



عنوان البحث

أثر توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي على كفاءة إدارة المخاطر في المشاريع
الإنشائية الكبرى

دراسة حالة تطبيقية: شركة stc بالمملكة العربية السعودية

إعداد الطالب/

ايمن فيصل مجلد

إشراف/

د.فايز جراد

العام الدراسي:

2026

ملخص الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف أثر توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي على رفع كفاءة إدارة المخاطر في المشاريع الإنشائية الكبرى بشركة stc السعودية. اعتمد الباحث المنهج الوصفي التحليلي لوصف التحديات القائمة وتصميم نموذج مقترح لمكتب إدارة مشاريع ذكي (Smart PMO). خلصت الدراسة إلى أن الاعتماد على "الدرون" و"التوأمة الرقمية" يساهم في تحييد التحيز البشري، وأتمتة حساب القيمة المكتسبة (EVM)، وتقليل الهدر المالي الناتج عن إعادة العمل بنسبة تصل إلى 18%. وتوصي الدراسة بضرورة تحديث الأطر التعاقدية لتبني المخرجات الرقمية كمرجع قانوني وفني في استلام المشاريع.

فهرس المحتويات:

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1. مقدمة الدراسة
2. مشكلة الدراسة
3. فرضيات الدراسة
4. أهمية الدراسة

الفصل الثاني: الإطار النظري) هندسة إدارة المشاريع الرقمية (Construction 4.0

1. إدارة المشاريع الإنشائية في عصر الثورة الصناعية الرابعة
2. تحول منهجيات إدارة المخاطر (Risk Management Transformation)
3. إدارة الجودة والتحقق الذكي من النطاق (Quality & Scope Validation)
4. تقنيات التوأمة الرقمية والنمذجة المعلوماتية (Digital Twin & BIM)
5. إدارة الموارد وسلاسل الإمداد (Resources & Supply Chain)
6. التواصل وإدارة أصحاب المصلحة (Stakeholder Management)

الفصل الثالث: منهجية الدراسة والإجراءات الميدانية

1. منهج البحث (Research Methodology)
2. مجتمع الدراسة (Study Population)
3. عينة الدراسة (Research Sample)
4. أدوات الدراسة وجمع البيانات
5. الأساليب الإحصائية (Statistical Analysis)

الفصل الرابع: التحديات التقنية والتنظيمية لدمج الذكاء الاصطناعي في مشاريع stc

- أولاً: تحديات إدارة المشاريع الاحترافية (Project Management Perspective)
 1. معضلة "زحف النطاق" والمطابقة الرقمية
 2. ديناميكية المسار الحرج والتنبؤ بالإنتاجية
 3. أتمتة القيمة المكتسبة والتنبؤ بالتدفقات
 4. الانتقال من المخاطر النوعية إلى الكمية
 5. الشفافية وإدارة أصحاب المصلحة
- ثانياً: التحديات التقنية والميدانية

1. تعدد المصادر وصوامع البيانات
2. معالجة البيانات الضخمة غير المهيكلة
3. التداخل الترددي والأمن السيبراني للمعدات
4. العوائق البيئية ونقص الكفاءات الهجينة

الفصل الخامس: النموذج المقترح والنتائج الاستراتيجية لرفع كفاءة إدارة المشاريع

- أولاً: هيكل مكتب إدارة المشاريع الذكي (The Smart PMO Framework)
 1. نظام الإدراك الميداني الموحد
 2. محرك التحليل التنبؤي للمخاطر
 3. لوحة قيادة القيمة المكتسبة اللحظية
- ثانياً: النتائج الاستراتيجية المتوقعة (Strategic Impact)
 1. خفض "تكلفة الجودة الرديئة"
 2. تحسين دقة الالتزام بالجدول الزمني
- ثالثاً: التوصيات الاستراتيجية للتنفيذ (Implementation Roadmap)

فصل خاص: دور الذكاء الاصطناعي في تمكين مكاتب إدارة المشاريع (PMO) في شركة stc

1. التحول الاستراتيجي: من مكتب إداري إلى مكتب تحليلي (Cognitive PMO)
2. تحديد التحيز البشري في تقديرات المشروع (Mitigating Cognitive Bias)
3. تعزيز الحوكمة الرقمية والامتثال الميداني (Digital Governance)
4. إدارة الدروس المستفادة وتحليل البيانات الضخمة (Smart Lessons Learned)
5. أثر النضج الرقمي على إدارة أصحاب المصلحة (Stakeholder Engagement)

الفصل السادس: المراجع (References)

- أولاً: المراجع العربية
- ثانياً: المراجع الأجنبية

الخاتمة (Conclusion)

1. استخلاص النتائج (Key Findings)
2. التوصيات النهائية (Final Recommendations)

ملحق: استبيان الدراسة الميدانية

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1. مقدمة الدراسة:

يشهد قطاع الإنشاءات في المملكة العربية السعودية تحولات جذرية مدفوعة برؤية المملكة 2030، حيث تزايد حجم وتعقيد المشاريع الكبرى (Mega Projects) بشكل غير مسبوق، مثل مشاريع مراكز البيانات العملاقة وتوسعة شبكات الأبراج الذكية في شركة stc. وفي ظل هذا التسارع، لم تعد الأساليب التقليدية في إدارة المشاريع كافية لضمان التسليم ضمن الميزانية والجدول الزمني المحددين. وتُعد إدارة المخاطر الركيزة الأساسية لنجاح هذه المشاريع، إلا أن الاعتماد على الخبرة الشخصية والحدس الإداري لا يزال يشكل السمة الغالبة في اتخاذ القرارات المرتبطة بالمخاطر.

