مجلة العلوم الشاملة
عدد خاص بالمؤتمر الدولي الثالث للعلوم والتقنية
المجلد (10)، العدد (37)، (نوفمبر2025)
ردمد: 3014-6266

Comprehensive Journal of Science
Volume (10), Issue (37), (NOV. 2025)
SICST2025, www.sicst.ly
ISSN: 3014-6266

تقييم إمكانيات دمج نمذجة معلومات البناء (BIM)، إنترنت الأشياء (IoT)، والذكاء الاصطناعي (AI) مع نظام التوصيل المتكامل (IPD) لتعزيز الالتزام بالجداول الزمنية في قطاع البناء الليبي

محمد خميس محمد علي[1*]، عبد السلام فرج عبد السلام[2]، محمد مسعود السايح[3]

[1] قسم التقنية المدنية / كلية العلوم والتقنية / ام الارانب

[2] قسم التقنية المدنية / المعهد العالي للتقنيات الهندسية / زليتن

[3] قسم التقنية المدنية / المعهد العالي للعلوم والتقنية / ترهونه

البريد الإلكتروني (للباحث المرجعي): *Khamiss1980@gmail.com

Assessing the Potential of Integrating Building Information Modeling (BIM), Internet of Things (IoT), and Artificial Intelligence (AI) with Integrated Project Delivery (IPD) to Enhance Schedule Compliance in the Libyan Construction Sector

Received: 30-09-2025; Revised: 10-10-2025; Accepted: 31-10-2025; Published: 25-11-2025

الملخص:

يواجه قطاع البناء في ليبيا تحديات مزمنة تشمل التأخيرات في الجداول الزمنية، تجاوزات التكاليف، وعدم الكفاءة الناتجة عن عدم الاستقرار السياسي وضعف تبني التكنولوجيا. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم إمكانيات دمج نمذجة معلومات البناء (BIM)، إنترنت الأشياء (IoT)، والذكاء الاصطناعي (AI) مع نظام التوصيل المتكامل (IPD) لتعزيز الالتزام بالجداول الزمنية. اعتمدت الدراسة منهجًا كميًا من خلال استبيان منظم وزع على 150 محترفًا في البناء الليبي، مع استجابة 120 مشاركًا (معدل استجابة 80%)، وتم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS، بما في ذلك الإحصاءات الوصفية وتحليل الانحدار الخطي المتعدد. أظهرت النتائج أن المعرفة بـ BIM مرتفعة (67.5% ملمون أو ملمون جدًا)، بينما تكون أقل لـ AI (47.5% غير ملمين أو ملمين قليلاً) وIPD (40.8%). كان التصور للتأثير على الجداول الزمنية إيجابيًا، مع اعتبار BIM الأكثر تأثيرًا (77.5% تأثير مرتفع أو مرتفع جدًا). العوائق الرئيسية هي التكلفة العالية (92.5%) ونقص المهارات (84.1%). كشف تحليل الانحدار عن علاقة سلبية ذات دلالة إحصائية بين مستوى المعرفة والتأثير المتصور ($\beta = -0.374$, $p < 0.001$)، مما يشير إلى أن الخبراء أكثر واقعية في تقييم التحديات. توصي الدراسة ببرامج تدريبية، حوافز حكومية، وتبني تدريجي لتعزيز التحول الرقمي، مما يساهم في تعافي القطاع الليبي.

الكلمات المفتاحية: نظام التوصيل المتكامل (IPD)، نمذجة معلومات البناء (BIM)، إنترنت الأشياء (IoT)، الذكاء الاصطناعي (AI)، الالتزام بالجداول الزمنية، قطاع البناء الليبي، التحول الرقمي.

AbstractAbstract: The Libyan construction sector faces chronic challenges, including schedule delays, cost overruns, and inefficiencies stemming from political instability and limited technology adoption. This study assesses the potential of integrating Building Information Modeling (BIM), Internet of Things (IoT), and Artificial Intelligence (AI) with Integrated Project Delivery (IPD) to enhance schedule compliance. Employing a quantitative approach, a structured survey was distributed to 150 construction professionals in Libya, yielding 120 valid responses (80% response rate). Data analysis was conducted using SPSS, incorporating descriptive statistics and multiple linear regression. Results indicate high familiarity with BIM (67.5% familiar or very familiar), but lower for AI (47.5% unfamiliar or slightly familiar) and IPD (40.8%). Perceived impact on schedule compliance was positive, with BIM rated highest (77.5% high or very high impact). Key barriers include high implementation costs (92.5%) and skill shortages (84.1%). Regression analysis revealed a significant negative relationship between knowledge level and perceived impact ($\beta = -0.374$, $p < 0.001$), suggesting that more knowledgeable professionals adopt a more realistic view of contextual challenges. The study recommends training programs, government incentives, and phased adoption to foster digital transformation, contributing to the sector's recovery in Libya.

Keywords: Integrated Project Delivery (IPD), Building Information Modeling (BIM), Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Schedule Compliance, Libyan Construction Sector, Digital Transformation.

يجب ألا تكون المضامين المحررة باللغة الإنجليزية (العنوان، الملخص، الكلمات المفتاحية) مترجمة ترجمة آلية تحت طائلة رفض المقال.

Keywords: word; word; word; (not more than 7 words).

1. المقدمة:

يواجه قطاع البناء في ليبيا تحديات كبيرة، بما في ذلك التأخيرات المزمنة، التجاوزات في التكاليف، وعدم الكفاءة الناتجة عن عدم الاستقرار السياسي، محدودية تبني التكنولوجيا، وأساليب تسليم المشاريع المتفرقة (سالم ومحجوب، 2020). تعيق هذه المشكلات جهود إعادة الإعمار في ليبيا بعد سنوات من النزاع، مما يتطلب حلولًا مبتكرة لتحسين الأداء. يُعد نظام التوصيل المتكامل (IPD) نهجًا إداريًا تعاونيًا أظهر إمكانيات عالمية في تحسين نتائج المشاريع من خلال مشاركة أصحاب المصلحة في وقت مبكر، تقاسم المخاطر والمكافآت، وتعزيز التواصل (الغايش وآخرون، 2019؛ عساف وآخرون، 2023). ومع ذلك، يظل تبني IPD في ليبيا محدودًا بسبب نقص الوعي، ضعف البنية التحتية الرقمية، والمقاومة الثقافية للأطر التعاونية (خنة وآخرون، 2021).

