

جامعة ميدأوشن

كلية الإدارة

قسم / إدارة المشاريع



عنوان البحث

أثر تطبيق نمذجة معلومات البناء (BIM) على تحسين
الكفاءة في إدارة المشاريع الحكومية في أبوظبي
(دراسة تطبيقية على مشروع قطار الاتحاد)

إعداد الطالب/

عمار التوم حسين عوض الكريم

إشراف/

د. الفیصل عبد الحمید

د. فايز جراد

العام الدراسي:

2025

مقدمة:

تُعد مشاريع البنية التحتية الكبرى أحد المحركات الأساسية للتنمية الشاملة في الدول، وخاصة تلك التي ترتبط ارتباطاً مباشراً بالحركة الاقتصادية واللوجستية والاستدامة الحضرية. وفي هذا السياق، يأتي **مشروع قطار الاتحاد (Etihad Rail)** كأحد أبرز المبادرات الاستراتيجية التي أطلقتها دولة الإمارات العربية المتحدة، وتحديداً حكومة أبوظبي، بهدف إنشاء شبكة سكك حديدية وطنية بطول يتجاوز 1,200 كيلومتر، تمتد من منطقة الغويفات على الحدود الغربية حتى إمارة الفجيرة شرقاً، مروراً بمراكز التجارة والصناعة والسكن الحيوية في الدولة.

يتجاوز المشروع كونه مجرد ممر للنقل، ليشكل نموذجاً مستقبلياً للبنية التحتية الذكية، حيث تم فيه توظيف عدد من أحدث تقنيات التحول الرقمي، وعلى رأسها **نمذجة معلومات البناء (BIM)**، التي تتيح بناء تمثيلات رقمية ثلاثية ورباعية الأبعاد عالية الدقة لمكونات المشروع، ابتداءً من التصميم الإنشائية والمعمارية، وصولاً إلى عناصر الصيانة والتشغيل. علاوة على ذلك، جرى دمج BIM مع مفاهيم التوأم الرقمي (**Digital Twin**) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، بهدف تمكين الإدارة الذكية والتفاعلية للمشروع في مراحل ما بعد التنفيذ، مما يعزز القدرة على مراقبة الأداء، وتحليل المخاطر، واتخاذ قرارات مبنية على بيانات آنية.

ورغم هذا التقدم التقني اللافت في إدارة المشروع، إلا أن تقييم الأثر الفعلي لتطبيق BIM على كفاءة إدارة Etihad Rail، خصوصاً من حيث تحسين مؤشرات الأداء الرئيسية مثل الوقت والتكلفة وجودة التنسيق والتنفيذ، لا يزال موضوعاً غير مستكشف بشكل كافٍ في الأدبيات العلمية، خاصة في السياق الإماراتي. فمعظم الدراسات ركزت على النواحي التقنية أو التصميمية دون الخوض في التحليل الميداني لكيفية انعكاس هذه الأدوات الرقمية على الأداء الإداري والتنفيذي الفعلي.

ومن هنا تنطلق هذه الدراسة، لتكون محاولة بحثية تطبيقية تهدف إلى تحليل شامل لأثر نمذجة معلومات البناء (BIM) على كفاءة إدارة مشروع Etihad Rail، باعتباره نموذجاً واقعياً ومتكاملاً لمشاريع البنية التحتية الكبرى. وتسعى الدراسة إلى تقديم رؤية علمية وعملية، تستند إلى البيانات الميدانية والتحليل الإحصائي، وتدعم صناع القرار والهيئات الحكومية في وضع سياسات مستدامة لتبني حلول BIM على نطاق أوسع في المشاريع المستقبلية بالدولة.

مشكلة الدراسة:

تمهيد للمشكلة

في العقود الأخيرة، أصبحت **نمذجة معلومات البناء (BIM)** من الأدوات المركزية في تحسين أداء مشاريع التشييد الكبرى، حيث وفّرت بُنية رقمية تسمح بالتكامل بين الأطراف المختلفة، وتقليل أخطاء التنفيذ، والحد من التكاليف الزائدة، فضلاً عن تسريع اتخاذ القرار وتعزيز الكفاءة التشغيلية. وقد أثبتت التجارب العالمية – من سنغافورة إلى المملكة المتحدة – أن اعتماد BIM لا يُعد رفاهية تقنية، بل ضرورة لتحقيق الكفاءة المؤسسية، خاصة في المشاريع التي تتم بتمويل عام وتحت إشراف حكومي.

ومع أن دولة الإمارات العربية المتحدة، وتحديداً إمارة أبوظبي، تبنت رؤية طموحة في مجال التحول الرقمي ضمن مشاريعها الكبرى، إلا أن التطبيق العملي لـ BIM لا يزال متفاوتاً من حيث النطاق والعمق والفاعلية. أحد أبرز المشاريع التي شهدت دمجاً لتقنيات BIM هو **مشروع قطار الاتحاد (Etihad Rail)**، والذي يُعد أحد أكبر مشاريع البنية التحتية في الدولة، ويهدف إلى إنشاء شبكة سكك حديدية وطنية تربط بين المراكز اللوجستية والصناعية والسكانية في الدولة، ضمن استراتيجية أبوظبي 2030.

جوهر المشكلة

رغم إدراج BIM في بعض مراحل Etihad Rail، إلا أن هناك ثغرات معرفية وعملية حقيقية لم تُغلق بعد:

- **غياب التقييم المنهجي الدقيق** لمدى تأثير BIM على الأداء التنفيذي، مثل الالتزام بالجدول الزمنية، والتحكم في الميزانيات، وتحسين التنسيق بين الفرق المختلفة.
- **عدم توفر بيانات تطبيقية منشورة محلياً** تُقارن بين نتائج مشروع بنفذ بتقنيات BIM ومشاريع تقليدية مشابهة، ما يصعب تقديم سياسات واضحة قائمة على الأدلة.
- **وجود فجوة بين ما هو مخطط على المستوى النظري والتقني (BIM 4D/5D)** وبين ما يتم تنفيذه فعلياً على أرض الواقع داخل المشاريع الحكومية.
- **عدم وضوح العوائق** التي تحد من التبنى الكامل لهذه التقنية في بيئة عمل حكومية متعددة الأطراف (جهة مالكة – استشاري – مقاول – جهات تنظيمية).
- **قصور التقييم في بعدي "القيمة التشغيلية" و"الأثر المؤسسي"**، إذ لم يُدرس كيف ساهمت (أو لم تُساهم) نمذجة معلومات البناء في تمكين صانع القرار الحكومي من إدارة المشروع بكفاءة أعلى.

