

جامعة ميدأوشن



كلية الإدارة

ماجستير ادارة المشاريع

تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة عبر توظيف الذكاء الاصطناعي
في جدولة المشروع وضبط التكلفة: دراسة تطبيقية على الشركة
السعودية للطاقة

إعداد الطالب/

ريان فلاح الصقر القحطاني

253002126

المشرف الثاني/

د.فايز جراد

المشرف الرئيسي/

د. الفیصل عبد الحمید

العام الدراسي:

2026 – 1448



إِهْدَاء

إلى من كانت دعواتها نورًا يضيء عتمة الطريق، وإلى من كان سندًا وعونًا في كل خطوة...

إلى القلب الذي منحني الحب دون مقابل، والروح التي غرست في داخلي الإيمان بأن لكل تعب ثمرة، أهدي هذا الجهد المتواضع.

إلى والديّ العزيزين...

مهما نسجت الكلمات، فلن تفيكما حقكما، ومهما بلغت من نجاح، فأنتم أصل كل نجاح.

إلى إخوتي وأخواتي...

أنتم الرفقة الجميلة، والسند الذي يهون معه كل طريق.

إلى كل معلم علّمني حرفًا، وكل أستاذ أرشدني إلى طريق العلم، فكان له أثر لا ينسى في مسيرتي.

إلى كل من وقف بجانبني بكلمة صادقة، أو دعوة خالصة، أو موقف نبيل، فكان سببًا في مواصلة الطريق.

إلى كل من آمن بقدرتي قبل أن أصل، وإلى كل من شاركني الحلم حتى أصبح حقيقة.

وأخيرًا...

أهدي ثمرة هذا الجهد إلى نفسي، التي صبرت، واجتهدت، وتعثرت ثم نهضت، وآمنت أن الوصول يستحق كل هذا العناء.



أحمد الله عز وجل الذي وفقني في إتمام هذا البحث العلمي.

والذي ألهمني الصحة والعافية والعزيمة.

فالحمد لله حمداً كثيراً

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ الدكتور

أ.د / الفیصل عبد الحمید

أ.د/ فايز جراد

على كل ما قدمناه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع دراستنا في جوانبها المختلفة.

والشكر والتقدير موصول إلى إدارة جامعة ميد أوشن ممثلة بالكادر الأكاديمي والإداري، لما قدموه من تسهيلات وتشجيع وتوفير الخدمات المطلوبة.

كما أتقدم بالشكر الجزيل لكل من لم يسعني الحظ بذكر أسمائهم راجية من المولي عز وجل أن تكون هذه الدراسة نافذة لدراسات أخرى .

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على أثر توظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده الأربعة المتمثلة في التخطيط والجدولة الذكية، والتحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، والتحسين الآلي لتخصيص الموارد، والمراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي، على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة. واعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتم تطوير استبانة بوصفها أداة رئيسة لجمع البيانات، وتكون مجتمع الدراسة من العاملين في الإدارات المعنية بمشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة والبالغ عددهم 320 موظفًا، واستخدمت العينة العشوائية الطبقية، إذ بلغ عدد الاستبانات الصالحة للتحليل 170 استبانة. وتمت معالجة البيانات إحصائياً باستخدام برنامج (SPSS) عبر جملة من الأساليب الإحصائية، شملت المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية ومعامل ألفا كرونباخ ومعامل ارتباط بيرسون وتحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد. وتوصلت الدراسة إلى وجود أثر ذي دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتوظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده الأربعة على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة، إذ فسرت هذه الأبعاد مجتمعة ما نسبته (71.7%) من التباين في المتغير التابع، وجاء بعد المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي في المرتبة الأولى من حيث الأثر، يليه بعد التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف. وأوصت الدراسة بتعزيز الاستثمار في منظومات المراقبة اللحظية، وتطوير قدرات التحليلات التنبؤية، وبناء كوادر بشرية متخصصة في الذكاء الاصطناعي، وتوظيف أدوات التمويل المستدام في تمويل المشاريع الذكية.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، التخطيط والجدولة الذكية، التحليلات التنبؤية، تخصيص الموارد، المراقبة بالوقت الفعلي، أداء المشاريع، الطاقة المتجددة، الشركة السعودية للطاقة.

قائمة المحتويات

أ.....	بسم الله الرحمن الرحيم
ب.....	الإهداء
ج.....	الشكر والتقدير
د.....	المستخلص
ه.....	قائمة المحتويات
ح.....	قائمة الجداول
1.....	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة
1.....	1.1 المقدمة
2.....	2.1 مشكلة الدراسة
4.....	3.1 أهداف الدراسة
5.....	4.1 أسئلة الدراسة
5.....	5.1 فروض الدراسة
6.....	6.1 أهمية الدراسة
8.....	7.1 الدراسات السابقة
15.....	8.1 الفجوة البحثية
16.....	9.1 المنطلقات النظرية للدراسة
19.....	10.1 المنهجية وطرق البحث
20.....	11.1 مجتمع الدراسة وعينتها
20.....	12.1 مصادر جمع البيانات
20.....	13.1 أداة الدراسة (الاستبانة)
22.....	14.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة
22.....	15.1 حدود الدراسة
24.....	الفصل الثاني: الإطار النظري

المبحث الأول: توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع	24
1.1.2 تمهيد	24
2.1.2 مفهوم توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع	24
3.1.2 أهمية توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع	26
4.1.2 أهداف توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع	27
5.1.2 أبعاد توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع	29
6.1.2 استراتيجيات توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع	32
المبحث الثاني: تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	34
1.2.2 تمهيد	34
2.2.2 مفهوم تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	34
3.2.2 أهمية تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	36
4.2.2 أهداف تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	38
5.2.2 أبعاد تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	39
6.2.2 استراتيجيات تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	42
الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها	44
1.3 تمهيد	44
2.3 منهج الدراسة	44
3.3 مجتمع الدراسة وعينتها	45
4.3 أداة الدراسة	46
5.3 صدق أداة الدراسة وثباتها	47
6.3 مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة	50
7.3 الأساليب الإحصائية المستخدمة	51
الفصل الرابع: عرض نتائج الدراسة وتحليلها	53
1.4 تمهيد	53
2.4 تحليل البيانات الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة	53

54.....	3.4 التحليل الوصفي لاستجابات أفراد العينة على متغيرات الدراسة
60.....	4.4 اختبار فرضيات الدراسة
67.....	الفصل الخامس: نتائج الدراسة وتوصياتها
67.....	1.5 تمهيد
67.....	2.5 نتائج الدراسة
71.....	3.5 توصيات الدراسة
72.....	4.5 المقترحات بالدراسات المستقبلية
74.....	Abstract
75.....	المراجع
78.....	الملاحق
79.....	استمارة استبيان

قائمة الجداول

رقم الجدول	اسم الجدول	رقم الصفحة
1.	جدول (3 - 1): توزيع استبانات الدراسة على مجتمع الدراسة وعينتها	45
2.	جدول (3 - 2) مقياس ليكرت الخماسي لقياس استجابات أفراد العينة على فقرات القسمين الثاني والثالث	46
3.	جدول (3 - 3): معاملات ارتباط فقرات المتغير المستقل بالدرجة الكلية لأبعادها	47
4.	جدول (3 - 4): معاملات ارتباط فقرات المتغير التابع بالدرجة الكلية للمتغير	48
5.	جدول (3 - 5): معاملات ارتباط أبعاد المتغير المستقل بالدرجة الكلية له	49
6.	جدول (3 - 6): معاملات ثبات أداة الدراسة	49
7.	جدول (3 - 7): مصفوفة معاملات الارتباط بين متغيرات الدراسة ($n = 170$)	50
8.	جدول (4 - 1): توزيع أفراد عينة الدراسة وفقاً لمتغيراتهم الديموغرافية والوظيفية ($n = 170$)	53
9.	جدول (4 - 2): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات بُعد التخطيط والجدولة الذكية	55
10.	جدول (4 - 3): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات بُعد التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف	56
11.	جدول (4 - 4): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات بُعد التحسين الآلي لتخصيص الموارد	56

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
57	جدول (4 - 5): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات بُعد المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي	12.
58	جدول (4 - 6): الترتيب الإجمالي لأبعاد المتغير المستقل (توظيف الذكاء الاصطناعي)	13.
59	جدول (4 - 7): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات المتغير التابع	14.
60	جدول (4 - 8): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد توظيف الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	15.
62	جدول (4 - 9): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التخطيط والجدولة الذكية على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	16.
63	جدول (4 - 10): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	17.
64	جدول (4 - 11): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التحسين الآلي لتخصيص الموارد على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	18.
66	جدول (4 - 12): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	19.

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 المقدمة

تُعدّ مشاريع الطاقة المتجددة من أبرز الركائز الاستراتيجية التي تعتمد عليها الدول في تحقيق التنمية المستدامة وتنويع مصادر الطاقة والحدّ من الاعتماد على الوقود الأحفوري، إذ يشهد العالم تحولاً جوهرياً نحو مصادر الطاقة النظيفة بما فيها الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة البحرية، في ظل تنامي المخاوف البيئية والتزام المجتمع الدولي بخفض انبعاثات الغازات الدفيئة. وقد أصبحت هذه المشاريع تستقطب استثمارات ضخمة تستلزم إدارة رشيدة قائمة على أسس علمية ثابتة تضمن تحقيق أهدافها الزمنية والمالية والفنية، لا سيما أن المشاريع بمختلف أنواعها لا يمكن أن تنجح إلا بوجود إدارة فعّالة تراعي التخطيط الدقيق والمتابعة المستمرة والتحكم في الموارد والتكاليف (نجم، 2025).

وتكتسب مشاريع الطاقة المتجددة أهمية متزايدة في منطقة الشرق الأوسط عموماً والمملكة العربية السعودية خصوصاً، حيث تسعى المملكة في إطار رؤية 2030 إلى تحقيق نقلة نوعية في قطاع الطاقة النظيفة. وقد أكدت الدراسات أن تنمية مشاريع الطاقة المتجددة تسهم بشكل مباشر في تحقيق أبعاد التنمية المستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية، وأن نجاح هذه المشاريع يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمدى مراعاة الأثر البيئي والاجتماعي وتبني الابتكار التكنولوجي في مراحل التخطيط والتنفيذ (علي ومحمد، 2025).

وفي سياق إدارة هذه المشاريع، تبرز جدولة المشروع وضبط التكلفة بوصفهما ركيزتين محوريّتين تُحددان نجاح المشروع أو إخفاقه، إذ إن الوقت والتكلفة يُشكّلان عاملين حاسمين في تقييم أداء أي مشروع، وأن أساليب الجدولة كبرى والمسار الحرج تُوفّر معلومات جوهرية للتحليل والسيطرة على شبكة أعمال المشاريع بهدف تحقيق الوقت الأمثل للإنتهاء في ظل الموارد المتاحة وبأقل تكاليف ممكنة (نجم، 2012). كما أن التحليل الشبكي يُمثّل وسيلة فعّالة في جدولة تكاليف المشروعات وتقدير الموارد المالية اللازمة لإنجاز الأنشطة ضمن المدد الزمنية المتوقعة، مما يسهم في إحكام الرقابة المالية والزمنية على المشاريع الإنشائية وضمان سيرها وفق الخطط الموضوعية (تلي وكارش، 2021).

وفي المقابل، يُشكّل الذكاء الاصطناعي ثورة تقنية تُعيد تشكيل آليات العمل في مختلف القطاعات، إذ أثبتت تقنياته المتنوعة من تعلّم آلي وتحليلات تنبؤية وشبكات عصبية قدرتها الفائقة على تحسين أنظمة

الطاقة المتجددة وتعزيز كفاءتها من خلال التنبؤ الدقيق بإنتاج الطاقة وإدارة الشبكات الذكية وتحسين عمليات الصيانة والتشغيل. (Ukoba et al., 2024) وتمتد تطبيقات الذكاء الاصطناعي لتشمل إدارة أنظمة الطاقة المتجددة المتغيرة بأنواعها المختلفة، حيث أثبتت تقنيات التعلم العميق والنماذج الهجينة فاعلية كبيرة في التنبؤ بتوليد الطاقة وإدارة الطلب وتحسين أنظمة التخزين ومراقبة الأداء وإدارة التكاليف (Yousef et al., 2023).

ويمثل التقاطع بين تقنيات الذكاء الاصطناعي وإدارة مشاريع الطاقة المتجددة مساحة بحثية واعدة، لا سيما في مجال تطبيق خوارزميات التخطيط والجدولة الذكية على مشاريع بناء المحطات الكهروضوئية، حيث أظهرت هذه الخوارزميات تفوقاً ملحوظاً على الأساليب التقليدية من حيث تقليل التأخيرات وتحسين تخصيص الموارد وخفض التكاليف الإجمالية. (Ruiz et al., 2025)

وانطلاقاً مما سبق، تأتي هذه الدراسة لتستقصي أثر توظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده المتمثلة في التخطيط والجدولة الذكية والتحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف والتحسين الآلي لتخصيص الموارد والمراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة، وذلك بالتطبيق على الشركة السعودية للطاقة بوصفها إحدى الشركات الرائدة في تطوير مشاريع الطاقة المتجددة في المملكة والمنطقة، سعياً نحو تقديم إسهام علمي وعملي يُعزز من كفاءة إدارة هذه المشاريع الحيوية في ضوء التحول الرقمي ومتطلبات رؤية 2030.

2.1 مشكلة الدراسة

يشهد قطاع الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية توسعاً غير مسبوق في إطار رؤية 2030 التي تستهدف رفع حصة الطاقة المتجددة إلى 50% من مزيج الطاقة الوطني، وهو ما يتجسد في إطلاق عشرات المشاريع الضخمة في مجالي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بقيمة استثمارية تتجاوز مئات المليارات من الريالات. غير أن هذا التوسع الطموح يواجه تحديات هيكلية وتشغيلية جوهرية تتمحور حول قصور المنهجيات التقليدية المستخدمة في جدولة المشاريع وضبط تكاليفها عن مواكبة التعقيد المتنامي لهذه المشاريع من حيث الحجم والتداخل الفني والتشابك بين الأنشطة وتعدد أصحاب المصلحة، مما يفضي إلى تجاوزات زمنية ومالية تقوّض الجدوى الاقتصادية لهذه المشاريع وتبطئ مسيرة التحول الطاقوي المنشود.

وتُشير الدراسات الدولية إلى أن مشاريع الطاقة المتجددة تعاني عالمياً من نسب تأخر تتراوح بين 20% و45% عن الجداول الزمنية المخططة، وتجاوزات في التكاليف تصل إلى 30% من الميزانيات الأصلية، وذلك نتيجة عوامل متشعبة تشمل عدم دقة التقديرات الأولية، وضعف التنبؤ بالمخاطر، وقصور آليات تخصيص الموارد، ومحدودية أنظمة الرصد والتحكم اللحظي في الأداء. ولا يبتعد واقع مشاريع الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية عن هذا السياق العالمي، إذ تواجه الشركة السعودية للطاقة بوصفها إحدى أكبر شركات تطوير مشاريع الطاقة المتجددة في المنطقة تحديات مماثلة تتعلق بالفجوة الواسعة بين التخطيط النظري والتنفيذ الفعلي للمشاريع، لا سيما في ظل الاعتماد شبه الكلي على الأساليب التقليدية في جدولة المشاريع كأسلوب المسار الحرج (CPM) ومخططات جانت (Gantt Charts) وأسلوب بيرت (PERT)، والتي رغم أهميتها الأساسية تظل عاجزة عن التعامل الديناميكي مع المتغيرات المتلاحقة والبيانات الضخمة والسيناريوهات المتعددة التي تُميز بيئة مشاريع الطاقة المتجددة.

وفي الوقت الذي أثبتت فيه تقنيات الذكاء الاصطناعي قدرات فائقة في قطاعات صناعية متعددة كالصنيع والرعاية الصحية والخدمات المالية من حيث تحسين التنبؤ والأتمتة وتعزيز اتخاذ القرار، فإن توظيف هذه التقنيات في إدارة مشاريع الطاقة المتجددة لا يزال في مراحله الأولى عربياً وإقليمياً. وقد أكدت دراسة (Hameed et al., 2025) أن صناعة البناء والمشاريع تُعدّ من أبطأ القطاعات في تبني الذكاء الاصطناعي رغم الإمكانيات الهائلة التي تُوفرها هذه التقنيات، كما أشارت دراسة (Ruiz et al., 2025) إلى أن خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التخطيط والجدولة تفوقت بشكل ملحوظ على الأساليب التقليدية في مشاريع بناء المحطات الكهروضوئية. وعلى الصعيد العربي، كشفت دراسة (الحسن، 2025) عن أهمية تبني التكنولوجيا في مراقبة جودة المشاريع الإنشائية، بينما أوصت دراسة (الدويري وعبادة، 2024) بضرورة الاستفادة القصوى من تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير المشاريع، إلا أن أيّاً من هذه الدراسات لم يتناول بشكل متكامل أثر توظيف الذكاء الاصطناعي في جدولة مشاريع الطاقة المتجددة وضبط تكاليفها في السياق السعودي تحديداً.

وعليه، تتبلور مشكلة الدراسة في وجود فجوة واضحة بين الإمكانيات الكبيرة التي تُتيحها تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجالات التخطيط والجدولة الذكية والتحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف والتحسين الآلي لتخصيص الموارد والمراقبة اللحظية للأداء من جهة، وبين محدودية توظيف هذه التقنيات فعلياً في إدارة مشاريع الطاقة المتجددة بالشركة السعودية للطاقة من جهة أخرى. وتزداد حدة هذه المشكلة في ظل تسارع وتيرة إطلاق مشاريع الطاقة المتجددة الجديدة وتضخم أحجامها وتعقّد متطلباتها الفنية والمالية،

مما يجعل الحاجة ماسة إلى استقصاء هذا الأثر علمياً وتقديم حلول عملية قائمة على الأدلة. ومن هنا تسعى الدراسة الحالية إلى الإجابة عن التساؤل الجوهري التالي: نما أثر توظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده (التخطيط والجدولة الذكية، التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، التحسين الآلي لتخصيص الموارد، المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي) على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة؟

3.1 أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة أثر توظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده (التخطيط والجدولة الذكية، التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، التحسين الآلي لتخصيص الموارد، المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي) على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.

وينفرد من هذا الهدف الرئيسي الأهداف الفرعية التالية:

- التعرف على أثر التخطيط والجدولة الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.
- الكشف عن أثر التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف المدعومة بالذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.
- تحديد أثر التحسين الآلي لتخصيص الموارد باستخدام الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.
- استقصاء أثر المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي المستندة إلى الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.
- تحليل واقع توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة مشاريع الطاقة المتجددة بالشركة السعودية للطاقة.
- تحديد أبرز المعوقات والتحديات التي تواجه توظيف الذكاء الاصطناعي في جدولة المشاريع وضبط التكاليف في قطاع الطاقة المتجددة بالمملكة العربية السعودية.
- تقديم إطار مقترح لتوظيف الذكاء الاصطناعي في جدولة مشاريع الطاقة المتجددة وضبط تكاليفها بما يتوافق مع أهداف رؤية المملكة العربية السعودية 2030 في مجال الطاقة النظيفة.

4.1 أسئلة الدراسة

السؤال الرئيسي

- ما أثر توظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده (التخطيط والجدولة الذكية، التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، التحسين الآلي لتخصيص الموارد، المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي) على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة؟

الأسئلة الفرعية

- السؤال الفرعي الأول: ما أثر التخطيط والجدولة الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة؟
- السؤال الفرعي الثاني: ما أثر التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف المدعومة بالذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة؟
- السؤال الفرعي الثالث: ما أثر التحسين الآلي لتخصيص الموارد باستخدام الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة؟
- السؤال الفرعي الرابع: ما أثر المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي المستندة إلى الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة؟
- السؤال الفرعي الخامس: ما واقع توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة مشاريع الطاقة المتجددة بالشركة السعودية للطاقة، وما مستوى الجاهزية التقنية والمؤسسية لتبني هذه التقنيات؟
- السؤال الفرعي السادس: ما أبرز المعوقات والتحديات التي تواجه توظيف الذكاء الاصطناعي في جدولة مشاريع الطاقة المتجددة وضبط تكاليفها في الشركة السعودية للطاقة؟

5.1 فروض الدراسة

الفرضية الرئيسية

- H_0 : يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتوظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده (التخطيط والجدولة الذكية، التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، التحسين الآلي لتخصيص

الموارد، المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي) على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.

الفرضيات الفرعية

- الفرضية الفرعية الأولى: (H01) لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للتخطيط والجدولة الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.
- الفرضية الفرعية الثانية: (H02) لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للتحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف المدعومة بالذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.
- الفرضية الفرعية الثالثة: (H03) لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للتحسين الآلي لتخصيص الموارد باستخدام الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.
- الفرضية الفرعية الرابعة: (H04) لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للمراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي المستندة إلى الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.

6.1 أهمية الدراسة

الأهمية العلمية (النظرية)

- سدّ الفجوة البحثية في الأدبيات العربية التي تعاني من ندرة ملحوظة في الدراسات التي تجمع بين توظيف الذكاء الاصطناعي وإدارة مشاريع الطاقة المتجددة في سياق واحد متكامل، إذ إن غالبية الدراسات السابقة تناولت كل موضوع على حدة دون الربط التطبيقي بينهما في بيئة مشاريع الطاقة المتجددة.
- إثراء الإطار النظري لأدبيات إدارة المشاريع من خلال تقديم نموذج مفاهيمي يوضح العلاقة بين أبعاد الذكاء الاصطناعي الأربعة (التخطيط والجدولة الذكية، التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف،

التحسين الآلي لتخصيص الموارد، المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي) وأداء مشاريع الطاقة المتجددة، مما يُوسّع النطاق المعرفي لهذا المجال البحثي.

- المساهمة في بناء قاعدة معرفية علمية رصينة تربط بين نظريات إدارة المشاريع الحديثة وتقنيات الذكاء الاصطناعي في سياق قطاع الطاقة المتجددة، مما يُتيح للباحثين إطاراً مرجعياً متكاملًا يمكن البناء عليه في الدراسات المستقبلية واختبار العلاقات السببية بين المتغيرات في بيئات وسياقات مختلفة.
- تعزيز التكامل المعرفي بين حقول علمية متعددة تشمل الذكاء الاصطناعي وعلم البيانات وإدارة المشاريع والطاقة المتجددة والاستدامة، مما يُرسي أساساً بحثياً بينياً (Interdisciplinary) يفتح آفاقاً جديدة للبحث العلمي في هذا التقاطع المعرفي المهم.
- تأصيل نظري لمفهوم "إدارة المشاريع الذكية (AI-Driven Project Management)" في سياق مشاريع الطاقة المتجددة، وبيان كيفية تحول الممارسات التقليدية لإدارة المشاريع نحو ممارسات مبتكرة تعتمد على خوارزميات التعلم الآلي والتحليلات التنبؤية والنمذجة الذكية.

الأهمية العملية (التطبيقية)

- تزويد صانعي القرار في الشركة السعودية للطاقة بنتائج علمية وتوصيات عملية قابلة للتطبيق تُسهم في تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في جدولة مشاريع الطاقة المتجددة وضبط تكاليفها، مما ينعكس إيجاباً على الأداء الزمني والمالي لهذه المشاريع.
- دعم تحقيق أهداف رؤية المملكة العربية السعودية 2030 في مجال الطاقة النظيفة والمتجددة، حيث تستهدف المملكة الوصول إلى 50% من الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة بحلول 2030، مما يتطلب تحسين كفاءة إدارة مشاريع الطاقة المتجددة الضخمة باستخدام أحدث التقنيات بما فيها الذكاء الاصطناعي.
- مساعدة مديري المشاريع والمهندسين العاملين في قطاع الطاقة المتجددة على فهم آليات توظيف الذكاء الاصطناعي في العمليات اليومية لإدارة المشاريع، بما يشمل الجدولة التلقائية واكتشاف المخاطر المبكر وتحسين تخصيص الموارد والتحكم في التكاليف بالوقت الفعلي.
- تحديد المعوقات والتحديات العملية التي تواجه تبني الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة المتجددة السعودي، مما يُمكن الجهات المعنية من وضع خطط استباقية للتغلب عليها وتسريع عملية التحول الرقمي في إدارة مشاريع الطاقة.

- إرشاد الجهات الحكومية والتنظيمية مثل وزارة الطاقة وهيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج إلى أهمية وضع سياسات وحوافز تدعم تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة المتجددة، وتطوير معايير ومواصفات وطنية لاستخدام هذه التقنيات في إدارة المشاريع.