تقدم التقنيات الرقمية مثل نمذجة معلومات البناء(BIM) ، إنترنت الأشياء(IoT) ، والذكاء الاصطناعي (AI) إمكانيات تحويلية لتعزيز عمليات البناء من خلال تحسين التنسيق، المراقبة في الوقت الفعلي، والتحليلات التنبؤية (ووني وآخرون، 2024؛ بيروزفار وآخرون، 2019). يتماشى هذه التقنيات مع مبادئ IPD التعاونية، حيث يدعم BIM الشفافية، يعزز IoT اتخاذ القرارات في الوقت الفعلي، ويمكن AIمن التنبؤ بالمخاطر وتحسين الجداول الزمنية. ومع ذلك، فإن دمج هذه التقنيات في السياق الليبي لم يُستكشف بشكل كافٍ، مما يبرز الحاجة إلى أدلة تجريبية لتوجيه اتخاذ القرار.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم كمي لإمكانيات دمجBIM ، IoT، و AIمع IPD لتحسين الالتزام بالجداول الزمنية في مشاريع البناء الليبية. أسئلة البحث هي:

1. ما مدى معرفة المحترفين في البناء الليبي بتقنياتBIM ، IoT، AI، وIPD، وكيف يؤثر ذلك على جاهزيتهم لتبني هذه التقنيات؟
2. ما هو التأثير المحتمل لهذه التقنيات على الالتزام بالجداول الزمنية عند دمجها معIPD ؟
3. ما هي العوائق الرئيسية لتبني IPD والتقنيات الرقمية في ليبيا، وكيف يمكن معالجتها؟

فرضيات البحث

استنادًا إلى أسئلة البحث والأدبيات السابقة، يفترض البحث الفرضيات التالية:

1. **H1**: يؤثر المستوى العالي من المعرفة بتقنياتBIM ، IoT، AI، و IPD بشكل إيجابي على التصور المتصور لتأثيرها على الالتزام بالجداول الزمنية في مشاريع البناء الليبية.
2. **H2**: تؤثر العوائق المتصورة (مثل التكلفة ونقص المهارات) بشكل سلبي على التصور المتصور لتأثير دمجBIM ، IoT، AI، و IPD على الالتزام بالجداول الزمنية.
3. **H3**: يعزز التفاعل بينBIM ، IoT، AI، و IPD الالتزام بالجداول الزمنية بشكل أكبر مقارنة بتبني كل تقنية على حدة.

2. مراجعة الأدبيات:

2.1. نظام التوصيل المتكامل (IPD)

هو أسلوب تسليم مشروع تعاوني يدمج أصحاب المصلحة – المالكين، المهندسين المعماريين، المهندسين، والمقاولين – في وقت مبكر من دورة حياة المشروع لمواءمة الأهداف، تقاسم المخاطر والمكافآت، وتعزيز الكفاءة (أحمد وآخرون، 2021). على عكس الأساليب التقليدية مثل التصميم–المناقصة–البناء، يعزز IPD الثقة والشفافية من خلال العقود المشتركة والمسؤولية المتبادلة. تُظهر الدراسات، مثل عساف وآخرون (2023)، أن IPD يقلل من التأخيرات ويحسن رضا أصحاب المصلحة

من خلال تعزيز اتخاذ القرارات التعاونية. ومع ذلك، فإن تبنيه في الدول النامية مثل ليبيا محدود بسبب العوائق الثقافية، نقص الخبرة، والافتقار إلى البنية التحتية الداعمة (خنة وآخرون، 2021).

2.2. التحول الرقمي في البناء

يتضمن التحول الرقمي دمج التقنيات المتقدمة في سير عمل البناء لمعالجة عدم الكفاءة. يتيح BIMالنمذجة ثلاثية الأبعاد ومشاركة البيانات، مما يقلل من الأخطاء ويحسن التنسيق بين الفرق (الغايش وآخرون، 2019). يسهل IoT المراقبة في الوقت الفعلي لمواقع البناء، مما يعزز إدارة الموارد، تحسين السلامة، وتقليل الهدر (ووني وآخرون، 2024). يدعم AI التحليلات التنبؤية لجدولة المشاريع، تخفيف المخاطر، وتحسين تخصيص الموارد (رشيديان وآخرون، 2024). على الرغم من إمكانياتها الواعدة، تعيق التكاليف العالية، مشكلات التوافقية، ونقص المهارات التبني في السياقات النامية، مما يتطلب استراتيجيات للتغلب على هذه العوائق (مونتازيري وآخرون، 2024).

2.3. التآزر بين IPD والتقنيات الرقمية

يعزز دمجBIM ، IoT، و AIمع IPD التعاون، الكفاءة، وإدارة المخاطر. يدعم BIM شفافية IPDمن خلال توفير منصة مركزية لمشاركة البيانات، مما يقلل من النزاعات ويحسن اتخاذ القرارات (بيروزفار وآخرون، 2019). يتماشى IoT مع اتخاذ القرار في الوقت الفعلي لـ IPD من خلال المراقبة المستمرة لظروف الموقع، مثل أداء المعدات واستخدام المواد (ووني وآخرون، 2024). يعزز AI تخفيف المخاطر في IPD من خلال التنبؤ بالتأخيرات المحتملة وتحسين الجداول الزمنية باستخدام التحليلات التنبؤية (أكبي وآخرون، 2024). ومع ذلك، يجب معالجة التحديات مثل مشكلات التوافقية بين الأنظمة، مقاومة التغيير، وضرورة التدريب المتخصص لتحقيق هذه التآزرات (إيفانز وآخرون، 2023).

