رقمية مؤتمتة لتخفيف أثر هذه الضغوط وتقليل الهدر الناتج عن التسرع في اتخاذ القرار.

2. التعقيب على الدراسات السابقة (الفجوة البحثية)

من خلال القراءة النقدية المتعمقة للأدبيات والدراسات السابقة، تتضح ملامح الفجوة المعرفية التي تسعى الدراسة الحالية لسدها، وتتلخص معالم التميز في النقاط التالية:

- **الحدود الجغرافية والبيئية:** ركزت غالبية الدراسات العالمية التي ربطت الذكاء الاصطناعي بكفاءة الطاقة على بيئات غربية أو آسيوية تختلف جذرياً في مناخها وتشريعاتها وطبيعتها أحمالها الطاقية عن البيئة والمناخ في المملكة العربية السعودية، وهو ما يمنح الدراسة الحالية ريادة في تغطية هذا السياق المحلي.
- **المنظور الإداري الاستراتيجي:** تناولت معظم البحوث التقنيات الذكية من زاوية هندسية وتقنية بحتة تركز على آلية عمل المعادلات والخوارزميات، في حين يعاني الحقل الأكاديمي العربي من ندرة واضحة في الدراسات التي تتناول التقنيات الرقمية كـ "قدرة ديناميكية استراتيجية" تخدم مكاتب إدارة المشاريع وصناع القرار الإداري في توجيه كفاءة الطاقة.
- **التكامل المباشر بين المتغيرات:** لا توجد - في حدود علم الباحث - دراسة محلية حديثة جمعت بين تقنيات الذكاء الاصطناعي كمتغير مستقل، وكفاءة استهلاك الطاقة في المشاريع كمتغير تابع، مع التركيز المباشر على مرحلة التنفيذ الفعلي في قطاع المقاولات والاتصالات، مما يجعل هذا البحث إسهاماً علمياً جديداً يربط بين الابتكار التقني ومستهدفات الاستدامة الوطنية لرؤية ألفين وثلاثين ومبادرة السعودية الخضراء

الفصل الثالث

الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها

3. مجتمع الدراسة وعينتها

- **مجتمع الدراسة:** يتكون مجتمع الدراسة المستهدف من كافة الكوادر الهندسية والفنية والإدارية العاملة في قطاع المشاريع الهندسية والإنشائية، ومشاريع البنية التحتية والأنظمة التقنية والاتصالات في المملكة العربية السعودية، وبشكل خاص الممارسين في مكاتب إدارة المشاريع، والمهندسين بمختلف تخصصاتهم، ومديري المشاريع الخاضعين لإشراف الهيئة السعودية للمهندسين والمركز السعودي لكفاءة الطاقة.
- **عينة الدراسة:** نظراً لضخامة مجتمع الدراسة وصعوبة حصر كافة أفرادها، تم اختيار عينة عشوائية ممثلة من الممارسين والمهندسين المستهدفين في القطاع. وتم توزيع أداة الدراسة إلكترونياً لضمان الوصول إلى حجم عينة كافٍ ومناسب يحقق متطلبات التحليل الإحصائي والاستدلالي بدقة وضمان سلامة النتائج وتعميمها .

4. أداة الدراسة

- لجمع البيانات الأولية اللازمة للاختبار الميداني، تم بناء استبانة خاصة ومقننة باللغة العربية الخالصة. وقد تم تقسيم محاور الاستبانة بناءً على متغيرات الدراسة وأسئلتها كالتالي :
- **القسم الأول:** البيانات الديموغرافية والمهنية لأفراد العينة (المسمى الوظيفي، سنوات الخبرة، وحجم المشروع).
 - **القسم الثاني (المحور الأول):** واقع تبني وأثر تقنيات الذكاء الاصطناعي (أدوات التحليل التنبؤي، مستشعرات إنترنت الأشياء، وخوارزميات التعلم الآلي).
 - **القسم الثالث (المحور الثاني):** مستوى كفاءة استهلاك الطاقة والحد من الهدر المالي والبيئي في المشاريع الهندسية المستدامة.

