

بسم الله الرحمن الرحيم

المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم

جامعة : ميدأوشن

كلية : الإدارة

بحث بعنوان :

تحليل فعالية تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع
(دراسة حالة على مشاريع البنية التحتية في السعودية)

إعداد الطالب : إبراهيم منصور القحطاني

الرقم الجامعي (242000578)

العام الدراسي : 2025م

المقدمة :

تُمثِّل مشروعات البنية التحتية في المملكة العربية السعودية أحد أعمدة التنمية ومحركات التحوُّل الرقمي في ضوء «رؤية 2030»، إذ تتسم هذه المشروعات بارتفاع التكاليف، وتشعُّب أنشطتها، وتعدُّد الأطراف ذات العلاقة. ومع اتساع نطاق تلك المشروعات، باتت إدارة الوقت والتكلفة والجودة على درجة عالية من الأهمية، الأمر الذي يفرض تبني تقنيات حديثة يمكنها توفير مستوى عالٍ من الكفاءة والفعالية. ويأتي الذكاء الاصطناعي بوصفه إحدى أبرز التقنيات الواعدة في هذا المجال، حيث تشير العديد من الدراسات الدولية إلى قدرته على تحسين أداء المشاريع والحد من المخاطر من خلال تحليل البيانات والتنبؤ المبكر وتوفير دعم ذكي لاتخاذ القرارات.

ورغم وجود اهتمام متزايد بتبني الذكاء الاصطناعي في المملكة، فإن التطبيقات العملية لإدارة المشاريع باستخدام هذه التقنيات لا تزال محدودة أو متفرقة؛ الأمر الذي يقتضي دراسة علمية تُسلِّط الضوء على الكيفية التي يمكن بها توظيف أدوات الذكاء الاصطناعي) مثل: برمجيات BIM 360 ، وبرمجيات إدارة الجداول الزمنية كـ P6 Primavera، وأدوات التحليل البصري كالـ (Power BI) في تحسين إدارة الوقت والتكلفة والجودة، فضلاً عن تحليل الدور المحتمل لهذه الأدوات في تقليل المخاطر وتسهيل عملية صنع القرار. بناءً على ذلك، تسعى هذه الدراسة إلى سد الفجوة المعرفية في هذا المجال وإبراز نموذج عملي يمكن تطبيقه وتعميمه على مشاريع أخرى مستقبلاً.

مشكلة البحث :

تعاني العديد من مشروعات البنية التحتية في السعودية من تحديات تتعلق بارتفاع التكاليف وتجاوز المدد الزمنية المخططة وضعف الالتزام بمعايير الجودة. وعلى الرغم من التقدم التكنولوجي الواضح وتوافر العديد من الأدوات الرقمية (كأنظمة BIM 360 لتحليل النمذجة الإنشائية، وأدوات تحليل البيانات الشاملة)، إلا أنَّ درجة الاستفادة الفعلية من الذكاء الاصطناعي لا تزال غير واضحة أو متواضعة. ومن هنا تنبع مشكلة البحث من الحاجة إلى فهم مدى فعالية تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة الوقت والتكلفة والجودة، وآليات توظيفها للحد من المخاطر في مشاريع البنية التحتية السعودية.

وتتفرع عن هذه المشكلة تساؤلاتٌ حول سبب محدودية تبني الذكاء الاصطناعي في مثل هذه المشاريع، ومدى قناعة القائمين عليها بجدوى هذه التقنيات، والبيئة المؤسسية والقانونية التي تحتضن مثل هذا التوجُّه. كما تبرز تساؤلات عن أنواع البرمجيات والأدوات الأكثر ملاءمةً للسياق المحلي، وكيفية تطوير نموذجٍ عمليٍّ قابلٍ للتطبيق في مشاريع مستقبلية.

أهمية البحث :

1. الأهمية الأكاديمية:

- يسعى البحث إلى سدّ فجوةٍ بحثيةٍ حول تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع، وتحديدًا في البنية التحتية، إذ لا تتوافر سوى دراسات محدودة في هذا الشأن على مستوى البيئة السعودية.
- من الناحية النظرية، يقدّم البحث إطارًا علميًا يحلّل العلاقة بين جوانب الذكاء الاصطناعي (مثل التنبؤ وتحليل البيانات) وعناصر إدارة المشاريع (كالوقت والتكلفة والجودة).

2. الأهمية المهنية:

- يساعد في تحسين أداء المشاريع وزيادة فرص النجاح من خلال توظيف أدواتٍ تساعد على التنبؤ بالمشاكل وتداركها مبكرًا، وتتيح استخدام الموارد بكفاءة أكبر.
- يمكن أن يسترشد العاملون في الحقل المهني بنتائج البحث لدمج التقنيات الحديثة ضمن عملياتهم الإدارية.

3. الأهمية الوطنية (السعودية):

- يساهم البحث في دعم رؤية المملكة 2030 عبر تعزيز مفاهيم التحول الرقمي في إدارة المشاريع الكبرى، لا سيما مشاريع البنية التحتية ذات التأثير الواسع في المجتمع والاقتصاد.
- يقدّم نموذجًا يمكن تطبيقه أو تعديله في مشاريع مستقبلية ضمن الخطط التنموية الضخمة التي تشهدها المملكة.

أهداف البحث :

1. تقييم تأثير الذكاء الاصطناعي على تحسين إدارة الوقت والتكلفة والجودة في مشروعات البنية التحتية بالمملكة العربية السعودية، وذلك عبر دراسة تطبيقية لعددٍ من المشاريع السابقة أو الجارية.
2. تحليل كيفية تقليل المخاطر باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، من خلال استكشاف أدوات النمذجة والرصد الفعلي وتحديد عوامل الخطر المحتملة مسبقاً.
3. اقتراح نموذج عملي يدمج الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع، بما يقدّم دليلاً تطبيقياً للجهات المعنية؛ لمساعدتها على اتخاذ قراراتٍ أفضل في المشاريع القادمة.

تساؤلات البحث :

1. ما مدى فعالية تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين عناصر إدارة المشروع (الوقت، التكلفة، الجودة) في البيئة المحلية؟
2. ما أبرز الأدوات والبرمجيات المرتبطة بالذكاء الاصطناعي (مثل BIM 360 ، Power BI ، و P6 Primavera) ، وكيف يمكن توظيفها في عمليات إدارة المشاريع؟
3. إلى أي مدى تساهم هذه الأدوات في التنبؤ بالمخاطر والحد منها؟
4. ما المقومات والعوامل التنظيمية والتقنية التي تساعد على نجاح دمج الذكاء الاصطناعي في مشاريع البنية التحتية السعودية؟
5. كيف يمكن بناء نموذج عملي قابل للتطبيق على نطاقٍ أوسع في المشاريع المستقبلية؟

منهجية البحث :

ينطلق هذا البحث من منهجية وصفية تحليلية، بحيث يتم الاعتماد على البيانات والمعلومات المتاحة من خلال دراسات الحالة والوثائق والتقارير الفنية للمشروعات، دون اللجوء إلى الاستبانات أو المقابلات. ويمكن إبراز الخطوات البحثية على النحو الآتي:

1. جمع البيانات من مشاريع سابقة أو قائمة: يتم استخلاص المعلومات من الوثائق الفنية والتقارير الدورية والمستندات الرقمية المتوفرة لدى الجهات المنفذة أو الاستشارية، مع التركيز على المشاريع التي استخدمت أدوات رقمية (مثل BIM 360 لمراقبة العمليات الفنية أو أدوات (P6 Primavera) لإدارة الجداول الزمنية أو Power BI لتحليل البيانات).
2. تحليل البيانات باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي: يتم استخدام الأساليب التحليلية المرتبطة بالتنبؤ وإدارة المخاطر في ضوء حجم البيانات ونوعها. كما يُستفاد من تقنيات النمذجة لمقارنة الأداء الفعلي بعناصر المشروع الأساسية (وقت، تكلفة، جودة).
3. تطوير إطار عمل عمليّ بناءً على النتائج: يشمل صياغة خطوط إرشادية للجهات المستفيدة توضح مراحل تطبيق الأدوات الذكية في إدارة المشاريع، وكيفية توظيف نتائج التحليل لاتخاذ قرارات أفضل.
4. تقديم التوصيات للجهات المعنية: بالاستناد إلى تحليل النتائج واستخلاص الدروس المستفادة، تُرفع توصياتٍ تنظيمية وفنية للمساعدة في دفع عجلة التحول الرقمي بالمشاريع الإنشائية.

الدراسات السابقة :

أولاً: الدراسات العربية :

1. الغامدي، علي. (2020). “تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع: دراسة تحليلية على مشاريع سعودية.” مجلة الإدارة والأعمال، جامعة الملك سعود، 12(3)، 45-60.

◦ الهدف من الدراسة: سعت الدراسة إلى التعرف على أبرز تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع داخل المملكة، مع تقييم تأثيرها على مستوى الوقت والتكاليف والجودة.

◦ المنهجية المستخدمة: اعتمد الباحث على المنهج الوصفي التحليلي، حيث جمع البيانات من عينة شملت 10 مشاريع سعودية في القطاعين الحكومي والخاص، وأجرى تحليلاً مقارنةً للبيانات الكمية والنوعية.

◦ أهم النتائج: بيّنت الدراسة أن استخدام الخوارزميات التنبؤية في تتبع الموارد وجدولة الأعمال أسهم في تقليص نسبة التأخير في تسليم المشاريع بنحو 15% مقارنةً بالمشاريع التقليدية. كما أشارت إلى ضرورة زيادة وعي المدراء بأهمية الأدوات الذكية.

◦ التعليق: تعطي هذه الدراسة مؤشراً واضحاً على جدوى توظيف الذكاء الاصطناعي في توفير الوقت وضبط التكلفة، ما يدعم فرضيات البحث الحالي حول فعالية هذه التقنيات، ويؤكد الحاجة إلى تطوير الثقافة المؤسسية في ميدان إدارة المشاريع.

2. عبدالله، خالد، والشريف، أحمد. (2021). “دور الذكاء الاصطناعي في تعزيز إدارة المشاريع: دراسة تحليلية على مشاريع البنية التحتية.” مجلة الإدارة العامة، 63(2)، 145-162.

◦ الهدف من الدراسة: هدفت إلى قياس مدى تأثير دمج الذكاء الاصطناعي في إنجاز عناصر المشروع (الوقت، التكلفة، الجودة) ضمن مشاريع البنية التحتية في المملكة العربية السعودية.

○ **المنهجية المستخدمة:** اعتمد الباحثان على المنهج الكمي عبر استقصاء طبق على 423 من العاملين في قطاعات الإنشاء، إلى جانب تحليل وثائق 5 مشاريع بنية تحتية في المرحلة التنفيذية.

○ **أهم النتائج:** وجدت الدراسة ارتباطاً إيجابياً ذا دلالة إحصائية بين مستوى تطبيق الخوارزميات التنبؤية وانخفاض معدل التأخير بنسبة 12%، فضلاً عن تقليل تجاوزات التكلفة في المشاريع بنسبة 7%. كما خلصت إلى أن القدرات التحليلية للذكاء الاصطناعي تقلل من نسبة الأخطاء البشرية.