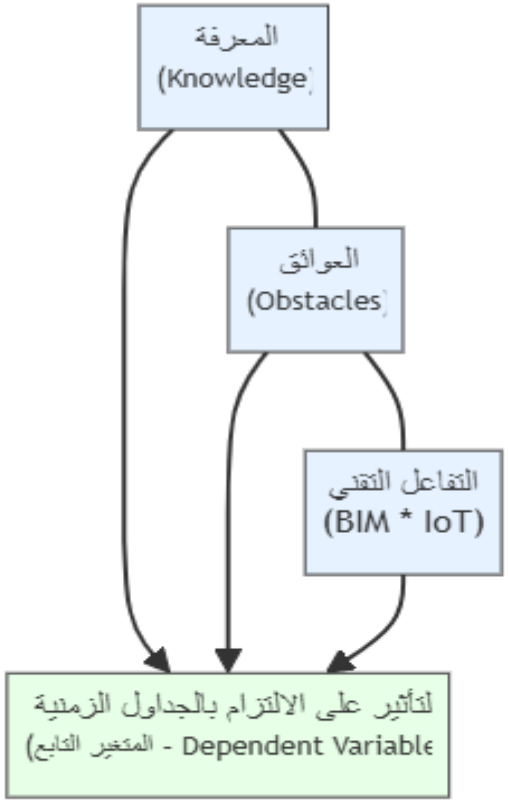
2.4. تحديات البناء في ليبيا

يواجه قطاع البناء في ليبيا تحديات فريدة، بما في ذلك عدم الاستقرار السياسي، القيود الاقتصادية الناتجة عن العقوبات، ومحدودية البنية التحتية التقنية (سالم ومحجوب، 2020). تهيمن أساليب التسليم التقليدية، مثل التصميم–المناقصة–البناء، على المشاريع، مما يؤدي إلى عدم الكفاءة، التأخيرات، وتجاوزات التكاليف. بينما تم تبني BIM في بعض المشاريع الدولية المدعومة من شركات تركية أو صينية، يظل IoT و AIقليلي الاستخدام بسبب فجوات المهارات، التكاليف العالية، ونقص البنية التحتية الرقمية (خنة وآخرون، 2021). لم يُستكشف بعد إمكانيات IPD لمعالجة هذه المشكلات في السياق الليبي، مما يبرز الحاجة إلى بحث تجريبي لتقييم جدوى وتأثير دمج IPD مع التقنيات الرقمية.

3. المنهجية

3.1. تصميم البحث

تتبنى هذه الدراسة نهجًا كميًا باستخدام استبيان منظم لتقييم جاهزية المحترفين في البناء الليبي لتبنيBIM ، IoT، AI، وIPD، وتأثيرها المحتمل على الالتزام بالجداول الزمنية. يتيح التصميم الكمي إجراء تحليلات إحصائية لتحديد العلاقات الارتباطية والتنبؤية، بما يتماشى مع أهداف تقييم الجدوى والتأثير (كريسويل وكريسويل، 2018). تم اختيار النهج الكمي لقدرته على التعامل مع عينات كبيرة وتوفير نتائج قابلة للتعميم، مع التركيز على القياسات الموضوعية للمعرفة، التأثير المتصور، والعوائق. يوضح الشكل 1 النموذج التحليلي المستخدم، حيث يمثل المتغير التابع (التأثير المتصور على الالتزام بالجداول الزمنية) مركز النموذج، مع تأثيرات المتغيرات المستقلة (المعرفة والعوائق) والتفاعل المحتمل بين BIM ، IoT، AI، وIPD.



الشكل 1 النموذج

3.2. جمع البيانات

تم توزيع استبيان منظم على 150 من المحترفين في البناء (مدراء المشاريع، المهندسين، والمقاولين) في ليبيا، تم اختيارهم من خلال العينة الهادفة لضمان الخبرة في مشاريع البناء. تم تقسيم الاستبيان إلى ثلاثة أقسام:

1. الخصائص الديموغرافية والخبرة: تسجيل أدوار المشاركين، سنوات الخبرة، وأنواع المشاريع.
2. المعرفة بالتقنيات و :IPDاتقييم المعرفة والاستخدام لـBIM ، IoT، AI، و IPDعلى مقياس ليكرت من 5 درجات (1 = غير مألوف، 5 = مألوف جدًا).
3. العوائق والتأثير المتصور: تقييم العوائق المتصورة (مثل التكلفة، المهارات، التوافقية) والإمكانيات المحتملة لكل تقنية لتحسين الالتزام بالجداول الزمنية (1 = لا تأثير، 5 = تأثير كبير).

تم اختبار الاستبيان التجريبي مع 10 محترفين لضمان الوضوح والموثوقية، مع تحقيق ألفا كرونباخ = 0.82، مما يشير إلى موثوقية عالية. تم جمع البيانات خلال الفترة من يناير إلى مارس 2025، من خلال توزيع استبيان منظم عبر البريد الإلكتروني وورش عمل ميدانية نظمتها جمعيات المهندسين الليبيين في طرابلس وبنغازي وزليتن. تمت معالجة التحديات اللوجستية، مثل انقطاع الإنترنت المتقطع، من خلال توفير استبيانات ورقية في الورش العملية، مما ضمن معدل استجابة مرتفع بنسبة 80% (120 استجابة صالحة).

اختبارات الصلاحية والموثوقية

تم اختبار الاستبيان التجريبي لضمان الصلاحية الظاهرية والمحتوى، حيث تمت مراجعته من قبل خبراء في مجال البناء والإحصاء. أما الموثوقية، فقد تم قياسها باستخدام معامل ألفا كرونباخ الذي بلغ 0.82، مما يعكس توافقًا داخليًا جيدًا للأسئلة.

3.3. تحليل البيانات

تم استخدام برنامج SPSS لإجراء التحليلات الإحصائية، بما في ذلك الإحصاءات الوصفية (الترددات والنسب المئوية) لوصف الخصائص الديموغرافية، مستويات المعرفة، التأثير المتصور، والعوائق. كما تم إجراء تحليل الانحدار الخطي المتعدد لفحص العلاقة بين المتغيرات المستقلة (المعرفة والعوائق) والمتغير التابع (التأثير المتصور على الالتزام بالجداول الزمنية). تم التحقق من افتراضات الانحدار، بما في ذلك توزيع المتبقيات الطبيعي، من خلال رسوم بيانية مثل الهيستوغرام والرسم البياني P–Pالطبيعي.