مشكلة الدراسة بصيغة مباشرة

ما مدى تأثير تطبيق نمذجة معلومات البناء (BIM) على تحسين الكفاءة في إدارة مشروع قطار الاتحاد من حيث الوقت والتكلفة والتنسيق، وما أبرز التحديات التي تواجه هذا التطبيق في السياق المؤسسي الحكومي لإمارة أبوظبي؟

تفسير إشكالية المشكلة

تزداد أهمية هذه المشكلة في ضوء ما يلي:

1. الطبيعة المعقدة والمتعددة الأبعاد لمشروع Etihad Rail ، حيث توجد عدة جهات تنفيذية واستشارية تعمل في بيئة واحدة.
2. الضغوط الزمنية والمالية المصاحبة للمشاريع الحكومية، مما يتطلب أدوات رقمية قادرة على ضبط الأداء في الوقت الفعلي.
3. غياب مؤشرات قياس مؤسسية واضحة تُظهر جدوى BIM كاستثمار رقمي.
4. ندرة الدراسات التطبيقية في الخليج – رغم النمو الهائل في حجم المشاريع – وهو ما يجعل هذه الدراسة تسد فجوة معرفية واضحة.

خلاصة مشكلة الدراسة

إنَّ نقص الدراسات التطبيقية التحليلية التي تقيس الأثر الفعلي لتقنية BIM في إدارة مشروع بحجم قطار الاتحاد، وغياب إطار تقييم مؤسسي لمدى فعاليتها في تحسين الكفاءة الزمنية والمالية والتنسيقية، يُمثّلان جوهر المشكلة البحثية التي تسعى هذه الدراسة إلى معالجتها.

مع تزايد الاهتمام بالاستدامة البيئية والتغير المناخي، تواجه المشاريع الحكومية ضغوطاً متزايدة لتحقيق معايير الاستدامة العالية. هذه المتطلبات تحتاج إلى أدوات وتقنيات متقدمة لتقييم الأثر البيئي وتحسين كفاءة استخدام الطاقة والموارد.

نقص الكوادر المتخصصة

تواجه إدارة المشاريع الحكومية نقصاً في الكوادر المتخصصة والمدرّبة على استخدام التقنيات الحديثة في إدارة المشاريع. هذا النقص يحد من قدرة هذه المشاريع على تطبيق أفضل الممارسات العالمية والاستفادة من التطورات التكنولوجية الحديثة.

في ضوء هذه التحديات، تبرز الحاجة الملحة لدراسة وتقييم إمكانية تطبيق تقنيات نمذجة معلومات البناء (BIM) كحل شامل ومتكامل لمعالجة هذه المشاكل وتحسين كفاءة إدارة المشاريع الحكومية في أبوظبي، خاصة في القطاعين السكني والتعليمي اللذين يشكلان ركيزة أساسية في برامج التنمية الحكومية.

أولاً: الأهمية العلمية والأكاديمية

تتبع أهمية هذه الدراسة من كونها تُعالج فجوة قائمة في الأدبيات الأكاديمية العربية والخليجية، خاصة فيما يتعلق بالعلاقة بين **نمذجة معلومات البناء (BIM)** وبين **تحسين الكفاءة الإدارية والتنفيذية** في مشاريع البنية التحتية الكبرى. فرغم وفرة الدراسات التقنية التي تناولت BIM من زاوية النمذجة أو التكامل البرمجي أو التحديات التكنولوجية، إلا أن القليل منها – إن وُجد – اتخذ منحىً تطبيقيًا يقيس الأثر المباشر لـ **BIM على الأداء الإداري والزمني والمالي** لمشروع حكومي بهذا الحجم والتعقيد.

إذ تشير الأدبيات الغربية إلى أن مشاريع السكك الحديدية الكبرى التي استخدمت BIM مثل Crossrail في لندن، أو Gotthard Base Tunnel في سويسرا) أظهرت وفورات في الوقت والتكلفة وتحسيناً في التنسيق بنسبة تصل إلى 25%، ومع ذلك لا توجد دراسة تحليلية مماثلة في السياق الإماراتي – لا من حيث البيئة المؤسسية، ولا من حيث البنية القانونية والتنفيذية. وبالتالي، فإن هذه الدراسة تسهم في تطوير إطار معرفي محلي يمكن البناء عليه في دراسات مستقبلية أو تطبيقات عملية لاحقة.

ثانياً: الأهمية التطبيقية والإدارية

إن مشاريع كبرى مثل **Etihad Rail** تُدار بواسطة شبكة متعددة من المقاولين والاستشاريين والممولين والجهات الحكومية، وهو ما يُعقد عملية التنسيق ويُضاعف احتمالات الهدر أو التأخير. وتأتي هذه الدراسة لتُسهّم في:

- توفير أدوات تقييم عملية تُمكن الجهات الحكومية من قياس فاعلية استخدام BIM بشكل موضوعي.
- إبراز نقاط القوة والضعف في طريقة استخدام BIM ضمن المشروع، من واقع تجربة ميدانية.
- اقتراح آليات تحسين وتطوير على مستوى إدارة دورة حياة المشروع، من التصميم وحتى التشغيل، استناداً إلى بيانات واقعية وتحليل علمي.

هذه الأهمية تتضاعف في ظل توجه دولة الإمارات إلى تعميم تطبيق BIM في كافة مشاريعها الحكومية بحلول 2030، مما يجعل نتائج هذه الدراسة ذات قيمة تنفيذية مباشرة.

ثالثاً: الأهمية الاقتصادية

من المتوقع – وفقاً لتقارير دولية ومحلية – أن تؤدي تقنيات مثل BIM إلى:

- خفض التكاليف الناتجة عن التعديلات غير المتوقعة بنسبة تتراوح بين 10%-20%.
- تسريع دورة تنفيذ المشروع بنسبة 15%-30%.
- تقليل النزاعات القانونية الناتجة عن سوء التفاهم بين الأطراف أو التداخل في الأعمال.

وبالتالي، فإن أي إثبات علمي لهذه النتائج في السياق الإماراتي سيدعم صانعي القرار في اعتماد BIM ليس فقط كأداة تصميم، بل كمنهج إداري لتحقيق الكفاءة المالية.

