تكامل نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي (AI) لحفظ المباني التراثية

الباحثة . ميس يوسف المشهداني

كلية الهندسة / جامعة بغداد

Mays.Mahmmood2204M@coeng.uobaghdad.ed

أ.م.د. أسامة عبد المنعم التميمي

كلية الهندسة / جامعة بغداد

osamah.altameemi@coeng.uobaghdad.edu.iq

تاريخ النشر : ٢٠٢٥/١٢/٣١

تاريخ الاستلام: ٢٠٢٥/٣/١٩ **تاريخ القبول: ٢٠٢٥/٤/١٣**

DOI: 10.54721/jrashc.22.4.1583

الملخص:

يستكشف هذا البحث تكامل نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي (AI) لتعزيز الاستدامة في عملية التصميم المعماري، لا سيما في الحفاظ على المباني التراثية. أصبحت تقنية BIM العمود الفقري الرقمي لصناعة الهندسة المعمارية والهندسة والبناء (AEC)، بينما تطورت تقنيات الذكاء الاصطناعي بسرعة لإدارة مجموعات البيانات الكبيرة في البيئات المعقدة. يوفّر تكامل BIM والذكاء الاصطناعي في الحفاظ على المباني التراثية حلولًا مبتكرة للتحديات التي تواجه مشاريع البناء والترميم. تتناول هذه الدراسة فوائد تكامل BIM-AI في المباني التراثية، والتي تشمل تحسين التوثيق، الصيانة التنبؤية، كفاءة الطاقة، توافق المواد، الترميم الافتراضي، المراقبة في الوقت الفعلي، تعزيز التعاون، تحسين التكاليف، الحفاظ على التراث الثقافي، وتعزيز مشاركة الجمهور. ومع ذلك، تسلط الدراسة الضوء أيضًا على التحديات الرئيسية، مثل مشكلات قابلية تشغيل البيانات بين الأنظمة المختلفة، والتعقيدات التقنية، وعوائق التنفيذ. بناءً على رؤى الدراسات السابقة، يطور هذا البحث اطار عمل لتكامل BIM-AI يعالج هذه التحديات ويدعم التعاون الفعّال بين أصحاب المصلحة طوال دورة حياة المبنى. يوفر اطار العمل المقترح نهجًا منظمًا لدمج أدوات الذكاء الاصطناعي ضمن BIM، مما يعزز الممارسات المستدامة في الحفاظ على التراث المعماري. ينبغي أن تركز الأبحاث المستقبلية على اختبار هذا النهج عبر أنواع مختلفة من المباني لتقييم كفاءته وقابليته للتكيف، مما يمهّد الطريق لاعتماده على نطاق أوسع في الحفاظ على التراث المعماري.

الكلمات المفتاحية: نمذجة معلومات البناء (BIM)؛ نمذجة معلومات البناء للمباني التراثية (Heritage BIM)؛ الذكاء الاصطناعي؛ الاستدامة؛ المباني التراثية

Integrating Building Information Modeling (BIM) and Artificial Intelligence (AI) for Heritage Building Preservation

Researcher: Mays Yousif Al-Mashhadani
College of Engineering / University of Baghdad
Assistant Professor Dr.Osamma Abdulmunem Al-Tamimi
College of Engineering / University of Baghdad

Abstract

This research explores the integration of Building Information Modeling (BIM) and Artificial Intelligence (AI) to enhance sustainability in the architectural design process, particularly in the preservation of heritage buildings. BIM has become the digital backbone of the architecture, engineering, and construction (AEC) industry, while AI has advanced rapidly in managing large datasets within complex environments. The integration of BIM and AI in heritage building preservation offers innovative solutions to the challenges faced in construction and restoration projects. This study examines the benefits of BIM-AI integration for heritage buildings, including improved documentation, predictive maintenance, energy efficiency, material compatibility, virtual restoration, real-time monitoring, streamlined collaboration, cost optimization, cultural preservation, and public engagement. However, it also highlights key challenges such as data interoperability issues, technical complexities, and implementation barriers.Building on insights from previous studies, this research develops a workflow for BIM-AI integration that addresses these challenges and facilitates effective collaboration among stakeholders throughout the building lifecycle. The proposed workflow provides a structured approach to incorporating AI tools within BIM, promoting sustainable practices in heritage conservation. Future research should focus on testing this workflow across various building types to assess its effectiveness and adaptability, paving the way for broader industry implementation.

Keywords: Building Information Modeling (BIM); Heritage BIM; Artificial Intelligence; Sustainability; Heritage Buildings

المقدمة :

الحفاظ المعماري ضروري لحماية المباني التاريخية، والحفاظ على أهميتها الثقافية والتاريخية للأجيال القادمة. تتطلب هذه الممارسة توازنًا دقيقًا بين الحفاظ على المواد الأصلية وتنفيذ التدخلات الضرورية، مدعومة بدراسات منهجية، الوقاية، الصيانة، وجهود الترميم. ومع ذلك، في عالم اليوم، حيث يشكل تغير المناخ تحديات متزايدة الخطورة، يجب أن تتناغم أهداف الحفظ مع الحاجة الملحة للاستدامة. يلعب قطاع البناء والإنشاءات، الذي يمثل أكثر من خمس الانبعاثات العالمية (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠٢٤)[١]، دورًا كبيرًا في هذا التحول. من خلال تبني ممارسات مستدامة مثل التصاميم الموفرة للطاقة، المواد الصديقة للبيئة، ومصادر الطاقة المتجددة، يمكن للقطاع أن يقلل بشكل كبير من تأثيره البيئي مع توفير مساحات معيشية أكثر صحة والحفاظ على الموارد الطبيعية. لتعزيز هذه الجهود، يقدم دمج الذكاء الاصطناعي (AI) ونمذجة معلومات البناء (BIM) في الحفظ المعماري إمكانات تحويلية. تمكن هذه التقنيات من التحليل الدقيق، تخطيط الترميم الأمثل، وإدارة الموارد بكفاءة، مما يضمن أن جهود الحفظ تكون مستدامة بيئيًا ومحترمة ثقافيًا. معًا، لا تعالج هذه الأساليب التحديات الملحة لتغير المناخ فحسب، بل تحمي أيضًا تراثنا الثقافي، مما يمهد الطريق لمستقبل أكثر استدامة ومرونة.

في مواجهة هذه التحديات، برزت نمذجة معلومات البناء (BIM) كتقدم تكنولوجي رئيسي يعزز جهود الاستدامة. تعرف لجنة معايير نمذجة معلومات البناء الوطنية (NBIMS) في الولايات المتحدة BIM على النحو التالي: "BIM هو تمثيل رقمي للخصائص الفيزيائية والوظيفية للمنشأة. BIM هو مورد معرفي مشترك لمعلومات حول المنشأة يشكل أساسًا موثوقًا لاتخاذ القرارات خلال دورة حياتها؛ المحددة من بداية التصور حتى الهدم. المبدأ الأساسي لـ BIM هو التعاون بين أصحاب المصلحة المختلفين في مراحل مختلفة من دورة حياة المنشأة لإدخال، استخراج، تحديث، أو تعديل المعلومات في BIM لدعم وتعكس أدوار ذلك الطرف المعني" NBIMS[٢]، 2010 علاوة على ذلك، ترى جمعية المقاولين العامين الأمريكية(AGC) BIM على النحو التالي: "نمذجة معلومات البناء هي تطوير واستخدام نموذج برمجي لمحاكاة بناء وتشغيل المنشأة. النموذج الناتج، نموذج معلومات البناء، هو تمثيل رقمي غني بالبيانات، موجه للكائنات، ذكي ومعياري للمنشأة، يمكن من خلاله استخراج

وجهات النظر والبيانات المناسبة لاحتياجات المستخدمين المختلفين وتحليلها لتوليد معلومات يمكن استخدامها لاتخاذ القرارات وتحسين عملية تسليم المشاريع [٣]" AGC، 2005

توضح هذه التعريفات أن BIM ليس مجرد برنامج؛ إنه يمثل كلًا من العملية والأداة التكنولوجية. إلى جانب إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد ذكية، يشير BIM أيضًا إلى تغييرات كبيرة في عمليات سير العمل وتسليم المشاريع[٤]. نتيجة لذلك، أصبح BIM نموذجًا جديدًا في صناعة الهندسة المعمارية والهندسة والبناء (AEC). يعزز تكامل أدوار أصحاب المصلحة طوال المشروع، مما يعزز الكفاءة والتعاون حيث كانت العلاقات العدائية موجودة في الماضي[٥]. بالإضافة إلى ذلك، يدعم BIM مفهوم تسليم المشاريع المتكامل (IPD)، وهو طريقة جديدة لتسليم المشاريع. تجمع هذه الطريقة بين الأشخاص، الأنظمة، الهياكل التجارية، والممارسات في عملية تعاونية، مما يقلل من الهدر ويحسن الكفاءة طوال دورة حياة المشروع [٦]

يلعب BIM دورًا أساسيًا في دعم التصميم والبناء المستدام من خلال تمكين تكامل البيانات، وتحليل الأداء، وتقييم التصميم لتحسين النتائج البيئية[٧]. خلال مرحلة البناء، يساعد BIM في تقليل التأثير البيئي، وتقليل النفايات، وتعزيز الكفاءة، بينما يمكّن في مرحلة التشغيل من مراقبة الاستدامة في الوقت الفعلي لإدارة الطاقة والموارد بشكل فعال. بالإضافة إلى ذلك، يسهل BIM في مشاريع التجديد استعادة الطاقة وإدارة النفايات، مما يعزز الاستدامة في تحسين المباني[٨].

