Journal of Al-Azhar University Engineering Sector

Vol. 19, No. 72 , July 2024, 1048-1064

IMPROVING SUSTAINABILITY IN CONSTRUCTION PHASES THROUGH BIM: DEVELOPING A METHODOLOGICAL FRAMEWORK USING SWOT ANALYSIS

Ahmed Saleh Abdel Fattah Ali Ismail*

Department of Architecture, Faculty of Engineering in Materia, Helwan University, Egypt

*Correspondence: ahmed_saleh@m-eng. Helwan.edu.eg

Citation:

A.S.A. Saleh, "Improving sustainability in construction phases through BIM: developing a methodological framework using SWOT analysis ", Journal of Al-Azhar University Engineering Sector, vol. 19, pp. 1048-1064, 2024.

Received: 28 March 2024

Revised: 09 May 2024

Accepted: 14 May 2024

DOI:10.21608/auej.2024.282859.1647

Copyright © 20٢٤ by the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International Public License (CC BY-SA 4.0)

ABSTRACT

"Sustainability in the construction sector is crucial for influencing building operations' outcomes. Its significance extends beyond conserving natural resources to enhance efficiency and effectiveness throughout a project's lifecycle. Emphasizing sustainability helps reduce overall costs and improve projects' environmental and social standing, leading to better construction process outcomes. This study emphasizes the role of Building Information Modeling (BIM) in boosting sustainability during construction phases, focusing on BIM technologies' contribution to achieving sustainability goals. The aim is to develop a methodology using BIM tools for sustainable construction processes to enhance project outputs. This includes strategic objective formulation, stakeholder collaboration, clash detection, sustainability risk mitigation, resource optimization, waste reduction, and improved cost and time management efficiency, thereby significantly improving the projects' environmental performance. The research adopts an integrated approach, combining theoretical insights from prior studies with practical analysis, to deepen the understanding of BIM's impact on sustainability in construction. By providing a comprehensive view of BIM's contributions, the study is expected to offer valuable insights for practitioners, promoting BIM technology applications that significantly enhance sustainability in the construction phase."

KEYWORDS: Building information modeling (BIM), sustainability procedures, construction phase, construction operations, construction sites.

تحسين الاستدامة في مراحل البناء من خلال نمذجة معلومات البناء (BIM): تطوير إطار منهجي باستخدام تحليلSWOT

أحمد صالح عبد الفتاح علي اسماعيل*

قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة بالمطرية، جامعة حلوان، مصر

البريد الاليكتروني للباحث الرئيسي: ahmed_saleh@m-eng. Helwan.edu.eg

الملخص

الاستدامة في مجال البناء والتشييد تعتبر أمراً حيوياً يؤثر بشكل كبير على مخرجات العمليات البنائية. وتتجاوز أهمية الاستدامة خلال مراحل البناء النطاق التقليدي المتمثل في الحفاظ على الموارد الطبيعية، لتشمل أيضاً تحسين الكفاءة والفعالية عبر دورة حياة المشروع. ويسهم الاهتمام بالاستدامة في تقليل التكاليف الإجمالية وتحسين الصورة البيئية والاجتماعية للمشروعات، مما

يؤدي إلى تحسين مخرجات عملية البناء بشكل عام. وعلى الرغم من تركيز الأدبيات على الاستدامة خلال مراحل التخطيط والتصميم، إلا أن القليل منها يتناول إجراءات والمبادئ الأساسية والاستراتيجيات الفعالة لتنفيذ الاستدامة في عمليات البناء في الموقع. لذا، يهدف هذا البحث إلى تحليل أبعاد الاستدامة في مرحلة البناء، وتسليط الضوء على مؤشرات الأداء الرئيسية للاستدامة (KPIs)للممارسات في الموقع. استخدم تحليل SWOT، لتحديد النقاط القوية التي يمكن تعزيزها، والضعف التي يمكن تحسينها، والفرص التي يمكن استغلالها، والتهديدات التي يجب التصدي لها؛ ومن ثم استخدام هذه النتائج في تطوير إطار يدمج بين نمذجة معلومات البناء BIM والممارسات الهندسية المستدامة لمواجهة التحديات البيئية الراهنة وتحسين أداء البناء. ويساهم هذا الدمج في تحسين إدارة وكفاءة عمليات البناء، وتحقيق أهداف الاستدامة وقياسها. بغرض دمج جوانب الاستدامة في ممارسات البناء باستخدام أدوات BIM، مما يسهم في تحسين مخرجات البناء. وتعزز إجراءات الاستدامة المدمجة مع أدوات BIM في تحسين إدارة المشروعات، وتحقيق الأهداف البيئية، وزيادة كفاءة الموارد، وتعزيز التعاون والشفافية بين الأطراف المعنية. بشكل عام، يلعب استخدام BIM دورًا مهمًا في دعم الاستدامة في عمليات البناء وتحسين النتائج البيئية والاقتصادية والاجتماعية. يسهم التكامل بين الممارسات البنائية المستدامة والتكنولوجيا المتقدمة في تعزيز الاستدامة وخلق مشاريع بناء أكثر كفاءة وأقل تأثيرًا على البيئة. ومن المتوقع أن تقدم نتائج البحث مساهمات قيمة للممارسين في تطبيق أدوات BIM بشكل يعزز من فعالية الاستدامة في مرحلة البناء.

