



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

الإهداء (Dedication)

أهدي هذا العمل إلى مَنْ كان دعاؤها سُلّمي نحو القمة، ومصدر قوتي وإلهامي.. إلى والدتي العزيزة (حفظها الله)، التي زرعت فيّ طموح "المهندس" قبل أن أصبح عليه، أهدي هذا العمل ثمرةً لرضاكِ.
إلى رفيقة الدرب، وشريكة الصبر والكفاح.. إلى زوجتي الغالية، التي تحمّلت غيابي وانشغالي بين أروقة البحث ومهام العمل، فكانت هي السكن والسند والدافع الأكبر للاستمرار.
إلى قُرّة عيني، ومن أجلهما أطمح لبناء مستقبلٍ أفضل.. إلى توأمي العزيزين (غيث وليث)، أنتما الأمل الذي يمنحني الطاقة للإبداع والتميز.

شكر وتقدير (Acknowledgments)

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والصلاة والسلام على خير الأنام محمد بن عبد الله.
أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى جامعتي الموقرة وإلى كافة الأساتذة الأفاضل الذين نهلتُ من علمهم، وخاصة المشرفين على هذه الرسالة لما قدموه من توجيه ونصح كان له أبلغ الأثر في رصانة هذا البحث.

كما أخص بالشكر والتقدير شركة stc، بيئة العمل الملهمة، وكافة الزملاء في قطاعات المشاريع والتكنولوجيا الذين شاركوا في الدراسة الميدانية، فقد كانت استجاباتهم وخبراتهم هي الوقود الحقيقي لهذا النموذج المقترح. شكراً لكل من ساندني بكلمة، أو نصيحة، أو دعاء بظهر الغيب، ليرى هذا البحث النور ويساهم - ولو بجزء بسيط - في نهضة مملكتنا الغالية وتحقيق رؤيتها الطموحة 2030.

الملخص التنفيذي للدراسة

الملخص التنفيذي (Executive Summary)

يقدم هذا البحث إطاراً ريادياً لرفع كفاءة إدارة المشاريع الهندسية داخل شركة stc، من خلال دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) والطائرات بدون طيار (الدرون). ومن خلال دراسة ميدانية مكثفة شملت 185 مهندساً وخبيراً، حدد البحث حاجة ماسة للتحويل من الرقابة البشرية التقليدية إلى أنظمة "الفحص الذاتي المستقل".

يعتمد "نموذج مكتب إدارة المشاريع الذكي" (Smart PMO Framework) المقترح على تقنيات الرؤية الحاسوبية المدعومة بالذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمية، بهدف خفض نسبة إعادة العمل (Rework) بمقدار 28%، وضمان وجود "مصدر واحد للحقيقة" للمستخلصات المالية عبر الربط المباشر مع نظام SAP.

تختتم الدراسة بمجموعة من التوصيات الاستراتيجية التي تركز على السيادة الرقمية للبيانات، وتشغيل الدرون في بيئات معقدة الترددات (RF-resilient)، وتعزيز ثقافة هندسية قائمة على البيانات بما يتماشى مع مستهدفات رؤية المملكة 2030.

The Executive Summary (English Version)

This research introduces a pioneering framework to enhance the efficiency of Engineering Project Management within stc by integrating Artificial Intelligence (AI) and UAV (Drone) technologies. Through an extensive field study involving 185 engineers, the research identified a critical need for a transition from manual oversight to "Autonomous Inspection." The proposed "Smart PMO Framework" utilizes AI-driven Computer Vision and Digital Twins to minimize Rework by 28% and ensure a "Single Source of Truth" for financial

settlements via SAP integration. The study concludes with strategic recommendations focusing on Data Sovereignty, RF-resilient drone operations, and the cultivation of a data-driven engineering culture to align with Saudi Vision 2030.

1. مقدمة وإشكالية البحث (الفصول 1-3):

انطلقت هذه الدراسة من تحدي "الفجوة الرقمية" في الرقابة الميدانية على مشاريع البنية التحتية الضخمة لشركة stc. حيث رصد الباحث قصور المنهجيات التقليدية في مواكبة سرعة الإنجاز المطلوبة لمستهدفات رؤية 2030. هدف البحث إلى تصميم نموذج ذكي يدمج بين معايير إدارة المشاريع العالمية (PMP) وتقنيات الثورة الصناعية الرابعة (AI, LiDAR, Drones) لرفع كفاءة الأداء وتقليل المخاطر.

2. المنهجية والدراسة الميدانية (الفصول 4-6):

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم تصميم أداة قياس (استبيان) هندسية متطورة وُزعت على عينة من (185) خبيراً ومهندساً في stc. كشفت النتائج الميدانية عن "جاهزية ثقافية" عالية لتبني التكنولوجيا، مع وجود تحديات تقنية حقيقية تتعلق بـ "تداخل الترددات" ونقص الكفاءات الهجينة التي تجمع بين الهندسة وعلوم البيانات.

3. التحليل الإحصائي والتشريح الميداني (الفصول 7-8):

بتحليل الاستجابات، أثبتت الدراسة أن 90% من المهندسين يرون في "الرؤية الحاسوبية" الحل الأمثل لضبط الجودة، وأن هناك "يقيناً رقمياً" بأن التقنيات الذكية ستقلل الهدر المالي الناتج عن "إعادة العمل (Rework)" بنسبة تفوق 25%. كما كشف التشريح التحليلي عن حاجة stc للانتقال من "الذكاء الوصفي" إلى "الذكاء التنبؤي" للمسار الحرج للمشاريع.

4. النموذج المقترح (The Smart PMO) الفصل 9):

قدم الباحث نموذجاً ابتكارياً يتكون من ثلاث طبقات:

- طبقة الإدراك: عبر درونات مستقلة محمية من التداخل الترددي.
- طبقة المعالجة: محرك اليقين" الذي يطابق الواقع (Point Cloud) مع التصميم (BIM) لحظياً.
- طبقة الحوكمة: ربط المخرجات بنظام SAP لضمان "السيادة الرقمية" وشفافية المستخلصات المالية.

5. الاستنتاجات والتوصيات الاستراتيجية (الفصل 10):

خلصت الرسالة إلى أن التحول الرقمي في إدارة مشاريع stc ليس ترفاً تقنياً، بل هو "ضرورة سيادية". وتوصي الدراسة بـ:

1. تأسيس مكتب إدارة مشاريع ذكي (Smart PMO) يعتمد "الإدارة بالاستثناء".
2. توطين البيانات الجوية الهندسية داخل سحابة stc الوطنية لحماية الأصول.
3. تحديث النماذج التعاقدية لتصبح "التوأمة الرقمية" هي المرجع القانوني للإنجاز.

فهرس المحتويات:

الإهداء (Dedication)	
شكر وتقدير (Acknowledgments)	
الملخص التنفيذي (Executive Summary)	
الفصل الأول: الإطار العام للدراسة (The Research Framework)	

1.1	مقدمة الدراسة 1.2 Background of the Study :
1.2	السياق الاستراتيجي لشركة stc
1.3	مشكلة الدراسة Problem Statement
1.4	أهمية الدراسة (الوطنية، المهنية، الأكاديمية)
1.5	تعريف المصطلحات الإجرائية (AI, Predictive Analytics, Digital Twin)
1.6	أهداف الدراسة الاستراتيجية
1.7	حدود الدراسة (الموضوعية، المكانية، الزمانية)
1.8	هيكل البحث
1.9	النموذج المفاهيمي والمتغيرات (المستقلة والتابعة والوسيط)
1.10	منهجية تحليل المتغيرات وتطور منهجيات إدارة المشاريع

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

2.1	إدارة المشاريع الإنشائية في عصر الثورة الصناعية الرابعة
-----	---

- 2.2 تحول منهجيات إدارة المخاطر (Risk Management Transformation)
- 2.3 إدارة الجودة والتحقق الذكي من النطاق (Quality & Scope Validation)
- 2.4 تقنيات التوأمة الرقمية والنمذجة المعلوماتية (Digital Twin & BIM)
- 2.5 إدارة الموارد وسلاسل الإمداد (Resources & Supply Chain)
- 2.6 التواصل وإدارة أصحاب المصلحة (Stakeholder Management)

الفصل الثالث: منهجية الدراسة والإجراءات الميدانية

- 3.1 منهج البحث (Research Methodology)
- 3.2 مجتمع الدراسة (Study Population)
- 3.3 عينة الدراسة (Research Sample)
- 3.4 أدوات الدراسة وجمع البيانات
- 3.5 الأساليب الإحصائية (Statistical Analysis)
- 3.6 إجراءات الصدق والثبات (Validity & Reliability)

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

- أولاً: تحديات إدارة المشاريع الاحترافية (PM 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 الأداء

- 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 الـ PMO في شركة stc

1. التحول الاستراتيجي: من مكتب إداري إلى مكتب تحليلي (Cognitive PMO)
2. تحييد 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

الفصل السادس: المنهجية التفصيلية للدراسة الميدانية وتصميم الأداة

- 6.1 تمهيد المنهجية الميدانية
- 6.2 وصف مجتمع الدراسة والفئات المستهدفة بـ stc
- 6.3 توزيع عينة الدراسة (ديموغرافياً ومهنياً)
- 6.4 تصميم محاور الاستبيان الميداني الأربعة
- 6.5 قياس ثبات وصدق الأداة (معامل ألفا كرونباخ)

الفصل السابع: هندسة أداة القياس الرقمي (The Measurement Engineering)

- 7.1 فلسفة تصميم الأسئلة والمحاور
- 7.2 هندسة المحور الأول: مستوى التبني التقني
- 7.3 هندسة المحور الثاني: الأثر المالي والزماني
- 7.4 هندسة المحور الثالث: دقة اتخاذ القرار
- 7.5 هندسة المحور الرابع: التحديات والأبعاد الأخلاقية

الفصل الثامن: التشریح التحليلي للاستجابات والنتائج الميدانية

- 8.1 تحليل المحور الأول: التبني التقني والواقع الرقمي
- 8.2 تحليل المحور الثاني: الأثر الاقتصادي والجوى (Rework)
- 8.3 تحليل المحور الثالث: سرعة القرار واليقين الرقمي
- 8.4 تحليل المحور الرابع: تحديات الترددات والأمن والسلامة
- 8.5 مصفوفة الاستنتاجات التحليلية المتقاطعة

الفصل التاسع: الاستنتاجات والتوصيات الاستراتيجية (التحليل المعمق)

- 9.1 المبحث الأول: استنتاجات نضج التبني والتحول الرقمي
- 9.2 المبحث الثاني: الاستنتاجات المالية والزمنية وكفاءة الإنفاق
- 9.3 المبحث الثالث: التوصيات الإجرائية والسيادة الرقمية

الفصل العاشر: الاستنتاجات والتوصيات النهائية (التحليل الاستراتيجي)

- 10.1 المبحث الأول: استنتاجات نضج التبني والتحول الرقمي
- 10.2 المبحث الثاني: الاستنتاجات المالية والزمنية وكفاءة الإنفاق
- 10.3 المبحث الثالث: التوصيات الإجرائية والسيادة الرقمية

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة (The Research Framework)

1.1 مقدمة الدراسة (Background of the Study)

يواجه قطاع الإنشاءات العالمي منعطفاً تاريخياً يتمثل في التحول من الأساليب التقليدية الكثيفة العمالة إلى الأنظمة الذكية القائمة على البيانات. وفي المملكة العربية السعودية، لا يعد هذا التحول خياراً تقنياً فحسب، بل هو ركيزة استراتيجية تفرضها مقتضيات رؤية المملكة 2030. حيث تشهد المملكة طفرة غير مسبوقة في "المشاريع الكبرى (Mega Projects)" التي تتميز بتعقيد هندسي ولوجستي عالٍ، وضغوط زمنية ومحلية صارمة.

تعد شركة الاتصالات السعودية (stc) المحرك الرقمي لهذا التحول، حيث تشرف على بناء بنية تحتية هندسية ضخمة تشمل مراكز البيانات العملاقة (Hyperscale Data Centers) وشبكات الأبراج الذكية. إن هذه المشاريع، بطبيعتها، تنطوي على مخاطر مركبة تتجاوز قدرة الإدارة البشرية التقليدية على التحليل اللحظي. فإدارة المخاطر في مثل هذه البيئات لم تعد تكفي بالرصد "بعد الوقوع (Reactive)"، بل أصبحت تتطلب استشرافاً تنبؤياً (Proactive) يعتمد على الذكاء الاصطناعي (AI) والتحليل التنبؤي (Predictive Analytics).

إن توظيف تقنيات مثل "التعلم الآلي" و"الرؤية الحاسوبية" يمثل الثورة الرابعة في إدارة المشاريع، حيث يتم تحويل المواقع الإنشائية إلى بيئات "ذكية" قادرة على توليد بيانات ضخمة (Big Data) ومن خلال تحليل هذه البيانات، يمكن الوصول إلى أنماط معقدة للمخاطر تتعلق بالجدول الزمني، والتكلفة، والجودة، والسلامة الميدانية، مما يسهم في رفع كفاءة الإنفاق وتحسين العائد على الاستثمار (ROI).

1.2 السياق الاستراتيجي لشركة stc (Institutional Context)

لتعميق هذا الفصل، يجب تحليل الدور الهندسي لشركة stc ؛ فهي ليست مجرد مشغل اتصالات، بل هي "مطور إنشائي" للبنية التحتية الرقمية. تشمل مشاريعها:

مراكز البيانات: وهي منشآت هندسية معقدة تتطلب دقة متناهية في التنفيذ الإنشائي والميكانيكي والكهربائي.

الأبراج الذكية: التي تتطلب معايير سلامة وأمن عالية، وتنسيقاً جغرافياً واسعاً يغطي مساحات شاسعة من المملكة.

إن الاعتماد على "الحدس الإداري" في هذه المشاريع يرفع من احتمالية حدوث انحرافات في "المسار الحرج" (Critical Path)، مما يؤدي لتبعات مالية وقانونية ضخمة. ومن هنا تبرز الحاجة لهذه الدراسة لربط هذه التحديات الميدانية بالحلول الرقمية المتقدمة.

1.3 مشكلة الدراسة (Problem Statement)

رغم الاستثمارات الضخمة في التقنية، لا تزال الفجوة واسعة بين "توفر التقنية" و"الاستخدام الفعلي" في إدارة المخاطر الهندسية. تتبلور مشكلة الدراسة في التساؤلات العميقة حول كفاءة الاستجابة للمخاطر في ظل الأساليب اليدوية التقليدية التي تؤدي إلى:

تأخر اكتشاف المخاطر: مما يرفع تكلفة المعالجة بنسبة قد تصل إلى 20% نتيجة التدخل المتأخر.

عجز البيانات: صعوبة تحويل الكم الهائل من الصور والتقارير الميدانية إلى "قرارات نافذة" في الوقت المناسب.

مقاومة التغيير: وجود فجوة معرفية بين مديري المشاريع التقليديين ومتطلبات الإدارة الرقمية الحديثة.

1.4 أهمية الدراسة (Significance of the Study)

تستمد هذه الدراسة أهميتها من عدة محاور استراتيجية:

1.4.1 الأهمية الوطنية (National Importance)

تساهم الدراسة في دعم مستهدفات رؤية 2030 من خلال تقديم حلول لرفع كفاءة الإنفاق في المشاريع الحكومية وشبه الحكومية، وضمان تسليم المشاريع الاستراتيجية في مواعيدها المحددة، مما يعزز مكانة المملكة كمركز عالمي للابتكار الهندسي.

1.4.2 الأهمية المهنية والإدارية (Professional Importance)

توفر الدراسة إطاراً مرجعياً (Framework) لمديري المشاريع (PMP) ومكاتب إدارة المشاريع (PMO) في المملكة حول كيفية دمج "الدرون" و"التحليل التنبؤي" في دورة حياة المشروع، مما يرفع من سوية المهنة ويقلل من الخسائر المالية الناجمة عن سوء تقدير المخاطر.

1.4.3 الأهمية الأكاديمية (Academic Importance)

تعتبر هذه الدراسة إضافة نوعية للمكتبة العربية، حيث تدمج بين "علم إدارة المشاريع" و"علوم البيانات والذكاء الاصطناعي" في سياق تطبيقي فريد، مما يفتح آفاقاً لبحوث مستقبلية في مجال "البناء الذكي" (Smart Construction).

1.5 تعريف المصطلحات الإجرائية (Operational Definitions)

يمثل تحديد المصطلحات بدقة حجر الزاوية في الدراسات العلمية، لضمان وحدة الفهم بين الباحث والقارئ، وتجنب اللبس في المفاهيم المتداخلة بين علم الإدارة وعلوم الحاسب.

1.5.1 الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence - AI)

التعريف الاصطلاحي: هو فرع من علوم الحاسب يهدف إلى بناء أنظمة وبرامج قادرة على محاكاة القدرات الذهنية البشرية، مثل التعلم، الاستنتاج، والتصحيح الذاتي.

المنظور التقني في الإنشاءات: يشمل الخوارزميات التي تعالج البيانات القادمة من المواقع الإنشائية لتحويلها إلى "معرفة" تدعم اتخاذ القرار.

التعريف الإجرائي: في هذه الدراسة، يُقصد به مجموعة الأدوات البرمجية التي تستخدمها stc (مثل الرؤية الحاسوبية والتعلم الآلي) لتحليل صور الدرون والبيانات التاريخية للمشاريع للتنبؤ بالانحرافات قبل وقوعها.

1.5.2 التحليل التنبؤي (Predictive Analytics)

التعريف الاصطلاحي: هو استخدام البيانات التاريخية والخوارزميات الإحصائية وتقنيات التعلم الآلي لتحديد احتمالية النتائج المستقبلية بناءً على البيانات السابقة.

الأثر الإداري: يهدف إلى تجاوز "التقارير الوصفية" التي تشرح ماذا حدث، إلى "التقارير التنبؤية" التي تشرح ماذا سيحدث.

التعريف الإجرائي: هو النماذج الرياضية التي تربط بين مؤشرات أداء المشاريع السابقة في stc وبين العوامل البيئية واللوجستية الحالية للتنبؤ بموعد اكتمال المشروع وتجاوز الميزانية المحتمل.

1.5.3 إدارة المخاطر (Risk Management - PMP Context)

التعريف الاصطلاحي: (PMI) هي العملية المنظمة لتحديد وتحليل والاستجابة للمخاطر، وتهدف إلى تعظيم احتمالية وتأثير الأحداث الإيجابية (الفرص) وتقليل احتمالية وتأثير الأحداث السلبية (التهديدات).

البعد الهندسي: إدارة المخاطر في المشاريع الإنشائية الكبرى تتعامل مع قيود "المثلث الذهبي" (النطاق، الوقت، التكلفة).

التعريف الإجرائي: هي الإجراءات التي يتخذها مديرو المشاريع في stc لضبط جودة التنفيذ، وضمان سلامة العمالة (بصفتك مديراً للسلامة والأمن)، وتفادي غرامات التأخير في مشاريع الأبراج ومراكز البيانات.

1.5.4 التوأمة الرقمية (Digital Twin)

التعريف الاصطلاحي: هو تمثيل رقمي ديناميكي لكيان مادي أو نظام، يعكس حالته اللحظية من خلال تدفق مستمر للبيانات.

الارتباط بـ BIM: يعتبر التوأم الرقمي تطوراً لنماذج نمذجة معلومات البناء (BIM)، حيث يضيف عنصر "البيانات الحية" للنموذج الساكن.

التعريف الإجرائي: هو النموذج الرقمي ثلاثي الأبعاد لموقع إنشاء stc الذي يتم تحديثه دورياً عبر مسوحات الدرون لمقارنة الواقع الفعلي بالمخططات الهندسية الأصلية.

1.5.5 طائرات الدرون (Unmanned Aerial Vehicles - UAVs)

التعريف الاصطلاحي: طائرات يتم التحكم فيها عن بعد أو برمجتها مسبقاً لمسارات طيران محددة، مزودة بمستشعرات وكاميرات عالية الدقة.

الاستخدام الإنشائي: تستخدم للمسح الطبوغرافي، مراقبة التقدم الميداني، والتفتيش على المناطق التي يصعب الوصول إليها.

التعريف الإجرائي: هي الوسيلة الأساسية لجمع البيانات البصرية في مواقع stc، والتي توفر المادة الخام لخوارزميات الذكاء الاصطناعي لتحليل المخاطر الميدانية والامتثال لمعايير السلامة.

1.5.6 إدارة القيمة المكتسبة (Earned Value Management - EVM)

التعريف الاصطلاحي: منهجية لإدارة المشاريع تجمع بين قياسات النطاق والجدول الزمني والموارد لتقييم أداء المشروع وتقديمه.

المؤشرات الرئيسية: تشمل القيمة المخططة (PV)، التكلفة الفعلية (AC)، والقيمة المكتسبة (EV).

التعريف الإجرائي: هي الآلية الرقمية التي يقترحها البحث لأتمتة حساب مؤشرات (CPI & SPI) في stc بناءً على الإنجاز الفعلي المرصود تقنياً وليس يدوياً.

1.6 أهداف الدراسة الاستراتيجية (Research Objectives)

تتجاوز أهداف هذه الدراسة مجرد الرصد التقني، لتصل إلى صياغة نموذج إداري متكامل لشركة stc ، وتتمثل الأهداف في الآتي:

1.6.1 الأهداف التحليلية (Analytical Objectives)

تحليل فجوة الأداء: (Gap Analysis) رصد وتحليل الفرق بين ممارسات إدارة المخاطر التقليدية المتبعة حالياً في مشاريع stc الإنشائية، وبين الممارسات الذكية المدعومة بالتحليل التنبؤي، لتحديد نقاط الهدر الزمني والمالي.

تقييم موثوقية النماذج التنبؤية: قياس مدى دقة خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بانحرافات "المسار الحرج (Critical Path)" مقارنة بالتقديرات البشرية، وكيفية تأثير ذلك على "تاريخ الاكتمال المستهدف".

1.6.2 الأهداف التطبيقية (Applied Objectives)

تطوير نموذج إدارة القيمة المكتسبة الرقمي: (Digital EVM) صياغة آلية عمل تربط بين مسوحات الدرون اللحظية وحساب مؤشرات أداء التكلفة (CPI) والجدول الزمني (SPI) آلياً، لضمان شفافية التقارير الميدانية.

تحسين كفاءة اتخاذ القرار الاستباقي: وضع بروتوكول إداري يوضح كيف يمكن لمدير المشروع في stc استخدام "التنبيهات المبكرة" الصادرة عن النظام الذكي لتفعيل خطط الطوارئ (Contingency Plans) قبل وقوع الخطر.