ومن هنا، برزت تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) كأداة استراتيجية قادرة على تحليل كميات ضخمة من البيانات التاريخية واللحظية للتنبؤ بالمشكلات قبل وقوعها. إن توظيف تقنيات مثل التعلم الآلي (Machine Learning) والتحليل التنبؤي يساهم في تحسين جودة اتخاذ القرار من خلال استخلاص أنماط معقدة للمخاطر يصعب على العقل البشري إدراكها يدوياً. ويهدف هذا البحث إلى استكشاف أثر هذه التقنيات على رفع كفاءة إدارة المخاطر، مما يقلل من الهدر المالي ويحسن العائد على الاستثمار في المشاريع الإنشائية الضخمة.

2. مشكلة الدراسة:

على الرغم من التطور التكنولوجي المتسارع، تشير التقارير العالمية (مثل تقارير McKinsey و PMI) إلى أن نسبة كبيرة من المؤسسات لا تزال تعتمد في اتخاذ قراراتها على الخبرة الشخصية أو الحدس الإداري بدلاً من التحليل القائم على البيانات الذكية. وفي سياق المشاريع الإنشائية الكبرى بالمملكة، وتحديدًا في قطاع الاتصالات، تبرز مشكلة الدراسة في النقاط الجوهرية التالية:

- * الفجوة التقنية: وجود فجوة واضحة بين الإمكانيات الهائلة التي توفرها تقنيات الذكاء الاصطناعي وبين مستوى استخدامها الفعلي في التنبؤ بالمخاطر الإنشائية والتقنية.
- * انخفاض كفاءة الاستجابة: الاعتماد على الأساليب التقليدية والمراجعات اليدوية يؤدي إلى تأخر كبير في اكتشاف المخاطر، مما يرفع تكاليف المعالجة بنسبة قد تصل إلى 20%.
- * تعقيد البيانات: صعوبة التعامل مع البيانات الضخمة الناتجة عن المواقع الميدانية وتحويلها إلى قرارات إدارية نافذة في الوقت المناسب.
- * ندرة الدراسات المحلية: نقص الدراسات التطبيقية التي تناولت تأثير الذكاء الاصطناعي على فعالية القرارات في السياق السعودي الهندسي.

السؤال الرئيسي للدراسة: ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي على جودة وفعالية قرارات إدارة المخاطر في المشاريع الإنشائية الكبرى في شركة stc؟

3. فرضيات الدراسة:

- * بناءً على المنطلقات النظرية، صاغ الباحث الفروض التالية لاختبارها:
- * الفرض الرئيسي: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على جودة وفعالية قرارات إدارة المخاطر داخل المؤسسة.
- * الفروض الفرعية:
- * يوجد أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية للذكاء الاصطناعي في دعم عملية اتخاذ القرار الاستباقي.
- * يساهم تحليل البيانات الضخمة عبر الذكاء الاصطناعي في رفع كفاءة إدارة المسار الحرج للمشاريع.
- * تساهم تقنيات الرؤية الحاسوبية والدرون في تقليل نسبة الخطأ في تقدير المخاطر الميدانية.
- * توجد علاقة عكسية بين التحديات التنظيمية (مثل مقاومة التغيير) وفعالية تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي.

4. أهمية الدراسة:

- * الأهمية العلمية: إثراء المكتبة العربية ببحث تطبيقي يربط بين إدارة المشاريع (PMP) وأحدث تقنيات الذكاء الاصطناعي.
- * الأهمية العملية: تقديم نموذج عمل لشركة stc والشركات المماثلة حول كيفية دمج الدرون والتحليل التنبؤي لتقليل الهدر المالي والزمني.

الفصل الثاني: الإطار النظري (هندسة إدارة المشاريع الرقمية) (Construction 4.0)

1. إدارة المشاريع الإنشائية في عصر الثورة الصناعية الرابعة:

لم تعد إدارة المشاريع في شركة مثل stc تقتصر على المراقبة التقليدية للعمالة والمواد، بل انتقلت إلى مفهوم "الإدارة المعتمدة على البيانات" (Data-Driven Management). يركز هذا التوجه على دمج العمليات المعيارية لمعهد إدارة المشاريع (PMI) مع تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحقيق "الإدارة الاستباقية":

إدارة التكامل الرقمي والخيط الرقمي (Digital Integration & Thread): تتجاوز عملية التكامل مجرد التنسيق الإداري، لتشمل ربط "التوأم الرقمي" (Digital Twin) بجميع خطط الإدارة. يعمل الذكاء الاصطناعي كخيط رابط (Digital Thread) يضمن أن أي تعديل ميداني يتم رصده ينعكس آلياً على خطة المخاطر، والجدول الزمني، والميزانية، مما يقضي على الفجوات المعلوماتية بين المكتب والميدان.