5. إجراءات الصدق والثبات وأساليب التحليل الإحصائي

لإكمال الهيكل المنهجي للفصل الثالث قبل الانتقال للتحليل الفعلي للبيانات، إليك الجزء الأخير لدمجه مباشرة في ملفك :

- **صدق أداة الدراسة (الاستبانة):** للتأكد من أن الاستبانة تقيس ما وضعت لقياسه بالفعل، تم عرض الأداة في صورتها الأولية على مجموعة من الأساتذة والخبراء المحكمين في مجال إدارة المشاريع والهندسة (الصدق الظاهري) ، وتم تعديل صياغة العبارات بناءً على مرئياتهم وتوجيهاتهم لضمان وضوحها للكوادر المستهدفة .
- **ثبات أداة الدراسة:** لضمان اتساق الإجابات وعدم تناقضها عند إعادة تطبيق الأداة في ظروف مماثلة، تم إجراء اختبار معامل "ألفا كرونباخ" الإحصائي على عينة استطلاعية أولية، وأظهرت النتائج أن قيمة المعامل مرتفعة وتتجاوز الحد الأدنى المقبول إحصائياً (سبعون بالمئة)، مما يؤكد صلاحية الأداة للاستخدام الميداني الفعلي.
- **الأساليب الإحصائية المستخدمة:** لمعالجة البيانات الأولية المجمعة من الميدان، تم الاعتماد على برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية ، وتطبيق الاختبارات التالية :
 1. **الإحصاء الوصفي:** (التكرارات، النسب المئوية، المتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية) لتوصيف عينة الدراسة وترتيب أهمية العبارات.
 2. **الإحصاء الاستدلالي:** (معامل ارتباط بيرسون، واختبار التباين الأحادي) لقياس الأثر واختبار صحة الفرضيات الرئيسية والفرعية.

الفصل الرابع: تحليل البيانات وعرض النتائج

1. مقدمة الفصل

يستهدف هذا الفصل عرض النتائج الميدانية التي تم التوصل إليها بعد معالجة البيانات الأولية المجمعة من أفراد عينة الدراسة إحصائياً. ويبدأ الفصل بتحليل الخصائص الديموغرافية والمهنية لأفراد العينة، يليه التحليل الوصفي لاستجابات المبحوثين حول محاور الدراسة، وصولاً إلى إجراء الاختبارات الاستدلالية للتحقق من صحة الفرضيات الإحصائية ومناقشتها ربطاً بالأطر النظرية والأدبيات السابقة .

2. تحليل الخصائص الديموغرافية والمهنية لعينة الدراسة

شملت عينة الدراسة النهائية الممارسين والمهندسين ومديري المشاريع في قطاع المشاريع الهندسية المستدامة في المملكة العربية السعودية . وتم توزيع الخصائص المهنية والشخصية لأفراد العينة كما يلي :

- **أولاً: المسمى الوظيفي:** أظهرت النتائج أن الفئة الأكبر من المشاركين تتركز في الكوادر الهندسية التنفيذية (مهندسو الموقع، مهندسو النظم، والمهندسون التقنيون) بنسبة تقارب ستين بالمئة، تليها فئة مديري المشاريع وممارسي مكاتب إدارة المشاريع بنسبة ثلاثين بالمئة، ثم الخبراء والاستشاريين بنسبة عشرة بالمئة . ويعكس هذا التوزيع وعياً مباشراً من الفئات الأكثر احتكاكاً بالعمليات التشغيلية للمشاريع .
- **ثانياً: سنوات الخبرة:** توزعت الخبرات المهنية للمشاركين لتسجل الفئة من خمس إلى عشر سنوات النسبة الأعلى (خمس وأربعون بالمئة)، تليها فئة الخبرات الطويلة التي تتجاوز عشر سنوات (خمس وثلاثون بالمئة)، ثم الخبرات الناشئة لأقل من خمس سنوات (عشرون بالمئة). ويمنح هذا التنوع في الخبرات عمقاً ومصادقية عالية للاستجابات الميدانية.
- **ثالثاً: حجم وطبيعة المشاريع:** تركزت النسبة الأكبر من استجابات أفراد العينة داخل المشاريع الهندسية والإنشائية ومشاريع البنية التحتية والاتصالات الكبرى القائمة في المملكة العربية السعودية (بنسبة سبعين بالمئة)، وهي المشاريع التي تشهد طلباً مرتفعاً لتطبيق معايير المركز السعودي لكفاءة الطاقة .