1.6.3 الأهداف الاستراتيجية (Strategic Objectives)

دعم "الحكومة الرقمية" للمشاريع: تقديم توصيات لشركة stc حول كيفية دمج مخرجات الذكاء الاصطناعي في الأطر التعاقدية مع المقاولين، لتقليل النزاعات القانونية حول نسب الإنجاز وجودة التنفيذ.

المساهمة في تحقيق "البناء الرشيق (Lean Construction)": استكشاف كيف يساهم التحليل التنبؤي في تقليل الهدر في الموارد وتحسين سلاسل الإمداد اللوجستية للمشاريع الكبرى.

1.7 حدود الدراسة (Research Scope & Limitations)

لضمان الدقة العلمية والتركيز الموضوعي، يلتزم الباحث بالحدود التالية التي ترسم نطاق العمل:

1.7.1 الحدود الموضوعية (Subject Scope)

تقتصر الدراسة على بحث أثر تقنيات الذكاء الاصطناعي (وتحديداً الرؤية الحاسوبية والتعلم الآلي) والتحليل التنبؤي على "إدارة المخاطر" بمفهومها الشامل في إدارة المشاريع (الوقت، التكلفة، الجودة). ولن تتطرق الدراسة إلى الجوانب البرمجية العميقة لتطوير الأكواد، بل ستركز على "المخرجات الإدارية" لهذه التقنيات وأثرها على جودة القرار.

1.7.2 الحدود المكانية (Spatial Scope)

تطبق الدراسة بشكل حصري على المشاريع الإنشائية الكبرى (Mega Projects) التابعة لشركة stc في المملكة العربية السعودية، مع التركيز على مشاريع مراكز البيانات (Data Centers) وتوسعة البنية التحتية لشبكات الجيل الخامس، نظراً لتعقيدها الهندسي العالي وتوفر البيانات الرقمية فيها.

1.7.3 الحدود الزمانية (Temporal Scope)

تغطي الدراسة الفترة الزمنية الممتدة من عام 2021 وحتى عام 2026، وهي الفترة التي شهدت تسارعاً في تبني التحول الرقمي تماشياً مع مستهدفات رؤية 2030، كما تشمل تحليل البيانات التاريخية للمشاريع المنفذة خلال هذه الفترة لبناء النماذج التنبؤية.

1.8 هيكل البحث (Research Structure)

لكي يحيط القارئ واللجنة المناقشة بشمولية البحث، تم تقسيم الأطروحة إلى عشرة فصول متكاملة (سيتم شرح محتوى كل فصل باستفاضة):

- الفصل الأول: الإطار العام للدراسة (The Research Framework)
- الفصل الثاني: الإطار النظري) هندسة إدارة المشاريع الرقمية (Construction 4.0)
- الفصل الثالث: منهجية الدراسة والإجراءات الميدانية
- الفصل الرابع: التحديات التقنية والتنظيمية لدمج الذكاء الاصطناعي في مشاريع stc
- الفصل الخامس: النموذج المقترح والنتائج الاستراتيجية لرفع كفاءة الأداء
- فصل خاص: دور الذكاء الاصطناعي في تمكين مكاتب الـ PMO في شركة stc
- الفصل السادس: المنهجية التفصيلية للدراسة الميدانية وتصميم الأداة
- الفصل السابع: هندسة أداة القياس الرقمي (The Measurement Engineering)
- الفصل الثامن: التشريح التحليلي للاستجابات والنتائج الميدانية
- الفصل التاسع: الاستنتاجات والتوصيات الاستراتيجية (التحليل المعمق)
- الفصل العاشر: الاستنتاجات والتوصيات النهائية (التحليل الاستراتيجي)
- قائمة المصادر والمراجع (References)
- الخاتمة (Conclusion)

1.9 النموذج المفاهيمي والمتغيرات (Conceptual Model & Variables)

يعتمد نجاح أي دراسة في إدارة المشاريع على تحديد العلاقة الوظيفية بين "الأدوات التقنية" (المتغير المستقل) و"كفاءة الأداء" (المتغير التابع). يتبنى الباحث في هذه الدراسة نموذجاً يربط بين مدخلات الذكاء الاصطناعي وبين مخرجات كفاءة إدارة المخاطر في شركة.stc

1.9.1 المتغير المستقل (Independent Variable): تقنيات الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي

يشمل هذا المتغير الأدوات الرقمية التي يتم إقحامها في دورة حياة المشروع، وتنفرع إلى:

الرؤية الحاسوبية: (Computer Vision) القدرة التقنية على تحليل المسوحات الجوية (الدرون) وتحويلها إلى بيانات هندسية لمطابقة الواقع بالمخططات.

خوارزميات التعلم الآلي: (Machine Learning) النماذج الرياضية التي تعالج البيانات التاريخية لمشاريع stc للتنبؤ بالنتائج المستقبلية.

النمذجة التنبؤية: (Predictive Modeling) القدرة على استشراف انحرافات الجدول الزمني وتكاليف الاكتمال.(EAC)

1.9.2 المتغير التابع (Dependent Variable): كفاءة إدارة المخاطر (Risk Management Efficiency)

يتم قياس هذا المتغير من خلال مؤشرات أداء إدارة المشاريع العالمية (KPIs) ، وتحديدًا:

دقة التنبؤ بالجدول الزمني: (Schedule Variance Control) مدى القدرة على البقاء ضمن "خط الأساس (Baseline) "للوقت.

كفاءة التحكم في التكاليف: (Cost Performance Index - CPI) القدرة على تقليل الهدر المالي الميداني ومنع تجاوز الميزانية.

جودة التحقق من النطاق: (Scope Validation Quality) تقليل نسبة "إعادة العمل (Rework) "الناجمة عن أخطاء التنفيذ أو عدم التطابق مع نماذج.BIM

1.9.3 المتغيرات الوسيطة (Mediating Variables)

وهي العوامل التي قد تؤثر على قوة العلاقة بين الذكاء الاصطناعي وكفاءة إدارة المشاريع، وتشمل:

النضج الرقمي للمنظمة: (Digital Maturity) مدى جاهزية البنية التحتية في stc لاستقبال ومعالجة البيانات الضخمة.

كفاءة الكوادر البشرية: (Human Capital) قدرة مديري المشاريع على فهم وتفسير مخرجات الخوارزميات الذكية وتحويلها إلى قرارات إدارية.

1.10 منهجية تحليل المتغيرات (Variable Analysis Methodology)

للوصول إلى العمق المطلوب في هذا الفصل، سيعتمد الباحث إلى تحليل العلاقة بين هذه المتغيرات عبر ثلاث مستويات إدارية:

المستوى الأول: الأثر على إدارة التكامل (Integration Management)

سيبحث هذا القسم في كيفية قيام الذكاء الاصطناعي بربط جميع مجالات المعرفة (Knowledge Areas) ببعضها. فعندما يتنبأ النظام بخطر تأخير في توريد الكابلات (إدارة التوريدات)، فإنه يقوم آلياً بتحديث أثر ذلك على الجدول الزمني (إدارة الوقت) والتكلفة المترتبة (إدارة التكلفة)، مما يمنح مدير المشروع رؤية تكاملية شاملة.

المستوى الثاني: الأثر على جودة القرار الاستباقي

هنا يتم التركيز على "التوقيت". في إدارة المشاريع التقليدية، يتم اكتشاف الخطر "بعد وقوعه" (Lagging Indicators). أما في النموذج الذكي المقترح لـ stc، فإننا نعتمد على (Leading Indicators)؛ حيث يعطي النظام إنذاراً مبكراً باحتمالية انحراف المسار الحرج بنسبة معينة بناءً على "تحليل الاتجاه" (Trend Analysis)، مما يرفع من جودة القرار الإداري قبل استنزاف الميزانية.

المستوى الثالث: كفاءة الإنفاق (Value Engineering)

سيركز التحليل على "الهندسة القيمة"؛ فكيف يساهم الذكاء الاصطناعي في تقليل المخاطر المالية عبر تحسين عمليات الشراء والتوريد (Procurement Risk). سيتم شرح كيف يحل النظام تقلبات الأسعار العالمية لضمان الشراء في الوقت الأمثل، مما ينعكس على القيمة الإجمالية للمشروع.

1.11 تطور منهجيات إدارة المشاريع: من التقليدية إلى الإدارة الرقمية (Construction 4.0)

لقد مرّ علم إدارة المشاريع في قطاع الإنشاءات والاتصالات بالمملكة العربية السعودية بثلاث قفزات نوعية، تعكس كل واحدة منها فلسفة إدارية مختلفة تجاه "المخاطر" و"البيانات".

1.11.1 المرحلة الأولى: الإدارة التقليدية القائمة على الخبرة (1990 - 2010)

في هذه المرحلة، كانت مشاريع البنية التحتية في المملكة تعتمد على منهجيات "الشلال" (Waterfall) الصارمة.

فلسفة المخاطر: كانت إدارة المخاطر تعتمد بالكامل على "الحس الشخصي" لكبار المهندسين والخبراء.

البيانات: كانت البيانات "ساكنة" وورقية، حيث يتم تحديث الجداول الزمنية يدوياً مرة كل شهر، مما يجعل اكتشاف الانحرافات في "المسار الحرج" (Critical Path) "يأتي متأخراً دائماً". (Lagging Indicators)

التحدي في stc: تميزت هذه الفترة بصعوبة التنسيق الجغرافي الواسع لمواقع الأبراج، مما كان يؤدي إلى تضخم في ميزانيات الطوارئ (Contingency Reserves) لتغطية "المجاهيل-Unknown (Unknowns).

1.11.2 المرحلة الثانية: حوسبة الإدارة والنمذجة المعلوماتية (2011 - 2020)

مع انطلاق رؤية المملكة 2030 وبداية التحول الرقمي الشامل، انتقلت stc نحو "رقمنة العمليات".

ظهور الـ BIM: بدأ استخدام نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling) لتقليل التعارضات الإنشائية. (Clash Detection)

البيانات: تحولت البيانات من ورقية إلى رقمية (MS Project & Primavera) ، مما أتاح لمكاتب إدارة المشاريع (PMO) مراقبة الأداء بشكل أسرع، ولكنها ظلت تفتقر للقدرة على "التنبؤ (Predictive Insight).

الأثر الإداري: تحسنت دقة الجداول الزمنية، ولكن ظل "الميدان (Site) "معزولاً عن "المكتب (Office) "، حيث يحتاج تحديث البيانات لزيارات ميدانية بشرية مستمرة.

1.11.3 المرحلة الثالثة: عصر الإدارة الذكية – (2021 - Construction 4.0) الآن)

وهي المرحلة التي يركز عليها هذا البحث، حيث اندمجت تقنيات الذكاء الاصطناعي مع علوم الإدارة لإنشاء ما يسمى بـ "المشروع الذاتي الإدراك. (Self-Aware Project)

الذكاء الاصطناعي والدرون: أصبحت طائرات الدرون هي "العين" التي لا تنام، وخوارزميات AI هي "العقل" الذي يحلل ملايين النقاط البيانية لحظياً.

التوأمة الرقمية الحية: لم يعد النموذج الهندسي (BIM) مجرد رسم، بل أصبح "توأماً حياً" يعكس حالة الصب، والتركيب، والتوريد في stc فور حدوثها.

إعادة تعريف المخاطر: تحولت المخاطر من "احتمالات تقديرية" في مصفوفة (Risk Matrix) إلى "تنبؤات رقمية" مدعومة بالبيانات التاريخية، مما مكن مديري المشاريع من رؤية المستقبل. (Leading Indicators)

1.12 مواءمة معايير PMP مع التحول الرقمي في stc

لكي تكتسب هذه الدراسة صبغة الماجستير، سنقوم بتحليل كيف استجابت المعايير الدولية (PMI) لهذا التطور التقني:

المبدأ التوجيهي: (Adaptability and Resilience) يؤكد الإصدار السابع من الـ PMBOK على ضرورة "المرونة". والذكاء الاصطناعي هو الأداة الوحيدة القادرة على منح المشاريع الإنشائية الضخمة في stc هذه المرونة عبر إعادة حساب المسار الحرج لحظياً عند حدوث أي طارئ ميداني.

تحليل القيمة المكتسبة الرقمي (Automated EVM) في العصر الرقمي، لم تعد القيمة المكتسبة (EV) تُحسب بناءً على "تقدير المهندس"، بل بناءً على "المسح الليزري (LiDAR Scan)" الذي يحدد بدقة مليمتريّة حجم المنجز الفعلي، مما يقضي على النزاعات المالية مع المقاولين.

حوكمة البيانات (Data Governance) أصبح دور مدير المشروع يمتد لإدارة "أمن المعلومات" والسيادة الرقمية، خاصة في مشاريع مراكز البيانات (Data Centers) التي تعد جزءاً من الأمن القومي المعلوماتي للمملكة.

1.13 تمهيد للتحليل الإحصائي للمتغيرات

بعد استعراض هذا التطور التاريخي، نجد أننا أمام "فجوة منهجية": كيف نثبت رياضياً أن هذا التطور التقني أدى فعلياً لرفع كفاءة إدارة المخاطر؟ هذا ما سنقوم بتأصيله في القسم القادم عبر "التحليل الإحصائي للمتغيرات"، حيث سنقوم بتفكيك المتغيرات (المستقل والتابع) إلى معادلات وفرضيات إحصائية (Null vs Alternative Hypotheses) يتم اختبارها عبر مقاييس علمية دقيقة.

1.14 التصميم الإحصائي والقياس الكمي للمتغيرات (Statistical Framework) لإثبات أثر الذكاء الاصطناعي (المتغير المستقل) على كفاءة إدارة المخاطر (المتغير التابع)، يعتمد الباحث نموذج قياس رباعي الأبعاد يربط بين التقنية الرقمية وبين مخرجات إدارة المشاريع الاحترافية. 1.14.1 صياغة الفرضيات الإحصائية (Hypotheses Formulation) يتم اختبار الأثر من خلال مجموعتين من الفرضيات الإحصائية المرتبطة بمثلث القيود 1: (Triple Constraints). فرضية الكفاءة الزمنية (Schedule Efficiency Hypothesis): الفرضية الصفرية (H_0): لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام التحليل التنبؤي على دقة التنبؤ بالمسار الحرج في مشاريع stc. الفرضية البديلة (H_1): يوجد أثر إيجابي طردي ذو دلالة إحصائية؛ حيث يؤدي استخدام الـ AI إلى تقليل الانحراف الزمني (Schedule Variance - SV) بنسبة لا تقل عن 15%. فرضية كفاءة الإنفاق (Cost Efficiency Hypothesis): الفرضية الصفرية (H_0): لا تساهم تقنيات الدرون والتوأمة الرقمية في تقليل التكاليف غير المخطط لها (Unplanned Costs). الفرضية البديلة (H_1): يساهم الدمج التقني في رفع مؤشر أداء التكلفة (CPI) عبر الاكتشاف المبكر للأخطاء الإنشائية وتقليل الهدر المادي. 1.14.2 أوزان المتغيرات ونموذج القياس (Measurement Scales) لتحقيق الاستفاضة الأكاديمية، سيتم استخدام مقياس ليكرت المطور (Modified Likert Scale) الموجه لخبراء إدارة المشاريع في stc، حيث يتم قياس الأثر عبر الأوزان النسبية التالية:

المتغير المستقل (التقنية الذكية)	مؤشر القياس الإداري (KPI)	وزن التأثير المتوقع
الرؤية الحاسوبية (Computer Vision)	دقة مطابقة النطاق (Scope Validation)	35%
التحليل التنبؤي (ML)	استباق انحراف المسار الحرج (CPM Risk)	30%
التوأمة الرقمية (Digital Twin)	تقليل أوامر التغيير (Change Requests)	20%

وزن التأثير المتوقع	مؤشر القياس الإداري (KPI)	المتغير المستقل (التقنية الذكية)
15%	دقة تقارير الإنجاز اللحظية (Live Reporting)	الدرون (UAV Data)

1.14.3 مصفوفة الارتباط بين AI وإدارة المخاطر (Correlation Matrix)

في هذا القسم (الذي يمتد لعدة صفحات في البحث)، يشرح الباحث كيف يتم قياس "العلاقة السببية". لا نكتفي بالقول إن التقنية مفيدة، بل نقيس "معامل الارتباط (Pearson Correlation)" بين عدد المسوحات الجوية الذكية وبين انخفاض نسبة "إعادة العمل (Rework)" في مواقع مراكز بيانات stc.

قياس أثر المتغيرات الوسيطة: يتم تحليل أثر "خبرة مدير المشروع" كمتغير وسيط؛ فهل يستفيد مدير المشروع الخبير من الـ AI بنفس قدر مدير المشروع المبتدئ؟ هذا التحليل يضيف عمقاً إدارياً كبيراً للبحث.

1.15 منهجية التحقق من الصدق والثبات (Validity & Reliability)

الصدق الظاهري (Face Validity): عرض أدوات القياس على خبراء PMP وعلماء بيانات لضمان أنها تقيس فعلياً ما وُضعت لقياسه.

ثبات الاتساق الداخلي (Cronbach's Alpha): استخدام المعادلات الإحصائية للتأكد من أن إجابات عينة الدراسة من مهندسي stc متسقة وغير متناقضة، حيث يجب أن تتجاوز القيمة (0.70) لاعتبار النتائج علمية وموثوقة.

الفصل الثاني: الإطار النظري (The Theoretical Framework)

تمهيد الفصل:

يستعرض هذا الفصل الأسس النظرية والفلسفية التي يقوم عليها الدمج بين علم إدارة المشاريع (Project Management) وعلوم البيانات (Data Science). ينقسم الفصل إلى ثلاثة مباحث كبرى: المبحث الأول يتناول التحول المعياري في PMP ، والمبحث الثاني يتناول هندسة التقنيات الذكية (AI & Drones) ، والمبحث الثالث يركز على نماذج النضج الرقمي.

المبحث الأول: رقمنة مجالات المعرفة (Knowledge Areas Digitization)

وفقاً للإصدار السابع من الدليل المعرفي لإدارة المشاريع (PMBOK 7th Edition) ، انتقل التركيز من "العمليات" إلى "المبادئ والقيمة". وفي مشاريع stc ، يمثل الذكاء الاصطناعي الأداة التمكينية لتحويل هذه المبادئ إلى واقع ملموس.

2.1 إدارة التكامل الرقمي (Digital Integration Management)

في المشاريع الإنشائية الكبرى، يعد التكامل هو التحدي الأكبر. يعمل الذكاء الاصطناعي كـ "نظام تشغيل للمشروع" يربط بين الأطراف المختلفة.

وجه المقارنة	التكامل التقليدي (Manual Integration)	التكامل الذكي (AI-Driven Integration)	الأثر على مشاريع stc
مصدر البيانات	تقارير ورقية/يدوية مشتتة	"خيط رقمي" موحد (Digital Thread)	وحدة مصدر الحقيقة (Single Source of Truth)
تحديث خط الأساس	يتطلب أسابيع من المراجعة والتدقيق	تحديث لحظي (Real-time Baseline)	سرعة الاستجابة لطلبات التغيير (CRs)
التنسيق بين الأقسام	يعتمد على الاجتماعات والمراسلات	ربط آلي عبر منصة سحابية موحدة	تقليل وقت الانتظار (Wait Time) بنسبة 40%

2.2 إدارة النطاق والتوأمة الرقمية (Scope & Digital Twin)

يعد "زحف النطاق (Scope Creep)" العدو الأول للمشاريع الإنشائية في stc. يوفر الإطار النظري للتوأمة الرقمية حلاً جذرياً عبر:

المطابقة البصرية: (Visual Verification) استخدام خوارزميات الرؤية الحاسوبية لمقارنة نموذج BIM مع المسح الليزري (LiDAR) للموقع.

التحقق التلقائي من النطاق (Auto-Scope Validation): النظام يصدر تنبيهاً فوراً إذا تم بناء جدار أو تركيب برج في موقع ينحرف بمقدار 5 سم عن المخطط الأصلي.

2.3 إدارة الجدول الزمني والمسار الحرج التنبؤي (Predictive Schedule & CPM)

تنتقل إدارة الوقت من "جدولة الماضي" إلى "تنبؤ المستقبل". يعتمد البحث في هذا القسم على نظرية "إدارة المشاريع بالارتكاز على البيانات" (Data-Driven Project Management).

تجاوز طريقة المسار الحرج التقليدية: (CPM) في stc ، تعجز الـ CPM التقليدية عن التعامل مع المتغيرات اللحظية (مثل تأخر شحن كابلات في الميناء).

الجدولة الاحتمالية (Stochastic Scheduling): يستخدم الـ AI محاكاة "مونت كارلو" لتوليد آلاف السيناريوهات للجدول الزمني، مما يعطي مدير المشروع "نسبة يقين" (Confidence Level) بدلاً من تاريخ واحد ثابت.

المؤشر التقني	الجدولة التقليدية (Primavera/MS Project)	الجدولة التنبؤية (AI-Predictive)
نوع البيانات	بيانات تاريخية تقديرية	بيانات ميدانية لحظية (Live Feed)
التعامل مع المخاطر	مصفوفة مخاطر ساكنة	تحليل مخاطر ديناميكي (Monte Carlo)
معدل التحديث	أسبوعي / شهري	لحظي / يومي

2.4 إدارة التكلفة والقيمة المكتسبة المؤتمتة (Automated EVM)

هذا الجزء يركز على كفاءة الإنفاق (ROI). يتم تأصيل مفهوم "القيمة المكتسبة الحقيقية"؛ حيث لا يتم صرف المستخلص للمقاول بناءً على "توقيعه"، بل بناءً على "المسح الرقمي" الذي يثبت الإنجاز.

مؤشر أداء التكلفة الرقمي: (Digital CPI) ربط نظام المشتريات (SAP) ببيانات الموقع الإنشائي.

التنبؤ بتجاوز التكاليف: الخوارزمية تحلل "نزعة الإنفاق" (Spending Trend) وتنبأ بالـ (EAC) - التكلفة عند الختام - بدقة تصل إلى 95% في مراحل مبكرة من المشروع.

المبحث الثاني: هندسة التقنيات الذكية في إدارة المشاريع الإنشائية

في هذا المبحث، يتم تفكيك الأدوات التقنية لفهم كيفية تحويل "البيانات الخام" الميدانية إلى "قرارات إدارية" تدعم كفاءة إدارة المخاطر في stc.

2.5 الرؤية الحاسوبية (Computer Vision) وضبط النطاق

تعد الرؤية الحاسوبية المحرك الأساسي لأتمتة "التحقق من النطاق" (Scope Validation) بدلاً من الاعتماد على العين البشرية، تعتمد التقنية على خوارزميات تصنيف الأجسام (Object Detection).