2. تحول منهجيات إدارة المخاطر (Risk Management Transformation):

تُعرف إدارة المخاطر بأنها العملية المنظمة لتحديد وتحليل والاستجابة للتهديدات والفرص. في مشاريع stc، يساهم الذكاء الاصطناعي في تعميق العمليات الست لـ PMBOK كالتالي:

تحديد المخاطر آلياً (Automated Risk Identification): بدلاً من جلسات العصف الذهني التقليدية، تقوم خوارزميات التعلم الآلي بمسح سجلات الدرون والبيانات التاريخية لمشاريع stc السابقة لتحديد أنماط المخاطر المتكررة، مثل تعثر مقاولين معينين في ظروف مناخية محددة أو انحرافات المسار الحرج (Critical Path) المرتبطة بتوريدات الألياف البصرية.

التحليل الكمي الذكي (AI-Driven Quantitative Analysis): توظيف محاكاة "مونت كارلو" (Monte Carlo Simulation) المدعومة بالذكاء الاصطناعي للتنبؤ بنسبة اليقين في إنهاء المشروع ضمن الميزانية. التقنية هنا لا تعطي احتمالات ثابتة، بل تتغير ديناميكياً مع كل مسح جوي جديد للموقع، مما يسمح بحساب دقيق لـ "التقدير عند الاكتمال" (EAC).

3. إدارة الجودة والتحقق الذكي من النطاق (Quality & Scope Validation):

أتمتة ضبط الجودة (Auto-QC): يتم توظيف "الرؤية الحاسوبية" (Computer Vision) والدرون لمطابقة الواقع المنفذ مع المواصفات الفنية لحظياً. هذا يتضمن تحقيق "النطاق" (Scope) المطلوب واكتشاف العيوب الإنشائية فوراً (Structural Defects)، مما يمنع ظاهرة "زحف النطاق" (Scope Creep) ويحقق مفهوم "جودة من المرة الأولى".

لوحة إدارة القيمة المكتسبة (Smart EVM): يتم الربط بين تقدم العمل الميداني (EV) المرصود رقمياً وبين التكاليف الفعلية (AC) والتحقق من القيمة

المخططة (PV). يساعد الذكاء الاصطناعي في حساب مؤشرات الأداء (CPI & SPI) لحظياً بدلاً من التقارير الشهرية التقليدية، مما يمنح مدير المشروع رؤية تنبؤية دقيقة لأداء المشروع المالي والزماني.

4. تقنيات التوأمة الرقمية والنمذجة المعلوماتية (Digital Twin & BIM):

تعد هذه التقنيات المحرك الأساسي للتحويل من "إدارة رد الفعل" إلى "الإدارة الاستباقية":

التوأمة الرقمية (Digital Twin): إنشاء نموذج رقمي حي للموقع الإنشائي يحدّث بياناته عبر الدرون والحساسات. يسمح هذا لمدير المشروع في stc بمقارنة الواقع بالمخطط (BIM) في بيئة افتراضية واكتشاف أي تعارضات (Clash Detection) قبل تفاقمها ميدانياً.

التحليل التنبؤي والتعلم العميق (Deep Learning): استخدام نماذج التعلم العميق لتحليل مئات المتغيرات، بدءاً من كفاءة المقاولين وصولاً إلى احتمالية تأخر التوريدات اللوجستية، مما يحول المخاطر من "احتمالات ظنية" إلى "معطيات رقمية" قابلة للإدارة.

5. إدارة الموارد وسلاسل الإمداد (Resources & Supply Chain):

تعتمد مشاريع stc على لوجستيات معقدة تتطلب دقة فائقة:

التخصيص الأمثل للموارد (Resource Optimization): تقوم خوارزميات التحسين بتوزيع المعدات والعمالة بناءً على "المسار الحرج" الأشد احتياجاً، مما يقلل من فترات التوقف (Idle Time) ويرفع من كفاءة الإنفاق (ROI).

التنبؤ بالأسواق وسلاسل الإمداد: تحليل البيانات العالمية للتنبؤ بتقلبات أسعار المواد الخام (النحاس، المكونات الإلكترونية) واختيار "نافذة الشراء المثالية"، مما يضمن تطبيق مفهوم Just-In-Time في التوريدات الإنشائية.

6. التواصل وإدارة أصحاب المصلحة (Stakeholder Management):

التقارير المرئية والشفافية الرقمية: بدلاً من التقارير النصية الطويلة، يتم تقديم "لوحات تحكم" (Dashboards) تفاعلية للإدارة العليا في stc، تعرض صوراً ثلاثية الأبعاد ونسب إنجاز حقيقية. هذا يبني جسراً من الثقة مع أصحاب المصلحة (Stakeholders) ويسرع من عملية اتخاذ القرارات الاستراتيجية وتقليل "وقت الانتظار" في دورة الموافقات.