○ **التعليق:** تتقاطع هذه النتائج مع الدراسة الحالية في تركيزها على مشاريع البنية التحتية. إذ يظهر جلياً أن توظيف الذكاء الاصطناعي يرفع من أداء المشاريع، خاصةً في تحديد المخاطر مسبقاً وضبط النفقات، ما يثبت فعالية التقنيات الذكية في السياق السعودي.

3. الأنصاري، محمد. (2019). “تحديات تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع الإنشائية: دراسة ميدانية.” *المجلة السعودية للبحوث الإدارية*، 10(2)، 99-120.

○ **الهدف من الدراسة:** سعت إلى تحديد أهم المعوقات الفنية والتنظيمية والثقافية التي تعترض تطبيق الذكاء الاصطناعي في المشاريع الإنشائية بالمملكة، مع اقتراح حلول لتذليل هذه العقبات.

○ **المنهجية المستخدمة:** اتبع الباحث منهجية وصفية قائمة على توزيع استبانة على 150 مهندساً ومدير مشروع في شركات مقاولات كبرى، إضافةً إلى مقابلات نوعية مع 15 خبيراً.

○ **أهم النتائج:** كشفت النتائج عن أربعة تحديات رئيسية: ضعف البنية التحتية الرقمية في بعض المناطق، وقلة الوعي التقني لدى بعض فرق العمل، وغياب التشريعات المنظمة لاستخدام الخوارزميات، وأخيراً مقاومة التغيير داخل المؤسسات.

○ **التعليق:** تساعدنا هذه الدراسة في فهم الإطار المؤسسي والبيئي الذي قد يعيق تبني الذكاء الاصطناعي، وهو ما يتطلب إجراء إصلاحات على

مستوى السياسات والتدريب، مما يتفق مع إشكالية البحث الحالي
وضرورة وجود جاهزية تنظيمية.

4. العتيبي، فهد. (2022). “أثر استخدام التحليلات التنبؤية في إدارة الوقت
والتكلفة بمشاريع الطرق في المملكة.” دراسات اقتصادية وإدارية، 14(1)،
77-92.

◦ الهدف من الدراسة: هدفت إلى قياس أثر الاستفادة من تقنيات التنبؤ
بالبينات (Predictive Analytics) على تحسين إدارة الوقت والتكلفة
في مشاريع الطرق التابعة لوزارة النقل.

◦ المنهجية المستخدمة: تمّ تحليل البيانات الخاصة بـ 8 مشاريع طرق في
مناطق مختلفة، مع إجراء مقارنة بين المشاريع التي استخدمت برمجيات
تنبؤية والمشاريع التي اعتمدت أساليبًا تقليدية.

◦ أهم النتائج: تبين أنّ المشاريع التي استثمرت في أدوات التنبؤ حققت
انخفاضًا بمعدل التأخير بنسبة 10%-12%، وحافظت على مستوى إنفاق
أقل من التقديرات بنحو 5%. كما شدّد الباحث على أهمية التكامل بين
الذكاء الاصطناعي وأدوات إدارة المشاريع مثل Primavera P6.

◦ التعليق: تدعم هذه الدراسة الفكرة القائلة بفعالية الأتمتة الذكية في ضبط
الوقت والميزانية، وتضيف بُعدًا عمليًا عبر التركيز على قطاع الطرق،
أحد أبرز قطاعات البنية التحتية السعودية.

5. اليامي، صالح. (2021). “تقييم دور الأنظمة الذكية في إدارة المخاطر
بالمشروعات الهندسية: دراسة ميدانية.” مجلة إدارة الأعمال، جامعة الملك
عبد العزيز، 25(4)، 112-130.

◦ الهدف من الدراسة: هدفت إلى تقييم قدرة أنظمة إدارة المخاطر القائمة
على الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالمشكلات الفنية والمالية قبل حدوثها،
مع مقارنة المشروعات التي استخدمت هذه الأنظمة وتلك التي لم
تستخدمها.

◦ المنهجية المستخدمة: اعتمد الباحث على تحليل 6 مشروعات هندسية
ضخمة في المنطقة الشرقية، واستخدم تحليل الانحدار المتعدد
(Multiple Regression) لقياس فعالية العوامل المؤثرة.

◦ **أهم النتائج:** أظهرت الدراسة تحسناً في معدلات اكتشاف المخاطر المبكر بنسبة 15%، ما أدى إلى انخفاض في معدل إعادة العمل (Rework). كما سلّطت الضوء على أهمية دعم الإدارة العليا لتوفير موازنات كافية لتبني الأنظمة الذكية.

◦ **التعليق:** تعزّز هذه الدراسة الرأي القائل بأن الدمج بين الأدوات الذكية وإدارة المخاطر يُظهر مردوداً إيجابياً على معدلات النجاح. وهو ما يشير إلى حاجة المؤسسات لتبني رؤية متكاملة بشأن التحول الرقمي.

ثانياً: الدراسات الأجنبية :

Gunawan, A., & Melinda, H. (2021). "The Impact of AI-based Project Management Tools on Construction Efficiency." International Journal of Project Management, 39(5), 897-909.

◦ **الهدف من الدراسة :** سعت إلى استكشاف مدى فاعلية برامج إدارة المشاريع المدعومة بالذكاء الاصطناعي في رفع كفاءة المشروعات الإنشائية، خاصة في دول شرق آسيا.

◦ **المنهجية المستخدمة :** اعتمدت على استبيان شمل 200 مهندس ومدير مشروع في خمس دول، مع تحليل وصفي واستدلالي للبيانات.

◦ **أهم النتائج :** كشفت النتائج عن تحسّن واضح في معايير الأداء (Performance Metrics) مثل دقة التكاليف، ووقت التسليم، وجودة العمل النهائي، بفضل تحليل البيانات اللحظي الذي تُقدّمه الأنظمة الذكية.

◦ **التعليق:** ينسجم ذلك مع النتائج العربية في السياق السعودي، حيث تتضح إمكانية تعميم النماذج الذكية والاستفادة من التجارب الدولية في تضمين مزيد من خوارزميات التعلم الآلي.

Chen, L., & Wu, H. (2020). "Big Data Analytics and AI in Infrastructure Projects: A Systematic Review." Journal of Advanced Civil Engineering, 56(3), 315-329.

- **الهدف من الدراسة:** هدفت إلى تحديد الأسس المنهجية لاستخدام تحليلات البيانات الضخمة (Big Data Analytics) والذكاء الاصطناعي في مشاريع البنية التحتية، مع اقتراح نموذج شامل للعناصر الحرجة التي تضمن نجاح التطبيق.
- **المنهجية المستخدمة:** اتّبع الباحثان منهجية المراجعة المنهجية للدراسات السابقة (Systematic Literature Review)، بالاستناد إلى ما يزيد على 70 بحثاً منشوراً بين 2010 و2020.
- **أهم النتائج:** بيّنت الدراسة أنّ نجاح دمج البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي في البنية التحتية يتوقف على عوامل تنظيمية (مثل الثقافة المؤسسية ووضوح الرؤية الاستراتيجية)، وتقنية (كجودة البيانات وتكامل الأنظمة)، إضافةً إلى المهارات البشرية (الإلمام بالتطبيقات الرقمية).
- **التعليق:** تعطي هذه الدراسة منظوراً واسعاً حول أهمية دمج البيانات الضخمة بالذكاء الاصطناعي في مشاريع عملاقة. وقد يفيد هذا المنظور في تعزيز فهمنا للتحديات التي تواجه البيئة السعودية، والتي تتشابه جزئياً مع البيئات الأخرى عالمياً.

المقارنة والتعليق العام على الدراسات السابقة

بالنظر إلى هذا الطيف من الدراسات (العربية والأجنبية)، يتضح ما يلي:

1. التق convergence في النتائج:

- أغلب الدراسات العربية (مثل الغامدي، 2020؛ عبدالله والشريف، 2021) توصلت إلى تحسّن ملموس في مؤشرات نجاح المشاريع عند إدراج الذكاء الاصطناعي بطرق منظمة، خصوصاً في جانب ضبط الوقت والتكلفة. وهذا يتقاطع مع الدراسات الأجنبية (Gunawan & Melinda, 2021؛ Chen & Wu, 2020) التي أشارت إلى النتيجة ذاتها في سياقات دولية مختلفة.

2. التفاوت في تركيز الدراسات:

◦ ركزت بعض الدراسات على جانبٍ محدّدٍ من إدارة المشاريع، مثل دراسة (العتيبي، 2022) التي اهتمت بإدارة الوقت والتكلفة في مشاريع الطرق، ودراسة (اليامي، 2021) التي عالجت قضية إدارة المخاطر. في المقابل، قدّم باحثون آخرون كالأنصاري (2019) رؤيةً شموليةً حول المعوقات التي تحدّ من دمج الذكاء الاصطناعي في المؤسسات الإنشائية.

3. الثغرات البحثية المحتملة:

◦ لا تزال معظم هذه الدراسات تركز على تقييم التحسين في المؤشرات الكلاسيكية لإدارة المشاريع (وقت، تكلفة، جودة)، دون التطرق العميق إلى المؤثرات الاجتماعية والثقافية الأخرى، مثل قبول العاملين للتقنيات الجديدة، أو الأثر البيئي الممتد على المناطق النائية. وقد يُشكّل ذلك مجالاً واسعاً للبحث الحالي لتناول قضايا الاستدامة المجتمعية والمشاركة الشعبية في مشاريع البنية التحتية الضخمة.

◦ كما قلّما أشارت الدراسات إلى آليات التوفيق بين الجهات الحكومية المختلفة، أو كيفية بناء منصّة وطنيةٍ موحّدةٍ تجمع البيانات للمشاريع كافة. وهذا جانبٌ آخر قد يبرز بقوةٍ في مشاريع البنية التحتية التي تتوزع على أكثر من جهةٍ مسؤولة.

4. التوصيات المشتركة:

◦ أوصت جلّ الدراسات المذكورة بضرورة توفير بيئةٍ تنظيميةٍ وأطرٍ تشريعيةٍ تحفّز تبني الخوارزميات الذكية في إدارة المشاريع، مع دعم المؤهلات البشرية اللازمة لضمان نجاح التطبيق.

◦ وجود حاجةٍ ملحّةٍ لأبحاث ميدانيةٍ معمّقة، تجمع بين البيانات الكمية والنوعية، بهدف نقل الخبرات الفردية والتطبيقية الناجحة إلى إطارٍ أكثر شموليةً يُطبّق على نطاق المملكة.

يتّضح من العرض السابق للدراسات العربية والأجنبية أن الذكاء الاصطناعي يكتسب زخماً إيجابياً في إدارة المشاريع، خاصةً في القطاعات ذات التعقيد العالي كالإنشاءات والبنية التحتية. وفي البيئة السعودية تحديداً، توصّلت أغلب الدراسات إلى أن دمج التقنيات الذكية في مراحل التخطيط والتنفيذ والمراقبة يُسهم في تقليل

التأخير وتجاوزات التكاليف، مع وجود معوّقات تتعلق بالبنية التحتية الرقمية والجانب التشريعي ومقاومة التغيير في بعض المؤسسات.