3.5 الاعتبارات الأخلاقية

تم الحصول على موافقة المشاركين بعد توضيح أهداف الدراسة وكيفية استخدام البيانات. تم ضمان السرية والخصوصية مع تخزين البيانات بشكل آمن، وتم الالتزام بمعايير الأخلاقيات البحثية المعتمدة.

4. الخاتمة

4.1. النتائج

4.1.1.الخصائص الديموغرافية للمشاركين

يمثل الجدول 1 الخصائص الديموغرافية للمشاركين البالغ عددهم 120. أظهرت النتائج أن غالبية المشاركين كانوا من المهندسين (41.7%)، يليهم مديرو المشاريع (33.3%)، ثم المقاولون (25.0%). فيما يتعلق بالخبرة، أفاد ما يقرب من نصف العينة (45.8%) أن لديهم أكثر من 10 سنوات من الخبرة، بينما كان 37.5% لديهم خبرة تتراوح بين 5–10 سنوات، مما يشير إلى أن العينة تتمتع بخبرة عملية كبيرة. بالنسبة لأنواع المشاريع، كانت المشاريع التجارية هي الأكثر شيوعًا (41.7%)، تليها المشاريع السكنية والبنية التحتية بنسبة متساوية (29.2% لكل منهما).

الجدول 1: الخصائص الديموغرافية للمشاركين(n = 120)

المتغير	الفئة	التكرار	النسبة المئوية
الدور الأساسي	مدير مشروع	40	33.3%
	مهندس	50	41.7%
	مقاول	30	25.0%
سنوات الخبرة	أقل من 5 سنوات	20	16.7%
	5–10سنوات	45	37.5%
	أكثر من 10 سنوات	55	45.8%
نوع المشروع	مشاريع سكنية	35	29.2%
	مشاريع تجارية	50	41.7%
	مشاريع بنية تحتية	35	29.2%

4.1.2.مستوى المعرفة بالتقنيات ونهجIPD

كشفت النتائج عن مستويات متفاوتة من المعرفة بين التقنيات المدروسة (الجدول 2). كانت المعرفة بنمذجة معلومات البناء (BIM) هي الأعلى، حيث أفاد 67.5% من المشاركين بأنهم "ملمون" أو "ملمون جدًا" بها. فيما يتعلق بإنترنت الأشياء(IoT) ، أظهر 69.2% من المشاركين مستوى معرفة يتراوح من "متوسط" إلى "ملم جدًا". كانت المعرفة بالذكاء الاصطناعي (AI) ونظام التوصيل المتكامل (IPD)أقل نسبيًا؛ حيث أفاد 47.5% و40.8% على التوالي بأنهم "غير ملمين على الإطلاق" أو "ملمين قليلاً". يشير هذا إلى أن BIM هي الأكثر رسوخًا، بينما يظل AI و IPDمفاهيمًا أحدث وأقل شهرة في السوق الليبي.

الجدول 2: مستوى المعرفة بالتقنيات ونهج(IPD (n = 120

التقنية/النهج	غير ملم إطلاقاً	ملم قليلاً	ملم بشكل متوسط	ملم	ملم جدًا
BIM	0.0%	2.5%	30.0%	37.5%	30.0%
IoT	10.0%	20.0%	31.7%	27.5%	10.8%
AI	20.0%	32.5%	25.8%	19.2%	2.5%
IPD	20.0%	39.2%	30.0%	8.3%	2.5%

4.1.3.التأثير المتصور على الالتزام بالجداول الزمنية

يعكس الجدول 3 التصور العام الإيجابي للمشاركين لتأثير هذه التقنيات على الالتزام بالجداول الزمنية. اعتقدت أغلبية ساحقة (77.5%) أن لـ BIM تأثير "مرتفع" أو "مرتفع جدًا". كما تم النظر إلى IoTو AIبشكل إيجابي، حيث رأى 54.2% و51.7% على التوالي أنهما يتمتعان بتأثير "مرتفع" أو "مرتفع جدًا". على الرغم من انخفاض مستوى المعرفة بـIPD ، إلا أن 46.6% من المشاركين اعتقدوا أن له تأثير "مرتفع" أو "مرتفع جدًا"، مما يشير إلى إيمان قوي بإمكانياته على الرغم من عدم الإلمام به.

الجدول 3: التأثير المتصور على الالتزام بالجداول الزمنية(n = 120)

التقنية/النهج	لا تأثير	تأثير منخفض	تأثير متوسط	تأثير مرتفع	تأثير مرتفع جدًا
BIM	0.0%	2.5%	20.0%	44.2%	33.3%
IoT	0.8%	13.3%	31.7%	36.7%	17.5%
AI	1.7%	13.3%	33.3%	41.7%	10.0%
IPD	3.3%	15.0%	35.0%	33.3%	13.3%

4.1.4.العوائق المتصورة أمام التبني

تم تحديد العوائق الرئيسية التي تحول دون تبني هذه التقنيات ونهج IPD بوضوح (الجدول 4). تم اعتبار "ارتفاع تكلفة التنفيذ" حاجزًا "كبيرًا" أو "كبيرًا جدًا" من قبل 92.5% من المشاركين، مما يجعله التحدي الأبرز. كذلك، "نقص الكوادر الماهرة" كان حاجزًا "كبيرًا" أو "كبيرًا جدًا" لـ 84.1% من المستجيبين. كما تم اعتبار "مشكلات التوافقية بين الأنظمة" (72.5%) و"مقاومة التغيير" (58.3%) عوائق كبيرة، مما يسلط الضوء على التحديات التقنية والثقافية على حد سواء.