جدول (2-3): مصفوفة أداء الرؤية الحاسوبية في كشف الانحرافات الإنشائية

مخرج إدارة المخاطر	دور الرؤية الحاسوبية (CV Role)	المتطلب الهندسي (Specification)	العملية الإنشائية في stc
منع الانهيارات الهيكلية	تحليل المسح الليزري (LiDAR)	زاوية الميلان والاستقامة	تركيب أبراج الاتصالات
منع تجاوز النطاق (Scope Creep)	مطابقة صور الدرون مع BIM	الأبعاد والمساحة السطحية	صب القواعد الخرسانية
تقليل نسبة إعادة العمل (Rework)	التتبع اللحظي لمسارات الحفر	المسار والعمق المحدد	تمديد الألياف البصرية

2.6 خوارزميات التعلم الآلي (Machine Learning) والتنبؤ بالتعثر

يعتمد البحث هنا على "البيانات التاريخية" لشركة stc. الخوارزمية لا تفهم "الأسمنت والحديد"، بل تفهم "الأنماط" (Patterns).

آلية عمل النماذج التنبؤية في إدارة الجدول الزمني:

1. مرحلة التدريب: (Training) تغذية النظام ببيانات 500 مشروع سابق لـ stc موعد البدء، العوائق، تاريخ الانتهاء الفعلي).
2. مرحلة التحليل: ربط المتغيرات) مثلاً: تأخر التوريدات من المورد 'X' في فصل الشتاء يؤدي دائماً لتأخير 15% في المسار الحرج).
3. مرحلة التنبؤ: النظام يصدر تنبيهاً لمدير المشروع في المشروع الحالي: "هناك احتمالية 85% لتجاوز الجدول الزمني بـ 20 يوماً بسبب نمط التوريد الحالي".

2.7 التوأمة الرقمية (Digital Twin) كأداة لحوكمة المشاريع

التوأم الرقمي في هذا البحث ليس مجرد "رسم"، بل هو "سجل حوكمة" في مشاريع مراكز البيانات (Data Centers)، يمثل التوأم الرقمي الربط بين:

- البعد المكاني: (3D) الشكل الهندسي.
- البعد الزمني: (4D) الجدول الزمني. (Scheduling)
- البعد المالي: (5D) التكاليف. (Costing)

جدول (4-2): مستويات النضج في التوأمة الرقمية وأثرها على القرار الإداري

الأثر في stc	القدرة الإدارية (Management Capability)	حالة البيانات	مستوى النضج
تقليل أخطاء التصميم	المراقبة الوصفية (ماذا يحدث الآن؟)	بيانات ساكنة (BIM)	المستوى الأول
تقليل وقت الاستجابة للمخاطر	الإدارة التفاعلية (معالجة الأخطاء فوراً)	بيانات لحظية (Live)	المستوى الثاني
الوصول لصفر انحراف مالي	الإدارة الاستباقية (منع الخطأ قبل وقوعه)	بيانات تنبؤية (AI)	المستوى الثالث

2.8 تكامل الدرون مع أنظمة إدارة الموارد (ERP Integration)

لتعميق هذا الفصل، يستعرض الباحث كيف تتحول "صورة الدرون" إلى "قيد محاسبي". عندما تلتقط الدرون صورة لاكتمال صب القاعدة، يقوم الذكاء الاصطناعي بـ:

1. التحقق من مطابقة الجودة.
2. تحديث نسبة الإنجاز في الجدول الزمني. (Primavera)
3. إرسال إشعار لنظام (SAP) لاعتماد المستخلص المالي للمقاول.

هذا التكامل يقضي على "الفساد الإداري" أو "الأخطاء البشرية" في تقدير نسب الإنجاز.

المبحث الثالث: الاستراتيجيات الإدارية ونماذج القبول التقني (Technology Acceptance & Strategic Alignment)

لا يتوقف نجاح الذكاء الاصطناعي في إدارة المشاريع على كفاءة الخوارزمية فحسب، بل على مدى مواءمة هذه التقنية مع الثقافة التنظيمية والتشريعات المحلية. يستعرض هذا المبحث الأطر الإدارية التي تضمن نجاح الدمج التقني في بيئة stc.

2.9 نموذج قبول التكنولوجيا (Technology Acceptance Model - TAM)

في مشاريع stc الكبرى، يواجه مديرو المشاريع التقليديون تحدياً ذهنياً في الوثوق بمخرجات الآلة. يحل الباحث هذا التحدي عبر أبعاد نموذج: (TAM)

1. سهولة الاستخدام المتصورة: (Perceived Ease of Use) مدى بساطة واجهات التحكم (Dashboards) التي يعرضها الذكاء الاصطناعي لمدير المشروع. إذا كانت البيانات معقدة تقنياً، ستزداد مقاومة التغيير.

2. الفائدة المتصورة: (Perceived Usefulness) قناعة مدير المشروع بأن الدرون والتحليل التنبؤي سيحميه من المساءلة القانونية في حال تأخر المشروع، وسيوفر له بيانات دقيقة للدفاع عن قراراته أمام اللجنة التنفيذية.

جدول (5-2): تحليل العوامل المؤثرة على تبني الذكاء الاصطناعي لدى مهندسي stc

العامل المؤثر	الوصف الإداري	استراتيجية المعالجة (Mitigation Strategy)
المقاومة الثقافية	التمسك بالتقارير الورقية والزيارات الميدانية	برامج "التغيير القيادي" وإبراز قصص النجاح الرقمية
فقدان السيطرة	الخوف من أن الآلة ستتخذ القرار بدلاً من الإنسان	التأكيد على مبدأ "الإنسان في الحلقة" (Human-in-the-loop)
جودة البيانات	عدم الثقة في دقة حساسات الدرون والـ LiDAR	وضع بروتوكولات "معايرة دورية" للأجهزة والمستشعرات

2.10 موازنة التقنية مع رؤية المملكة 2030 وتشريعات stc

لا يعمل البحث في معزل عن الإطار القانوني السعودي. يتم تحليل الموازنة عبر المحاور التالية:

- السيادة الرقمية: (Digital Sovereignty) التزام أنظمة الذكاء الاصطناعي بمعايير "الهيئة الوطنية للأمن السيبراني (NCA)"، خاصة عند معالجة صور المواقع الحساسة لأبراج الاتصالات.
- المحتوى المحلي: (Local Content) كيف يساهم الاعتماد على الكوادر السعودية في تشغيل الدرون وتحليل البيانات في رفع نسبة التوطين التقني داخل مشاريع stc.

2.11 دراسة مقارنة stc: مقابل الشركات العالمية (Benchmarking)

لتعزيز الفصل، يقدم الباحث مقارنة معيارية توضح أين تقف stc عالمياً في استخدام AI في الإنشاءات:

جدول (6-2): مقارنة معيارية لمستويات النضج الرقمي في إدارة المشاريع

المعيار المقارنة	الشركات العالمية (Verizon / AT&T)	الوضع الحالي في stc	الوضع المستهدف (نموذج البحث)
جمع البيانات	درونات ذاتية القيادة (Autonomous)	درونات يتحكم بها مهندس بشري	أسراب درونات (Drone Swarms) مؤتمتة

المقارنة معيار	الشركات العالمية / (Verizon AT&T)	الوضع الحالي في stc	الوضع المستهدف (نموذج البحث)
تحليل المخاطر	تنبؤ لحظي شامل (Full Predictive)	تحليل جزئي لبعض المخاطر	تنبؤ استباقي متكامل (E2E Prediction)
اتخاذ القرار	قرارات مدعومة بالذكاء الاصطناعي	قرارات تعتمد على الخبرة الشخصية	قرارات "خوارزمية" خاضعة للمراجعة

2.12 الإطار التنظيمي للهيئة السعودية للمقاولين وهيئة الاتصالات

يشرح الباحث في هذا القسم كيف يتم دمج تقنيات البحث مع (الكود السعودي للمباني) ومعايير (هيئة الاتصالات والفضاء والتقنية). يركز التحليل على أن الذكاء الاصطناعي يساعد في تحقيق "الامتثال التلقائي" (Automated Compliance)؛ حيث يفرض النظام آلياً أي توريدات أو صبات خرسانية لا تطابق المواصفات السعودية المعتمدة، مما يحمي stc من المخاطر القانونية بعيدة المدى.

الفصل الثالث: الدراسات السابقة ومنهجية الدراسة (Literature Review & Methodology)

تمهيد الفصل:

يرتكز هذا الفصل على محورين أساسيين؛ الأول هو استعراض وتحليل التراكم المعرفي في مجال الذكاء الاصطناعي وإدارة المشاريع، والثاني هو تبيان المنهجية العلمية التي اتبعتها الباحثة للتحقق من الفرضيات الإحصائية في بيئة stc.

المبحث الأول: الدراسات السابقة (Review of Literature)

قام الباحث بمسح شامل لأحدث الدراسات (2020-2025) التي تناولت تقنيات الثورة الصناعية الرابعة في قطاع الإنشاءات، وتم تقسيمها إلى دراسات عالمية ودراسات محلية/إقليمية.

3.1 الدراسات العالمية (International Studies)

1. دراسة مارينغو وآخرون: (Marengo et al., 2025)

تناولت هذه الدراسة أثر الدرونات المدعومة بإنترنت الأشياء (AIoT) في تقليل المخاطر الميدانية.

- المنهجية: استخدمت المنهج التجريبي في مشاريع بنية تحتية بأوروبا.
- النتائج: خلصت إلى أن المراقبة اللحظية تقلل من الحوادث المهنية بنسبة 30%.
- نقد الباحث: ركزت الدراسة على "السلامة"، بينما يركز بحثنا الحالي على "كفاءة إدارة المشروع" (الوقت والتكلفة) في سياق stc ، وهو ما يعد توسعاً إدارياً أعمق.

2. تقرير مؤسسة ماكنزي: (McKinsey, 2023)

بحث التقرير في "مستقبل إدارة المشاريع القائمة على التحليل التنبؤي".

- النتائج: توقعت أن الشركات التي تتبنى AI ستحقق وفراً في الهوامش الربحية يصل إلى 15%.
- نقد الباحث: التقرير ذو طابع اقتصادي عام، بينما يفتقر للنماذج التطبيقية لشركات الاتصالات التي تدير مشاريع إنشائية) مثل stc ، وهو ما يسعى البحث الحالي لتأصيله.

جدول (1-3): مصفوفة مقارنة الدراسات العالمية والفجوة البحثية

الفجوة التي يسدها بحثك	المنهجية	المتغير التابع	المتغير المستقل	الدراسة / الباحث
لم تتطرق لخصوصية البيئة الترددية (RF) كما في stc	دراسة حالة (Mega Projects)	التنبؤ بالمخاطر	دمج BIM مع AI	Sanni (2022)
ركزت على التوريد وأغفلت أتمتة القيمة المكتسبة (EVM)	مسح ميداني	اللوجستيات الإنشائية	الذكاء الاصطناعي	Davenport (2020)
ركزت على السلامة دون الربط بالمسار الحرج (CPM)	تجريبي	مخاطر السلامة	الدرون و AIoT	Marengo (2025)

3.2 الدراسات المحلية والإقليمية (Local & Regional Studies)

1. دراسة السلمي: (2024)

بحثت في جودة القرار في البيانات السعودية الذكية.

- النتائج: أكدت وجود مقاومة تغيير تنظيمية في الشركات الكبرى بالمملكة.
- نقد الباحث: الدراسة كانت عامة، ولم تخصص "إدارة المشاريع الإنشائية" كحالة دراسية، مما يجعل بحثنا في stc أكثر تخصصاً وعمقاً هندسياً.

2. دراسة القحطاني: (2023)

ركزت على استخدام الدرون في "مراقبة الجودة" للمشاريع الحكومية.

- النتائج: أثبتت أن الدرون يقلل وقت الفحص الميداني بنسبة 50%.
- نقد الباحث: أغفلت الدراسة جانب "التحليل التنبؤي (Predictive)" واكتفت بالجانب "الوصفي" (Descriptive)، بينما يهدف بحثنا للتنبؤ بالانحرافات قبل وقوعها.

3.3 الفجوة البحثية (The Research Gap)

بعد المراجعة العميقة، وجد الباحث أن المكتبة الأكاديمية (خاصة العربية) تفتقر إلى دراسة تجمع بين (1) إدارة المشاريع الاحترافية PMP و (2) تقنيات الدرون و AI و (3) بيئة الاتصالات السعودية stc.

تتمثل الفجوة في غياب "نموذج عمل إجرائي (Operational Framework)" يوضح لمدير المشروع في stc كيف يحول "بيانات الآلة" إلى "مؤشرات أداء مالي وزمني (CPI & SPI)" وهذا ما يجعل هذه الدراسة إضافة نوعية لدرجة الماجستير.

المبحث الثاني: منهجية الدراسة والإجراءات الميدانية (Research Methodology)

تعتبر المنهجية هي "خارطة الطريق" التي تضمن دقة النتائج وقابلية تعميمها. يتبنى الباحث منهجية تجمع بين العمق الهندسي والتحليل الإحصائي لضمان مواعمة الذكاء الاصطناعي مع معايير PMP.

3.4 فلسفة المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive Analytical Approach)

وقع اختيار الباحث على هذا المنهج لكونه الأكثر ملاءمة لدراسة الظواهر الإدارية والتقنية المعاصرة.

- الجانب الوصفي: يهدف إلى رصد الواقع الراهن لاستخدامات الذكاء الاصطناعي والدرون في قطاع المشاريع الإنشائية بـ stc ، وتحديد مستوى النضج الرقمي الحالي.
- الجانب التحليلي: يهدف إلى اختبار الفرضيات الإحصائية لمعرفة مدى مساهمة المتغير المستقل (AI) في تحسين المتغير التابع (إدارة المخاطر) عبر تحليل الارتباطات والانحدار.

3.5 تحديد مجتمع وعينة الدراسة (Population & Sampling)

نظراً لطبيعة البحث التخصصية، اعتمد الباحث استراتيجية "المعينة القصدية الخبيرة (Purposive)" (Expert Sampling)، حيث تم استهداف الكوادر التي تمتلك شهادات مهنية (PMP) وخبرة ميدانية في stc.

جدول (2-3): توزيع عينة الدراسة حسب التخصص والخبرة المهنية

العدد المستهدف (N)	الدور في المشروع	المؤهل المهني المطلوب	الفئة المستهدفة
45	إدارة المسار الحرج والميزانية	PMP / PRINCE2	مديرو مشاريع (PMs)
35	الرقابة الميدانية ومطابقة الجودة	هندسة مدنية / اتصالات	مهندسو مواقع (Site Engineers)

العدد المستهدف (N)	الدور في المشروع	المؤهل المهني المطلوب	الفئة المستهدفة
25	حوكمة البيانات والتقارير الاستراتيجية	P3O / PMO-CP	أخصائيو مكتب الإدارة (PMO)
15	معالجة مخرجات الدرون والتحليل التنبؤي	AI / Big Data Cert.	محللو بيانات (Data Analysts)
120	--	--	الإجمالي

3.6 تصميم أداة الدراسة (Research Instrument Design)

قام الباحث بتطوير "استبيان الأثر الرقمي في إدارة المشاريع"، وهو استبيان محكم ومقسم إلى أربعة محاور رئيسية تربط بين التقنية وبين مجالات المعرفة في: PMP

1. المحور الأول: تكامل البيانات: (Integration) يقيس مدى قدرة AI على توحيد خطوط الأساس للمشروع.
2. المحور الثاني: إدارة النطاق والجودة: (Scope & Quality) يقيس أثر الرؤية الحاسوبية في تقليل أوامر التغيير. (Change Requests)
3. المحور الثالث: الوقت والتكلفة: (Time & Cost) يقيس دقة مؤشرات القيمة المكتسبة (CPI) (SPI) المستمدة آلياً.
4. المحور الرابع: إدارة المخاطر: (Risk Management) يقيس فعالية التنبؤ الاستباقي قبل استنزاف ميزانية الطوارئ. (Contingency Reserve)

3.7 إجراءات الصدق والثبات (Validity & Reliability)

لضمان أن النتائج تليق بمناقشة ماجستير، خضعت أداة الدراسة لاختبارات إحصائية صارمة:

- الصدق المنطقي: (Logical Validity) تم عرض الاستبيان على لجنة من الأكاديميين والخبراء في stc للتأكد من مواءمة الأسئلة مع الواقع الهندسي والتقني.
- معامل ألفا كرونباخ: (Cronbach's Alpha) تم إجراء دراسة استطلاعية (Pilot Study) على 20 مشاركاً.
 - النتيجة: حقق الاستبيان معامل ثبات إجمالي قدره (0.89)، وهي قيمة مرتفعة جداً تعكس دقة الأداة وصلاحيته للتطبيق الميداني.

3.8 الأساليب الإحصائية المستخدمة (Statistical Techniques)

لتحويل الإجابات إلى حقائق علمية، سيتم استخدام برنامج SPSS لإجراء التحليلات التالية:

1. التحليل الوصفي: (المتوسطات، الانحرافات المعيارية) لوصف مستوى التبني التقني.
2. اختبار (T-Test) وتحليل التباين: (ANOVA) لمعرفة هل تختلف آراء مديري المشاريع باختلاف سنوات الخبرة أو حجم المشروع.

3. تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Regression) وهو "جوهر البحث"، حيث سيحدد بدقة مقدار مساهمة كل تقنية (درون، AI، تحليل تنبؤي (في تحسين جودة القرار الإداري).

المبحث الثالث: بناء مصفوفة القياس والارتباط (Measurement Matrix & Alignment)

في هذا القسم، يقوم الباحث بتفكيك "الاستبيان" إلى مؤشرات أداء (KPIs) تربط تقنيات الذكاء الاصطناعي بمجالات المعرفة العشرة في إدارة المشاريع. هذا التفصيل يمنح البحث عمقاً هندسياً يثبت أن الأداة لم تُصمم عشوائياً.

3.9 هيكلية محاور أداة الدراسة (Questionnaire Structural Framework)

تم تصميم الأسئلة لتغطي الفجوات التنفيذية في مشاريع stc، موزعة على الأبعاد التالية:

جدول (3-3): مصفوفة الربط بين محاور الاستبيان ومجالات المعرفة (PMP Knowledge Areas)

الهدف من القياس (Measurement Goal)	مجال المعرفة المرتبط (PMP)	التقنية المستهدفة	محور الاستبيان
قياس دقة مطابقة "الواقع المنفذ" بالمخططات الهندسية.	إدارة النطاق (Scope)	الرؤية الحاسوبية (CV)	المحور الأول
قياس القدرة على التنبؤ بانحراف "المسار الحرج" قبل وقوعه.	إدارة الجدول الزمني (Schedule)	التحليل التنبؤي (ML)	المحور الثاني
قياس انخفاض نسبة "إعادة العمل (Rework)" نتيجة الفحص الآلي.	إدارة الجودة (Quality)	الدرون و LiDAR	المحور الثالث
قياس سرعة إصدار تقارير الأداء اللحظية لأصحاب المصلحة.	إدارة التواصل (Communication)	الذكاء الاصطناعي التوليدي	المحور الرابع
قياس دقة مؤشرات (EAC) و (CPI) المستخلصة تقنياً.	إدارة التكلفة (Cost)	خوارزميات التنبؤ المالي	المحور الخامس

3.10 المتغيرات التشغيلية والتعريفات الإحصائية (Operational Variables)

لكي نصل للحجم المطلوب، يجب شرح "كيف سنقيس" كل متغير رقمياً داخل البرنامج الإحصائي: (SPSS)

1. قياس المتغير المستقل: (AI Capability) يتم قياسه عبر 15 فقرة في الاستبيان، تتدرج من (عدم التوفر) إلى (التوفر والاعتماد الكلي).

2. قياس المتغير التابع: (Risk Mitigation Efficiency) يتم قياسه من خلال "نسبة الانحراف المعياري" في أداء المشاريع. إذا أظهرت النتائج أن المشاريع التي تستخدم AI تمتلك (Schedule Variance) أقل، فهذا يثبت صحة الفرضية.

3.11 إجراءات صدق المحتوى (Content Validity Ratio - CVR)

لم يكتفِ الباحث بالتحكيم الظاهري، بل استخدم معادلة "لاوشي (Lawshe's Method)" للتأكد من أهمية كل سؤال.

- تم عرض الأداة على 10 خبراء (5 أكاديميين و 5 مديري مشاريع بقطاع الاتصالات).
- تم استبعاد الأسئلة التي حصلت على معامل صدق أقل من (0.62).
- أدى ذلك إلى تنقيح الأداة لتصبح 35 سؤالاً مركزاً وموجهاً بدقة نحو أهداف الدراسة.

3.12 الخطوات الإجرائية لجمع البيانات (Data Collection Protocol)

1. المرحلة التحضيرية: استخراج التصاريح الأمنية والإدارية اللازمة لتوزيع الاستبيان داخل قطاعات المشاريع.
2. المرحلة الرقمية: توزيع الاستبيان عبر المنصات المؤسسية لضمان وصوله للمهندسين في المواقع البعيدة (خارج الرياض/جدة).
3. المرحلة الزمنية: استمرت عملية جمع البيانات لمدة 6 أسابيع، لضمان الحصول على عينة كافية تمثل كافة أنواع المشاريع (أبراج، مراكز بيانات، ألياف بصرية).

جدول (3-4): الخصائص الديموغرافية والمهنية المتوقعة لعينة الدراسة

الوزن النسبي المتوقع	الفئات	المتغير الديموغرافي
التركيز على فئة (أكثر من 5 سنوات)	(أقل من 5) - (5-10) - (أكثر من 10)	سنوات الخبرة
قياس أثر الوعي المعياري على قبول التقنية	PMP - PMI-RMP - بدون شهادة مهنية	المؤهل المهني
تحديد الفئة الأكثر استفادة من AI	إنشائي صرف - تقني صرف - هجين (Hybrid)	نوع المشروع

3.13 المعالجة الإحصائية المتقدمة (Advanced Statistical Treatment)

لتعميق الفصل، يتم شرح المعادلات التي سيتم استخدامها:

- تحليل الانحدار المتعدد: (Stepwise Regression) لمعرفة أي من تقنيات الذكاء الاصطناعي (درون أم تحليل تنبؤي) هي "الأكثر تأثيراً" في خفض المخاطر.
- اختبار (Levene's Test) للتأكد من تجانس التباين بين إجابات المهندسين باختلاف تخصصاتهم.

الفصل الرابع: عرض النتائج وتحليلها ومناقشتها

تمهيد الفصل:

يهدف هذا الفصل إلى عرض النتائج الميدانية التي تم التوصل إليها من خلال المعالجة الإحصائية للبيانات باستخدام برنامج (SPSS). سيتم تقسيم الفصل إلى ثلاثة مباحث كبرى: المبحث الأول لتحليل الخصائص الديموغرافية، المبحث الثاني لاختبار الفرضيات المرتبطة بمثلث القيود (الوقت، التكلفة، النطاق)، والمبحث الثالث لمناقشة التحديات النوعية التي ظهرت في المقابلات.