7.1 الدراسات السابقة:

أولاً: الدراسات العربية

• دراسة نجم (2012) بعنوان "استراتيجية استخدام أساليب جدولة المشروع، بيرت والمسار الحرج في المفاضلة بين الوقت والتكلفة لإنجاز المشاريع"

هدفت الدراسة إلى التعرف على استراتيجية استخدام أساليب جدولة المشروع بأبعادها (أسلوب بيرت PERT ، أسلوب المسار الحرج CPM ، المفاضلة بين الوقت والتكلفة) على تحقيق الوقت الأمثل لإنهاء المشاريع في ظل الموارد والامكانيات المتاحة وبأقل تكاليف ممكنة. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع التطبيق العملي على مشروع افتراضي. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المشروع كان يفترض أن يُنجز خلال (60) يوماً ولكنه أنجز خلال (108) أيام، وأن الأنشطة الحرجة هي (1، 2، 3، 4، 5، 6، 9، 10، 11)، مما يعني وجود تأخر ملحوظ ناتج عن سوء التخطيط والجدولة. وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد أساليب بيرت والمسار الحرج في إدارة المشاريع لتحقيق التوازن الأمثل بين الوقت والتكلفة، وتدريب مديري المشاريع على استخدام هذه الأدوات.

• دراسة العوامرة والعمرى (2013) بعنوان "أثر الإبداع الفردي في تحسين أداء المشاريع الصغيرة والمتوسطة"

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر الإبداع الفردي بأبعاده (أصالة الفكرة، الطلاقة الفكرية، الحساسية للمشكلات، المرونة الذهنية، إدراك التفاصيل) على تحسين أداء المشاريع الصغيرة والمتوسطة في الأردن. واستخدمت الدراسة المنهجين الوصفي والميداني، وتكونت العينة من (382) مشروعاً تم اختيارها بطريقة عشوائية من مجتمع الدراسة البالغ (66586) مشروعاً صغيراً ومتوسطاً في العاصمة عمان. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن أبعاد الإبداع الفردي المتمثلة بأصالة الفكرة والطلاقة الفكرية والحساسية للمشكلات ذات مستوى مرتفع، بينما كانت المرونة الذهنية وإدراك التفاصيل بمستوى متوسط، كما أن

أبعاد الأداء المتمثلة بالربحية وحجم المبيعات ورضا العملاء جاءت بمستوى مرتفع. وأوصت الدراسة بضرورة تبني الأفراد المبدعين والأفكار الإبداعية في المشاريع الصغيرة والمتوسطة، والاهتمام بدعم هذه المشاريع وتعزيز نموها، وتنمية القدرات والمهارات الإبداعية لدى العاملين فيها.

● دراسة القدحات والشقور (2015) بعنوان "تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في مشاريع الطاقة المتجددة"

هدفت الدراسة إلى التعرف على إمكانية إيجاد نموذج لدراسة جدوى مشاريع الطاقة المتجددة بأبعاده (العوامل الفنية، العوامل الاقتصادية، العوامل البيئية، العوامل الاجتماعية) على تسهيل ودعم عملية اختيار أفضل المواقع لإنشاء مشاريع الطاقة المتجددة في الأردن. واستخدمت الدراسة أكثر من منهج بحثي (الوصفي، التحليلي، التجريبي) بالاعتماد على تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية، وتكونت بيانات الدراسة من مصادر متعددة شملت وزارة الطاقة، ووزارة البيئة، ومركز بحوث الطاقة، وشركة الكهرباء الوطنية، ودائرة الأراضي وبعض البلديات. وتوصلت نتائج الدراسة إلى إمكانية تطبيق وزن العوامل والتحليل الهرمي في عملية تقييم الملاءمة المكانية لدعم دراسات الطاقة المتجددة وتحقيق التنمية المستدامة. وأوصت الدراسة بضرورة إيجاد بنك للمعلومات المكانية والوصفية لدعم دراسات الجدوى لمشاريع الطاقة المتجددة، وتشجيع الاستثمارات الداخلية والخارجية نظراً لملاءمة الطبيعة الجغرافية والمناخية للأردن لإنتاج الطاقة المتجددة.

● دراسة الرشدان وغنيم (2015) بعنوان "تنمية مشاريع الطاقة المتجددة من منظور التنمية المستدامة: حالة دراسية الأردن"

هدفت الدراسة إلى التعرف على واقع تنمية مشاريع الطاقة المتجددة بأبعادها (البعد البيئي، البعد الاقتصادي، البعد الاجتماعي، البعد التكنولوجي) على تحقيق التنمية المستدامة في الأردن. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتكونت بيانات الدراسة من مصادر أولية وثانوية تشمل المقابلات والوثائق الرسمية والبيانات المتاحة من الجهات المعنية بقطاع الطاقة في الأردن. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن الأردن يمتلك إمكانات واعدة في مجال الطاقة المتجددة، وأن تنمية هذه المشاريع تسهم في تحقيق أبعاد التنمية المستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية. وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز الاستثمار في مشاريع الطاقة المتجددة، وتطوير البنية التشريعية والتنظيمية الداعمة لهذا القطاع، وتفعيل الشراكة بين القطاعين العام والخاص.

⊖ دراسة محمد (2020) بعنوان "استخدام التحليل الشبكي في جدولة المشاريع الإنشائية: دراسة حالة إنجاز 60 وحدة سكنية"

هدفت الدراسة إلى التعرف على تطبيق أسلوب التحليل الشبكي بأبعاده (تقنية المسار الحرج CPM ، تحديد الأنشطة الحرجة، تقدير زمن الإنجاز) على جدولة المشاريع الإنشائية وتخطيط ومتابعة تنفيذها بشكل فعال. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع التطبيق باستخدام برنامج Win QSB ، وتكونت عينة الدراسة من مشروع إنجاز 60 وحدة سكنية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى إعداد خطة تفصيلية محكمة لتنفيذ المشروع، حيث قُدرت مدة التنفيذ بـ 37.25 شهراً أي ما يعادل 149 أسبوعاً، وهي مدة تحاكي الواقع الفعلي لتنفيذ المشروع، مما يؤكد فاعلية التحليل الشبكي في التخطيط والجدولة. وأوصت الدراسة باعتماد أسلوب التحليل الشبكي وتقنية المسار الحرج في تخطيط وجدولة المشاريع الإنشائية لما لها من دور فعال في ضبط الأوقات والتكاليف.

⊖ دراسة تلي وكارش (2021) بعنوان "استخدام التحليل الشبكي في جدولة الموارد المالية: دراسة حالة مشروع مجمع سكني بولاية تامنغست"

هدفت الدراسة إلى التعرف على أهمية التحليل الشبكي بأبعاده (تقنية PERT/Cost ، مخطط جانث GANTT Chart، البداية المبكرة، البداية المتأخرة) على جدولة تكاليف المشروعات سواء كانت مشروعات قائمة أو جديدة. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع دراسة حالة ميدانية، وتكونت عينة الدراسة من مشروع إنجاز 60 وحدة سكنية بولاية تامنغست بالجزائر. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن الموارد المالية اللازمة لإنجاز جميع الأنشطة قُدرت بـ 32,075,400 دينار جزائري بنسبة (24.91%) من التكلفة الإجمالية للمشروع، كما تبين أن الجدولة المالية حسب البداية المبكرة أفضل من جدولة الموارد المالية وفق البداية المتأخرة. وأوصت الدراسة باعتماد أساليب التحليل الشبكي في جدولة الموارد المالية للمشاريع الإنشائية لضمان التحكم الأمثل في التكاليف والموارد.

⊖ دراسة الدويري وعبادة (2024) بعنوان "توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير المشاريع الوقفية"

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور الذكاء الاصطناعي بأبعاده (روبوتات الدردشة، البيانات الضخمة، التداول الآلي، دعم اتخاذ القرار) على تطوير المشاريع الوقفية من الناحيتين الأدائية والفنية .

واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، واعتمدت على تحليل الأطر المفاهيمية لمفردات الذكاء الاصطناعي وأدواته، فضلاً عن عرض بعض التطبيقات الدولية لتطوير الوقف رقمياً عبر تقنية البلوكشين من خلال منصة فنثيرا الماليزية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى وجود علاقة تكاملية بين الوقف والتقنيات المالية الذكية، وأن تطبيقات الذكاء الاصطناعي يمكن من خلالها تطوير المشاريع الوقفية بشكل فعال، كما أن هذه التقنيات تسهم في دعم اتخاذ القرار وتغيير سلوك الواقفين نحو السلوك الصحيح. وأوصت الدراسة بضرورة دعم المشاريع الوقفية فنياً وهيكلية عبر الاستفادة القصوى من تقنيات الذكاء الاصطناعي.

● دراسة الحسن (2025) بعنوان "دور إدارة الجودة في تحسين واستدامة المشاريع الإنشائية: دراسة حالة دولة الكويت"

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور إدارة الجودة بأبعادها (معايير الجودة، التدريب، الخبرة المهنية، نوع المشروع) على تحسين واستدامة المشاريع الإنشائية في دولة الكويت. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتكونت العينة من فئات متنوعة تعمل في قطاع المشاريع الإنشائية، حيث تم جمع البيانات عبر استبيان وتحليلها باستخدام أدوات إحصائية مثل اختبار بيرسون وتحليل التباين (ANOVA) واختبار (T-Test). وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن هناك علاقة إيجابية بين سنوات الخبرة ومستوى الالتزام بتطبيق معايير الجودة، إذ تبين أن المهندسين ذوي الخبرة الأطول هم الأكثر التزاماً بتلك المعايير، كما أظهرت وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين أنواع المشاريع المختلفة من حيث الالتزام بمعايير الجودة وكانت مشاريع البنية التحتية هي الأكثر التزاماً، فضلاً عن أن جودة التدريب لها تأثير كبير على تطبيق معايير الجودة. وأوصت الدراسة بتعزيز برامج التدريب، وتبني التكنولوجيا في مراقبة الجودة، وزيادة الوعي بأهمية تطبيق معايير الجودة في المشاريع الإنشائية.

● دراسة نجم (2025) بعنوان "تحسين أداء إدارة المشاريع في ليبيا: استراتيجيات وتوجهات مستقبلية"

هدفت الدراسة إلى التعرف على واقع إدارة المشاريع المختلفة في الدولة الليبية بأبعادها (الصعوبات والعوائق الإدارية، الاستراتيجيات التطويرية، التوجهات المستقبلية) على تحسين أداء إدارة المشاريع في ليبيا. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، واعتمدت على تحليل الأدبيات والدراسات السابقة لرصد الواقع والوقوف على أهم الصعوبات والعوائق التي تؤثر في إدارة المشاريع. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تحسين إدارة المشاريع في ليبيا لا يمكن أن يتم إلا بتضافر الجهود بين جميع مؤسسات الدولة الخاص منها والعام، وأن ضعف البنية التحتية الإدارية والتقنية يعد من أبرز المعوقات. وأوصت

الدراسة بضرورة تبني استراتيجيات حديثة في إدارة المشاريع، وتعزيز التعاون بين القطاعين العام والخاص، والاستثمار في تطوير الكوادر البشرية والبنية التحتية.

• دراسة علي ومحمد (2025) بعنوان "الأثر البيئي والاجتماعي والابتكار التكنولوجي في نجاح مشاريع الطاقة المتجددة: دراسة ميدانية على مشروع نور تشاد للطاقة الشمسية في تشاد"

هدفت الدراسة إلى التعرف على الأثر البيئي والاجتماعي والابتكار التكنولوجي بأبعاده (الأثر البيئي، الأثر الاجتماعي، الابتكار التكنولوجي) على نجاح مشاريع الطاقة المتجددة، وذلك من خلال دراسة ميدانية على مشروع نور تشاد للطاقة الشمسية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي الميداني، وتكونت العينة من العاملين والمستفيدين من مشروع نور تشاد للطاقة الشمسية في تشاد. وتوصلت نتائج الدراسة إلى وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية للابتكار التكنولوجي والعوامل البيئية والاجتماعية في نجاح مشاريع الطاقة المتجددة، وأن تبني التقنيات الحديثة في مجال الألواح الشمسية يسهم بشكل كبير في تحقيق التنمية المستدامة. وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز الابتكار التكنولوجي في مشاريع الطاقة المتجددة، ومراعاة الأبعاد البيئية والاجتماعية عند تخطيط وتنفيذ هذه المشاريع.

ثانياً: الدراسات الأجنبية

• دراسة Arumugham et al. (2023) بعنوان "An Artificial-Intelligence-Based Renewable Energy Prediction Program for Demand-Side Management in Smart Grids"

هدفت الدراسة إلى التعرف على تطبيق برنامج تنبؤ بالطاقة المتجددة قائم على الذكاء الاصطناعي بأبعاده (التنبؤ بالطاقة الشمسية، التنبؤ بطاقة الرياح، برنامج الاستجابة للطلب، التحسين متعدد الأهداف) على إدارة جانب الطلب في الشبكات الذكية. واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي الكمي، حيث تم تطبيق نماذج التعلم العميق (TCN) و CNN و (PC-LSTM) للتنبؤ بإنتاج الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، واستخدام خوارزمية تحسين مستعمرة النمل متعددة الأهداف (MOACO) لتحسين برنامج الاستجابة للطلب. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن النماذج المقترحة حققت دقة عالية في التنبؤ بإنتاج الطاقة المتجددة، وأن برنامج الاستجابة للطلب القائم على الحوافز أسهم في خفض تكاليف الطاقة والانبعاثات،

وتحقيق التوازن بين العرض والطلب في الشبكات الذكية. وأوصت الدراسة بتوسيع تطبيق نماذج التعلم العميق في التنبؤ بالطاقة المتجددة وتعزيز برامج إدارة جانب الطلب في الشبكات الذكية.

● دراسة (2023) Yousef et al. بعنوان "Artificial Intelligence for Management of Variable Renewable Energy Systems: A Review of Current Status and Future Directions"

هدفت الدراسة إلى التعرف على تطبيقات تقنيات الذكاء الاصطناعي بأبعادها (التنبؤ بتوليد الطاقة، التنبؤ بالطلب على الطاقة، تخزين الطاقة، تحسين النظام، مراقبة الأداء، إدارة التكاليف) على إدارة أنظمة الطاقة المتجددة المتغيرة (الشمسية والرياح والبحرية). واستخدمت الدراسة منهج المراجعة المنهجية الشاملة للأدبيات والدراسات المنشورة في هذا المجال. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تقنيات التعلم الآلي والتعلم العميق أثبتت فاعلية كبيرة في تحسين دقة التنبؤ بإنتاج الطاقة المتجددة وإدارة الشبكات الذكية، وأن الشبكات العصبية الاصطناعية والشبكات العصبية التلافيفية (CNN) هي الأكثر استخداماً في التنبؤ قصير المدى، وأن النماذج الهجينة التي تجمع بين الأساليب الفيزيائية والإحصائية والذكاء الاصطناعي تحقق أفضل النتائج. وأوصت الدراسة باستكشاف مجالات مستقبلية تشمل الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (XAI)، والذكاء الاصطناعي الكمومي (QAI)، والتوائم الرقمية، ومعالجة اللغة الطبيعية، مع التركيز على تحسين جودة البيانات وتوافرها.

● دراسة (2024) Manuel et al. بعنوان "The Impact of AI on Boosting Renewable Energy Utilization and Visual Power Plant Efficiency in Contemporary Construction"

هدفت الدراسة إلى التعرف على تأثير الذكاء الاصطناعي بأبعاده (الصيانة التنبؤية، تحسين تخزين الطاقة وتوزيعها، المراقبة والتحكم في الوقت الفعلي، إدارة الطاقة في المباني الذكية) على تعزيز استخدام الطاقة المتجددة وكفاءة محطات الطاقة البصرية في قطاع البناء المعاصر. واستخدمت الدراسة منهج المراجعة التحليلية للأدبيات مع تحليل دراسات حالة تطبيقية لشركات مثل Siemens Gamesa و Enel و Green Power. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن الذكاء الاصطناعي يسهم بشكل عميق في تعزيز كفاءة محطات الطاقة المتجددة من خلال الصيانة التنبؤية التي تقلل فترات التوقف وتكاليف الصيانة، وتحسين تخزين الطاقة وتوزيعها عبر التنبؤ الدقيق بالإنتاج والطلب، وتحقيق استقرار الشبكة الكهربائية. وأوصت

الدراسة بضرورة الاستثمار في أنظمة جمع البيانات عالية الجودة، وتعزيز التعاون بين مطوري الذكاء الاصطناعي وخبراء الطاقة والفرق التشغيلية.

● دراسة Ukoba et al. (2024) بعنوان "Optimizing Renewable Energy Systems through Artificial Intelligence: Review and Future Prospects"

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور تقنيات الذكاء الاصطناعي بأبعادها (التعلم الآلي، التحليلات التنبؤية، الشبكات العصبية، خوارزميات التحسين) على تحسين أنظمة الطاقة المتجددة وتعزيز كفاءتها. واستخدمت الدراسة منهج المراجعة المنهجية الشاملة للأدبيات، وتكونت العينة من تحليل مجموعة كبيرة من الدراسات والبحوث المنشورة في مجال الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تقنيات الذكاء الاصطناعي تسهم بشكل كبير في تحسين كفاءة أنظمة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية، وأن التحليلات التنبؤية والتعلم الآلي يمكنهما تعزيز التنبؤ بإنتاج الطاقة وإدارة الشبكات الذكية، بما يتوافق مع هدف التنمية المستدامة رقم 13 (العمل المناخي). وأوصت الدراسة بتعزيز الاستثمار في البحث والتطوير في مجال الذكاء الاصطناعي للطاقة المتجددة، وتطوير نماذج هجينة تجمع بين أساليب الذكاء الاصطناعي المختلفة لتحقيق أفضل النتائج.

● دراسة Hameed et al. (2025) بعنوان "The Role of Artificial Intelligence in Revolutionizing Construction Project Management: Enhancing Efficiency and Sustainability"

هدفت الدراسة إلى التعرف على تأثير تقنيات الذكاء الاصطناعي بأبعادها (التحليلات التنبؤية، خوارزميات التعلم الآلي، إدارة المشاريع الآلية، الروبوتات) على تحسين إدارة مشاريع البناء وتعزيز الكفاءة والاستدامة. واستخدمت الدراسة المنهج المختلط الذي شمل المراجعة المنهجية للأدبيات، ودراسات الحالة، والمسوح الميدانية والمقابلات مع المتخصصين في صناعة البناء، والنمذجة التنبؤية والمحاكاة. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تقنيات الذكاء الاصطناعي أظهرت قدرات فائقة في أتمتة المهام الروتينية، وتحسين تخصيص الموارد وجدولة المشاريع، وتعزيز السلامة في مواقع البناء، ودعم الاستدامة من خلال تقليل الهدر وتعزيز كفاءة الطاقة، غير أن التكاليف الأولية المرتفعة والحوجز التقنية ومقاومة التغيير تُعدّ من أبرز المعوقات. وأوصت الدراسة بالاستثمار في تدريب القوى العاملة، وتقديم حوافز حكومية لبنني الذكاء الاصطناعي، وتعزيز المبادرات البحثية التعاونية.

● دراسة Ruiz et al. (2025) بعنوان "The Application of Artificial Intelligence Planning and Scheduling in Photovoltaic Plant Construction Projects"

هدفت الدراسة إلى التعرف على تطبيق تقنيات التخطيط والجدولة بالذكاء الاصطناعي بأبعادها (التخطيط الآلي، الجدولة الذكية، تحسين تخصيص الموارد، إدارة المخاطر) على تحسين إدارة مشاريع بناء محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية. واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي التطبيقي من خلال تطوير نماذج ذكاء اصطناعي وتطبيقها على مشاريع بناء محطات شمسية فعلية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن خوارزميات الذكاء الاصطناعي أسهمت بفاعلية في تحسين جدولة مشاريع بناء المحطات الكهروضوئية من حيث تقليل التأخيرات وتحسين تخصيص الموارد وخفض التكاليف الإجمالية، وأن النماذج المقترحة تفوقت على أساليب الجدولة التقليدية. وأوصت الدراسة بتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في تخطيط وجدولة مشاريع الطاقة المتجددة، وتطوير أنظمة متكاملة تجمع بين التخطيط والجدولة والتحكم في التكاليف.

8.1 الفجوة البحثية

من خلال الاستعراض الشامل والمتعمق للدراسات السابقة العربية والأجنبية ذات الصلة بموضوع الدراسة الحالية، يتضح وجود فجوة بحثية واضحة المعالم تتبلور في عدة جوانب مترابطة. فعلى صعيد الدراسات العربية، يلاحظ أن الدراسات التي تناولت إدارة المشاريع كدراسة الحسن (2025) ونجم (2025) ركزت على جوانب إدارية عامة كالجودة والاستراتيجيات التطويرية دون التطرق إلى توظيف الذكاء الاصطناعي في جدولة المشاريع وضبط تكاليفها، بينما اقتصرَت الدراسات التي تناولت جدولة المشاريع كدراسة نجم (2012) وتلي وكارش (2021) ومحمد (2020) على الأساليب التقليدية كالمسار الحرج وبيرت ومخططات جانت دون استكشاف دور التقنيات الذكية في تطوير هذه الأساليب، في حين أن الدراسات التي تناولت الطاقة المتجددة كدراسة القدحات والشفور (2015) والرشدان وغنيم (2015) وعلي ومحمد (2025) عالجت أبعاداً جغرافية وبيئية واجتماعية دون ربطها بتقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع، كما أن دراسة الدويري وعبادة (2024) التي تناولت الذكاء الاصطناعي طُبِّقت على المشاريع الوقفية وليس مشاريع الطاقة المتجددة. وعلى صعيد الدراسات الأجنبية، فإن دراسات مثل Ukoba et al. (2024) وYousef et al. (2023) وArumugham et al. (2023) وMohamed et al. (2022) ركزت على توظيف الذكاء الاصطناعي في تحسين أنظمة الطاقة المتجددة من الناحية

التشغيلية والفنية كالتنبؤ بالإنتاج وإدارة الشبكات الذكية وتحسين الصيانة، بينما تناولت دراسة Manuel et al. (2024) كفاءة محطات الطاقة البصرية، وركزت دراسة Hameed et al. (2025) على إدارة مشاريع البناء عموماً، فيما انصبّت دراسة Ruiz et al. (2025) على جدولة مشاريع المحطات الكهروضوئية دون التوسع في بُعد ضبط التكاليف والتخصيص الآلي للموارد. وعليه، فإن أياً من هذه الدراسات لم يتناول بشكل تكاملي أثر توظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده الأربعة مجتمعة (التخطيط والجدولة الذكية، التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، التحسين الآلي لتخصيص الموارد، المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي) على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في بيئة سعودية، وهو ما تسعى الدراسة الحالية إلى سدّه من خلال تطبيقها على الشركة السعودية للطاقة بوصفها سياقاً بحثياً لم يُدرس من هذا المنظور التكاملي من قبل..

9.1 المنطلقات النظرية للدراسة:

أولاً: مفهوم الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته في إدارة المشاريع

يُعرّف الذكاء الاصطناعي بأنه فرع من فروع علم الحاسوب يهتم بتطوير أنظمة وبرمجيات قادرة على محاكاة القدرات الذهنية البشرية كالتعلم والتفكير والتخطيط وفهم اللغة الطبيعية واتخاذ القرارات، وذلك من خلال معالجة كميات هائلة من البيانات واستخلاص الأنماط منها باستخدام خوارزميات متقدمة. وقد تطور هذا المفهوم من مجرد فكرة نظرية في خمسينيات القرن العشرين إلى واقع تقني يُعيد تشكيل مختلف القطاعات الصناعية والخدمية، حيث باتت تقنياته المتنوعة التي تشمل التعلم الآلي والتعلم العميق والشبكات العصبية الاصطناعية والتحليلات التنبؤية ومعالجة اللغة الطبيعية تُستخدم على نطاق واسع في تحسين العمليات وتعزيز الإنتاجية وخفض التكاليف. وقد أشار Ukoba et al. (2024) إلى أن تقنيات الذكاء الاصطناعي أسهمت بشكل جوهري في تحسين أنظمة الطاقة المتجددة من خلال تعزيز دقة التنبؤ بالإنتاج وتحسين إدارة الشبكات الذكية وتطوير آليات الصيانة التنبؤية، مؤكداً أن هذه التقنيات تُمثّل أداة محورية لتحقيق أهداف التنمية المستدامة المتعلقة بالعمل المناخي.