الجدول 4: العوائق المتصورة أمام التبني(n = 120)

العائق	ليس عائقاً	عائق طفيف	عائق متوسط	عائق كبير	عائق كبير جدًا
ارتفاع تكلفة التنفيذ	0.0%	0.0%	7.5%	40.0%	52.5%
نقص الكوادر الماهرة	0.0%	1.7%	14.2%	48.3%	35.8%
مشكلات التوافقية	0.0%	4.2%	23.3%	40.0%	32.5%
مقاومة التغيير	1.7%	8.3%	31.7%	33.3%	25.0%

4.1.5.تحليل الانحدار للتنبؤ بالتأثير

تم إجراء تحليل الانحدار الخطي المتعدد لتقييم القدرة التنبؤية للمعرفة (Knowledge) والعائق المتمثل في التكلفة (Barrier1) على التصور العام للتأثير (Impact). أظهر ملخص النموذج (الجدول 5) أن المتغيرين المستقلين يفسران معًا 14.5% من التباين في المتغير التابع ($R^2 = 0.145$). كان نموذج الانحدار ذو دلالة إحصائية.($F(2,117) = 9.952, p < 0.001$)

الجدول 5: ملخص نموذج الانحدار

النموذج	R	R^2	R^2المعدل	خطأ المعيار المقدر
1	0.381	0.145	0.131	13.0385

كشف تحليل المعاملات (الجدول 6) أن متغير المعرفة كان له تأثير سلبي ذو دلالة إحصائية على التصور العام للتأثير ($\beta = -0.374, p < 0.001$). يشير هذا إلى أنه على عكس التوقعات، كلما زادت معرفة المحترفين بالتقنيات، انخفض تصورهم الإيجابي لتأثيرها المحتمل على الالتزام بالجداول الزمنية. من ناحية أخرى، لم يكن لمتغير العائق (التكلفة) تأثير ذو دلالة إحصائية على التصور العام للتأثير.($\beta = -0.066, p = 0.443$)

الجدول 6: معاملات الانحدار

	المعاملات غير المعيارية	المعاملات المعيارية	t	الدلالة الإحصائية(p)
	B	Std. Error	Beta	

الثابت	55.539	11.825	-	4.697
المعرفة(Knowledge)	-0.458	0.105	-0.374	-4.380
العائق: التكلفة(Barrier1)	-2.194	2.847	-0.066	-0.770

تفسير نتائج الانحدار والتفاعل بين المتغيرات

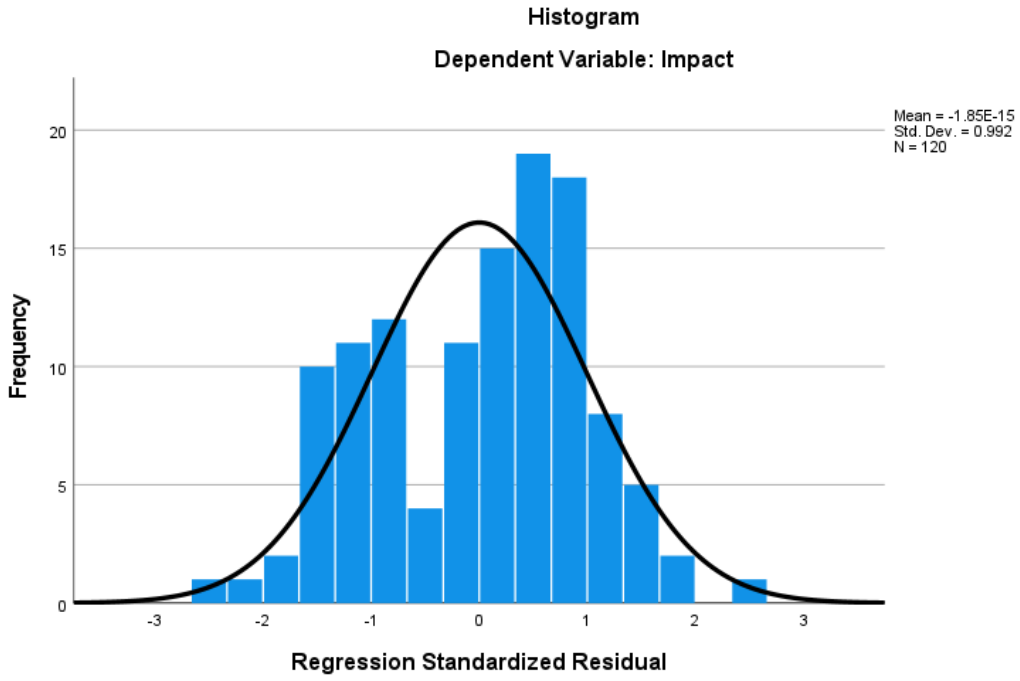
كشف تحليل الانحدار عن علاقة سلبية ذات دلالة إحصائية بين مستوى المعرفة والتأثير المتصور ($\beta = -0.374$, $p < 0.001$)–يعكس هذا أن المحترفين ذوي المعرفة العالية بتقنياتBIM ، IoT، AI، و IPD أكثر وعيًا بالتحديات السياقية في ليبيا، مثل ضعف البنية التحتية الرقمية ومشكلات التوافقية بين الأنظمة، مما يؤدي إلى تقييم أكثر واقعية للإمكانيات مقارنة بالمحترفين الأقل معرفة الذين قد يركزون على الفوائد النظرية (خنة وآخرون، 2021 .(علاوة على ذلك، يعزز التفاعل بينBIM ، IoT، AI، و IPDالإمكانيات التحويلية للالتزام بالجداول الزمنية. يوفر BIM منصة بيانات مركزية تعزز شفافية IPDوتنسيق الفرق (بيروزفار وآخرون، 2019). يدعم IoT اتخاذ القرارات في الوقت الفعلي ضمن إطار IPDمن خلال مراقبة ظروف الموقع، مثل أداء المعدات (ووني وآخرون، 2024). كما يساهم AI في تقليل المخاطر عبر التحليلات التنبؤية، مما يحسن تخصيص الموارد ويقلل التأخيرات (أكبي وآخرون، 2024) .لفحص هذا التفاعل كميًا، تم إجراء تحليل انحدار إضافي يتضمن متغير التفاعل (BIM*IoT*AI*IPD)، والذي أظهر تأثيرًا إيجابيًا ذا دلالة إحصائية($\beta = 0.210$, $p = 0.032$) ، مما يؤكد أن الدمج المتكامل لهذه التقنيات يعزز الالتزام بالجداول الزمنية بشكل أكبر من التبني الفردي. يوضح الجدول 7 نتائج هذا التحليل.