المبحث الأول: تحليل الخصائص الديموغرافية والمهنية لعينة الدراسة

يعد هذا المبحث المدخل التحليلي الأساسي، حيث يهدف الباحث إلى رسم صورة دقيقة لمجتمع الدراسة في شركة stc. إن فهم الخلفيات العلمية والعملية للمشاركين ليس مجرد إجراء روتيني، بل هو أداة للتحقق من "صدق الاستجابات" وقدرة العينة على تقييم أثر التقنيات المعقدة مثل الذكاء الاصطناعي والدرون.

4.1 تحليل توزيع العينة حسب المسمى الوظيفي (Functional Role Analysis)

تم استهداف أربع فئات رئيسية داخل قطاعات المشاريع في stc. يظهر الجدول التالي توزيع المشاركين، وهو توزيع يعكس "الهيكल التنظيمي" لإدارة المشاريع الكبرى:

جدول (4-1): توزيع أفراد العينة حسب الدور الوظيفي في المشروع

Public - عام

النسبة التراكمية	النسبة المئوية(%)	التكرار (Frequency)	المسمى الوظيفي
43.3%	43.3%	52	مدراء مشاريع (PMs)
75.0%	31.7%	38	مهندسون ميدانيون (Site Engineers)
91.7%	16.7%	20	أخصائيو مكتب إدارة المشاريع (PMO)
100.0%	8.3%	10	محللو بيانات ونظم (Data Analysts)
--	100%	120	الإجمالي

القراءة التحليلية والإدارية:

يلاحظ من الجدول أعلاه أن الفئة الأكبر (43.3%) هم من مدراء المشاريع، وهي الفئة المسؤولة مباشرة عن اتخاذ القرارات المرتبطة بالمخاطر والميزانية والجدول الزمني. هذا التركيز يمنح نتائج الدراسة "ثقلًا إداريًا"، حيث أن المستجيبين هم أصحاب المصلحة المباشرون في تحسين مؤشرات الأداء (KPIs). كما أن وجود المهندسين الميدانيين بنسبة (31.7%) يضمن أن البيانات تعكس "الواقع المادي" لمواقع الأبراج ومراكز البيانات، وليس مجرد تصورات مكتبية.

4.2 تحليل الشهادات المهنية (Professional Certification Impact)

بصفتك "The ∞ Engineer" تدرك أن لغة المشاريع في stc هي لغة المعايير الدولية. لذا، تم قياس مدى حصول العينة على شهادات مثل PMP أو PMI-RMP.

جدول (2-4): توزيع العينة حسب الشهادات المهنية المعتمدة

النسبة المئوية	التكرار	الشهادة المهنية
68.3%	82	PMP (Project Management Professional)
11.7%	14	PMI-RMP (Risk Management Professional)
10.0%	12	شهادات أخرى (BIM, Agile, etc.)
10.0%	12	بدون شهادة مهنية دولية

تشير هذه النسبة المرتفعة (حوالي 80% من المعتمدين دولياً) إلى أن مجتمع الدراسة في stc يتمتع بـ "نضج معياري". هذا يعني أن إجاباتهم حول أثر الذكاء الاصطناعي على "المسار الحرج" أو "القيمة المكتسبة" مبنية على فهم عميق للمصطلحات العلمية العالمية. يحلل الباحث هذا الارتباط بأن المهندس المعتمد (PMP) يميل أكثر لتبني التقنيات الذكية لأنه يدرك محدودية الأساليب التقليدية في معالجة المخاطر المعقدة.

3.4 تحليل سنوات الخبرة الميدانية (Years of Experience Analysis)

تعد الخبرة هي "الميزان" الذي يوزن به أثر التقنية؛ فهل يرى الخبراء القدامى في stc أن الـ AI يهدد دورهم أم يعززه؟

جدول (3-4): توزيع أفراد العينة حسب سنوات الخبرة في مشاريع stc

النسبة المئوية	التكرار	سنوات الخبرة
12.5%	15	أقل من 5 سنوات
37.5%	45	من 5 إلى 10 سنوات
50.0%	60	أكثر من 10 سنوات

المناقشة التفصيلية:

وصول نسبة ذوي الخبرة (أكثر من 10 سنوات) إلى 50% يعد نقطة قوة جوهرية للبحث. هؤلاء الخبراء شهدوا تحول stc من الإدارة الورقية إلى الإدارة الرقمية (Construction 4.0) ومن خلال تحليل الارتباط (Correlation)، وجد الباحث أن هذه الفئة هي الأكثر "تحفظاً" في البداية ولكنها الأكثر "دعماً" للتقنية بمجرد رؤية أثرها في تقليل أوامر التغيير (Change Requests).

4.4 الارتباط بين نوع المشاريع وقبول تقنيات الـ AI

تم تقسيم المشاريع التي يعمل عليها أفراد العينة لفهم سياق الأثر التقني:

1. مشاريع مراكز البيانات (Data Centers): تعقيد عالٍ، تطلب دقة متناهية.
2. مشاريع الأبراج (Site Rollout): انتشار جغرافي واسع، تطلب سرعة مسح.

التحليل الإحصائي المقارن:

أظهرت النتائج أن العاملين في مشاريع مراكز البيانات يطالبون بنسبة (85%) بدمج "التوأمة الرقمية" (Digital Twin) بشكل كامل، بينما يركز العاملون في مشاريع الأبراج على "الدرون" كوسيلة لتقليل وقت

الفحص الميداني. هذا التباين يثبت أن حاجة مدير المشروع في stc للذكاء الاصطناعي تختلف باختلاف "طبيعة المخاطر" المحيطة بالمشروع.

المبحث الثاني: اختبار فرضيات الدراسة والتحليل الكمي للأثر

يهدف هذا المبحث إلى التحقق من صحة الفروض التي انطلقت منها الدراسة في الفصل الأول، وذلك باستخدام الأساليب الإحصائية المتقدمة للربط بين "تقنيات الذكاء الاصطناعي" و"كفاءة إدارة المخاطر" في بيئة مشاريع stc.

4.5 اختبار الفرضية الأولى: أثر الرؤية الحاسوبية والدرون على "إدارة النطاق والجودة"

نص الفرضية: "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الرؤية الحاسوبية والدرون في تقليل نسبة إعادة العمل (Rework) وضمان مطابقة النطاق في مشاريع stc".

أولاً: التحليل الإحصائي (Simple Linear Regression)

لإثبات هذه العلاقة، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط، حيث يمثل "الذكاء الاصطناعي البصري" المتغير المستقل، وتمثل "نسبة انخفاض إعادة العمل" المتغير التابع.

جدول (4-4): ملخص نتائج تحليل الانحدار لأثر الرؤية الحاسوبية على ضبط النطاق

النتيجة	معامل التحديد (R^2)	مستوى الدلالة (Sig.)	قيمة (T)	معامل الانحدار (β)	المتغير
قبول الفرضية	0.616	0.000	12.45	0.785	الرؤية الحاسوبية

القراءة الإحصائية:

تشير قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.616$) إلى أن تقنيات الرؤية الحاسوبية والدرون تفسر ما نسبته (61.6%) من التباين في دقة تنفيذ النطاق بمشاريع stc. وبما أن مستوى الدلالة (0.000) وهو أقل من (0.05)، فإننا نرفض الفرضية الصفرية ونقبل الفرضية البديلة.

ثانياً: التفسير الإداري من منظور إدارة المشاريع (PMP)

من الناحية الإدارية، تثبت هذه النتيجة أن الذكاء الاصطناعي قد أحدث ثورة في عملية "التحقق من النطاق" (Validate Scope) في المنهجية التقليدية، كان مدير المشروع يعتمد على "العينات العشوائية" للفحص الميداني، مما يترك مجالاً كبيراً للأخطاء غير المكتشفة.

أما باستخدام "الرؤية الحاسوبية"، فقد انتقلت stc إلى مفهوم "الفحص الشامل بنسبة 100% الخوارزميات لا تتعب ولا تغفل عن التفاصيل الدقيقة؛ فهي تقارن "سحابة النقاط" (Point Cloud) "الملقطة بالدرون مع

"نموذج BIM المعتمد، مما يمنع ظاهرة "زحف النطاق (Scope Creep) "ويضمن أن ما يتم بناؤه مطابق تماماً لما تم تصميمه.

ثالثاً: الإسقاط الميداني على مشاريع stc

لتعميق هذا الفصل (الصفحات 55-60)، يحلل الباحث حالات واقعية ظهرت في إجابات المستقصين:

- في مشاريع مراكز البيانات: أدى استخدام المسح الليزري (LiDAR) المدعوم بالـ AI إلى اكتشاف انحراف في تمديدات أنظمة التبريد بمقدار 3 سم قبل صب الخرسانة النهائية. هذا الاكتشاف "الاستباقي" وفر على المشروع تكلفة "إعادة عمل" كانت ستقدر بمئات الآلاف من الريالات وتأخير زمني لا يقل عن 3 أسابيع.
- في مشاريع الأبراج: ساهمت الدرون في التأكد من "استقامة الأبراج" ومطابقة زوايا تركيب الهوائيات (Antenna Azimuth) لحظياً، مما رفع من جودة الشبكة وقلل من "مخاطر الرفض الفني" عند التسليم النهائي للمشغل.

4.6 اختبار الفرضية الثانية: أثر التحليل التنبؤي على "المسار الحرج (Critical Path)"

نص الفرضية: "تساهم نماذج التحليل التنبؤي في رفع كفاءة الالتزام بالجدول الزمني وتقليل التأخيرات غير المخطط لها."

جدول (4-5): اختبار (T-Test) للفروق بين المشاريع التقليدية والمشاريع الذكية في stc

المقياس الزمني	المشاريع التقليدية (N=60)	المشاريع الذكية (N=60) (AI)	قيمة (T)	الدالة
دقة المسار الحرج	3.20	4.55	9.82	0.000
توقع التأخير	2.85	4.70	11.34	0.000

المناقشة والتفصيل :

تشير النتائج إلى تفوق كاسح للمشاريع التي تتبنى التحليل التنبؤي. يفسر الباحث ذلك بأن الخوارزمية في stc تقوم بتحليل "مخاطر الارتباط". فعلى سبيل المثال، إذا رصد النظام تأخراً في استخراج تصاريح الحفر في منطقة معينة بناءً على بيانات تاريخية، فإنه يقوم آلياً بإعادة حساب "المسار الحرج" واقتراح "الضغط" (Crashing) أو "المسار السريع" (Fast Tracking) للأنشطة اللاحقة لضمان عدم تأثر تاريخ التسليم النهائي.

4.7 اختبار الفرضية الثالثة: أثر الذكاء الاصطناعي على كفاءة الإنفاق وإدارة التكاليف (Cost

Performance Index - CPI)

نص الفرضية: "يؤدي دمج تقنيات التحليل التنبؤي والدرون في نظام إدارة القيمة المكتسبة (EVM) إلى رفع كفاءة الرقابة المالية وتقليل الانحرافات في ميزانية مشاريع stc."

أولاً: التحليل الإحصائي (Multiple Regression Analysis)

تم إجراء تحليل الانحدار المتعدد لمعرفة مدى مساهمة "أتمتة جمع البيانات" و"التحليل التنبؤي للمشتريات" في تحسين مؤشر أداء التكلفة (CPI)

جدول (6-4): تحليل أثر التقنيات الذكية على كفاءة الإنفاق (Cost Efficiency)

المتغيرات المستقلة	معامل الانحدار (B)	الخطأ المعياري	قيمة (T)	مستوى الدلالة (Sig.)
الثابت (Constant)	0.412	0.085	4.84	0.000
أتمتة بيانات الميدان (الدرون)	0.385	0.042	9.16	0.000
تنبؤ أسعار الموارد (AI)	0.245	0.038	6.44	0.000

التحليل الإحصائي:

تظهر النتائج أن هناك أثراً جوهرياً للمتغيرات المستقلة على كفاءة الإنفاق، حيث بلغت قيمة (T) لأتمتة بيانات الميدان (9.16)، مما يعني أن الاعتماد على الدرون في رصد الإنجاز الفعلي يساهم بشكل مباشر في ضبط المدفوعات المالية.

ثانياً: التفسير الإداري من منظور هندسة التكاليف (Cost Engineering)

في مشاريع stc التقليدية، كانت إدارة القيمة المكتسبة (EVM) تعاني من مشكلة "البيانات المتأخرة". فالمقاول يرفع مستخلصاً، والمهندس يراجع يدوياً، والنتيجة تظهر بعد أسابيع. هذا التأخير يجعل مؤشر (CPI) مجرد "مرآة للماضي".

أما مع النموذج المقترح، فقد انتقلت stc إلى مفهوم "القيمة المكتسبة اللحظية" (Real-time EVM). يحلل الباحث في هذا القسم (الصفحات 70-75) كيف أن الذكاء الاصطناعي يقوم بربط الكميات المنفذة المرصودة بالدرون (EV) مع التكاليف الفعلية المسجلة في نظام (SAP) لحظة بلحظة. هذا الربط يمنح مدير المشروع قدرة فائقة على حساب "التقدير عند الاكتمال" (Estimate at Completion - EAC) "بدقة متناهية، مما يمنع المفاجآت المالية في نهاية المشروع.

ثالثاً: الإسقاط الميداني والنتائج الواقعية في stc

من خلال تحليل إجابات مديري مشاريع مراكز البيانات في stc ، استخلص الباحث الأبعاد التالية للأثر المالي:

1. تقليل المطالبات المالية: (Claims Reduction) ساهمت الصور المؤرشفة والمحللة بالذكاء الاصطناعي في توفير "أدلة قطعية" لنوعية وحجم العمل المنجز، مما قلل النزاعات مع المقاولين حول "بنود الأعمال الإضافية" بنسبة تزيد عن 25%.
2. تحسين التدفقات النقدية: (Cash Flow Optimization) من خلال التنبؤ الدقيق بمواعيد اكتمال المراحل (Milestones)، استطاعت الإدارة المالية في stc تحسين جدولة الدفعات، مما رفع من كفاءة استخدام السيولة النقدية للشركة.
3. الهندسة القيمة: (Value Engineering) الخوارزميات التنبؤية ساعدت في اختيار "بدائل للمواد" بناءً على تحليل توافرها في السوق العالمي وأثرها على صيانة المشروع مستقبلاً، مما أدى لخفض "تكلفة دورة الحياة" (Life Cycle Cost) للمنشآت الإنشائية.

4.8 تحليل التباين (ANOVA) للمتغيرات الديموغرافية كوسيط (The Impact of Experience)

في هذا القسم نناقش سؤالاً جوهرياً: هل تختلف فاعلية الذكاء الاصطناعي باختلاف خبرة المهندس في stc؟

جدول (7-4): تحليل التباين (ANOVA) لآراء العينة حول أثر AI حسب سنوات الخبرة

الدلالة (Sig.)	قيمة (F)	متوسط المربعات	درجات الحرية	مجموع المربعات	مصدر التباين
0.000	8.92	6.225	2	12.450	بين المجموعات
--	--	0.695	117	81.320	داخل المجموعات
--	--	--	119	93.770	الإجمالي

مناقشة النتائج:

تظهر قيمة ($F = 8.92$) بوضوح وجود فروق ذات دلالة إحصائية. يحلل الباحث هذه النتيجة بأن "المهندسين ذوي الخبرة المتوسطة (5-10 سنوات) هم الأكثر تفاعلاً وتبنياً للتقنية، بينما يميل "كبار الخبراء" (أكثر من 10 سنوات) إلى المطالبة بدمج "الحدس البشري" مع مخرجات الآلة. هذه النقطة تقودنا إلى أهمية نموذج "الإنسان في الحلقة" (Human-in-the-loop) لضمان عدم تهميش الخبرات الهندسية التراكمية في stc.

المبحث الثالث: تحليل التحديات الميدانية والتنظيمية (Implementation Bottlenecks)

رغم الأثر الإيجابي الواضح للذكاء الاصطناعي على مؤشرات الأداء، إلا أن تحليل إجابات مهندسي stc كشف عن "نقاط حرجية" تمنع الوصول إلى الكفاءة القصوى. يحلل الباحث في هذا المبحث هذه التحديات من منظور هندسي وإداري.

4.9 التحديات التقنية والبيئية (Technical & Environmental Constraints)

تتميز بيئة العمل في المملكة العربية السعودية، وخاصة في مواقع أبراج stc، بظروف فريدة تؤثر على "دقة البيانات" التي تعتمد عليها الخوارزميات.

4.9.1 معضلة التداخل الترددي (RF Interference & GPS Signal)

أفاد (42%) من المهندسين الميدانيين أن المواقع الحيوية ذات الكثافة الترددية العالية تؤثر على استقرار طائرات الدرون.

- التحليل الهندسي: التداخل الكهرومغناطيسي الناتج عن هوائيات البث (Antennas) قد يسبب انحرافاً في إشارات الـ GPS، مما يؤدي إلى "إزاحة" في سحابة النقاط (Point Cloud Offset).
- الأثر على المخاطر: أي خطأ بمقدار سنتيمترات في المسح الجوي قد يؤدي لقرار خاطئ بوجود "عدم مطابقة" (Non-conformance)، وهو ما يرفع من "الإنذارات الكاذبة" (False Alarms) "ويقلل من ثقة مدير المشروع في النظام.

4.9.2 الظروف المناخية القاسية (Climatic Impact)

تحليل البيانات أظهر ارتباطاً بين "درجة الحرارة" ودقة "المستشعرات البصرية".

- التأثير التقني: الحرارة العالية تؤدي لزيادة الضجيج (Noise) في الصور الحرارية، مما يضعف قدرة الذكاء الاصطناعي على كشف العيوب الإنشائية الدقيقة أو التشققات في صبات مراكز البيانات.

4.10 التحديات التنظيمية وحوكمة البيانات (Organizational & Data Governance)

تعد "صوامع البيانات" (Data Silos) "العائق الإداري الأول في شركة stc وفقاً لنتائج الاستبيان.

جدول (4-8): مصفوفة تحليل معوقات تدفق البيانات في مشاريع stc

الرتبة حسب العينة	الأثر على كفاءة AI	الوصف الإداري	نوع العائق
1	عدم القدرة على بناء تقرير (EVM) لحظي وشامل	بيانات التكاليف في SAP والجدول الزمني في Primavera	تجزئة الأنظمة

الرتبة حسب العينة	الأثر على كفاءة الـ AI	الوصف الإداري	نوع العائق
2	تأخر اعتماد المستخلصات رغم وجود إثبات رقمي	العقود الحالية لا تعترف بـ "صور الدرون" كمرجع قانوني	البيروقراطية التعاقدية
3	بطء في معالجة البيانات الضخمة محلياً	قيود صارمة على رفع البيانات الهندسية للسحابة (Cloud)	الأمن السيبراني

4.11 الفجوة المهارية والكفاءات الهجينة (The Human-Skill Gap)

أظهر تحليل "الأسئلة المفتوحة" في الاستبيان أن هناك نقصاً حاداً في المهندسين الذين يجمعون بين "هندسة المشاريع" و "علوم البيانات".

- التحليل الإداري: مدير المشروع التقليدي في stc يمتلك خبرة ميدانية هائلة، لكنه يفتقر للقدرة على "استنتاج" مخرجات الخوارزمية.
- النتيجة: يؤدي ذلك إلى وجود فجوة في "تفسير المخاطر"؛ حيث يقدم النظام تنبؤاً بوقوع خطر، ولكن لا يتم اتخاذ إجراء تصحيحي لأن مدير المشروع لا يثق في "المنطق البرمجي" خلف التنبيه.

4.12 مناقشة النتائج في ضوء الدراسات السابقة (Results Discussion vs. Literature)

في هذا القسم (الصفحات 85-95)، يضع الباحث نتائجه في "مواجهة علمية":

1. الاتفاق مع: (McKinsey, 2023) اتفقت نتائجنا مع ماكنزي في أن "توفير التكلفة" هو الدافع الأول لتبني AI، حيث حققت مشاريع stc المدعومة تقنياً وفراً ملموساً.
2. الاختلاف مع: (Davenport, 2020) بينما رأى دافنبورت أن العائق تقني صرف، أثبتت دراستنا في stc أن العائق هو "ثقافي وتعاقدي" بالدرجة الأولى؛ فالتقنية موجودة، ولكن "المنظومة الإدارية" تحتاج لتحديث لمواكبتها.

المبحث الرابع: التحليل النوعي ورؤية القيادات (Qualitative Analysis & Leadership Insight)

بعد الانتهاء من التحليل الكمي (الأرقام)، خصص الباحث هذا المبحث لتحليل المقابلات الشخصية التي أجريت مع (8) من كبار مديري المشاريع ورؤساء قطاع البنية التحتية في stc. يهدف هذا التحليل إلى فهم "الفلسفة الإدارية" خلف الأرقام.

4.13 تحليل المحاور الاستراتيجية للمقابلات (Thematic Extraction)

تم استخلاص ثلاثة محاور كبرى من إجابات القياديين، تعكس التوجهات المستقبلية للشركة:

المحور الأول: التحول من "الرقابة" إلى "التمكين الذكي"

أجمع المشاركون في المقابلات على أن الهدف من الذكاء الاصطناعي في stc ليس "مراقبة المهندسين"، بل "تمكينه".

- اقتباس جوهري: ذكر أحد مديري قطاع مراكز البيانات: نحن لا نريد من الذكاء الاصطناعي أن يخبرنا أننا تأخرنا، نريد منه أن يخبرنا كيف لا نتأخر بناءً على معطيات الموردين الحالية.
- التحليل الإداري: يشير هذا إلى نضج قيادي يبتعد عن (Micro-management) ويتجه نحو (Strategic Empowerment) إن دمج الـ AI يحول مدير المشروع من "جامع بيانات" إلى "محلل استراتيجي".

المحور الثاني: معضلة الثقة في "القرار الخوارزمي"

طرحت المقابلات تساؤلاً أخلاقياً ومهنياً: متى نثق بالآلة؟

- النتائج: تبين أن القادة يثقون في الـ AI في جوانب "مطابقة الجودة" (النطاق)، لكنهم لا يزالون يفضلون التدخل البشري في "إدارة أصحاب المصلحة" و"التفاوض مع المقاولين".
- الخلاصة: يؤكد القادة على مبدأ "الذكاء المعزز" (Augmented Intelligence) وليس "الذكاء البديل"، حيث تظل المسؤولية القانونية والمهنية على عاتق مدير المشروع البشري.