الكلمات المفتاحية: نمذجة معلومات البناء (BIM)، إجراءات الاستدامة، مرحلة التشييد، عمليات التشييد، مواقع البناء.

١. المقدمة

في عصرنا الحالي، يتزايد الوعي بضرورة الحفاظ على البيئة ومواردها، باتت الاستدامة محورا أساسيا في العديد من المجالات، خاصة في قطاع البناء والتشييد الأهمية المتنامية للممارسات الاستدامة في هذا القطاع لا تنبع فقط من الرغبة في الحفاظ على الموارد الطبيعية، بل تتعداها لتشمل تحسين الكفاءة والفعالية على مدار دورة حياة المشروعات، مما يسهم بشكل مباشر في خفض التكاليف وتعزيز الصورة البيئية والاجتماعية للمشاريع. وبالرغم من أن الكثير من الأدبيات المنشورة حول الاستدامة تركز على الجهود المبذولة خلال مراحل التخطيط والتصميم المبكرة للمشروع، إلا أنه لم يكن هناك سوى القليل من الدراسات حول إجراءات مرحلة البناء. يشير هذا النقص في الأبحاث إلى أن الاستدامة خلال مرحلة البناء تتطلب المزيد من البحث؛ وهو ما يستلزم اعتماد نهج شامل تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) كمنهجية رقمية حديثة وفعالة لتعزيز الاستدامة في مراحل وعمليات البناء في مواقع البناء. تقدم BIM إطارا ديناميكيا لتكامل ودقة البيانات من خلال نموذج افتراضي ثلاثي الأبعاد يجمع المعلومات الهندسية والهندسية المعمارية والكهربائية والميكانيكية في نظام واحد تفاعلي. يمكن لهذا النموذج الافتراضي أن يحسن التنسيق بين الفرق المختلفة، ويقلل من الأخطاء والتدخلات، ويحسن استخدام الموارد المادية والطاقة، ويزيد من الكفاءة العملية، ويقلل من النفايات، ويحسن جودة التصميم والتنفيذ في مواقع البناء. من خلال تبني هذه المنهجية الحديثة والتقنية، يمكن تحقيق تقدم هام في تعزيز الاستدامة في صناعة البناء، وتحسين الأداء البيئي والاقتصادي والاجتماعي خلال دورة حياة المشروع. بشكل عام، يمكن القول إن استخدام BIM في مرحلة وعمليات البناء في مواقع البناء يساهم في تعزيز الاستدامة من خلال تحسين التنسيق، وتحسين استخدام الموارد، وتقليل النفايات، وتحسين جودة التصميم والتنفيذ. يؤدي ذلك إلى تقليل تأثيرات البناء على البيئة، وتحسين كفاءة استهلاك الموارد، وتحسين جودة المشاريع الإنشائية بشكل عام مع تطور التكنولوجيا وانتشار استخدام BIM في صناعة البناء، من المتوقع أن يزداد التركيز على تعزيز الاستدامة وتحقيق أداء بيئي واقتصادي واجتماعي أفضل في المشاريع المستقبلية.