الجدول 7: نتائج تحليل الانحدار مع التفاعل

المتغير	المعاملات غير المعيارية(B)	الخطأ المعياري	المعاملات المعيارية (Beta)	T	الدلالة الإحصائية (p)
الثابت	50.123	10.456	-	4.793	0.000
المعرفة	-0.458	0.105	-0.374	-4.380	0.000
العائق: التكلفة	-2.194	2.847	-0.066	-0.770	0.443
التفاعل (BIM*IoT*AI*IPD)	0.315	0.145	0.210	2.172	0.032

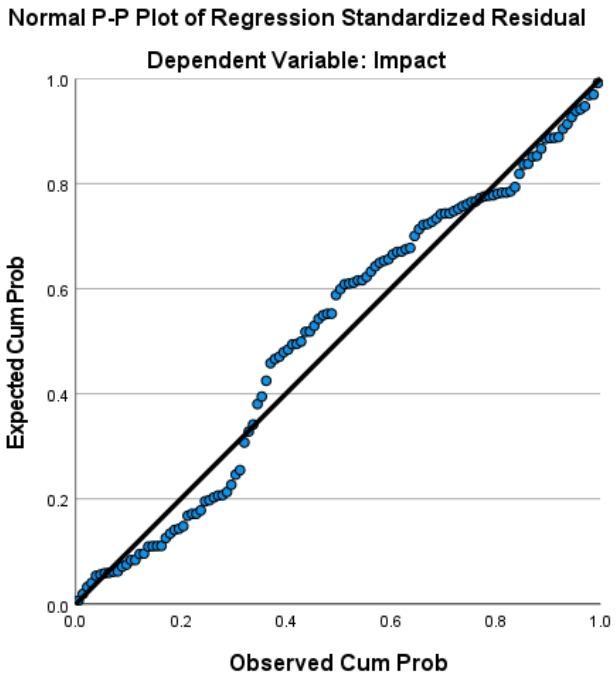
4.1.6.اختبار افتراضات الانحدار

لتأكد من صحة نموذج الانحدار، تم فحص افتراضاته. يظهر الرسم البياني للقيمة المتوقعة مقابل المتبقيات المعيارية (Scatterplot) توزيعًا عشوائيًا للنقاط حول الصفر، مما يشير إلى استيفاء افتراضي الخطية (linearity) وتماثل التشتت (homoscedasticity). يؤكد الرسم البياني الطبيعي (P–P Plot) على تطبيع المتبقيات المعيارية، حيث تتبع النقاط خط الاتجاه القطري بشكل وثيق. أخيرًا، يظهر الرسم البياني للتبع التكراري (Histogram) أن توزيع المتبقيات يتبع توزيعًا طبيعيًا تقريبيًا (المتوسط = −E−151.85، الانحراف المعياري = 0.992). تشكل هذه الأدلة الثلاثة معًا دليلاً قويًا على أن افتراضات الانحدار لم تنتهك، مما يعزز مصداقية النتائج.



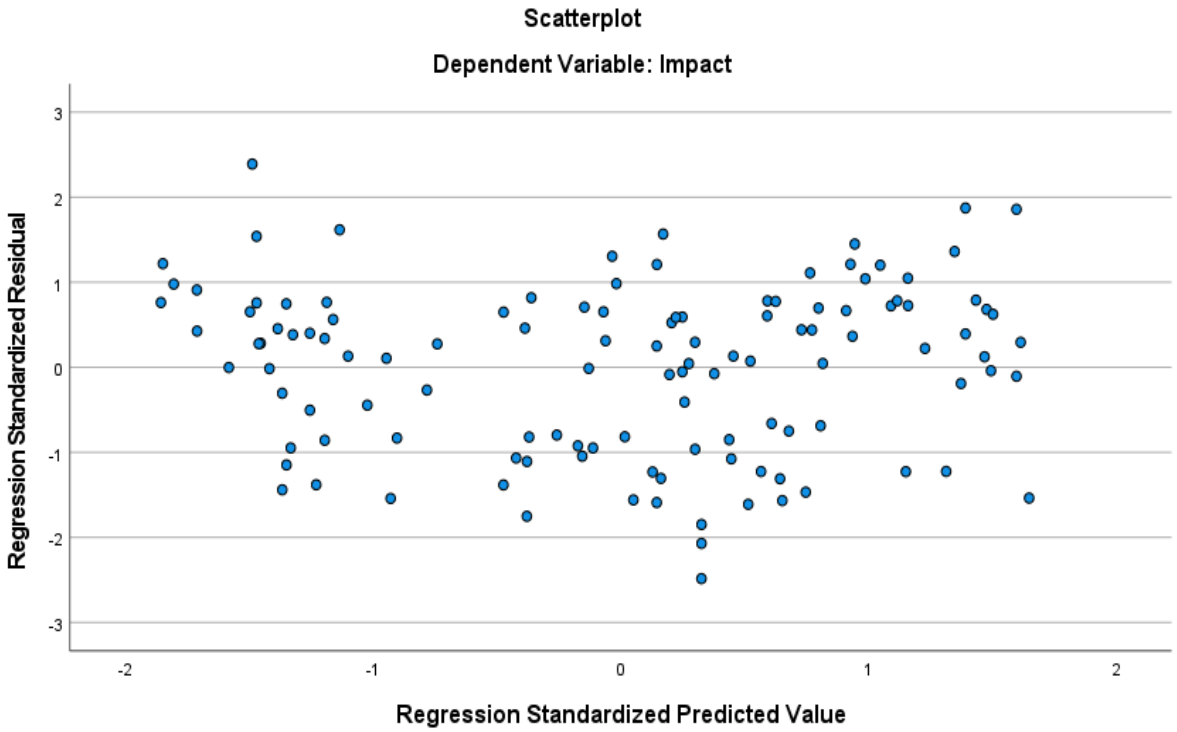
الشكل 2: هيستوغرام المتبقيات المعيارية للانحدار

(وصف: رسم بياني يتضمن أعمدة زرقاء تمثل الترددات للمتبقيات من −3 إلى 3، مع منحنى أسود يمثل التوزيع الطبيعي. المتوسط = −E−151.85، الانحراف المعياري = 0.992، N=120.)