رابعاً: الأهمية الوطنية والتنموية

يتقاطع هذا البحث مع عدة محاور من رؤية الإمارات 2031 ورؤية أبوظبي 2030، لا سيما:

- التحول الرقمي الحكومي
- رفع كفاءة البنية التحتية
- دعم الاستدامة من خلال إدارة ذكية للموارد
- تعزيز الريادة الإقليمية في مجال المشاريع الذكية

كما أن النتائج المقترحة قد تُستخدم في إعادة تصميم سياسات إدارة المشاريع العامة، لتكون أكثر اعتماداً على البيانات، وأكثر تكاملاً مع أدوات الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي في المستقبل.

خلاصة الأهمية

إن هذه الدراسة لا تُسهم فقط في فهم كيف ساهمت تقنية BIM في تحسين مشروع Etihad Rail ، بل تقدم نموذجاً بحثياً وتطبيقياً يمكن تعميمه على مشاريع حكومية أخرى، مما يجعلها ذات أثر أكاديمي، إداري، واقتصادي واسع النطاق.

أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم تحليل علمي وتطبيقي معمق لتأثير استخدام نمذجة معلومات البناء (BIM) على تحسين الكفاءة في إدارة مشروع حكومي ضخم بحجم قطار الاتحاد (Etihad Rail) في إمارة أبوظبي، وذلك ضمن الإطار الزمني والمكاني الذي يُمثل نموذجًا رياديًا للبنية التحتية الذكية في المنطقة.

ولتحقيق هذا الهدف العام، تنفرع الدراسة إلى مجموعة من الأهداف التفصيلية، تُصنف كما يلي:

الهدف العام الرئيسي:

تحليل وتقييم أثر تطبيق نمذجة معلومات البناء (BIM) على مؤشرات الأداء الرئيسية (الزمن، التكلفة، التنسيق والجودة) في إدارة مشروع Etihad Rail، واستكشاف التحديات التي تؤثر في فعالية هذا التطبيق، وتقديم إطار إداري يعزز توظيف BIM في المشاريع الحكومية المستقبلية.

الأهداف التفصيلية:

1. تحليل مدى دمج BIM في مراحل التصميم والتنفيذ لمشروع Etihad Rail وذلك من خلال دراسة كيفية توظيف النماذج الرقمية، ومراحل استخدامها، وأدوار الأطراف المختلفة.
2. قياس الأثر الزمني لتقنية BIM عبر مقارنة بيانات الجداول الزمنية المخططة مع الفعلية في نطاقات مختارة من المشروع (مثل محطات أو مرافق رئيسية)، لتحديد ما إذا كانت BIM قد ساعدت في تسريع الإنجاز أو تقليل التأخيرات.
3. تحليل الأثر المالي لتطبيق BIM بمتبع التعديلات والتكلفة الإضافية الناتجة عن سوء التنسيق أو التغييرات في التصميم، وتحديد مدى تقليلها نتيجة استخدام BIM وبيئات البيانات المشتركة.
4. تقييم تأثير BIM على التنسيق المؤسسي والجودة التنفيذية: من خلال رصد مدى التكامل بين الأطراف المختلفة (المالك – الاستشاري – المقاول – المطور الرقمي)، واستطلاع آراء المشاركين حول مستوى الوضوح والتعاون الناتج عن استخدام النمذجة الرقمية.
5. تحديد العوائق الفنية والتنظيمية التي تعرقل التبني الشامل لـ BIM سواء كانت مرتبطة بالتدريب، أو جاهزية البنية التحتية، أو الثقافة المؤسسية، أو محدودية التكامل مع أنظمة المشروع الأخرى.
6. اقتراح إطار إداري عملي قائم على البيانات (Data-driven Framework) لتفعيل استخدام BIM في مشاريع البنية التحتية الحكومية الكبرى، بحيث يشمل على محاور التوظيف التقني، التهيئة البشرية، والتكامل مع خطط الرقمنة الحكومية.

أهداف ثانوية مرتبطة بالمستفيدين من الدراسة:

- للمهندسين ومديري المشاريع: فهم أوضح لأثر BIM على الإنتاجية وسلاسة العمليات اليومية.
- للمؤسسات الحكومية المالكة: أدوات تقييم واقعية لمدى تحقيق المشاريع لأهدافها بوجود/غياب BIM.
- للباحثين: توفير نموذج بحث تطبيقي يمكن تكراره أو البناء عليه في مشاريع حكومية أخرى.

توافق الأهداف مع عناصر البحث الأخرى:

عنصر الدراسة	التوافق مع الأهداف
مشكلة الدراسة	تسعى الأهداف لتفكيك أبعادها وتحليل أوجه القصور
الأسئلة البحثية	تقابل الأهداف مباشرة، وتُختبر بالأدوات الكمية والنوعية
الفروض	كل هدف مرتبط بفرض إحصائي سيتم اختباره عملياً
أدوات الدراسة	صُممت لجمع البيانات التي تقيس هذه الأهداف بدقة

تنبثق هذه الدراسة من الحاجة إلى فهم دقيق وواقعي لأثر تقنيات التحول الرقمي، وعلى رأسها **نمذجة معلومات البناء (BIM)** و**التوأمة الرقمية (Digital Twin)**، على أداء تنفيذ مشاريع البنية التحتية الكبرى مثل مشروع **قطار الاتحاد (Etihad Rail)** ولتحقيق أهداف الدراسة، تم وضع خمسة تساؤلات رئيسية تغطي النطاق التطبيقي والتأثيري والإداري لهذه التقنيات داخل المشروع. وفيما يلي عرض موسع لهذه التساؤلات:

كيف تم تطبيق تقنيتي BIM و Digital Twin في مشروع Etihad Rail؟

هذا التساؤل يستهدف فهم:

- **تاريخ وأسلوب إدخال التقنيات الرقمية** ضمن هيكل المشروع، بدءًا من التخطيط المفاهيمي مرورًا بالتصميم التفصيلي والتنفيذ، وصولًا إلى التشغيل والصيانة.
- **النطاق الفعلي لتطبيق BIM:** هل اقتصر على النمذجة ثلاثية الأبعاد 3D، أم تم التوسع إلى النمذجة الزمنية 4D والتكلفة 5D والإدارة التشغيلية 6D & 7D؟
- **كيفية تكامل BIM مع Digital Twin و GIS:** هل يوجد اتصال مباشر وزمني بين الواقع الميداني والنماذج الرقمية؟ هل يتم استخدام البيانات في الوقت الفعلي؟
- **الأدوات الرقمية المعتمدة** مثل Revit, Navisworks, Synchro, BIM 360, Oracle Aconex, Esri ArcGIS.