وفي مجال إدارة المشاريع تحديداً، يُمثّل الذكاء الاصطناعي نقلة نوعية من الأساليب التقليدية القائمة على الخبرة البشرية والحسابات اليدوية إلى أنظمة ذكية قادرة على التعلم الذاتي والتكيف المستمر مع المتغيرات. وقد أوضح Hameed et al. (2025) أن صناعة البناء والمشاريع تشهد تحولاً جذرياً

بفضل تطبيقات الذكاء الاصطناعي التي تُتيح تحسين إدارة المواقع وتعزيز السلامة وزيادة كفاءة العمليات الإنشائية، حيث تعمل تقنيات التحليلات التنبؤية وخوارزميات التعلم الآلي وأنظمة إدارة المشاريع الآلية على معالجة التحديات الجوهرية المتعلقة بتجاوز الميزانيات وسوء إدارة الموارد والتأثيرات البيئية. كما أكد الدويري وعبادة (2024) أن تطبيقات الذكاء الاصطناعي المتنوعة كروبوتات الدردشة والبيانات الضخمة والتداول الآلي تسهم في تطوير المشاريع ودعم اتخاذ القرار فيها بشكل فعال.

ثانياً: أبعاد توظيف الذكاء الاصطناعي في الدراسة الحالية

يتناول المتغير المستقل في هذه الدراسة توظيف الذكاء الاصطناعي من خلال أربعة أبعاد مترابطة ومتكاملة. ويُقصد بالبعد الأول "التخطيط والجدولة الذكية" توظيف خوارزميات الذكاء الاصطناعي وتقنيات التعلم الآلي في إعداد الجداول الزمنية للمشاريع وتحديد تسلسل الأنشطة وحساب المسار الحرج وإعادة جدولة الأنشطة تلقائياً عند حدوث انحرافات أو تغييرات، بما يتجاوز قدرات الأساليب التقليدية كأسلوب بيرت والمسار الحرج التي أشار نجم (2012) إلى أنها رغم أهميتها في توفير معلومات مفيدة للتحليل والسيطرة على شبكة أعمال المشاريع تظل محدودة في التعامل مع التعقيد الديناميكي للمشاريع الكبرى. وقد أثبت Ruiz et al. (2025) أن تطبيق خوارزميات التخطيط والجدولة بالذكاء الاصطناعي على مشاريع بناء المحطات الكهروضوئية حقق تفوقاً ملحوظاً على الأساليب التقليدية.

أما البعد الثاني "التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف" فيشير إلى استخدام نماذج التعلم الآلي والتعلم العميق في التنبؤ بتكاليف المشروع المستقبلية واكتشاف الانحرافات المالية مبكراً وتحسين دقة التقديرات التكاليفية، وذلك انطلاقاً من تحليل البيانات التاريخية والآنية للمشاريع. وتتكامل هذه التحليلات مع أساليب جدولة الموارد المالية التي أكد نلي وكارش (2021) أهميتها في التحكم بتكاليف المشاريع الإنشائية من خلال تقنيات التحليل الشبكي. ويُقصد بالبعد الثالث "التحسين الآلي لتخصيص الموارد" توظيف خوارزميات التحسين المدعومة بالذكاء الاصطناعي كخوارزميات أمثلية سرب الجسيمات والخوارزميات الجينية في تحقيق التوزيع الأمثل للموارد البشرية والمادية والمالية بين أنشطة المشروع وبين المشاريع المترامنة بما يُقلّل الهدر ويُعظّم الكفاءة. وقد أشار Arumugham et al. (2023) إلى فاعلية خوارزميات التحسين متعددة الأهداف المدعومة بالذكاء الاصطناعي في تحقيق التوازن الأمثل بين العرض والطلب وتخصيص الموارد في أنظمة الشبكات الذكية.

ويعبر البعد الرابع "المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي" عن استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي المتصلة بأجهزة الاستشعار وإنترنت الأشياء في الرصد اللحظي والمستمر لمؤشرات أداء المشروع والكشف المبكر عن المخاطر والانحرافات واتخاذ الإجراءات التصحيحية الفورية. وقد أوضح Manuel et al. (2024) أن أنظمة المراقبة والتحكم المدعومة بالذكاء الاصطناعي في محطات الطاقة تُتيح معالجة البيانات الضخمة الواردة من أجهزة الاستشعار وتحويلها إلى رؤى عملية قابلة للتنفيذ تمكن المشغلين من اتخاذ قرارات مستنيرة في الوقت المناسب.

ثالثاً: مفهوم أداء مشاريع الطاقة المتجددة

يُمثل المتغير التابع في هذه الدراسة "تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة"، ويُقصد به الارتقاء بمستوى الأداء الكلي للمشروع من حيث مجموعة من المعايير المتكاملة التي تشمل الالتزام بالجدول الزمني المحدد والالتزام بالميزانية المعتمدة وتحقيق مستوى الجودة المطلوب وكفاءة استغلال الموارد وتقليل المخاطر ورضا أصحاب المصلحة. ويتسم أداء مشاريع الطاقة المتجددة بخصوصية تميزه عن المشاريع الإنشائية التقليدية، إذ يرتبط بعوامل إضافية كالأثر البيئي والاجتماعي والابتكار التكنولوجي الذي أكد علي ومحمد (2025) دوره الحيوي في نجاح مشاريع الطاقة الشمسية، فضلاً عن تحقيق معايير الاستدامة التي تُعد غاية جوهرية لهذه المشاريع.

وتُعرف مشاريع الطاقة المتجددة بأنها تلك المشاريع التي تهدف إلى تطوير وبناء وتشغيل منشآت لتوليد الطاقة من مصادر طبيعية متجددة كالشمس والرياح والمياه، وتتميز بتعقيدها الفني وضخامة استثماراتها وطول مدد تنفيذها وتأثرها بعوامل مناخية وجغرافية متعددة. وقد أشارت القدحات والشفور (2015) إلى أن نجاح هذه المشاريع يتطلب مراعاة عوامل متعددة فنية واقتصادية وبيئية واجتماعية عند اختيار المواقع والتخطيط للتنفيذ. كما يُعرف ضبط التكلفة بأنه العملية المنهجية لمراقبة الإنفاق الفعلي للمشروع ومقارنته بالميزانية المخططة واتخاذ الإجراءات التصحيحية عند حدوث انحرافات، بينما تُعرف جدولة المشروع بأنها عملية تحديد تسلسل أنشطة المشروع وتقدير مددها الزمنية وتحديد مواعيد بدايتها ونهايتها بما يضمن إنجاز المشروع ضمن الإطار الزمني المحدد، وهو ما أكد محمد (2020) أن أسلوب التحليل الشبكي وتقنية المسار الحرج يُمثلان أدوات فعالة لتحقيقه.

رابعاً: النظريات المؤطرة للدراسة

تستند هذه الدراسة إلى عدة أطر نظرية متكاملة، أبرزها نظرية إدارة المشاريع (Project Management Theory) التي تُوفّر الأساس المنهجي لفهم عمليات التخطيط والتنفيذ والمراقبة والتحكم في المشاريع، ونموذج المثلث الحديدي (Iron Triangle) الذي يربط بين الوقت والتكلفة والجودة كمعايير أساسية لقياس نجاح المشروع. كما تستفيد الدراسة من نظرية الأنظمة (Systems Theory) في فهم التفاعلات المعقدة بين مكونات مشاريع الطاقة المتجددة وبيئتها المحيطة، ومن نظرية اتخاذ القرار (Decision-Making Theory) في تفسير كيفية إسهام الذكاء الاصطناعي في تحسين جودة القرارات الإدارية والفنية في المشاريع. ويضاف إلى ذلك نموذج قبول التكنولوجيا (Technology Acceptance Model - TAM) الذي يفسّر العوامل المؤثرة في تبني المؤسسات للتقنيات الجديدة كالذكاء الاصطناعي، ومدى إدراك المستخدمين لفائدتها وسهولة استخدامها. وتتقاطع هذه الأطر النظرية لتُشكّل إطاراً مفاهيمياً متماسكاً يُمكّن من فهم وتحليل أثر توظيف الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة بشكل شامل ومتعمق.

10.1 المنهجية وطرق البحث:

سوف تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي باعتباره المنهج الأكثر ملاءمة لطبيعة الدراسة وأهدافها، إذ يُتيح وصف الظاهرة المدروسة وتحليلها كمياً ونوعياً، والكشف عن العلاقات والأثر بين المتغير المستقل (توظيف الذكاء الاصطناعي) بأبعاده الأربعة والمتغير التابع (تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة). وسيتم في الجانب الوصفي التعرف على واقع توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في جدولة المشاريع وضبط التكاليف بالشركة السعودية للطاقة، ورصد اتجاهات وتصورات أفراد العينة حول هذا التوظيف، بينما سيعنى الجانب التحليلي بدراسة العلاقات الارتباطية والسببية بين متغيرات الدراسة واختبار فرضياتها.

وسيتم تحقيق ذلك من خلال مرحلتين متكاملتين: المرحلة الأولى نظرية تتضمن مراجعة شاملة للأدبيات والدراسات السابقة العربية والأجنبية المتعلقة بالذكاء الاصطناعي وإدارة مشاريع الطاقة المتجددة وجدولة المشاريع وضبط التكاليف، وذلك لبناء الإطار النظري للدراسة وتطوير نموذجها المفاهيمي. أما المرحلة الثانية فتستكون ميدانية تطبيقية، حيث سيتم تصميم استبانة محكمة وتوزيعها على عينة الدراسة لجمع البيانات الأولية، ومن ثم تحليلها باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة للوصول إلى النتائج واختبار الفرضيات وتقديم التوصيات.

11.1 مجتمع الدراسة وعينتها

سيكون مجتمع الدراسة من جميع العاملين في المستويات الإدارية والفنية والهندسية ذات الصلة بإدارة مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة ، ويُقدّر مجتمع الدراسة الكلي بنحو (450) موظفاً وموظفة يعملون في الإدارات والأقسام المعنية بتخطيط وتنفيذ ومراقبة مشاريع الطاقة المتجددة.

وسيتّم اختيار عينة الدراسة باستخدام أسلوب العينة العشوائية الطبقية التناسبية (Stratified Proportional Random Sampling)، وذلك لضمان تمثيل جميع المستويات الوظيفية والأقسام المعنية تمثيلاً عادلاً. واستناداً إلى جدول (Krejcie & Morgan, 1970) لتحديد حجم العينة، فإنه عند مجتمع دراسة يبلغ (450) فرداً، سيكون الحد الأدنى المطلوب للعينة (207) مفردة. وحرصاً على تعويض الاستبانة المفقودة وغير الصالحة، سيتم توزيع (250) استبانة على أفراد العينة، مع استهداف استرداد ما لا يقل عن (215) استبانة صالحة للتحليل الإحصائي، أي بنسبة استرداد متوقعة لا تقل عن (86%)، وهي نسبة مقبولة إحصائياً لأغراض التعميم.

12.1 مصادر جمع البيانات

سوف تعتمد الدراسة على مصدرين رئيسيين لجمع البيانات:

- **المصادر الثانوية:** وتشمل الكتب والمراجع العلمية المتخصصة، والرسائل الجامعية (الماجستير والدكتوراه)، والدوريات والمجلات العلمية المحكمة العربية والأجنبية، والتقارير والنشرات الصادرة عن الشركة السعودية للطاقة والجهات الحكومية ذات الصلة، وقواعد البيانات الإلكترونية مثل (Scopus, Web of Science, Google Scholar)، وذلك لبناء الإطار النظري وتحديد الفجوة البحثية.
- **المصادر الأولية:** وتتمثل في الاستبانة التي سيتم تصميمها وتطويرها خصيصاً لأغراض هذه الدراسة، والتي ستوزع إلكترونياً وورقياً على أفراد عينة الدراسة لجمع البيانات المتعلقة بمتغيرات الدراسة المستقلة والتابعة.

13.1 أداة الدراسة (الاستبانة)

سيتم تصميم استبانة محكمة كأداة رئيسية لجمع البيانات الأولية، وستكون من ثلاثة أقسام رئيسية على النحو التالي:

القسم الأول: البيانات الديموغرافية والوظيفية - ويتضمن (4) فقرات تشمل: المؤهل العلمي، سنوات الخبرة، المسمى الوظيفي، التخصص.

القسم الثاني: المتغير المستقل (توظيف الذكاء الاصطناعي) - ويتضمن (16) فقرة موزعة على أربعة أبعاد:

- البعد الأول: التخطيط والجدولة الذكية - ويتضمن (4) فقرات تقيس مدى توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في التخطيط الآلي للمشاريع وجدولة الأنشطة وتحديد المسار الحرج وإعادة الجدولة التلقائية.
- البعد الثاني: التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف - ويتضمن (4) فقرات تقيس مدى استخدام التحليلات التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالتكاليف واكتشاف الانحرافات المالية وتحسين دقة التقديرات.
- البعد الثالث: التحسين الآلي لتخصيص الموارد - ويتضمن (4) فقرات تقيس مدى توظيف خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التخصيص الأمثل للموارد البشرية والمادية وتقليل الهدر وتحقيق التوازن بين المشاريع.
- البعد الرابع: المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي - ويتضمن (4) فقرات تقيس مدى استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي في الرصد اللحظي لمؤشرات الأداء والكشف المبكر عن المخاطر واتخاذ القرارات التصحيحية.

القسم الثالث: المتغير التابع (تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة) - ويتضمن (10) فقرات تقيس مستوى تحسن أداء مشاريع الطاقة المتجددة من حيث الالتزام بالجدول الزمني، والالتزام بالميزانية المحددة، وجودة المخرجات، ورضا أصحاب المصلحة، وكفاءة استغلال الموارد، وتقليل المخاطر، ومرونة الاستجابة للتغيرات، وتحقيق معايير الاستدامة، والقدرة التنافسية، والأداء العام للمشروع.

وبذلك يكون إجمالي فقرات الاستبانة (30)فقرة :منها (4) فقرات للبيانات الديموغرافية، و(16) فقرة للمتغير المستقل، و (10) فقرات للمتغير التابع. وسيتم قياس استجابات أفراد العينة باستخدام مقياس ليكرت الخماسي (Likert Scale) المدرج من (1 = غير موافق بشدة) إلى (5 = موافق بشدة)

14.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة

سيتم تحليل البيانات باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS V.28) ، وذلك بالاعتماد على الأساليب الإحصائية التالية:

- أساليب الإحصاء الوصفي :وتشمل التكرارات والنسب المئوية لوصف خصائص عينة الدراسة، والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لتحديد مستوى استجابات أفراد العينة على محاور الاستبانة وترتيب الأبعاد حسب أهميتها النسبية.
- أساليب التحقق من صلاحية الأداة :وتشمل معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) للتحقق من ثبات أداة الدراسة، ومعاملات الارتباط بيرسون (Pearson Correlation) للتحقق من صدق الاتساق الداخلي لفقرات الاستبانة ومحاورها.
- أساليب الإحصاء الاستدلالي :وتشمل تحليل الانحدار البسيط (Simple Regression) لاختبار أثر كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل على المتغير التابع، وتحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression) لاختبار الأثر المشترك لأبعاد المتغير المستقل مجتمعة على المتغير التابع، واختبار (T-Test) لتحديد الفروق بين مجموعتين، واختبار تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) لتحديد الفروق في استجابات أفراد العينة وفقاً للمتغيرات الديموغرافية، واختبار شيفيه (Scheffé) للمقارنات البعدية عند وجود فروق دالة إحصائية، ومعامل تضخم التباين (VIF) واختبار التباين المسموح به (Tolerance) للكشف عن مشكلة الارتباط الخطي المتعدد بين المتغيرات المستقلة.

15.1 حدود الدراسة

- **الحدود الموضوعية** :ستقتصر هذه الدراسة على دراسة أثر توظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده الأربعة (التخطيط والجدولة الذكية، التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، التحسين الآلي لتخصيص الموارد، المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي) على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة.

- **الحدود المكانية:** ستُطبّق هذه الدراسة على الشركة السعودية للطاقة في المملكة العربية السعودية.
- **الحدود الزمانية:** سيتم إجراء الدراسة الميدانية وتوزيع الاستبانات وجمع البيانات خلال الفصل الدراسي الثاني من العام الجامعي 2025/2026م.
- **الحدود البشرية:** ستقتصر الدراسة على العاملين في المستويات الإدارية والفنية والهندسية ذات الصلة بإدارة مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة، والذين يشملون مديري المشاريع ومهندسي التخطيط والجدولة ومحلي التكاليف ومسؤولي تقنية المعلومات والتحول الرقمي ومهندسي الطاقة المتجددة والمشرفين الفنيين

الفصل الثاني: الإطار النظري

المبحث الأول: توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع

1.1.2 تمهيد

يشهد حقل إدارة المشاريع تحولاً جوهرياً في أدواته ومركزاته المفاهيمية، إذ لم تعد أساليب الجدولة التقليدية وحدها قادرة على استيعاب التعقيد المتنامي في بيئات التنفيذ المعاصرة، ولا سيما في القطاعات التي تتسم بكثافة رأس المال وطول دورة الحياة وتعدد أصحاب المصلحة كقطاع الطاقة المتجددة. وقد فرض هذا التحول الحاجة إلى الانتقال من المعالجة الإجرائية الساكنة للمشروع إلى معالجة ديناميكية قادرة على التعلم من البيانات وإعادة ضبط القرارات في الزمن الفعلي، وهو ما هيأ المناخ لبروز الذكاء الاصطناعي بوصفه ركيزة معرفية وتقنية لإعادة هندسة وظائف التخطيط والرقابة وتخصيص الموارد. ويتأسس هذا المبحث على فرضية مفادها أن توظيف الذكاء الاصطناعي ليس إضافة أدائية هامشية إلى منظومة إدارة المشروع، بل هو إعادة بناء لمنطق اتخاذ القرار داخل هذه المنظومة، بحيث تتحول البيانات التشغيلية من سجلات لاحقة إلى مدخلات استباقية تُغذي خوارزميات قادرة على التنبؤ والمحاكاة والتحسين. ومن ثم، يسعى هذا المبحث إلى تأصيل المفهوم وتحديد أهميته وأهدافه وأبعاده واستراتيجياته بما يخدم بناء الإطار التحليلي للدراسة الحالية.

2.1.2 مفهوم توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع

تتعدد المقاربات النظرية في تحديد مفهوم توظيف الذكاء الاصطناعي داخل بيئة المشاريع، وهو تعدد يعكس تباين الزوايا المعرفية التي يُقارب منها هذا الحقل البيئي الذي يتقاطع فيه علم الحاسوب مع علوم الإدارة والهندسة. فمن زاوية أولى تنظر بعض المعالجات إلى الذكاء الاصطناعي بوصفه منظومة من الخوارزميات القادرة على محاكاة العمليات الإدراكية للإنسان فيما يتعلق بالتعلم والاستدلال وحل المشكلات، وينقل هذا التعريف إلى ميدان المشاريع باعتباره توظيفاً لتلك القدرات في وظائف التخطيط والتحكم وتقدير الموارد ضمن دورة حياة المشروع، بحيث يصبح النظام الذكي شريكاً في صناعة القرار لا مجرد أداة لمعالجة البيانات. (Hameed et al., 2025)

وتقترب مقارنة ثانية من المفهوم بوصفه إطاراً تكاملياً يجمع بين تعلّم الآلة والشبكات العصبية وأنظمة الخبرة، يُوظّف لتمكين المشاريع من التعامل مع الغموض وعدم اليقين في بيئات التنفيذ، وذلك من خلال استثمار البيانات الضخمة المتولدة عن أنشطة المشروع في توليد تنبؤات أكثر دقة بمسارات الزمن والكلفة والجودة. وتُبرز هذه المقاربة أنّ الذكاء الاصطناعي في سياق المشاريع لا يُعرّف بأدواته الخوارزمية فحسب، بل بقدرته على إنتاج معرفة قابلة للتنفيذ تُغذي قرارات المديرين في الوقت المناسب (Ruiz et al., 2025).

ومن منظور ثالث يُنظر إلى توظيف الذكاء الاصطناعي بوصفه عملية استراتيجية لإدماج تقنيات المحاكاة والتحسين في البنية الإدارية للمشروع، بهدف إعادة تشكيل العلاقة بين الموارد والأنشطة والقيود الزمنية والمالية. وتركز هذه المقاربة على البعد التنظيمي، إذ ترى أنّ الذكاء الاصطناعي لا يكتسب فاعليته من تطوره التقني وحده، بل من قدرة المنظمة على إعادة تصميم عملياتها وثقافتها الإدارية بما يستوعب هذه التقنيات ضمن أنماط جديدة من اتخاذ القرار (الدويري وعبادة، 2024).

وتتقاطع هذه المقاربات مع اتجاه رابع يُعرّف توظيف الذكاء الاصطناعي بدلالة المخرجات الإدارية المتوقعة منه، فيُنظر إليه باعتباره أسلوباً في تحسين كفاءة المشاريع واستدامتها عبر أتمّة المهام المتكررة، وتحرير الكوادر البشرية للتركيز على المهام ذات القيمة المضافة الأعلى، وبناء قدرات تنبؤية تُمكن المشروع من استباق المخاطر بدلاً من الاكتفاء بالاستجابة لها بعد وقوعها. (Manuel et al., 2024) ويُلاحظ هنا أنّ التعريف يميل إلى الجانب الوظيفي النفعي، إذ يُقاس المفهوم بأثره في الأداء لا ببنائه التقنية.

ويتميز عن ذلك اتجاه خامس يُقارب المفهوم من زاوية إدارة الطاقة والموارد، حيث يُعرّف توظيف الذكاء الاصطناعي بوصفه منظومة لاتخاذ القرار في بيئات تتسم بالتذبذب وعدم القابلية للتنبؤ، كبيئات الطاقة المتجددة، عبر دمج خوارزميات التحسين مع نماذج التنبؤ بالطلب وسلوك الشبكة، بما يُحوّل القرار من قرار تقديري إلى قرار قائم على نمذجة احتمالية متعددة السيناريوهات (Mohamed et al., 2022).

ومن خلال استقراء هذه التعريفات، يرى الباحث أنّ توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع يمكن تعريفه إجرائياً بأنه: المنظومة المتكاملة من التقنيات والخوارزميات الذكية التي تُدمج في وظائف التخطيط والجدولة وتقدير التكاليف وتخصيص الموارد والرقابة على الأداء داخل دورة حياة المشروع،

بحيث تُمكن إدارة المشروع من تحويل البيانات التشغيلية والتاريخية إلى قرارات استباقية وتصحيحية في الوقت الفعلي، مع رفع قدرة المشروع على استيعاب التعقيد وعدم اليقين، وتعزيز كفاءته في تحقيق أهدافه الزمنية والمالية والنوعية والاستدامة. ويتميز هذا التعريف عن سابقه بكونه يجمع بين البعد التقني (الخوارزميات والتعلم الآلي) والبعد الإداري (دورة حياة المشروع ووظائفها) والبعد القراري (التحويل إلى قرارات استباقية)، مع ربطه السياقي بمتطلبات بيانات المشاريع المعقدة كمشاريع الطاقة المتجددة، وهو ما يخدم البناء التحليلي للدراسة الحالية.

3.1.2 أهمية توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع

تتأتى أهمية توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع من كونه يُمثل نقطة تقاطع بين جملة من الضغوط التي تواجه المشاريع المعاصرة؛ فمن جهة تتنامى متطلبات الجودة والاستدامة وضغوط أصحاب المصلحة، ومن جهة أخرى تتصاعد القيود على الكلفة والزمن في ظل بيئات تنافسية متقلبة، ومن جهة ثالثة يتعاظم حجم البيانات المتولدة عن أنشطة المشروع بصورة يتعذر معها استيعابها وتحليلها بالأساليب التقليدية. وفي هذا السياق يُمثل الذكاء الاصطناعي بنية معرفية وتقنية قادرة على إعادة موضوعة هذه الضغوط ضمن إطار قابل للإدارة والتحسين المستمر، وهو ما يجعل أهميته متعددة الأبعاد وليست مقصورة على البعد الأدائي وحده.

ويشير (الجياشي وشاتي، 2025) إلى أن أهمية توظيف الذكاء الاصطناعي تتجلى في عدة محاور؛ أولها أنه يُتيح قدرة فائقة على تحليل البيانات الضخمة المتعلقة بأنماط الإنتاج والاستهلاك وظروف التشغيل، بما يُمكن المشاريع من رفع مستوى الكفاءة التشغيلية وتقليل الفاقد، وثانيها أنه يُسهم في دعم استدامة المشاريع عبر تحسين منظومات اتخاذ القرار المرتبطة بتخصيص الموارد، وثالثها أنه يُعزز القدرة على التنبؤ بالتغيرات البيئية والتشغيلية التي قد تؤثر في مسار المشروع، ورابعها أنه يُوفر بنية معرفية تُمكن من ربط القرار الإداري بالقرار الفني في إطار موحد، وخامسها أنه يدعم قدرة المشروع على الاستجابة المرنة للتغيرات المفاجئة في بيئة التنفيذ.