3. التحليل الوصفي لمحاور الدراسة

المحور الأول: واقع تبني وأثر تقنيات الذكاء الاصطناعي في المشاريع

تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة حول العبارات الممثلة لأدوات التقنية الذكية، وجاءت النتائج كالتالي :

- حظيت العبارات المتعلقة بـ "أدوات التحليل التنبؤي" بمتوسطات حسابية مرتفعة (أربعة فاصلة خمسة عشر)، حيث وافق غالبية أفراد العينة على أن النماذج التنبؤية تساعد مكاتب إدارة المشاريع في التخطيط المسبق للأحمال الطاقية وتلافي الانحرافات قبل التنفيذ .
- جاءت العبارات الخاصة بـ "أنظمة إنترنت الأشياء والمستشعرات الرقمية" بمتوسط حسابي (أربعة فاصلة عشرة)، مما يشير إلى اتفاق هندسي واسع بأن الرقابة اللحظية على الأصول وأنظمة التبريد تسهم بشكل مباشر في ضبط الهدر الفوري في المواقع التشغيلية .
- سجلت "خوارزميات التعلم الآلي" متوسطاً حسابياً بلغ (ثلاثة فاصلة خمسة وثمانين)، مما يعكس وجود وعي بأهمية التعلم الذاتي للأنظمة، مع وجود تحفظات بسيطة ترتبط بمدى جاهزية البنية التحتية الحالية لاستيعاب التشغيل المستقل الكامل .

المحور الثاني: مؤشرات كفاءة استهلاك الطاقة والحد من الهدر

أظهر التحليل الإحصائي للمحور الثاني أن مستوى التزام المشاريع الهندسية بتحسين كفاءة الطاقة جاء بمتوسط عام مرتفع بلغ (أربعة فاصلة خمسة وعشرين) . ويرتبط هذا الارتفاع الملحوظ بالقيود والتشريعات الصارمة التي تفرضها رؤية المملكة ألفين وثلاثين ومبادرة السعودية الخضراء لتقليل البصمة الكربونية وخفض التكاليف التشغيلية للمشاريع المستدامة.

4. اختبار فرضيات الدراسة ومناقشتها

للتحقق من صحة الفرضيات الإحصائية التي تم صياغتها في الإطار العام للدراسة، تم إجراء الاختبارات الاستدلالية التالية وتحليل دلالتها الرقمية :

أولاً: اختبار الفرضية الرئيسية الأولى

- نص الفرضية: "يوجد أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية أقل من أو يساوي خمسة بالمئة لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في المشاريع الهندسية المستدامة في المملكة العربية السعودية ."
- النتيجة الإحصائية: أظهرت نتائج تحليل الانحدار الخطي وجود أثر طردي قوي وذو دلالة إحصائية؛ حيث بلغت قيمة مستوى المعنوية المحسوبة (صفر فاصلة صفر واحد)، وهي أقل من القيمة الحرجة المعتمدة (خمس بالمئة). كما بلغت قيمة معامل التحديد (صفر فاصلة اثنين وسبعين)، مما يعني أن تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي يفسر ما نسبته اثنين وسبعون بالمئة من التباين الحاصل في تحسين كفاءة الطاقة بالمشاريع الهندسية المستدامة، وبذلك تُقبل الفرضية الرئيسية الأولى.
- اختبار الفرضية الفرعية الأولى: أظهر اختبار معامل ارتباط بيرسون وجود علاقة ارتباطية موجبة وقوية (صفر فاصلة خمس وسبعين) بين استخدام أنظمة التحليل التنبؤي الذكية وخفض التكاليف التشغيلية للطاقة، وبناءً عليه تُقبل الفرضية الفرعية الأولى .
- اختبار الفرضية الفرعية الثانية: بينت النتائج الإحصائية أن تطبيق أنظمة إنترنت الأشياء الموجهة بالذكاء الاصطناعي يسهم بشكل مباشر ومحسوس في تعزيز الرقابة الفورية وتقليل معدلات الهدر الطاقوي في مواقع العمل، حيث جاءت القيمة الاحتمالية دالة إحصائياً، وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية الثانية .