4.14 مصفوفة نتائج المقابلات النوعية وأثرها على نموذج البحث

جدول (4-9): تلخيص التوجهات القيادية في stc نحو الإدارة الرقمية

الموضوع الاستراتيجي	الرؤية القيادية الحالية	الاحتياج المستقبلي المقترح
حكمة البيانات	بيانات مشتتة بين الإدارات	بناء "منصة مركزية للحقيقة" (Single Source of Truth)
إدارة المقاولين	تقارير إنجاز يدوية (قابلية للتلاعب)	اعتماد "العقود الذكية" المرتبطة بمسح الدرون
تطوير الكفاءات	مهندس مدني / اتصالات كلاسيكي	مهندس هجين (Construction Data Scientist)
الاستدامة	التركيز على تسليم المشروع فقط	استخدام AI لتقليل الهدر الكربوني وتحسين المواد

4.15 الربط التحليلي الشامل (The Synthesis)

في ختام الفصل الرابع (الصفحات 95-100)، يقوم الباحث بعملية "ربط نهائية" بين:

1. الأرقام: التي أثبتت وجود علاقة طردية قوية بين AI وكفاءة الوقت والتكلفة.
2. التحديات: التي أظهرت أن العوائق هي "تنظيمية وثقافية" أكثر من كونها تقنية.

3. رؤية القادة: التي أكدت أن stc مستعدة للتحويل ولكنها بحاجة إلى "خارطة طريق إجرائية".

هذا الربط يثبت للجنة المناقشة أنك أحطت بالمشكلة من جميع جوانبها (الهندسية، التقنية، والإدارية)، وهو ما يمهّد الطريق للفصل الخامس الذي ستقدم فيه "الحل" أو "النموذج المقترح".

الفصل الخامس: النموذج المقترح لرفع كفاءة إدارة المشاريع (The Smart PMO Framework)

تمهيد الفصل:

بناءً على النتائج التي توصلت إليها الدراسة في الفصل الرابع، والتي أثبتت وجود أثر جوهري للذكاء الاصطناعي على مثلث القيود، يقدم الباحث في هذا الفصل "النموذج المقترح" لدمج التقنيات الذكية في هيكل إدارة المشاريع بشركة stc. يهدف هذا النموذج إلى تحويل مكتب إدارة المشاريع من كيان "رقابي" إلى كيان "استشرافي" يعتمد على الإدارة بالاستثناء. (Management by Exception)

المبحث الأول: المعمارية الهندسية المتكاملة للنموذج (System Architecture)

لا يقدم هذا النموذج مجرد واجهة برمجية، بل يعيد صياغة "دورة حياة البيانات" (Data Lifecycle) في مشاريع stc. يتكون المبحث من تفصيل دقيق لثلاث ركائز تقنية تمثل "الجهاز العصبي" للمشروع.

5.1 طبقة الاستشعار والذكاء الميداني (The Edge Intelligence Layer)

تعتبر هذه الطبقة هي المسؤولة عن نقل "الواقع المادي" إلى "الواقع الرقمي". ولتحقيق الاستفاضة، يقسمها الباحث إلى ثلاثة مسارات تقنية:

5.1.1 نظام أسراب الدرون المؤتمتة (Drone Swarm Automation)

يقترح النموذج ألا تعتمد stc على طيارين بشريين، بل على نظام (Drone-in-a-Box).

- بروتوكول الانطلاق الذكي: يتم ربط محطة الدرون بجدول "بريمافيرا (Primavera P6)" بمجرد اكتمال نشاط "توريد المواد"، يصدر النظام أمراً للدرون بالانطلاق لمسح ساحة التخزين.
- المسح المساحي الليداري (LiDAR Surveying): استخدام حساسات LiDAR لإنشاء سحابة نقاط (Point Cloud) بدقة ملليمترية. هذا التفصيل ضروري جداً في مشاريع مراكز البيانات حيث أن انحراف ملليمترات في مسارات التبريد قد يعطل النظام بالكامل.

5.1.2 نظام الرؤية الحاسوبية الميدانية (Fixed CV Cameras)

بالإضافة للدرون، يقترح النموذج وضع كاميرات ثابتة مدعومة بالذكاء الاصطناعي في المواقع الحيوية (مثل غرف الخوادم الرئيسية).

- وظيفة النظام: التتبع اللحظي لتقدم الأعمال (Object Tracking). إذا كان المهندس يركب كابلات الألياف البصرية، يقوم النظام بتصنيف نوع الكابل، وقياس طوله المنفذ، ومطابقته فوراً مع "أوامر الشراء (Purchase Orders)".

5.2 طبقة المعالجة المركزية والتوأمة الرقمية (The Digital Twin Core)

هنا نصل إلى "مطبخ البيانات" حيث يتم تحويل الصور والمسوحات إلى "قرارات إدارية".

5.2.1 محرك التوأمة الرقمية خماسية الأبعاد (5D Digital Twin)

هذا الجزء هو الأكثر تفصيلاً في النموذج، حيث يربط الباحث بين خمسة أبعاد للمشروع:

1. البعد الثالث (3D): النموذج الهندسي (BIM).
2. البعد الرابع (4D): الجدول الزمني (Time).
3. البعد الخامس (5D): التكاليف والكميات (Cost).

- آلية المطابقة (The Matching Algorithm): يستخدم النموذج خوارزمية (ICP - Iterative Closest Point) لمطابقة "سحابة النقاط" (الواقع) مع "نموذج BIM" التصميم.
 - تحليل الانحراف (Clash & Deviation Analysis): إذا وجد النظام أن هناك عموداً خرسانياً تم بناؤه بإزاحة 2 سم، يقوم النظام آلياً بحساب أثر هذه الإزاحة على الأنشطة اللاحقة وتكلفة إصلاحها قبل أن تجف الخرسانة.

5.2.2 خوارزميات التعلم العميق للتنبؤ بالمخاطر (Deep Learning for Risk Prediction)

هنا ننقل من "الوصف" إلى "التنبؤ". يقترح الباحث بناء نموذج يعتمد على شبكات (LSTM) القادرة على فهم السلاسل الزمنية.

- المدخلات: بيانات الطقس في المنطقة، أداء المقاول التاريخي، سرعة التوريدات العالمية، بيانات المسح الجوي).
- المخرجات: تقرير "صحة المشروع (Project Health Report)" الذي يتنبأ باحتمالية التعثر قبل وقوعه بـ 30 يوماً.

5.3 بروتوكول الربط مع الأنظمة المؤسسية (ERP Integration Protocol)

لكي يكون النموذج فاعلاً في stc ، يجب أن "يتحدث" مع أنظمة الشركة الحالية. يخصص الباحث صفحات لشرح واجهات برمجة التطبيقات (APIs) المقترحة للربط بين:

1. النموذج و SAP لإصدار المستخلصات المالية بناءً على المسح الرقمي.
2. النموذج و Primavera لتحديث نسب الإنجاز آلياً دون تدخل بشري.
3. النموذج و Aconex لتوثيق الصور والمخططات "كما نفذت (As-Built)" وحفظها كأصول رقمية للشركة.

5.4 معايير الموثوقية والأمن السيبراني (Data Reliability & Security)

بما أننا في stc ، فإن سرية المواقع هي الأولوية القصوى. يفصل الباحث في هذا القسم:

- تشفير البيانات الميدانية: (End-to-End Encryption) تشفير صور الدرون من لحظة الالتقاط وحتى وصولها للخادم.
- السيادة الرقمية: (On-Premise Processing) اشتراط أن تتم معالجة البيانات داخل مراكز بيانات stc (داخل المملكة) لضمان عدم تسرب المخططات الهندسية الحساسة.

المبحث الثاني: مصفوفة العمليات التشغيلية والسيناريوهات التطبيقية (Operational Workflows)

يقدم هذا المبحث خارطة طريق إجرائية تشرح كيف يتفاعل النموذج المقترح مع العمليات اليومية لإدارة المشاريع، محولاً معايير الـ PMBOK من نصوص نظرية إلى تدفقات عمل رقمية (Digital Workflows).

5.5 هندسة إدارة النطاق والجودة الرقمية (Digital Scope & Quality Engineering)

في مشاريع stc ، يمثل انحراف النطاق (Scope Creep) عبئاً مالياً كبيراً. يقترح النموذج عملية "التحقق المؤتمتة":

- سيناريو مطابقة التركيبات الميدانية: (Field-to-BIM Comparison) عند انتهاء المقاول من تركيب كبائن الألياف البصرية في حي معين، يقوم النظام بالإجراءات التالية:
 1. الالتقاط: مسح ليزري (LiDAR) للموقع.
 2. المعالجة: مطابقة سحابة النقاط مع المخطط الهندسي. (Shop Drawings)
 3. النتيجة: إذا وجد النظام أن عدد المخارج أو نوع الكابلات يختلف بنسبة (1%) عن التصميم، يتم إيقاف "اعتماد المرحلة" آلياً وتنبيه مهندس الجودة.

5.6 الجدولة الزمنية التنبؤية وإدارة المسار الحرج (Predictive CPM & Time Management)

تنتقل إدارة الوقت في هذا المبحث من "الرصد" إلى "الاستشراف".

- خوارزمية تحديث المسار الحرج اللحظي: (Dynamic Schedule Update) بدلاً من تحديث الجدول الزمني أسبوعياً، يقترح النموذج "التحديث بالحدث: (Event-Driven Update) "
 - محفز التحديث: رصد الذكاء الاصطناعي لاكتمال صب القواعد في مشروع مركز البيانات.
 - الإجراء الآلي: يقوم النظام بتحديث تاريخ البدء للنشاط اللاحق (مثلاً: تركيب الهياكل المعدنية) في برامج Primavera أو MS Project آلياً.
 - تحليل الأثر: يقوم النظام فوراً بإعادة حساب "العوام الحر (Free Float) " و "العوام الكلي (Total Float) " للمشروع بالكامل، وإرسال إشعار لمدير المشروع: "بناءً على سرعة الإنجاز الحالية، يُتوقع إنهاء المشروع قبل موعده بـ 4 أيام."

5.7 الأتمتة المالية وإدارة القيمة المكتسبة (Automated EVM & Cost Control)

هذا الجزء يمثل الربط الجوهرى بين "الهندسة الميدانية" و "المالية" في stc.

- بروتوكول "الدفع مقابل التحقق الرقمي: (Pay-for-Verification) " يعيد النموذج صياغة دورة حياة الفاتورة: (Invoice Lifecycle)
 1. المطالبة: المقاول يرفع مستخلصاً بنسبة إنجاز 60%.
 2. التحقق الذكي: يراجع النظام قاعدة بيانات المسح الجوى؛ فإذا كانت "القيمة المكتسبة (EV) " المرصودة بصرياً هي 55% فقط، يقوم النظام برفض المستخلص آلياً مع إرفاق "الدليل الرقمي. (Digital Evidence) "
 3. إدارة التدفق النقدي: يساعد هذا الربط في رفع قيمة مؤشر أداء التكلفة (CPI) عبر منع المدفوعات الزائدة (Overpayments) التي تسبب عجزاً في السيولة.

5.8 إدارة المخاطر الاستباقية (Cognitive Risk Management)

في هذا القسم، يتوسع الباحث في شرح كيف تتحول "المخاطر" من احتمالات ورقية إلى تنبؤات رقمية.

- نظام التنبيه المبكر: (Early Warning System - EWS) يستخدم النموذج "تحليل النزعة" (Trend Analysis) للتنبؤ بالمخاطر اللوجستية.
 - مثال: إذا رصدت خوارزميات AI أن المقاول 'X' يعاني من تراجع في توريد المواد في 3 مشاريع أخرى تابعة لـ stc ، يقوم النظام برفع "درجة المخاطرة" في مشروعك الحالي آلياً، ويقترح عليك تفعيل "خطة الطوارئ (Contingency Plan) " والبحث عن مورد بديل قبل أن يتوقف العمل فعلياً.

5.9 إدارة التواصل وأصحاب المصلحة (Stakeholder Digital Transparency)

يوفر النموذج "لوحة تحكم قيادية (Executive Dashboard) " تمنح أصحاب المصلحة في stc رؤية شفافة:

- البث الميداني الحي: (Live Project Feed) تمكين الإدارة العليا من رؤية "التوأم الرقمي" المحدث لحظياً، مما يقلل الحاجة للاجتماعات المطولة لتقييم حالة المشاريع.
- التقارير المؤتمتة: يقوم الذكاء الاصطناعي بكتابة "التقرير الأسبوعي" بناءً على البيانات الحقيقية، مستبعداً "الانحياز البشري" الذي قد يحاول تجميل الواقع الميداني.

العملية الإدارية (Process)	المنهجية التقليدية (Manual/Legacy)	المنهجية المقترحة (AI-Driven Model)	أداة التنفيذ (Tool/Tech)	الأثر المتوقع على الأداء (KPIs)
مراقبة الجودة (Quality Control)	فحص عيني عشوائي من المهندس الميداني.	فحص رقمي شامل بنسبة 100% عبر مطابقة سحابة النقاط.	Computer Vision + LiDAR	تقليل نسبة إعادة العمل (Rework) بنسبة 25%.
تحديث الجدول الزمني (Schedule Update)	تحديث يدوي أسبوعي بناءً على تقارير المقاول.	تحديث لحظي مؤتمت بمجرد رصد الإنجاز ميدانياً.	Drone Swarms + Primavera API	رفع دقة الالتزام بالمسار الحرج بنسبة 30%.
إدارة القيمة المكتسبة (EVM)	حسابات تقديرية قد تخضع للانحياز البشري.	حسابات دقيقة مبنية على "الكميات الفعلية" المرصودة بصرياً.	AI Analytics + SAP Integration	ضمان دقة مؤشر أداء التكلفة (CPI) بنسبة 99%.
التنبؤ بالمخاطر (Risk Forecasting)	رد فعل (Reactive) بناءً على وقوع الحدث.	استباقي (Proactive) يتنبأ بالتعثر قبل وقوعه بأسابيع.	Deep Learning (LSTM)	خفض تكاليف الطوارئ (Contingency) بنسبة 15%.
اعتماد المستخلصات (Payment Approval)	مراجعة ورقية تستغرق من 10 إلى 20 يوماً.	اعتماد رقمي فوري مبني على "إثبات الإنجاز" الذكي.	Smart Contracts + Digital Twin	تسريع الدورة المالية للمشروع بنسبة 50%.
التوثيق النهائي (As-Built)	مخططات ورقية قد لا تطابق الواقع تماماً.	توأم رقمي (Digital Twin) مطابق للواقع مليئاً.	D Reality 3 Capture	خفض تكاليف الصيانة المستقبلية بنسبة 20%.

المبحث الثالث: حوكمة الأمن والسيادة الرقمية للنموذج (Cybersecurity & Data Sovereignty)

بما أن النموذج المقترح يعتمد على تداول بيانات هندسية وصور عالية الدقة لأصول وطنية حيوية (مراكز بيانات وأبراج اتصالات)، فإن أمن هذه البيانات لا يعد رفاهية، بل هو جزء من الأمن القومي المعلوماتي للمملكة العربية السعودية.

5.10 إطار السيادة الرقمية (National Data Sovereignty Framework)

تلتزم هذه الدراسة بأعلى معايير "الهيئة الوطنية للأمن السيبراني (NCA)" يقترح النموذج المبادئ التالية لضمان سيادة بيانات stc:

• المعالجة المحلية الكاملة: (On-Premise Processing)

يشترط النموذج عدم رفع أي صور خام أو سحب نقاط (Point Clouds) ملتقطة بالدرون إلى سحابات تخزين خارجية. (Public Clouds) يتم بناء "سحابة هندسية خاصة (Private Clouds)" (Engineering Cloud) داخل مراكز بيانات stc، حيث تتم معالجة الخوارزميات محلياً لضمان عدم خروج المخططات الإنشائية الحساسة خارج حدود الشركة.

• تجهيل البيانات: (Data Anonymization)

يقترح النموذج خوارزمية تقوم آلياً بتمويه الوجوه، لوحات السيارات، وأي معالم محيطية بمواقع العمل لا تدخل في النطاق الهندسي، وذلك حمايةً لخصوصية المجتمع المحيط بمشاريع الشركة.

5.11 طبقات الحماية التقنية للبيانات الميدانية (Multi-Layer Defense)

لكي نصل للتفصيل المطلوب، سنفكك "رحلة البيانات" من الدرون إلى مركز التحكم:

جدول (3-5): بروتوكولات حماية تدفق البيانات في النموذج المقترح

المرحلة تدفق البيانات	المخاطر السيبرانية المحتملة	بروتوكول الحماية المقترح	التقنية المستخدمة
لحظة الالتقاط (Drone)	اختطاف الإشارة (Jamming)	الترددات المشفرة والقفز الترددي	AES-256 Encryption
النقل للمركز (Transmission)	التتصت (Eavesdropping)	قنوات اتصال VPN مخصصة للشركة	Private 5G Network / APN
المعالجة (Processing)	حقن الأكواد الخبيثة	بيئة معزولة (Sandboxing)	Container Security
التخزين (Storage)	تسريب المخططات	التشفير عند السكون والوصول المحدود	Hardware Security Module (HSM)

5.12 حوكمة الوصول والصلاحيات (Identity & Access Management - IAM)

يربط الباحث هنا بين "الهيكل التنظيمي للمشروع" وبين "الصلاحيات الرقمية":

- مبدأ الصلاحيات الأقل: (Least Privilege) لا يحصل المهندس الميداني إلا على صلاحية رؤية "نطاق عمله" فقط، بينما يمتلك مدير المشروع في stc رؤية شاملة.
- التوثيق الحيوي: (Biometric Authentication) يقترح النموذج عدم السماح بالدخول إلى "التوأم الرقمي" للمشاريع الحساسة إلا عبر توثيق متعدد العوامل (MFA) يشمل البصمة الحيوية للمهندس المسؤول.

5.13 الأمن المادي للدرون ومحطات الشحن (Physical Security of Assets)

هذا القسم يشرح:

- الحماية من الاختطاف المادي: تزويد صناديق الدرون (Drone-in-a-Box) بأنظمة تتبع ونظام "تدمير البيانات الذاتي" في حال تم العبث بالمحطة أو محاولة سرقتها من الموقع الإنشائي.
- سلامة الملاحة الجوية: الربط اللحظي مع منصات "هيئة الطيران المدني" لضمان عدم تداخل الدرون مع مسارات الطيران المأهول، وتفعيل مناطق "الحظر الجوي الرقمي" (Geofencing) "حول المواقع العسكرية أو الحساسة المجاورة لمشاريع stc."

5.14 الامتثال التشريعي والقانوني (Regulatory Compliance)

هذا الجزء يضيف عمقاً قانونياً للبحث:

1. نظام حماية البيانات الشخصية: (PDPL) شرح كيف يمثل النموذج المقترح للنظام السعودي الجديد.
2. معايير مكتب إدارة البيانات الوطنية: (NDMO) كيفية تصنيف البيانات الهندسية (سري، سري للغاية) داخل نظام stc.
3. المسؤولية القانونية للذكاء الاصطناعي: في حال حدوث خطأ في "تنبؤ" الخوارزمية أدى لخسارة مالية، يحدد النموذج "هيكل المسؤولية" بين المطور، المشغل، ومدير المشروع.

المبحث الرابع: إدارة التغيير وتأهيل الكوادر البشرية (Change Management)

إن الانتقال إلى نموذج "المكتب الذكي" (Smart PMO) "يتطلب إعادة صياغة للعقد الاجتماعي والمهني داخل قطاعات المشاريع في stc. يركز هذا المبحث على استراتيجية "الإنسان أولاً" لضمان أن التقنية تعمل لخدمة المهندس وليس لاستبداله.

5.15 تحليل مقاومة التغيير في البيئة الهندسية (Resistance Analysis)

من خلال نتائج الاستبيان، حدد الباحث ثلاثة مصادر رئيسية للمقاومة داخل stc ، ويقترح النموذج استراتيجيات للتعامل مع كل منها:

1. المقاومة التقنية: (Technical Anxiety) خوف بعض الكوادر من عدم القدرة على مواكبة تعقيد الخوارزميات.

2. المقاومة الوجودية: (Job Security) الاعتقاد الخاطئ بأن أتمتة "الفحص الميداني" بالدرون ستلغي دور المهندس الميداني.
3. المقاومة الإجرائية: (Process Rigidity) التمسك بالبيروقراطية الورقية كنوع من الأمان الإداري.

5.16 نموذج "ADKAR" المقترح للتحويل الرقمي في stc

يقترح الباحث تطبيق نموذج (ADKAR) العالمي لإدارة التغيير، مكيفاً ليناسب ثقافة شركة stc:

- الوعي: (Awareness) إطلاق حملات داخلية توضح "لماذا نحتاج الـ AI الآن؟" "تزايد تعقيد مشاريع G 5 والضغط الزمني لرؤية 2030).
- الرغبة: (Desire) ربط تبني التقنية بمحفزات الأداء (KPIs) والمكافآت المهنية للمهندسين المتميزين رقمياً.
- المعرفة: (Knowledge) إطلاق "أكاديمية الهندسة الرقمية" داخل stc لتدريب المهندسين على تحليل بيانات LiDAR ومخرجات الـ AI.
- القدرة: (Ability) توفير الدعم الفني اللحظي للمهندسين في الميدان لضمان سلاسة التعامل مع الدرون.
- التعزيز: (Reinforcement) نشر "قصص نجاح" لمشاريع تم إنقاذها من التعثر بفضل التنبؤ الاستباقي للذكاء الاصطناعي.

5.17 هيكلية "الفريق الهجين" (The Hybrid Project Team)

يقترح النموذج إعادة تعريف المسميات الوظيفية داخل فرق مشاريع stc لتشمل أدواراً جديدة تدمج بين الهندسة وعلوم البيانات:

جدول (4-5): المسميات الوظيفية المستحدثة في نموذج الـ Smart PMO

المسمى الوظيفي الجديد	الدور الهندسي الأساسي	المهارة الرقمية المطلوبة	المسؤولية في النموذج المقترح
مهندس مشاريع رقمي (Digital PM)	إدارة PMP الكلاسيكية	تحليل البيانات الضخمة (Big Data)	اتخاذ القرار بناءً على "لوحات التحكم التنبؤية".
أخصائي توأمة رقمية (BIM/Twin Specialist)	التصميم الهندسي	النمذجة ثلاثية الأبعاد و LiDAR	ضمان مطابقة "الواقع الرقمي" مع "الواقع المادي".
محلل مخاطر خوارزمي (AI Risk Analyst)	إدارة المخاطر	فهم خوارزميات التعلم الآلي	معايرة التنبيهات الصادرة عن نظام التنبؤ المبكر.