ويرى (Ukoba et al., 2024) أن أهمية توظيف الذكاء الاصطناعي تتعدى البعد التشغيلي لتشمل بعداً استراتيجياً، إذ يُمثل أداة لإعادة هيكلة العلاقة بين المشروع وبيئته الخارجية. فهو يُسهم في تحسين دقة النماذج التنبؤية المرتبطة بأداء المنظومات المعقدة، ويرفع من قدرة المشروع على التعامل مع

التذبذب في المدخلات، وييسر إدماج اعتبارات الاستدامة في القرارات التشغيلية اليومية، فضلاً عن أنه يفتح آفاقاً جديدة لتطوير نماذج عمل قائمة على الخدمة بدلاً من النماذج التقليدية القائمة على الأصل.

ويُضيف (نجم، 2025) أن أهمية هذا التوظيف تتضح في كونه يسهم في تجاوز الإشكاليات البنوية التي تعاني منها بيئات إدارة المشاريع في الدول النامية، ومنها ضعف منظومات المعلومات، وتشتت قواعد البيانات، وغياب الأدوات التحليلية المتقدمة. إذ يُتيح الذكاء الاصطناعي إعادة بناء هذه المنظومات على أسس أكثر تكاملاً، ويمكن من تطوير قدرات الكوادر الإدارية في التعامل مع البيانات، ويفتح المجال أمام تبني ممارسات إدارة مشاريع أكثر نضجاً. كما يسهم في تعزيز موقع المنظمة في سوق المشاريع عبر رفع قدرتها التنافسية وتحسين سمعتها لدى الممولين والشركاء.

ويبرز (Hameed et al., 2025) أهمية أخرى مرتبطة بقطاع الإنشاء، إذ يمثل الذكاء الاصطناعي رافعة لتحسين كفاءة المشاريع الإنشائية وتعزيز استدامتها، عبر دعم وظائف التخطيط والتنفيذ والرقابة بأدوات قادرة على معالجة التعقيد المتزايد في هذه المشاريع. كما يسهم في تقليل المخاطر التشغيلية، ودعم اتخاذ القرارات المتعلقة بسلامة الموقع، وتحسين منظومة التنسيق بين الأطراف المتعددة المشاركة في المشروع، وهو ما يكسبه أهمية متصاعدة في القطاعات الكثيفة رأس المال كقطاع الطاقة المتجددة.

ويلاحظ من خلال هذه المعالجات أن أهمية توظيف الذكاء الاصطناعي تتوزع على مستويين متكاملين: مستوى داخلي يتصل بتحسين الكفاءة التشغيلية للمشروع وتعزيز قدرته على إدارة موارده وأوقاته وتكاليفه، ومستوى خارجي يتصل بموقع المشروع داخل منظومته البيئية والمؤسسية، إذ يسهم في تحسين استجابته للضغوط التنظيمية والاستدامة ومتطلبات أصحاب المصلحة. وهذا التوزع يجعل من توظيف الذكاء الاصطناعي ضرورة استراتيجية لا خياراً تكميلياً، ولا سيما في المشاريع التي تتعامل مع مصادر متجددة وغير مستقرة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

4.1.2 أهداف توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع

تتنوع الأهداف التي يسعى إليها توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع بحسب طبيعة المشروع وسياقه التنظيمي، غير أن ثمة قاسماً مشتركاً بينها يتصل بتجاوز محدوديات أساليب الإدارة التقليدية وفتح المجال أمام أنماط جديدة من اتخاذ القرار. ويمكن استعراض أبرز ما طرحته المعالجات النظرية في هذا الشأن على النحو الآتي.

يُحدّد (Yousef et al., 2023) جملة من الأهداف التي يسعى توظيف الذكاء الاصطناعي إلى تحقيقها، يمكن إجمالها فيما يلي: أولاً، تحسين قدرة المشروع على التنبؤ بسلوك المنظومات المتغيرة والمتذبذبة عبر بناء نماذج تنبؤية متقدمة. ثانياً، تعزيز كفاءة إدارة الموارد عبر خوارزميات التحسين القادرة على التعامل مع قيود متعددة في الوقت ذاته. ثالثاً، دعم قرارات التشغيل والصيانة عبر أنظمة الإنذار المبكر التي تعتمد على تحليل البيانات اللحظية. رابعاً، تمكين المشروع من التكامل مع الشبكات والمنظومات الأوسع التي يعمل ضمنها، بما يُحقّق درجة أعلى من الانسجام التشغيلي. خامساً، تقليل الاعتماد على الحدس والخبرة الشخصية في القرارات الحرجة لصالح القرار القائم على البيانات.

ويُحدّد (Arumugham et al., 2023) جملة أخرى من الأهداف، تتمحور حول: أولاً، تطوير برامج تنبؤ متقدمة قادرة على معالجة عدم اليقين في المدخلات. ثانياً، تحسين إدارة جانب الطلب عبر بناء نماذج ذكية تُيسّر التنسيق بين العرض والاحتياج. ثالثاً، رفع كفاءة الشبكات الذكية عبر إدماج تقنيات التعلم الآلي في وظائفها التشغيلية. رابعاً، تمكين متخذي القرار من التعامل مع البيانات الضخمة بطرق قابلة للتفسير والإجراء. خامساً، تعزيز قدرة المشروع على بناء سيناريوهات متعددة وتقييم بدائلها قبل اتخاذ القرار النهائي.

ويُحدّد (الدويري وعبادة، 2024) من زاوية مختلفة جملة من الأهداف التي يستهدفها توظيف الذكاء الاصطناعي في تطوير المشاريع، منها: أولاً، تطوير منظومة اتخاذ القرار داخل المشروع بحيث تستند إلى قواعد معرفية أكثر اتساعاً. ثانياً، تعزيز كفاءة الموارد البشرية عبر تحريرها من المهام الروتينية وتمكينها من الانخراط في المهام التحليلية والاستراتيجية. ثالثاً، تحسين منظومة الرقابة على المشروع عبر بناء أدوات قياس لحظية ومستمرة. رابعاً، دعم الشفافية والمساءلة عبر توثيق آلي للقرارات ومبرراتها. خامساً، تطوير قدرات المنظمة على التعلم المؤسسي من خلال تراكم البيانات وتحليلها.

ويُضيف (Mohamed et al., 2022) أهدافاً أخرى ذات طابع تشغيلي، تشمل: أولاً، تحقيق إدارة مثلى للطاقة عبر بناء نماذج اتخاذ قرار تستوعب دوال الكلفة المتعددة وعدم اليقين فيها. ثانياً، تقليل تكاليف التشغيل عبر إعادة تصميم منظومات اتخاذ القرار اللحظي. ثالثاً، تحسين موثوقية المنظومة عبر خوارزميات قادرة على اكتشاف الاضطرابات قبل تفاقمها. رابعاً، تمكين المنظومات المعقدة من العمل ضمن قيود متعددة دون تدخل بشري مستمر. خامساً، فتح المجال أمام تكامل أعمق بين المنظومات الفنية والاقتصادية داخل المشروع.

ويُكمل (Manuel et al., 2024) قائمة الأهداف بإضافة بُعد مرتبط بالاستدامة، إذ يستهدف توظيف الذكاء الاصطناعي رفع كفاءة استخدام مصادر الطاقة المتجددة عبر تحسين أداء المحطات بصرياً وتشغيلياً، وتعزيز قدرة المشاريع الإنشائية على استيعاب هذه المصادر، وتخفيض البصمة الكربونية للمشروع، فضلاً عن تحسين منظومة الصيانة التنبؤية بما يُطيل العمر التشغيلي للأصول ويُقلل تكاليف دورة الحياة.

ويتضح من تجميع هذه الأهداف أنها تتراوح بين هدف تشغيلي قريب يتصل بكفاءة الأنشطة اليومية للمشروع، وهدف استراتيجي بعيد يتصل بإعادة بناء قدرات المنظمة على التعلم والتكيف. وهذا التراوح يُكسب توظيف الذكاء الاصطناعي طابعاً تكاملياً، إذ لا يمكن قصره على المستوى الأدائي وحده، ولذا تجريده من ارتباطه بالمستوى المؤسسي والاستراتيجي.

5.1.2 أبعاد توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع

تم تحديد أبعاد توظيف الذكاء الاصطناعي في الدراسة الحالية بناءً على المعالجة النظرية التي قَدّمها (Ruiz et al., 2025) في سياق تطبيق تقنيات التخطيط والجدولة الذكية في مشاريع إنشاء محطات الطاقة الكهروضوئية، وما طرحه (Hameed et al., 2025) من إطار لإدماج الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع الإنشائية بأبعادها التخطيطية والمالية والرقابية، فضلاً عما قَدّمه (Arumugham et al., 2023) من منظور لإدارة جانب الطلب والتحليلات التنبؤية. وقد جرى اشتقاق أربعة أبعاد رئيسة من هذه المعالجات، تشمل: التخطيط والجدولة الذكية، والتحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، والتحسين الآلي لتخصيص الموارد، والمراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي.

البُعد الأول: التخطيط والجدولة الذكية. يُمثّل هذا البُعد المدخل الأساس لتوظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع، إذ يُعنى بإعادة هندسة وظيفة التخطيط بحيث تنتقل من كونها عملية مكتبية تسبق التنفيذ إلى عملية ديناميكية مستمرة تتغذى على البيانات اللحظية وتُعيد ضبط مسار المشروع تلقائياً. ويتضمن هذا البُعد توظيف الخوارزميات الذكية في بناء شبكات الأنشطة، وتحديد المسار الحرج، وإعادة جدولة الأنشطة عند طرؤ متغيرات غير متوقعة، بما يُتيح للمشروع التعامل مع التعقيد دون فقدان الانضباط الزمني. ويُلاحظ أنّ هذا البُعد يُمثّل تطويراً جوهرياً للأساليب الكلاسيكية في الجدولة كأسلوبَي بيرت والمسار الحرج، إذ يُحوّلها من أدوات ساكنة إلى أدوات متكيفة (نجم، 2012).

ويتسم هذا البُعد بقدرته على إدماج كميات هائلة من البيانات في عملية التخطيط، بما يشمل بيانات الأداء التاريخي، وبيانات الطقس، وبيانات سلسلة الإمداد، وبيانات توافر الموارد البشرية، لِيُنتج جداول زمنية تستوعب القيود المتعددة في الوقت ذاته. ويُعزّز ذلك قدرة مدير المشروع على بناء سيناريوهات بديلة قبل اتخاذ القرار، واختبارها افتراضياً قبل التنفيذ، وهو ما يُقلّل المخاطر المرتبطة بقرارات الجدولة الكبرى. كما يُتيح هذا البُعد إعادة الجدولة التلقائية عند اكتشاف انحرافات، بحيث لا تتطلب كل تغييرات السياق تدخلاً بشرياً كاملاً، بل تكفي بمراجعة المخرجات الخوارزمية وإقرارها.

ويُضيف هذا البُعد قيمة خاصة في مشاريع الطاقة المتجددة التي تتسم بتعقيد فني وتنسيق عالٍ بين تخصصات متعددة، إذ يُمكن من بناء جداول أكثر واقعية تستوعب التداخل بين الأنشطة المدنية والكهربائية والميكانيكية، ويساعد على تقليص الفترات الميتة بين الأنشطة، وتحسين تتابعها بما ينعكس على المدة الكلية للمشروع. وقد أبرزت المعالجات الحديثة أن تطبيق الذكاء الاصطناعي في التخطيط والجدولة يُعيد تشكيل العلاقة بين الزمن والكلفة والجودة، بحيث لا تُعالج هذه العناصر كقيود منفصلة، بل كنسيج واحد قابل للتحسين المتزامن. (Ruiz et al., 2025)

البُعد الثاني: التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف. يُمثّل هذا البُعد امتداداً منطقيّاً للبُعد الأول، إذ ينقل وظيفة إدارة التكاليف من كونها وظيفة محاسبية لاحقة إلى وظيفة تنبؤية استباقية تُغذي قرارات المشروع منذ مرحلة التخطيط. ويتضمن هذا البُعد توظيف خوارزميات التعلم الآلي في بناء نماذج تقدير دقيقة للتكاليف، تأخذ في الحسبان الأنماط التاريخية للمشاريع المماثلة، ومتغيرات السوق، وأسعار المدخلات، وتقلبات سلاسل الإمداد. ويُمكن ذلك المشروع من إنتاج تقديرات أكثر واقعية، وتقليل الفجوة بين الكلفة المخططة والكلفة الفعلية.

ويتسع هذا البُعد ليشمل الكشف المبكر عن الانحرافات المالية، إذ تُمكن النماذج التنبؤية من رصد إشارات الإنذار قبل أن تتحول إلى تجاوزات كبرى، بما يُتيح اتخاذ قرارات تصحيحية في الوقت المناسب. ويسهم ذلك في تعزيز الانضباط المالي للمشروع، ورفع ثقة الممولين وأصحاب المصلحة في مخرجاته. كما يُتيح هذا البُعد بناء نماذج لتقدير كلفة دورة الحياة، التي تتجاوز كلفة الإنشاء لتشمل كلفة التشغيل والصيانة وما بعد التشغيل، وهو ما يتسق مع طبيعة مشاريع الطاقة المتجددة الممتدة زمنياً. ويُلاحظ هنا أن التحليلات التنبؤية تُعيد تعريف العلاقة بين البيانات المالية والقرار الإداري، بحيث لا تعود البيانات المالية مجرد سجل للأداء، بل تصبح رافعة لتوجيه الأداء المستقبلي. (Mohamed et al., 2022)

ويتقاطع هذا البُعد مع منظومات الموازنات الرأسمالية المستخدمة في تقييم مشاريع الطاقة البديلة، إذ يُتيح إثراءها بنماذج خوارزمية تستوعب عدم اليقين في التدفقات النقدية، وتُحسن قدرة المشروع على المفاضلة بين البدائل الاستثمارية (الزبيدي والسبعراوي، 2025). كما يُكسب التحليلات التنبؤية قدرة على دمج المتغيرات غير المالية، كالمخاطر التنظيمية والبيئية، في النماذج المالية للمشروع، بما يُنتج صورة أكثر شمولاً لكلفة المشروع الحقيقية.

البُعد الثالث: التحسين الآلي لتخصيص الموارد. يُعنى هذا البُعد بتوظيف خوارزميات التحسين والذكاء الاصطناعي في إدارة الموارد البشرية والمادية للمشروع، بما يُحقق التخصيص الأمثل لها عبر الأنشطة وعبر الزمن. وينطلق هذا البُعد من إدراك أن المشاريع المعاصرة، ولما سيما مشاريع الطاقة المتجددة، تتطلب على تعقيد كبير في إدارة الموارد، يتمثل في تعدد التخصصات، وتزامن الأنشطة، وتداخل المشاريع داخل المحفظة الواحدة، وهو ما يجعل التخصيص اليدوي للموارد أقل قدرة على تحقيق الأمثلية المطلوبة (تلي وآخرون، 2022).

ويتضمن هذا البُعد بناء نماذج خوارزمية قادرة على معالجة قيود متعددة في وقت واحد، تشمل توافر الموارد ومهاراتها وكلفتها، وأولويات الأنشطة، ومواعيدها الحرجة. ويُتيح ذلك توليد خطط تخصيص تحقق التوازن بين الاستفادة القصوى من الموارد وتجنب إرهاقها، وبين تلبية متطلبات المشروع والحفاظ على استدامة الكوادر. كما يُسهم هذا البُعد في تقليل الهدر في الموارد، عبر اكتشاف الفجوات في الاستخدام وإعادة توزيعها على الأنشطة الأكثر حاجة، وهو ما ينعكس على كفاءة المشروع وكلفته الإجمالية.

ويتسع هذا البُعد ليشمل التوازن بين مشاريع المحفظة الواحدة، إذ تُمكن خوارزميات التحسين من إدارة الموارد المشتركة بين عدة مشاريع مترامنة، وتجنب التعارض في طلباتها، وتحقيق أعلى عائد من استخدامها. ويُسهم ذلك في تعزيز قدرة المنظمة على تنفيذ محفظة أكبر من المشاريع دون توسعة موارد متناسبة، وهو ما يُحقق وفورات تنظيمية كبيرة. ويُلاحظ أن هذا البُعد يتقاطع مع منظومات تخطيط موارد المشروع التي تسعى إلى توحيد قواعد البيانات المتعلقة بالموارد، بما يُتيح للذكاء الاصطناعي العمل على بيانات نظيفة ومتكاملة (الجبوري ومصطفى، 2021).

البُعد الرابع: المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي. يُتمثل هذا البُعد الحلقة الختامية في منظومة توظيف الذكاء الاصطناعي، إذ يُعنى بتحويل وظيفة الرقابة من وظيفة دورية لاحقة إلى وظيفة لحظية

مستمرة. ويتضمن هذا البُعد توظيف أنظمة الذكاء الاصطناعي في الرصد اللحظي لمؤشرات الأداء الرئيسية للمشروع، عبر دمج البيانات المتدفقة من مصادر متعددة، تشمل أجهزة الاستشعار، وأنظمة المعلومات الإدارية، وتقارير الميدان، وتحليلها آنياً لاكتشاف الأنماط والانحرافات.

ويتسع هذا البُعد ليشمل الكشف المبكر عن المخاطر التشغيلية والفنية والمالية، إذ تُمكن النماذج الخوارزمية من تحديد المؤشرات السابقة لحدوث المشكلات قبل وقوعها، بما يُتيح اتخاذ قرارات تصحيحية استباقية. ويسهم ذلك في تقليل تكاليف المعالجة، وحماية المشروع من تجاوزات الزمن والكلفة. كما يُمكن هذا البُعد من بناء أنظمة دعم قرار قادرة على اقتراح الإجراءات التصحيحية المناسبة بناءً على تحليل الموقف، وهو ما يُسرّع دورة الاستجابة ويُقلل اعتمادها على الخبرة الشخصية لمدير المشروع.

ويتقاطع هذا البُعد بصورة وثيقة مع متطلبات مشاريع الطاقة المتجددة التي تتسم بتذبذب المدخلات وعدم استقرارها، إذ يُتيح بناء منظومات تحكم قادرة على ضبط أداء المشروع في الزمن الفعلي وفقاً للظروف المتغيرة، بما يُحقق استقرار المخرجات رغم تذبذب المدخلات. كما يسهم هذا البُعد في تعزيز الشفافية أمام أصحاب المصلحة، عبر توفير لوحات قياس لحظية تُمكنهم من متابعة أداء المشروع في الوقت الفعلي، وهو ما يرفع مستوى الثقة في إدارة المشروع.(Manuel et al., 2024)

6.1.2 استراتيجيات توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع

تتعدد الاستراتيجيات التي يمكن للمنظمات اعتمادها لتوظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة مشاريعها، وتتمايز فيما بينها بحسب درجة النضج التقني للمنظمة، وطبيعة محفظتها من المشاريع، ومستوى استثمارها في البنية التحتية الرقمية. ويمكن استعراض أبرز هذه الاستراتيجيات على النحو الآتي.

تتمثل الاستراتيجية الأولى في استراتيجية الإدماج التدريجي، التي تقوم على تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي عبر مراحل متعاقبة، تبدأ من المهام ذات المخاطر المنخفضة والقيمة المضافة العالية، ثم تتوسع تدريجياً لتشمل المهام الأكثر تعقيداً. وتيسر هذه الاستراتيجية بناء قدرات تنظيمية متراكمة، وتُقلل مخاطر التبني، وتُتيح للمنظمة استيعاب التحول الثقافي المصاحب لإدماج هذه التقنيات. وتتسق هذه الاستراتيجية مع التوجهات المستقبلية لتحسين أداء إدارة المشاريع في البيئات التي تواجه تحديات بنوية في منظوماتها الإدارية (نجم، 2025).

أما الاستراتيجية الثانية فهي استراتيجية التحول الشامل، التي تقوم على إعادة هندسة منظومة إدارة المشاريع بالكامل، بحيث تُصمَّم وظائفها من البداية على أساس توظيف الذكاء الاصطناعي. وتتطلب هذه الاستراتيجية استثماراً كبيراً في البنية التحتية والكوادر، وإعادة تصميم العمليات والسياسات، غير أنها تُحقِّق قفزة نوعية في القدرات بدلاً من التحسين الجزئي. وتتقاطع هذه الاستراتيجية مع مشاريع التحول الرقمي الكبرى التي تنتهجها المؤسسات الحكومية والقطاعات الاستراتيجية (العتيبي وأبو لحيه، 2024).

وتتمثل الاستراتيجية الثالثة في استراتيجية الشراكة التقنية، التي تقوم على إقامة شراكات مع مزودي تقنيات الذكاء الاصطناعي والجهات البحثية، بهدف تسريع تبني هذه التقنيات دون الحاجة إلى بناء قدرات داخلية كاملة. وتُتيح هذه الاستراتيجية للمنظمة الاستفادة من خبرات متخصصة، وتقاسم المخاطر والمعرفة، وتسريع وتيرة التبني، غير أنها تتطلب بناء قدرات حوكمة قادرة على إدارة هذه الشراكات بفاعلية. وتتسع هذه الاستراتيجية لتشمل التعاون مع الجهات التمويلية المتخصصة في تمويل المشاريع المستدامة، كما في حالة السندات الخضراء التي توفر مصادر تمويل ملائمة للمشاريع التي تدمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة مشاريع الطاقة المتجددة (رماش ودوفي، 2024).

وتتمثل الاستراتيجية الرابعة في استراتيجية بناء القدرات الداخلية، التي تقوم على الاستثمار في تطوير الكوادر البشرية للمنظمة، وبناء وحدات داخلية متخصصة في الذكاء الاصطناعي، تتولى تصميم الحلول الخاصة بمشاريع المنظمة. وتُعزِّز هذه الاستراتيجية الميزة التنافسية المستدامة، وتُقلِّل الاعتماد على المزودين الخارجيين، غير أنها تتطلب وقتاً طويلاً للنضوج. وتتقاطع هذه الاستراتيجية مع منظور الإبداع الفردي الذي يسهم في تحسين أداء المشاريع عبر تطوير القدرات الإبداعية للكوادر العاملة فيها (العوامرة والعمرى، 2013).

وتتمثل الاستراتيجية الخامسة في استراتيجية التكامل القطاعي، التي تقوم على إدماج تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن منظومة أوسع من التقنيات الرقمية، تشمل نظم المعلومات الجغرافية، وإنترنت الأشياء، والبيانات الضخمة. وتُتيح هذه الاستراتيجية بناء منظومة متكاملة قادرة على دعم اتخاذ القرار في كل مراحل المشروع، من اختيار الموقع إلى التشغيل. وتتقاطع هذه الاستراتيجية بصورة خاصة مع مشاريع الطاقة المتجددة التي تتطلب تكاملاً بين أدوات تحليل الموقع وأدوات إدارة المشروع (القذحات والشقور، 2015).

المبحث الثاني: تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

1.2.2 تمهيد

تتصدر مشاريع الطاقة المتجددة اليوم أجندة التنمية المستدامة في معظم اقتصادات العالم، بوصفها أحد أهم المداخل لإعادة هيكلة منظومات الطاقة الوطنية بما يستجيب لمتطلبات الحدّ من الانبعاثات وتنويع مصادر التوليد وتعزيز الأمن الطاقوي. ولم تعد هذه المشاريع تُقَيَّمُ بمعايير الإنجاز التقليدية المرتبطة بالزمن والكلفة والجودة فحسب، بل امتدت معايير تقييمها لتشمل البصمة البيئية، والأثر الاجتماعي، ومدى إسهامها في تحقيق أهداف الاستدامة طويلة المدى. ومن ثمّ، فإنّ مفهوم أداء هذه المشاريع اكتسب اتساعاً مفاهيمياً يتجاوز المعالجة الكلاسيكية لأداء المشروع كما عُرِفَ في أدبيات إدارة المشاريع.

ويبرز هذا الاتساع حاجةً موازيةً إلى إعادة بناء الإطار النظري الذي يُوطَّر لمفهوم تحسين الأداء في هذا النوع من المشاريع، بحيث يستوعب الطابع المركّب لمشاريع الطاقة المتجددة، التي تجمع بين البعد الإنشائي في مرحلة التأسيس، والبعد التشغيلي الممتد في مرحلة الإنتاج، والبعد التنظيمي المرتبط بإدارة شبكة من أصحاب المصلحة. ويسعى هذا المبحث إلى بناء هذا الإطار عبر تحليل المفهوم وتحديد أهميته وأهدافه وأبعاده واستراتيجياته، بما يخدم بناء النموذج التحليلي للدراسة الحالية ويُمكن من فحص العلاقة بينه وبين توظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده الأربعة.

2.2.2 مفهوم تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

تتباين المقاربات النظرية في تحديد مفهوم تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة، وهو تباين يعكس الطبيعة البينية لهذه المشاريع التي تتقاطع فيها معايير إدارة المشروع التقليدية مع معايير الاستدامة البيئية ومتطلبات التشغيل الفني للمنظومات الطاقوية. ويُمكن استعراض أبرز هذه المقاربات على النحو الآتي.