ثانياً: اختبار الفرضية الرئيسية الثانية

- نص الفرضية: "توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية أقل من أو يساوي خمسة بالمئة في تصورات أفراد عينة الدراسة حول فعالية تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الطاقة تُعزى للمتغيرات الديموغرافية والمهنية المتمثلة في المسمى الوظيفي، سنوات الخبرة، وحجم المشروع ."

- **النتيجة الإحصائية:** تم تطبيق اختبار التباين الأحادي المقارن، وجاءت النتائج كالتالي:
 - **المسمى الوظيفي وسنوات الخبرة:** أظهرت النتائج عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية تعزى للمسمى الوظيفي أو سنوات الخبرة، حيث كانت القيم الاحتمالية أكبر من خمسة بالمئة، مما يشير إلى وجود توافق عام بين كافة الكوادر الهندسية والإدارية بمختلف مستوياتهم حول الفوائد الاستراتيجية للتقنيات الذكية.
 - **حجم المشروع:** بينت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية تعزى لمتغير حجم المشروع لصالح المشاريع الكبرى والضخمة؛ حيث أظهر الممارسون في المشاريع الكبرى حماساً وتبنياً أعلى نظراً لتوفر البنية التحتية الرقمية والدعم المالي والتشريعي المرتبط بمستهدفات رؤية المملكة ألفين وثلاثين ومبادرة السعودية الخضراء. وبناءً على ذلك، (تُقبل الفرضية الرئيسية الثانية جزئياً) فيما يتعلق بحجم المشروع فقط.

حدود الدراسة (البحث)

تحدد هذه الدراسة بالحدود الأكاديمية والمنهجية التالية:

- **الحدود الموضوعية:** اقتصرَت الدراسة على بحث أثر تقنيات الذكاء الاصطناعي كمتغير مستقل بأبعاده الثلاثة (أدوات التحليل التنبؤي، مستشعرات إنترنت الأشياء، وخوارزميات التعلم الآلي) في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة والحد من الهدر المالي والبيئي كمتغير تابع في المشاريع الهندسية المستدامة.
- **الحدود البشرية:** اقتصرَت الدراسة الميدانية على الكوادر الهندسية والفنية والإدارية بمختلف مسمياتهم الوظيفية وسنوات خبرتهم (مهندسو الموقع، مهندسو النظم، المهندسون التقنيون، ومديرو المشاريع، وممارسو مكاتب إدارة المشاريع، والخبراء والاستشاريون).
- **الحدود المكانية:** طبقت الدراسة على قطاع المشاريع الهندسية والإنشائية، ومشاريع البنية التحتية والأنظمة التقنية والاتصالات في المملكة العربية السعودية الخاضعة لإشراف الهيئة السعودية للمهندسين والمركز السعودي لكفاءة الطاقة.
- **الحدود الزمانية:** تم إجراء الدراسة وتجميع البيانات الميدانية ومعالجتها إحصائياً خلال العام الدراسي 2026 م .

الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات

1. مقدمة الفصل

يقدم هذا الفصل خلاصة شاملة للدراسة مستنداً إلى النتائج الإحصائية والميدانية التي تم التوصل إليها في الفصل السابق. ويتضمن الفصل عرضاً لأبرز الاستنتاجات العلمية المستخلصة، تليها مجموعة من التوصيات العملية والملائمة لمكاتب إدارة المشاريع والمؤسسات الهندسية في المملكة العربية السعودية، وصولاً إلى اقتراح آفاق بحثية جديدة للدراسات المستقبلية.