كما يعزز BIM التنسيق بين التخصصات المختلفة، مما يسهم في تنفيذ مشاريع مستدامة بشكل أكثر كفاءة[٩]. يساهم في تقليل الأخطاء، وتسريع العمليات، وتحسين التواصل بين فرق المشروع، إلا أنه يواجه تحديات مثل تكاليف البرمجيات، ومشاكل توافق البيانات، وعدم الإلمام بالأدوات، والتي يجب معالجتها لضمان تنفيذه الناجح[١٠].

للتغلب على بعض هذه التحديات، تم اقتراح تطوير أدوات دعم القرار التي تدمج معلومات دورة حياة الطاقة للمواد ضمن BIM، مما يسهم في تحسين الشفافية وتسهيل مقارنة الخيارات المستدامة[١١]. ومع ذلك، لا تزال هناك عقبات مثل مشكلات التوافق بين أدوات BIM وأدوات الاستدامة، مما يعيق تبادل المعلومات والتكامل الفعال، ويمكن تحسين ذلك من خلال اعتماد بروتوكولات موحدة[١٢]

على الرغم من هذه التحديات، فإن فوائد BIM في تعزيز الاستدامة كبيرة، حيث يساعد في تحسين توجيه المباني وتكوينها، مما يقلل التكاليف ويعزز كفاءة الطاقة. كما يدعم تحليل الإضاءة الطبيعية، وحصاد المياه، ونمذجة الطاقة، مما يقلل استهلاك المياه والطاقة. بالإضافة إلى ذلك، يشجع BIM على دمج مصادر الطاقة المتجددة، واستخدام المواد المستدامة، وتقليل نفايات المواد، فضلاً عن تحسين إدارة الموقع والخدمات اللوجستية، مما يقلل من البصمة الكربونية[١٣]

يمكن أن تدعم نمذجة معلومات البناء (BIM) التراث المبني بطرق مختلفة، بما في ذلك: ١. تحليل أداء المبنى: تعزيز كفاءة الطاقة من خلال تحسين أنظمة الإضاءة والتهوية. ٢. إدارة المرافق: تمكين تتبع التقدم في الموقع لأغراض الصيانة أو التجديد. ٣. الواقع المعزز: دعم السياحة الثقافية، المتاحف الافتراضية، وأدوات الحفظ. ٤. التحليل الهيكلي: تقييم السلامة الهيكلية والمراحل الزمنية لتطور الهيكل. ٥. تصميم السلامة من الحرائق: تقييم متطلبات السلامة من الحرائق لضمان حماية الهياكل التراثية. ٦. الواقع الافتراضي: تسهيل عمليات التفتيش وإنشاء بيئات تعليمية افتراضية.[١٤]

أبرزت دراساتBaik & Alshawabkeh،(JAMAL et al.، 2024) ،(2021 ، *Kamaruzaman)،(2019 استخدام التقنيات المتقدمة مثل المسح الضوئي بالليزر، التصوير الفوتوغرافي الرقمي، وBIM لتوثيق وحفظ وتحليل المباني التراثية. تشمل سير العمل الحصول على البيانات، معالجتها، ونمذجة ثلاثية الأبعاد، مما يتيح تمثيلات رقمية دقيقة للهياكل التراثية. تدعم هذه المنهجيات التعاون متعدد

التخصصات، وتعزز جهود الاستدامة، وتوفر أدوات للترميم الفعال وصيانة المواقع التراثية الثقافية.[١٥]

مع تقدم التكنولوجيا وظهور BIM، هناك فرصة لتعزيز هذه العملية من خلال دمج خوارزميات الذكاء الاصطناعي مع نماذج BIM. يمكن أن يسهل هذا التكامل جمع البيانات بكفاءة، وتحسين جودة البيانات، وتمكين تصور حلول التصميم، مما يساعد صانعي القرار على اتخاذ قرارات مستنيرة[١٦]. في السنوات الأخيرة، أظهر تكامل BIM مع التقنيات الناشئة، مثل الذكاء الاصطناعي (AI)، وعدًا بتحسين كفاءة المشروع والاستدامة. على سبيل المثال، تستكشف إحدى الدراسات نهجًا مبتكرًا لتصميم مرافق الرعاية الصحية من خلال دمج خوارزميات الذكاء الاصطناعي، وخاصة تحسين سرب الجسيمات (PSO)، مع تقنيات BIM والنسخ الرقمية. تسمح هذه المنهجية بإنشاء مخططات ثنائية الأبعاد مُحسنة، والتي يتم تحويلها بعد ذلك إلى نماذج BIM ثلاثية الأبعاد باستخدام أدوات البرمجة المرئية مثل Dynamo. تعزز هذه العملية كفاءة التصميم من خلال تمكين أصحاب المصلحة من تصور وتقييم خيارات التصميم في بيئة افتراضية، مما يعزز اتخاذ القرارات المستنيرة والتعاون[١٧].

علاوة على ذلك، يستكشف (Rane،2023) تكامل BIM والذكاء الاصطناعي لتعزيز إدارة الجدول الزمني للبناء، التحكم في التكاليف، ضمان الجودة، والسلامة. يسلط هذا البحث الضوء على إمكانية تحسين صنع القرار، التحليلات التنبؤية، والمراقبة في الوقت الفعلي. ومع ذلك، تظل هناك حواجز كبيرة، مثل تكامل البيانات، التوافق، ومخاوف الأمان. لتحقيق الإمكانات الكاملة لتكامل BIM–AI، هناك حاجة إلى بحث مستمر، تعاون متعدد التخصصات، وتوحيد الممارسات.[١٨]

بالمثل، يعزز تكامل BIM مع أدوات الذكاء الاصطناعي التوليدية في صناعة الهندسة المعمارية والهندسة والبناء (AEC) عمليات التصميم واتخاذ القرارات في

الوقت الفعلي. يقدم (Rane et al.،2023) إطارًا لدمج BIM والذكاء الاصطناعي، مما يعزز التعاون، الكفاءة، وتحسين المشاريع. ومع ذلك، يسلطون الضوء أيضًا على التحديات، بما في ذلك أمان البيانات، الاعتبارات الأخلاقية، والتوافق، والتي يجب معالجتها مع استمرار تطور BIM والذكاء الاصطناعي [١٩]

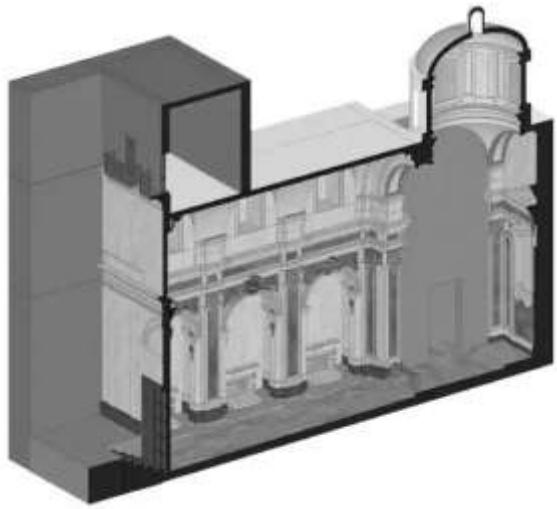
أخيرًا، تستكشف دراسة أخرى لـ (Rane et al.،2024) كيفية تحويل أدوات الذكاء الاصطناعي التوليدية مثل ChatGPT أو Bard لسير عمل BIM في صناعة البناء. يعزز الذكاء الاصطناعي البناء الروبوتي، الطباعة ثلاثية الأبعاد، المواد الذكية، تقنيات الواقع المعزز/الافتراضي، ومسح الطائرات بدون طيار. من خلال تحسين التواصل وتبسيط صنع القرار، من المقرر أن يحدث الذكاء الاصطناعي ثورة في أتمتة البناء. يقدم (Rane et al.،2024) إطارًا لدمج أدوات الذكاء الاصطناعي في سير العمل الحالي، مما يعزز الكفاءة، السلامة، والابتكار في الصناعة[٢٠].

في حين أن تكامل نمذجة معلومات البناء (BIM) قد أظهر بالفعل قدرته على دعم الاستدامة في الحفاظ على التراث المبني، فإن التطورات المستمرة في الذكاء الاصطناعي (AI) تعزز هذه القدرات بشكل أكبر. يستكشف هذا البحث تكامل نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي (AI) لتعزيز الاستدامة في الحفاظ على التراث المبني. بناءً على الدراسات السابقة التي فحصت فوائد تكامل BIM–AI في الحفاظ على المباني التراثية، بالإضافة إلى التحديات المرتبطة بهذا التكامل، تطور هذه الدراسة اطار عمل لتكامل BIM-AI في الحفاظ على التراث المبني.