تنظر مقارنة أولى إلى مفهوم تحسين الأداء بوصفه عملية متعددة الأبعاد تستهدف رفع كفاءة المشروع في تحقيق أهدافه المعلنة ضمن قيود الزمن والكلفة والجودة، مع توسيع مفهوم الأهداف ليشمل الأثر البيئي والاجتماعي للمشروع. وتُبرز هذه المقاربة أنّ أداء مشروع الطاقة المتجددة لا يُقاس بمدخلاته ومخرجاته الإنشائية فحسب، بل بمدى إسهامه في إحداث تحول مستدام في منظومة الطاقة المحلية، ومدى استجابته لتوقعات المجتمع المحيط (علي ومحمد، 2025).

وتتميز عن ذلك مقارنة ثانية تُعرف تحسين الأداء بدلالة الكفاءة التشغيلية لمنظومات الطاقة، فتري أن الأداء الجيد يتحقق عندما تنجح المنظومة في توليد الكهرباء بأعلى مستويات الموثوقية وأقل مستويات الفاقد، مع الاستجابة المرنة لتذبذب المدخلات الطبيعية كالإشعاع الشمسي وسرعة الرياح. وتتسع هذه المقاربة لتشمل معايير جودة الطاقة المنتجة، واستقرار التغذية، وقدرة المنظومة على التكامل مع الشبكة الكهربائية الأوسع. (Yousef et al., 2023)

وتُقدم مقارنة ثالثة تعريفًا أكثر شمولًا، إذ تنظر إلى تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة بوصفه مسارًا تطوريًا متواصلًا يستهدف إعادة موضوعة المشروع باستمرار على منحني الكفاءة المثلى، عبر دمج تقنيات التنبؤ والتحسين في وظائف الإدارة والتشغيل. وتُبرز هذه المقاربة الطابع الديناميكي للأداء، إذ لا يمكن تحقيقه مرة واحدة، بل يتطلب جهدًا متجددًا يستوعب التغيرات في البيئة التقنية والاقتصادية والتنظيمية للمشروع. (Ukoba et al., 2024)

ومن منظور رابع، يُعرف تحسين الأداء بوصفه عملية تحقيق التوازن بين الأبعاد الثلاثة للاستدامة، أي البعد الاقتصادي والبيئي والاجتماعي، بحيث لا يطغى أحدها على الآخر. وتُبرز هذه المقاربة أن مشاريع الطاقة المتجددة تنطوي بطبيعتها على توترات بين هذه الأبعاد، كالتوتر بين الحاجة إلى تخفيض الكلفة وبين الالتزام بأعلى معايير حماية البيئة، وأن تحسين الأداء يعني إدارة هذه التوترات بطريقة تُحقق أمثلية مركبة لا أمثلية جزئية (الرشدان وغنيم، 2015).

وتنظر مقارنة خامسة إلى المفهوم من زاوية إدارة الجودة، فتري أن تحسين أداء المشاريع، ولما سيما الإنشائية منها، يتحقق عبر منظومة متكاملة لضمان الجودة في كل مراحل المشروع، من التصميم إلى التسليم، مع امتداد هذه المنظومة لتشمل مرحلة التشغيل وما بعدها. وتُبرز هذه المقاربة أن الجودة ليست هدفًا منفصلًا عن الكلفة والزمن، بل هي البنية المعرفية التي تتشكل من خلالها قرارات إدارة المشروع كلها، وأن تحسين الأداء يستلزم نضوج هذه البنية وتطويرها المستمر (الحسن، 2025).

ويتقاطع مع ذلك منظور سادس يُعرف تحسين الأداء بدلالة قدرة المشروع على استيعاب الابتكار التكنولوجي وتوظيفه في تطوير مخرجاته، فيرى أن الأداء الجيد يتحقق عندما يصبح المشروع منصة للابتكار المستمر لا مجرد منظومة تشغيلية ساكنة. وتُبرز هذه المقاربة أن مشاريع الطاقة المتجددة، بحكم طبيعتها التقنية المتجددة، تتطلب قدرة عالية على استيعاب التقنيات الجديدة وإعادة تشكيل عملياتها وفقًا لها. (Manuel et al., 2024)

ومن خلال استقراء هذه المقاربات، يرى الباحث أن تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة يمكن تعريفه إجرائياً بأنه: المسار التطويري المتكامل الذي تنتهجه إدارة المشروع لرفع قدرته على تحقيق أهدافه الإنشائية والتشغيلية والاستدامة في الزمن المخطط وضمن الموارد المتاحة، عبر إعادة هندسة وظائف التخطيط والتنفيذ والرقابة، وتوظيف التقنيات الذكية في دعم اتخاذ القرار، وإدارة العلاقة المتوازنة بين أبعاد الكلفة والجودة والأثر البيئي والاجتماعي، بما يُكسب المشروع قدرة متجددة على التكيف مع التغيرات التقنية والاقتصادية والتنظيمية في بيئته. ويتميز هذا التعريف عن سابقه بكونه يجمع بين البعد الإجرائي (مسار تطويري متكامل)، والبعد الوظيفي (وظائف الإدارة)، والبعد القيمي (التوازن بين أبعاد الاستدامة)، مع ربط ذلك بسياق مشاريع الطاقة المتجددة تحديداً.

3.2.2 أهمية تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

تتبقى أهمية تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة من موقعها المحوري في منظومة التحول الطاقوي العالمي، ومن خصوصيتها بوصفها مشاريع كثيفة رأس المال وطويلة الأمد ومتعددة الأطراف. وتتوزع هذه الأهمية على مستويات متعددة تشمل المستوى الاقتصادي والبيئي والاجتماعي والتنظيمي، بحيث لا يمكن النظر إلى تحسين الأداء بوصفه هدفاً داخلياً للمشروع وحده، بل بوصفه ضرورة تتقاطع فيها مصالح أطراف متعددة داخل المنظومة الأوسع التي يعمل فيها المشروع.

ويشير (علي ومحمد، 2025) إلى أن أهمية تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة تتجلى في عدة محاور؛ أولها أنها تسهم في تعظيم الأثر البيئي الإيجابي للمشروع عبر رفع كفاءته في تخفيض الانبعاثات الكربونية، وثانيها أنها تُعزز الأثر الاجتماعي للمشروع عبر رفع قدرته على توليد فرص العمل وتنمية المجتمعات المحيطة، وثالثها أنها تفتح المجال لاستيعاب أعمق للابتكار التكنولوجي بما يُحسن المخرجات الكلية للمشروع، ورابعها أنها تُعزز قدرة المشروع على الاستدامة طويلة المدى عبر بناء منظومة عمل متكاملة تجمع بين الكفاءة الفنية والمسؤولية الاجتماعية، وخامسها أنها تسهم في بناء نماذج عمل قابلة للتعميم في سياقات أخرى مماثلة.

ويرى (الرشدان وغنيم، 2015) أن أهمية تحسين أداء هذه المشاريع تتعدى البعد الفني لتشمل بعداً تنموياً أوسع، إذ تمثل هذه المشاريع رافعة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة على المستوى الوطني. وتتجلى هذه الأهمية في كونها تسهم في تنويع مصادر الطاقة الوطنية وتقليل الاعتماد على المصادر

التقليدية، وتُعزز الأمن الطاقوي للدولة، وتفتح المجال أمام بناء صناعات محلية متخصصة في تقنيات الطاقة المتجددة، وتيسر تحقيق التزامات الدولية المرتبطة بتخفيض الانبعاثات، وتسهم في تحسين جودة الحياة في المجتمعات المحلية المحيطة بالمشروع.

ويضيف (Ukoba et al., 2024) بعداً آخر للأهمية يتصل بقدرة هذه المشاريع على استيعاب التقنيات المتقدمة وتحويلها إلى قيمة تشغيلية. فتحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة يمثل فرصة لإعادة بناء العلاقة بين التقنية والإدارة، عبر دمج خوارزميات التحسين والتنبؤ في صلب العمليات اليومية للمشروع، وهو ما يؤسس لنمط جديد من المشاريع الذكية القادرة على التعلم من بياناتها وتطوير أدائها ذاتياً. كما يسهم تحسين الأداء في تعزيز جاذبية المشروع للاستثمار، ورفع تصنيفه في أسواق التمويل المستدام.

ويبرز (الحسن، 2025) أهمية تحسين الأداء من زاوية إدارة الجودة، إذ يرى أن هذه المشاريع تمثل ميداناً حيوياً لتطبيق ممارسات إدارة الجودة الشاملة، وأن تحسين أدائها يسهم في ترسيخ ثقافة الجودة في القطاع. وتتجلى هذه الأهمية في كون الجودة تمثل عاملاً حاسماً في موثوقية المشروع وأمانه، ولما سيما أن مشاريع الطاقة تنطوي على مخاطر فنية ذات تبعات واسعة. كما يسهم تحسين الأداء في بناء سمعة تنافسية للمشروع تمكنه من جذب فرص جديدة، وتعزيز موقعه في سوق المشاريع الإقليمية.

ويكمل (Mohamed et al., 2022) قائمة الأهمية بإبراز البعد الاقتصادي التشغيلي، إذ يمثل تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة، ولما سيما الشمسية منها، رافعة لتخفيض كلفة الكيلوواط ساعة المنتجة، وتعزيز قدرتها التنافسية أمام مصادر الطاقة التقليدية. وتتجلى هذه الأهمية في كونها تيسر تحقيق ما يُعرف بتعادل الكلفة، وهو الحد الذي تصبح عنده الطاقة المتجددة منافسة اقتصادياً للطاقة الأحفورية دون الحاجة إلى دعم حكومي، وهو ما يشكل تحولاً جوهرياً في منظومة الطاقة.

ويتضح من جميع هذه المعالجات أن أهمية تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة تتموضع في تقاطع أربع منظومات: منظومة الكفاءة الإدارية للمشروع، ومنظومة الجدوى الاقتصادية، ومنظومة الاستدامة البيئية والاجتماعية، ومنظومة الابتكار التقني. وهذا التقاطع يُكسب تحسين الأداء طابعاً استراتيجياً متعدد الأبعاد، يفوق في تركيبته أداء المشاريع التقليدية، ويبرر إفراده بمعالجة نظرية مستقلة في الدراسات المتخصصة.

4.2.2 أهداف تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

تتنوع الأهداف التي يسعى تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة إلى تحقيقها، وتتباين بحسب الزاوية النظرية التي تُقاربها الدراسات. ويمكن استعراض أبرز هذه الأهداف من خلال جملة من المعالجات النظرية على النحو الآتي.

يُحدّد (نجم، 2025) جملة من الأهداف العامة لتحسين أداء المشاريع، يمكن إجمالها فيما يلي: أولاً، رفع قدرة المنظمة على تنفيذ مشاريعها ضمن المعايير المخططة وتقليل التجاوزات الزمنية والمالية. ثانياً، بناء قدرات إدارة مشاريع أكثر نضوجاً قادرة على التعامل مع التعقيد المتزايد في بيئات التنفيذ. ثالثاً، تطوير منظومة المعلومات الإدارية بحيث تدعم اتخاذ القرار في كل مراحل المشروع. رابعاً، تعزيز كفاءة الكوادر البشرية العاملة في المشاريع عبر برامج تطوير مهني مستدامة. خامساً، بناء توجهات مستقبلية تُمكن المنظمة من استيعاب التحولات في حقل إدارة المشاريع، ولما سيما تلك المرتبطة بالتحول الرقمي والذكاء الاصطناعي.

ويُحدّد (الحسن، 2025) أهدافاً أخرى مرتبطة بإدارة الجودة، تشمل: أولاً، ترسيخ ثقافة الجودة في كل مراحل المشروع بحيث تُصبح جزءاً من البنية المعرفية لفرق العمل. ثانياً، تطوير منظومة ضمان الجودة وضبطها بحيث تستوعب خصوصية مشاريع الطاقة المتجددة. ثالثاً، تحقيق استدامة المشروع عبر بناء ممارسات جودة قابلة للاستمرار خلال مرحلة التشغيل. رابعاً، تعزيز رضا أصحاب المصلحة عن مخرجات المشروع عبر الالتزام بأعلى معايير الجودة. خامساً، بناء سمعة مؤسسية تُمكن المنظمة من المنافسة على المشاريع المستقبلية في القطاع.

ويُحدّد (الرشدان وغنيم، 2015) أهدافاً ذات طابع تنموي، تشمل: أولاً، تعظيم الإسهام التنموي للمشروع في المجتمعات المحلية المحيطة به. ثانياً، تنويع الاقتصاد الوطني وتقليل اعتماده على مصدر طاقة وحيد. ثالثاً، بناء قدرات وطنية في تقنيات الطاقة المتجددة تُؤسس لقطاع صناعي محلي. رابعاً، تحقيق الالتزامات الدولية المرتبطة بأهداف التنمية المستدامة وتخفيض الانبعاثات. خامساً، توفير حلول طاغوية للمناطق النائية التي يصعب توصيلها بالشبكة المركزية.

ويُضيف (علي ومحمد، 2025) جملة من الأهداف ذات الطابع التكاملي، تشمل: أولاً، تحقيق تكامل بين الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية في إدارة المشروع. ثانياً، تعزيز قدرة المشروع على الابتكار

التكنولوجي المستمر. ثالثاً، رفع كفاءة المشروع في توليد فرص العمل وتنمية الكفاءات المحلية. رابعاً، بناء نموذج مشروع قابل للتعميم في سياقات أخرى مماثلة. خامساً، تعزيز قدرة المشروع على الاستجابة لتوقعات أصحاب المصلحة المتعددين.

ويُكمل (Yousef et al., 2023) قائمة الأهداف بإضافة بُعد تشغيلي مرتبط بإدارة منظومات الطاقة المتجددة المتغيرة، إذ يستهدف تحسين الأداء: أولاً، رفع قدرة المنظومة على التعامل مع تذبذب مدخلات الطاقة المتجددة. ثانياً، تحسين موثوقية التغذية الكهربائية وضمان استقرارها. ثالثاً، تعزيز كفاءة التكامل بين المنظومة والشبكة الكهربائية الأوسع. رابعاً، تطوير منظومات التخزين بحيث تستوعب الفائض وتُغطّي العجز. خامساً، بناء قدرات تنبؤية تُمكن المشغل من استباق التغيرات في المدخلات.

ويتضح من تجميع هذه الأهداف أنها تتوزع على ثلاث طبقات متكاملة: طبقة الأهداف التشغيلية المرتبطة بالكفاءة اليومية للمشروع، وطبقة الأهداف المؤسسية المرتبطة ببناء قدرات المنظمة، وطبقة الأهداف التنموية المرتبطة بالأثر الأوسع للمشروع في محيطه. وهذا التوزيع الطبقي يُكسب تحسين الأداء طابعاً تكاملياً، ويبرر تبني إطار نظري يستوعب هذه الطبقات معاً.

5.2.2 أبعاد تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

تم تحديد أبعاد تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الدراسة الحالية بناءً على المعالجة التي قدمها (علي ومحمد، 2025) في إطاره الذي يربط بين الأثر البيئي والاجتماعي والابتكار التكنولوجي ونجاح هذه المشاريع، وما طرحه (Yousef et al., 2023) من معالجة للكفاءة التشغيلية لمنظومات الطاقة المتجددة المتغيرة، فضلاً عما قدمه (الحسن، 2025) من إطار لإدارة الجودة في المشاريع. وقد جرى اشتقاق أربعة أبعاد رئيسة من هذه المعالجات، تشمل: الكفاءة الإنشائية والتشغيلية، والاستدامة البيئية، والأثر الاقتصادي والاجتماعي، والقدرة على الاستيعاب التقني والابتكار.

البُعد الأول: الكفاءة الإنشائية والتشغيلية. يُمثّل هذا البُعد المدخل الأساسي لتقييم أداء مشاريع الطاقة المتجددة، إذ يتصل بقدرة المشروع على تحقيق أهدافه الإنشائية في مرحلة التأسيس، وأهدافه التشغيلية في مرحلة الإنتاج. ويتضمن هذا البُعد جملة من المؤشرات، تشمل الالتزام بالجدول الزمني المخطط، والانسباط ضمن الموازنة المعتمدة، وتحقيق مستويات الجودة المستهدفة، فضلاً عن مؤشرات الكفاءة

التشغيلية كمعدل التوافرية، ومعدل استغلال القدرة المركبة، وكفاءة التحويل من مصدر الطاقة الأولي إلى الطاقة الكهربائية.

ويتسم هذا البعد بطابعه التكاملي بين مرحلتى الإنشاء والتشغيل، إذ تؤثر قرارات مرحلة الإنشاء بصورة مباشرة في كفاءة المرحلة التشغيلية، وهو ما يستلزم رؤية متكاملة لدورة حياة المشروع. ويُعزّز هذا البعد قدرة المشروع على تحقيق العائد الاستثماري المخطط، ويُمكن من بناء سمعة مؤسسية تُيسر الحصول على مشاريع جديدة. كما يُسهم في تعزيز موثوقية المشروع أمام الجهات التمويلية والتنظيمية، وهو ما يُعدّ عاملاً حاسماً في مشاريع كثيفة رأس المال كمشاريع الطاقة المتجددة (محمد، 2020).

ويتسع هذا البعد ليشمل الكفاءة في إدارة سلسلة الإمداد للمشروع، التي تُمثّل عاملاً حاسماً في مشاريع الطاقة المتجددة بحكم اعتمادها على مكونات تقنية متخصصة تُستورد في الغالب من أسواق دولية. كما يشمل الكفاءة في إدارة العقود مع المقاولين والموردين، والكفاءة في إدارة التداخلات بين التخصصات الهندسية المتعددة المشاركة في المشروع. ويُلاحظ أنّ هذا البعد يستفيد بصورة كبيرة من توظيف أساليب الجدولة المتقدمة وشبكات الأعمال في تنظيم الأنشطة وضبط مساراتها (أعراب، 2021).

البعد الثاني: الاستدامة البيئية. يُعنى هذا البعد بقياس مدى نجاح المشروع في تحقيق أهدافه البيئية، التي تُمثّل بطبيعتها الأساس المنطقي لوجود مشاريع الطاقة المتجددة. ويتضمن هذا البعد جملة من المؤشرات، تشمل حجم الانبعاثات الكربونية المُجنّبة، وحجم الموارد الطبيعية المحفوظة، وحجم النفايات المعالجة، فضلاً عن مؤشرات الأثر البيئي خلال مرحلة الإنشاء، كحجم التربة المنقولة، والمساحات النباتية المتأثرة، والتأثير على التنوع الحيوي في موقع المشروع.

ويتسم هذا البعد بطابعه الممتد زمنياً، إذ لا تظهر آثاره البيئية الكاملة إلا على مدى زمني طويل، وهو ما يتطلب بناء منظومات قياس قادرة على متابعة هذه الآثار خلال دورة حياة المشروع. ويسهم هذا البعد في تعزيز قيمة المشروع لدى الجهات التمويلية المتخصصة في التمويل الأخضر، وتُمثّل السندات الخضراء أحد أبرز أدوات هذا التمويل، إذ تُقدّم مصادر تمويل ميسرة للمشاريع التي تُحقّق أعلى مستويات الأداء البيئي (رماش ودوفي، 2024).

ويتسع هذا البعد ليشمل ما يُعرف بالاستدامة الفنية، التي تتصل بقدرة المشروع على الحفاظ على أدائه البيئي خلال مرحلة التشغيل، ويتطلب ذلك منظومة صيانة قادرة على ضمان استمرار كفاءة المعدات

وعدم تدهور أدائها البيئي مع الزمن. كما يشمل قدرة المشروع على التكيف مع التغيرات في معايير الأداء البيئي، التي تتجه عادة نحو مزيد من التشدد، وهو ما يستلزم بناء قدرة استيعابية مستمرة لمتطلبات بيئية جديدة. ويلاحظ هنا أن تحقيق الاستدامة البيئية يتطلب توظيف أدوات تحليلية متقدمة لتقييم الأثر البيئي، تشمل نظم المعلومات الجغرافية في مرحلة اختيار الموقع، وأنظمة الرصد البيئي في مرحلة التشغيل (القحطاني والشقور، 2015).

البُعد الثالث: الأثر الاقتصادي والاجتماعي. يُعنى هذا البُعد بقياس مدى إسهام المشروع في تحقيق منافع اقتصادية واجتماعية للمحيط الذي يعمل فيه، بما يتجاوز المنافع المباشرة لأصحاب المشروع. ويتضمن هذا البُعد جملة من المؤشرات، تشمل فرص العمل المتولدة عن المشروع، والقيمة المضافة المحلية التي يحققها، وإسهامه في تنمية المهارات والكفاءات في المجتمع المحيط، فضلاً عن إسهامه في تطوير البنية التحتية في موقعه، وتعزيز الخدمات المقدمة للمجتمعات المحلية.

ويتسم هذا البُعد بطابعه الممتد إلى ما وراء حدود المشروع، إذ يتطلب قياسه فهماً للمنظومة الاجتماعية والاقتصادية التي يعمل فيها المشروع، وقدرة على رصد أثره فيها على المدى المتوسط والطويل. ويسهم هذا البُعد في تعزيز شرعية المشروع لدى المجتمع المحلي، وهو ما يمثل عاملاً حاسماً في استدامته، إذ تواجه المشاريع التي تفتقر إلى دعم المجتمع المحلي مقاومة قد تُهدد تشغيلها (الرشدان وغنيم، 2015).

ويتسع هذا البُعد ليشمل الإسهام الاقتصادي الكلي للمشروع، الذي يتجاوز المحيط المحلي ليصل إلى المستوى الوطني، عبر إسهامه في تنويع مصادر الطاقة وتقليل فاتورة الاستيراد، وبناء قدرات صناعية محلية في تقنيات الطاقة المتجددة. كما يشمل الإسهام في تطوير منظومة التمويل المستدام في الاقتصاد الوطني، ولا سيما عبر تقديم نماذج عملية قابلة للتمويل عبر أدوات التمويل الأخضر. ويلاحظ أن تقييم هذا البُعد يستفيد من تطبيق أدوات الموازنات الرأسمالية المتقدمة التي تستوعب المنافع غير المباشرة للمشروع وتُدرجها في حسابات الجدوى (الزبيدي والسبعواوي، 2025).

البُعد الرابع: القدرة على الاستيعاب التقني والابتكار. يُمثل هذا البُعد البنية الديناميكية التي تمكن المشروع من تطوير أدائه باستمرار عبر استيعاب التقنيات الجديدة والابتكارات المستجدة. ويتضمن هذا البُعد قدرة المشروع على استيعاب التقنيات المتقدمة في توليد الطاقة، وأنظمة التحكم، وأنظمة التخزين، فضلاً عن قدرته على دمج هذه التقنيات في منظومة عمل متكاملة تحقق أعلى مستويات الكفاءة.

ويُتسم هذا البُعد بطابعه التطويري المستمر، إذ لا يُمكن تحقيقه مرة واحدة، بل يُتطلب بناء قدرة تنظيمية على رصد التطورات التقنية في الحقل، وتقييم مدى ملاءمتها للمشروع، واتخاذ قرارات التبنّي المناسبة. ويُسهم هذا البُعد في الحفاظ على تنافسية المشروع على المدى الطويل، إذ تتسم مشاريع الطاقة المتجددة بتسارع التطور التقني، وهو ما قد يُهدّد المشاريع غير القادرة على مواكبة هذا التطور بفقدان قدرتها التنافسية. (Manuel et al., 2024)

ويُتسع هذا البُعد ليشمل قدرة المشروع على توليد المعرفة، وليس فقط استيعابها، عبر بناء وحدات بحث وتطوير داخلية تُسهم في تطوير حلول مبتكرة لتحديات التشغيل، وتيسّر التكيف مع الظروف المحلية. كما يشمل القدرة على بناء شراكات مع الجهات البحثية والأكاديمية، بما يُؤسس لمنظومة ابتكار متكاملة. ويُلاحظ أنّ هذا البُعد يتقاطع بصورة وثيقة مع منظور الإبداع الفردي الذي يربط بين إبداع الكوادر العاملة وتحسين أداء المشروع، إذ يُمثّل الإبداع الفردي اللبنة الأساسية التي تتشكل منها القدرة الابتكارية للمشروع ككل (العوامرة والعمرى، 2013).

6.2.2 استراتيجيات تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

تتعدد الاستراتيجيات التي يمكن للمنظمات اعتمادها لتحسين أداء مشاريعها في قطاع الطاقة المتجددة، وتتمايز فيما بينها بحسب طبيعة المشروع ومرحلته في دورة الحياة، ومستوى نضوج المنظمة. ويمكن استعراض أبرز هذه الاستراتيجيات على النحو الآتي.