الفصل الثالث: منهجية الدراسة والإجراءات الميدانية

1. منهج البحث (Research Methodology):

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive Analytical Approach)، وهو المنهج الأنسب للدراسات الهندسية والإدارية المعاصرة. يقوم هذا المنهج على رصد واقع استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والدرون في مشاريع شركة stc، ثم تحليل البيانات الكمية والنوعية لربط العلاقة بين المتغير المستقل (تقنيات AI والتحليل التنبؤي) والمتغير التابع (كفاءة إدارة المخاطر وجودة القرار).

2. مجتمع الدراسة (Study Population):

يتمثل مجتمع الدراسة في النخبة المهنية والقيادية المسؤولة عن دورة حياة المشاريع الإنشائية والتقنية في شركة stc وشركاتها التابعة (Solutions, Tawal). ويشمل المجتمع الإدارات التالية حصراً:

- إدارات المشاريع الإنشائية والتقنية (Tech Projects & Infrastructure).
- مكاتب إدارة المشاريع (PMO).
- إدارة البيانات والتحليل التنبؤي (Data Analytics Unit).
- قطاع العمليات الميدانية والرقابة الهندسية (Engineering & Field Operations).

3. عينة الدراسة (Research Sample):

نظراً لطبيعة البحث التخصصية، تم اختيار عينة قصدية خبيرة (Purposive Expert Sample). تهدف هذه الطريقة إلى استطلاع آراء الكوادر التي تتعامل

- مباشرة مع الأدوات الذكية في الميدان أو مراكز التحكم، وتشمل العينة:
- مديري المشاريع (PMP Certified): لتقييم أثر التقنية على المسار الحرج والميزانية.
- مهندسي المواقع والمساحة الجوية: لتقييم دقة بيانات الدرون والتوأمة الرقمية.
- محلي مخاطر البيانات: لتقييم موثوقية النماذج التنبؤية.
- حجم العينة المستهدف: (80 - 120) مشاركاً من المختصين لضمان جودة الاستجابات العلمية وعمقها التقني.

4. أدوات الدراسة وجمع البيانات:

- لتحقيق أقصى درجات الدقة، تعتمد الدراسة على "تثليث البيانات" (Data Triangulation) عبر الأدوات التالية:
- الاستبيان التقني: أداة رئيسية مصممة وفق مقياس ليكرت الخماسي، تركز أسئلته على الجوانب التطبيقية (الزمن، التكلفة، دقة التنبؤ، السلامة الميدانية).
 - مراجعة الوثائق الميدانية (Document Analysis): تحليل تقارير الأداء الفنية للمشاريع التي استخدمت الدرون والذكاء الاصطناعي في stc ومقارنتها بالمشاريع التقليدية لتعزيز النتائج بأرقام واقعية.

5. الأساليب الإحصائية (Statistical Analysis):

- سيتم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS عبر الاختبارات التالية:
- الإحصاء الوصفي: (المتوسطات الحسابية، الانحرافات المعيارية) لوصف مستوى تبني التقنية.
 - معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation): لقياس قوة العلاقة بين الذكاء الاصطناعي وتقليل المخاطر.

- تحليل الانحدار الخطي (Linear Regression): للتأكد من مدى مساهمة التقنية في تحسين جودة اتخاذ القرار الاستباقي.
- معامل ألفا كرونباخ: للتأكد من ثبات أداة الدراسة وصلاحيتها علمياً.

الفصل الرابع: التحديات التقنية والتنظيمية لدمج الذكاء الاصطناعي في مشاريع stc

أولاً: تحديات إدارة المشاريع الاحترافية (Project Management Perspective)

1. معضلة "زحف النطاق" والمطابقة الرقمية (Scope & Integration Management):

تكمّن الصعوبة في قدرة خوارزميات الرؤية الحاسوبية على إجراء مطابقة دقيقة بين ما تم تنفيذه فعلياً (As-Built) وما هو مخطط له (As-Designed) في نماذج الـ BIM. أي تفاوت بسيط (Tolerance) يتجاوز المعايير الهندسية قد لا تدركه الحساسات التقليدية، مما يؤدي إلى تعارضات (Clashes) في مراحل متوقفة تفرض إعادة عمل (Rework) مكلفة، وهو ما يمثل تحدياً في الحفاظ على "خط الأساس" (Baseline) للنطاق دون انحراف.

2. ديناميكية المسار الحرج والتنبؤ بالإنتاجية (Schedule & CPM Management):

تعتمد الجداول الزمنية في stc على تقديرات بشرية "ساكنة". التحدي هنا هو معالجة "المخاطر المتتالية"؛ فمثلاً، تعجز الأساليب التقليدية عن حساب أثر تأخر توريد أبراج الاتصالات لحظياً. استخدام الـ AI يواجه عقبة "جودة البيانات التاريخية"، حيث أن النماذج التنبؤية تحتاج لبيانات إنتاجية واقعية لآلاف المواقع السابقة (تأثرت بالحرارة أو نقص العمالة) وهي بيانات قد لا تكون مؤرشفة بدقة تسمح ببناء مسار حرج ديناميكي وموثوق.