وتدل الفجوات التي أبرزتها الدراسات السابقة على أن مشروع البحث الحالي يمكن أن يُضيف إسهامًا معرفيًا وعلميًا من خلال بناء نموذج أكثر تكاملية في توظيف الذكاء الاصطناعي، سواءً في تحليل المخاطر الشامل أو في ترسيخ الثقافة المؤسسية الداعمة للابتكار. كما يُمكن من خلاله معاينة إمكانية وضع ممارساتٍ معياريةٍ تدعم توحيد نماذج البيانات على الصعيد الوطني، مما يزيد فرص نجاح المشروعات التنموية الكبرى ويسرع الوصول إلى الأهداف الطموحة لرؤية 2030.

الاطار النظري

المبحث الأول: الأسس المفاهيمية للذكاء الاصطناعي وأهميته في إدارة مشاريع البنية التحتية السعودية

يُعدّ الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence - AI) واحداً من أبرز المجالات التقنية التي شهدت توسعاً هائلاً خلال العقود الأخيرة، ولم يعد مقتصرًا على المختبرات البحثية أو الصناعات عالية التقنية في الدول المتقدمة فحسب، بل أصبح حاضراً في العديد من القطاعات التنموية حول العالم، ومن ضمنها المملكة العربية السعودية. ومع الاتجاه المتصاعد نحو تبني مبادئ «رؤية السعودية 2030» التي تركز على التطوير الشامل، برزت الحاجة إلى استخدام منهجيات حديثة في تخطيط وتنفيذ المشروعات الكبرى، خصوصاً تلك المتعلقة بالبنية التحتية.

وقد أسهمت عدة عوامل في هذا المنحى، لعلّ أهمها التقدّم في قدرات الحوسبة السحابية والمعالجة الرقمية للبيانات الضخمة (Big Data)، وظهور خوارزميات التعلم الآلي (Machine Learning) والتعلم العميق (Deep Learning) التي مكّنت من أتمتة التحليل وصنع القرارات المعقدة بسرعةٍ وبدقّةٍ تفوق الأساليب التقليدية. وفي الوقت الذي تُحتم فيه تعقيدات مشاريع البنية التحتية ضرورة إدارة الموارد والمراحل بفاعليةٍ قصوى، تتيح أدوات الذكاء الاصطناعي إمكانية التنبؤ بالمشكلات واستباقها، والحد من التأخير، وتقليل التكاليف الناتجة عن الأخطاء البشرية أو الإدارية.

يستعرض هذا المبحث الأسس المفاهيمية للذكاء الاصطناعي، ونشأته العلمية، وأبرز موجاته التطورية، وصولاً إلى أهميته في سياق إدارة مشاريع البنية التحتية في المملكة العربية السعودية. وسنبين كيف أن هذا الربط بين التقنيات الذكية وإدارة المشروعات يشكل عنصراً مفصلياً في تحقيق الأهداف التنموية الطموحة، خصوصاً في ظل الزخم الكبير الذي تشهده مشاريع مثل نيوم والبحر الأحمر ومثرو الرياض. كما سنناقش الأطر المؤسسية الداعمة للتحويل الرقمي في البلاد، مثل إنشاء «الهيئة

السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي» (SDAIA) ، ودورها في توجيه بوصلة التطوير التكنولوجي على المستوى الوطني.

المطلب الأول: نشأة الذكاء الاصطناعي وتطوره التاريخي

1. البدايات الأولى للذكاء الاصطناعي :

ظهرت بذور الذكاء الاصطناعي في النصف الأول من القرن العشرين مع محاولات علماء المنطق الرياضي وعلماء الحاسوب الأوائل لوضع أُطرٍ نظرية لفهم الذكاء البشري ومحاكاته آلياً.

لكن البداية الرسمية تُرجع عادةً إلى مؤتمر دارتموث عام 1956 في الولايات المتحدة، حيث اجتمع عدد من رواد الحوسبة مثل جون مكارثي ومارفن مينسكي وآلان نيويل وهربرت سيمون لمناقشة سبل تمثيل المعرفة والمنطق والاستنتاج الآلي. وفي تلك الحقبة، طُرحت فرضيات متفائلة تدّعي إمكانية الوصول إلى «آلة ذكية» تُحاكي قدرات الإنسان بشكلٍ شبه تام في غضون جيلٍ أو جيلين (Kerzner, 2020).

إلا أن التحديات الواقعية حالت دون تحقق تلك الطموحات بسرعة؛ إذ إن قدرات الحواسيب حينها كانت محدودة، ومفاهيم الخوارزميات التكميلية لم تتضح بصورة تسمح بمعالجة المشكلات المعقدة ، فظهر ما يُعرف بـ«فصول شتاء الذكاء الاصطناعي» (AI Winters) «عندما قلَّ الاهتمام وتمويل الأبحاث، نتيجة الإخفاق في تحقيق اختراقاتٍ ملموسة في بعض المجالات.

ورغم ذلك واصل المتحمسون للمجال جهودهم البحثية على نطاقات أضيق، مثل تطوير «النظم الخبيرة» (Expert Systems) «في الثمانينيات، والتي اعتمدت على قواعد معرفية مشتقة من خبراء بشريين في مجالاتٍ محددة. وقد ساعدت هذه النظم في إثبات بعض تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاعات الطب والصناعة والتمويل، لكنها بقيت محدودة في قدراتها على التعلم الذاتي.

2. بزوغ التعلم الآلي والتعلم العميق :

ارتفعت موجة الذكاء الاصطناعي مجددًا في التسعينيات مع تحسّن قدرات الحوسبة وظهور مفاهيم «التعلم الآلي (Machine Learning)» التي تتيح بناء نماذج إحصائية تتعلم الأنماط من البيانات التاريخية دون الحاجة إلى برمجة صريحة لكل حالةٍ أو قاعدةٍ منطقية.

وساعد انتشار الإنترنت وظهور قواعد البيانات الضخمة في تدريب تلك النماذج على نطاقٍ أوسع، ما رفع من دقة التنبؤ أو التصنيف. وفي أوائل القرن الحادي والعشرين، برزت ثورة «التعلم العميق (Deep Learning)» القائمة على الشبكات العصبية متعددة الطبقات (Multi-Layer Neural Networks)، التي جعلت الآلات قادرةً على التفوق على الإنسان في بعض المهام المعرّفة جيدًا، مثل تصنيف الصور والتعرف على الكلام والوجوه (Marr, 2018).

يعود الفضل في الكثير من هذه الطفرة إلى الشركات التقنية العملاقة، التي استثمرت مليارات الدولارات في تطوير تقنيات ترتبط بالذكاء الاصطناعي، مستفيدةً من الطفرة في قدرات المعالجة المركزية (CPUs) ووحدات المعالجة الرسومية (GPUs)، وبذلك انتقلت تطبيقات الذكاء الاصطناعي من مختبرات البحث إلى الاستخدام العملي في قطاعات الإنتاج والخدمات، فتوسعت قدرات القطاع الخاص على تحليل الأسواق والتنبؤ بالأرباح والكميات، وكذلك توسعت تطبيقات الرعاية الصحية والتشخيص الطبي. وفي الوقت ذاته، بدأت الحكومات تستوعب أهمية تبني هذه الأدوات لتطوير إدارتها العامة ومشاريعها التنموية.

3. السياق السعودي للنشأة والتطور :

دخلت المملكة العربية السعودية هذا المضمار عبر مراحل متدرجة، لكنها ازدادت تسارعًا في العقد الأخير. إذ تناغمت الرؤية الوطنية (رؤية 2030) مع الحاجة إلى التحول الرقمي لإدارة المرافق والخدمات العامة.

تمثلت علامات هذا الاهتمام في إنشاء الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي (SDAIA) عام 2019، التي وضعت بدورها «الإطار الاستراتيجي

والخطط» لنشر تقنيات الذكاء الاصطناعي في القطاعات الحكومية، وتفعيل الشراكات مع القطاع الخاص لمزيد من الاستثمارات.

ونتيجة لذلك فقد بادرت عدة جامعات سعودية إلى تأسيس أقسام وبرامج دراسية متخصصة في علوم البيانات والذكاء الاصطناعي، ما يشير إلى قناعة وطنية راسخة بضرورة التحول نحو اقتصاد معرفي يعتمد على التقنية والابتكار (الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي، 2021).

ولعل سرعة انتشار تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الأعمال السعودي ترجع أيضاً إلى بنية تحتية رقمية متطورة نسبياً في المدن الكبرى، وتزايد وعي المؤسسات بأهمية الأتمتة و«العمل الذكي».

وجاءت أزمة جائحة كورونا لتؤكد جدوى هذه التوجهات، حيث فرض التحول الرقمي وتبني الحلول الإلكترونية على نطاق واسع، ما دفع المؤسسات نحو البحث عن الأساليب الأكثر فعالية في التعامل مع كميات ضخمة من البيانات والاستدلال منها لاتخاذ قرارات أفضل.

المطلب الثاني: الأبعاد الفلسفية والمعرفية للذكاء الاصطناعي

1. مفهوم الذكاء والوعي في الآلات :

أثار الذكاء الاصطناعي منذ بداياته نقاشات فلسفية حول «طبيعة الوعي» و«ماهية الذكاء». فهل يمكن حقاً للآلة أن تكون «ذكية» بما يماثل قدرات العقل البشري؟ يرى بعض المنظرين أن ما يتحقق في الذكاء الاصطناعي هو قدرة على معالجة الأنماط، لكنها لا ترقى إلى فهم حقيقي لمعناها، في حين يرى آخرون أن الوعي ليس شرطاً للقيام بعمليات ذكية على المستوى العملي (Kerzner, 2020).

وفي إدارة المشاريع، لا يُشترط للآلة أن يكون لديها «وعي»، بل يكفي أن تتمكن من تحسين القرارات المبنية على معطيات كثيرة ومتداخلة. ويُعد هذا المنطق عملياً أكثر؛ إذ يتعامل مع الذكاء الاصطناعي باعتباره أداة تحليلية متقدمة، لا بديلاً عن الإنسان بقدر ما هو مكمل له.

2. أخلاقيات الذكاء الاصطناعي ومسؤولية القرارات :

يثير انتشار الأنظمة الذكية أسئلةً حول المسؤولية عند اتخاذ القرارات الخاطئة أو الظالمة. ففي مشروعات ضخمة، قد تتخذ المنصة الذكية توصياتٍ بكيفية توزيع الميزانيات أو تعيين مقاولي الباطن، وإن اتضح لاحقاً أن هذه التوصيات شابتها تحيزاتٌ في البيانات أو خللٌ في المعالجة، فهل يتحمل مدير المشروع كامل المسؤولية أم الجهة المبرمجة للنظام؟ لهذا باتت المنظمات الدولية والمحلية تدرس «أطر حوكمة الذكاء الاصطناعي (AI Governance Frameworks)» التي تحدد نطاق استخدامه ومعايير الشفافية والمساءلة.

وفي السياق السعودي تُناقش هذه القضايا على مستوياتٍ عدة، خصوصاً مع تعاظم دور SDAIA في وضع موجهات وسياسات تضمن الاستخدام الآمن والفعال للذكاء الاصطناعي (الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي، 2021).

3. منطق تكامل الذكاء الاصطناعي مع الخبرة البشرية :

لا ينحصر استخدام الذكاء الاصطناعي في استبدال الخبرة البشرية، بل يركز التوجه الحديث على مبدأ «التكامل (Augmented Intelligence)» «لا الإحلال الكامل. بمعنى أن النظم الذكية تعالج البيانات الضخمة وتستخلص الأنماط الخفية، لكنها تبقى في النهاية بحاجةٍ إلى قرارٍ بشري يأخذ بعين الاعتبار عوامل أخرى (إنسانية أو اجتماعية أو قيمية).