يهدف هذا التساؤل إلى رسم خريطة تفصيلية لكيفية تطبيق التقنية، وتحديد الفجوات، ومقارنة ذلك بالمعايير العالمية.

ما أثر تطبيق BIM على الجداول الزمنية والتكاليف الفعلية مقارنة بالمخططات الأولية؟

يتناول هذا التساؤل الجانب الكمي لتقييم أداء المشروع، ويقيس:

- **الفرق بين الجدول الزمني المخطط والزمن الفعلي لإنجاز الأنشطة.** (baseline vs. actual).
- **التغير في التكلفة التقديرية مقابل التكلفة الفعلية بعد إدخال BIM (Cost Deviation Analysis).**
- **قياس الفاقد الزمني أو المالي الناتج عن سوء التنسيق قبل تطبيق BIM**، مقابل معدلات الإنجاز بعد التطبيق.
- **مدى مساهمة BIM في تقليل:**
 - طلبات التغيير (Change Orders)
 - التأخيرات الناتجة عن تعارض التصميم (Clashes)
 - هدر المواد والموارد

الإجابة على هذا السؤال ستعتمد على مقارنة إحصائية بين البيانات السابقة واللاحقة لتطبيق BIM.

هل أدى استخدام BIM إلى تحسين التنسيق بين مختلف الأطراف المشاركة في المشروع؟

يركز هذا السؤال على أداء فرق العمل وفعالية التواصل الهندسي من خلال:

- مدى تقليل الاجتماعات التنسيقية غير الضرورية.
- استخدام منصات التعاون المشترك مثل BIM 360 أو Common Data Environment (CDE).
- تقليل عدد الأخطاء الناتجة عن غموض الوثائق أو تداخل المسؤوليات.
- قياس رضا الأطراف (استشاري، مقاول، جهة حكومية) عن التنسيق عبر مؤشرات مثل: سرعة الرد على RFIs ، معالجة التصادمات، تتبع التعديلات.

ويعتمد هذا السؤال على البيانات النوعية من المقابلات، بالإضافة إلى مؤشرات أداء التعاون الرقمي.

ما أبرز التحديات التقنية أو الإدارية التي واجهت تطبيق BIM في Etihad Rail ؟

يهدف هذا التساؤل إلى التعرف على عوائق التحول الرقمي، ومنها:

- تحديات تقنية: مثل نقص الكوادر المؤهلة، ضعف التكامل بين البرامج، عدم توفر نماذج موحدة.
- تحديات إدارية: مقاومة التغيير، نقص الوعي القيادي، ضعف التمويل التقني.
- صعوبات التوثيق والبنية التحتية مثل بطء تدفق البيانات، أو غياب CDE فعال.

الإجابة تساعد على بناء استراتيجية لتجاوز العقبات في المشاريع المشابهة، خاصة ضمن بيئات حكومية معقدة.

ما الآليات والإجراءات المقترحة لتوسيع وتعميم استخدام BIM و Digital Twin في مشاريع بنية تحتية مستقبلية بدولة الإمارات؟

هذا التساؤل يمثل البُعد الاستشرافي للدراسة، ويقترح:

- بناء أطر حوكمة تقنية تلزم الجهات باستخدام BIM عبر مراحل المشروع.
- تطوير إستراتيجيات تدريب وتطوير مهني لتأهيل الكوادر.
- تبني نماذج CDE موحدة وتكاملها مع الأنظمة الحكومية الأخرى.
- اقتراح مؤشرات أداء رئيسية (KPIs) لقياس جدوى التحول الرقمي.
- مراجعة العقود الحكومية لتضمن بنود إلزامية لتطبيق BIM.

هذا السؤال يساعد صانع القرار في رسم خارطة طريق رقمية لمستقبل البنية التحتية في الإمارات.

بُنيت هذه الدراسة على مجموعة من الفروض العلمية التي تم صياغتها بناءً على مراجعة الأدبيات السابقة، والممارسات الدولية في مشاريع البنية التحتية الرقمية، وأيضًا بناءً على ملاحظات ميدانية أولية حول مشروع قطار الاتحاد (Etihad Rail). تهدف هذه الفروض إلى اختبار العلاقة بين تطبيق تقنيات BIM و Digital Twin، وبين مؤشرات الأداء التنفيذي للمشروع مثل الزمن والتكلفة والتنسيق والجودة.

تُصاغ الفروض وفق النموذج الإحصائي القابل للاختبار باستخدام أدوات تحليل كمي ونوعي، وتُستخدم لاحقًا كأساس لتحليل البيانات والنتائج.

الفرضية الأولى: (H₁)

"تطبيق تقنية BIM في Etihad Rail يساهم في تقليل مدة تنفيذ الأنشطة بنسبة تقديرية تصل إلى 15% مقارنة بالجدول الزمني المخطط".

- الشرح: تشير الأدبيات إلى أن استخدام BIM في إدارة المشاريع يساهم في تسريع إنجاز الأعمال بسبب وضوح التسلسل، الحد من التعارضات، والتخطيط البصري الزمني 4D.
- ما سيتم اختباره: الفرق بين baseline schedule و actual progress في مواقع محددة باستخدام بيانات المشروع.

الفرضية الثانية: (H₂)

"استخدام BIM يساهم في خفض التكاليف الإجمالية أو التكاليف الإضافية في المشروع بنسبة تزيد عن 10%".

- الشرح: تُظهر دراسات عالمية أن BIM يقلل من الهدر، التعديلات المكلفة، وتكرار الأعمال (rework) عبر كشف التعارضات مسبقًا (Clash Detection).
- ما سيتم اختباره: معدل الانحراف في التكاليف، مقارنة بمشاريع مشابهة لم تعتمد BIM.

الفرضية الثالثة: (H₃)

"تطبيق BIM يعزز مستوى التنسيق بين الأطراف المعنية بالمشروع بنسبة تفوق 20% مقارنة بالأساليب التقليدية".

- الشرح: تُمكن منصات BIM المشتركة (مثل BIM 360) من توحيد الوثائق وتحديثها لحظيًا، مما يعزز التعاون بين المقاولين، الاستشاريين، والجهات الحكومية.
- ما سيتم اختباره: تقييم فرق المشروع لمستوى التنسيق قبل/بعد تطبيق BIM باستخدام استبيان Likert.