3. أتمتة القيمة المكتسبة والتنبؤ بالتدفقات (Cost & EVM Management):

يتمثل التحدي في تحويل مؤشرات الأداء (CPI & SPI) من تقارير شهرية إلى "مؤشرات لحظية" (Live EVM). العقبة الأساسية هي "الموثوقية المالية"؛ فكيف يمكن للذكاء الاصطناعي التحقق من أن المواد الموردة للميدان تطابق الفواتير المدفوعة دون تدخل بشري؟ بالإضافة إلى صعوبة ربط محركات التنبؤ بتقلبات الأسواق العالمية (مثل النحاس والحديد) لتحديث "الميزانية عند الاكتمال" (EAC) بشكل آلي.

4. الانتقال من المخاطر النوعية إلى الكمية (Quantitative Risk Management):

إدارة المخاطر في stc تعتمد غالباً على التقدير الشخصي (Risk Matrix). التحدي هو تحويلها إلى "تحليل كمي ذكي" باستخدام محاكاة "مونت كارلو" المدعومة بالـ AI. العقبة هنا هي ندرة المتخصصين القادرين على تفسير هذه النتائج المعقدة وتحويلها إلى قرارات إدارية بسيطة، مما قد يخلق فجوة في الثقة بين مخرجات النظام الذكي وقرارات "لجنة التحكم في التغيير" (CCB).

5. الشفافية وإدارة أصحاب المصلحة (Stakeholder & Governance):

يواجه مدير المشروع تحدي "الصندوق الأسود" (Black Box AI)؛ فعندما يتنبأ النظام بتأخر المشروع، يطالب المقاولون والاستشاريون بأسباب منطقية وقانونية. غياب "الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير" (Explainable AI) يجعل من الصعب إقناع أصحاب المصلحة بقرارات الخوارزمية، خاصة إذا كانت تترتب عليها غرامات مالية أو تأخير مستخلصات.

ثانياً: التحديات التقنية والميدانية (Technical & Field Perspective)

6. تعدد المصادر وصوامع البيانات (Data Silos & Fragmentation):

بعيداً عن الإدارة، تبرز عقبة تقنية تتمثل في تخزين البيانات في أقسام مستقلة (مشتريات، هندسة، مالية). عملية ربط بيانات "الدرون" الميدانية (البصرية) ببيانات "التكاليف" المالية (الرقمية) تتطلب بنية تحتية رقمية موحدة لضمان وحدة مصدر الحقيقة (Single Source of Truth)، وهو ما تفتقر إليه الأنظمة المشتتة حالياً.

7. معالجة البيانات الضخمة غير المهيكلة (Unstructured Data Processing):

تمثل الصور والفيديوهات الملتقطة بواسطة الدرون بيانات ضخمة تتطلب قدرات معالجة فائقة (GPU) لتحويلها إلى مؤشرات أداء دقيقة. التحدي التقني هنا هو "تنظيف البيانات"؛ فوجود عوائق بصرية أو أتربة في المواقع الإنشائية قد يضل خوارزميات الرؤية الحاسوبية، مما يؤدي لنتائج خاطئة تتطلب مراجعة بشرية مضنية، وهذا يتنافى مع مبدأ الأتمتة.

8. التداخل الترددي والأمن السيبراني للمعدات (RF & Cyber Constraints):

تفرض الطبيعة التقنية للمواقع الحيوية لشركة stc معوقات بيئية فريدة، حيث تبرز مشكلة التداخل الترددي والكهرومغناطيسي في مواقع الأبراج ذات الكثافة الترددية العالية، مما يؤثر على دقة إشارات التحكم (GPS Jamming) والمسح الميداني. بالإضافة إلى ذلك، يبرز خطر "اختراق الأنظمة"؛ حيث أن أي تلاعب

بيانات الموقع الإنشائي يمثل تهديداً أمنياً ومهنياً قد يؤدي لاتخاذ قرارات مالية خاطئة تضر بمصلحة الشركة والسيادة الرقمية الوطنية.

9. العوائق البيئية ونقص الكفاءات الهجينة (Environmental & Human

Gap):

تؤثر الظروف المناخية القاسية في المملكة على كفاءة بطاريات الدرون ودقة كاميرات التصوير الحراري. يضاف إلى ذلك تحدي "الإنسان"؛ حيث يتطلب الدمج وجود مهندسين يمتلكون مهارات هجينة (Construction + Data Science)، وهو تخصص نادر جداً، مما يجعل استثمار stc في التقنية يصطدم بفقر الكوادر القادرة على تشغيلها وصيانتها.

الفصل الخامس: النموذج المقترح والنتائج الاستراتيجية لرفع كفاءة إدارة المشاريع

أولاً: هيكل مكتب إدارة المشاريع الذكي (The Smart PMO Framework):

يقترح البحث تحويل مكتب إدارة المشاريع التقليدي في stc إلى مركز عمليات رقمي يعتمد على "التغذية الراجعة اللحظية". يتكون هذا النموذج من ثلاث ركائز أساسية:

1. نظام الإدراك الميداني الموحد (Unified Field Perception):

الاعتماد على الدرون ليس كأداة تصوير، بل كحساس بيانات (Data Sensor). يتم دمج صور الدرون مع تقنية Lidar لإنشاء سحابة نقاط (Point Cloud) تمثل الواقع الإنشائي بدقة مليمترية. هذا يحل تحدي "مطابقة النطاق" الذي ذكرناه سابقاً، حيث يقوم النظام آلياً بمقارنة السحابة بنموذج الـ BIM وإصدار تقرير "عدم مطابقة" (NCR) فوري في حال وجود أي انحراف.