تركز الأقسام اللاحقة من هذا البحث على تحسين اطر العمل لتكامل BIM-AI، خاصة في سياق المباني التراثية. من خلال مراجعة أدبية شاملة، توفر الدراسة رؤى حول تعقيدات التوافق وإدارة البيانات، وهي عوامل رئيسية لضمان تعاون سلس بين BIM والذكاء الاصطناعي. علاوة على ذلك، تؤكد هذه الدراسة على الحاجة إلى تعزيز الابتكار، التعاون، واستراتيجيات مخصصة تتماشى مع أهداف الاستدامة لأصحاب المصلحة المختلفين في عملية الحفاظ على المباني التراثية. من خلال

معالجة الجوانب التقنية والبشرية، تدعو الدراسة إلى نهج شامل يدعم التكامل الناجح لـ BIM-AI، مما يعزز الاستدامة في الحفاظ على المباني التراثية.

1.1إمكانات تكامل BIM-AI في المباني التراثية: تعزيز الحفظ، الاستدامة، والابتكار



١,١ إمكانات تكامل BIM-AI في المباني التراثية: تعزيز الحفظ، الاستدامة، والابتكار

هناك العديد من الإمكانات في تكامل BIM-AI، وسيتم مناقشة هذه الإمكانات في الجدول التالي:

جدول 1 إمكانات تكامل BIM–AI في المباني التراثية (اعداد الباحث)

الامكانات	الذكاء الاصطناعي (AI)	نمذجة معلومات البناء (BIM)	النتيجة
تعزيز التوثيق والدقة [٢١]	يمكن تحليل وتفسير البيانات المعقدة من المسح الضوئي، الصور، والسجلات التاريخية لتحسين دقة نموذج BIM. إحدى نقاط القوة الرئيسية للذكاء الاصطناعي هي قدرته على التنبؤ وملء التفاصيل المفقودة، مثل الأجزاء المتآكلة من الهيكل أو الفجوات في الصور. من خلال تحليل البيانات الموجودة، يمكن للذكاء الاصطناعي استنتاج ما كانت عليه هذه العناصر المفقودة، مما يضمن أن التمثيل الافتراضي يكون دقيقًا وقريبًا من الأصل قدر الإمكان.	يوفر نموذجًا ثلاثي الأبعاد تفصيليًا للمبنى التراثي، مع التقاط حالته الحالية وخصائصه التاريخية.	يضمن توثيقًا دقيقًا لهيكل المبنى، المواد، والتفاصيل المعمارية.
الصيانة التنبؤية وتقييم	يستخدم التعلم الآلي للتنبؤ بالمناطق المعرضة للتدهور أو التلف، مما يتيح الصيانة الوقائية.	يخزن بيانات عن حالة المبنى، المواد، وسلامته الهيكلية	يقلل من مخاطر الأعطال غير المتوقعة ويمدد عمر الهياكل التراثية.
كفاءة الطاقة والاستدامة [٢٢]	يحسن استخدام الطاقة من خلال محاكاة سيناريوهات مختلفة واقتراح حلول موفرة للطاقة.	يقوم بنمذجة أداء الطاقة للمبنى، بما في ذلك أنظمة الإضاءة، التدفئة، والتبريد.	يساعد في تحديث المباني التراثية بتقنيات مستدامة مع الحفاظ على طابعها التاريخي
توافق المواد والتصميم [٢٣]	يوصي بمواد مستدامة ومتوافقة للإصلاحات أو التجديدات، مع ضمان توافقها مع السياق التاريخي للمبنى.	يتتبع أنواع المواد المستخدمة في المبنى وحالتها.	يحافظ على أصالة المبنى التراثي مع تحسين متانته واستدامته.
الترميم الافتراضي والمحاكاة [٢٤]	يحاكي تأثير استراتيجيات الترميم، مثل التعزيزات الهيكلية أو التغييرات الجمالية، قبل التنفيذ.	ينشئ نسخة رقمية للمبنى، مما يسمح باستكشاف خيارات الترميم بشكل افتراضي.	يقلل من المخاطر والتكاليف من خلال اختبار الحلول افتراضيًا قبل بدء العمل الفعلي

المراقبة الآلية وتحليل البيانات في	يحلل البيانات في الوقت الفعلي لاكتشاف الشذوذ أو التغييرات في حالة المبنى.	يدمج أجهزة استشعار إنترنت الأشياء (IoT) لمراقبة الظروف البيئية (مثل درجة الحرارة، الرطوبة، الاهتزازات).	يتيح المراقبة المستمرة والاستجابة السريعة للمشكلات المحتملة، مما يضمن الحفاظ على المبنى.
تعزيز التعاون [٢٥]	يسهل اتخاذ القرارات من خلال تحليل البيانات وتقديم رؤى قابلة للتنفيذ.	يوفر منصة مركزية للمهندسين المعماريين، المهندسين، المؤرخين، والمقاولين للتعاون.	يحسن التنسيق بين أصحاب المصلحة، مما يضمن أن مشاريع التجديد تكون فعالة ومتوافقة مع أهداف الحفظ.
تحسين التكاليف والموارد	يحسن تخصيص الموارد، يقلل النفايات، ويتنبأ بتكاليف المشروع والجداول الزمنية.	يتتبع استخدام الموارد وتقدم المشروع في الوقت الفعلي.	يقلل من تكاليف التجديد ويضمن الاستخدام الفعال للمواد والعمالة.
الحفاظ الثقافي والتاريخي [٢٦]	يحلل الأنماط والاتجاهات التاريخية لتوجيه جهود الترميم بطريقة تحترم تراث المبنى.	يلتقط ويخزن البيانات التاريخية، مما يضمن أن التجديدات تحترم الأهمية الثقافية للمبنى.	يضمن أن التجديدات تحافظ على القيمة التاريخية والثقافية للمبنى.
إشراك الجمهور والتعليم [٢٧]	يعزز هذه النماذج بتجارب الواقع المعزز (AR) أو الواقع الافتراضي (VR).	ينشئ نماذج ثلاثية الأبعاد تفاعلية يمكن استخدامها في الجولات الافتراضية أو الأغراض التعليمية.	يجذب الجمهور ويرفع الوعي بأهمية الحفاظ على التراث.

٢,١. إمكانات التحديات والحلول لتكامل BIM–AI

يُعد تكامل نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي (AI) ذا إمكانات كبيرة لتعزيز الاستدامة في المباني التراثية. ومع ذلك، فإن هذا التكامل يطرح أيضًا عدة تحديات يجب معالجتها لتحقيق فوائده الكاملة. تشمل هذه التحديات:

الجدول ٢: التحديات والحلول لتكامل BIM–AI إعداد الباحث مقتبس من(Khan et al., 2024)[٢٨].

	التحديات الرئيسية	أساليب التخفيف
التحديات التكنولوجية والبيانات	• نقص الخبراء المهرة في تكامل الذكاء الاصطناعي و BIM • تحديات في التوافقية وفئات الصناعة الأساسية (IFC) في تكامل AI–BIM• توافق محدود بين تقنيات الذكاء الاصطناعي وBIM في المراحل الأولية للمشاريع • مشاكل في جودة البيانات • تحديات في تجزئة البيانات، التخزين، الترخيص، والملكية • مشاركة غير فعالة للبيانات ووصول محدود لتقنيات الذكاء الاصطناعي وBIM في صناعة البناء	• الاستثمار في تدريب الموظفين لتحقيق فوائد طويلة المدى للمنظمة • إنشاء منصات تعاونية مفتوحة، مثل OpenXR، لتقنيات BIM والواقع الافتراضي • الاستفادة من فرص التصميم التوليدي لاستكشاف خيارات تصميمية مختلفة في المراحل الأولية للتخطيط • تقديم البيانات والمشاريع كمعايير بتكلفة منخفضة للمؤسسات والمنظمات • ضمان عقود شفافة وموثقة جيدًا لإدارة البيانات والمعلومات • تعزيز شفافية العقود مع تحديد واضح لتقاسم المخاطر، باستخدام تقنية Blockchain لمشاركة البيانات الموثوقة.