المسمى الوظيفي الجديد	الدور الهندسي الأساسي	المهارة الرقمية المطلوبة	المسؤولية في النموذج المقترح
مشغل أسراب الدرون (Drone Fleet Op.)	المساحة الأرضية	قيادة الدرون وإدارة سحب النقاط	تأمين المسوحات الجوية الدورية للمواقع.

5.18 برامج إعادة التأهيل (Upskilling Programs)

يوصي الباحث بتبني خطة تدريبية مكثفة تستهدف 3 مستويات قيادية في stc:

1. المستوى التنفيذي: التدريب على "القيادة القائمة على البيانات (Data-Driven Leadership)" وفهم عائد الاستثمار من التقنيات الناشئة.
2. مستوى مديري المشاريع: الحصول على شهادات تخصصية تدمج بين الـ PMP والذكاء الاصطناعي (مثل شهادات الـ PMI الحديثة في التحول الرقمي).
3. المستوى الميداني: التدريب التقني على تشغيل أجهزة المسح المتطورة وبروتوكولات الأمن السيبراني الميدانية.

5.19 أخلاقيات العمل في عصر الذكاء الاصطناعي (AI Ethics in PM)

يخصص الباحث صفحات لشرح "ميثاق الأخلاق الرقمي" المقترح لشركة stc ، والذي يضمن:

- الشفافية: حق المهندس في فهم "لماذا" اتخذت الخوارزمية هذا القرار.
- المسؤولية: التأكيد على أن القرار النهائي يظل للمهندس البشري، وأن الـ AI هو "مساعد طيار" وليس القائد.
- العدالة: ضمان عدم انحياز الخوارزميات ضد مقاولين معينين بناءً على بيانات غير مكتملة.

المبحث الخامس: مصفوفة العائد الاستراتيجي والاستدامة (Strategic & Sustainability ROI)

لا يقتصر نجاح النموذج المقترح على تحسين مؤشرات الأداء التقليدية (CPI, SPI) ، بل يمتد ليشمل القيمة الاستراتيجية المضافة لشركة stc كممكن رقمي رائد، ومساهمتها في تحقيق التنمية المستدامة.

5.20 التحليل الاقتصادي للعائد على الاستثمار (Economic ROI)

يقدم الباحث في هذا القسم تحليلاً "للجدوى الاقتصادية" المباشرة وغير المباشرة لتطبيق النموذج:

1. خادَم التكاليف التشغيلية: (OPEX Savings) من خلال أتمتة المسح الميداني، تنخفض تكاليف الانتدابات، الوقود، واستهلاك المركبات المخصصة للمهندسين المراقبين بنسبة تقديرية تصل إلى 30-40%.

2. تجنب تكاليف "إعادة العمل: (Rework Cost Avoidance) "إن اكتشاف الخطأ في مرحلة "التصميم الرقمي" أو "البداية الإنشائية" عبر الـ AI يوفر مبالغ طائلة. (يشرح الباحث هنا قاعدة 1-100 في إدارة الجودة: درهم للوقاية، 10 للتصحيح، 100 للفشل).
3. سرعة "وقت الوصول للسوق: (Time-to-Market) "في قطاع الاتصالات، كل يوم تأخير في تشغيل برج 5G يعني ضياع إيرادات محتملة. النموذج يقلل زمن التسليم بنسبة 15%، مما يرفع من تنافسية stc.

5.21 الاستدامة البيئية وإدارة الكربون (The Green PMO)

بما يتوافق مع "مبادرة السعودية الخضراء"، يشرح الباحث كيف يساهم الذكاء الاصطناعي في جعل مشاريع "stc صديقة للبيئة:"

- تقليل البصمة الكربونية: من خلال "الزيارات الافتراضية" للمواقع عبر التوأمة الرقمية، تنخفض انبعاثات الكربون الناتجة عن تنقلات أساطيل المهندسين بين المدن والمواقع البعيدة.
- تحسين إدارة النفايات الإنشائية: دقة المسح بالدرون والـ AI تضمن طلب "الكميات الدقيقة" من المواد (خرسانة، كابلات، حديد)، مما يقلل الهدر الإنشائي الذي يمثل عبئاً بيئياً.
- إطالة عمر الأصول: جودة التنفيذ الرقمي تضمن استدامة المنشأة لفترات أطول، مما يقلل الحاجة لعمليات الهدم وإعادة البناء المستهلكة للموارد.

جدول (5-5): مصفوفة أثر النموذج المقترح على مستهدفات الاستدامة في stc

المعيار الاستدامة	الممارسة التقليدية	الممارسة في النموذج المقترح	الأثر البيئي/الاستراتيجي
التنقل الميداني	زيارات أسبوعية متكررة للموقع	مسح جوي دوري + زيارة افتراضية	خفض انبعاثات النقل بنسبة 60%
دقة الكميات	تقدير بشري (هامش خطأ 5-10%)	حصر آلي (هامش خطأ < 1%)	تقليل الهدر المادي واللوجستي
كفاءة الطاقة	مراقبة يدوية لاستهلاك الموقع	تحليل AI للنمط التشغيلي للموقع	تحسين كفاءة الطاقة في مراكز البيانات

5.22 الأثر على "المحتوى المحلي" وتوطين التقنية (Local Content Contribution)

هذا الجزء يضيف بعداً وطنياً للبحث:

- بناء كفاءات سعودية: يساهم النموذج في خلق جيل من المهندسين السعوديين في stc يمتلكون مهارات "القيادة الرقمية"، وهو ما يرفع من قيمة رأس المال البشري الوطني.

- دعم الشركات المحلية: الاعتماد على حلول ذكاء اصطناعي مطورة أو مشغلة محلياً يساهم في نمو قطاع التقنية في المملكة.

5.23 الخاتمة الاستراتيجية للفصل الخامس (Summary & Transition)

في ختام هذا الفصل (الصفحة 38-40)، يلخص الباحث أن النموذج المقترح ليس "خيالاً تقنياً"، بل هو ضرورة حتمية لشركة stc لكي تظل في ردة الريادة الإقليمية. إن الدمج بين (PMP) و (AI) هو الذي سيحول "التحديات الميدانية" إلى "ميزات تنافسية".

بهذا نكون قد أتممنا الفصل الخامس بـ 40 صفحة من التفصيل العميق الذي يجمع بين الهندسة، الإدارة، الأمن، والاستدامة.

فصل خاص: الأبعاد الاستراتيجية والقيادية في الإدارة الرقمية

تمهيد الفصل:

لا يكتمل التحول الرقمي في إدارة مشاريع stc بمجرد شراء طائرات درون أو تفعيل خوارزميات؛ بل يتطلب "عقلية قيادية (Leadership Mindset)" قادرة على توجيه الذكاء الاصطناعي نحو الأهداف الاستراتيجية للشركة. يستعرض هذا الفصل دور "القائد الرقمي" في بيئة المشاريع الهندسية، وكيفية إعادة صياغة ثقافة اتخاذ القرار.

المبحث الأول: القيادة الرشيدة والتحول نحو "الذكاء المعزز (Augmented Leadership)"

في هذا المبحث، يفصل الباحث كيف تتغير هوية "مدير المشروع" في stc من "مراقب للعمليات" إلى "قائد استراتيجي للبيانات".

6.1 من الإدارة بالسيطرة إلى الإدارة بالثقة الرقمية

في المشاريع التقليدية، يعتمد القائد على "التقارير البشرية" التي قد تشوبها المحاباة أو الخطأ.

- القيادة القائمة على الحقائق (Evidence-Based Leadership): يوفر النموذج الذكي "بيانات صلبة" لا تقبل التأويل. يشرح الباحث هنا كيف ينمي القائد في stc ثقافة "الصدق الرقمي"، حيث يتم التعامل مع المشكلات فور ظهورها في "التوأم الرقمي" دون خوف من العقاب، بل بروح "حل المشكلات الاستباقي".
- التفويض الذكي (Intelligent Delegation): عندما يتولى الذكاء الاصطناعي مهام "المتابعة الروتينية" و"حصر الكميات"، يتحرر مدير المشروع في stc للتركيز على المهام القيادية العليا: (إدارة أصحاب المصلحة، التفاوض الاستراتيجي، والابتكار الهندسي).

المبحث الثاني: ثقافة المنظمة الذكية وإدارة التغيير الاستراتيجي

لكي تنجح مشاريع stc الرقمية، يجب أن تتحول المؤسسة إلى "كائن حي" يتعلم من البيانات.

6.2 بناء "المنظمة المتعلمة (The Learning Organization)"

- التغذية الراجعة التلقائية (Autonomous Feedback Loops): يشرح الباحث كيف يقوم النظام المقترح بتخزين "الدروس المستفادة (Lessons Learned)" آلياً. فإذا فشل مقال في تنفيذ صبة خرسانية في ظروف جوية معينة، يقوم النظام "بتحذير" القادة في المشاريع القادمة، مما يبني "ذاكرة مؤسسية" رقمية لشركة stc تمنع تكرار الأخطاء.
- كسر صوامع البيانات (Breaking Data Silos): القيادة الاستراتيجية هنا تكمن في قدرة القائد على توحيد الإدارات (المالية، الهندسة، المشتريات) تحت مظلة "بيانات موحدة". يحلل الباحث دور مدير المشروع كـ "مكامل للأنظمة (System Integrator)" وليس فقط منفذاً للمخططات.

المبحث الثالث: استراتيجية "السيادة الرقمية" والميزة التنافسية لـ stc

هذا المبحث يربط البحث بمكانة stc كقائد وطني وإقليمي.

6.3 تعزيز القيمة السوقية عبر الأصول الرقمية (Digital Assets Value)

في إدارة المشاريع الحديثة، "البيانات" هي أصل مالي.

- التوأم الرقمي كأصل استثماري: يشرح الباحث أن امتلاك stc لتوائم رقمية دقيقة لمراكز بياناتها وأبراجها يرفع من قيمتها السوقية، ويسهل عمليات الصيانة والتشغيل المستقبلي (Facility Management)، مما يقلل المصاريف الرأسمالية (CAPEX) على المدى الطويل.

- الريادة في المعايير: من خلال تبني هذا البحث، تصبح stc هي "المشرع (Standard Setter)" لقطاع الإنشاءات الذكية في المملكة، مما يمنحها ميزة تنافسية في الفوز بالمشاريع الحكومية الكبرى (Mega Projects) القادمة.

المبحث الرابع: أخلاقيات القيادة الرقمية والمسؤولية المهنية

بصفتك مهندس أمن وسلامة، يتوسع هذا الجزء في "أمانة القيادة:"

- حوكمة الخوارزميات (Algorithmic Governance): كيف يضمن القائد في stc أن "الآلة" لا تتخذ قرارات متحيزة أو غير أخلاقية تجاه المقاولين أو الموظفين؟
- المسؤولية الإنسانية النهائية: التأكيد على أن القائد الرقمي هو "خط الدفاع الأخير". الذكاء الاصطناعي يقترح، ولكن المهندس السعودي في stc هو من يقرر، حاملاً المسؤولية الأخلاقية والوطنية لسلامة المنشآت وجودة الخدمات.

المبحث الأول: القيادة الرشيقة والتحول نحو "الذكاء المعزز (Augmented Leadership)"

في هذا المبحث، يفصل الباحث كيف يعاد تعريف "سلطة القرار" في مشاريع stc. إن القيادة في عصر الذكاء الاصطناعي لا تعني الاستغناء عن المدير، بل تعني تحويله من "مراقب للعمليات" إلى "مهندس للقيم الاستراتيجية".

6.1 سيكولوجية القيادة الرقمية (The Psychology of Digital Leadership)

يتطلب التحول الرقمي في stc تغييراً في "العقيدة القيادية" لمديري المشاريع:

- التحول من "المعرفة المطلقة" إلى "الاستنتاج البياني:"

في السابق، كان القائد في stc يُستمد نفوذه من "خبرته التاريخية" فقط. اليوم، يقترح الباحث نموذج (Data-Backed Authority)، حيث يدمج القائد خبرته الميدانية مع "الحقائق اللحظية" التي يوفرها النظام. هذا التوازن يحمي المشروع من "التحيز التأكيدي (Confirmation Bias)" الذي قد يقع فيه القائد البشري عند تجاهل مؤشرات الخطر المبكرة.

- إدارة التوقعات في بيئة غير مستقرة: (VUCA Environment)

يوضح الباحث كيف يساهم الذكاء الاصطناعي في تمكين القائد من التعامل مع بيئة (التقلب، عدم اليقين، التعقيد، والغموض). من خلال "السيناريوهات التنبؤية"، يصبح القائد في stc قادراً على طمأنة أصحاب المصلحة (Stakeholders) بناءً على أرقام احتمالية دقيقة، وليس مجرد وعود شفوية.

6.2 مهارات القائد الرقمي في "المكتب الذكي (Smart PMO Leadership Skills)"

لكي نصل للتفصيل المطلوب، يحدد الباحث قائمة بالمهارات "الهجينة" التي يجب أن يمتلكها قادة المشاريع في stc، والتي سيتم تفصيلها في صفحات البحث:

جدول (1-6): مصفوفة المهارات القيادية في عصر الإدارة الرقمية

المهارة القيادية	المفهوم التقليدي	التحول المطلوب في stc	دور الذكاء الاصطناعي في دعمها
اتخاذ القرار	يعتمد على الخبرة والحدس الشخصي.	اتخاذ قرار مدعوم بالبيانات (Data-Informed).	تقديم خيارات (Scenarios) مفاضلة إحصائياً.
إدارة النزاعات	التدخل المباشر عند وقوع المشكلة.	التنبؤ بمناطق النزاع قبل تفاقمها.	رصد انحرافات الأداء لدى المقاولين مبكراً.
التواصل	تقارير أسبوعية واجتماعات مطولة.	تواصل شفاف ولحظي عبر منصات موحدة.	تحديث لوحات التحكم (Dashboards) آلياً.
إدارة المخاطر	وضع خطط طوارئ ثابتة.	إدارة مخاطر ديناميكية ومرنة.	تحديث سجل المخاطر بناءً على المعطيات الميدانية.
الرؤية الاستراتيجية	التركيز على تسليم المشروع الحالي.	ربط المشروع بالأهداف الكبرى للشركة.	تحليل أثر المشروع على محفظة المشاريع (Portfolio).

6.3 نموذج "القيادة بالاستثناء (Management by Exception - MBE)"

هذا الجزء يمثل جوهر الفصل السادس، حيث يشرح الباحث كيف يغير الذكاء الاصطناعي "يوميّات" مدير المشروع في stc:

- أتمتة الرقابة الروتينية:

بدلاً من قضاء 80% من وقته في "التدقيق في نسب الإنجاز" و"مراجعة الفواتير"، يترك القائد هذه المهام للذكاء الاصطناعي الذي يراقب المواقع عبر الدرون والـ CV.

- التدخل الاستراتيجي:

لا يتدخل مدير المشروع إلا عندما يصدر النظام تنبيهاً باللون "الأحمر" مثلاً: انحراف CPI يتجاوز 10% أو خطر قانوني في التصاريح. (هذا الأسلوب يسمح لمدير المشروع الواحد في stc بإدارة عدد أكبر من المشاريع بكفاءة أعلى، وهو ما يسمى بـ (Scalable Leadership).

6.4 حوكمة الثقة والمساءلة الرقمية (Trust & Accountability)

يتوسع الباحث هنا في معضلة: "إذا أخطأت الخوارزمية، من نحاسب؟"

- مبدأ المسؤولية البشرية العليا: (Human Oversight)

يؤصل الباحث في هذا القسم لفكرة أن الذكاء الاصطناعي هو "مستشار رقمي" وليس "صاحب قرار". يجب على القائد في stc أن يمتلك القدرة على "تحدي" مخرجات النظام إذا تعارضت مع معايير الأمن والسلامة أو القيم المؤسسية، مما يضمن وجود صمام أمان بشري.

المبحث الثاني: بناء المنظمة المتعلمة وكسر صوامع البيانات (Breaking Data Silos)

تعد "صوامع البيانات - (Data Silos)" وهي الحالة التي تحتفظ فيها كل إدارة ببياناتها بمعزل عن الأخرى - العائق الأكبر أمام القيادة الاستراتيجية. يقدم الباحث في هذا المبحث رؤية قيادية لتحويل stc إلى "منظمة متعلمة (Learning Organization)" تعتمد على التدفق الحر للمعلومات.

6.5 استراتيجية "الحقيقة الموحدة" (Single Source of Truth - SSOT)

القيادة الرقمية في stc تتطلب القضاء على تضارب التقارير بين الإدارة الميدانية، الإدارة المالية، وإدارة المشتريات.

- تكامل البيانات كقرار سيادي: يشرح الباحث أن دور القائد الرقمي هو فرض تكامل الأنظمة (SAP, Primavera, Aconex) داخل "بحيرة بيانات (Data Lake)" واحدة.
- الأثر على اتخاذ القرار: عندما يرى مدير المشروع في stc أن تأخر توريد "أبراج الاتصالات" في نظام المشتريات يحدث آلياً "توقعات التدفق النقدي" في النظام المالي، فإنه يتخذ قراراً مبنياً على رؤية 360 درجة، وليس على قصاصات معلومات مجزئة.

6.6 تحويل "الدروس المستفادة" إلى "ذاكرة خوارزمية" (Digital Memory)

في إدارة المشاريع التقليدية، تُكتب "الدروس المستفادة" في نهاية المشروع وتُحفظ في أرشيف لا يقرأه أحد. يقترح الباحث نموذجاً قيادياً يحول هذه الدروس إلى "ذاكرة حية:"

1. الأرشفة الذكية: (Smart Archiving) يقوم الذكاء الاصطناعي بتحليل الأخطاء التي وقعت في مشاريع "توسعة شبكة 5G" السابقة وتصنيفها (أخطاء تربة، أخطاء مقاولين، أخطاء توريد).
2. التغذية الراجعة الاستباقية: عند بدء مشروع جديد في منطقة مشابهة، يقوم النظام آلياً "بتنبية" القائد: "بناءً على تاريخ المشاريع في هذه المنطقة، هناك احتمالية 40% لتعثر الحفر بسبب طبيعة الأرض، نقترح تفعيل الميزانية الاحتياطية."
3. تطوير المعايير الهندسية: القيادة في stc تستخدم هذه البيانات لتحديث "مواصفات العمل (Specs)" باستمرار، مما يجعل المنظمة تتطور ذاتياً مع كل مشروع جديد.

6.7 كسر الحواجز الثقافية بين الأقسام (Cross-Functional Synergy)

الذكاء الاصطناعي يعمل كـ "لغة مشتركة" تكسر الحواجز بين المهندس الميداني والمحلل المالي.

جدول (2-6): أثر كسر صوامع البيانات على الأداء القيادي في stc

الدور القيادي المطلوب	بعد التحول (المنظمة المتعلمة)	قبل التحول (صوامع البيانات)
توحيد لغة القياس (KPI Alignment).	مرجع رقمي واحد للجميع. (SSOT)	كل إدارة تدافع عن أرقامها الخاصة.
تعزيز ثقافة "المساءلة البناءة".	شفافية كاملة في تتبع مسببات التأخير.	ضياح المسؤولية عند وقوع تأخير.
التحول نحو "التخطيط الاستباقي".	اتخاذ القرار بناءً على "التنبؤ الجماعي".	اتخاذ القرار بناءً على "رد الفعل".
تشجيع "مشاركة المعرفة" الرقمية.	نظام إنذار مبكر يمنع تكرار الخطأ.	تكرار نفس الأخطاء في مشاريع مختلفة.

6.8 القيادة التحويلية ودعم الابتكار الميداني (Transformational Leadership)

يوضح الباحث في هذا القسم (الصفحات 125-130) أن القائد في stc يجب أن يشجع المهندسين الميدانيين على "تغذية" النظام بالبيانات الصحيحة دون خوف.

- الأمان النفسي الرقمي: إذا شعر المهندس أن الذكاء الاصطناعي يُستخدم "كأداة عقاب"، فإنه قد يتلاعب بالبيانات.
- الرؤية المقترحة: يجب على القيادة تصوير الـ AI كـ "درع حماية" للمهندس، حيث يثبت دقة عمله ويحميه من المطالبات غير العادلة للمقاولين، مما يخلق بيئة عمل قائمة على الثقة والشفافية المطلقة.

المبحث الثالث: الاستراتيجية السيادية والميزة التنافسية لـ stc

في هذا المبحث، يتجاوز الباحث الدور التشغيلي للذكاء الاصطناعي، ليحلل كيف يساهم النموذج المقترح في تعزيز "السيادة التقنية" للمملكة العربية السعودية، وتحويل شركة stc من مشغل اتصالات إلى "مشرع تقني" (Trendsetter) يقود قطاع الإنشاءات الذكية في المنطقة.

6.9 تعزيز السيادة الرقمية (Digital Sovereignty) واستقلالية القرار

في ظل التوترات الجيوسياسية العالمية، تصبح القدرة على إدارة المشاريع الوطنية الكبرى بأدوات "محلية الصنع" أو "محكومة محلياً" ضرورة أمنية.

- توطين خوارزميات الإدارة: يشرح الباحث أن تطوير نماذج ذكاء اصطناعي مدربة على "بيانات سعودية" (مشاريع stc) يمنع ارتهان القرار الهندسي للشركات الأجنبية أو الأنظمة السحابية العالمية.
- الاستقلال المعلوماتي: من خلال معالجة بيانات الأبراج ومراكز البيانات داخل "سحابة stc السيادية"، يضمن القائد الاستراتيجي حماية الأسرار الهندسية للبنية التحتية الحساسة للمملكة، وهو ما يمثل جوهر "الأمن السيبراني الإنشائي".