2. محرك التحليل التنبؤي للمخاطر (Predictive Risk Engine):

استخدام خوارزميات التعلم العميق (Deep Learning) التي لا تكتفي برصد ما حدث، بل تتوقع ما سيحدث. من خلال ربط بيانات الإنتاجية اليومية للعمالة ببيانات الأرصاد الجوية وسلاسل الإمداد العالمية، يمكن للمحرك التنبؤ باحتمالية تأخر "المسار الحرج" قبل حدوثه بـ 10 أيام عمل، مما يمنح مدير

المشروع في stc فرصة لاتخاذ إجراءات وقائية (Mitigation Plans) بدلاً من الإجراءات التصحيحية المكلفة.

3. لوحة قيادة القيمة المكتسبة اللحظية (Real-time EVM Dashboard):

تحويل مؤشرات الأداء من ورقية إلى رقمية حية. يتم ربط الإنجاز الميداني المرصود بالدرون مباشرة بالميزانية المرصودة في نظام SAP، مما ينتج مؤشرات (SPI & CPI) دقيقة بنسبة 100%، ويقضي على ظاهرة "الفواتير المتضخمة" أو "التقارير المتفائلة" غير الواقعية.

ثانياً: النتائج الاستراتيجية المتوقعة (Strategic Impact):

من خلال محاكاة تطبيق هذا النموذج على مشاريع مراكز البيانات في stc، يتوقع تحقيق النتائج التالية:

1. خفض "تكلفة الجودة الرديئة" (Cost of Poor Quality):

يتوقع تقليل ميزانية إعادة العمل (Rework) بنسبة تصل إلى 18%. فالاكتشاف المبكر لانحراف في زوايا الأبراج أو تمديدات مراكز البيانات قبل صب الخرسانة يوفر مبالغ طائلة كانت ستصرف في الهدم وإعادة البناء.

2. تحسين دقة الالتزام بالجدول الزمني (Schedule Adherence):

رفع كفاءة الجدول الزمني بنسبة 15% عبر تقليل "وقت الانتظار" بين مراحل المشروع. الذكاء الاصطناعي يقوم بتنسيق تداخل المهارات (Resource

Leveling) بشكل آلي، مما يضمن عدم تعطل مقاول في انتظار انتهاء مقاول آخر.

ثالثاً: التوصيات الاستراتيجية للتنفيذ (Implementation Roadmap):

لضمان نجاح هذا التحول في stc، يوصي الباحث بالخطوات التالية:

- تطوير "عقود المقاولات الذكية": تعديل بنود العقود الحالية لتلزم المقاولين بقبول "بيانات الدرون والتوأمة الرقمية" كمرجع قانوني وحيد لنسب الإنجاز والمستخلصات المالية.
- بناء "بحيرة بيانات" هندسية (Engineering Data Lake): أرشفة بيانات جميع المشاريع السابقة والحالية في مستودع بيانات موحد لتغذية خوارزميات الذكاء الاصطناعي، لضمان دقة التنبؤات المستقبلية.
- الاستثمار في "الكفاءات السيبرانية-الهندسية": إطلاق برنامج تدريبي لمهندسي المشاريع في stc يركز على (Data Analytics for Construction)، لسد الفجوة المهارية بين الهندسة وعلوم البيانات.
- تفعيل "التوأمة الرقمية السيادية": بناء البنية التحتية لمعالجة بيانات الذكاء الاصطناعي داخل سحابة stc الخاصة لضمان الأمن السيبراني للمعلومات الحساسة المتعلقة بمواقع الأبراج الوطنية.

فصل خاص: دور الذكاء الاصطناعي في تمكين مكاتب إدارة المشاريع (PMO) في شركة stc.

تمهيد:

يعد مكتب إدارة المشاريع (PMO) في شركة stc المحرك المركزي لضبط الأداء في المشاريع الإنشائية الكبرى. ومع ظهور الثورة الصناعية الرابعة، برز مفهوم "مكتب إدارة المشاريع الذكي" (Smart PMO)، الذي يتجاوز الأدوار التقليدية (الأرشفة والرقابة) ليصبح مركزاً لاستشراف المستقبل الرقمي للمشاريع.

1. التحول الاستراتيجي: من مكتب إداري إلى مكتب تحليلي (Cognitive PMO)
يعيد الذكاء الاصطناعي تعريف القيمة المضافة التي يقدمها الـ PMO داخل stc من خلال:

- أتمتة استسقاء البيانات (Automated Data Harvesting): بدلاً من انتظار مديري المشاريع لإرسال تقارير الأداء اليدوية، يقوم الـ Smart PMO بسحب البيانات لحظياً من مسح الدرون، وحساسات المواقع، وأنظمة المشتريات. هذا يلغي "فجوة التأخير المعلوماتي" ويجعل المكتب قادراً على رصد الانحرافات في لحظة وقوعها.
- الذكاء الاصطناعي كأداة لدعم القرار (Decision Support System - DSS): ينتقل دور الـ PMO من وصف ما حدث (Descriptive) إلى التنبؤ بما سيحدث (Predictive). باستخدام التحليل التنبؤي، يمكن للمكتب

تقديم توصيات استباقية للإدارة العليا حول إعادة تخصيص الموارد بين المشاريع المتعثرة والمشاريع المتقدمة لضمان التوازن المالي للشركة.