تحديات المعرفة	• نقص الخبرة الكافية في دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي و BIM • تدريب وفهم غير كافيين لتطبيقات تكامل AI–BIM في مشاريع البناء • محدودية معرفة فرق المشروع والممارسين بتكامل AI–BIM	• تنفيذ إدارة التغيير على مستوى الشركة، بدءًا من مشاريع صغيرة ناجحة أو تجريبية • تطوير دورات متكاملة لـ BIM–AI مصممة للممارسين • تعزيز التعلم والتدريب على مستوى المنظمة من خلال مشاريع واقعية وتجريبية
تحديات تنظيمية	• مقاومة دمج AI–BIM في الأهداف الاستراتيجية • دعم غير كافٍ من الإدارة العليا في منظمات البناء • توفر محدود لمزودي البرمجيات المتكاملة والتقنيات اللازمة • عدم توافق الأنظمة القديمة في الصناعة مع حلول AI–BIM المتكاملة	• برامج تعليمية، ورش عمل، وعروض تقديمية مخصصة من قبل خبراء الصناعة • إدارة التغيير القيادي واستخلاص الرؤى من الصناعات الأخرى • إنشاء حلول برمجية داخلية مخصصة لدعم استراتيجية العمل للمنظمة • دراسات حالة ناجحة لتقييم الفوائد من خلال المشاريع الممولة من الحكومة

تحديات إدارية	• ندرة أفضل الممارسات والمعايير الصناعية لتكامل AI–BIM • اهتمام محدود من العملاء بتبني حلول AI–BIM المتكاملة في مشاريع البناء • غياب الأطر القانونية والعقود الوثائقية لتكامل AI–BIM • تعاون غير كافٍ بين فرق المشروع وأصحاب المصلحة الآخرين	• وضع معايير لأفضل الممارسات وتعزيز الأسس النظرية • تعزيز الابتكار من خلال آليات مثل التواصل، التقدير، المشاركة، والرمزية • الاستثمار في أطر عمل تدعم BIM–AI وتدمج الحكومة، الصناعة، والأكاديميا • استكشاف استخدام تقنية Blockchain لتعزيز الشفافية وإمكانية التتبع في التعاون
تحديات مالية	• متطلبات برمجية ومعدات باهظة الثمن لحلول AI–BIM المتكاملة • تكاليف عالية مرتبطة بالتدريب وإعادة الهندسة لتنفيذ الذكاء الاصطناعي وBIM في البناء • عدم اليقين بشأن العائد على الاستثمار لحلول AI–BIM المتكاملة	• دعم الحكومة والحوافز، خاصة للشركات الصغيرة والمتوسطة (SMEs) في الصناعة • إنشاء منصات تعليمية مفتوحة من قبل الحكومة للتعلم والتدريب • نماذج أعمال قوية لقياس فوائد الأعمال بشكل أفضل

تحديات المخاطر والسلامة	• احتمالية حدوث أخطاء أو أعطال في خوارزميات الذكاء الاصطناعي، مما يؤدي إلى مخاطر سلامة في التصميم أو البناء • نقاط ضعف في الأمن السيبراني في أنظمة AI–BIM المتكاملة، مما يعرض بيانات المشروع الحساسة للاختراقات • نقص بروتوكولات السلامة الموحدة لاستخدام AI–BIM في البناء، مما يؤدي إلى ممارسات سلامة غير متسقة	• تنفيذ عمليات اختبار وتحقق صارمة لخوارزميات الذكاء الاصطناعي قبل النشر • تعزيز إجراءات الأمن السيبراني، بما في ذلك تشفير البيانات والتحكم في الوصول، لحماية المعلومات الحساسة • تطوير معايير وإرشادات سلامة على مستوى الصناعة لتكامل AI–BIM لضمان ممارسات سلامة موحدة عبر المشاريع

٢. تطوير المنهجية بناءً على اطر العمل السابقة

وضعت الدراسات السابقة أساسًا قويًا لتطوير سير العمل التي تدمج نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي (AI)، خاصة لتحسين الاستدامة في تصميم المباني. توفر هذه الدراسات رؤى قيمة حول كيفية تنظيم، تحسين، وتنفيذ جوانب مختلفة من تكامل BIM-AI. على سبيل المثال، يحدد (Alavi et al., 2024) عملية من ثلاث خطوات لدمج BIM والذكاء الاصطناعي في بيئة النسخ الرقمية (Digital Twin) للمرافق الصحية. أولاً، في مرحلة متطلبات البيانات، تتم معالجة مدخلات مثل بيانات تدفق المرضى باستخدام الذكاء الاصطناعي لتوليد معلمات باستخدام تنسيقات BIM مثل IFC. ثانيًا، في مرحلة تكامل البيانات، يتم تخزين البيانات المنظمة باستخدام Revit، مع استخدام Dynamo كواجهة. أخيرًا، في مرحلة تصور البيانات، يتم تصور البيانات المتكاملة من خلال Autodesk Forge، مما يسهل مشاركة البيانات وتحليلها بشكل فعال. يعزز هذا النظام إدارة البيئات المعقدة من خلال الاستفادة من الجمع بين BIM، الذكاء الاصطناعي، وأدوات التصور. [٢٩]

وبالمثل، يحدد (Rane et al., 2023) نهجًا منهجيًا لدمج نمذجة معلومات البناء (BIM) مع أدوات الذكاء الاصطناعي التوليدية مثل Bard،ChatGPT ، وغيرها

في صناعة الهندسة المعمارية والهندسة والبناء. تتضمن العملية تحديد أهداف المشروع وحالات الاستخدام لتكامل الذكاء الاصطناعي. ثم يتم جمع بيانات BIM ومعالجتها مسبقًا لضمان التوافق. يتم تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي على البيانات ذات الصلة، يليها التكامل من خلال تطوير الواجهات، مع ضمان التحديثات في الوقت الفعلي، الأمان، والخصوصية. يتم تنفيذ النظام المتكامل في سير عمل البناء، واختباره للتأكد من الدقة، والتحقق من تفاعل المستخدم. بعد النشر، يتم توفير تدريب للمستخدمين وضوابط الوصول. أخيرًا، يتم مراقبة أداء النظام باستمرار، واستخدام التعليقات لتحسين النظام لتلبية احتياجات البناء الناشئة.[٣٠]

في دراستهم اللاحقة، يقترح (Rane et al., 2024) إطار عمل لتنفيذ ChatGPT/Bard في البناء يتكامل مع وحدات مختلفة لتعزيز أتمتة البناء واتخاذ القرارات. يتمحور النظام حول نظام البناء، الذي يدير التهيئة، بدء البناء، ومراقبة التقدم، بينما تعالج وحدة ChatGPT المدخلات اللغوية الطبيعية وإنشاء الردود لمساعدة المحادثات المتعلقة بالمشروع. تجمع وحدة بيانات المستشعرات البيانات في الوقت الفعلي من موقع البناء وتعالجها، مما يغذي وحدة أتمتة البناء، التي تنسق مكونات النظام وتضمن عمليات سلسة. تسهل واجهة المستخدم التفاعل بين المستخدمين والنظام من خلال عرض المعلومات وجمع المدخلات. تعالج وحدة القرار البيانات من المستشعرات وChatGPT لاتخاذ قرارات مستنيرة وتعديل خطة البناء. جميع المكونات مترابطة، مع استخدام بيانات البناء كمستودع مشترك للبيانات، مما يدعم النهج التعاوني والفعال لإدارة البناء. [٣١]

أما البحث الذي أجراه (Baik & Alshawabkeh, 2024) فيحدد سير عمل لنمذجة معلومات البناء التراثية (HBIM) باستخدام بيانات المسح الضوئي الأرضي (TLS). تتضمن العملية: **1.بيانات TLS:** تخطيط عمليات المسح، جمع البيانات الخام، محاذاة المسح، تصفية الضوضاء، وتسجيل البيانات. 2. **معالجة المسح إلى BIM:** تحويل بيانات المسح إلى نموذج BIM، خاصة للمباني التراثية (HBIM). يهدف البحث إلى تطوير منهجية لـ HBIM يمكن تطبيقها على نطاق واسع لتوثيق وحفظ العمارة التراثية الثقافية. باستخدام Ad Deir في البتراء كدراسة حالة، تعزز المنهجية التوثيق المعماري، التحليل الهيكلي، الترميم الافتراضي، ونمذجة التأثير البيئي. كما تعزز التعاون بين الفرق متعددة التخصصات للحفظ الفعال وترميم المواقع التراثية الثقافية.[٣٢]

كما يمكن استخدام النموذج الذي قدمه (Kamaruzaman*, 2019) لأغراض مختلفة، بما في ذلك الحفظ، التحليل، والتمثيل الافتراضي للمباني التراثية:1. **الحصول على البيانات**: استخدام المسح الضوئي بالليزر والتصوير الفوتوغرافي الرقمي (الجوي/الأرضي) لالتقاط البيانات الهندسية والبصرية التفصيلية للمبنى التراثي. ٢. **معالجة البيانات:** تسجيل، تبسيط، تقسيم، وإضافة النقوش إلى سحب النقاط الناتجة عن

المسح الضوئي بالليزر. محاذاة الصور ومطابقتها، ثم إنشاء سحب النقاط من الصور. ٣. **النمذجة ثلاثية الأبعاد:** إنشاء كائنات بارامترية في بيئة BIM لتطوير نموذج رقمي دقيق للمبنى التراثي. [٣٣]

أما البحث الذي أجراه (JAMAL et al., 2021) فيحدد سير عمل لإنشاء نموذج BIM "كما تم بناؤه" باستخدام المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد ومعالجة البيانات: 1. **الحصول على بيانات سحب النقاط**: المسح الضوئي في الموقع باستخدام ماسح FARO Laser Scanner Focus 3D X 330. ٢. **معالجة بيانات سحب النقاط**: تسجيل البيانات وتصفيتها باستخدام برنامج FARO Scene. 3. **إنشاء نموذج BIM "كما تم بناؤه"**: استخدام برنامج As-Built for Revit و Autodesk Revit لإنشاء النموذج. 4. **أتمتة حساب الكميات:** إنشاء جدول لعناصر المبنى من نموذج BIM لتقدير الأعمال المطلوبة. [٣٤]