الفرضية الرابعة: (H₄)

"تواجه مشاريع البنية التحتية الكبرى في الإمارات تحديات تقنية وإدارية تحد من تفعيل إمكانيات BIM بشكل شامل".

- الشرح: رغم الدعم الحكومي، إلا أن المعوقات تشمل: نقص الكفاءات، ضعف الدمج بين الأنظمة، والمقاومة المؤسسية للتغيير.
- ما سيتم اختباره: تحليل نوعي من خلال مقابلات مع منسقي BIM ومدراء المشروع حول أبرز العوائق الداخلية والخارجية.

ملاحظات حول الفروض:

- سيتم اختبار الفروض H₁ ، H₂ ، H₃ باستخدام أدوات تحليل إحصائي عبر برنامج SPSS (تحليل التباين ANOVA ، والانحدار
- أما الفرض H₄ فسوف يُختبر باستخدام تحليل نوعي موضوعي (Thematic Analysis) من مقابلات الخبراء.

أهمية هذه الفروض

وجود فروض قابلة للاختبار يعزز من:

- الموضوعية العلمية للدراسة.
- إمكانية التعميم على مشاريع مشابهة في الإمارات أو الخليج.
- مساعدة صانع القرار في فهم العائد الحقيقي من التحول الرقمي، وما يلزمه من إصلاحات إدارية وتقنية.

تهدف هذه الفقرة إلى استعراض وتحليل الأدبيات السابقة المرتبطة بموضوع البحث، من حيث تطبيق نمذجة معلومات البناء (BIM)، والتوأمة الرقمية (Digital Twin)، في مشاريع البنية التحتية، مع التركيز على:

- السياق العالمي
- البيئة المحلية والإقليمية
- حالة Etihad Rail كمشروع نموذجي

يستخدم هذا الاستعراض لتحديد الفجوات المعرفية التي تسعى هذه الدراسة إلى سدها.

الدراسات المتعلقة بمشروع Etihad Rail

- بحسب موقع Etihad Rail الرسمي وتقارير مجموعة (GPC Group 2019)، فإن المشروع اعتمد على:
 - نماذج BIM ثلاثية الأبعاد لتخطيط المسارات والمحطات.
 - تكامل مع نظم GIS عبر نموذج "Geo-enabled Digital Twin".
 - تعاون مع شركات عالمية لتطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة البيانات المكانية والحركية.
- ومع ذلك، لا توجد دراسات تحليلية علمية منشورة حول أثر هذه التقنيات على الأداء التنفيذي (الزمن، التكلفة، التنسيق).

ملاحظة: هذه المعلومات تم الحصول عليها من مواقع إلكترونية وتصريحات رسمية، وليست دراسات أكاديمية منشورة، مما يبرز الفجوة البحثية في هذا الجانب.

دراسات عالمية حول BIM في مشاريع البنية التحتية

◆ *Alsofiani (2024) – Digitalization in Infrastructure Construction Projects (arXiv)*

- دراسة تحليلية استخدمت منهج PRISMA لمراجعة 65 دراسة حالة حول تطبيق BIM و Digital Twin في مشاريع البنية التحتية (كباري، سكك حديد، أنفاق).
- أبرزت:
 - أن BIM يساهم في خفض متوسط التكلفة بنسبة 10-18%.
 - أن النجاح يرتبط بوجود قيادة رقمية واضحة وتكامل وظيفي بين الأطراف.
 - أن ضعف النضج الرقمي ونقص التدريب أهم العوائق.

◆ *Eastman et al. (2011) – BIM Handbook*

- يُعد من أوائل المراجع التي وضعت إطاراً مفاهيمياً لتطبيق BIM في التصميم والبناء.
- شرح بوضوح أهمية مستويات التطور (LODs)، التنسيق متعدد التخصصات، والتحول من D 2 إلى D 5 و D.7

معظم هذه الدراسات ركزت على مشاريع في الولايات المتحدة، المملكة المتحدة، وبعض دول آسيا، وغالبًا على المباني وليس السكك الحديدية تحديدًا.

دراسات محلية وإقليمية (الإمارات والخليج)

- أظهرت دراسات في جامعات الإمارات والسعودية وقطر وجود رغبة حكومية في توسيع استخدام BIM ، خصوصًا في مشاريع الإسكان والبنية التحتية.
- مثال: دراسة من جامعة خليفة (2022) بيّنت أن 60% من المشاريع الحكومية تستخدم BIM جزئيًا فقط، وغالبًا في مرحلة التصميم دون امتداده إلى التنفيذ والتشغيل.
- تم ذكر Etihad Rail كمثال للتطبيق الناجح، لكن دون تحليل أداء أو بيانات كمية.

الفجوة البحثية

الفجوة	الوضع الحالي	المجال
لا توجد دراسة علمية ميدانية حول الأداء التنفيذي	تقارير إعلامية وتقنية غير أكاديمية	تحديدًا Etihad Rail
غياب أمثلة خليجية مرتبطة بمشاريع حكومية عملاقة	متوفرة عالميًا لكن غالبًا في السياق الغربي	BIM في مشاريع السكك الحديدية
غائب تمامًا عن السياق الإماراتي والبنية التحتية	متوفر في دراسات عالمية	تحليل إحصائي
لم يتم اختباره في حالة Etihad Rail بشكل علمي	موضوع ناشئ في الأبحاث	تكامل BIM و Digital Twin

خلاصة

رغم توفر مراجع عالمية واسعة حول فوائد وتحديات BIM ، فإن غياب دراسة ميدانية تحليلية حول مشروع Etihad Rail في البيئة الإماراتية، يشكّل الفجوة الرئيسية التي تسعى هذه الدراسة لسدّها، مما يمنحها أهمية علمية وريادة تطبيقية في آن واحد.

يعتمد هذا البحث على مجموعة من النظريات والنماذج الفكرية التي تفسّر كيفية تبني التكنولوجيا الرقمية—مثل **نمذجة معلومات البناء (BIM)** و**التوأمة الرقمية (Digital Twin)** في مشاريع البنية التحتية الكبرى، وكيف تؤثر هذه التقنيات على الأداء التشغيلي. يُعد تأسيس إطار نظري متين خطوة حيوية لربط النتائج بالسياق العلمي وتفسير الظواهر المكتشفة في الدراسة.