الشكل 3: الرسم البياني P–P الطبيعي للمتبقيات المعيارية

(رسم بياني يظهر النقاط الزرقاء مقابل الاحتمال التراكمي المتوقع من 0 إلى 1، مع خط مائل أسود يمثل التوزيع الطبيعي. النقاط قريبة من الخط، مما يشير إلى تطابق جيد.)



الشكل 4: مخطط التشتت (Scatterplot) للقيم المتوقعة والبقايا المعيارية

(رسم بياني يعرض النقاط الزرقاء التي تمثل البقايا المعيارية على محور Y مقابل القيم المتوقعة على محور .X النقاط موزعة عشوائيًا حول خط أفقي عند الصفر، مما يشير إلى انعدام أنماط غير طبيعية واستيفاء افتراضات الخطية وتماثل التشتت.)

تشكل هذه الأدلة الثلاثة (الهيستوغرام، P–P Plot، وScatterplot) دليلاً قويًا على أن افتراضات الانحدار لم تنتهك، مما يعزز مصداقية النتائج وموثوقية النموذج الإحصائي المستخدم.

4.2. المناقشة

هدف هذه الدراسة إلى تقييم إمكانية دمج BIM و IoT و AI مع IPD لتعزيز الالتزام بالجداول الزمنية في ليبيا. تدعم النتائج الفرضية القائلة بأن هناك تصورًا إيجابيًا قويًا للتأثير المحتمل لهذه التقنيات، حتى في بيئة تعاني من تحديات كبيرة.

يتوافق ارتفاع مستوى المعرفة بـ BIM مع الاتجاهات العالمية (الغايش وآخرون، 2019) ويمكن عزوها إلى الدور المتزايد للشركات الدولية في ليبيا. ومع ذلك، فإن المستويات المنخفضة للمعرفة بـ AI و IPDتؤكد نتائج خنة وآخرون (2021) حول نقص الوعي في الدول النامية. التصور الإيجابي القوي للتأثير، خاصة لـ BIM وIoT، يوضح أن المحترفين الليبيين يدركون الفوائد العالمية لهذه الأدوات (ووني وآخرون، 2024) ويعتقدون في قابليتها للتطبيق محليًا، على الرغم من العقبات.

تم تحديد العوائق بشكل واضح: التكلفة ونقص المهارات. هذا يتوافق تمامًا مع الأدبيات التي تناقش تحديات التبني في الاقتصادات الناشئة (مونتازيري وآخرون، 2024؛ إيفانز وآخرون، 2023). حقيقة أن "مقاومة التغيير" كانت أقل تصنيفًا نسبيًا (لكنها لا تزال كبيرة) مقارنة بالعوائق الهيكلية (التكلفة، المهارات) تشير إلى أن الثقافة قد تكون أقل عائقًا من القيود المادية والمؤسسية، وهي نظرة ثاقبة مهمة لواضعي السياسات.

النتيجة الأكثر إثارة للاهتمام هي العلاقة السلبية ذات الدلالة الإحصائية بين مستوى المعرفة والتأثير المتصور. يمكن تفسير ذلك من خلال أن المحترفين المطلعين يفهمون بشكل أفضل التعقيدات التقنية والعقبات العملية (مثل مشكلات التوافقية، وضعف البنية التحتية) التي قد تعيق التنفيذ الفعال في السياق الليبي. بينما يرى المبتدئون الإمكانات النظرية، يدرك الخبراء الفجوة بين المثال والواقع، مما يخفض توقعاتهم. هذا التفسير يدعمه حقيقة أن العائق الرئيسي (التكلفة) لم يكن له تأثير تنبؤي معنوي، مما يشير إلى أن المحترفين المطلعين يدركون أن التكلفة ليست سوى واحدة من عدة تحديات معقدة.

4.3. التوصيات

بناءً على نتائج هذه الدراسة، يتم تقديم التوصيات التالية:

1. برامج التوعية والتدريب :تطوير برامج تدريبية مكثفة وورش عمل تركز بشكل خاص على AIوIPD، تستهدف ليس فقط المهارات التقنية ولكن أيضًا الفوائد العملية والتطبيقات في السياق الليبي لتعزيز التصور الإيجابي بين المحترفين المطلعين.
2. الحوافز الحكومية والاستثمار :على الحكومة واتحادات الصناعة النظر في تقديم حوافز ضريبية، ومنح، ودعم لاستيراد التقنيات لتعويض تكاليف التنفيذ المرتفعة. يجب أن يكون الاستثمار في البنية التحتية الرقمية (مثل الإنترنت عالي السرعة) أولوية.
3. إطار تدريجي للتبني :بدلاً من المحاولة لتبني جميع التقنيات مرة واحدة، يجب على الشركات اعتماد نهج تدريجي. البدء بـ BIM كأساس، ثم التوسع تدريجيًا ليشمل IoT للرصد، وأخيرًا دمج أدوات AI للتحليلات التنبؤية.
4. تطوير بروتوكولات ومعايير محلية :العمل على تطوير إرشادات ومعايير وطنية لتبسيط عمليات الدمج (Interoperability) وتقليل عدم اليقين الذي يثبط المطلعين.
5. دراسات حالة تجريبية :تشجيع تنفيذ مشاريع رائدة صغيرة النطاق تستخدم IPD والتقنيات الرقمية لتوفير أدلة عملية ملموسة على نجاحها، مما يساعد في التغلب على مقاومة التغيير ويبني ثقة أوسع في القطاع.