أخيرًا، بالنسبة لتكامل BIM-AI الأخضر، يقترح (Pan & Zhang, 2023) إطار عمل خطوة بخطوة لـ BIM الأخضر لتسهيل تحليل أداء الطاقة خلال مراحل التصميم والتشغيل. يبدأ بتطوير نموذج BIM، الذي يوفر الأساس لتقييم أداء الطاقة. تليها مرحلة بناء نظام التقييم، الذي يحدد معايير قياس كفاءة الطاقة. ثم يتم إجراء محاكاة الطاقة القائمة على BIM للتنبؤ باستخدام الطاقة. بعد ذلك، يتم استخدام تقنيات التعلم الآلي للتنبؤ بالطاقة، باستخدام البيانات للتنبؤ بالاحتياجات المستقبلية. يتضمن الإطار أيضًا تحسين الطاقة القائم على البيانات، لتحسين أداء الطاقة بناءً على البيانات في الوقت الفعلي. أخيرًا، تنتهي العملية بتحديد وضبط الاستراتيجيات المثلى، لضمان تنفيذ الحلول الأكثر كفاءة في استخدام الطاقة طوال دورة حياة المبنى. [٣٥]

من خلال تجميع اطر العمل من هذه الدراسات السابقة، يطور هذا البحث سير عمل مخصص لتكامل BIM-AI. تعتمد المنهجية على النهج القائمة على البيانات، الأنظمة النمطية، واستراتيجيات استخدامها في الأبنية التراثية التي تم توضيحها في الأبحاث السابقة.

٣. إطار عمل BIM-AI للمباني التراثية بناءً على اطر العمل السابقة

يعتمد إطار عمل BIM-AI للمباني التراثية بعد ان تم تطويره من الدراسات االسابقة على الخطوات التالية :

١. **تحديد الأهداف وحالات الاستخدام:** قبل البدء في التكامل الفني، من الضروري توضيح ما تريد تحقيقه من خلال تكامل BIM-AI. يقدم تكامل الذكاء الاصطناعي وBIM إمكانات كبيرة لحفظ المباني التراثية. يعزز الذكاء الاصطناعي دقة التوثيق من خلال تحليل البيانات المعقدة، بينما يوفر BIM نماذج ثلاثية الأبعاد تفصيلية، مما يضمن توثيقًا دقيقًا للهيكل والمواد. تقلل الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي من المخاطر وتمدد عمر المباني، بينما تحسن محاكاة كفاءة الطاقة الاستدامة. يوصي الذكاء الاصطناعي بمواد متوافقة للتجديدات، مع الحفاظ على الأصالة التاريخية، وتمكين الترميم الافتراضي لاختبار الاستراتيجيات قبل التنفيذ.

تضمن المراقبة الآلية من خلال أجهزة استشعار إنترنت الأشياء (IoT) تتبع حالة المبنى في الوقت الفعلي، بينما يعزز التعاون المبسط التنسيق بين أصحاب المصلحة. كما يقوم الذكاء الاصطناعي بتحسين التكاليف والموارد، والتنبؤ بجداول المشاريع، ودعم الحفظ الثقافي من خلال تحليل الأنماط التاريخية. بالإضافة إلى ذلك، تعزز النماذج ثلاثية الأبعاد التفاعلية وتجارب الواقع المعزز (AR/VR) إشراك الجمهور والتعليم، مما يرفع الوعي بأهمية الحفاظ على التراث.

٢. **البيانات المطلوبة:** تشمل البيانات المطلوبة لإنشاء نموذج BIM المعلومات الهندسية (الأبعاد، الأشكال)، مواصفات المواد، العوامل البيئية، والبيانات الخاصة بالمشروع مثل التكاليف، الجداول الزمنية، وأداء الطاقة. يتم دمج هذه البيانات في نموذج ثلاثي الأبعاد، مما يتيح إجراء محاكاة مفصلة، التنسيق، والتحليل عبر دورة حياة المبنى، من التصميم إلى البناء والصيانة. هناك عدة خطوات لجمع البيانات من مبنى تراثي، وتشمل هذه الطرق:

أ. الحصول على البيانات: للحصول على البيانات من الأبنية القائمة يجب ان تتبع الخطوات الآتية:**١. المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد:** استخدام ماسحات ليزر أرضية أو جوية لالتقاط البيانات الهندسية الدقيقة للهيكل التراثي. ٢. **التصوير الفوتوغرافي الرقمي**: التقاط صور عالية الدقة من زوايا متعددة لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد، وهو مفيد للتفاصيل المعمارية المعقدة والمناطق التي يصعب الوصول إليها. ٣. **التوثيق التاريخي:** جمع الرسومات الأرشيفية، الصور، والسجلات المكتوبة لفهم تاريخ المبنى وتصميمه الأصلي. ٤. **تحليل المواد:** أخذ عينات مواد في الموقع وإجراء اختبارات معملية لتحديد خصائص المواد وحالتها. [٣٦]

ب. استخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات وتحسينها: يعزز الذكاء الاصطناعي دقة، كفاءة، وأتمتة الحصول على البيانات ومعالجتها للمباني التراثية. يتيح النمذجة ثلاثية الأبعاد الدقيقة، الدقة التاريخية، وتحليل المواد، مما يضمن الحفظ الفعال والترميم مع احترام الأهمية التاريخية للمبنى.[٣٧]

٣. **إنشاء نموذج BIM:** الخطوة الأولى هي اختيار منصة BIM حيث ستتواجد نماذج المبنى والبيانات. تشمل منصات BIM الشائعة: (Autodesk Revit، Graphisoft ArchiCAD، Bentley Systems). تتيح هذه المنصات النمذجة ثلاثية الأبعاد التفصيلية للمباني، بما في ذلك البيانات الوصفية حول المواد، الأبعاد، أداء الطاقة، والمزيد. كما توفر واجهات برمجة التطبيقات (APIs) التي تسمح لأنظمة خارجية مثل نماذج الذكاء الاصطناعي بالتفاعل مع بيانات BIM.

٤. **تكامل BIM والذكاء الاصطناعي:** للتكامل، الخطوة التالية هي تحديد أداة الذكاء الاصطناعي التي سيتم استخدامها في التكامل. تعتبر نماذج الذكاء الاصطناعي مثل ChatGPT مفيدة لواجهات اللغة الطبيعية والتحليل، بينما يمكن لنماذج التعلم الآلي إجراء تحليلات تنبؤية، نمذجة الطاقة، وتحسين التصميم. يجب اختيار الذكاء الاصطناعي بناءً على احتياجاتك المحددة، مثل: **ملء التفاصيل والقوام:** يمكن لأدوات

الذكاء الاصطناعي مثل Agisoft Metashape،Autodesk ReCap ، RealityCapture، وAdobe Substance 3D ملء التفاصيل والقوام المفقودة في نماذج BIM. **واجهات المحادثة:** ChatGPT (API) للاستعلامات بلغة طبيعية. **تحليل الاستدامة:** Green Building Studio،Autodesk Insight ، وcove.tool لتحسين كفاءة الطاقة والتصميم المستدام. **تحسين التصميم:** Autodesk Generative Design،TestFit ، وSpeckle لتحسين التخطيط ونماذج الذكاء الاصطناعي المخصصة. **التحليلات التنبؤية:** EcoDomus وWillowTwin للتنبؤ بدورة الحياة والصيانة. **الفحص الآلي للنماذج:** Solibri للتحقق من الامتثال والتحقق من الأخطاء.

ولتحقيق تكامل BIM-AI، يجب اتباع عدة خطوات:

أ. إعداد واجهات برمجة التطبيقات (APIs) للوصول إلى بيانات BIM: لتمكين الذكاء الاصطناعي من التفاعل مع BIM، تحتاج إلى إعداد واجهات برمجة التطبيقات التي تسمح باستخراج البيانات من نموذج BIM. تشمل واجهات برمجة التطبيقات الأكثر استخدامًا لهذا الغرض: Autodesk Forge API: يسمح للأنظمة الخارجية بالوصول إلى بيانات BIM المخزنة في Autodesk Revit و Graphisoft API (لـ ArchiCAD): يوفر الوصول إلى البيانات والتحكم في نماذج ArchiCAD. تسمح هذه الواجهات لأنظمة الذكاء الاصطناعي بالاستعلام عن بيانات BIM مثل الهندسة المعمارية، خصائص المواد، ومحاكاة الأداء.

ب. استخراج بيانات BIM: بمجرد إنشاء اتصال API، يمكن استخراج بيانات نموذج BIM. تشمل أنواع البيانات الرئيسية ذات الصلة لتحليل الذكاء الاصطناعي: **الهندسة المعمارية:** التخطيط، التوجيه، مواضع النوافذ، والتكوينات المكانية و **خصائص المواد:** أنواع المواد المستخدمة، بما في ذلك قيم العزل (R-values)، الكتلة الحرارية، والتأثير البيئي ، و **محاكاة الطاقة:** بيانات أداء الطاقة الموجودة مسبقًا، إذا كانت متاحة، أو المعلمات المطلوبة لتوليد هذه المحاكاة (مثل التعرض الشمسي، استهلاك الطاقة). يجب استخراج هذه البيانات وتنسيقها حتى يتمكن الذكاء الاصطناعي من تحليلها.