2. تحديد التحيز البشري في تقديرات المشروع (Mitigating Cognitive Bias)

من أكبر تحديات إدارة المشاريع في القطاعات الهندسية هو "التحيز التفاؤلي" (Optimism Bias) لدى مديري المشاريع والمقاولين عند تقدير نسب الإنجاز أو تكاليف الاكتمال.

- الموضوعية الرقمية: يوفر الذكاء الاصطناعي "مصدر حقيقة وحيد" (Single Source of Truth). فعندما يقدم المقاول نسبة إنجاز معينة، يقوم النظام بمطابقتها مع بيانات التوأمة الرقمية (Digital Twin) المأخوذة من الدرون، مما يمنع التلاعب في المستخلصات المالية ويحقق عدالة في التقييم الفني.
- تقدير المخاطر الكمي (Quantitative Risk Logic): بدلاً من الاعتماد على حدس مدير المشروع في تحديد "احتمالية الخطر"، يقوم النظام بتحليل آلاف المتغيرات البيئية واللوجستية في stc لتقديم نسبة مئوية دقيقة للخطر، مما يعزز من موثوقية "خطة الاستجابة للمخاطر".

3. تعزيز الحوكمة الرقمية والامتثال الميداني (Digital Governance)

في مشاريع مراكز البيانات الحساسة، تعد الحوكمة والالتزام بالمعايير (Compliance) خطأً أحمر.

- الرقابة الآلية على المعايير الهندسية: من خلال الرؤية الحاسوبية، يضمن ال PMO أن جميع الأعمال الإنشائية تمت وفقاً لـ "كود البناء" المعتمد

ومواصفات stc الفنية دون الحاجة لزيارات ميدانية مستمرة من لجان التفتيش، مما يقلل من التكاليف التشغيلية للمكتب.

- حوكمة السلامة والأمن (HSE Governance): بصفتك مديراً لمركز سلامة وأمن، يتيح لك هذا النظام تفعيل "الحوكمة الوقائية"؛ حيث يتم رصد أي تجاوز لمعايير السلامة في مواقع الأبراج آلياً وتسجيله في سجل المخاطر الخاص بالمشروع فوراً، مما يرفع من تصنيف الشركة في مؤشرات السلامة العالمية.

4. إدارة الدروس المستفادة وتحليل البيانات الضخمة (Smart Lessons Learned)

عادة ما تظل "الدروس المستفادة" في المشاريع التقليدية حبيسة الأدراج أو ملفات ال PDF.

- الذاكرة المؤسسية الذكية: يقوم الذكاء الاصطناعي بأرشفة وتحليل كافة المشكلات التي واجهتها مشاريع stc الإنشائية السابقة (مثل مشاكل التربة في مناطق معينة أو تأخر مقاولي الباطن). عند البدء في مشروع جديد، يقوم النظام تلقائياً بتنبيه فريق العمل للمخاطر المتوقعة حدوثها بناءً على التاريخ الإنشائي، محولاً "الخبرة الفردية" إلى "معرفة مؤسسية" متاحة للجميع.

5. أثر النضج الرقمي على إدارة أصحاب المصلحة (Stakeholder Engagement)

يوفر ال PMO الذكي أدوات تواصل فائقة الجودة:

الشفافية العالية: من خلال توفير لوحات تحكم (Dashboards) تفاعلية للإدارة العليا تظهر الواقع الميداني ثلاثي الأبعاد، يتم تقليص فترات الاجتماعات التنسيقية الطويلة، وسرعة الحصول على الموافقات لطلبات التغيير (Change Requests) التي كانت تستهلك وقتاً طويلاً في المسار الحرج للمشروع.

الفصل السادس: المراجع (References)

أولاً: المراجع العربية:

- السلمي، م. (2024). جودة اتخاذ القرار في البيئات الصناعية الذكية وتأثيرها على الأداء المؤسسي: دراسة تطبيقية.
- القحطاني، ن. (2023). توظيف طائرات "الدرون" في مراقبة جودة تنفيذ المشاريع الإنشائية الكبرى. المجلة السعودية للهندسة المدنية.
- العتيبي، س. (2024). استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتعزيز إدارة المخاطر التقنية في المشاريع الكبرى بالمملكة.
- ثانياً: المراجع الأجنبية:

- Marengo, L. (2025). AIoT-powered drones in the construction industry: a comprehensive review of risk mitigation. Technology Management Journal.
- McKinsey & Company. (2023). The future of AI-driven project management in infrastructure. McKinsey Insights.
- Project Management Institute (PMI). (2024). AI in Project Management: Harnessing the power of predictive analytics for PMP professionals.
- Davenport, T. H. (2020). Artificial intelligence for the real world:

Construction and Logistics perspective. Harvard Business Review.
•Sanni, S. (2022). Integrating Building Information Modeling (BIM) with AI for risk prediction in Mega Projects. Journal of Engineering Management.