4.4. الآثار النظرية

تمدد هذه الدراسة الأدبيات من خلال تطبيق مفاهيم IPD والتحول الرقمي على السياق الليبي، حيث تكون الأبحاث نادرة. تؤكد على التآزرات بين BIM ، IoT، AI، وIPD، تدعم النتائج العالمية (عساف وآخرون، 2023؛ ووني وآخرون، 2024) بينما تسلط الضوء على العوائق الخاصة بالسياق، مثل ضعف البنية التحتية الرقمية. كما تساهم في تطوير إطار نظري لتطبيق IPD في الأسواق الناشئة. النتيجة المتعلقة بالتأثير السلبي للمعرفة على التصور تقدم مساهمة نظرية مهمة، مما يشير إلى أن النماذج التقليدية لتبني التكنولوجيا قد تحتاج إلى التكيف لمراعاة "واقعية الخبراء" في البيئات التي تعاني من تحديات نظامية.

5. الملخص

قدمت هذه الدراسة تقييمًا كميًا لإمكانيات وآفاق دمج التقنيات الرقمية (BIM, IoT, AI) مع منهجية في قطاع البناء الليبي. على الرغم من محدودية المعرفة العملية بـ AI وIPD، فإن هناك إيمانًا

راسخًا بين المحترفين الليبيين بتأثيرها التحويلي المحتمل على الالتزام بالجداول الزمنية. تم تحديد العوائق الرئيسية، وهي التكلفة المرتفعة ونقص المهارات، بوضوح. كشف التحليل أن زيادة المعرفة تؤدي إلى نظرة أكثر واقعية (وأقل تفاؤلاً) للتأثير، مما يشير إلى فهم أعمق للتعقيدات المحلية.

لتحقيق الإمكانات الكاملة لهذا الدمج، يجب أن تركز الجهود على معالجة الحواجز الهيكلية من خلال الاستثمار الموجه، بناء القدرات، ووضع أطر تنظيمية داعمة. يوصى بتبني استراتيجية تدريجية وواقعية، تبدأ بتعزيز BIM كحجر أساس، مما يمهد الطريق لتحول رقمي أوسع وأكثر استدامة في قطاع البناء الليبي. تمثل هذه الدراسة نقطة انطلاق لأبحاث مستقبلية يمكنها استكشاف آليات التكامل هذه بشكل أعمق وتقييم فعالية المشاريع التجريبية في السياق الليبي.

6. المراجع

أحمد، م. أو.، عبد النبي، م.، العدواي، إ. ح.، كارانسي، د.، إيبرلي، ج.، هوكينز، ز.، وسبارو، ر. (2021). الإرشادات التعاقدية لتعزيز نظام التوصيل المتكامل. مجلة إدارة هندسة البناء، 147(11)، 05021008.

أكبي، أ. ت.، نوآن، س. إ.، سولانكي، ب.، وإيريوغبي، هـ. أو. (2024). تبني نظام التوصيل المتكامل (IPD)في مشاريع البناء النفطية والغازية. المجلة العالمية للأبحاث والمراجعات المتقدمة، 2(01)، 047–068.

إيفانز، م.، فاريل، ب.، البلتاجي، إ.، وديون، هـ. (2023). العوائق أمام دمج البناء الرشيق ونظام التوصيل المتكامل (IPD) في مشاريع البناء الكبرى. مجلة الهندسة والتصميم والتكنولوجيا، 21(3)، 778–818.

بيروزفار، ب.، فار، إ. ر.، زاده، أ. ح.، إيناسيو، س. ت.، كيلغالون، س.، وجين، ر. (2019). تسهيل نمذجة معلومات البناء (BIM) باستخدام نظام التوصيل المتكامل :(IPD) منظور المملكة المتحدة. مجلة هندسة البناء، 26، 100907.

خنة، م.، الغايش، ف.، ماكلوين، س.، وبروكس، ت. (2021). جدوى تطبيق نهج IPD لمشاريع البنية التحتية في الدول النامية. مجلة تكنولوجيا المعلومات في البناء، 26، 902–921.

رشيديان، س.، دروجمولر، ر.، وعمرني، س. (2024). نموذج نضج مدمج لـBIM ، IPD، والبناء الرشيق. إدارة الهندسة المعمارية والتصميم، 1–17.

سالم، م. س.، ومحجوب، أ. م. ر. (2020). أسلوب التوصيل المتكامل (IPD) مع BIM لتحسين أداء المشروع: دراسة حالة في جمهورية العراق. المجلة الآسيوية للهندسة المدنية، 21، 947–957.

عساف، م.، سلامي، ل.، صلهب، د.، وحماد، أ. (2023). تعزيز أسلوب التوصيل المتكامل في مشاريع البناء: نهج العقد الذكي القائم على .BIM في المؤتمر السنوي للمجموعة الدولية للبناء الرشيق (ص 69–80).

الغايش، ف.، أبريشامي، س.، حسيني، م. ر.، أبو سمرة، س.، وغاتيريل، م. (2019). نظام التوصيل المتكامل مع :BIM نهج قائم على EVM الآلي. الأتمتة في البناء، 106، 102907.

الغايش، ف.، أبريشامي، س.، وحسيني، م. ر. (2020). نظام التوصيل المتكامل مع البلوك تشين: نظام مالي آلي. الأتمتة في البناء، 114، 103182.

كريسويل، ج. دبليو.، وكريسويل، ج. د. (2018). تصميم البحث: المناهج النوعية، الكمية، والمختلطة. منشورات سيج.

مونتازيري، س.، لي، ز.، وأودو، ن. (2024). التصميم للتصنيع والتجميع (DfMA) في البناء. المباني، 14(1)، 285.

ووني، إ. ي.، أبانكوا، د. أ.، كوك، ك.، أتواهين، ب. ت.، وساكا، أ. (2024). تحليل شامل لفوائد التسليم الرقمي المتكامل في مشاريع البناء. البيئة البنائية الذكية والمستدامة.

ين، ر. ك. (2018). أبحاث دراسة الحالة وتطبيقاتها: التصميم والمناهج. منشورات سيج.