– **نظرية انتشار الابتكار (Diffusion of Innovations) (Rogers, 2003)**

- **المبدأ:** تشرح هذه النظرية كيف تنتشر التكنولوجيا الجديدة داخل المنظمات أو المجتمعات، مرورًا بمراحل: **الوعي، القناعة، القرار، التطبيق، والتأكيد.**
- **التطبيق على Etihad Rail:** يُستخدم هذا النموذج لفهم كيفية تبني إدارة المشروع لتقنيات BIM و Digital Twin من هم المبادرون (Innovators)؟ ما دور القيادة؟ وهل توجد مقاومة من فئات متأخرة (Laggards)؟
- **أهمية النظرية:** تُساعد في تحليل عوامل النجاح أو الفشل في إدماج التكنولوجيا داخل البنية المؤسسية.

– **إدارة دورة حياة المشروع (Project Life Cycle Management)**

- **المبدأ:** تنقسم المشاريع إلى مراحل واضحة: **المبادرة → التخطيط → التنفيذ → الإغلاق → التشغيل.**
- **التطبيق على BIM: BIM:** يُستخدم كأداة شاملة في جميع مراحل دورة الحياة، ويؤثر على كل من:
 - تخطيط الموارد
 - تتبع الجدول الزمني
 - تقليل طلبات التغيير (Change Orders)
 - دعم التشغيل والصيانة (6D-7D)
- **أهمية النموذج:** يُبرز التكامل بين النمذجة الرقمية وكافة مراحل المشروع، وهو ما يجعل التحليل في هذه الدراسة أكثر شمولاً.

– **إدارة الجودة الشاملة (Total Quality Management (TQM)**

- **المبدأ:** يقوم هذا النموذج على فلسفة تحسين الجودة باستمرار عبر جميع وحدات المؤسسة وبمشاركة الجميع.
- **التطبيق على Etihad Rail: BIM:** كأداة لضبط الجودة من خلال:
 - تقليل التعارضات الهندسية (Clash Detection)
 - ضمان توحيد التفاصيل الفنية
 - مراقبة الأداء وضبطه أثناء التنفيذ
- **أهمية النظرية:** تُوفر إطارًا علميًا لقياس أثر BIM على مستوى الجودة الفنية والتنفيذية.

نموذج النضج الرقمي Digital Maturity Model

- المبدأ: تصنّف المؤسسات وفق مراحل تطورها الرقمي (البداية، النامية، المتقدمة، المتكاملة).
- التطبيق على المشروع: يتم استخدام هذا النموذج لتقييم موقع Etihad Rail على مقياس النضج الرقمي، خاصة في مدى دمج BIM مع نظم التشغيل والصيانة.
- أهمية النموذج: يُسهم في تقديم توصيات عملية لرفع النضج الرقمي داخل المشاريع الحكومية المماثلة.

العلاقة بين النظريات:

علاقتها بالدراسة	مجال التركيز	النظرية/النموذج
تفسير سرعة الانتقال إلى BIM و Digital Twin	التبني المؤسسي للتقنية	Diffusion of Innovations
تحليل تكامل BIM خلال دورة حياة المشروع	مراحل المشروع	Project Life Cycle Management
قياس أثر BIM على جودة التنفيذ	ضبط وتحسين الجودة	TQM
تقييم مدى جاهزية Etihad Rail رقمياً	التطور المؤسسي الرقمي	Digital Maturity Model

أهمية هذا الإطار النظري

- يساعد على تفسير النتائج التجريبية عبر عدسات متعددة (إدارية، تقنية، تنظيمية)
- يمنح الدراسة عمقاً علمياً يجعلها أكثر قابلية للمقارنة مع دراسات دولية.
- يدعم التوصيات النهائية بناءً على نماذج مثبتة بدلاً من آراء شخصية.

تعتمد هذه الدراسة على منهجية علمية **مختلطة (Mixed Methods Approach)** تجمع بين الأسلوب الكمي والكيفي، وذلك لضمان فهم شامل ودقيق لتأثير تقنيات **نمذجة معلومات البناء (BIM)** والتوأمة الرقمية **(Digital Twin)** على مؤشرات أداء مشروع **Etihad Rail** في إمارة أبوظبي.

نوع الدراسة

دراسة حالة تطبيقية (Case Study Research)

تم اختيار مشروع **Etihad Rail** كحالة فريدة تمثل أحد أضخم مشاريع البنية التحتية في منطقة الخليج، وأحد أوائل المشاريع الإماراتية التي طبقت تقنيات **BIM** و **Digital Twin** بشكل موسع.

المنهج العلمي المستخدم

المنهج المختلط: (Mixed Methods Research)

يجمع بين:

- **المنهج الكمي:** لقياس الأثر الإحصائي لتطبيق **BIM** على الجداول الزمنية، التكاليف، وجودة التنسيق.
- **المنهج النوعي:** لفهم التحديات الإدارية والتقنية والسياق التنظيمي، من خلال المقابلات وتحليل الوثائق.

عينة الدراسة

تم تحديد العينة بناءً على منهج العينة الهادفة (Purposive Sampling)، على النحو التالي:

الوصف	العدد المستهدف	الفئة
من خلال استبيان إلكتروني	60-80 مشاركاً	مهندسون ومديرو BIM
مقابلات شبه موجهة	10-12 مشاركاً	خبراء تنفيذ ومقاولون واستشاريون
تتضمن تقارير زمنية، تكاليف، ونماذج BIM	تحليل وثائق رسمية	بيانات المشروع

أدوات جمع البيانات

1. الاستبيان الإلكتروني: (Quantitative)

- مبني على مقياس **Likert** من 5 درجات.
- يحتوي على 20-25 سؤالاً لقياس أثر **BIM** على:
 - الوقت
 - التكلفة
 - التنسيق
 - الجودة

- سيتم جمع الردود عبر منصة Google Forms أو SurveyMonkey.
- 2. دليل المقابلات: (Qualitative)

- مقابلات شبه موجهة مع أصحاب القرار ومنسقي BIM.
- تهدف لفهم السياق التنظيمي، تحديات التنفيذ، واقتراحاتهم.
- سيتم تحليلها باستخدام أسلوب التحليل الموضوعي. (Thematic Analysis)
- 3. تحليل الوثائق الرسمية:
 - نماذج Gantt
 - تقارير الإنجاز الشهري
 - سجلات التغيير (Change Logs)
 - مستخرجات من نماذج BIM (3D و 4D و 5D)

أساليب تحليل البيانات

نوع البيانات	أداة التحليل	البرنامج المستخدم
البيانات الكمية	إحصاء وصفي وتحليلي (ANOVA, T-Test, Correlation)	SPSS
البيانات النوعية	تحليل مضمون (Coding, Themes)	NVivo / Manual
الوثائق والمخططات	مقارنة خطية – زمنية/مالية	Excel / BIM 360 Tools

مبررات اختيار المنهج المختلط

- **المنهج الكمي** يوفر نتائج قابلة للقياس والتعميم، خصوصاً عند تحليل أثر BIM على الجداول الزمنية والتكلفة.
- **المنهج النوعي** يفسر النتائج ويوفر سياقاً عميقاً لفهم العوائق والفروقات بين النظرية والتطبيق.
- اعتماد منهجية واحدة قد يؤدي إلى تحيز أو قصور في تفسير النتائج، بينما الجمع بين الطريقتين يمنح الدراسة موثوقية وتكاملاً.