تتمثّل الاستراتيجية الأولى في استراتيجية الجدولة المتقدمة وإدارة الموارد، التي تقوم على توظيف الأساليب المتقدمة في جدولة المشاريع، كأسلوب التحليل الشبكي وأسلوب بيرت والمسار الحرج، في إدارة الأنشطة وتخصيص الموارد. وتُتيح هذه الاستراتيجية بناء جداول واقعية تستوعب التعقيد المتعدد التخصصات الذي يتسم به قطاع الطاقة المتجددة، وتُمكن من إدارة الموارد البشرية بفاعلية أعلى، ولما سيما في مشاريع متعددة المواقع. وتتأسس هذه الاستراتيجية على بنية معرفية متراكمة في إدارة المشاريع الإنشائية، يُمكن نقلها إلى ميدان الطاقة المتجددة مع التكيف اللازم (تلي وآخرون، 2022).

أما الاستراتيجية الثانية فهي استراتيجية ضمان الجودة المتكاملة، التي تقوم على بناء منظومة جودة شاملة تمتد عبر كل مراحل المشروع، من التصميم إلى التشغيل، وتُدمج فيها كل الوظائف الإدارية والفنية. وتُتيح هذه الاستراتيجية تقليل الإخفاقات الفنية، ورفع موثوقية المشروع، وتعزيز رضا أصحاب

المصلحة. وتتسع هذه الاستراتيجية لتشمل بناء ثقافة جودة على مستوى المنظمة، وتطوير منظومة مؤشرات قياس قادرة على رصد مستويات الجودة في الزمن الفعلي (الحسن، 2025).

وتتمثل الاستراتيجية الثالثة في استراتيجية التمويل الأخضر المستدام، التي تقوم على توظيف أدوات التمويل المتخصصة في المشاريع المستدامة، كالسندات الخضراء، في تمويل المشاريع وتحسين هيكلها التمويلي. وتتيح هذه الاستراتيجية الحصول على تمويل ميسر بشروط أفضل، وتُعزّز التزام المشروع بمعايير الاستدامة، فضلاً عن أنها تفتح أمامه أسواقاً تمويلية أوسع. وتتقاطع هذه الاستراتيجية مع التوجهات العالمية لإعادة هيكلة منظومة التمويل بحيث تخدم أهداف التنمية المستدامة (رماش ودوفي، 2024).

وتتمثل الاستراتيجية الرابعة في استراتيجية تخطيط مصادر المشروع المتكاملة، التي تقوم على بناء منظومات معلومات متكاملة تُوحّد إدارة الموارد المختلفة للمشروع، وتتيح للإدارة العليا رؤية شاملة لأداء المشروع في الزمن الفعلي. وتسهم هذه الاستراتيجية في تحسين دقة اتخاذ القرار، ورفع كفاءة استخدام الموارد، وتقليل الفاقد والازدواجية. كما تُيسّر دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي والتحليلات المتقدمة في منظومة إدارة المشروع، إذ توفر بنية بيانات نظيفة ومتكاملة قابلة للتحليل (الجبوري ومصطفى، 2021).

وتتمثل الاستراتيجية الخامسة في استراتيجية التقييم المالي المتقدم، التي تقوم على توظيف أدوات الموازنات الرأسمالية والتحليل المالي المتقدم في تقييم المشروع واتخاذ قرارات الاستثمار المتعلقة به. وتتيح هذه الاستراتيجية اتخاذ قرارات استثمارية أكثر دقة، تستوعب الطابع الممتد لمشاريع الطاقة المتجددة، وعدم اليقين في تدفقاتها النقدية. كما تسهم في رفع جاذبية المشروع للمستثمرين، عبر تقديم تقييم مالي شفاف ومفصل لجذواه (الزبيدي والسبعواوي، 2025).

وتتمثل الاستراتيجية السادسة في استراتيجية التحول الرقمي الشامل، التي تقوم على إعادة هيكلة منظومة إدارة المشروع بالكامل على أساس التقنيات الرقمية، بحيث تُصمّم كل وظائفها لتعمل في بيئة رقمية متكاملة. وتتيح هذه الاستراتيجية قفزة نوعية في كفاءة المشروع، وتُمكن من بناء منظومات قياس وتحكم لحظية، فضلاً عن أنها تفتح المجال أمام دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في صلب العمليات. وتتقاطع هذه الاستراتيجية مع التوجهات الحكومية الكبرى لتبني التحول الرقمي في القطاعات الاستراتيجية (العتيبي وأبو لحيه، 2024).

الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها

1.3 تمهيد

يتناول هذا الفصل الإجراءات المنهجية التي اتبعتها الباحثة في تنفيذ الدراسة الميدانية، بدءاً من تحديد المنهج المستخدم، مروراً بتعريف مجتمع الدراسة وتحديد عينتها، ووصف أداة جمع البيانات، والتحقق من صدقها وثباتها، وحساب معاملات الارتباط بين متغيراتها ومؤشراتها، وانتهاءً ببيان الأساليب الإحصائية الموظفة في معالجة البيانات. ويمثل هذا الفصل البنية الإجرائية التي تتأسس عليها مرحلة التحليل وعرض النتائج، إذ يتيح للقارئ تتبع المسار العلمي الذي سلكته الدراسة، ويمكن من الحكم على مدى انضباطها المنهجي ومدى قابلية نتائجها للتعميم ضمن حدودها الموضوعية والمكانية والزمانية. وتسعى الدراسة الحالية إلى فحص أثر توظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده الأربعة (التخطيط والجدولة الذكية، والتحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، والتحسين الآلي لتخصيص الموارد، والمراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي) على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة، وهو ما استلزم اعتماد منهجية كمية قائمة على الاستبانة بوصفها الأداة الأنسب لقياس متغيرات الدراسة واختبار فرضياتها.

2.3 منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة الحالية المنهج الوصفي التحليلي بوصفه الأنسب لطبيعة موضوعها وأهدافها، إذ يتيح هذا المنهج وصف الظاهرة محل الدراسة كما هي قائمة في الواقع، وتحليل العلاقات بين متغيراتها، واختبار الفرضيات المرتبطة بها استناداً إلى بيانات ميدانية يجري جمعها من مصادرها الأولية. ويتأسس اختيار هذا المنهج على كون الدراسة تستهدف فحص أثر متغير مستقل (توظيف الذكاء الاصطناعي) على متغير تابع (تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة)، وهو ما يستلزم وصف مستويات كل منهما لدى مجتمع الدراسة، ثم تحليل العلاقة بينهما باستخدام أدوات إحصائية ملائمة.

وقد اعتمدت الدراسة على مصدرين للبيانات: المصادر الثانوية المتمثلة في الأدبيات النظرية والدراسات السابقة المرتبطة بموضوع الدراسة، والمصادر الأولية المتمثلة في البيانات الميدانية التي

جُمِعت عبر استبانة صُمِّمت خصيصاً لأغراض هذه الدراسة، وزُعت على أفراد العينة المستهدفة في الشركة السعودية للطاقة.

3.3 مجتمع الدراسة وعينتها

مجتمع الدراسة

تكوّن مجتمع الدراسة من العاملين في الإدارات والأقسام ذات الصلة المباشرة بإدارة مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة، ممن يشغلون مناصب إدارية وإشرافية وفنية في مستويات الإدارة العليا والوسطى والتنفيذية، ولهم اطلاع مباشر على ممارسات توظيف الذكاء الاصطناعي وأداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة. وقد بلغ إجمالي مجتمع الدراسة وفقاً للبيانات المتاحة (320) موظفاً وموظفة موزعين على الإدارات المعنية بمشاريع الطاقة المتجددة.

عينة الدراسة

نظراً لكون مجتمع الدراسة محدوداً وقابلًا للحصر، اعتمد الباحث على أسلوب العينة العشوائية الطبقية لضمان تمثيل مختلف المستويات الإدارية والإدارات المعنية. وتم تحديد حجم العينة باستخدام معادلة ستيفن ثامبسون عند مستوى ثقة (95%) وهامش خطأ (5%)، فبلغ حجم العينة المستهدف (175) مفردة. وقد وزعت (190) استبانة لمراعاة احتمالية عدم الاستجابة أو وجود استبانات غير صالحة للتحليل، استُرد منها (178) استبانة، استُبعد منها (8) استبانات لعدم اكتمال البيانات أو لرتابة الإجابة، ليصبح العدد النهائي للاستبانات الصالحة للتحليل (170) استبانة، بنسبة استجابة صافية بلغت (89.47%)، وهي نسبة مرتفعة تعكس جودة عملية التوزيع والمتابعة، وتُعزز إمكانية تعميم نتائج الدراسة على مجتمعها.

جدول توزيع الاستبانة

جدول (3 - 1): توزيع استبانات الدراسة على مجتمع الدراسة وعينتها

البيان	العدد	النسبة المئوية
إجمالي مجتمع الدراسة	320	100.00%

الاستبانات الموزعة	190	59.38%
الاستبانات المستردة	178	93.68% من الموزعة
الاستبانات المستبعدة	8	4.49% من المستردة
الاستبانات الصالحة للتحليل	170	89.47% من الموزعة

4.3 أداة الدراسة

اعتمدت الدراسة على الاستبانة أداة رئيسة لجمع البيانات الأولية، وقد جرى تصميمها استناداً إلى المعالجة النظرية للمتغيرات في الإطار النظري للدراسة، وبالاستفادة من بنية المقاييس المستخدمة في الدراسات السابقة ذات الصلة. وقد تكونت الاستبانة في صورتها النهائية من ثلاثة أقسام رئيسة على النحو الآتي:

- **القسم الأول:** البيانات الديموغرافية والوظيفية لأفراد عينة الدراسة (الجنس، العمر، المؤهل العلمي، سنوات الخبرة، المستوى الإداري، الإدارة الوظيفية).
- **القسم الثاني:** فقرات قياس المتغير المستقل (توظيف الذكاء الاصطناعي)، ويتكون من (16) فقرة موزعة على أربعة أبعاد، بواقع (4) فقرات لكل بُعد، على النحو الآتي: التخطيط والجدولة الذكية (الفقرات 1-4)، التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف (الفقرات 5-8)، التحسين الآلي لتخصيص الموارد (الفقرات 9-12)، المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي (الفقرات 13-16).
- **القسم الثالث:** فقرات قياس المتغير التابع (تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة)، ويتكون من (10) فقرات.

وقد استخدم مقياس ليكرت الخماسي لقياس استجابات أفراد العينة على فقرات القسمين الثاني والثالث، حيث تدرج الاستجابات من (1) "غير موافق بشدة" إلى (5) "موافق بشدة". واعتمد المعيار الإحصائي الآتي لتفسير المتوسطات الحسابية بناءً على طول الفئة: $(4 \div 5 = 0.80)$

جدول (3 - 2) مقياس ليكرت الخماسي لقياس استجابات أفراد العينة على فقرات القسمين الثاني والثالث

المتوسط الحسابي	درجة الموافقة
1.00 - أقل من 1.80	منخفضة جداً

منخفضة	1.80 أقل من 2.60
متوسطة	2.60 أقل من 3.40
مرتفعة	3.40 أقل من 4.20
مرتفعة جداً	4.20 – 5.00

5.3 صدق أداة الدراسة وثباتها

صدق المحتوى (الصدق الظاهري)

تم التحقق من الصدق الظاهري للاستبانة بعرضها على مجموعة من المحكمين من أعضاء هيئة التدريس المتخصصين في إدارة الأعمال وإدارة المشاريع ونظم المعلومات الإدارية، بلغ عددهم (9) محكمين، وذلك للحكم على مدى ملائمة الفقرات لقياس ما وضعت لقياسه، ومدى وضوح صياغتها اللغوية، ومدى انتمائها للأبعاد التي صنفت ضمنها. وقد أجريت التعديلات اللازمة بناءً على ملاحظات المحكمين، شملت إعادة صياغة بعض الفقرات وحذف فقرات مكررة في المعنى، لتخرج الاستبانة في صورتها النهائية المعتمدة.

صدق الاتساق الداخلي

تم حساب معاملات ارتباط بيرسون بين كل فقرة والدرجة الكلية للبُعد الذي تنتمي إليه، وذلك على عينة استطلاعية مكونة من (30) مفردة من خارج عينة الدراسة الأصلية.

جدول (3 - 3): معاملات ارتباط فقرات المتغير المستقل بالدرجة الكلية لأبعادها

البُعد	الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
التخطيط والجدولة الذكية	1	0.812	0.000
	2	0.847	0.000
	3	0.791	0.000
	4	0.836	0.000

0.000	0.823	5	التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف
0.000	0.798	6	
0.000	0.851	7	
0.000	0.819	8	
0.000	0.804	9	التحسين الآلي لتخصيص الموارد
0.000	0.832	10	
0.000	0.787	11	
0.000	0.845	12	
0.000	0.829	13	المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي
0.000	0.816	14	
0.000	0.853	15	
0.000	0.794	16	

جدول (3 - 4): معاملات ارتباط فقرات المتغير التابع بالدرجة الكلية للمتغير

الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
1	0.798	0.000
2	0.823	0.000
3	0.841	0.000
4	0.807	0.000
5	0.829	0.000
6	0.815	0.000
7	0.836	0.000
8	0.794	0.000
9	0.822	0.000
10	0.811	0.000

يتضح من الجدولين (4) و(5) أن جميع معاملات الارتباط دالة إحصائياً عند مستوى الدلالة (0.01)، وتراوح بين (0.787) و(0.853)، وهي قيم مرتفعة تدل على تمتع فقرات الاستبانة بدرجة عالية من الاتساق الداخلي.

الصدق البنائي

تم حساب معاملات الارتباط بين كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل والدرجة الكلية له، وبين المتغير التابع والدرجة الكلية للاستبانة، للتحقق من الصدق البنائي.

جدول (3 - 5): معاملات ارتباط أبعاد المتغير المستقل بالدرجة الكلية له

البُعد	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
التخطيط والجدولة الذكية	0.876	0.000
التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف	0.892	0.000
التحسين الآلي لتخصيص الموارد	0.864	0.000
المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي	0.883	0.000

تشير هذه القيم إلى وجود ارتباط قوي ودال إحصائياً بين كل بُعد والدرجة الكلية للمتغير المستقل، مما يدعم الصدق البنائي للأداة.

ثبات أداة الدراسة

تم حساب ثبات الاستبانة باستخدام معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha)، ومعامل التجزئة النصفية (Split-Half) للتحقق من ثبات الاتساق الداخلي.

جدول (3 - 6): معاملات ثبات أداة الدراسة

المحور / البُعد	عدد الفقرات	ألفا كرونباخ	التجزئة النصفية
التخطيط والجدولة الذكية	4	0.864	0.851

0.862	0.879	4	التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف
0.844	0.853	4	التحسين الآلي لتخصيص الموارد
0.858	0.872	4	المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي
0.908	0.921	16	المتغير المستقل (الذكاء الاصطناعي) ككل
0.889	0.903	10	المتغير التابع (أداء مشاريع الطاقة المتجددة)
0.924	0.937	26	الاستبانة ككل

يتضح من الجدول (3 - 6) أن جميع معاملات الثبات تجاوزت الحد المقبول إحصائياً (0.70)، إذ تراوحت قيم ألفا كرونباخ على مستوى الأبعاد بين (0.853) و(0.879)، وبلغت على مستوى المتغير المستقل ككل (0.921)، وعلى مستوى المتغير التابع (0.903)، وعلى مستوى الاستبانة ككل (0.937)، وهي قيم مرتفعة تعزز الثقة في ثبات الأداة وصلاحيتها للاستخدام في الدراسة.

6.3 مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة

تم حساب معاملات ارتباط بيرسون بين أبعاد المتغير المستقل فيما بينها، وبينها وبين المتغير التابع، للتحقق من طبيعة العلاقة بين متغيرات الدراسة، ومن عدم وجود ارتباط ذاتي مرتفع بين الأبعاد المستقلة يمكن أن يؤثر في تحليل الانحدار لاحقاً.

جدول (3 - 7): مصفوفة معاملات الارتباط بين متغيرات الدراسة (n = 170)

المتغيرات	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1) التخطيط والجدولة الذكية	1					
(2) التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف	0.612**	1				
(3) التحسين الآلي لتخصيص الموارد	0.587**	0.634**	1			

		1	0.623**	0.598**	0.601**	(4) المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي
	1	0.851**	0.838**	0.847**	0.832**	(5) توظيف الذكاء الاصطناعي (ككل)
1	0.819**	0.736**	0.682**	0.721**	0.694**	(6) تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

**دالة إحصائية عند مستوى الدلالة (0.01).

يتضح من الجدول (3 - 7) ما يلي: أولاً، وجود علاقات ارتباط موجبة ودالة إحصائية عند مستوى الدلالة (0.01) بين جميع أبعاد المتغير المستقل، تراوحت قيمها بين (0.587) و (0.634)، وهي قيم متوسطة إلى مرتفعة تعكس وجود علاقة منطقية بين الأبعاد، دون أن تصل إلى مستوى الارتباط الذاتي المتعدد (Multicollinearity) الذي يهدد صلاحية تحليل الانحدار، إذ يشترط ألا يتجاوز معامل الارتباط بين المتغيرات المستقلة (0.80). ثانياً، وجود علاقات ارتباط موجبة ودالة إحصائية بين كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع، تراوحت قيمها بين (0.682) و (0.736)، مع ملاحظة أن أعلى ارتباط كان بين بُعد المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي والمتغير التابع. ثالثاً، وجود ارتباط قوي ودال إحصائياً بين المتغير المستقل ككل والمتغير التابع بلغ (0.819)، وهو ما يمهد لاختبار فرضيات الدراسة عبر تحليل الانحدار.

7.3 الأساليب الإحصائية المستخدمة

تمت معالجة بيانات الدراسة باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) الإصدار (26)، وذلك بتوظيف جملة من الأساليب الإحصائية الملائمة لطبيعة بيانات الدراسة وأهدافها، وتشمل ما يلي:

- التكرارات والنسب المئوية: لوصف خصائص أفراد عينة الدراسة وفقاً للمتغيرات الديموغرافية والوظيفية.
- المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية: لقياس مستوى استجابات أفراد العينة على فقرات الاستبانة وأبعادها، وتحديد ترتيبها النسبي.

- معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) لقياس ثبات الاتساق الداخلي لأداة الدراسة.
- معامل التجزئة النصفية (Split-Half) للتحقق من ثبات الأداة بأسلوب مكمل لمعامل ألفا.
- معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation) لقياس صدق الاتساق الداخلي للفقرات، والصدق البنائي للأبعاد، وبناء مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة.
- اختبار معامل تضخم التباين (VIF) واختبار التباين المسموح (Tolerance) للتحقق من عدم وجود ارتباط ذاتي متعدد بين المتغيرات المستقلة.
- اختبار معامل التواء (Skewness) للتحقق من اعتدالية التوزيع للبيانات قبل تطبيق الاختبارات المعلمية.
- تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لاختبار أثر كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل على المتغير التابع على حدة، وذلك لاختبار الفرضيات الفرعية.
- تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression) لاختبار الأثر المشترك لأبعاد المتغير المستقل مجتمعةً على المتغير التابع، وذلك لاختبار الفرضية الرئيسية.
- اختبار (T-test) واختبار تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) للكشف عن دلالة الفروق في استجابات أفراد العينة وفقاً لمتغيراتهم الديموغرافية والوظيفية، إن وجدت.

الفصل الرابع: عرض نتائج الدراسة وتحليلها

1.4 تمهيد

يتناول هذا الفصل عرض نتائج الدراسة الميدانية وتحليلها إحصائياً، وذلك من خلال ثلاثة محاور رئيسية: أولها وصف خصائص أفراد عينة الدراسة وفقاً لمتغيراتهم الديموغرافية والوظيفية، وثانيها التحليل الوصفي لاستجابات أفراد العينة على فقرات أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع، وثالثها اختبار فرضيات الدراسة باستخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد، وذلك للوقوف على أثر توظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده الأربعة على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.

2.4 تحليل البيانات الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة

تم تحليل البيانات الديموغرافية والوظيفية لأفراد عينة الدراسة باستخدام التكرارات والنسب المئوية، وذلك للتعرف على خصائص العينة وضمان تمثيلها لمجتمع الدراسة.

جدول (4 - 1): توزيع أفراد عينة الدراسة وفقاً لمتغيراتهم الديموغرافية والوظيفية (n = 170)

المتغير	الفئة	التكرار	النسبة المئوية
الجنس	ذكر	132	77.65%
	أنثى	38	22.35%
العمر	أقل من 30 سنة	28	16.47%
	من 30 إلى أقل من 40 سنة	67	39.41%
	من 40 إلى أقل من 50 سنة	54	31.76%
	50 سنة فأكثر	21	12.36%
	دبلوم فأقل	19	11.18%
المؤهل العلمي	بكالوريوس	98	57.65%
	ماجستير	41	24.12%
	دكتوراه	12	7.05%

14.12%	24	أقل من 5 سنوات	سنوات الخبرة
34.12%	58	من 5 إلى أقل من 10 سنوات	
31.18%	53	من 10 إلى أقل من 15 سنة	
20.58%	35	15 سنة فأكثر	
12.94%	22	إدارة عليا	المستوى الإداري
41.76%	71	إدارة وسطى	
45.30%	77	إدارة تنفيذية/فنية	
100.00%	170	الإجمالي	

يتضح من الجدول (4 - 1) أن الذكور يمثلون الغالبية العظمى من أفراد العينة بنسبة (77.65%)، وهو ما يتسق مع طبيعة قطاع الطاقة والمشاريع الهندسية، في حين تمثل الإناث (22.35%). وفيما يتعلق بالعمر، فإن الفئة العمرية من (30 إلى أقل من 40 سنة) جاءت في المرتبة الأولى بنسبة (39.41%)، تليها الفئة من (40 إلى أقل من 50 سنة) بنسبة (31.76%)، وهو ما يعكس أن غالبية أفراد العينة في مرحلة النضج المهني. أما المؤهل العلمي، فيتبين أن حملة البكالوريوس يمثلون النسبة الأعلى (57.65%)، يليهم حملة الماجستير (24.12%)، وهو ما يعكس وجود قاعدة معرفية مرتفعة لدى أفراد العينة تمكنهم من تقييم متغيرات الدراسة بدقة. وفيما يخص سنوات الخبرة، فإن نسبة (85.88%) من أفراد العينة تمتلك خبرة تتجاوز خمس سنوات، وهو ما يعزز موثوقية استجاباتهم. أما المستوى الإداري، فقد توزع أفراد العينة بصورة متوازنة بين الإدارة الوسطى (41.76%) والإدارة التنفيذية/الفنية (45.30%)، مع تمثيل مناسب للإدارة العليا (12.94%).

3.4 التحليل الوصفي لاستجابات أفراد العينة على متغيرات الدراسة

تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية ودرجة الموافقة والترتيب النسبي لاستجابات أفراد العينة على فقرات كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع، وذلك على النحو الآتي.

التحليل الوصفي لأبعاد المتغير المستقل (توظيف الذكاء الاصطناعي)

البُعد الأول: التخطيط والجدولة الذكية

جدول (4 - 2): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات بُعد التخطيط والجدولة الذكية

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	درجة الموافقة	الترتيب
1	توظّف الشركة تقنيات الذكاء الاصطناعي في بناء الجداول الزمنية لمشاريع الطاقة المتجددة	3.94	0.812	مرتفعة	3
2	تعتمد الشركة على خوارزميات ذكية في تحديد المسار الحرج لأنشطة المشروع	4.02	0.764	مرتفعة	2
3	تُتيح أنظمة الذكاء الاصطناعي إعادة جدولة الأنشطة تلقائياً عند طرء متغيرات غير متوقعة	3.86	0.831	مرتفعة	4
4	تُسهّم أنظمة التخطيط الذكية في بناء سيناريوهات بديلة لتنفيذ المشروع	4.08	0.749	مرتفعة	1
الدرجة الكلية للبُعد		3.98	0.689	مرتفعة	

يتضح من الجدول (10) أنّ المتوسط الحسابي الكلي لبُعد التخطيط والجدولة الذكية بلغ (3.98) بانحراف معياري (0.689)، وبدرجة موافقة مرتفعة، وهو ما يدل على أنّ الشركة السعودية للطاقة توظّف تقنيات الذكاء الاصطناعي في وظائف التخطيط والجدولة بمستوى مرتفع. وقد جاءت الفقرة الرابعة في الترتيب الأول بمتوسط (4.08)، فيما جاءت الفقرة الثالثة في الترتيب الأخير بمتوسط (3.86)، وهو ما يشير إلى تفاوت في توظيف مكونات البُعد، مع ميل واضح نحو بناء السيناريوهات البديلة.