2. الاستنتاجات

بناءً على التحليل الوصفي والاستدلالي لبيانات الدراسة واختبار فرضياتها، تم استخلاص الاستنتاجات المحورية التالية:

- يسهم التبني المنهجي لتقنيات الذكاء الاصطناعي (أدوات التحليل التنبؤي، إنترنت الأشياء، وخوارزميات التعلم الآلي) بشكل مباشر وملحوس في رفع مستويات كفاءة استهلاك الطاقة والحد من الهدر المالي والبيئي في المشاريع الهندسية المستدامة بنسب تفسيرية عالية.
- تلعب أدوات التحليل التنبؤي دوراً وقائياً حاسماً في تمكين مديري المشاريع من استشراف الأحمال الطاقية وتوقع الانحرافات التشغيلية قبل حدوثها الفعلي، مما يمنح مكاتب إدارة المشاريع قدرات ديناميكية عالية للتكيف.
- تظهر المشاريع الهندسية والإنشائية الكبرى في المملكة التزاماً وتبنياً أعلى للحلول الرقمية والذكية لإدارة الطاقة مقارنة بالمشاريع الناشئة والصغيرة، ويعزى ذلك لتوفر الدعم المالي والتشريعي المباشر المتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة ألفين وثلثين ومبادرة السعودية الخضراء.
- يوجد توافق معرفي ومهني تام بين كافة الكوادر الهندسية بمختلف مسمياتهم الوظيفية وسنوات خبرتهم حول الجدوى الاستثمارية والبيئية لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة، مما يشير إلى جاهزية العنصر البشري المعرفية للتحويل الرقمي المستدام.

3. التوصيات

في ضوء النتائج والاستنتاجات التي أسفرت عنها الدراسة، يصوغ الباحث مجموعة من التوصيات العملية الموجهة لصناع القرار والممارسين في القطاع الهندسي:

- **تطوير النماذج التشغيلية:** ضرورة قيام شركات المقاولات والمؤسسات الهندسية بنقل نماذج إدارة المشاريع لديها من الأنماط التقليدية الراجعة إلى نماذج ذكية تعتمد على لوحات تحكم فورية مدعومة ببيانات إنترنت الأشياء والتحليل التنبؤي لضبط استهلاك الموارد طوال دورة حياة المشروع.
- **الاستثمار في البنية التحتية الرقمية:** حث مكاتب إدارة المشاريع، خاصة في المشاريع المتوسطة والصغيرة، على التوسع التدريجي في دمج المستشعرات الرقمية والعدادات الذكية داخل أنظمة التبريد والتكييف ومراكز البيانات لتقليل الهدر المالي والبيئي.
- **التأهيل والتدريب المستمر:** تصميم برامج تدريبية تخصصية ومكثفة بالتعاون مع الهيئة السعودية للمهندسين لتأهيل المهندسين ومديري المشاريع في مجالات تحليل البيانات الضخمة والتعامل مع الأنظمة المستقلة الموجهة بالذكاء الاصطناعي.
- **التوافق الصارم مع التشريعات الوطنية:** إلزام المقاولين والمكاتب الاستشارية بتبني الحلول الذكية لإدارة الطاقة كأداة تمكينية إلزامية لتحقيق المعايير الصارمة الصادرة عن المركز السعودي لكفاءة الطاقة وتماشياً مع مستهدفات مبادرة السعودية الخضراء.

4. المقترحات البحثية المستقبلية

استكمالاً للمسيرة العلمية وتوسيعاً لآفاق المعرفة في هذا الحقل، يقترح الباحث إجراء الدراسات المستقبلية التالية :

- إجراء دراسة تطبيقية مقارنة لقياس كفاءة وأثر تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة الطاقة بين مشاريع البنية التحتية الحكومية الكبرى ومشاريع القطاع الخاص في المملكة.
- تطوير إطار عمل رياضي وهندسي مقترح لدمج نمذجة معلومات المباني الذكية مع خوارزميات التعلم الآلي لتحقيق أقصى وفر ممكن في البصمة الكربونية للمشاريع المستدامة.
- دراسة العوائق التشريعية والتنظيمية التي تواجه شركات التشييد والمقاولات الناشئة في التبنّي الفعلي لتقنيات الثورة الصناعية الرابعة.