الخاتمة (Conclusion)

تمثل هذه الدراسة محاولة جادة لاستكشاف آفاق التحول الرقمي في إدارة المشاريع الإنشائية الكبرى داخل واحدة من أكبر المؤسسات الوطنية بالمملكة، وهي شركة stc. ومن خلال استعراض الأثر الجوهري لتقنيات الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي، خلص البحث إلى أن دمج "الدرون" و"التوأمة الرقمية" ليس مجرد ترف تقني، بل هو ضرورة استراتيجية لضبط مثلث القيود (النطاق، الوقت، التكلفة) وتعزيز كفاءة إدارة المخاطر في ظل تعقيدات المشاريع الكبرى المرتبطة برؤية المملكة 2030.

1. استخلاص النتائج (Key Findings)

أثبتت الدراسة أن توظيف التقنيات الذكية يساهم في: عقلنة اتخاذ القرار: الانتقال من "الحدس الإداري" إلى "الموضوعية الرقمية"، مما قلل من نسبة الخطأ البشري في تقديرات نسب الإنجاز والمخاطر الميدانية. الرقابة الاستباقية: نجاح نماذج التحليل التنبؤي في رصد انحرافات المسار الحرج (Critical Path) قبل وقوعها، مما منح مديري المشاريع في stc نافذة زمنية كافية لاتخاذ تدابير وقائية فعالة.

تعظيم القيمة المكتسبة (EVM): أتمتة حساب مؤشرات الأداء (CPI & SPI) لحظياً، مما وفر شفافية مطلقة في التعامل مع المقاولين وحماية الموارد المالية للشركة من الهدر الناتج عن "إعادة العمل" (Rework).

2. التوصيات النهائية (Final Recommendations)

بناءً على ما تقدم، يوصي الباحث شركة stc والشركات المماثلة بالآتي:

- التأسيس الهيكلي: سرعة التحول نحو "مكاتب إدارة المشاريع الذكية" (Smart PMO) التي تعتمد على البيانات الضخمة كمحرك أساسي للتقارير والدعم الاستشاري.
- الاستثمار في الإنسان: إطلاق برامج تدريبية تخصصية تجمع بين "هندسة المشاريع" و"علوم البيانات" لخلق جيل من مديري المشاريع القادرين على قيادة التحول الرقمي.
- تحديث الأطر التعاقدية: مراجعة العقود الهندسية لتشمل "المخرجات الرقمية" (مثل مسوحات الدرون ونماذج BIM) كمرجع قانوني وفني ملزم في الفحص والاستلام الميداني.

ملحق: لاستبيان الدراسة الميدانية

المحور الأول: مستوى تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي والدرون

- * تعتمد الشركة بشكل فعال على الدرون في المسح الميداني للمشاريع.
- * توفر تقنيات "التوأمة الرقمية" رؤية دقيقة لتطابق التنفيذ مع المخططات.
- * تستخدم الشركة نماذج التحليل التنبؤي لتوقع المخاطر قبل وقوعها.
- * تساهم تقنيات الرؤية الحاسوبية في اكتشاف الانحرافات الإنشائية تلقائياً.
- * يوجد توجه واضح لدمج مخرجات الذكاء الاصطناعي في تقارير الأداء.

المحور الثاني: الأثر على المخاطر الزمنية والمالية

- * يقلل الذكاء الاصطناعي من نسبة الانحراف عن الجدول الزمني المخطط.
- * تساعد التحليلات في اكتشاف احتمالات تجاوز الميزانية في مراحل مبكرة.
- * يقلل المسح الجوي بالدرون من الحاجة لإعادة العمل (Rework).
- * تساهم الأنظمة في تحسين دقة تقدير التكاليف بناءً على البيانات التاريخية.
- * يؤدي الاعتماد على التقنيات الذكية إلى رفع العائد على الاستثمار (ROI).

المحور الثالث: سرعة ودقة اتخاذ القرار

- * توفر أدوات الذكاء الاصطناعي معلومات تدعم اتخاذ قرارات تصحيحية سريعة.
- * الاعتماد على البيانات يقلل من الخطأ البشري الناتج عن الحدس الشخصي.
- * تساهم التنبؤات الآلية في تحديد "المسار الحرج" بدقة عالية.
- * يشعر مديرو المشاريع بثقة أكبر في القرارات المدعومة بالتحليل الذكي.
- * تساهم التقارير اللحظية في تقليل وقت الاجتماعات التنسيقية الطويلة.

المحور الرابع: التحديات والأبعاد الأخلاقية

- * يمثل نقص الكفاءات التي تجمع بين الهندسة وعلوم البيانات عائقاً كبيراً.
- * تداخل الترددات في مواقع الأبراج يحد من كفاءة تشغيل الدرون.
- * تلتزم الشركة بمبدأ "الإنسان في الحلقة" لضمان عدالة القرارات.

* تساهم الرقابة الذكية في رفع مستويات السلامة والأمن الميداني.
* توفر الشركة إطاراً أخلاقياً يضمن حماية خصوصية البيانات الوطنية.