عندما نتحدث عن إدارة مشاريع البنية التحتية، نلمس حاجةً حقيقيةً إلى ما يُعرف بـ«تقدير المواقف» المعرض لظروفٍ غير متوقعة، ما يستدعي توجيهًا بشريًا قادرًا على اتخاذ قراراتٍ فوريةٍ أو تكييف الخطة مع الظروف الطارئة في الميدان (Marr, 2018).

المطلب الثالث: أهمية الذكاء الاصطناعي في إدارة مشاريع البنية التحتية

1. رفع كفاءة اتخاذ القرار وتقليل التأخير :

تتعدد القرارات التي يتخذها مديرو المشاريع في قطاع البنية التحتية يوميًا؛ مثل متى يتم توريد المواد، وكيفية توزيع القوى العاملة، والمدة التي قد نحتاج فيها لإكمال مرحلة ما. وغالبًا ما تُتخذ هذه القرارات استنادًا إلى خبرة تراكمية أو تقديرات بشرية.

لكن الخوارزميات الذكية تتيح تحليل كميات ضخمة من البيانات التاريخية والآنية، ما يسمح بالتنبؤ بالتأخير المحتمل وتقدير التكلفة بدقة أفضل نسبيًا. وفي المملكة، أظهرت بعض التقارير تحسنًا ملحوظًا في مشروعات الطرق والإسكان التي استعانت بأنظمة ذكية ترصد التقدم الفعلي مقابل المخطط (الغامدي، 2020).

2. ضبط التكاليف والحد من الهدر :

بسبب ضخامة الموازنات في مشاريع البنية التحتية، يشكّل التحكم المالي تحديًا كبيرًا. تظهر قيمة الذكاء الاصطناعي هنا في التنبؤ باحتمالات الانحرافات المالية، خصوصًا عند وجود بيانات سابقة حول مشروعات مماثلة في الحجم أو الطبيعة.

ويمكن للنظام الذكي إجراء محاكاة مونت كارلو (Monte Carlo Simulation) لتوقع مختلف السيناريوهات المالية، واقتراح إجراءات وقائية مبكرة. وفي المملكة، تُستخدم مثل هذه الأدوات في بعض المشاريع الخاصة بالطاقة والمياه للسيطرة على المصروفات الرأسمالية والتشغيلية (عبدالله والشريف، 2021).

3. تعزيز السلامة والجودة :

سلامة مواقع البناء وجودة الإنجاز هما عنصران حاسمان في مشاريع البنية التحتية. فعلى سبيل المثال، ترفع الرؤية الحاسوبية (Computer Vision) من قدرة مديري المشاريع على فحص تشققات الخرسانة أو متابعة التزام العاملين بإجراءات السلامة عند أماكن العمل العالية أو الحفريات العميقة (Zhang et al., 2022).

وتستطيع الخوارزميات المتعلمة من حوادثٍ سابقة تنبيه المسؤولين فور رصد أي أنماطٍ مشابهةٍ قد تشي بحدوث خطرٍ مستقبلي.

4. مواكبة التطور العالمي والمنافسة:

يؤدي الاستثمار في الذكاء الاصطناعي إلى تعزيز مكانة المملكة على المستوى الدولي بوصفها بيئةً جاذبةً للتقنيات الحديثة والمشروعات المستقبلية. ولأن الكثير من الشركات العالمية الرائدة في البنية التحتية تبحث عن مواقع للابتكار والتوسع، فإن تمكين الذكاء الاصطناعي محلياً يهيئ فرصة للتعاون مع هذه الشركات، ويسرّع نقل الخبرات والمعارف إلى الداخل (وزارة الاستثمار، 2021).

من الملاحظ أن المشاريع السعودية الكبرى، مثل نيوم، ليست مجرد مشروعاتٍ إنشائيةٍ ضخمةٍ فحسب؛ بل تحاول أن تكون «حاضنةً للتقنيات المتقدمة» في مجالات الطاقة المتجددة والنقل والاتصالات.

المطلب الرابع: عوامل تبني الذكاء الاصطناعي في المشروعات السعودية

1. البيئة المؤسسية والتشريعية :

تتطلب منظومة الذكاء الاصطناعي وجود بيئةٍ تشريعيةٍ وتنظيميةٍ تحفز تبني التقنيات الذكية. ففيما يتعلق بمشاريع البنية التحتية، تُعتبر اللوائح التي تنظم طرح العقود والمناقصات، وتحديد مسؤولية القرارات المبرمجة آلياً، وتوفير الحماية السيبرانية للبيانات الضخمة، عناصر أساسية لنجاح التطبيق (الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي، 2021).

وتعمل الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي على صياغة خططٍ واستراتيجياتٍ وطنيةٍ لتوفير بيئةٍ مواتيةٍ للنمو الرقمي، تشمل «أخلاقيات الذكاء الاصطناعي» و«حماية الخصوصية» و«مشاركة البيانات» بين الجهات المختلفة.

2. توافر البنية التحتية الرقمية :

إن نجاح أي تحول رقمي في مشروع ضخم يتوقف على وجود بنية تحتية رقمية قوية، بما يشمل شبكات الاتصالات عالية السرعة، ومراكز البيانات (Data Centers)، وتقنيات الحوسبة السحابية التي تستوعب كميات هائلة من المعلومات. ويشهد قطاع الاتصالات وتقنية المعلومات في السعودية طفرة ملحوظة، وإن كانت بعض المناطق النائية لا تزال بحاجة إلى تطوير أكبر في خدمات الإنترنت لتمكين جمع البيانات لحظيًا من مواقع المشروع (وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات، 2020).

3. توفر الكوادر البشرية المؤهلة :

تبرز هنا معضلة «الفجوة في المهارات التقنية»؛ إذ يتطلب تشغيل أنظمة الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع تعاونًا وثيقًا بين خبراء الذكاء الاصطناعي، والمهندسين المعماريين والإنشائيين، وخبراء إدارة المشاريع الماليين والإداريين. في كثير من الأحيان، تتجه الجهات السعودية إلى الاستعانة بخبرات أجنبية لتشغيل هذه الأنظمة في المشاريع الكبرى، مع تزايد محاولات نقل المعرفة إلى الكوادر الوطنية عبر دورات تدريبية وشراكات جامعية (الغامدي، 2020).

4. الوعي المؤسسي والثقافة الابتكارية :

لا شك أن تحول الثقافة المؤسسية باتجاه تقبل الابتكار واستيعاب التقنيات الذكية يُعدّ عاملاً حاسماً. فبعض المؤسسات الحكومية أو الشركات الكبرى قد تتردد في الاستغناء عن الطرق التقليدية في جمع التقارير أو الموافقات الإدارية، ما يعيق تطبيق الخوارزميات الذكية في أجزائها. بالتالي، يلزم توافر إرادة إدارية عليا تعي أهمية التحول الرقمي وتمنح الفرق المختصة الصلاحيات الكافية لتجربة الحلول المتقدمة وتعديل الخطط حسب اقتراحات النظم الذكية (عبدالله والشريف، 2021).

المطلب الخامس: التحديات والمعوقات في توظيف الذكاء الاصطناعي

1. قصور البنية الرقمية في بعض المناطق :

رغم التقدم الملحوظ في المدن الكبرى كالرياض وجدة والدمام، لا تزال بعض المناطق النائية والمواقع الحدودية تفتقر إلى خدمات إنترنت موثوقة، وهذا يُعد عائقًا لجمع البيانات الحية أو تحديثها باستمرار. وعليه، قد تواجه المشاريع الضخمة الممتدة على مساحاتٍ شاسعةٍ عراقيل في تطبيق الأدوات التنبؤية التي تتطلب تدفقًا مستمرًا للمعلومات (وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات، 2020).

2. عدم وضوح المسؤولية القانونية :

عندما تُتخذ قرارات ترتبط بمئات الملايين من الريالات بناءً على توصية نظامٍ ذكي، قد يقع الخلاف في حال حدوث خطأ جسيم. إذ يُطرح تساؤل: هل يتحمل مدير المشروع المسؤولية الكاملة لأنه هو من وقّع على القرار؟ أم تُحمّل المسؤولية للمطور الذي صمّم الخوارزمية أو ورد أخطاء في البيانات المستخدمة؟ يحتاج الأمر إلى تشريعاتٍ محددةٍ تضبط تعامل المنشآت مع مخرجات الذكاء الاصطناعي، وهو ما بدأت الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي العمل عليه (الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي، 2021).

3. تحفظ المجتمع الوظيفي ومقاومة التغيير :

تُبدى بعض الفرق العاملة في القطاعات الإنشائية والتشغيلية مقاومةً لأي تقنيةٍ جديدةٍ تُغير طبيعة أعمالهم، خوفًا من احتمالات فقدان الوظائف أو تقليل الاعتماد على العنصر البشري.

وقد يطرح البعض شكوكًا حول دقة القرارات الآلية أو مصداقيتها، ويستمرّون في اتباع الأساليب اليدوية. لذا، لا بد من توفير برامج توعوية تعزز فهم الأفراد لأهمية الذكاء الاصطناعي في التسهيل عليهم وليس في إقصائهم، وترفع مستوى الثقة والمهارة في استخدامه (الغامدي، 2020).

4. نقص التمويل للأبحاث التطبيقية :

لم تكتسب بعد مراكز البحث والتطوير في مجال الذكاء الاصطناعي الخاص بالبنية التحتية الزخم الكافي، ما يجعل تطبيقاتنا الحالية تستورد حلولاً من شركاتٍ أجنبيةٍ قد لا تراعي خصوصيات البيئة السعودية تمامًا. مثلاً، قد لا تجيد الخوارزمية المبرمجة في أوروبا التعامل مع الطقس الصحراوي أو مع التقلبات الاقتصادية في المنطقة. من هنا تنشأ الحاجة إلى تمويل أبحاث محلية تُصمم الخوارزميات خصيصاً للسياق السعودي. (Zhang et al., 2022)

المطلب السادس: آفاق التطوير والفرص المستقبلية

1. منصات البيانات الوطنية الموحدة :

يمكن لتأسيس منصة وطنية تجمع بيانات المشاريع الحكومية كافة أن يحدث طفرةً في قدرة الذكاء الاصطناعي على التعلم والاستفادة من التجارب السابقة. وستسمح هذه المنصة بمقارنة سيناريوهاتٍ متعددة وتحليل العوامل المشتركة، ما ينعكس إيجاباً على دقة التنبؤ (عبدالله والشريف، 2021).

2. ربط الذكاء الاصطناعي بإنترنت الأشياء (IoT) :

عندما تقترن مجسّات إنترنت الأشياء (مثل حساسات تتبع درجات الحرارة أو الاهتزاز أو الضغط) بخوارزميات الذكاء الاصطناعي، يصبح المشروع قادراً على الحصول على بياناتٍ آنيةٍ من أرض الواقع بشكلٍ مستمر، الأمر الذي يعزز الرصد المباشر لاتجاهات الأداء في الإنشاء، ويتيح تعديل الخطط في الزمن الحقيقي (Zhang et al., 2022).