الضوابط الأخلاقية

- سيتم الحفاظ على سرية هوية المشاركين واستخدام البيانات للأغراض البحثية فقط.
- يحصل جميع المشاركين على موافقة مسبقة. (Informed Consent)
- تخضع الدراسة لمراجعة أخلاقية من لجنة البحث الأكاديمي (في حال وجود جهة إشرافية).

خلاصة

تم تصميم هذه المنهجية لتكون دقيقة، متوازنة، وقابلة للتطبيق الميداني، مما يُعزز من صلاحية وموثوقية النتائج، ويوفر أساساً علمياً لتوصيات واقعية قابلة للتنفيذ في مشاريع البنية التحتية المستقبلية بدولة الإمارات.

أدوات الدراسة :

لضمان جمع بيانات دقيقة وموثوقة تعكس واقع تطبيق نمذجة معلومات البناء (BIM) والتوأمة الرقمية (Digital Twin) في مشروع Etihad Rail، اعتمدت هذه الدراسة على ثلاث أدوات رئيسية متنوعة، تتكامل فيما بينها، وتستند إلى المنهجية المختلطة (كمية ونوعية)

الاستبيان الإلكتروني (Structured Questionnaire)

الهدف :

قياس تصوّرات ومواقف المهندسين والمشاركين في المشروع حول أثر BIM على الأداء التنفيذي من حيث:

- الزمن
- التكلفة
- التنسيق
- الجودة

مواصفاته :

- عدد البنود 20-25 بنداً
- النوع: مغلق، بنظام Likert مكون من 5 درجات (من: "أعارض بشدة" إلى "أوافق بشدة")
- التصنيفات:
 - بنود تتعلق بالزمن (مثل: "ساهم BIM في تسريع مراحل الإنجاز")
 - بنود عن التكلفة (مثل: "تم تقليل طلبات التغيير عبر كشف التعارضات مسبقاً")
 - بنود حول التنسيق (مثل: "سهلت منصة BIM 360 التواصل بين الأطراف")
 - بنود حول الجودة (مثل: "ساهم BIM في تقليل الأخطاء التنفيذية")

العينة المستهدفة :

60-80 مشاركاً من:

- المهندسين التنفيذيين
- مدراء المشروع
- منسقي BIM
- استشاريين مقيمين وممثلين عن جهة مالكة المشروع

أدوات التحليل :

سيتم إدخال نتائج الاستبيان إلى SPSS وتحليلها باستخدام:

- الإحصاء الوصفي (النسب، التكرار، المتوسطات)
- اختبارات الفرضيات T-Test، ANOVA
- تحليل الارتباط بين المتغيرات

دليل المقابلات شبه الموجهة (Semi-Structured Interviews Guide)

الهدف:

استكشاف التجارب الواقعية والتحديات اليومية في تطبيق BIM ضمن Etihad Rail ، من خلال أصوات مهنية خبيرة وموثوقة.

المحاور الرئيسية:

1. آلية تطبيق BIM و Digital Twin عبر مراحل المشروع
2. التحديات التقنية والتنظيمية (مثل ضعف التدريب، مقاومة التغيير، تكامل البيانات)
3. دور القيادة المؤسسية في نجاح التحول الرقمي
4. اقتراحات التحسين والتعميم على مشاريع أخرى

الفئة المستهدفة:

10-12 مقابلة مع:

- منسقي BIM
- مدراء تنفيذ
- ممثلين عن جهة مالكة المشروع
- مقاولي تنفيذ
- استشاريين رقميين

أسلوب التحليل:

- تفريغ المقابلات نصياً
- تحليل مضمون باستخدام منهجية التحليل الموضوعي (Thematic Analysis)
- استخدام أدوات مثل NVivo أو التحليل اليدوي

تحليل الوثائق والمستندات (Document Analysis)

الهدف:

تحقيق فهم واقعي مدعوم بالبيانات الفعلية الصادرة من المشروع، وربطها بالتطبيق العملي لـ BIM و Digital Twin.

أنواع الوثائق:

- جداول Gantt الزمنية: مقارنة بين الخطط والنتائج الفعلية
- تقارير التكلفة الشهرية: تحليل الانحراف المالي قبل/بعد BIM
- سجلات التغيير: (Change Logs) لرصد الطلبات المرتبطة بتعديلات التصميم أو التنفيذ
- نماذج: BIM (3D, 4D, 5D) لفهم مدى التكامل بين النمذجة الزمنية والمالية والواقعية
- تقارير التنسيق: (Clash Reports) لإثبات تقليل التعارضات

أدوات التحليل:

- تحليل مقارنة (Planned vs. Actual)
- مراجعة عددية لحجم التعديلات أو التأخيرات
- استخراج مؤشرات أداء رقمية (KPIs)

التكامل بين الأدوات

طريقة التحليل	الغرض	نوع البيانات	الأداة
إحصائي باستخدام SPSS	قياس الأثر العددي لـ BIM	كمية (Quantitative)	الاستبيان
تحليل موضوعي	فهم العوامل البشرية والتنظيمية	نوعية (Qualitative)	المقابلات
مقارن/رقمي	فحص الأداء الواقعي والتقني	كمية/نوعية	تحليل الوثائق

أهمية تعدد الأدوات

- التحقق المتقاطع (Triangulation): يعطي مصداقية أعلى للنتائج ويقلل الانحياز.
- شمولية الرؤية: يسمح بفهم الظاهرة من زوايا إدارية، فنية، تنظيمية وإنشائية.
- الربط بين الرأي والتطبيق: يقارن بين تصورات المشاركين والبيانات الفعلية من المشروع.