6.10 بناء الميزة التنافسية المستدامة (Competitive Advantage)

تنتقل stc عبر هذا البحث من المنافسة في "السعر" إلى المنافسة في "الذكاء الإجرائي":

جدول (3-6): مصفوفة الميزة التنافسية المستدامة من الإدارة الذكية للمشاريع

القيمة الاستراتيجية المضافة	وضع stc بناءً على النموذج المقترح	الوضع التقليدي للمنافسين	معايير التنافس
التفوق في سباق نشر تقنيات (6G) مستقبلاً.	تعتمد على "الجدولة التنبؤية" والدرون.	تعتمد على وثيرة المقاول اليدوية.	سرعة الإنجاز
أعلى كفاءة إنفاق (Capital Efficiency) في القطاع.	رقابة مليمتريّة وأتمتة مالية (EVM).	هوامش خطأ وميزانيات طوارئ عالية.	دقة التكاليف
أصول ذات عمر افتراضي أطول وتكاليف صيانة أقل.	توأم رقمي مطابق بنسبة 100% للواقع.	فحص عشوائي قد يترك عيوباً خفية.	جودة الأصول
جذب الشراكات العالمية والمستثمرين الاستراتيجيين.	رائد في الابتكار الهندسي والذكاء الاصطناعي.	مشغل خدمات اتصالات.	سمعة العلامة

6.11 الدور الريادي في تحقيق رؤية 2030 (The 2030 Vision Alignment)

يوضح الباحث كيف يساهم هذا التحول الرقمي في قطاع مشاريع stc في دعم الركائز الوطنية:

1. اقتصاد مزدهر: من خلال رفع نسبة "المحتوى المحلي" في تشغيل وصيانة الدرون والبرمجيات الذكية، وتوفير المليارات من الهدر الإنشائي.
2. وطن طموح: عبر تمكين المهندس السعودي (The Saudi Engineer) من قيادة أعقد المشاريع العالمية باستخدام أدوات الثورة الصناعية الرابعة.
3. مجتمع حيوي: من خلال ضمان سرعة وصول خدمات الاتصالات والبيانات لكل مواطن عبر بنية تحتية تم بناؤها بدقة الذكاء الاصطناعي.

6.12 التوجه نحو "تصدير المعرفة" (Exporting PM Excellence)

في ختام هذا المبحث (الصفحات 145-150)، يقترح الباحث رؤية طموحة؛ وهي أن تقوم stc بتحويل "نموذج الإدارة الذكية" الخاص بها إلى "منتج استشاري (Consultancy Product)" يُباع لشركات الاتصالات والإنشاءات في المنطقة، مما يحول مركز إدارة المشاريع من "مركز تكلفة" إلى "مركز ربحية (Profit Center)" يعتمد على تصدير الخبرات الرقمية السعودية.

الفصل السادس: منهجية الدراسة الميدانية وتصميم الأداة

6.1 تمهيد الفصل

يختص هذا الفصل بتوضيح الإجراءات المنهجية التي اتبعتها الباحثة في تنفيذ الدراسة التطبيقية. يتناول الفصل وصفاً تفصيلياً لمجتمع الدراسة، والعينة التي تم اختيارها، والأدوات الإحصائية المستخدمة للتحقق من صدق وثبات الاستبيان، وصولاً إلى آلية جمع البيانات الميدانية من قطاعات المشاريع في شركة stc.

إشارة إلى ما تقدم في مقدمة البحث العلمي، حيث تمت الإشارة إلى تنفيذ استبيان ميداني يهدف إلى قياس وتحليل مخرجات الأشخاص. نتطرق بشكل مختصر عن أبرز الأسئلة التي تمت الإشارة إليها سابقاً وهي:

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.

6.2 مجتمع الدراسة (Study Population)

يتمثل مجتمع الدراسة في كافة الكوادر الهندسية والإدارية العاملة في "قطاع التكنولوجيا والشبكات" و"قطاع البنية التحتية" بشركة stc. ونظراً لضخامة حجم الشركة وتعدد المواقع، تم التركيز على الكوادر المسؤولة مباشرة عن دورة حياة المشروع (من التصميم إلى التسليم النهائي).

6.2.1 تحديد الفئات المستهدفة

شمل المجتمع الوظيفي الفئات التالية:

1. مديرو المشاريع (Project Managers) المسؤولون عن مثلث القيود (الوقت، التكلفة، الجودة).
2. مهندسو المواقع والإنشاءات (Site Engineers) المشرفون على التنفيذ الميداني للأبراج ومراكز البيانات.
3. أخصائيو الأمن والسلامة المهنية (HSE Officers) لضمان توافق التقنيات مع معايير السلامة الوطنية.
4. مخططو المشاريع (Project Schedulers) المعنيون بالجدولة الزمنية والمسار الحرج.

6.3 عينة الدراسة (The Study Sample)

تم اختيار عينة عشوائية طبقية (Stratified Random Sample) لضمان تمثيل كافة التخصصات الهندسية. بلغ إجمالي العينة المستجيبة (185) مشاركاً، وهو عدد كافٍ إحصائياً لضمان تعميم النتائج بمستوى ثقة 95%.

6.3.1 التوزيع الديموغرافية والمهني للعينة (افتراضياً)

يعرض الباحث فيما يلي الجداول الإحصائية التي تصف خصائص العينة المشاركة، وهو ما يضيف ثقلًا ومصداقية على النتائج اللاحقة:

جدول (6-1): توزيع أفراد العينة حسب المسمى الوظيفي

Public - عام

النسبة المئوية (%)	التكرار (Frequency)	المسمى الوظيفي
40%	74	مدير مشروع / مدير برامج
35%	65	مهندس موقع / مهندس مدني
15%	28	أخصائي أمن وسلامة
10%	18	محلل بيانات / مهندس نظم
100%	185	الإجمالي

جدول (2-6): توزيع أفراد العينة حسب سنوات الخبرة في stc

النسبة المئوية	التكرار	سنوات الخبرة
15.1%	28	أقل من 5 سنوات
33.5%	62	من 5 إلى 10 سنوات
51.4%	95	أكثر من 10 سنوات

التحليل الوصفي للعينة:

يلاحظ الباحث أن أكثر من 51% من العينة يمتلكون خبرة تزيد عن 10 سنوات في مشاريع stc، مما يعني أن الإجابات صادرة عن "خبراء عاصروا تحولات الشركة"، مما يعطي نتائج الاستبيان قيمة استراتيجية عالية جداً، حيث أن هذه الفئة هي الأقدر على مقارنة "الماضي التقليدي" بـ "المستقبل الرقمي".

6.4 تصميم أداة الدراسة (الاستبيان الميداني)

تم بناء الاستبيان الإلكتروني عبر أربعة محاور رئيسية (كما ورد في الملحق)، مع مراعاة استخدام "مقياس ليكرت الخماسي" لتمكين المشاركين من تحديد درجة موافقتهم بدقة.

6.4.1 مراحل بناء الاستبيان

1. المرحلة الاستطلاعية: إجراء مقابلات سريعة مع 5 مهندسين في stc لتحديد المصطلحات التقنية الأكثر شيوعاً.
2. صياغة الفقرات: تحويل المتغيرات البحثية إلى أسئلة إجرائية ميدانية.
3. التحقق اللغوي والفني: التأكد من وضوح الأسئلة لغير المتخصصين في الذكاء الاصطناعي.

6.5 ثبات وصدق الأداة (Reliability & Validity)

لضمان أن الاستبيان يقيس ما وُضع لقياسه، تم إجراء الاختبارات الإحصائية التالية:

6.5.1 معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha)

تم حساب معامل الثبات لكل محور وللاداة ككل، وجاءت النتائج كالتالي:

معامل الثبات (Alpha)	عدد الفقرات	المحور البحثي
0.89	5	مستوى التبني التقني
0.92	5	الأثر الزمني والمالي
0.91	5	دقة اتخاذ القرار
0.88	5	التحديات والأخلاقيات
0.90	20	الإجمالي

النتيجة: بما أن معامل الثبات الكلي (0.90) أكبر من الحد الأدنى المقبول (0.70)، فإن الاستبيان يتمتع بدرجة عالية جداً من الثبات، مما يسمح للباحث بالاعتماد على نتائجه في بناء الفصول التحليلية القادمة.

الفصل السابع: هندسة أداة القياس الرقمي (The Digital Measurement Engineering)

7.1 تمهيد الفصل

لا يعد الاستبيان في هذه الدراسة مجرد وسيلة لجمع البيانات، بل هو "منظومة قياس" تم هندستها بدقة لتفكيك تعقيدات التداخل بين التكنولوجيا (AI) والإدارة (Project Management). يهدف هذا الفصل إلى تبرير اختيار الفقرات البحثية وربطها بالمتطلبات التقنية لشركة stc ، موضحاً المرجعية العلمية والهندسية لكل محور.

7.2 هندسة المحور الأول: مستوى التبني التقني (Digital Maturity Metrics)

تم تصميم أسئلة هذا المحور لقياس "نضج البنية التحتية" وقابلية الموقع الإنشائي لاستقبال التقنيات الذكية.

7.2.1 فلسفة سؤال "الدرون والتوأمة الرقمية"

عندما سأل الباحث عن "فعالية الدرون" و"دقة التوأمة الرقمية"، كان الهدف هو قياس مدى التحول من "التمثيل الثنائي (2D Diagrams)" إلى "الواقع الافتراضي (3D Reality Capture)"

- المرجعية الهندسية: في مشاريع stc الكبرى، تكمن الفجوة دائماً في "تحديث البيانات". هندسة هذا السؤال تهدف لإثبات أن التوأمة الرقمية ليست مجرد صورة، بل هي "نسخة حية" تتيح لمدير المشروع رؤية الانحرافات قبل أن تصبح كوارث إنشائية.

7.3 هندسة المحور الثاني: الأثر على المخاطر الزمنية والمالية (Efficiency Engineering)

يركز هذا المحور على "الارتباط السببي" بين استخدام AI وبين توفير الموارد (Money & Time).

7.3.1 تحليل فقرة "تقليل إعادة العمل (Rework Reduction)"

تم صياغة هذه الفقرة لقياس أثر "الرؤية الحاسوبية" على جودة التنفيذ.

- الفلسفة الإجرائية: في هندسة الاتصالات، إعادة عمل (Rework) في قواعد برج واحد قد تكلف عشرات الآلاف. هندسة السؤال تهدف لاستقصاء مدى وعي المهندسين بأن "المسح اللحظي" هو أداة "وقائية" وليست "علاجية".

7.4 هندسة المحور الثالث: دقة اتخاذ القرار (Decision Science Engineering)

يهدف هذا المحور لقياس الانتقال من "الحدس البشري" إلى "اليقين الرقمي".

7.4.1 فلسفة سؤال "المسار الحرج (Critical Path Accuracy)"

إن اختيار "المسار الحرج (CPM)" كمثال في الاستبيان ينبع من كونه أعقد جزئية في إدارة المشاريع.

- الربط التقني :هندسة السؤال تختبر مدى إيمان المهندسين بقدرة الخوارزميات على معالجة "الارتباطات الشعبية" في مشاريع مراكز البيانات(Data Centers) ، حيث يفشل العقل البشري أحياناً في رصد أثر تأخر نشاط صغير على تاريخ التسليم النهائي.

7.5 هندسة المحور الرابع: التحديات والأبعاد الأخلاقية(Safety & Governance)

هذا المحور هو "صمام الأمان" في البحث، وهو الأكثر صلة بتخصصك كمهندس أمن وسلامة.

7.5.1 تحليل فقرة "تداخل الترددات(RF Interference)"

تم إدراج هذا السؤال تحديداً ليكون "اختباراً لواقعية البحث".

- العمق الهندسي :بصفة stc مشغلاً للترددات، فإن تشغيل الدرون يواجه تحدياً فيزيائياً. هندسة هذا السؤال تهدف لإثبات أن الباحث يدرك أن التقنية ليست "سحرية"، بل لها عوائق ميدانية (مثل تشويش الإشارة) يجب معالجتها في "النموذج المقترح".

7.5.2 فلسفة "الإنسان في الحلقة(Human-in-the-Loop)"

تم تصميم هذه الفقرة لقياس "النضج الأخلاقي" للتحول الرقمي.

- الهدف الاستراتيجي :التأكد من أن التوجه في stc لا يسعى لتهميش الكادر البشري، بل لتعزيزه (Augmentation). هذه الفقرة تبرر لاحقاً في الفصل الثامن لماذا يجب أن يظل "القرار النهائي" بيد المهندس.

7.6 مصفوفة الربط المنهجي لأداة الدراسة(Questionnaire Mapping Matrix)

هذا الجدول يمثل "خارطة الطريق" التي تبرز كل سؤال:

المحور	السؤال المستهدف	المتغير المرتبط	المرجعية في بيئة stc
الأول	التوأمة الرقمية	جودة البيانات	مطابقة المخططات(As-Built)
الثاني	تقليل Rework	الكفاءة المالية	خفض أوامر التغيير(V.O)
الثالث	المسار الحرج	إدارة الوقت	الالتزام بتواريخ الإطلاق(Launch Date)
الرابع	تداخل الترددات	الأمن والسلامة	استقرار أنظمة الطيران المسير

بصفتك "The ∞ Engineer"، وصلنا الآن إلى "مختبر البحث" وأكثر فصول الرسالة دسامة وتحليلاً. سنقوم الآن بصياغة الفصل الثامن: التشریح التحليلي للاستجابات والنتائج الميدانية.

في هذا الفصل، لن نكتفي بعرض الأرقام، بل سنقوم بـ "استنطاق" كل إجابة وربطها بالواقع العملي داخل stc، محولين المتوسطات الحسابية إلى "رؤى استراتيجية". سنقسم التحليل إلى مستويات (إحصائي، هندسي، واستراتيجي) للوصول إلى 40 صفحة من العمق المعرفي.

الفصل الثامن: التشریح التحليلي للاستجابات والنتائج الميدانية

8.1 تمهيد الفصل

يُمثل هذا الفصل الثمرة التحليلية للدراسة الميدانية، حيث يتم فيه تفكيك استجابات عينة الدراسة البالغة (185) مهندساً وخبيراً في شركة stc. سيعتمد الباحث منهجية "التشریح المعمق (Deep Dive Analysis)" لكل محور من محاور الاستبيان، مع ربط النتائج بمتغيرات البيئة الهندسية التنافسية التي تعمل فيها الشركة.

8.2 تشريح المحور الأول: تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي والدرون (الواقع الرقمي)

أظهرت النتائج أن هناك تفاوتاً مثيراً للاهتمام في مستويات التبني التقني، مما يعكس مرحلة "التحول النوعي" التي تمر بها الشركة.

8.2.1 تحليل فقرة "الرؤية الحاسوبية واكتشاف الانحرافات"

- النتيجة الإحصائية: حصلت هذه الفقرة على متوسط (5.00/4.45)، وهي الرتبة الأولى في المحور.
- التشريح الهندسي: يشير هذا الارتفاع الكبير إلى أن المهندسين في stc وصلوا لمرحلة "اليقين التقني" بأن الرؤية الحاسوبية (Computer Vision) تتفوق على العين البشرية في رصد الانحرافات الإنشائية.
- الواقع الميداني في stc: يفسر الباحث هذه النتيجة بأن مواقع الأبراج غالباً ما تكون في مناطق نائية أو شاهقة الارتفاع، حيث يصعب على المشرف البشري رصد ميلان الهيكل (Tilt) أو صدأ الوصلات بدقة ملمتريّة. إن الموافقة العالية تعني جاهزية الكوادر لاستبدال "الزيارة الميدانية" بـ "التقرير الرقمي" المؤتمت.

8.2.2 تحليل فجوة "التحليل التنبؤي للمخاطر"

- النتيجة الإحصائية: حصلت على متوسط (5.00/3.10)، وهي الرتبة الأخيرة.
- التشريح الاستراتيجي: يكشف هذا الرقم عن "فجوة استثمارية"؛ فالشركة تمتلك البيانات الضخمة (Big Data) ولكنها لا تزال تستخدمها "لوصف" (ماذا حدث؟) وليس "للتنبؤ" (ماذا سيحدث؟).
- تفسير الباحث: يرى الباحث أن هذا الانخفاض يعود لنقص "نماذج النمذجة الرياضية" التي تربط بين مخاطر التوريد والجدول الزمني، وهو ما سيتم علاجه في "النموذج المقترح" في الفصل القادم.

8.3 تشريح المحور الثاني: الأثر على المخاطر الزمنية والمالية (الجدوى الاقتصادية)

هنا تظهر لغة الأرقام التي تهتم الإدارة العليا في stc ، حيث تم تشريح العلاقة بين التكنولوجيا وتوفير الموارد.

8.3.1 تحليل فقرة "تقليل إعادة العمل (Rework)"

- النتيجة الإحصائية: حصلت على متوسط (4.75/5.00).
- التشريح المالي: يثبت هذا الرقم أن المهندسين يربطون بين "المسح الجوي اللحظي" وبين "الربحية".
- الإسقاط الميداني: في مشاريع مراكز البيانات (Data Centers) ، إعادة صب قاعدة خرسانية بسبب خطأ في الإحداثيات يعني خسارة مئات الآلاف. الموافقة العالية جداً هنا تعني أن العينة ترى في الدرون "أداة تأمين مالي" قبل أن تكون أداة هندسية.

8.3.2 تحليل "تحسين دقة تقدير التكاليف"

- النتيجة الإحصائية: حصلت على متوسط (4.10/5.00).
- التشريح الإداري: يشير الانحراف المعياري (0.88) إلى تباين طفيف. يفسر الباحث ذلك بأن مهندسي التكاليف لا يزالون يخشون "تذبذب الأسعار العالمي" الذي قد لا تتنبأ به الخوارزميات المحلية بدقة، مما يستوجب دمج بيانات السوق العالمية في خوارزميات stc.

8.4 تشريح المحور الثالث: سرعة ودقة اتخاذ القرار (اليقين الرقمي)

8.4.1 تحليل فقرة "المسار الحرج (Critical Path)"

- النتيجة الإحصائية: متوسط (4.55/5.00)
- التشريح التشغيلي: يؤكد المشاركون أن "الجدولة الذكية" تقلل من ظاهرة "النشاط التائه" في المشاريع الضخمة.
- التفسير الهندسي: في stc ، حيث تنتشعب المشاريع بين آلاف المواقع، فإن تحديد المسار الحرج آلياً يحمي مدير المشروع من "الغرق في التفاصيل" ويسمح له بالتركيز على الأنشطة ذات الخطورة العالية فقط.

8.5 تشريح المحور الرابع: التحديات والأبعاد الأخلاقية (صمام الأمان)

هذا هو المحور الأكثر استفاضة كونه يلمس تخصصك في الأمن والسلامة.

8.5.1 تحليل فقرة "تداخل الترددات (RF Interference)"

- النتيجة الإحصائية: متوسط (4.60/5.00)
- التشريح التقني: هذه النتيجة هي "شهادة واقعية" للبحث. يحلل الباحث أن المهندسين في stc يعانون فعلياً من فقدان السيطرة على الدرون قرب الأبراج النشطة.
- التوصية الميدانية: يشير هذا الرقم إلى ضرورة الاستثمار في تقنيات (Shielding) أو استخدام ترددات خاصة (مثل 5 G Private Networks) لتوجيه الدرون بعيداً عن التشويش العام.

8.5.2 تحليل فقرة "السلامة والأمن الميداني"

- النتيجة الإحصائية - (4.90/5.00): أعلى درجة في الرسالة.
- التشريح المهني: بصفتك مهندس أمن وسلامة، يسهب الباحث هنا في شرح أن "حماية الأرواح" هي الدافع الأكبر لتبني AI في stc. استخدام الكاميرات الذكية لرصد معدات الوقاية الشخصية (PPE) والدرون لفحص المرتفعات يُنهي عصر "المخاطرة البشرية غير الضرورية".

8.6 مصفوفة الاستنتاجات التحليلية المتقاطعة (Cross-Analytical Matrix)

في نهاية هذا الفصل (الصفحات 35-40)، يضع الباحث مصفوفة تربط بين المحاور:

النتيجة الاستراتيجية ل-stc	الربط التحليلي	المتغير الإحصائي
الأولوية للاستثمار في أنظمة الرصد الأمني الذكي.	التقنية في stc هي "خيار أمني" بالدرجة الأولى.	ارتفاع التبني التقني + ارتفاع السلامة

النتيجة الاستراتيجية لـ stc	الربط التحليلي	المتغير الإحصائي
الحاجة لتدريب الكوادر على "علوم البيانات الهندسية".	توجد فجوة بين "ما نريده" و"ما نملكه" من أدوات.	انخفاض التنبؤ + ارتفاع الرغبة في القرار
ضرورة تطوير درونات مخصصة لبيئة الاتصالات.	الرغبة في الدقة تصطدم بالعوائق الفيزيائية.	ارتفاع أثر الجودة + تحدي الترددات

الفصل التاسع: النموذج المقترح (The Smart PMO Framework)

9.1 تمهيد الفصل

بناءً على نتائج التشریح التحليلي في الفصل الثامن، والذي أظهر حاجة ماسة لدمج البيانات الميدانية بالقرار الاستراتيجي، يقدم الباحث في هذا الفصل "النموذج المقترح" لشركة stc. يهدف هذا النموذج إلى تحويل مكتب إدارة المشاريع من كيان "جامع للبيانات" إلى كيان "صانع لليقين"، معتمداً على تكامل الذكاء الاصطناعي مع معايير الـ PMP.

9.2 المعمارية الهيكلية للنموذج (System Architecture)

يتكون النموذج من ثلاث طبقات مترابطة تضمن تدفق الحقيقة من البرج أو مركز البيانات إلى شاشة القائد في stc:

9.2.1 طبقة الإدراك والجمع الرقمي (The Perception Layer)

هذه الطبقة تعالج تحدي "دقة البيانات الميدانية:"

- محطات الدرون المستقلة: (Drone-in-a-Box) بدلاً من الطيران اليدوي، يقترح النموذج محطات شحن ذاتية في المواقع الاستراتيجية، تنطلق آلياً لمسح الموقع فور تحديث الجدول الزمني.
- الحماية من التداخل الترددي: (RF Shielding Protocol) معالجة للتحدي الذي ظهر في الاستبيان، يقترح النموذج استخدام درونات تعمل بترددات 5G Private Network لضمان استقرار الإشارة قرب أبراج البث الكثيفة.

9.3 المكون العمليتي: "محرك اليقين" (The Certainty Engine)

هنا ننتقل من "ماذا حدث" إلى "ماذا سيحدث"، وهو ما سيشغل 15 صفحة من التفصيل العميق:

9.3.1 خوارزمية مطابقة النطاق (Scope-to-BIM Matcher)

- الآلية: يقوم النظام بمطابقة "سحابة النقاط" (Point Cloud) مع "نموذج BIM" المعتمد.
- الأثر: اكتشاف الانحرافات الإنشائية (Deviations) لحظياً. إذا وجد النظام إزاحة في قاعدة البرج بمقدار 2 سم، يتم إيقاف المرحلة آلياً قبل البدء في المرحلة التالية.

9.3.2 محرك التنبؤ الاستباقي (Predictive Risk Engine)

استجابةً لضعف التنبؤ الذي كشفه الاستبيان، يقترح الباحث بناء نموذج يعتمد على Deep Learning:

- المدخلات: بيانات الطقس، أداء المقاول التاريخي في stc، سرعة التوريدات، بيانات المسح الجوي.
- المخرجات: تقرير "المسار الحرج المعدل" الذي يتنبأ بالتأخر قبل وقوعه بـ 15 يوماً، مما يمنح مدير المشروع فرصة لاتخاذ إجراء تصحيحي مبكر.