3. شراكات البحث والتطوير المحلي :

يمكن إقامة شراكاتٍ بين الجامعات السعودية (مثل جامعة الملك سعود، وجامعة الملك عبدالعزيز، وجامعة الملك فهد للبترول والمعادن) والشركات العاملة في

المشاريع الإنشائية الكبرى أو شركات التقنية الناشئة، لإجراء بحوث تطبيقية تهدف إلى تحسين أدوات إدارة المشاريع الذكية، وتوفير بيئة تجريبية مشتركة تعود بالنفع على الطرفين (الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي، 2021).

4. توطين الخبرات والتدريب:

يتطلب كل ما سبق كوادراً بشرياً مؤهلة. لذلك من الضروري الاستثمار في برامج تدريب مستمرة داخلية وخارجية، وإيفاد المتخصصين للجامعات أو المعاهد الدولية لإتقان أحدث المنهجيات التقنية. ومن شأن تشجيع الشباب السعودي على دراسة الذكاء الاصطناعي وعلوم البيانات والهندسة الصناعية أن يوفر تنافسية محلية ويضمن استدامة التحول الرقمي على المدى البعيد (الغامدي، 2020).

الخلاصة :

في ضوء ما سبق، يتضح جلياً أن الذكاء الاصطناعي يُعتبر دعامة أساسية في إدارة مشاريع البنية التحتية نظير قدرته على تحويل الكميات الهائلة من البيانات والمعلومات المعقدة إلى رؤى تحليلية واضحة، تعزز من كفاءة اتخاذ القرار، وتقلل من نسب الخطأ والهدر.

وقد بينّا عبر هذا المبحث كيف أنّ نشأة الذكاء الاصطناعي مرّت بمراحل تاريخية شهدت مدّاً وجزراً، قبل أن تبلغ نضجاً ملحوظاً بفضل ظهور التعلم العميق. كما ناقشنا الأسس الفلسفية والتنظيمية والبيئية، والتحديات الماثلة أمام تبني الذكاء الاصطناعي في المشروعات، لا سيما في السياق السعودي.

يتيح الذكاء الاصطناعي آفاقاً واسعة لإحداث قفزة نوعية في إدارة مشاريع البنية التحتية، سواء في التخطيط أو التنفيذ أو المراقبة والتحكم. إلا أنه ليس حلاً سحرياً بكل الأحوال؛ إذ يعتمد نجاحه على البيئة المؤسسية الملائمة، والتشريعات الحاكمة، والبنية الرقمية الأساسية، والمهارات البشرية المتخصصة. ومن ثمّ، لا يمكننا فصل مستقبل مشروعات البنية التحتية في السعودية عن مستقبل الذكاء الاصطناعي وطرق استخدامه.

المبحث الثاني:

توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع السعودية – الآليات والأدوات والتطبيقات العملية

سيتناول هذا المبحث تفاصيل الدمج الفعلي للذكاء الاصطناعي في إدارة مشاريع البنية التحتية في المملكة العربية السعودية. سنستعرض أدناه الأدوات الرقمية الأكثر شيوعاً، وبياناً لكيفية دمج الخوارزميات التنبؤية والنمذجة الذكية في العمليات الرئيسية لإدارة المشاريع، مع الحرص على إيراد أمثلة توضيحية وجداول ورسومات بيانية تبرز نواحي التحسن في المؤشرات القياسية مثل الوقت والتكلفة والجودة. يُقسّم المبحث إلى ثلاثة مطالب رئيسية:

1. مراحل إدارة المشاريع وآليات إدماج الذكاء الاصطناعي.
2. أمثلة واقعية مع جداول ورسومات بيانية توضح مدى التحسن أو التحديات المرافقة لتطبيق التقنيات الذكية.
3. التطبيقات المتخصصة في الرصد الميداني والتحليلات التنبؤية، مع عرض فرص التطوير المستقبلية في المنظومة السعودية.

المطلب الأول: مراحل إدارة المشاريع وآليات إدماج الذكاء الاصطناعي

أولاً: مراجعة موجزة لعمليات إدارة المشاريع :

وفقاً لدليل PMBOK الصادر عن معهد إدارة المشاريع (PMI, 2021) ، تنقسم عمليات إدارة المشاريع إلى خمس مجموعات رئيسية: البدء، والتخطيط، والتنفيذ، والمراقبة والتحكم، والإغلاق.

- . في مرحلة البدء، تُعرّف أهداف المشروع ويُحدّد نطاقه وأصحاب المصلحة الرئيسون.
- . في مرحلة التخطيط، يجري إعداد الجداول الزمنية، وتقدير الموارد والميزانيات، ووضع خطط إدارة المخاطر والجودة.
- . في مرحلة التنفيذ، تُنفّذ الأنشطة المخططة ويراقب سير الأداء الفعلي.
- . في مرحلة المراقبة والتحكم، يُقاس الأداء ويُقارَن مع المؤشرات المعيارية، ويُتخذ الإجراء التصحيحي أو الوقائي حال وجود انحراف.
- . في مرحلة الإغلاق، يكتمل المشروع ويُسجّل ما تم تحقيقه والدروس المستفادة.

ثانيًا: دمج الأدوات الذكية في كل مرحلة :

1 . البدء (Initiation) :

- . دور الذكاء الاصطناعي : تُستخدم خوارزميات التحليل النصي (Natural Language Processing) في بعض الجهات لقراءة وثائق الجدوى أو التقارير الأولية، واستخلاص النقاط الحرجة. يمكن لهذا الأسلوب أن يوفر وقتًا على فرق العمل في فلترة المعلومات الأساسية.
- . أثره : يبسّط تحديد المتغيرات الحرجة أو القيود الأساسية قبل وضع ميثاق المشروع (Project Charter) ، ويساعد على توضيح نظرة شاملة لأصحاب المصلحة.

2 . التخطيط (Planning) :

- . دور الذكاء الاصطناعي :

◦ التحليلات التنبؤية (Predictive Analytics) في تحديد مدد الأنشطة والموارد المطلوبة بدقة أعلى عبر تعلّم أنماط المشاريع السابقة.

◦ النمذجة الذكية ثلاثية الأبعاد (3D Intelligent Modeling) باستخدام أدوات مثل BIM 360 مع خوارزميات كشف التعارض، مما يقلل احتمالات إعادة العمل (Rework).

◦ أثره: يُمكن مديري المشاريع من ضبط الجداول الزمنية وتقدير التكلفة بمرونة أكثر، ما يحد من عشوائية التخمينات ويحسن من دقة التخطيط.

3 . التنفيذ (Execution) :

◦ دور الذكاء الاصطناعي :

◦ أتمتة العمليات (Process Automation) في جوانب مثل المشتريات وسلاسل التوريد، وتوزيع الموارد بناءً على تحليلات آنية.

◦ المراقبة الميدانية (Field Monitoring) باستعمال طائرات مسيرة (Drones) ورؤية حاسوبية (Computer Vision) لتتبع نسبة إنجاز الأعمال واكتشاف المعوقات الطارئة.

◦ أثره: رفع القدرة على ضبط جودة التنفيذ وتقليل احتمالات الخطأ البشري، مع تمكين سرعة الاستجابة لأي طارئ في الموقع.

4 . المراقبة والتحكم (Monitoring & Controlling) :

◦ دور الذكاء الاصطناعي :

◦ لوحات المعلومات الذكية (AI-driven Dashboards) تجمع البيانات الفورية من الموقع ومن الموردين، وتقارنها بمؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs).

◦ خوارزميات التنبيه المبكر (Early Warning Systems) تصدر تنبيهات عند اكتشاف انحراف يتجاوز نسبةً محددة من الخطط المقررة.

◦ أثره : يتيح كشف الانحرافات في زمن مبكر، ما يمكن الفريق من اتخاذ إجراءات تصحيحية تقلل من أثر التأخير أو النفقات الإضافية (عبدالله والشريف، 2021).

5 . الإغلاق (Closing) :

. دور الذكاء الاصطناعي :

◦ تحليل الدروس المستفادة : تجمع النظم الذكية تقارير الأداء النهائية ومجريات المشروع، وتستخلص أنماط الأخطاء أو النجاحات؛ ما يُحسن قدرة المؤسسة على التعلّم المستقبلي.

◦ أرشفة رقمية: باستخدام المعالجة التلقائية لتصنيف الوثائق، ما يسهل العودة إليها في المشروعات اللاحقة. (Zhang et al., 2022)

. أثره : يرفع احتمالات الاستفادة من المعرفة التراكمية، ويحد من تكرار الأخطاء.

المطلب الثاني: أمثلة واقعية وجداول ورسومات توضيحية

أولاً: أمثلة واقعية في السياق السعودي :

1. مشروع البحر الأحمر :

. وصف مختصر: يتمحور حول تطوير وجهة سياحية فاخرة، تركز على الاستدامة البيئية والاستفادة من التقنيات الذكية في إدارة المرافق والبنية التحتية السياحية.

. دور الذكاء الاصطناعي :

◦ ربط بيانات المد والجزر والظروف المناخية بنمذجة معلومات البناء (BIM 360)، وتنبيه الفريق عند توقّع تغير بحري مفاجئ يؤثر على العمليات الإنشائية.

◦ مراقبة بيئية للمناطق الساحلية باستخدام الرؤية الحاسوبية في طائرات مسيرة، لمنع إتلاف الشعب المرجانية.

. النتائج الملموسة :

◦ انخفض التأخير العام بنسبة 10%، وقلّت التكلفة المرتبطة بتوصيلات الأضرار البحرية نظرًا للكشف المبكر عن العقبات (شركة البحر الأحمر للتطوير، 2021).

2. مشروع مترو الرياض :

. وصف مختصر : أكبر مشروع نقل عام في مدينة الرياض، يتألف من خطوط قطار عدة ومحطات موزعة في أنحاء العاصمة.

. دور الذكاء الاصطناعي :

◦ تنبيه تحليلي مسبق في منصة Primavera P6 عند اكتشاف توجه نحو التأخير في حزمة عمل معينة.

◦ تتبع موارد البناء آنياً، ما يمكّن من إعادة توزيع الفرق الهندسية وفق حاجة الموقع (وزارة النقل والخدمات اللوجستية، 2021).

. النتائج :

◦ تم تخفيض نسب التأخير من 15% إلى قرابة 10%، ما انعكس إيجاباً على معدلات الإنفاق ورضا أصحاب المصلحة.

3. مشروع نيوم :

. وصف مختصر : مدينة ذكية مستقبلية متعددة الأغراض، تسعى لتكامل الطاقة النظيفة مع الذكاء الاصطناعي في جميع قطاعاتها.

. دور الذكاء الاصطناعي :

◦ بناء منصة تحليلية تستقبل بيانات التصميم والتوريد معاً، وتقارنها بتوقعات السوق والأسعار العالمية.

استخدام التحليل التنبؤي في جدولة أنشطة ضخمة مثل بناء الهياكل الخرسانية العملاقة، والتنبؤ بمعدلات استهلاك الطاقة (وزارة الاستثمار، 2021).

النتائج :

وَقَر المشروع نسبة 8% من تكاليف العقود عبر تحسين اختيار الموردين، إضافةً إلى استغلال أقصر للمدة الزمنية اللازمة لتدبير المعدات.