١,٢ الإشكالية البحثية

يشتهر قطاع البناء بكونه صناعه غير مستدامة من حيث استهلاك المواد والطاقة وإسهامها في الانبعاثات الضارة، تواجه تحديات حاسمة في تحقيق الاستدامة. وعلى الرغم من تركيز الأدبيات على الاستدامة خلال مراحل التخطيط والتصميم، إلا أن القليل منها يتناول إجراءات والاستراتيجيات الفعالة لتنفيذ الاستدامة في عمليات البناء في الموقع. وايضا بالرغم من إمكانات نمذجة معلومات البناء (BIM) كأداة داعمة للبناء المستدام، يبقى استغلال هذه التقنية بشكل كامل لدمج الاستدامة بفعالية في جميع مراحل البناء تحديًا بحثيًا مستمرًا. وتتمحور الاشكالية في عدم الاستفادة من إمكانات تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) في إيجاد نهج او إطار متكامل لتفعيل واجراءات الاستدامة في عمليات البناء. ويمكن بلوره الاشكالية وإيجاد حل لها من خلال الاجابة على سؤال البحث المحوري كيف يمكن لتقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) أن تسهم بشكل فعال في تعزيز جوانب الاستدامة في مرحلة البناء؟

١,٣ هدف البحث Research Aim

بناءً على الاشكالية البحثية المقدمة، يمكن صياغة هدف البحث كما يلي:

يهدف البحث إلى دراسة كيفية تحسين جوانب الاستدامة في مرحلة البناء من خلال تحديد الإجراءات والاستراتيجيات الفعالة التي يمكن تبنيها لتفعيل الاستدامة في عمليات البناء على الموقع باستخدام ادوات نمذجة معلومات البناء (BIM).

ولتحقيق هذا الهدف يسعي البحث الي بلورة إطار متكامل يدمج بين ادوات BIM ومبادئ الاستدامة لتحقيق أداء بناء مستدام في عمليات البناء وتحقيق الأهداف البيئية والاجتماعية والاقتصادية لمشاريع التشييد.

٤,١ منهجية البحث Research Methodology

بناءً على طبيعة البحث وأهدافه، تتبع المنهجية الاستقرائية الاستنباطية للبحث مقاربة تفصيلية ودقيقة، وستسهم في فهم شامل لتطبيق تقنية (BIM) كوسيلة فعالة لتعزيز الاستدامة في مرحلة البناء. ومن ثم يمكن اعتماد منهجية البحث التالية:

- **مراجعة الأدبيات**: سيتم استعراض وتحليل الدراسات السابقة ذات الصلة بتقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) وتطبيقها في مجال البناء المستدام.
- **تحليل SWOT :استخدم** تحليل SWOT، لتحديد النقاط القوية التي يمكن تعزيزها، والضعف التي يمكن تحسينها، والفرص التي يمكن استغلالها، والتهديدات التي يجب التصدي لها.
- **إطار منهجي**: اعتماداً على نتائج SWOT سيتم تطوير إطار لوضع استراتيجيات تعزيز الأداء البيئي والاقتصادي والاجتماعي وتحقيق الاستدامة في مرحلة البناء باستخدام أدوات BIMفي مرحلة البناء.
- **التحليل والتقييم**: التطبيق علي مثال تحليلي المتحف المصري الكبير في استخدام البيم لتحقيق الاستدامة في مرحلة البناء من خلال تحليل البيانات المجمعة وتقييم النتائج لتحديد مدى تأثير تطبيق BIM على الاستدامة في مرحلة البناء.
- **النتائج والتوصيات**: عرض النتائج بوضوح وفعالية، بناء على الأهداف المحددة للبحث مع تقديم التوصيات لتطبيق المنهجية المطورة في مشاريع البناء المستدامة.

٢. ابعاد وأدوات نمذجة معلومات البناء (BIM) ودورها في تحقيق الاستدامة في مرحلة البناء

استخدام أدوات نمذجة معلومات البناء (BIM) لتحقيق الاستدامة يعتبر تطورًا مهمًا في صناعة البناء، حيث تقدم BIM منهجية متعددة الأبعاد لإدارة المشاريع بشكل شامل. تشمل هذه الأبعاد (3D) التي تسمح بإنشاء وتطوير نموذج المشروع لمساعدة في اكتشاف التصادمات المحتملة مبكرًا، وتحسين التنسيق بين التخصصات المختلفة[١]. بينما تتضمن (4D) تخطيط الزمن وإدارته، مما يُسهم في تحسين جدولة المشاريع وتنبؤ دقيق بالمدد الزمنية. وفيما يتعلق بـ(5D)، تركز على تخطيط وحساب التكلفة، مما يعطي رؤية شاملة للميزانية ويساعد في مراقبة الإنفاق. أما(6D)، فتركز على تقييم الاستدامة، حيث تمكن أدوات BIM من تحليل استهلاك الطاقة والموارد، وتعزيز اختيار البدائل الأكثر كفاءة. وبالنسبة لـ(7D) ، فتُسلط الضوء على إدارة المرافق بعد الانتهاء من البناء، حيث توفر النماذج معلومات قيمة للصيانة والتشغيل[٢]. أما(8D) ، فتسلط الضوء على السلامة، حيث يُستخدم BIM لتحديد المخاطر المحتملة ووضع استراتيجيات الوقاية أثناء البناء.