البُعد الثاني: التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف

جدول (4 - 3): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات بُعد التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	درجة الموافقة	الترتيب
5	تستخدم الشركة التحليلات التنبؤية في تقدير تكاليف مشاريع الطاقة المتجددة	4.04	0.776	مرتفعة	2
6	تُمكن أنظمة الذكاء الاصطناعي من اكتشاف الانحرافات المالية في وقت مبكر	3.91	0.823	مرتفعة	4
7	تُسهم خوارزميات التعلم الآلي في تحسين دقة تقديرات الميزانية	4.11	0.732	مرتفعة	1
8	تُساعد التحليلات التنبؤية في تقدير تكاليف دورة حياة المشروع كاملةً	3.97	0.798	مرتفعة	3
	الدرجة الكلية للبُعد	4.01	0.704	مرتفعة	

يتضح من الجدول (4 - 3) أن المتوسط الحسابي الكلي لبُعد التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف بلغ (4.01) بانحراف معياري (0.704)، وبدرجة موافقة مرتفعة، وهو ما يدل على توظيف الشركة لتقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة التكاليف بمستوى مرتفع. وقد تصدرت الفقرة السابعة الترتيب بمتوسط (4.11)، في حين جاءت الفقرة السادسة في الترتيب الأخير بمتوسط (3.91)، وهو ما يعكس قوة توظيف الخوارزميات في تحسين دقة التقديرات، مع وجود مجال لتطوير منظومة الكشف المبكر عن الانحرافات.

البُعد الثالث: التحسين الآلي لتخصيص الموارد

جدول (4 - 4): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات بُعد التحسين الآلي لتخصيص الموارد

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	درجة الموافقة	الترتيب
---	--------	-----------------	-------------------	---------------	---------

9	توظف الشركة خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التخصيص الأمثل للموارد البشرية	3.89	0.804	مرتفعة	3
10	تُسهّم أنظمة الذكاء الاصطناعي في التخصيص الأمثل للموارد المادية والتقنية	3.95	0.781	مرتفعة	2
11	تُساعد التقنيات الذكية على تقليل الهدر في موارد المشروع	3.82	0.842	مرتفعة	4
12	تُحقّق خوارزميات التحسين توازناً في توزيع الموارد بين المشاريع المتزامنة	4.00	0.768	مرتفعة	1
الدرجة الكلية للبعد		3.92	0.712	مرتفعة	

يتضح من الجدول (4 - 4) أنّ المتوسط الحسابي الكلي لُبعد التحسين الآلي لتخصيص الموارد بلغ (3.92) بانحراف معياري (0.712)، وبدرجة موافقة مرتفعة. وقد جاءت الفقرة الثانية عشرة في الترتيب الأول بمتوسط (4.00)، في حين جاءت الفقرة الحادية عشرة في الترتيب الأخير بمتوسط (3.82)، وهو ما يشير إلى ميل واضح نحو التوازن بين المشاريع المتزامنة، مع وجود مجال للتطوير في الحد من الهدر.

الُبعد الرابع: المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي

جدول (4 - 5): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات بُعد المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	درجة الموافقة	الترتيبي
13	تستخدم الشركة أنظمة الذكاء الاصطناعي في الرصد اللحظي لمؤشرات أداء المشروع	4.06	0.758	مرتفعة	2

14	تُتيح الأنظمة الذكية الكشف المبكر عن المخاطر التشغيلية	4.13	0.741	مرتفعة	1
15	تُسهل تقنيات الذكاء الاصطناعي في اقتراح الإجراءات التصحيحية المناسبة	3.93	0.812	مرتفعة	4
16	تُوفّر الأنظمة الذكية لوحات قياس لحظية لمتابعة أداء المشروع	4.02	0.773	مرتفعة	3
الدرجة الكلية للبعد		4.04	0.697	مرتفعة	

يتضح من الجدول (4 - 5) أن المتوسط الحسابي الكلي لُبعد المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي بلغ (4.04) بانحراف معياري (0.697)، وبدرجة موافقة مرتفعة. وقد تصدرت الفقرة الرابعة عشرة الترتيب بمتوسط (4.13)، في حين جاءت الفقرة الخامسة عشرة في الترتيب الأخير بمتوسط (3.93).

الترتيب الإجمالي لأبعاد المتغير المستقل

جدول (4 - 6): الترتيب الإجمالي لأبعاد المتغير المستقل (توظيف الذكاء الاصطناعي)

م	البعد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	درجة الموافقة	الترتيب
1	المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي	4.04	0.697	مرتفعة	1
2	التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف	4.01	0.704	مرتفعة	2
3	التخطيط والجدولة الذكية	3.98	0.689	مرتفعة	3
4	التحسين الآلي لتخصيص الموارد	3.92	0.712	مرتفعة	4
توظيف الذكاء الاصطناعي ككل		3.99	0.658	مرتفعة	

التحليل الوصفي للمتغير التابع (تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة)

جدول (4 - 7): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات المتغير التابع

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	درجة الموافقة	الترتيب
1	تُنفذ مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة ضمن الجداول الزمنية المخططة	3.97	0.782	مرتفعة	5
2	تلتزم مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة بالموازنات المالية المعتمدة	3.91	0.803	مرتفعة	7
3	تُحقق مشاريع الطاقة المتجددة معايير الجودة المستهدفة	4.06	0.748	مرتفعة	2
4	تتميز مشاريع الشركة بكفاءة تشغيلية مرتفعة في توليد الطاقة	4.02	0.771	مرتفعة	4
5	تُساهم مشاريع الشركة في تحقيق أهداف الاستدامة البيئية	4.14	0.726	مرتفعة	1
6	تُحقق مشاريع الشركة عوائد اقتصادية تتجاوز التوقعات المخطط لها	3.84	0.836	مرتفعة	9
7	تُساهم مشاريع الشركة في تنمية المجتمعات المحلية المحيطة بها	3.89	0.819	مرتفعة	8
8	تستوعب مشاريع الشركة التقنيات الحديثة في قطاع الطاقة المتجددة	4.04	0.762	مرتفعة	3
9	تتميز مشاريع الشركة بقدرة عالية على التكيف مع التغيرات الفنية	3.93	0.795	مرتفعة	6
10	تُحقق مشاريع الشركة موثوقية مرتفعة في تشغيل المنظومات الطاقوية	3.81	0.847	مرتفعة	10

مرتفعة	0.671	3.96	الدرجة الكلية للمتغير التابع
--------	-------	------	------------------------------

يتضح من الجدول (4 - 7) أن المتوسط الحسابي الكلي للمتغير التابع (تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة) بلغ (3.96) بانحراف معياري (0.671)، وبدرجة موافقة مرتفعة. وقد تصدرت الفقرة الخامسة الترتيب بمتوسط (4.14) المتعلقة بإسهام المشاريع في تحقيق أهداف الاستدامة البيئية، في حين جاءت الفقرة العاشرة في الترتيب الأخير بمتوسط (3.81) المتعلقة بموثوقية تشغيل المنظومات الطاقوية، وهو ما يعكس مجالات قوة الشركة في البعد الاستدامي، ومجالات قابلة للتطوير في البعد التشغيلي.

4.4 اختبار فرضيات الدراسة

اختبار الفرضية الرئيسة

H_0 : لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتوظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده (التخطيط والجدولة الذكية، التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، التحسين الآلي لتخصيص الموارد، المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي) على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.

للتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Regression) بهدف قياس تأثير أبعاد توظيف الذكاء الاصطناعي (كعوامل مستقلة) على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة (كعامل تابع). وقد جاءت نتائج التحليل كما يلي:

جدول (4 - 8): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد توظيف الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

المتغيرات المستقلة	معاملات الانحدار B	قيمة اختبار T	مستوى الدلالة
(Constant)المقدار الثابت	0.487	2.964	0.003**
التخطيط والجدولة الذكية	0.214	3.842	0.000**
التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف	0.273	4.516	0.000**

0.001**	3.227	0.186	التحسين الآلي لتخصيص الموارد
0.000**	4.873	0.298	المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي
معامل التحديد $R^2 = 0.717$		معامل الارتباط $R = 0.847$	
القيمة الاحتمالية = 0.000		قيمة الاختبار $F = 104.638$	

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS.

تشير نتائج تحليل الانحدار المتعدد الموضحة في الجدول (4 - 8) إلى وجود علاقة تأثيرية دالة إحصائياً بين أبعاد توظيف الذكاء الاصطناعي كمغيرات مستقلة، وتحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة كمغير تابع. فقد بلغ معامل التحديد (R^2) قيمة قدرها (0.717)، وهي نسبة مرتفعة تدل على أن (71.7%) من التباين في تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة يمكن تفسيره من خلال الأبعاد الأربعة لتوظيف الذكاء الاصطناعي، في حين تعود النسبة المتبقية (28.3%) إلى متغيرات أخرى لم تتضمنها الدراسة. كما تشير قيمة معامل الارتباط ($R = 0.847$) إلى وجود ارتباط قوي بين المتغيرات المدروسة، ويؤكد ذلك القيمة المرتفعة لاختبار F البالغة (104.638) عند مستوى دلالة (0.000)، وهو ما يعزز معنوية النموذج ككل في تفسير الفرضية.

أما على مستوى الأبعاد الفردية، فقد تبين أن بُعد "المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي" هو الأكثر تأثيراً على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة، حيث بلغ معامل الانحدار له ($B = 0.298$)، وبلغت قيمة (4.873) T بدلالة معنوية عالية. ($\text{Sig.} = 0.000$) ويؤكد ذلك الدور الحاسم الذي تؤديه منظومات الرصد اللحظي والكشف المبكر عن المخاطر في تعزيز قدرة المشروع على ضبط أدائه التشغيلي وتحقيق أهدافه الاستراتيجية. ويأتي في المرتبة الثانية بُعد "التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف" بمعامل انحدار ($B = 0.273$) وقيمة (4.516) T بدلالة ($\text{Sig.} = 0.000$)، وهو ما يعكس أهمية النماذج التنبؤية في رفع كفاءة منظومة الإدارة المالية للمشروع وتقليل الانحرافات المالية. كما أظهرت النتائج أن بُعد "التخطيط والجدولة الذكية" يسهم بصورة دالة إحصائية في تفسير التباين في أداء المشاريع بمعامل انحدار ($B = 0.214$)، فيما جاء بُعد "التحسين الآلي لتخصيص الموارد" بأثر أقل نسبياً ($B = 0.186$)، لكنه لا يزال ذا دلالة إحصائية ($\text{Sig.} = 0.001$)، مما يشير إلى أن تعزيز منظومة التخصيص الذكي للموارد قد يمثل فرصة لتحسين متكامل في منظومة إدارة مشاريع الطاقة المتجددة. وبناءً على

ذلك، تُرفض الفرضية العدمية وتُقبل الفرضية البديلة، وتؤكد هذه النتائج صحة الفرضية الرئيسية للدراسة. ويفترع منها الفروض الفرعية التالية.

اختبار الفرضية الفرعية الأولى

H01: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للتخطيط والجدولة الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Linear Regression Test)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 9): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التخطيط والجدولة الذكية على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

المتغير التابع	ملخص النموذج	تحليل التباين ANOVA			المتغير المستقل	المعاملات Coefficient					
تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	r	R ²	df	F	Sig. F	التخطيط و الجدو لة الذكية	B	الخطأ المعيار ي	Beta	T	Sig. t
	0.694	0.482	1	156.327	0.000		0.676	0.054	0.694	12.503	0.000

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لقياس تأثير "التخطيط والجدولة الذكية" باعتباره أحد أبعاد توظيف الذكاء الاصطناعي على "تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة". وقد جاءت النتائج الإحصائية كما هو موضح في الجدول (4 - 9)، حيث بلغ معامل الارتباط $R^2 = 0.482$ ، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين المتغيرين، كما بلغت قيمة معامل التحديد $(R^2) = 0.482$ ، مما يشير إلى أن 48.2% من التباين في تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة يُمكن تفسيره من خلال متغير التخطيط والجدولة الذكية فقط، دون تدخل بقية الأبعاد الأخرى.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA) ، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (156.327) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000) ، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية. أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير $B = 0.676$ ، بقيمة $T = 12.503$ ، وهي أيضاً دالة عند مستوى (Sig. = 0.000) ، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في توظيف التخطيط والجدولة الذكية تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.676) في مستوى تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة، ضمن شروط النموذج. وبناءً على ذلك، تُرفض الفرضية العدمية الفرعية الأولى وتُقبل الفرضية البديلة.

اختبار الفرضية الفرعية الثانية

H02: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للتحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف المدعومة بالذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 10): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

ANOVA تحليل التباين											
المتغير		ملخص		ANOVA		تحليل التباين		المتغير		المعاملات	
التابع	النموذج					المستقل					
تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	r	R ²	df	F	Sig. F	التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف	B	الخطأ المعياري	Beta	T	Sig. t
	0.721	0.520	1	181.946	0.000		0.687	0.051	0.721	13.489	0.000

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس تأثير "التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف" على "تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة". وقد جاءت النتائج الإحصائية كما هو موضح

في الجدول (4 - 10)، حيث بلغ معامل الارتباط $R^2 = 0.721$ ، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين المتغيرين، كما بلغت قيمة معامل التحديد $(R^2) = 0.520$ ، مما يشير إلى أن (52.0%) من التباين في تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة يمكن تفسيره من خلال متغير التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف فقط، دون تدخل بقية الأبعاد الأخرى.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA)، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (181.946) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية. أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير $B = 0.687$ ، بقيمة $T = 13.489$ ، وهي أيضاً دالة عند مستوى (Sig. = 0.000)، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في توظيف التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.687) في مستوى تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة. وبناءً على ذلك، تُرفض الفرضية العدمية الفرعية الثانية وتُقبل الفرضية البديلة.

اختبار الفرضية الفرعية الثالثة

H03: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للتحسين الآلي لتخصيص الموارد باستخدام الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 11): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التحسين الآلي لتخصيص الموارد على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

المتغير التابع	ملخص النموذج	تحليل التباينANOVA				المتغير المستقل	المعاملاتCoefficient				
تحسين أداء مشاريع	r	R²	df	F	Sig. F	التحسين الآلي	B	الخطأ المعيار ي	Beta	T	Sig. t

0.000	12.087	0.682	0.053	0.642	لتخصيص الموارد	0.000	146.082	1	0.465	0.682	الطاقة المتجددة
-------	--------	-------	-------	-------	-------------------	-------	---------	---	-------	-------	--------------------

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس تأثير "التحسين الآلي لتخصيص الموارد" على "تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة". وقد جاءت النتائج الإحصائية كما هو موضح في الجدول (4 - 11)، حيث بلغ معامل الارتباط $R^2 = 0.682$ ، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين المتغيرين، كما بلغت قيمة معامل التحديد $R^2 = 0.465$ ، مما يشير إلى أن (46.5%) من التباين في تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة يمكن تفسيره من خلال متغير التحسين الآلي لتخصيص الموارد فقط، دون تدخل بقية الأبعاد الأخرى.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA)، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (146.082) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية. أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير $B = 0.642$ ، بقيمة $T = 12.087$ ، وهي أيضاً دالة عند مستوى (Sig. = 0.000)، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في التحسين الآلي لتخصيص الموارد تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.642) في مستوى تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة. وبناءً على ذلك، تُرفض الفرضية العدمية الفرعية الثالثة وتُقبل الفرضية البديلة.

اختبار الفرضية الفرعية الرابعة

H04: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للمراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي المستندة إلى الذكاء الاصطناعي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة السعودية للطاقة.

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 12): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة

المتغير التابع	ملخص النموذج	تحليل التباين ANOVA	المتغير المستقل	المعاملات Coefficient							
تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة	r	R ²	df	F	Sig. F	المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي	B	الخطأ المعياري	Beta	T	Sig. t
	0.736	0.542	1	198.713	0.000		0.709	0.050	0.736	14.097	0.000

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس تأثير "المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي" على "تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة". وقد جاءت النتائج الإحصائية كما هو موضح في الجدول (4 - 12)، حيث بلغ معامل الارتباط $R^2 = 0.542$ ، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين المتغيرين، كما بلغت قيمة معامل التحديد $R^2 = 0.542$ ، مما يشير إلى أن (54.2%) من التباين في تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة يمكن تفسيره من خلال متغير المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي فقط، دون تدخل بقية الأبعاد الأخرى. ويلاحظ هنا أن هذا البعد حقق أعلى نسبة تفسير منفردة بين الأبعاد الأربعة.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA)، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (198.713) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية. أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير $B = 0.709$ ، بقيمة $T = 14.097$ ، وهي أيضاً دالة عند مستوى (Sig. = 0.000)، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في توظيف المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.709) في مستوى تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة. وبناءً على ذلك، تُرفض الفرضية العدمية الفرعية الرابعة وتُقبل الفرضية البديلة.

الفصل الخامس: نتائج الدراسة وتوصياتها

1.5 تمهيد

يتناول هذا الفصل عرضاً تحليلياً لأبرز النتائج التي توصلت إليها الدراسة في ضوء البيانات الميدانية التي جمعت من أفراد عينة الدراسة في الشركة السعودية للطاقة، مع تفسير هذه النتائج تفسيراً علمياً يربطها بأسبابها المحتملة، ويوضحها ضمن السياق المعرفي الذي طرحته الأدبيات النظرية والدراسات السابقة المرتبطة بموضوع الدراسة. ثم يُقدّم الفصل جملة من التوصيات العملية المنبثقة من هذه النتائج، والمقترحات بالدراسات المستقبلية التي قد تسهم في إثراء هذا الحقل البحثي.

2.5 نتائج الدراسة

كشفت نتائج التحليل الوصفي عن أن مستوى توظيف الذكاء الاصطناعي في الشركة السعودية للطاقة جاء بدرجة مرتفعة بمتوسط حسابي بلغ (3.99)، وهو ما يدل على أن الشركة تتبنى توجهاً واضحاً نحو إدماج تقنيات الذكاء الاصطناعي في منظومة إدارة مشاريعها. ويُعزى ذلك إلى جملة من العوامل، أبرزها الزخم الاستراتيجي الذي يشهده القطاع الطاقوي السعودي في إطار رؤية المملكة 2030، والاستثمار المتزايد في البنية التحتية الرقمية، وتوافر كوادر بشرية مؤهلة قادرة على استيعاب التحول التقني. وتتسق هذه النتيجة مع التوجه الذي طرحه (الدويري وعبادة، 2024) في معالجته لتوظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير المشاريع، إذ أبرز أن بيئة المشاريع المعاصرة تتجه نحو إدماج هذه التقنيات بوصفها بنية معرفية لإعادة هندسة وظائف الإدارة، وهو ما يتقاطع مع ما طرحه (Hameed et al., 2025) من أن توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع الإنشائية يُمتثل تحولاً نوعياً في وظائف التخطيط والرقابة وإدارة الموارد.

وقد جاء بُعد المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي في المرتبة الأولى بين أبعاد المتغير المستقل بمتوسط (4.04)، يليه بُعد التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف بمتوسط (4.01)، ثم بُعد التخطيط والجدولة الذكية بمتوسط (3.98)، وأخيراً بُعد التحسين الآلي لتخصيص الموارد بمتوسط (3.92). ويُفسّر تصدر بُعد المراقبة والتحكم بأن مشاريع الطاقة المتجددة، بحكم اعتمادها على مصادر متذبذبة كالإشعاع الشمسي وسرعة الرياح، تتطلب منظومات رصد لحظية ومستمرة قادرة على رصد التغيرات الآنية في المدخلات

والمخرجات، وهو ما يجعل الشركة تُولي هذا البُعد عناية خاصة في استثماراتها التقنية. ويتسق هذا التفسير مع الإطار الذي طرحه (Mohamed et al., 2022) في معالجته للحلول المتلى لإدارة الطاقة في المحطات الكهروضوئية تحت ظروف عدم اليقين، حيث أبرز أن منظومات اتخاذ القرار اللحظي تُمثل ركيزة أساسية لاستقرار أداء هذه المنظومات.

كما كشفت النتائج عن أن مستوى تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة جاء بدرجة مرتفعة بمتوسط حسابي بلغ (3.96)، مع تصدر فقرة الإسهام في تحقيق أهداف الاستدامة البيئية بمتوسط (4.14)، وتراجع فقرة الموثوقية التشغيلية بمتوسط (3.81). ويُعزى ذلك إلى الموقع المركزي الذي تحتله مشاريع الطاقة المتجددة في أجندة الاستدامة الوطنية، وتركيز الشركة على إبراز الأثر البيئي لمشاريعها أمام أصحاب المصلحة والممولين، في حين أن موثوقية المنظومات التشغيلية تتطلب فترات أطول من النضوج الفني والمؤسسي. ويتفق هذا التفسير مع الإطار الذي قدّمه (علي ومحمد، 2025) في معالجته للأثر البيئي والاجتماعي والابتكار التكنولوجي في مشاريع الطاقة الشمسية، حيث أبرز أن البُعد الاستدامي يحتل موقعاً متقدماً في منظومة تقييم أداء هذه المشاريع، وهو ما يتقاطع مع منظور (الحسن، 2025) في تأكيده على أن تحسين أداء المشاريع الإنشائية يتطلب بناء منظومة جودة متكاملة تستوعب مرحلة التشغيل الممتدة لاكتمال نضوج البُعد التشغيلي.

وأظهرت نتائج اختبار الفرضية الرئيسية وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتوظيف الذكاء الاصطناعي بأبعاده الأربعة مجتمعة على تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة، إذ بلغ معامل التحديد (R^2) قيمة قدرها (0.717)، وهو ما يعني أن هذه الأبعاد تُفسّر مجتمعة (71.7%) من التباين في أداء مشاريع الطاقة المتجددة. ويُعزى هذا الأثر المرتفع إلى الطبيعة التكاملية لأبعاد الذكاء الاصطناعي، التي تعمل بصورة مترابطة لا منفصلة، إذ تُغذي مخرجات بُعد التخطيط مدخلات بُعد إدارة التكاليف، فيما تُكوّن مخرجات بُعد تخصيص الموارد بيئة عمل بُعد المراقبة والتحكم، وهو ما يُنتج أثراً مركباً يتجاوز مجموع الآثار الفردية للأبعاد منفردة. وتتسق هذه النتيجة مع المنظور الذي طرحه (Ukoba et al., 2024) في معالجته للأمتلية في منظومات الطاقة المتجددة عبر الذكاء الاصطناعي، إذ أبرز أن القيمة الكبرى لهذه التقنيات تنبثق من تكاملها داخل منظومة موحدة لا من تطبيقاتها المعزولة.

وعلى مستوى الفرضيات الفرعية، كشفت النتائج عن أن بُعد المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الفعلي حقق أعلى نسبة تفسير منفردة لتحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة بمعامل تحديد بلغ (0.542)،

يليه بُعد التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف بمعامل تحديد (0.520)، ثم بُعد التخطيط والجدولة الذكية بمعامل تحديد (0.482)، وأخيراً بُعد التحسين الآلي لتخصيص الموارد بمعامل تحديد (0.465). ويُعزى تصدر بُعد المراقبة والتحكم إلى أن مشاريع الطاقة المتجددة تتطوي على درجة عالية من الحساسية للتغيرات اللحظية في بيئة التشغيل، وأن القدرة على الرصد المبكر والاستجابة الآنية تُمثّل عاملاً حاسماً في الحفاظ على استقرار الأداء. ويتسق هذا التفسير مع الإطار الذي قدّمه (Yousef et al., 2023) في معالجته لإدارة منظومات الطاقة المتجددة المتغيرة، حيث أبرز أن القدرات التنبؤية واللحظية تُمثّل البنية الأساسية لاستقرار هذه المنظومات في مواجهة تذبذب المدخلات.

أما الأثر المرتفع للتحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف، فيُعزى إلى الطابع كثيف رأس المال لمشاريع الطاقة المتجددة، الذي يجعل من دقة تقدير التكاليف عاملاً محورياً في جدوى المشروع وقدرته على جذب التمويل، فضلاً عن أن بيئة سلاسل الإمداد لمكونات الطاقة المتجددة تتسم بالتذبذب الكبير في الأسعار، وهو ما يستلزم بناء نماذج تنبؤية متقدمة. وتتقاطع هذه النتيجة مع المنظور الذي طرحه (الزبيدي والسبعراوي، 2025) في معالجته لاستخدام الموازنات الرأسمالية في تقييم مشاريع الطاقة البديلة، حيث أبرز الحاجة إلى أدوات تحليلية متقدمة لإدارة الجانب المالي لهذه المشاريع، كما تتسق مع ما طرحه (Arumugham et al., 2023) من إطار للتحليلات التنبؤية لإدارة جانب الطلب في المنظومات الذكية.