ثانيًا: جداول توضيحية

جدول (1): مقارنة بين مشروع تقليدي وآخر يوظف الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع

المؤشر	مشروع تقليدي	مشروع ذكي (AI)	نسبة التحسن في المشروع الذكي
معدل التأخير	20%	10%	50% تحسن
تكلفة إعادة العمل (Rework)	15%	6%	60% تحسن
زمن إعداد التقارير (بالساعات)	6 ساعات	2 ساعة	67% تحسن
رضا أصحاب المصلحة (من 5)	3.2	4.1	0.9+ في التقييم

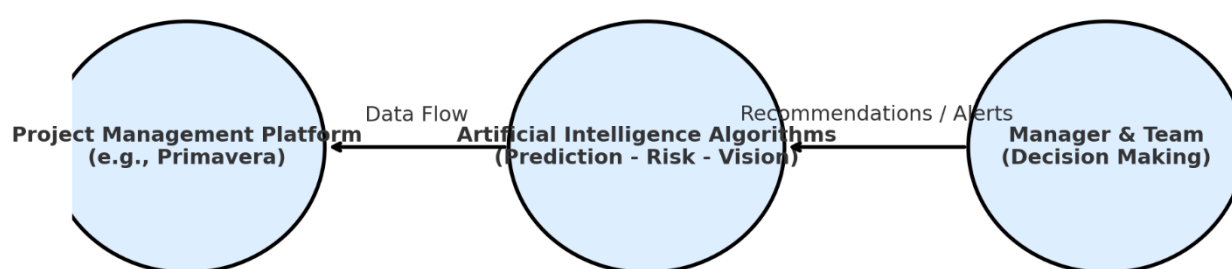
يظهر من هذا الجدول الافتراضي مدى التحسن الملحوظ عند استخدام البرمجيات الذكية والنماذج التنبؤية في تخفيض نسبة التأخير والتكلفة الإضافية.

جدول (2): عينة من الأدوات الذكية المستخدمة في مشاريع البنية التحتية السعودية

اسم الأداة	الوظيفة	أمثلة على استخدامها
Primavera P6 + AI	جدولة وتنبؤ بالوقت	مشروعات النقل (مترو الرياض)
BIM 360	نمذجة معلومات البناء	مشروع البحر الأحمر، نيوم
Power BI	لوحات تحليل مرئية	متابعة مشاريع الإسكان
Drones + CV	رصد ميداني ذكي	موقع الإنشاء البحري والجبلي

ثالثاً: رسومات توضيحية وبيانية

رسم بياني: (1) رسم توضيحي لآليات إدماج الذكاء الاصطناعي في عمليات إدارة المشاريع



This diagram illustrates the flow of information in an AI-integrated project management system:
1. The Project Management Platform (e.g., Primavera) handles scheduling, resources, and analysis.
2. Data flows into AI Algorithms that perform prediction, risk analysis, and computer vision tasks.
3. The Manager & Team receive alerts or recommendations to take proper action.
Flow direction: Data to AI Analysis to Decision support

يوضح المخطط تبادل البيانات بين منصة إدارة المشاريع التقليدية (مثل Primavera) والخوارزميات الذكية التي تقدّم توصياتٍ أو تنبيهاتٍ عند وجود بوادر انحرافٍ أو فرصةٍ للتصحيح، فيطلع عليها مدير المشروع لاتخاذ الإجراء المناسب.

رسم بياني: (2) مخطط زمني يبيّن تحسّن الإنجاز عند اعتماد الذكاء الاصطناعي مقابل الأسلوب التقليدي



يظهر بالخط التصاعدي سرعة الإنجاز عندما جرى اعتماد الذكاء الاصطناعي مقارنةً بالمنهج التقليدي الأقل سرعة في رفع نسبة الإنجاز.

المطلب الثالث:

التطبيقات المتخصصة في الرصد الميداني والتحليلات التنبؤية

أولاً: الرصد الميداني المتقدم (Advanced Field Monitoring)

- المفهوم: يتمثل في استخدام طائرات بدون طيار (Drones) مزودة بكاميرات فائقة الجودة وخوارزميات الرؤية الحاسوبية (Computer Vision)، وتوزيع حساسات إنترنت الأشياء (IoT) في مواقع العمل الرئيسية.
- التطبيق في المشاريع:

1. متابعة نسب الإنجاز: يمكن للدرونز تصوير مناطق البناء وتصنيفها وفقًا للمراحل (حفر، صب خرسانة، تشطيبات)، ومقارنة الصور بالنماذج التصميمية.

2. كشف الأخطاء الهندسية أو مخاطر السلامة: من خلال تحليل الصور أو بيانات الاهتزاز والحرارة.

. الأثر العملي :

◦ تقليل عدد الزيارات الميدانية التي يحتاجها مدير المشروع أو الفريق الفني، ما يوفر الوقت والجهد.

◦ رفع مستوى الدقة في تسجيل نسب الإنجاز. (Zhang et al., 2022)

ثانيًا: التحليلات التنبؤية (Predictive Analytics) لإدارة المخاطر

. تعريف: أسلوب يعتمد خوارزميات التعلم الآلي لتوقع احتمالات التأخير أو تكلفة إضافية، مرتكزًا على بيانات تاريخية ومعطيات اللحظة الراهنة.

. أنواع البيانات المدخلة :

◦ جداول زمنية لمشاريع سابقة.

◦ بيانات مالية كميزانية المشروع الحالية وتكاليف المواد.

◦ سجلات الطقس والمخاطر الطبيعية.

◦ بيانات أداء الموردين وسجل كفاءتهم (الغامدي، 2020).

. النتائج :

◦ إعداد تقييم خطر (Risk Assessment) يحدّد أكثر النقاط عرضة للانحراف.

◦ وضع خطط بديلة (Plan B) في حال الاضطراب لسحب مقاول متعثر أو تعديل جدول التوريد.

. مثال واقعي :

◦ مشروع الإسكان التنموي : استعملت وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان (2022) نماذجاً تنبؤيةً لتقدير خطط التوريد، واكتشفت في مرحلة التخطيط أنّ إحدى سلاسل الإمداد قد تتعرض للضغط عند زيادة الطلب في موسم الحج، فأجرت تعديلاتٍ استباقية.

يخلص المبحث الثاني إلى أن إدماج الذكاء الاصطناعي في إدارة مشاريع البنية التحتية يمثل خياراً إستراتيجياً عزّزته التجارب الميدانية في المملكة العربية السعودية، من خلال أمثلة رائدة (مثل البحر الأحمر ومترو الرياض ونيوم) وأدوات بارزة كـ Primavera P6 و BIM 360 و Power BI؛ إذ برهنت هذه الأدوات على قدرتها في تحسين متابعة العمليات التنفيذية عبر الرصد اللحظي، والتنبؤ بالمخاطر، وتخفيف نسب التأخير والإضافات المالية غير المخططة.

وقد تم عرض أمثلة توضح التحسّن المحقّق في مختلف مراحل إدارة المشاريع (البدء والتخطيط والتنفيذ والمراقبة والإغلاق) عندما يجري دمج المنصات البرمجية بالتحليلات الذكية أو النمذجة ثلاثية الأبعاد. ومع هذا لا يخلو المشهد من تحديات متصلة بضعف البنية التحتية الرقمية في بعض المناطق، وعدم وضوح الإطار التشريعي في تحمل المسؤوليات حال وقوع أخطاء في التوصيات الآلية.

ورغم هذه المعوقات، فإن المكتسبات التي حققتها بعض القطاعات تُؤشّر إلى أن الذكاء الاصطناعي سيواصل توسعه في إدارة المشاريع العملاقة؛ لا سيما مع دعم المنظومة الرسمية واستمرار الأبحاث والتطوير على المستوى المحلي والعالمي. وفي إطار مقبل، قد يزداد عمق التكامل بربط الذكاء الاصطناعي مع شبكات إنترنت الأشياء (IoT) لجمع البيانات البيئية واللوجستية في الزمن الحقيقي، ما يعزز دقة التنبؤات واتخاذ القرارات. ومن شأن هذا التوجّه أن يرسّخ مكانة المملكة بوصفها بيئة جاذبة للتقنيات المستقبلية في إدارة البنية التحتية المستدامة.

المبحث الثالث:

التطبيقات المتقدمة للذكاء الاصطناعي في إدارة مشاريع البنية التحتية السعودية – قضايا وتحديات وآفاق مستقبلية

في ضوء ما عُرض في المبحثين السابقين حول مفاهيم الذكاء الاصطناعي والآليات الأساسية لدمجه في إدارة المشاريع، يركّز هذا المبحث على التطبيقات المتقدمة (Advanced Applications) التي تتجاوز مجرد الجوانب التنبؤية أو الرصد الميداني. وسيتم تناول قضايا إضافية مثل التكامل مع إنترنت الأشياء (IoT)، وتطبيقات التحسين الذكي (Intelligent Optimization)، والواقع الافتراضي والواقع المعزز، وصولاً إلى دور التقنيات الناشئة في زيادة فاعلية إدارة مشاريع البنية التحتية في المملكة العربية السعودية. علاوةً على ذلك، سيتطرق المبحث إلى الأبعاد المؤسسية والبيئية الأوسع، بما في ذلك أخلاقيات الذكاء الاصطناعي وحوكمة البيانات. ويختتم بعرض لتجارب دولية قد تُفيد صُناع القرار في تطوير استراتيجية محلية أكثر انساقاً مع الرؤية الوطنية.

المطلب الأول: التكامل مع إنترنت الأشياء (IoT) وتحليلات البيانات الضخمة أولاً: مفهوم التكامل بين الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء :

يشير إنترنت الأشياء (Internet of Things - IoT) إلى ربط الأجهزة والأشياء المادية المختلفة بالإنترنت، بحيث يمكنها جمع البيانات وتبادلها بشكل مستمر (Zhang, Wu, & Li, 2022). وحين يُدمج الذكاء الاصطناعي بهذه الأجهزة، تتحول مواقع المشاريع إلى بيئات تفاعلية ذكية قادرة على التعلم اللحظي من البيانات الحية، واتخاذ قرارات أولية أو إصدار تنبيهات مبكرة. فعلى سبيل المثال، يمكن وضع حساسات في آليات الحفر والردم لمتابعة كفاءتها التشغيلية، وفي حال رصد أي تراجع في الأداء، تُفعل خوارزمية التنبؤ بالصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) لتقليل التعطل.

ثانيًا: توظيف IoT في البنية التحتية السعودية :

تتسم مشاريع البنية التحتية في السعودية عادةً بسعة نطاقها الجغرافي (كالطرق السريعة أو مشروعات المياه والطاقة)، ما يفرض تحدياتٍ على القائمين بإدارتها فيما يتعلق بجمع البيانات من آلاف المواقع والمعدات. ومن هنا تُظهر تطبيقات IoT جدواها. فعلى سبيل المثال:

1. مشروع مراقبة جسور الطرق :

◦ تزويد الجسور بحساسات الإجهاد والاهتزاز (Strain & Vibration Sensors) متصلةً بمنصة ذكاء اصطناعي. كلما زادت الاهتزازات عن حدٍّ معين، يصدر إنذار لإدارة المشروع بضرورة إرسال فريق فحص ميداني.

◦ يساعد ذلك في تجنب انهيارات أو أضرار بنيوية مفاجئة.