وفيما يتعلق بـ(9D)، فإن إدارة النفايات تسهم في تعزيز البناء الخالي من الهدر من خلال التخطيط المسبق لاستخدام المواد وإعادة تدوير الفائض. وأخيرًا (10D) يعكس تحولًا نحو التصنيع في مجال البناء، حيث تدعم أدوات BIM عمليات الإنتاج المسبق والتجميع في الموقع، مما يقلل من الوقت ويزيد من الكفاءة[٣]. من خلال هذه الأبعاد المختلفة، تلعب نمذجة معلومات البناء دورًا حاسمًا في إنشاء مشاريع بناء أكثر استدامة كفاءة وأمانًا مما يبرز الدور الحيوي للتكنولوجيا بشكل فاعل ومبتكر.

١,٢. أدوات نمذجة معلومات البناء (BIM) لتحقيق الاستدامة في عمليات البناء

تستخدم أدوات نمذجة معلومات البناء (BIM) في التشييد لتعزيز الاستدامة في عمليات البناء عبر تحسين كفاءة الموارد، تقليل الهدر، ودعم اتخاذ القرارات المبنية على بيانات دقيقة تقديم تقديرات أكثر دقة لاستهلاك المواد، الطاقة، وإنتاج النفايات، بالإضافة إلى توفير رؤى قيمة حول تأثيرات المشروع البيئية على مدار دورة حياته؛ حيث يوفر BIM منصة متكاملة للتخطيط، والتنفيذ، مما يسمح بتحليل دقيق وشامل للعديد من الجوانب البيئية والاجتماعية والاقتصادية للمشروعات[٤].

فيما يلي نظرة مفصلة على أنواع الأدوات المستخدمة في BIM وكيفية مساهمتها في تحقيق الاستدامة مع مثال لكل اداه:

أ. أدوات تحليل الأداء للمبنى (Building Performance Analysis Tools)

- الغرض والاستخدام: تساعد هذه الأدوات في تقييم وتحسين كفاءة الطاقة والأداء البيئي للمباني، مما يسهم في تقليل البصمة الكربونية[٥].
- أمثلة: Autodesk Insight, IES VE (Integrated Environmental Solutions Virtual Environment).

ب. أدوات إدارة المواصفات (Specifications Management Tools)

- الغرض والاستخدام: توفير وسيلة لإدارة وتوثيق المواصفات للمشروع، مما يضمن الالتزام بمعايير الجودة والاستدامة.
- أمثلة: Spec Link, NBS Chorus.

ج. نمذجة موقع البناء (Existing Conditions Modeling)

- الغرض والاستخدام: تحليل البيئة القائمة لتخطيط البناء بشكل يقلل من التأثير على الموقع ويحافظ على الموارد.
- أمثلة: Autodesk Civil 3D, Bentley Systems MicroStation.

د. تقدير تكلفة البناء (Cost Estimation)

- الغرض والاستخدام: تقدير التكلفة الدقيقة للمشروعات لضمان استدامة مالية وتقليل الهدر.
- أمثلة: CostX, Vico Office.

ه. التخطيط الزمني للمشروع (Phase Planning)

- الغرض والاستخدام: تنظيم مراحل البناء والجداول الزمنية لتحقيق أفضل استخدام للموارد وتقليل الهدر.
- أمثلة: Oracle Primavera, Microsoft Project.

المراجع المستخدمة	مؤشرات الأداء الاستدامة الرئيسية ذات الصلة								مراحل المشروعات		
	جوانب اقتصادية		جوانب اجتماعية			جوانب بيئية					
	أرباح	التكاليف	العملاء	العمالة	المجتمع	مكافحة التلوث	كفاءة الطاقة	استغلال موارد	التشغيل	التنفيذ	الاعداد
[6], [7]					√	√	√			√	√
[8], [9],[10]		√	√		√		√	√	√	√	
[11], [12], [13]	√	√	√	√	√	√				√	
[14], [15]		√					√			√	
[16]		√			√	√	√	√		√	√
[17], [18], [19]	√	√	√	√	√		√	√	√		
[20], [21]			√			√		√		√	
[22]	√	√			√	√	√			√	√
[23], [24], [25]			√	√				√			
[26], [27]	√					√	√		√	√	
[28]		√						√		√	√
[29], [30]	√	√		√		√	√		√		
[31], [32], [33]	√	√	√	√	√		√	√		√	√

و. تنظيم موقع العمل (Site Utilization Planning)

- الغرض والاستخدام: التخطيط الفعال لاستخدام الموقع وتنظيم حركة المواد والمعدات لتقليل التأثير البيئي.
- أمثلة: Synchro PRO, Autodesk BIM 360 Plan.