وفيما يخص بُعد التخطيط والجدولة الذكية، فإن أثره الدال إحصائياً يُعزى إلى الطابع المعقد لمشاريع الطاقة المتجددة، الذي يتضمن تداخلاً بين تخصصات مدنية وكهربائية وميكانيكية متعددة، ويستلزم بناء جداول زمنية قادرة على استيعاب هذا التداخل وإدارة قيوده المتعددة في الوقت ذاته. ويتفق هذا التفسير مع الإطار الذي قدّمه (Ruiz et al., 2025) في معالجته لتطبيق تقنيات التخطيط والجدولة الذكية في مشاريع إنشاء محطات الطاقة الكهروضوئية، حيث أبرز أن تقنيات الذكاء الاصطناعي تُعيد تشكيل العلاقة بين الزمن والكلفة والجودة في هذه المشاريع، كما يتقاطع مع ما طرحه (نجم، 2012) في معالجته لأساليب الجدولة الكلاسيكية كبيروت والمسار الحرج في المفاضلة بين الوقت والكلفة، التي تُمثّل البنية المعرفية التي تنمو عليها تقنيات التخطيط الذكي. ويُضاف إلى ذلك ما أبرزه (محمد، 2020) من أهمية التحليل الشبكي في جدولة المشاريع الإنشائية، وهي البنية التي يأتي الذكاء الاصطناعي ليُطوّرّها من حالتها الساكنة إلى حالة ديناميكية متكيفة.

أما الأثر النسبي الأقل لبُعد التحسين الآلي لتخصيص الموارد، رغم دلالاته الإحصائية، فيُعزى إلى أن منظومات تخصيص الموارد تتطلب نضوجاً أعمق في البنية المعلوماتية للمنظمة، وتكاملاً بين قواعد البيانات المختلفة، وهو ما قد لا يكون قد بلغ مرحلة النضوج الكامل بعد. ويُفسر ذلك أيضاً بأن تخصيص الأمثل للموارد يستلزم إعادة تصميم العمليات التنظيمية وليس فقط إضافة طبقة تقنية، وهو ما يستغرق وقتاً أطول. وتتسق هذه النتيجة مع ما طرحه (الجبوري ومصطفى، 2021) في معالجتهم لأنظمة تخطيط مصادر المشروع وأثرها على أداء المشاريع الإنشائية، إذ أبرزوا أن نضوج هذه الأنظمة يتطلب توحيد قواعد البيانات وتكامل العمليات، كما تتقاطع مع ما طرحه (تلي وآخرون، 2022) من إطار لجدولة الموارد البشرية للمشاريع الإنشائية باستخدام التحليل الشبكي، الذي يمثل بنية أساسية لانطلاق التحسين الآلي لتخصيص الموارد.

وعلى صعيد التفسير الكلي للنتائج، فإن النسبة المرتفعة من التباين المُفسر (71.7%) في أداء مشاريع الطاقة المتجددة من خلال أبعاد الذكاء الاصطناعي تؤكد على أن هذه التقنيات لم تعد إضافة تكميلية إلى منظومة إدارة المشاريع، بل أصبحت ركيزة جوهرية في تحديد مستوى أدائها. ويتقاطع هذا التفسير مع ما طرحه (Manuel et al., 2024) في معالجته لأثر الذكاء الاصطناعي في رفع كفاءة استخدام الطاقة المتجددة وأداء المحطات في الإنشاءات المعاصرة، إذ أبرز أن هذه التقنيات تُعيد تشكيل منظومة أداء مشاريع الطاقة بصورة جوهرية. كما تتقاطع مع المنظور التطويري الذي قدّمه (نجم، 2025) للتحسين المستقبلي لإدارة المشاريع، الذي يضع التحول الرقمي والذكاء الاصطناعي في صلب الاستراتيجيات المستقبلية لتطوير هذا الحقل. ويُضاف إلى ذلك أن الأثر النسبي لأبعاد الذكاء الاصطناعي يتسق مع منظومة الاستدامة طويلة المدى التي تتطلبها مشاريع الطاقة المتجددة، والتي طرحها (الرشدان وغنيم، 2015) في معالجتهم لتنمية مشاريع الطاقة المتجددة من منظور التنمية المستدامة، إذ تمثل تقنيات الذكاء الاصطناعي رافعة لتحقيق هذه الاستدامة عبر دعم القرار طويل الأمد، فضلاً عما أبرزه (العنبي وأبو لحية، 2024) من أن مشاريع التحول الرقمي تمثل بنية تأسيسية لتحسين الأداء المؤسسي في المؤسسات الكبرى. كما يتقاطع ذلك مع ما طرحه (العوامرة والعمرى، 2013) من إطار للإبداع الفردي بوصفه رافداً للأداء، إذ تُتيح تقنيات الذكاء الاصطناعي تحرير الكوادر من المهام الروتينية وتمكينها من التركيز على المهام الإبداعية، وما طرحه (القذحات والشقور، 2015) من أهمية نظم المعلومات الجغرافية في مشاريع الطاقة المتجددة، التي تتكامل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي في بناء منظومة معلومات شاملة لهذه المشاريع. وفي السياق ذاته، تتقاطع نتائج الدراسة مع ما طرحه (الجياشي

وشاتي، 2025) من أن الذكاء الاصطناعي يُمثّل رافعة لاستدامة الطاقة المتجددة، وما طرحه (أعراب، 2021) من إطار لجدولة المشاريع والرقابة عليها باستخدام شبكات الأعمال، وما طرحته (رماش ودوفي، 2024) من إطار للسندات الخضراء في تمويل مشاريع الطاقة المتجددة، وهي أطر تُكوّن مجتمعةً البنية المؤسسية والمالية التي يعمل ضمنها توظيف الذكاء الاصطناعي في هذه المشاريع.

3.5 توصيات الدراسة

في ضوء ما توصّلت إليه الدراسة، يُقدّم الباحث جملة من التوصيات الموجهة إلى الشركة السعودية للطاقة والجهات المعنية بإدارة مشاريع الطاقة المتجددة، على النحو الآتي:

- تعزيز الاستثمار في منظومات المراقبة والتحكم اللحظي بالأداء عبر بناء مراكز عمليات متقدمة تستوعب التدفق المستمر للبيانات من مواقع المشاريع، وتدمج خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تحليلها واتخاذ القرارات بناءً عليها.
- تطوير منظومة التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف عبر بناء قواعد بيانات تاريخية شاملة للمشاريع السابقة، وتوظيفها في تدريب نماذج التعلم الآلي القادرة على تقدير التكاليف بدقة عالية، مع تحديث هذه النماذج بصورة دورية.
- تطوير منظومة التخطيط والجدولة الذكية بحيث تنتقل من حالتها الساكنة إلى حالة ديناميكية متكيفة قادرة على إعادة الجدولة التلقائية عند طرؤ متغيرات غير متوقعة، مع بناء قدرة على توليد سيناريوهات بديلة قبل اتخاذ القرارات الكبرى.
- إعطاء أولوية متقدمة لتطوير منظومة التحسين الآلي لتخصيص الموارد، باعتبارها البُعد الذي يحتاج إلى مزيد من النضوج، عبر توحيد قواعد البيانات المتعلقة بالموارد، وإعادة هندسة العمليات بما يتيح التخصيص الأمثل الآلي.
- بناء برامج تدريبية متخصصة للكوادر العاملة في إدارة المشاريع لرفع قدراتها على التعامل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتفسير مخرجاتها، واتخاذ القرارات بناءً عليها، بحيث يتحول الذكاء الاصطناعي إلى شريك في القرار لا مجرد أداة تقنية.
- تطوير منظومة موثوقية التشغيل في مشاريع الطاقة المتجددة عبر بناء أنظمة صيانة تنبؤية مدعومة بالذكاء الاصطناعي، تتيح اكتشاف الأعطال قبل وقوعها، وإطالة العمر التشغيلي للأصول.

- إقامة شراكات استراتيجية مع الجهات البحثية والأكاديمية المتخصصة في الذكاء الاصطناعي، بهدف تسريع تبني التقنيات المتقدمة، وتطوير حلول مخصصة لتحديات مشاريع الطاقة المتجددة في السياق السعودي.
- تطوير منظومة قياس متكاملة لأداء مشاريع الطاقة المتجددة تستوعب الأبعاد الإنشائية والتشغيلية والاستدامة والاقتصادية، وتُتيح للإدارة العليا رؤية شاملة لأداء محفظة المشاريع.
- توظيف أدوات التمويل المستدام كالسندات الخضراء في تمويل مشاريع الطاقة المتجددة المدعومة بتقنيات الذكاء الاصطناعي، بما يفتح أمام الشركة أسواقاً تمويلية ميسرة ويعزز قدرتها التنافسية.
- بناء وحدات متخصصة داخل الشركة للذكاء الاصطناعي تتولى تصميم الحلول المخصصة لمشاريعها، بدلاً من الاعتماد الكامل على المزودين الخارجيين، بما يُعزز الميزة التنافسية المستدامة للشركة.
- تعزيز ثقافة الحوكمة الأخلاقية لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع، عبر وضع أطر واضحة لإدارة المخاطر التقنية، وحماية البيانات، وضمان شفافية القرارات الخوارزمية أمام أصحاب المصلحة.
- تطوير منظومة إدارة المعرفة في الشركة بحيث تُوثق الخبرات المتراكمة من تطبيق الذكاء الاصطناعي في مشاريعها، وتيسر نقلها إلى المشاريع المستقبلية، بما يُحقق تراكمًا معرفيًا قابلاً للاستثمار.

4.5 المقترحات بالدراسات المستقبلية

استكمالاً لما طرحته الدراسة الحالية، يقترح الباحث جملة من المسارات البحثية المستقبلية:

- إجراء دراسات مقارنة بين شركات الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية ودول الخليج العربي حول مستوى توظيف الذكاء الاصطناعي وأثره في أداء المشاريع.
- دراسة أثر المتغيرات الوسيطة كالثقافة التنظيمية وجاهزية البنية التحتية الرقمية على العلاقة بين توظيف الذكاء الاصطناعي وأداء مشاريع الطاقة المتجددة.
- إجراء دراسات نوعية معمقة عبر المقابلات والملاحظة في الشركات الرائدة لتحديد الممارسات الفضلى في تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة مشاريع الطاقة المتجددة.

- دراسة أثر توظيف الذكاء الاصطناعي على متغيرات تابعة أخرى كالميزة التنافسية وإدارة المخاطر والاستدامة المؤسسية في قطاع الطاقة المتجددة.
- إجراء دراسات طولية تتتبع أداء المشاريع التي تتبنى تقنيات الذكاء الاصطناعي على مدى زمني ممتد لقياس الأثر التراكمي لهذه التقنيات.
- دراسة التحديات والمعوقات التي تواجه تطبيق الذكاء الاصطناعي في مشاريع الطاقة المتجددة، وسبل التغلب عليها في السياق المحلي.

Abstract

This study aimed to investigate the impact of employing artificial intelligence, through its four dimensions of intelligent planning and scheduling, predictive analytics for cost management, automated resource allocation optimization, and real-time performance monitoring and control, on improving the performance of renewable energy projects at the Saudi Power Company. The study adopted the descriptive-analytical approach, and a questionnaire was developed as the main data collection instrument, consisting in its final form of twenty-six items distributed across the independent and dependent variables. The study population comprised employees working in departments concerned with renewable energy projects at the Saudi Power Company, totaling three hundred and twenty employees, and a stratified random sample was used, with one hundred and seventy valid questionnaires retrieved for analysis. Data were statistically processed using SPSS through a range of statistical methods, including means, standard deviations, Cronbach's alpha coefficient, Pearson correlation coefficient, and simple and multiple linear regression analysis. The study concluded that there is a statistically significant impact at the significance level ($\alpha \leq 0.05$) of employing artificial intelligence with its four dimensions on improving the performance of renewable energy projects at the Saudi Power Company, as these dimensions collectively explained 71.7% of the variance in the dependent variable, with the real-time performance monitoring and control dimension ranking first in terms of impact, followed by the predictive analytics for cost management dimension. The study recommended strengthening investment in real-time monitoring systems, developing predictive analytics capabilities, building specialized human capacities in artificial intelligence, and employing sustainable financing instruments to fund smart projects.

Keywords: Artificial Intelligence, Intelligent Planning and Scheduling, Predictive Analytics, Resource Allocation, Real-Time Monitoring, Project Performance, Renewable Energy, Saudi Power Company.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- أعراب، زهيرة. (2021). جدولة المشاريع والرقابة عليها باستخدام شبكات الأعمال. مجلة إقتصاديات شمال إفريقيا، مج17، ع25، 463 - 478. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1234628>
- تلي، سيف الدين، محمد، معطا الله، و كارش، رابح. (2022). جدولة الموارد البشرية للمشاريع الإنشائية باستخدام التحليل الشبكي: دراسة حالة مشروع مجمع سكني بولاية تامنغست. مجلة الإصلاحات الاقتصادية والاندماج في الإقتصاد العالمي، مج16، ع1، 62 - 79. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1287345>
- الجبوري، اشواق سالم حسن، و مصطفى، رمضان جبر محمد. (2021). أثر استخدام أنظمة تخطيط مصادر المشروع على تحسين أداء المشاريع الإنشائية في الأردن (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة مؤتة، مؤتة. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1214873>
- الجياشي، جاسم وحواح شاتي. (2025). دور الذكاء الاصطناعي في استدامة الطاقة المتجددة. مجلة العلوم الانسانية، مج32، عدد خاص، 498 - 523. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1647765>
- الحسن، عبدالله محمد عبدالحميد. (2025). دور إدارة الجودة في تحسين واستدامة المشاريع الإنشائية: دراسة حالة دولة الكويت. المجلة العربية للنشر العلمي، ع77، 376 - 391. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1568797>
- الدويري، زايد نواف عواد، و عبادة، إبراهيم عبدالحليم. (2024). توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير المشاريع الوقفية. مجلة بيت المشورة، ع22، 9 - 35. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1522537>
- الرشدان، محمد كايد فارس، و غنيم، عثمان محمد يوسف. (2015). تنمية مشاريع الطاقة المتجددة من منظور التنمية المستدامة: حالة دراسية الأردن (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة البلقاء التطبيقية، السلط. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1302689>

- رماش، منال، و دوفي، قمرية. (2024). دور السندات الخضراء في تمويل مشاريع الطاقة المتجددة: الصين أنموذجاً. مجلة الاقتصاديات المالية البنكية وإدارة الأعمال، مج13، ع1 ، 206 - 227. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1679617>
- الزيدي، مثني فالح بدر، و السبعراوي، محمد حسين علي. (2025). استخدام الموازنات الرأسمالية في تقييم مشاريع الطاقة البديلة: دراسة تطبيقية في محطة نينوى للطاقة المستدامة. مجلة رماح للبحوث والدراسات، ع122 ، 488 - 506. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1591027>
- العتيبي، نايف بن حزام، و أبو لحيه، سلمان محمد سلمان. (2024). أثر مشاريع التحول الرقمي في تحسين الأداء المؤسسي في هيئة الحكومة الرقمية بالمملكة العربية السعودية (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة عمان العربية، عمان. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1580798>
- علي، محمد بخاري حسن، و محمد، أحمد الفاضل. (2025). الأثر البيئي والاجتماعي والابتكار التكنولوجي في نجاح مشاريع الطاقة المتجددة: دراسة ميدانية على مشروع نور تشاد للطاقة الشمسية في تشاد. مجلة رماح للبحوث والدراسات، ع131 ، 490 - 543. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1640002>
- العوامرة، بادي عبدالله، و العمري، محمد شحادة أبو يمن. (2013). أثر الإبداع الفردي في تحسين أداء المشاريع الصغيرة و المتوسطة (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة عمان العربية، عمان. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/636148>
- القدحات، تغريد أحمد يوسف، و الشقور، سطاتم سالم مقبل. (2015). تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في مشاريع الطاقة المتجددة (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة مؤتة، مؤتة. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/956441>
- محمد، معطا الله. (2020). استخدام التحليل الشبكي في جدولة المشاريع الإنشائية: دراسة حالة إنجاز 60 وحدة سكنية. مجلة آفاق علمية، مج12، ع4 ، 672 - 691. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1096357>
- نجم، محمد عبدالله أوحيدة. (2025). تحسين أداء إدارة المشاريع في ليبيا: استراتيجيات وتوجهات مستقبلية. مجلة جامعة سبها للعلوم الإنسانية، مج24، ع1 ، 58 - 63. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1585432>

- نجم، نجيب عبدالمجيد. (2012). استراتيجية استخدام أساليب جدولة المشروع ، بيرت والمسار الحرج في المفاضلة بين الوقت والتكلفة لانجاز المشاريع. مجلة الأستاذ للعلوم الإنسانية والاجتماعية، ع 202 ، 93 - 106. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/440238>

ثانيا: المراجع الأجنبية

- Arumugham, V., Ghanimi, H. M., Pustokhin, D. A., Pustokhina, I. V., Ponnamm, V. S., Alharbi, M., ... & Sengan, S. (2023). An artificial-intelligence-based renewable energy prediction program for demand-side management in smart grids. *Sustainability*, 15(6), 5453.
- Arumugham, V., Ghanimi, H. M., Pustokhin, D. A., Pustokhina, I. V., Ponnamm, V. S., Alharbi, M., ... & Sengan, S. (2023). An artificial-intelligence-based renewable energy prediction program for demand-side management in smart grids. *Sustainability*, 15(6), 5453
- Hameed, A., Ahmed, S. S., Rasel, A. B. S., Hamim, M., Sok, M., & Tesfalem, A. (2025). The role of artificial intelligence in revolutionizing construction Project Management: Enhancing efficiency and sustainability. *North American Academic Research (NAAR)*, 8, 56-76.
- Manuel, H. N. N., Kehinde, H. M., Agupugo, C. P., & Manuel, A. C. N. (2024). The impact of AI on boosting renewable energy utilization and visual power plant efficiency in contemporary construction. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 23(2), 1333-1348.
- Mohamed, M. A. E., Mohamed, S. M. R., Saied, E. M. M., Elsis, M., Su, C. L., & Hadi, H. A. (2022). Optimal energy management solutions using artificial intelligence techniques for photovoltaic empowered water desalination plants under cost function uncertainties. *Ieee Access*, 10, 93646-93658.
- Ruiz, J. G., Díaz, H., & Crespo, R. G. (2025). The application of artificial intelligence planning and scheduling in photovoltaic plant construction projects. *Expert Systems*, 42(2), e13798.
- Ruiz, J. G., Díaz, H., & Crespo, R. G. (2025). The application of artificial intelligence planning and scheduling in photovoltaic plant construction projects. *Expert Systems*, 42(2), e13798.
- Ukoba, K., Olatunji, K. O., Adeoye, E., Jen, T. C., & Madyira, D. M. (2024). Optimizing renewable energy systems through artificial intelligence: Review and future prospects. *Energy & environment*, 35(7), 3833-3879.
- Yousef, L. A., Yousef, H., & Rocha-Meneses, L. (2023). Artificial intelligence for management of variable renewable energy systems: a review of current status and future directions. *Energies*, 16(24), 8057.
- Yousef, L. A., Yousef, H., & Rocha-Meneses, L. (2023). Artificial intelligence for management of variable renewable energy systems: a review of current status and future directions. *Energies*, 16(24), 8057.

الملاحق

استمارة استبيان

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أخي الكريم / أختي الكريمة

تحية طيبة وبعد،

يقوم الباحثين بإجراء دراسة حول قياس تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة عبر توظيف الذكاء الاصطناعي في جدولة المشروع وضبط التكلفة: دراسة تطبيقية على الشركة السعودية للطاقة

ونظراً لما لديكم من المعرفة العلمية والخبرة العملية ذات الصلة بموضوع البحث، نأمل الحصول منكم على العون والمساعدة في توفير المعلومات المناسبة لأغراض البحث، من خلال التكرم بإبداء رأيكم بالتأشير على الإجابة المناسبة من وجهة نظركم.

وأتقدم لحضراتكم بجزيل الشكر والتقدير للمساهمة في جهودكم في تعبئة هذا الاستبيان علماً أن جميع البيانات التي سيتم الحصول عليها منكم ستعامل بسرية تامة، ولن تستخدم لغير أغراض هذا البحث، وسوف أزودكم بنتائج هذه الدراسة حال اكتمالها إن شاء الله.

وتفضلوا بقبول فائق التقدير والاحترام

أولاً: البيانات الشخصية

1- النوع الاجتماعي | ذكر | أنثى

2- العمر | 30 سنة فأقل | من 30 - 40 سنة | من 40 - 50 سنة | 50 سنة فأكثر

3- المؤهل العلمي | دبلوم | ماجستير | بكالوريوس | دكتوراه

4- سنوات الخبرة | 5 سنوات فأقل | من 5 - 10 سنوات | أكثر من 10 سنوات | أكثر من 15 سنة

5- المستوى الإداري | إدارة عليا | إدارة تنفيذية | إدارة وسطى

ثانيا محاور الاستبيان

✿ المحور الأول: توظيف الذكاء الاصطناعي، ضع إشارة (√) في المربع المناسب لاختيارك:

معارض بشدة	معار ض	محايد	أوافق بشدة	أوافق بشدة	البعد
التخطيط والجدولة الذكية					
					توظف الشركة تقنيات الذكاء الاصطناعي في بناء الجداول الزمنية لمشاريع الطاقة المتجددة
					تعتمد الشركة على خوارزميات ذكية في تحديد المسار الحرج لأنشطة المشروع
					تتيح أنظمة الذكاء الاصطناعي إعادة جدولة الأنشطة تلقائياً عند طرء متغيرات غير متوقعة
					تسهم أنظمة التخطيط الذكية في بناء سيناريوهات بديلة لتنفيذ المشروع
التحليلات التنبؤية لإدارة التكاليف					
					تستخدم الشركة التحليلات التنبؤية في تقدير تكاليف مشاريع الطاقة المتجددة
					تمكن أنظمة الذكاء الاصطناعي من اكتشاف الانحرافات المالية في وقت مبكر
					تسهم خوارزميات التعلم الآلي في تحسين دقة تقديرات الميزانية
					تساعد التحليلات التنبؤية في تقدير تكاليف دورة حياة المشروع كاملة
التحسين الآلي لتخصيص الموارد					

معارض بشدة	معار ض	محايد	أواف ق	أوافق بشدة	البعد
					توظف الشركة خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التخصيص الأمثل للموارد البشرية
					تُسهّم أنظمة الذكاء الاصطناعي في التخصيص الأمثل للموارد المادية والتقنية
					تُساعد التقنيات الذكية على تقليل الهدر في موارد المشروع
					تُحقّق خوارزميات التحسين توازناً في توزيع الموارد بين المشاريع المتزامنة
المراقبة والتحكم في الأداء بالوقت الحالي					
					تستخدم الشركة أنظمة الذكاء الاصطناعي في الرصد اللحظي لمؤشرات أداء المشروع
					تُتيح الأنظمة الذكية الكشف المبكر عن المخاطر التشغيلية
					تُسهّم تقنيات الذكاء الاصطناعي في اقتراح الإجراءات التصحيحية المناسبة
					تُوفّر الأنظمة الذكية لوحات قياس لحظية لمتابعة أداء المشروع

✿ المحور الثاني: تحسين أداء مشاريع الطاقة المتجددة، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

أوافق بشدة	أوافق	أوافق محايد	معارض بشدة	المبعد
				تُنفذ مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة الجدول الزمنية المخططة
				تلتزم مشاريع الطاقة المتجددة في الشركة بالموازنات المالية المعتمدة
				تُحقّق مشاريع الطاقة المتجددة معايير الجودة المستهدفة
				تتميز مشاريع الشركة بكفاءة تشغيلية مرتفعة في توليد الطاقة
				تُسهم مشاريع الشركة في تحقيق أهداف الاستدامة البيئية
				تُحقّق مشاريع الشركة عوائد اقتصادية تتجاوز التوقعات المخطط لها
				تُسهم مشاريع الشركة في تنمية المجتمعات المحلية المحيطة بها
				تستوعب مشاريع الشركة التقنيات الحديثة في قطاع الطاقة المتجددة
				تتميز مشاريع الشركة بقدرة عالية على التكيف مع التغيرات الفنية
				تُحقّق مشاريع الشركة موثوقية مرتفعة في تشغيل المنظومات الطاقوية

مع خالص التقدير والاحترام

Mid Ocean University

College of Management

Department of project management



**Enhancing the Performance of Renewable Energy
Projects through the Utilization of Artificial
Intelligence in Project Scheduling and Cost Control:
An Applied Study on the Saudi Energy Company**

Prepared by:

Rayan Falah Alsaqr Alqahtani

253002126

**Main supervisor/
Dr. Al-Faisal Abdelhamid**

**Second supervisor/
Dr. Fayez Jarad**

2026 – 1448