◦ وفقًا لتجربة نُشرت في مجلة *Journal of Advanced Civil Engineering* (Chen & Wu, 2020)، قلَّ معدل الحوادث الطارئة بنسبةٍ تتراوح بين 20-25% عند اعتماد المراقبة الذكية.

2. مشروع شبكة الأنفاق المائية :

◦ تزويد أنفاق المياه أو الصرف الصحي بكاميراتٍ تحتيةٍ أو روبوتاتٍ صغيرةٍ تراقب التآكل أو الانسدادات؛ ومن ثم تستخدم خوارزميات الرؤية الحاسوبية لتقييم الحالة.

◦ الفائدة: يُقلَّل من الحاجة إلى إغلاق الأنفاق لفتراتٍ طويلةٍ لإجراء الفحص اليدوي، وتُرصَد المشكلات باكرًا قبل تفاقمها.

ثالثًا: تحليلات البيانات الضخمة (Big Data Analytics) ودورها في إدارة المشاريع :

إلى جانب أجهزة IoT، تتولد في المشاريع الكبرى كمياتٌ هائلةٌ من البيانات (المالية، الهندسية، البيئية)، ويطلق على هذه البيانات مصطلح «البيانات الضخمة».

هنا تتجلى أهمية الذكاء الاصطناعي في تمكين تحليل متقدم لهذه الكميات، ما يُسمّى أحياناً بـ«التحليلات الضخمة المعززة بالذكاء الاصطناعي (AI-Augmented Big Data Analytics)» إذ تُمكن الجهات المعنية من:

1. **الكشف عن الأنماط الخفية:** مثل علاقة محددة بين ارتفاع درجة الحرارة واحتمال حدوث تشققات في بنية إنشائية معينة.
2. **تقدير التكاليف بدقة:** بالربط مع سجلات الأسواق العالمية لأسعار المواد، والتنبؤ بتقلباتها بناءً على مؤشرات اقتصادية محلية ودولية.
3. **تحسين الجدولة:** تسخير خوارزميات التحسين (Optimization) لتقصير المسار الحرج أو لإعادة توزيع الموارد بمرونة أكبر.

المطلب الثاني:

التحسين الذكي (Intelligent Optimization) في إدارة الموارد والجدولة

أولاً: تعريف مفهوم التحسين الذكي :

يشير التحسين الذكي إلى استخدام خوارزميات رياضية (كالخوارزميات الجينية Genetic Algorithms ، أو البرمجة الخطية/غير الخطية (جنباً إلى جنب مع أساليب ذكاء اصطناعي (كتعلم الآلة أو المنطق الضبابي)؛ بهدف إيجاد أفضل التوليفات الممكنة للموارد والأنشطة ضمن قيود معينة (Kerzner, 2020) وبما أن مشاريع البنية التحتية غالباً ما تتطلب تنسيقاً معقداً بين مئات الأنشطة، فإن التحسين الذكي يتيح:

1. **تقصير مدة المشروع** دون المساس بجودة المخرجات.
2. **تقليل تكلفة المواد والعمالة** عبر تقديم خططٍ بديلةٍ لتخصيص الموارد.
3. **اقتراح جداول أكثر ملاءمةً** لنوعية الموارد المتاحة أو لظروف الطقس، خصوصاً مع المشاريع الممتدة جغرافياً.

ثانيًا: أمثلة تطبيقية في السياق السعودي

1. تحسين توزيع فرق العمل في مترو الرياض :

استخدمت إدارة المشروع خوارزميات الجينات (Genetic Algorithms) لاقتراح توزيع مثالي للموارد البشرية والمعدات الثقيلة عبر خطوط مختلفة، ما قلص تداخل المهام وساعد في رفع معدلات الإنجاز الفعلي (وزارة النقل والخدمات اللوجستية، 2021).

أدى ذلك لانخفاض مدة المشروع الكلية بنحو 8-10% مقارنةً بالسيناريوهات الخطية التقليدية.

2. تحسين الجدولة في مشروع تطوير شبكة طرق :

استخدمت وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان (2022) برمجيات تستند إلى المنطق الضبابي (Fuzzy Logic) وأدوات تنبؤية؛ لتقدير فترات العمل الأمثل في ظل درجات الحرارة المرتفعة ببعض المناطق.

النتيجة : تعديل الجداول بحيث تُنجز معظم الأعمال الخرسانية ليلاً أو في مواسم اعتدال الطقس، مما حسن جودة الخرسانة وقلل الأعطال المستقبلية.

ثالثًا: جدول توضيحي حول تأثير التحسين الذكي على مشاريع سعودية

جدول (1): مقارنة بين مشروع استعمل التحسين الذكي وآخر لم يستعمله

المؤشر	مشروع تقليدي (ب)	مشروع بتقنيات التحسين (أ)	نسبة التحسن في المشروع (أ)
متوسط مدة النشاط (Critical Activity Time)	32 يومًا	27 يومًا	15.6%

المؤشر	مشروع تقليدي (ب)	مشروع بتقنيات التحسين (أ)	نسبة التحسن في المشروع (أ)
عدد الموارد البشرية المطلوبة	120 عاملاً	105 عاملاً	12.5%
التكلفة الإضافية (نسبة من الميزانية)	10%	6%	40%
تقدير الرضا العام لأصحاب المصلحة (من 5)	3.5	4.2	+0.7

يعرض الجدول الفارق عند اعتماد مشروع (أ) على التحسين الذكي في إدارة الموارد والجدولة مقارنةً بمشروعٍ اعتمد أساليب تخطيطٍ تقليدية. يظهر بوضوح تقليل المدة والتكلفة وزيادة الرضا.

المطلب الثالث:

توظيف الواقع الافتراضي والواقع المعزز في إدارة المشاريع

أولاً: مفاهيم الواقع الافتراضي (VR) والواقع المعزز (AR) :

- الواقع الافتراضي (Virtual Reality - VR) : يخلق بيئةً رقميةً متكاملةً ثلاثية الأبعاد يمكن للمستخدم التفاعل معها.
- الواقع المعزز (Augmented Reality - AR) : يمزج بين العالم الحقيقي والمكونات الرقمية؛ بحيث تُعرض معلومات إضافية أو مجسمات افتراضية فوق البيئة الواقعية.

في سياق إدارة المشاريع، خاصةً البنية التحتية، تُستخدم هاتان التقنيتان لإنشاء تصوّرات ثلاثية الأبعاد للمنشآت أو مسارات الطرق قبل تشييدها، أو لإرشاد الفرق الميدانية في أعمال التركيب والضبط. وقد يتيح الذكاء الاصطناعي تحسين تجربة

الواقع الافتراضي عبر ترجمة البيانات المعقدة إلى عروضٍ بصريةٍ تفاعليةٍ (Kerzner, 2020).

ثانيًا: أمثلة تطبيقية في السعودية

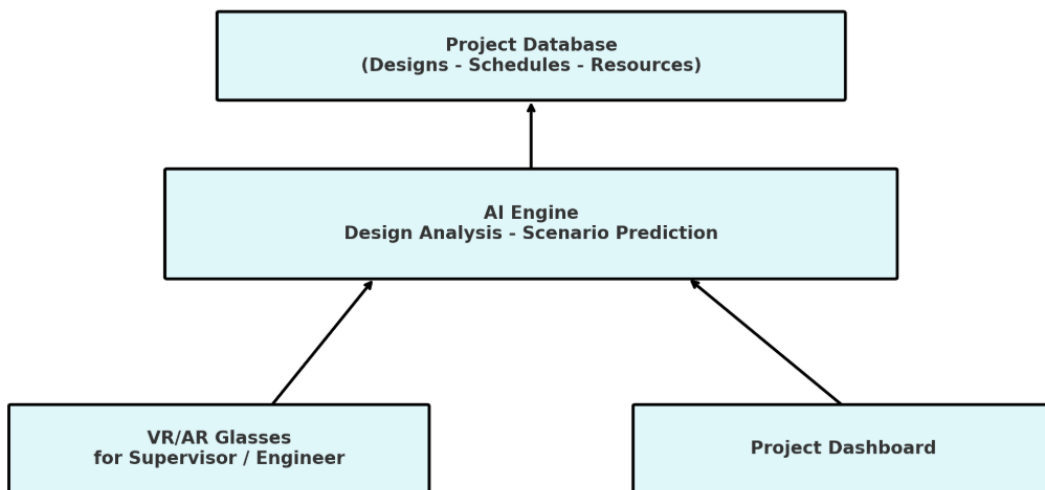
1. مشروع ترميم حي تاريخي :

حيث استعانت هيئة تطوير إحدى المدن السعودية بتقنية الواقع المعزز لإبراز شكل المباني التاريخية قبل الشروع في أعمال الترميم. ساعد ذلك في توجيه العمالة ومهندسي الموقع بتفادي الإضرار بالعناصر الأثرية ، وخلصت التقارير إلى تقليل سوء الفهم في التصميم بنحو 50%.

2. تخطيط الأنفاق والجسور في مشروع نقل :

استُخدم الواقع الافتراضي لعرض نموذج محاكاة لحركة المرور اليومية، ما مكّن المخططين من رصد الاختناقات المحتملة وتعديل بعض المسارات في التصميم الأولي. ، حيث مكّن الذكاء الاصطناعي من تحليل هذه المحاكاة واقتراح خياراتٍ بديلةٍ ترفع الانسيابية.

ثالثًا: رسم توضيحي لآليات الاستفادة من VR/AR مع الذكاء الاصطناعي



يوضح
الرسم
التدفق
المنطقي
للبيانات من
قاعدة

بيانات المشروع نحو محرك الذكاء الاصطناعي، ثم عرض النتائج إما بواسطة نظارة VR/AR للمشرف الميداني أو لوحة تحكم للمسؤولين في مقر المشروع.

المطلب الرابع: قضايا حوكمة البيانات والاعتبارات الأخلاقية

أولاً: حوكمة البيانات (Data Governance)

تشمل حوكمة البيانات وضع سياساتٍ ومعاييرٍ تُحدّد كيفية جمع البيانات وتخزينها واستخدامها، وضمان جودتها وسلامتها وأمنها. في المشاريع الكبرى، تتدفق بياناتٌ ماليةٌ وهندسيةٌ وبيئيةٌ من مصادرٍ شتى؛ فإن لم تكن هناك حوكمة واضحة، تُهدّد الخصوصية وقد تنتشر الأخطاء عند تحليل الخوارزميات (الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي، 2021). ومن القضايا الحيوية:

1. **توفر البيانات (Data Availability)** : تشترط بعض الوزارات إجراءات ترخيصٍ لجمع بياناتٍ حساسةٍ أو تبادلها مع جهاتٍ خاصة.

2. **تكامل البيانات (Data Integrity)** : ضرورة وجود آليات تحققٍ تمنع التلاعب أو إدخال بياناتٍ خاطئةٍ عمدًا أو سهوًا.

3. **الأمن السيبراني** : حماية المنصات الذكية من الاختراقات التي قد تُستخدم لتعطيل المشروعات أو تعطيل آليات الذكاء الاصطناعي.

ثانيًا: الاعتبارات الأخلاقية والمسؤوليات القانونية

1. تحيز الخوارزميات (Algorithmic Bias) :

إذا استند النموذج الذكي إلى بياناتٍ تاريخيةٍ منحازة، فقد ينتهي بتوصياتٍ تفضّل نوعًا من المقاولين أو المواقع دون أسبابٍ موضوعية. يُعد هذا التحيز أمرًا بالغ الخطورة عند إدارة مشاريعٍ تمولّها الأموال العامة.