حدود الدراسة:

تُعرّف حدود الدراسة على أنها الإطار الذي تلتزم به الباحثة أو الباحث عند جمع البيانات وتحليل النتائج، وتشمل الجوانب الزمانية، المكانية، الموضوعية، والبشرية. وتحديد هذه الحدود بوضوح يهدف إلى:

- منع التعميم الخاطئ للنتائج خارج نطاقها المحدد
- توضيح تركيز الدراسة والتزامها بحدود يمكن اختبارها وتحليلها علمياً
- بيان مبررات اختيار العينة ونطاق التحليل

فيما يلي الحدود المعتمدة لهذه الدراسة:

الحدود الزمانية (Time Delimitation)

- تغطي الدراسة الفترة الممتدة بين عامي 2024-2026.
- تم اختيار هذه الفترة كونها تشهد مرحلة حرجية من تنفيذ وربما تشغيل مشروع Etihad Rail ضمن المرحلة الثانية، حيث تُطبق تقنيات BIM و Digital Twin بشكل أوسع.
- هذه الفترة تسمح بجمع بيانات واقعية وراهنة من مصادر متعددة، تعكس الوضع الفعلي وليس الافتراضي.

الحدود المكانية (Geographical Delimitation)

- تقتصر الدراسة على مشروع قطار الاتحاد في إمارة أبوظبي.
- التركيز المكاني يتضمن المحطات، البنى التحتية، مسارات القطارات، والمرافق المرتبطة التي شملها تطبيق BIM ضمن نطاق العمل التنفيذي.
- تم استبعاد مناطق المشروع في الإمارات الأخرى (مثل الظفرة، دبي، الفجيرة) لضمان التركيز والدقة وتحقيق إمكانية وصول ميداني أفضل.

الحدود الموضوعية (Topical Delimitation)

- تركز الدراسة بشكل خاص على تحليل أثر تطبيق BIM و Digital Twin على أداء تنفيذ المشروع في أربعة جوانب رئيسية:
 1. الزمن
 2. التكلفة
 3. التنسيق بين الأطراف
 4. الجودة الهندسية والتنفيذية
- لا تتطرق الدراسة إلى تحليل الأثر البيئي، الاجتماعي أو السياسي للمشروع، ولا تغطي الجدوى الاقتصادية الكلية أو تقييم سياسات النقل.

الحدود البشرية (Human Delimitation)

- تشمل عينة الدراسة فئات مهنية محددة لها علاقة مباشرة بتطبيق BIM في المشروع، وهم:
 - منسقو BIM
 - مهندسون تصميم وتنفيذ
 - مدراء مشاريع

- ممثلون عن المقاولين والاستشاريين
- مسؤولو الجهة المالكة (Etihad Rail DB)
- تم استبعاد الفئات الإدارية العليا غير المتخصصة تقنيًا، والعاملين الميدانيين الذين لا يرتبطون بتقنيات BIM بشكل مباشر، وذلك لضمان موثوقية إجابات العينة.

ملخص الحدود في جدول

التحديد	نوع الحد
من 2024 إلى 2026	زمني
مشروع Etihad Rail في أبوظبي فقط	مكاني
أثر BIM على الزمن، التكلفة، التنسيق، الجودة	موضوعي
مهندسون، منسقو BIM، مدراء مشاريع، استشاريون، مقاولون	بشري

أهمية توضيح حدود الدراسة

- يُسهّم في تحديد توقعات القارئ والممتحنين بدقة.
- يُمكن من إعادة تطبيق الدراسة لاحقًا في مواقع أخرى ضمن نفس المشروع أو في مشاريع مشابهة.
- يُظهر الوعي البحثي والمنهجي للباحث حول معايير الدقة والانضباط الأكاديمي.

المراجع:

فيما يلي قائمة بالمراجع التي استند إليها في بناء الإطار النظري، الخلفية التطبيقية، وتحليل واقع مشروع **قطار الاتحاد (Etihad Rail)** في سياق التحول الرقمي وتطبيق نمذجة معلومات البناء (BIM) والتوأمة الرقمية (Digital Twin). تم ترتيب المراجع حسب نظام APA الإصدار السابع:

أولاً: مصادر إلكترونية وتقارير رسمية

- Etihad Rail. (2024). *Etihad Rail – Wikipedia Entry*. Retrieved July 1, 2025, from https://en.wikipedia.org/wiki/Etihad_Rail

تعريف بالمشروع ونطاقه الجغرافي ومراحله التنفيذية.

- GPC Group. (2019). *Etihad Rail aiming for geo-empowered Digital Twin*. Retrieved from <https://thegpcgroup.com/projects/etihad-rail-aiming-for-a-geo-empowered-digital-twin/>

توضيح تطبيق التوأمة الرقمية وربط BIM بـ GIS في المشروع.

- Wikipedia contributors. (2024). *Building Information Modeling*. In *Wikipedia*. Retrieved July 1, 2025, from https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling

شرح مفصل لتطور BIM وتطبيقاته في الصناعة.

ثانياً: أبحاث علمية محكمة

- Alsofiani, M. (2024). *Digitalization in Infrastructure Construction Projects: A PRISMA-Based Review of Benefits and Obstacles*. *arXiv Preprint*. <https://arxiv.org/abs/2405.16875>

دراسة تحليلية لآثار وتحديات التحول الرقمي في مشاريع البنية التحتية حول العالم.

ثالثاً: كتب ومراجع أكاديمية

- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5th ed.). New York: Free Press.

النظرية التأسيسية لانتشار التكنولوجيا داخل المجتمعات والمنظمات.

- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers* (2nd ed.). Wiley.

مرجع عالمي شامل يغطي المفاهيم والتطبيقات الفنية والإدارية لـ BIM.

رابعاً: دراسات محلية (عند التوسع لاحقاً)

سيتم إضافة الدراسات المحلية التي تم الرجوع إليها من جامعات إماراتية أو تقارير رسمية حال توفرها، مثل: جامعة خليفة، دائرة البلديات والنقل، بلدية أبوظبي

ملاحظات مهمة:

- تم اعتماد المصادر الأحدث كلما أمكن (2024-2025)
- تتنوع المراجع بين مصادر وصفية Wikipedia ، تقارير، وتحليلية arXiv ، كتب)، مما يثري البعد النظري والتطبيقي.
- يمكن إضافة ملاحق مرجعية لاحقاً مثل: كودات BIM في دولة الإمارات، لوائح دائرة النقل، نماذج استبيانات دولية.