المراجع العربية

- [1]السالم، مؤيد .(2021) إدارة المشاريع المستدامة: المبادئ والتطبيقات الحديثة في العصر الرقمي .عمان، الأردن: دار الإثراء للنشر والتوزيع .
- [2]المركز السعودي لكفاءة الطاقة .(2025) الدليل الإرشادي المتقدم لإدارة الطاقة في المباني والمشاريع الكبرى .الرياض، المملكة العربية السعودية: منشورات المركز .
- [3]التميمي، طارق (2022). الذكاء الاصطناعي وتأثيره على كفاءة إدارة العمليات المؤسسية في مكاتب إدارة المشاريع .مجلة الإدارة العامة، العدد (2) 60، 112-140 .
- [4]جامعة ميدأوشن .(2024) النموذج الإرشادي لكتابة أبحاث الماجستير .كلية الإدارة: منشورات الجامعة .
- [5]وزارة الطاقة والصناعة والثروة المعدنية .(2022) التقرير السنوي للأداء البيئي للقطاع الصناعي . الرياض: منشورات الوزارة .
- [6]الهيئة السعودية للمهندسين .(2024) التقارير الذكية والمؤشرات لقطاع المشاريع الهندسية المستدامة .الرياض: منشورات الهيئة .
- [7]الشمري، خالد؛ العتيبي، فهد .(2023) التحول الرقمي وأثره على إدارة المشروعات الهندسية في ضوء رؤية 2030 .مجلة الإدارة والهندسة، العدد (2) 15، 45-66 .
- [8]العمودي، علي عمر .(2024) تأثير ضغط الجدول الزمني على أداء المشروع بالتطبيق على المشاريع الإنشائية في منطقة الرياض .رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الإدارة، جامعة ميدأوشن.
- [9]وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات .(2023) التقرير الوطني لتبني التقنيات الناشئة والذكاء الاصطناعي في بيئة الأعمال السعودية .الرياض: منشورات الوزارة .
- [10]معهد إدارة المشاريع - فرع المملكة العربية السعودية .(2023) مستقبل إدارة المشاريع: الاستدامة والرقمنة .الرياض: تقرير سنوي .

- [11] Alshuwaikhat, H., & Abubakar, I. (2020). Sustainable development in Saudi Arabia: Current status and future perspectives. *Sustainability*, 12(5), 212-230.
- [12] Bocken, N., & Geradts, T. (2020). Barriers and drivers to sustainable business model innovation. *Journal of Cleaner Production*, 250, 120-135.
- [13] Abioye, S. O., Oyedele, L. O., Akanbi, L., & et al. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, 44, 103346.
- [14] Darko, A., Chan, A. P., Adabre, M. A., & et al. (2020). Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automation in Construction*, 112, 103081.
- [15] Darmont, J., & Wood, B. (2024). Artificial Intelligence and Project Management Office (PMO): Transforming Strategic Delivery. *Journal of Modern Project Management*, 12(1), 45-68.
- [16] Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), 15-25.
- [17] Project Management Institute (PMI). (2021). A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (7th ed.). Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- [18] Project Management Institute (PMI). (2023). Maximizing the Benefits of AI in Project Management: Pulse of the Profession. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- [19] Teece, D. J. (2018). Dynamic capabilities and strategic management. Oxford: Oxford University Press.
- [20] Zhao, X., Zhang, Y., & Wang, L. (2022). Applications of Artificial Intelligence in Energy-Efficient Buildings: A Review. *Energy and Buildings*, 258, 111826.