ج. معالجة البيانات لنماذج الذكاء الاصطناعي: يتم بعد ذلك معالجة بيانات BIM المستخرجة وإعدادها لنماذج الذكاء الاصطناعي. يتضمن ذلك تحويل البيانات الخام إلى تنسيقات يمكن للذكاء الاصطناعي فهمها واستخدامها للتحليل أو التوصيات.

د. تنفيذ خوارزميات الذكاء الاصطناعي: هناك خوارزميات مختلفة للذكاء الاصطناعي يمكن دمجها اعتمادًا على حالة الاستخدام: **معالجة اللغة الطبيعية (NLP):** يمكن استخدام ChatGPT للإجابة على أسئلة حول نموذج BIM أو تقديم اقتراحات تصميمية بناءً على استعلامات مثل "كيف يمكنني تحسين كفاءة الطاقة في هذا المبنى؟" و **التعلم الآلي (ML):** يمكن استخدام نماذج ML للتنبؤ بأداء المبنى، تحليل استدامة خيارات التصميم المختلفة، أو اقتراح مواد وتخطيطات محسنة لكفاءة

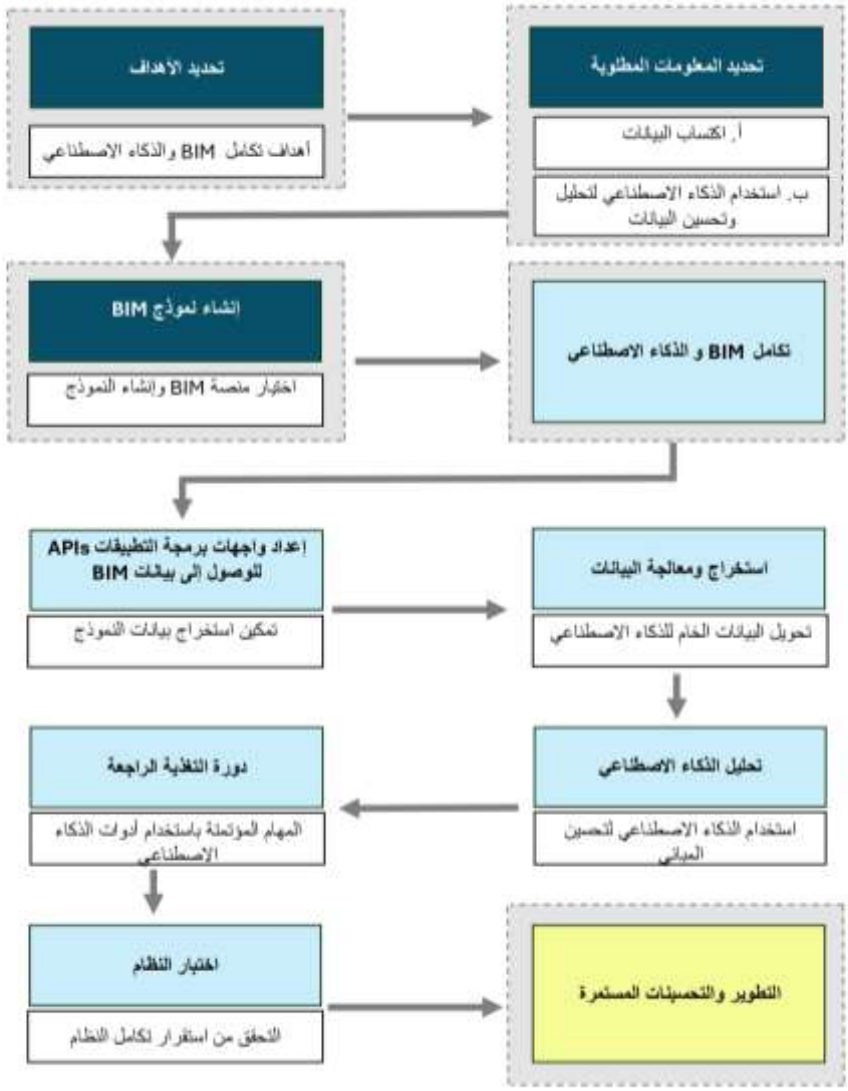
الطاقة. على سبيل المثال، يمكنك تطوير نموذج ذكاء اصطناعي يتنبأ باستهلاك الطاقة بناءً على توجيه المبنى. بعد استخراج التوجيه الجغرافي للمبنى من BIM، يمكن للذكاء الاصطناعي اقتراح تدوير المبنى أو تحسين مواضع النوافذ لاستخدام أفضل للضوء الطبيعي.

هـ. استخدام الأدوات لواجهة المستخدم والتفاعل: هناك العديد من الأدوات، الإضافات، والمنصات المدعومة بالذكاء الاصطناعي التي يمكن دمجها في بيئات BIM، مثل Autodesk Revit وArchiCAD. توفر هذه الأدوات واجهة جاهزة، مما يلغي الحاجة إلى تطوير أنظمة من الصفر. تشمل الأمثلة الرئيسية: **Autodesk Dynamo:** أداة برمجة مرئية لـ Revit، تتيح أتمتة المهام مثل تحليل الاستدامة، مع إضافات الذكاء الاصطناعي عبر Python أو التعلم الآلي و **Autodesk Generative Design:** متاح في Revit، يستخدم الذكاء الاصطناعي لتوليد خيارات تصميمية بناءً على أهداف مثل الاستدامة أو التكلفة و **Unity Reflect:** إضافة للتصور ثلاثي الأبعاد والمحاكاة في الوقت الفعلي، حيث يمكن للذكاء الاصطناعي تقديم اقتراحات تصميمية تفاعلية و **إضافات Archicad:** تشمل أدوات التصميم البارامترية وإضافات التحليل البيئي المدعومة بالذكاء الاصطناعي.

و. اختبار النظام: بمجرد إعداد النظام، يجب اختبار التكامل للتأكد من: استقرار اتصال API: يمكن الوصول إلى بيانات نموذج BIM ومعالجتها بواسطة الذكاء الاصطناعي في الوقت الفعلي أو شبه الفعلي و تقديم الذكاء الاصطناعي لرؤى دقيقة: تقدم نماذج الذكاء الاصطناعي توصيات صحيحة تتماشى مع أهداف الاستدامة.

ز. التطوير والتحسين المستمر: بعد مرحلة الاختبار، يتم تطوير التكامل في بيئة واقعية. سيحتاج النظام إلى مراقبة مستمرة لـ: تحسين دقة الذكاء الاصطناعي من خلال تزويده بمزيد من بيانات المشروع و تحديث الذكاء الاصطناعي بمعايير استدامة جديدة وخيارات مواد و إضافة المزيد من الوظائف حسب احتياجات المشروع أو فريق التصميم، مثل دمج أدوات محاكاة متقدمة (مثل Green Building Studio،EnergyPlus) لإجراء تقييمات أكثر دقة للاستدامة.

الشكل (٢) إطار عمل BIM–AI للمباني التراثية (اعداد الباحث)



٤. الاستنتاج

تحرى هذا البحث تكامل نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي (AI) كاستراتيجية لتعزيز الاستدامة في المباني التراثية. من خلال تحليل فوائد وتحديات تكامل BIM-AI عبر دورة حياة المبنى، يتضح أن هذا النهج يمتلك إمكانات كبيرة لتعزيز الحفاظ على التراث مع تحسين كفاءة المشروع بشكل عام. يوفر تكامل BIM والذكاء الاصطناعي العديد من المزايا، بما في ذلك تعزيز صنع القرار، تحسين إدارة الموارد، وتقليل البصمة البيئية. ومع ذلك، يجب معالجة التحديات مثل مشاكل توافق البيانات، التعقيد التقني، وتكاليف التنفيذ المرتفعة لتعظيم فعاليتها. بناءً على الدراسات

الحالية، طور هذا البحث سير عمل مخصصًا لدعم الحفاظ على المباني التراثية، مع تقديم حلول للحواجز التقنية الرئيسية. يعزز سير العمل المقترح التعاون بين أدوات BIM والذكاء الاصطناعي، مما يتيح ممارسات معمارية أكثر ذكاءً واستدامة. يجب أن تركز الأبحاث المستقبلية على اختبار إطار العمل عبر أنواع مختلفة من المباني التراثية لتقييم قدرته على التكيف والأداء في سياقات مختلفة. يمكن أن تساعد مثل هذه التجارب في تحسين المنهجية وتحديد المزيد من التحسينات اللازمة لاعتماد أوسع في الصناعة. مع استمرار تطور تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي، ستكتسب أنظمة BIM-AI قدرات أكبر، مما يفتح فرصًا جديدة لتعزيز الاستدامة في الحفاظ على التراث. يمثل هذا التكامل اتجاهًا واعدًا لتحويل الممارسات المعمارية وتوجيه صناعة الهندسة المعمارية والهندسة والبناء (AEC) نحو مستقبل أكثر استدامة وتقدمًا تكنولوجيًا.