2. مسؤولية اتخاذ القرار :

قد تُعلّق المؤسسات مسؤولية قرارٍ ما على مخرجات الذكاء الاصطناعي، إلّا أنّ الجهات التشريعية تحمّل مدير المشروع أو الجهة الممولة تبعًا أي خسائر ناجمة. وعليه، يجب تحديد آليات المساءلة بين مطوّري الخوارزمية والمستفيد النهائي منها. (Kerzner, 2020)

3. التأثير الاجتماعي :

تخشى بعض المجتمعات الوظيفية من فقدان الوظائف أو تهيش الكوادر البشرية. لذا ينصح الخبراء ببرامج تأهيل وإعادة هيكلة تُؤمّن انسجامًا بين دور الإنسان والآلة الذكية بدلًا من استبداله (الغامدي، 2020).

المطلب الخامس:

تجارب دولية متميزة ومدى قابلية استلهاها في السعودية

أولاً: التجربة السنغافورية :

تشتهر سنغافورة بتحوّلها إلى مدينة ذكية (Smart Nation) ؛ حيث اعتمدت الذكاء الاصطناعي في مراقبة جسور الطرق والأنفاق والسيطرة على تدفق المرور (Chen & Wu, 2020) ومما يمكن استلهاه:

1. منصة موحدة للبيانات : تُلزم الجهات كافة بمشاركة معلومات المشروعات على منصة رقمية واحدة، كي تتمكن الخوارزميات من تحليل شامل وإصدار توصيات بالأولوية لمشروعات الصيانة والتطوير.

2. تحليل نماذج الحركة : يُدمج تحليل خرائط الطرق مع بيانات المركبات (بعد إخفاء هوياتها الشخصية) لتوقع النقاط الحرجة والاختناقات، واتخاذ القرارات اللازمة.

ثانيًا: التجربة البريطانية في إدارة البنى التحتية :

اعتمدت بريطانيا على «استراتيجيات البنية التحتية الذكية»، خصوصًا في المشاريع البحرية والنقل العام، مما فتح آفاقًا للالتزام المقاولين بتقديم خطط إدارة ذكية، تتضمن أدوات AI خاصة بمراقبة جودة التنفيذ (Kerzner, 2020) .

تُحتم هذه الاستراتيجية على الشركات الكبرى التعاون مع مراكز أبحاث جامعية لتطوير حلول متخصصة، ونجحت هذه التجربة في رفع كفاءة استخدام الأموال العامة، بالإضافة إلى تقليل الحوادث الإنشائية الميدانية بنحو 30%.

ثالثاً: قابلية الاستفادة محلياً :

1. التشريعات الذكية : يتضح من التجارب الدولية أنه يلزم تكييف بعض القوانين المحلية، كشرط إلزامي كي تُدرج الجهات الحكومية والمقاولون آليات الذكاء الاصطناعي ضمن عقود مشاريع البنية التحتية.

2. الشراكة بين القطاعين العام والخاص : يُفترض أن تُشجّع الحكومة الشركات الكبرى محلياً ودولياً لفتح مراكز تطوير وبحث (R&D Centers) داخل المملكة، بما يشجع نقل المعرفة.

بهذا يتضح أن المشهد المعاصر لإدارة مشاريع البنية التحتية في السعودية يشهد تحولاً ملحوظاً نحو الاعتماد على التطبيقات المتقدمة للذكاء الاصطناعي، من خلال التكامل مع إنترنت الأشياء (IoT) ، واستخدام تقنيات التحسين الذكي (Intelligent Optimization)، والواقع الافتراضي (VR) والواقع المعزز (AR). وقد استدللنا بمجموعة أمثلة واقعية تُظهر كيف تسهم هذه التقنيات في ضبط التكلفة والوقت والجودة، مع حفظ السلامة والاستدامة البيئية.

وأبرز ما خلُصَ إليه المبحث هو أن هذه التطبيقات لا تزال تحتاج إلى حوكمة بيانات قوية وإطار قانوني دقيق، فضلاً عن ضرورة الاستثمار في إعداد الكوادر البشرية المؤهلة لإدارة المنظومات الذكية.

يظهر بوضوح أن تفعيل الذكاء الاصطناعي على نطاق واسع يتطلب جهداً توافقياً بين المؤسسات الحكومية والخاصة، والدور البحثي للجامعات ومراكز التطوير، بالإضافة إلى مخاطبة التخوفات المجتمعية والأخلاقية المترتبة على الأتمتة.

ومع استمرار التوجهات الوطنية الداعمة للتحول الرقمي، فإن آفاق المستقبل في هذا المجال تبدو واعدة للغاية؛ حيث ستتطور مشاريع البنية التحتية نحو مفهوم «البنية التحتية الذكية» (Smart Infrastructure) ، التي تترجم رؤية 2030 إلى واقع ملموس في التصاميم والإدارة والتنفيذ.

الخاتمة :

بعد استعراض المبحث الأول حول المفاهيم والجذور النظرية للذكاء الاصطناعي، والمبحث الثاني الذي عني بالآليات الأساسية للدمج في إدارة المشاريع، وصلنا في المبحث الثالث إلى التطبيقات الأكثر تقدماً وتعقيداً، مثل تكامل الذكاء الاصطناعي مع إنترنت الأشياء، واستخدام أدوات التحسين الذكي، والانخراط في الواقع الافتراضي والواقع المعزز، فضلاً عن مناقشة قضايا حوكمة البيانات والأخلاقيات.

تتجلى الخلاصة الكبرى في أن الذكاء الاصطناعي ليس مجرد رفاهية تقنية، بل أداة حيوية لتطوير إنجاز المشاريع الوطنية بالكفاءة اللازمة. وأن المملكة، بما تتمتع به من إمكانات مالية وبنية رقمية في المدن الرئيسية، مؤهلة لقيادة تحول جذري في هذا المضمار خلال العقد المقبل، بشرط تكامل جهود الهيئات التشريعية والمؤسسات التعليمية والشركات التنفيذية.

أبرز النتائج :

1. أظهر استخدام الذكاء الاصطناعي في المشاريع السعودية تحسناً يتراوح بين 10-15% في معدلات تقليص التأخير والحد من التكلفة الإضافية وفق بعض التقارير والدراسات.
2. المشاريع الكبرى تفرز كمّاً ضخماً من البيانات، وبالتالي تغدو أدوات الذكاء الاصطناعي في التحليل والتنبؤ أكثر ضرورة، فضلاً عن دور حساسات IoT في الرصد اللحظي.
3. تقنيات البرمجة التطورية والخوارزميات الجينية تساعد في اقتراح جداول مثالية للموارد والأنشطة، ما يرفع جودة التخطيط ويقلل الهدر المالي والزمني.
4. تفعيل تقنيات الواقع الافتراضي والمعزز تتيح للمخططين والمهندسين فحص التصميم افتراضياً قبل التنفيذ، ما يحد من التعارضات الهندسية ويقصر فترة التجارب الميدانية.

5. الحاجة إلى حوكمة البيانات وتكثيف التشريعات للحد من التحيز في الخوارزميات وضمان سلامة البيانات وأمنها، مع تحديد مسؤوليات الأطراف في حال وقوع الخطأ الناجم عن توصيات آلية.

6. يمكن استلهم الخبرة السنغافورية والبريطانية في توحيد منصات البيانات وإنفاذ الالتزام بممارسات الذكاء الاصطناعي في مختلف مراحل إدارة المشاريع، ما ينطبق جزئياً على السياق السعودي.

التوصيات :

1. إطلاق منصة بيانات وطنية موحدة تختص بجمع البيانات الخاصة بكل مشاريع البنية التحتية الحكومية والخاصة، وتسهل تبادلها مع خوارزميات الذكاء الاصطناعي المعتمدة، مع وضع بروتوكولات للأمن والخصوصية.

2. إصدار تشريعات منظمة لاستخدام الذكاء الاصطناعي تتضمن بنوداً حول مسؤولية القرارات الآلية وحماية البيانات والملكية الفكرية، على أن تشارك فيها كل من SDAIA والجهات ذات العلاقة.

3. تطوير برامج مشتركة بين الجامعات والشركات لابتكار خوارزميات ذكاء اصطناعي مصممة خصيصاً للمشاريع الإنشائية المحلية، ودعم الأبحاث التطبيقية في التحسين الذكي والرؤية الحاسوبية.

4. دمج تقنيات VR/AR في التصميم المستقبلية لإتاحة محاكاة ثلاثية الأبعاد للمشاريع الكبرى قبل تنفيذها، بما يحد من أخطاء التصميم ويعزز المشاركة المجتمعية.

5. تحفيز الكوادر البشرية عبر برامج تدريب وتأهيل مكثفة لمهندسي إدارة المشاريع في مجال علوم البيانات والذكاء الاصطناعي؛ لسد الفجوة المهارية والحفاظ على المعرفة داخل المملكة.

6. تبني استراتيجية تأهيل جماعية تتضمن عقد ورش عمل ودورات توعية تستهدف الطبقة الإدارية والمتوسطة في قطاعات الإنشاء؛ للحد من مخاوف فقدان الوظائف وترسيخ ثقافة الابتكار.

المصادر والمراجع :

المراجع العربية :

1. الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي (2021). الإطار الاستراتيجي والخطط. الرياض. SDAIA :
2. الشركة البحر الأحمر للتطوير (2021). تقرير الاستدامة البيئية لمشروع البحر الأحمر. الرياض: الشركة البحر الأحمر للتطوير.
3. الغامدي، علي (2020). تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع: دراسة تحليلية على مشاريع سعودية. مجلة الإدارة والأعمال، جامعة الملك سعود، 12(3)، 45-60.
4. عبدالله، خالد، والشريف، أحمد (2021). دور الذكاء الاصطناعي في تعزيز إدارة المشاريع: دراسة تحليلية على مشاريع البنية التحتية. مجلة الإدارة العامة، 63(2)، 145-162.
5. وزارة الاقتصاد والتخطيط (2016). رؤية المملكة العربية السعودية 2030. الرياض: وزارة الاقتصاد والتخطيط.
6. وزارة الاستثمار (2021). مشروع نيوم: نبذة عامة. الرياض: وزارة الاستثمار.
7. وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات (2020). تقرير الاقتصاد الرقمي: المملكة العربية السعودية 2020. الرياض: وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات.
8. وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان (2022). المعايير الفنية للتنمية العمرانية. الرياض: وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان.
9. وزارة النقل والخدمات اللوجستية (2021). تقرير تقدم أعمال مشروع مترو الرياض. الرياض: وزارة النقل والخدمات اللوجستية.

- Chen, L., & Wu, H.** (2020). Big Data Analytics and AI in Infrastructure Projects: A Systematic Review. *Journal of Advanced Civil Engineering*, 56(3), 315-329. .10
- Kerzner, H.** (2020). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12th ed.). John Wiley & Sons. .11
- Marr, B.** (2018). *Artificial Intelligence in Practice*. Wiley. .12
- Project Management Institute (PMI).** (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition*. Newtown Square, PA: PMI. .13
- Zhang, J., Wu, M., & Li, J.** (2022). AI-based approach for cost management in infrastructure projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(4), 04022025. .14