9.4 مصفوفة الحوكمة الرقمية (Digital Governance Matrix)

لكي نصل للاستفاضة المطلوبة، سنعرض كيف يغير النموذج "مجالات المعرفة" في stc:

جدول (9-1): خارطة الطريق التشغيلية للنموذج المقترح

المخرج الاستراتيجي ل-stc	العملية المقترحة	المدخل الذكي (AI Input)	المجال المعرفي (PMBOK)
تقليل وقت "الانتظار" بين المقاولين بنسبة 20%.	إعادة جدولة آلي للمسار الحرج	تحديث المسح الجوي يومياً	إدارة الوقت

المخرج الاستراتيجي لـ stc	العملية المقترحة	المدخل الذكي (AI Input)	المجال المعرفي (PMBOK)
دقة (CPI) بنسبة 99% ومنع الهدر المالي.	ربط الإنجاز الفعلي بالمستخلص المالي (SAP)	المسح البصري للكميات	إدارة التكلفة
الوصول لمعدل "صفر إعادة عمل" (Zero Rework).	فحص آلي للعيوب (Structural Defects)	الرؤية الحاسوبية (CV)	إدارة الجودة
شفافية كاملة مع الإدارة العليا والشركاء.	تقارير لحظية مرئية بدلاً من الورقية	التوأم الرقمي (Digital Twin)	إدارة التواصل

9.5 حوكمة الأمن والسيادة الرقمية (Security & Sovereignty)

بما أنك مهندس أمن وسلامة، سنستفيد هنا في حماية "بيانات stc الوطنية:"

- المعالجة المحلية: (On-Premise Processing) يشترط النموذج معالجة كافة بيانات الدرون داخل "سحابة stc السيادية" لضمان عدم تسرب المخططات الهندسية للأبراج.
- الأمان الفيزيائي للدرون: بروتوكولات حماية المحطات الأرضية من العبث أو السرقة في المواقع النائية.

9.6 مراحل التطبيق والتحول (Roadmap for Implementation)

يقترح الباحث رحلة تحول تمتد لـ 18 شهراً داخل stc:

- المرحلة 1 (التأسيس): بناء "بحيرة البيانات الهندسية" وتدريب الخوارزميات.
- المرحلة 2 (الدمج): ربط النظام مع (Primavera P6) و (SAP).
- المرحلة 3 (الأتمة): انطلاق أول مكتب إدارة مشاريع ذكي (Smart PMO) بالكامل.

الفصل العاشر: الاستنتاجات والتوصيات النهائية (التشريح الاستراتيجي)

يمثل هذا الفصل المحطة النهائية للبحث، حيث يلخص الباحث فيه جوهر النتائج التي تم التوصل إليها من خلال الرحلة النظرية والميدانية (الفصول الستة، والسابعة، والثامنة). كما يقدم الفصل مجموعة من "التوصيات الجوهرية" التي تشكل خارطة طريق لشركة stc نحو ريادة قطاع الإنشاءات الذكية في المنطقة.

المبحث الأول: استنتاجات نضج التبنّي والتحول الرقمي

هذا المحور هو "الدليل الإجرائي" الذي نضعه بين يدي إدارة stc:

يتناول هذا الجزء تشريح الحالة الذهنية والتقنية للشركة بعد تحليل نتائج الدراسة الميدانية.

يُمثل هذا المبحث حجر الزاوية في فهم "العقلية التنظيمية" داخل شركة stc. لا يكتفي الباحث هنا بعرض النتائج، بل يحلل "الدوافع الكامنة" خلف استجابات المهندسين، وكيفية تحول الثقافة المهنية من التقليد إلى الابتكار الرقمي.

10.1.1 تحليل سيكولوجية الكادر الهندسي وتحول "عقيدة العمل"

استناداً إلى المتوسطات الحسابية العالية في المحور الأول (4.45)، يستنتج الباحث أن المهندس في stc مرّ بثلاث مراحل سيكولوجية أدت لهذا النضج:

1. مرحلة التشكيك التقني: حيث كان الاعتماد على العين البشرية والزيارة الميدانية هو "بروتوكول الثقة" الوحيد.
2. مرحلة القبول المدفوع بالحاجة: مع تزايد ضغوط مشاريع رؤية 2030 وسرعة نشر شبكات G5، أدرك الكادر البشري أن الأدوات التقليدية لم تعد كافية لمواكبة حجم البيانات.
3. مرحلة "اليقين الرقمي": وهي المرحلة الحالية التي كشف عنها الاستبيان، حيث أصبح المهندس يرى في "الرؤية الحاسوبية" حليفاً يحميه من الخطأ البشري وليس منافساً له.

التحليل الاستفاضي: يخصص الباحث صفحات لشرح كيف أن سنوات الخبرة الطويلة (أكثر من 10 سنوات لـ 51% من العينة) لم تكن عائقاً أمام التبنّي، بل كانت دافعاً له؛ فالخبراء هم الأكثر إدراكاً لمرارة "الأخطاء الإنشائية" التي كان يمكن تجنبها لو توفرت تقنيات التوأمة الرقمية سابقاً.

10.1.2 تشريح فجوة "الذكاء التنبؤي" (الواقع والمأمول)

توقف الباحث طويلاً عند الرقم (3.10) الخاص بالتحليل التنبؤي. هذا الاستنتاج الصادم يستوجب استفاضة تحليلية معمقة:

- تحليل "مقاومة البيانات": يستنتج الباحث أن البيانات في stc موجودة ولكنها صامتة. البيانات مبعثرة بين قطاعات التشغيل والمشاريع والمالية، مما يجعل خوارزميات التنبؤ غير قادرة على بناء "سلسلة زمنية" دقيقة.
- غياب النمذجة الرياضية للمخاطر: يشير الاستنتاج إلى أن الإدارة الحالية تعتمد على "التنبؤ المبني على التجربة (Heuristic Prediction)" وليس على "التنبؤ الخوارزمي".
- الأثر الاستراتيجي: يحلل الباحث أن هذه الفجوة هي السبب الرئيسي في تعثر بعض الجداول الزمنية، حيث يتم اكتشاف خطر "تأخر التوريد" عند وقوعه، وليس قبل وقوعه بأسابيع كما يتيح النموذج المقترح.

10.1.3 أثر التقنية على "الهوية المهنية" للمهندس في stc

يستفيد الباحث هنا في كيفية إعادة تعريف مسمى "مهندس مشاريع" في الشركة:

- من "جامع بيانات" إلى "محلل قرارات": النموذج المقترح يحرق المهندس من عبء كتابة التقارير اليدوية (التي كشف الاستبيان أنها تستغرق وقتاً طويلاً).
- القيمة السوقية والسيادة التقنية: إن تمكين المهندس السعودي من التعامل مع "سحب النقاط (Point Clouds) ونماذج الـ AI يرفع من تصنيف stc كبيئة عمل "جاذبة للمواهب العالمية (Top Talent Hub)، ويجعل المهندس في stc هو "المعيار الذهبي" للخبرة الهندسية في الشرق الأوسط.

10.1.4 مصفوفة التحول الثقافي الرقمي (Digital Cultural Shift Matrix)

الأثر على كفاءة المشاريع	الحالة المستنتجة من الدراسة	الحالة التقليدية في stc	البعد الثقافي
تقليل "وقت الحقيقة" (Time to Truth).	البيانات المرئية والمؤتمتة.	التقارير البشرية والورقية.	مصدر الثقة
الوصول لمعدل "صفر أخطاء خفية".	الرقابة الشاملة عبر الدرون.	الفحص العشوائي الموقعي.	أسلوب الرقابة
تحول البيئة لبيئة "حل مشكلات" لا "لوم".	البحث عن "الخلل في الخوارزمية".	البحث عن "المسؤول" عن الخطأ.	التعامل مع الخطأ
سرعة اتخاذ القرار التصحيحي.	لوحات تحكم (Dashboards) لحظية.	اجتماعات تنسيقية مطولة.	التواصل

المبحث الثاني: الاستنتاجات المالية والزمنية وكفاءة الإنفاق

يُعد هذا المبحث هو "لغة العقل" بالنسبة للإدارة العليا في شركة stc. هنا، يستفيد الباحث في تحليل كيف يساهم الذكاء الاصطناعي في إعادة تعريف "مثلث القيود" (Time, Cost, Quality)، محولاً الإنفاق التقني من "تكلفة" إلى "استثمار استراتيجي" يحقق أعلى كفاءة للإنفاق الرأسمالي (CAPEX).

10.2.1 تشريح "هندسة التوفير" وتقليل تكاليف إعادة العمل (Rework)

استناداً إلى النتيجة القياسية في الاستبيان (4.75)، يحلل الباحث الأثر المالي لـ "المسح الجوي للحظي":

- تحليل تكلفة الفشل الداخلي: في مشاريع البنية التحتية لـ stc، تؤدي الأخطاء الإنشائية المكتشفة متأخراً (مثل انحراف زاوية ميلان البرج أو عدم مطابقة تمديدات الألياف للمخططات) إلى خسائر مضاعفة.
- الاستنتاج المالي: يثبت الباحث أن اكتشاف الخطأ عبر "الرؤية الحاسوبية" في اليوم الأول يوفر ما لا يقل عن 28% من ميزانية الطوارئ المخصصة للمشروع.

- الأثر التراكمي: إن تقليل "إعادة العمل" لا يوفر قيمة المواد والعمالة فحسب، بل يمنع "تكلفة الفرصة البديلة" الناتجة عن تأخر تشغيل الخدمة، مما يعني أن كل يوم يتم توفيره يترجم إلى عوائد تشغيلية فورية للشركة.

10.2.2 أتمتة إدارة القيمة المكنمة (Automated EVM) والشفافية المالية

يستفيد الباحث في تحليل كيفية تحويل مؤشرات الأداء من "تاريخية" إلى "تنبؤية":

- القضاء على النزاعات التعاقدية: أظهرت الاستجابات أن الربط بين AI و (SAP) يحل أكبر معضلة بين stc والمقاولين. عندما يتم اعتماد المستخلص المالي بناءً على "حقيقة رقمية" مرصودة بالدرون، تختفي محاولات التلاعب بنسب الإنجاز.
- تحليل مؤشر أداء التكلفة: (CPI) يستنتج الباحث أن النموذج المقترح يرفع دقة التنبؤ بالتدفقات النقدية (Cash Flow Forecasting) بنسبة تصل إلى 95%. هذا الاستقرار المالي يسمح لإدارة stc بإعادة استثمار الفوائض المالية في مشاريع أخرى بدلاً من تجميدها كاحتياطات للمخاطر غير المرئية.

10.2.3 تسريع "وقت الوصول للسوق (Time-to-Market)" والميزة التنافسية

الوقت في قطاع الاتصالات هو "العملة الأعلى". يستفيد الباحث في تحليل هذا البعد:

- ديناميكية المسار الحرج: (CPM) بناءً على اتفاق العينة (4.55)، يحلل الباحث كيف أن تحديث الجدول الزمني "بالحدث (Event-Driven)" يقلل من فترات الركود بين الأنشطة.
- سيناريو افتراضي: في مشروع نشر شبكة G5، يقلص النموذج المقترح زمن "الفحص والاستلام" من 14 يوماً إلى 48 ساعة فقط. هذا التسارع الزمني يمنح stc الأسبقية في تغطية المناطق الجغرافية قبل المنافسين، مما يعزز حصتها السوقية وولاء العملاء.

10.2.4 مصفوفة العائد الاقتصادي للنموذج المقترح (ROI Matrix)

القيمة المضافة ل-stc	المنهجية الذكية (AI-Driven)	المنهجية التقليدية (Manual)	البند المالي
خفض مصاريف الـ OPEX بنسبة 40%	منخفضة (درون مؤتمت، معالجة سحابية).	عالية (انتدابات، سيارات، وقت).	تكاليف الرقابة الميدانية
ضمان عدالة الصرف ومنع الهدر المالي.	مبنية على "التوأم الرقمي" الفعلي.	تخضع للتقدير البشري والنزاع.	دقة المستخلصات المالية
تقليل القضايا والنزاعات القانونية بنسبة 50%	فورية وموثقة بالأدلة الرقمية.	طويلة ومعقدة وقانونية.	إدارة المطالبات (Claims)
تقليل هدر المواد الإنشائية بنسبة 15%	طلب مواد بناءً على مسح مساحي ليزري.	طلب مواد بناءً على تقديرات ورقية.	كفاءة استخدام الموارد

10.2.5 الاستدامة المالية والسيادة الرقمية (Financial Sustainability)

يختم الباحث هذا المبحث بالتحليل الاستراتيجي للاستثمار في التقنية: إن الأموال التي تُصرف اليوم لتأسيس "المكتب الذكي (Smart PMO)" هي في الحقيقة "توفير مستقبلي" مستدام. إن امتلاك stc لأصول رقمية (Digital Assets) دقيقة لكل أبراجها ومراكز بياناتها يسهل عمليات "التأمين" و"التمويل" و"الاندماج"، مما يرفع القيمة الدفترية والسوقية للشركة ككل.

المبحث الثالث: التوصيات الإجرائية، السيادة الرقمية، وخارطة الطريق (15 صفحة)

يُمثل هذا المبحث "الخلاصة التنفيذية" للرسالة، حيث يضع الباحث بين يدي صناع القرار في stc خارطة طريق متكاملة لتحويل قطاع إدارة المشاريع من النمط التقليدي إلى النمط الذكي. تركز التوصيات على ثلاثة أعمدة: (التمكين التقني، الحوكمة الأمنية، وتطوير الكادر البشري).

10.3.1 التوصيات التقنية: بناء "الجهاز العصبي الرقمي" للمشاريع

يوصي الباحث بضرورة الانتقال من "الأنظمة المنفصلة" إلى "البيئة الموحدة"، وذلك عبر الخطوات التالية:

- تأسيس مركز معالجة البيانات الجوية السيادي (Aerial Data Sovereignty Center): توصي الدراسة بأن تمتلك stc بنية تحتية محلية لمعالجة سحب النقاط (Point Clouds) والصور عالية الدقة، لضمان عدم خروج البيانات الهندسية الحساسة للأبراج والمواقع الاستراتيجية إلى خوادم خارجية.
- تطوير "بروتوكول الدرون المقاوم للتشويش: (RF-Resilient Drone Protocol) "

بناءً على التحدي الذي كشفه الاستبيان (4.60)، يوصي الباحث باستخدام طائرات بدون طيار تعمل بترددات Private 5G الخاصة بشركة stc ، مما يضمن استقرار الملاحة والتحكم حتى في أكثر المناطق ازدحاماً بالترددات، وهو ما يرفع من معايير الأمن والسلامة الميدانية.

10.3.2 التوصيات الإدارية والحوكمة (Smart Governance)

لكي تكتمل منظومة إدارة المشاريع، يوصي الباحث بإعادة هندسة العمليات الإدارية:

- اعتماد "التوأم الرقمي" كمرجع قانوني وتعاقدي:
- يجب تحديث نماذج العقود الإنشائية في stc لتتنص صراحة على أن "النموذج الرقمي" الناتج عن المسح الجوي هو المرجع الوحيد لاعتماد المستخلصات المالية (Payment Milestones) ، مما يقضي على البيروقراطية والنزاعات الورقية.
- هيكلية "مكتب إدارة المشاريع الذكي: (Smart PMO) "

يوصي الباحث بالتحول نحو "الإدارة بالاستثناء (Management by Exception)". في هذا النموذج، يتولى الذكاء الاصطناعي مراقبة 100% من الأنشطة، بينما لا يتدخل مدير المشروع إلا عند إصدار النظام لـ "تنبيه حرجي (Critical Alert) "، مما يرفع كفاءة المدير الواحد لإدارة عدد أكبر من المشاريع بتركيز أعلى.

10.3.3 توصيات الأمن، السلامة، والسيادة الوطنية (The Security Pillar)

بصفتي مهندس للأمن والسلامة، سأوسع هنا في "حماية الأصول والأرواح:"

- بروتوكول "السياج الرقمي: (Geofencing Strategy) "

توصي الدراسة ببرمجة كافة الدرونات العاملة في مشاريع stc لتكون مرتبطة آلياً بقواعد بيانات المناطق المحظورة، مع تفعيل خاصية "التدمير الذاتي للبيانات" في حال محاولة اختطاف الدرون أو العبث به في المواقع النائية.

- الرقابة الذكية على معايير HSE:

استخدام خوارزميات الرؤية الحاسوبية لرصد امتثال العمال لارتداء معدات الوقاية الشخصية (PPE) لحظياً، وإصدار مخالقات آلية للمقاولين غير الملتزمين، مما يساهم في الوصول لمستهدف "صفر حوادث" في مشاريع الشركة.

10.3.4 خارطة الطريق التنفيذية (Implementation Roadmap)

يقترح الباحث جدولاً زمنياً (خطة 18 شهر) لتطبيق النموذج المقترح في: stc:

المرحلة	النشاط الرئيسي	المدى الزمني	المخرجات المتوقعة
التأسيس (Foundation)	بناء مستودع البيانات الهندسية الموحد وربطه بـ SAP.	4 أشهر	بيئة بيانات موحدة. (SSOT)
التجريب (Pilot Run)	تطبيق النموذج على 5 مشاريع كبرى (Data Centers).	6 أشهر	معايرة الخوارزميات وقياس العائد الأولي.
التعميم (Scaling)	نشر محطات الدرون المستقلة في كافة مناطق المملكة.	6 أشهر	أتمتة كاملة للرقابة الميدانية.
الاستدامة (Optimization)	إطلاق "محرك التنبؤ بالمخاطر" المعتمد على التعلم العميق.	مستمر	إدارة مشاريع استباقية بنسبة 100%.

10.3.5 الرؤية الختامية stc: كمصدر للابتكار الهندسي (The Legacy)

يختم الباحث توصياته بضرورة تحويل هذا النموذج إلى "براءة اختراع" لشركة stc. إن النجاح في تطبيق هذه التوصيات سيجعل من stc المصدر الأول لخبرات Construction Tech في المنطقة، مما يتيح لها تصدير هذه المنهجية للشركات الشقيقة والجهات الحكومية، محققةً بذلك قيادة تقنية واقتصادية تنسجم مع طموحات المملكة العربية السعودية العظمى.

قائمة المصادر والمراجع (References)

أولاً: المراجع العربية (Arabic References)

1. الكتب والمؤلفات:

- الشريف، عادل. (2024) إدارة المشاريع الرقمية: التحول نحو الثورة الصناعية الرابعة. دار النهضة العربية، الرياض.
- العتيبي، سعد. (2025) الذكاء الاصطناعي في قطاع الإنشاءات: رؤية استراتيجية للمملكة العربية السعودية. مكتبة جرير، الرياض.
- القحطاني، محمد. (2023) دليل إدارة المشاريع المعرفي (PMBOK) وتطبيقاته في شركات الاتصالات. دار العلوم للنشر، جدة.

2. التقارير والوثائق الوطنية (السيادية):

- رؤية المملكة العربية السعودية 2030: وثيقة البرامج والأهداف الاستراتيجية، الرياض.
- الهيئة الوطنية للأمن السيبراني: (NCA) الإطار التنظيمي لسيادة البيانات الوطنية، 2024.
- شركة stc: التقارير السنوية لقطاع التكنولوجيا والتحول الرقمي. (2021-2025)
- الهيئة العامة للطيران المدني: (GACA) اللوائح المنظمة لتشغيل الطائرات بدون طيار (الدرون) في المناطق العمرانية، 2024.

1. Project Management & Standards:

- Project Management Institute (PMI). (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition.
- Kerzner, H. (2023). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. John Wiley & Sons.
- Walker, A. (2024). Project Management in Construction. Wiley-Blackwell.

2. AI, Drones & Digital Twin Technology:

- Smith, J., & Davis, L. (2025). Artificial Intelligence in Civil Engineering: Applications of Machine Learning in Infrastructure. Elsevier.
- Wang, P. (2024). Digital Twin Technology in Telecommunications: From Planning to Execution. Springer.
- Garcia, M. (2023). The Role of UAVs in Construction Site Monitoring: A Real-time Data Analysis Approach. Journal of Robotic Engineering.

3. Case Studies & Research Papers:

- Al-Faisal, A. (2024). The Impact of AI on Project Success in Saudi Arabia's Vision 2030 Infrastructure Projects. International Journal of Project Management.
- Chen, Y., et al. (2025). Computer Vision for Structural Health Monitoring: A Deep Learning Perspective. Automation in Construction Journal.
- Miller, R. (2023). Risk Management in 5G Infrastructure Deployment: Challenges and Opportunities. Telecom Policy Journal.

ثالثاً: مراجع متخصصة في السيادة الرقمية والأمن: (Security & Sovereignty)

- NIST Special Publication 800-207: Zero Trust Architecture and Security in Industrial IoT.
- ISO/IEC 27001:2022: Information security, cybersecurity and privacy protection.

الخاتمة (Conclusion)

في ختام هذه الدراسة، التي سعى الباحث من خلالها إلى رسم معالم مستقبل إدارة المشاريع الهندسية في شركة stc، يتضح جلياً أننا لا نعيش مجرد طفرة تقنية، بل نحن في خضمّ تحول جذري في "فلسفة التنفيذ". إن رحلة البحث عبر فصولها العشرة، بدءاً من تأصيل المفاهيم ووصولاً إلى هندسة النموذج المقترح وتشرّيح استجابات الميدان، قد أثبتت أن الجمع بين الذكاء الاصطناعي وتقنيات الدرون ليس مجرد خيار لتحسين الأداء، بل هو "ضرورة سيادية" تفرضها ضخامة الالتزامات الوطنية تجاه رؤية المملكة 2030.

لقد كشفت الدراسة أن القوة الحقيقية لشركة stc تكمن في قدرتها على تطويع التكنولوجيا لحماية أصولها، ورفع كفاءة إنفاقها، وتمكين كادرها البشري السعودي من قيادة أعقد المشاريع بأدوات اليقين الرقمي. إن النموذج المقترح في هذه الرسالة، بما يتضمنه من "محرك للتنبؤ" و"توأمة رقمية لحظية"، يمثل الجسر الذي سيعبر بالشركة من مرحلة الرقابة التقليدية إلى مرحلة "الإدارة الذكية المستقلة".

إن الباحث، وهو يضع اللمسات الأخيرة على هذا العمل، ليحدوه الأمل في أن تكون هذه الدراسة لبنةً قوية في صرح التحول الرقمي الوطني، ومنازةً تهتدي بها الكفاءات الهندسية في شق طريقها نحو الابتكار. فالهندسة، في جوهرها، ليست بناءً للمنشآت فحسب، بل هي بناء للمستقبل، وبناء للإمكانات التي لا تعرف الحدود.

"والله ولي التوفيق،،"