Conclusion

This research has explored the integration of Building Information Modeling (BIM) and Artificial Intelligence (AI) as a strategy for promoting sustainability in heritage buildings. By analyzing the benefits and challenges of BIM-AI integration throughout the building lifecycle, it is evident that this approach has significant potential to enhance heritage preservation while improving overall project efficiency. The integration of BIM and AI offers numerous advantages, including enhanced decision-making, optimized resource management, and a reduced environmental footprint. However, challenges such as data interoperability issues, technical complexity, and high implementation costs must be addressed to maximize its effectiveness. Building on existing studies, this research has developed a tailored workflow specifically designed to support heritage building preservation, providing solutions to key technical barriers. The proposed workflow enhances collaboration between BIM and AI tools, enabling more intelligent and sustainable architectural practices. Future research should focus on testing this workflow across various types of heritage buildings to evaluate its adaptability and performance in different contexts. Such experimentation would help refine the methodology and identify further improvements needed for broader industry adoption. As AI technology continues to evolve, BIM-AI systems will gain greater capabilities, unlocking new opportunities for advancing sustainability in heritage conservation. This integration represents a promising direction for transforming architectural practices and steering the AEC industry toward a more sustainable and technologically advanced future.

الهوامش :

[١] برنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEPهو الجهة الرئيسية للأمم المتحدة المعنية بالبيئة، ويسعى في ٢٠٢٤ إلى مكافحة تغير المناخ، حماية التنوع البيولوجي، وإدارة الموارد الطبيعية بشكل مستدام. يركز أيضًا على الحد من التلوث ودعم السياسات البيئية الفعالة.المصدر: unep.org (https://www.unep.org)

S. Azhar, M. Khalfan, and T. Maqsood, 'Building information modelling (BIM): now and beyond', Construction Economics and Building, vol. 12, no. 4, pp. 15–28, 2012

[٢] NBIMS (National Building Information Modeling Standard) هو معيار أمريكي صدر عام ٢٠١٠ لتوحيد استخدام نمذجة معلومات البناء ((BIMفي صناعة التشييد. يهدف إلى تحسين التعاون وجودة المشاريع من خلال إرشادات واضحة لتبادل البيانات وإدارتها.

المصدر : [National Institute of Building Sciences](https://www.nibs.org)]

[3] S. Azhar, M. Khalfan, and T. Maqsood, 'Building information modelling (BIM): now and beyond', Construction Economics and Building, vol. 12, no. 4, pp. 15–28, 2012

[4] S. Azhar, Nadeem, Abid, Mok, Johnny, and Leung, Brian, 'Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects', First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC–I), 2008

[5] S. Azhar, Nadeem, Abid, Mok, Johnny, and Leung, Brian, 'Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects', First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC–I), 2008.

[6] S. Azhar, M. Khalfan, and T. Maqsood, 'Building information modelling (BIM): now and beyond', Construction Economics and Building, vol. 12, no. 4, pp. 15–28, 2012

Glick, S and Guggemos, A, 'IPD and BIM: Benefits and Opportunities for Regulatory Agencies', Proceedings of the 45th ASC National Conference, Gainesville, 2-4 April 2009, 2009.

[7] Z. Liu, Dr. K. Chen, Dr. L. Peh, and Dr. K. W. Tan, 'A feasibility study of Building Information Modeling for Green Mark New Non-Residential Building (NRB): 2015 analysis', Energy Procedia, vol. 143, pp. 80–87, 2017

[8] Z. Liu, Dr. K. Chen, Dr. L. Peh, and Dr. K. W. Tan, 'A feasibility study of Building Information Modeling for Green Mark New Non-Residential Building (NRB): 2015 analysis', Energy Procedia, vol. 143, pp. 80–87, 2017

[9] W. Bonenberg and X. Wei, 'Green BIM in Sustainable Infrastructure', Procedia Manuf, vol. 3, pp. 1654–1659, 2015,

[10] Ismail, Noor Akmal Adillah, Ramli, Hazwani, Ismail, Elma Dewiyana, Rooshdi, Raja Rafidah Raja Muhammad, Sahamir, Shaza Rina, and Idris, Nur Hidayah, 'a-review-on-green-bim-potentials-in-enhancing-the-construction-industry-practice', MATEC Web of Conferences , vol. 266, 2019.

[11] R. E. Edwards, E. Lou, A. Bataw, S. N. Kamaruzzaman, and C. Johnson, 'Sustainability-led design: Feasibility of incorporating whole-life cycle energy assessment into BIM for refurbishment projects', Journal of Building Engineering, vol. 24, p. 100697, 2019

[12] S. C. M. Hui, 'New opportunities of using building information modelling BIM for green buildings', The 15th Asia Pacific Conference on the Built Environment: 5R Technology for Building Environment, 2019.

[13] Krygiel, Eddy and B. Nies, 'Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling', Wiley Publishing, Inc., 2008.

[14] N. U. S. N. Kamaruzaman*, 'Historic Building Information Modelling (Hbim): A Review', The European Proceedings of Multidisciplinary Sciences EpMS, pp. 587–594, 2019

[15] K. JAMAL, C. SHU EE, N. KHIYON, and N. WAHAB, 'SCAN TO BIM APPROACH TOWARDS PRODUCING QUANTITY TAKE OFF OF HERITAGE BUILDINGS IN MALAYSIA', Journal of Engineering Science and Technology, pp. 120 – 137, 2021.

A. Baik and Y. Alshawabkeh, 'Harnessing Heritage BIM for Enhanced Architectural Documentation of Ad Deir in Petra', Applied Sciences, vol. 14, no. 11, p. 4562, 2024

[16] H. Alavi, Forcada, Nuria, Fan, Su-ling, and San, Wei, 'BIM-BASED AUGMENTED REALITY INSPECTION OF FACILITY MAINTENANCE MANAGEMENT', 2021 European Conference on Computing in Construction, 2021.

[17] H. Alavi, P. Gordo-Gregorio, N. Forcada, A. Bayramova, and D. J. Edwards, 'AI-Driven BIM Integration for Optimizing Healthcare Facility Design', Buildings, vol. 14, no. 8, p. 2354, 2024

[18] N. Rane, S. Choudhary, and J. Rane, 'Integrating Building Information Modelling (BIM) with ChatGPT, Bard, and similar generative artificial intelligence in the architecture, engineering, and construction industry: applications, a novel framework, challenges, and future scope', SSRN Electronic Journal, 2023

[19] N. Rane, S. Choudhary, and J. Rane, 'Integrating Building Information Modelling (BIM) with ChatGPT, Bard, and similar generative artificial intelligence in the architecture, engineering, and construction industry: applications, a novel framework, challenges, and future scope', SSRN Electronic Journal, 2023

O. Al-Tameemi and Tara A Toma, 'Automation in Architecture and Its Effect on the Regeneration of Traditional Buildings: Al-Shawi House as a Case Study', In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 012027., 2020

[20] N. Rane, S. Choudhary, and J. Rane, 'A New Era of Automation in the Construction Industry: Implementing Leading-Edge Generative Artificial Intelligence, such as ChatGPT or Bard', SSRN Electronic Journal, 2024

[21] G. AKYOL and A. AVCI, 'AI APPLICATIONS IN CULTURAL HERITAGE PRESERVATION: TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS FOR THE

CONSERVATION ', INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES , 2023.

[22] A. A. Khan, A. O. Bello, M. Arqam, and F. Ullah, 'Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in Construction Projects: A Review of Challenges and Mitigation Strategies', Technologies (Basel), vol. 12, no. 10, p. 185, 2024

Y. Pan and L. Zhang, 'Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions', Archives of Computational Methods in Engineering, vol. 30, no. 2, pp. 1081–1110, 2022

[23] Y. Pan and L. Zhang, 'Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions', Archives of Computational Methods in Engineering, vol. 30, no. 2, pp. 1081–1110, 2022

A. A. Khan, A. O. Bello, M. Arqam, and F. Ullah, 'Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in Construction Projects: A Review of Challenges and Mitigation Strategies', Technologies (Basel), vol. 12, no. 10, p. 185, 2024

[24] A. A. Khan, A. O. Bello, M. Arqam, and F. Ullah, 'Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in Construction Projects: A Review of Challenges and Mitigation Strategies', Technologies (Basel), vol. 12, no. 10, p. 185, 2024

Y. Pan and L. Zhang, 'Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions', Archives of Computational Methods in Engineering, vol. 30, no. 2, pp. 1081–1110, 2022

[25] A. A. Khan, A. O. Bello, M. Arqam, and F. Ullah, 'Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in Construction Projects: A Review of Challenges and Mitigation Strategies', Technologies (Basel), vol. 12, no. 10, p. 185, 2024

[26] G. AKYOL and A. AVCI, 'AI APPLICATIONS IN CULTURAL HERITAGE PRESERVATION: TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS FOR THE CONSERVATION ', INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES , 2023.