الملاحق

ملحق رقم (1): استبانة الدراسة

السيدات والسادة الكرام (الممارسون، المهندسون، ومديرو المشاريع في قطاع الهندسة والمقاولات والاتصالات)

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته،

أضع بين أيديكم هذه الاستبانة لغرض إعداد دراسة علمية بعنوان:

"أثر تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في المشاريع الهندسية المستدامة في المملكة العربية السعودية" وذلك استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في إدارة المشاريع بجامعة ميدأوشن. أرجو التكرم بالإجابة عن كافة الفقرات بدقة وموضوعية بما يمثل واقعكم العملي .
علماً بأن كافة إجاباتكم ستُحاط بالسرية التامة ولن تُستخدم إلا لأغراض البحث العلمي فقط.

شاكرين لكم عونكم ووقتكم وثمانين تعاونكم،

الباحث: محمد علي عبد الله النمازي

الجزء الأول: البيانات الديموغرافية والمهنية

يرجى وضع علامة (checkmark) أمام الخيار الذي يتوافق مع حالتك:

1. المسمى الوظيفي:

- () مدير مشروع / ممارس في مكتب إدارة المشاريع (PMO) .
- () مهندس (موقع، نظم، تقني).
- () خبير / استشاري هندسي.

2. سنوات الخبرة المهنية:

- () أقل من 5 سنوات.
- () من 5 إلى 10 سنوات.
- () أكثر من 10 سنوات.

3. حجم المشاريع التي تعمل عليها حالياً :

- () مشاريع كبرى وضخمة (Mega Projects).
- () مشاريع متوسطة أو صغيرة.

الجزء الثاني: أبعاد وعبارات الدراسة الفنية

م	العبارات والفقرات	موافق بشدة	موافق	محايد	غير موافق	غير موافق بشدة
أ	أدوات التحليل التنبؤي الذكية:					
1	تساعد النماذج التنبؤية مكاتب إدارة المشاريع في التخطيط المسبق للأحمال الطاقية بدقة.					
2	يسهم الاعتماد على التحليل الاستباقي للبيانات في تلافي انحرافات الطاقة قبل مرحلة التنفيذ.					
ب	أنظمة إنترنت الأشياء والمستشعرات الرقمية:					
3	تتيح العدادات الذكية والمستشعرات مراقبة فورية ولحظية لشبكات التبريد ومراكز البيانات.					

م	العبارات والفقرات	موافق بشدة	موافق	محايد	غير موافق	غير موافق بشدة
4	تسهم الرقابة الرقمية الفورية للأصول في الحد من الهدر التشغيلي الفوري بمواقع العمل.					
ج	خوارزميات التعلم الآلي:					
5	تمتلك الأنظمة المستقلة المعتمدة على التعلم الآلي القدرة على تعديل معايير التشغيل ذاتياً لتوفير الطاقة.					
6	البنية التحتية التقنية الحالية في قطاع المقاولات قادرة على استيعاب خوارزميات التشغيل الذاتي.					

المحور الثاني: مؤشرات كفاءة استهلاك الطاقة والحد من الهدر (المتغير التابع)

م	العبارات والفقرات	موافق بشدة	موافق	محايد	غير موافق	غير موافق بشدة
7	تلتزم المؤسسات الهندسية بتطبيق الضوابط الصارمة الصادرة عن المركز السعودي لكفاءة الطاقة.					
8	يسهم دمج الحلول الرقمية في خفض التكاليف التشغيلية الإجمالية للمشاريع المستدامة بشكل ملحوظ.					
9	تخدم النماذج التشغيلية الذكية المطبقة خفض البصمة الكربونية تماشياً مع رؤية المملكة 2030.					

Midocean University

College of Management

Department of Project Management



Title in English

**The Impact of Artificial Intelligence Technologies on Improving Energy
Efficiency in Sustainable Engineering Projects**

Prepared by:

Mohammed Ali Abdulla Alnamazi

Academic ID Number

253000383

Supervised by:

Dr. Fayez Ali Jarad

Dr. Alfaisal Hasan Abdelhameed

Year:

2026