[27] Alzubaidy, Doaa M and Al-Tameemi, Osamah Abdulmunem, 'Evaluating the Perception of Virtual Reality in Historical Sites', In BIO Web of Conferences, EDP Sciences, 82, 2024

G. AKYOL and A. AVCI, 'AI APPLICATIONS IN CULTURAL HERITAGE PRESERVATION: TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS FOR THE CONSERVATION ', INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES , 2023.

[28] A. A. Khan, A. O. Bello, M. Arqam, and F. Ullah, 'Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in Construction Projects: A Review of Challenges and Mitigation Strategies', Technologies (Basel), vol. 12, no. 10, p. 185, 2024

[29] H. Alavi, P. Gordo-Gregorio, N. Forcada, A. Bayramova, and D. J. Edwards, 'AI-Driven BIM Integration for Optimizing Healthcare Facility Design', Buildings, vol. 14, no. 8, p. 2354, 2024

[30] N. Rane, S. Choudhary, and J. Rane, 'Integrating Building Information Modelling (BIM) with ChatGPT, Bard, and similar generative artificial intelligence in the architecture, engineering, and construction industry: applications, a novel framework, challenges, and future scope', SSRN Electronic Journal, 2023

[31] N. Rane, S. Choudhary, and J. Rane, 'A New Era of Automation in the Construction Industry: Implementing Leading-Edge Generative Artificial Intelligence, such as ChatGPT or Bard', SSRN Electronic Journal, 2024

[32] A. Baik and Y. Alshawabkeh, 'Harnessing Heritage BIM for Enhanced Architectural Documentation of Ad Deir in Petra', Applied Sciences, vol. 14, no. 11, p. 4562, 2024,

[33] N. U. S. N. Kamaruzaman*, 'Historic Building Information Modelling (Hbim): A Review', The European Proceedings of Multidisciplinary Sciences EpMS, pp. 587–594, 2019

[34] K. JAMAL, C. SHU EE, N. KHIYON, and N. WAHAB, 'SCAN TO BIM APPROACH TOWARDS PRODUCING QUANTITY TAKE OFF OF HERITAGE BUILDINGS IN MALAYSIA', Journal of Engineering Science and Technology, pp. 120 – 137, 2021

[35] Y. Pan and L. Zhang, 'Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions', Archives of Computational Methods in Engineering, vol. 30, no. 2, pp. 1081–1110, 2023

[36] N. U. S. N. Kamaruzaman*, 'Historic Building Information Modelling (Hbim): A Review', The European Proceedings of Multidisciplinary Sciences EpMS, pp. 587–594, 2019

A. Baik and Y. Alshawabkeh, 'Harnessing Heritage BIM for Enhanced Architectural Documentation of Ad Deir in Petra', Applied Sciences, vol. 14, no. 11, p. 4562, 2024

[37] M. Mishra and P. B. Lourenço, 'Artificial intelligence-assisted visual inspection for cultural heritage: State-of-the-art review', J Cult Herit, vol. 66, pp. 536–550, 2024,

G. AKYOL and A. AVCI, 'AI APPLICATIONS IN CULTURAL HERITAGE PRESERVATION: TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS FOR THE CONSERVATION ', INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES , 2023.

References

[1] S. Azhar, M. Khalfan, and T. Maqsood, 'Building information modelling (BIM): now and beyond', Construction Economics and Building, vol. 12, no. 4, pp. 15–28, 2012, doi: 10.5130/ajceb.v12i4.3032.

[2] S. Azhar, Nadeem, Abid, Mok, Johnny, and Leung, Brian, 'Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects', First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC–I), 2008.

[3] Glick, S and Guggemos, A, 'IPD and BIM: Benefits and Opportunities for Regulatory Agencies', Proceedings of the 45th ASC National Conference, Gainesville, 2-4 April 2009, 2009.

[4] Z. Liu, Dr. K. Chen, Dr. L. Peh, and Dr. K. W. Tan, 'A feasibility study of Building Information Modeling for Green Mark New Non-

Residential Building (NRB): 2015 analysis', Energy Procedia, vol. 143, pp. 80–87, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.12.651.
[5] W. Bonenberg and X. Wei, 'Green BIM in Sustainable Infrastructure', Procedia Manuf, vol. 3, pp. 1654–1659, 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.483.
[6] Ismail, Noor Akmal Adillah, Ramli, Hazwani, Ismail, Elma Dewiyana, Rooshdi, Raja Rafidah Raja Muhammad, Sahamir, Shaza Rina, and Idris, Nur Hidayah, 'a-review-on-green-bim-potentials-in-enhancing-the-construction-industry-practice', MATEC Web of Conferences , vol. 266, 2019.
[7] R. E. Edwards, E. Lou, A. Bataw, S. N. Kamaruzzaman, and C. Johnson, 'Sustainability-led design: Feasibility of incorporating whole-life cycle energy assessment into BIM for refurbishment projects', Journal of Building Engineering, vol. 24, p. 100697, 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2019.01.027.
[8] M. F. Muller, F. Esmanioto, N. Huber, E. R. Loures, and O. Canciglieri, 'A systematic literature review of interoperability in the green Building Information Modeling lifecycle', J Clean Prod, vol. 223, pp. 397–412, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.114.
[9] A. Andriamamonjy, D. Saelens, and R. Klein, 'A combined scientometric and conventional literature review to grasp the entire BIM knowledge and its integration with energy simulation', Journal of Building Engineering, vol. 22, pp. 513–527, 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2018.12.021.
[10] S. C. M. Hui, 'New opportunities of using building information modelling BIM for green buildings', The 15th Asia Pacific Conference on the Built Environment: 5R Technology for Building Environment, 2019.
[11] Krygiel, Eddy and B. Nies, 'Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling', Wiley Publishing, Inc., 2008.
[12] N. U. S. N. Kamaruzaman*, 'Historic Building Information Modelling (Hbim): A Review', The European Proceedings of Multidisciplinary Sciences EpMS, pp. 587–594, 2019, doi: 10.15405/epms.2019.12.58.

[13] K. JAMAL, C. SHU EE, N. KHIYON, and N. WAHAB, 'SCAN TO BIM APPROACH TOWARDS PRODUCING QUANTITY TAKE OFF OF HERITAGE BUILDINGS IN MALAYSIA', Journal of Engineering Science and Technology, pp. 120 – 137, 2021.
[14] A. Baik and Y. Alshawabkeh, 'Harnessing Heritage BIM for Enhanced Architectural Documentation of Ad Deir in Petra', Applied Sciences, vol. 14, no. 11, p. 4562, 2024, doi: 10.3390/app14114562.
[15] H. Alavi, Forcada, Nuria, Fan, Su-ling, and San, Wei, 'BIM-BASED AUGMENTED REALITY INSPECTION OF FACILITY MAINTENANCE MANAGEMENT', 2021 European Conference on Computing in Construction, 2021.
[16] H. Alavi, P. Gordo-Gregorio, N. Forcada, A. Bayramova, and D. J. Edwards, 'AI-Driven BIM Integration for Optimizing Healthcare Facility Design', Buildings, vol. 14, no. 8, p. 2354, 2024, doi: 10.3390/buildings14082354.
[17] N. Rane, S. Choudhary, and J. Rane, 'Integrating Building Information Modelling (BIM) with ChatGPT, Bard, and similar generative artificial intelligence in the architecture, engineering, and construction industry: applications, a novel framework, challenges, and future scope', SSRN Electronic Journal, 2023, doi: 10.2139/ssrn.4645601.
[18] O. Al-Tameemi and Tara A Toma, 'Automation in Architecture and Its Effect on the Regeneration of Traditional Buildings: Al-Shawi House as a Case Study', In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 012027., 2020.
[19] N. Rane, S. Choudhary, and J. Rane, 'A New Era of Automation in the Construction Industry: Implementing Leading-Edge Generative Artificial Intelligence, such as ChatGPT or Bard', SSRN Electronic Journal, 2024, doi: 10.2139/ssrn.4681676.
[20] G. AKYOL and A. AVCI, 'AI APPLICATIONS IN CULTURAL HERITAGE PRESERVATION: TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS FOR THE CONSERVATION ', INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES , 2023.
[21] A. A. Khan, A. O. Bello, M. Arqam, and F. Ullah, 'Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in

Construction Projects: A Review of Challenges and Mitigation Strategies', Technologies (Basel), vol. 12, no. 10, p. 185, 2024, doi: 10.3390/technologies12100185.
[22] Y. Pan and L. Zhang, 'Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions', Archives of Computational Methods in Engineering, vol. 30, no. 2, pp. 1081–1110, 2022, doi: 10.1007/s11831-022-09830-8.
[23] Alzubaidy, Doaa M and Al-Tameemi, Osamah Abdulmunem, 'Evaluating the Perception of Virtual Reality in Historical Sites', In BIO Web of Conferences, EDP Sciences, 82, 2024.
[24] Y. Pan and L. Zhang, 'Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions', Archives of Computational Methods in Engineering, vol. 30, no. 2, pp. 1081–1110, 2023, doi: 10.1007/s11831-022-09830-8.
[25] M. Mishra and P. B. Lourenço, 'Artificial intelligence-assisted visual inspection for cultural heritage: State-of-the-art review', J Cult Herit, vol. 66, pp. 536–550, 2024, doi: 10.1016/j.culher.2024.01.005.