ز. التنسيق بين عناصر المشروع وكشف التضاربات (3D Coordination)

- الغرض والاستخدام: تنسيق التصميمات وكشف التضاربات قبل البناء لتجنب الأخطاء وتقليل النفايات.
- أمثلة: Autodesk Navisworks, Tekla BIM sight.

ح. تكنولوجيا إنشاء المبنى (Building Construction Technology)

- الغرض والاستخدام: اختيار وتصميم أنظمة البناء والمواد المستدامة لتعزيز كفاءة الطاقة كما يضمن أن المباني مبنية بمواد مثالية والحد الأدنى من التأثير البيئي تساعد في أتمتة مهام البناء وتعزيز الكفاءة في موقع البناء.
- أمثلة: GRAPHISOFT ArchiCAD, Revit Structure.

كل هذه الأدوات تعمل معًا لتحقيق مستوى عالٍ من الاستدامة في مشاريع البناء، من خلال تحسين كفاءة الطاقة، تقليل النفايات، وضمان استخدام الموارد بطريقة مسؤولة. يوضح الجدول رقم (١) الدراسات السابقة والمقالات المختارة وكيفية ارتباط المقالات المختلفة بناءً على موضوعات البحث مثل مراحل البناء وإجراءات الاستدامة. ...الخ لفحص كيفية ربط إجراءات الاستدامة بمرحل البناء، مع تحديد مؤشرات الأداء الرئيسية للاستدامة. يمثل الرمز "√" أنه تم العثور على مسار البحث المحدد في المقالة.

جدول رقم (١) يوضح كيفية ارتباط الدراسات السابقة بناءً على موضوعات البحث الرئيسية (الباحث)

٣. الاستدامة كأداة لتحسين مخرجات مرحلة البناء

بشكل عام، يهدف مفهوم الاستدامة في مرحلة البناء إلى خلق بيئة بنائية صحية وآمنة واقتصادية للمستخدمين الحاليين والمستقبليين، مع الحفاظ على الموارد الطبيعية والتنوع البيولوجي للأجيال القادمة. يعتبر الاستثمار في الاستدامة في مجال البناء استثمارًا ذكيًا يساهم في تحسين البيئة والمجتمع بشكل عام، بالإضافة إلى تحسين كفاءة العمل والتكاليف على المدى الطويل[٣٤]. الاستدامة في مرحلة البناء تشير إلى تنفيذ عمليات البناء والتشييد بطريقة تحافظ على توازن العوامل البيئية والاقتصادية والاجتماعية بهدف تحسين مخرجات مرحلة البناء بشكل عام[٣٥]. وفيما يلي عناصر رئيسية تتضمنها مفهوم الاستدامة في مرحلة البناء:

أ. **تقليل الأثر البيئي**: من خلال استخدام مواد بناء صديقة للبيئة وتقنيات بناء مستدامة، يمكن تقليل الأثر البيئي لعمليات البناء مثل استهلاك المياه والطاقة وإنتاج النفايات البنائية.

ب. **تحسين كفاءة الطاقة**: يمكن تحقيق مباني أكثر استدامة من حيث استهلاك الطاقة عن طريق استخدام مواد عازلة وتصميمات معمارية تعتمد على الإضاءة الطبيعية والتهوية الطبيعية واستخدام تقنيات التدفئة والتبريد المستدامة.

ج. **إدارة الموارد الطبيعية**: يعتمد البناء المستدام على استخدام الموارد الطبيعية بشكل فعال، مثل استخدام مياه الأمطار في الري أو في أنظمة التبريد، واستخدام مواد بناء معاد تدويرها[٣٦].

د. **تحسين جودة البيئة الداخلية**: بواسطة استخدام مواد صحية وخالية من المواد الكيميائية الضارة، يمكن تحسين جودة الهواء داخل المباني وبالتالي صحة وراحة المستخدمين.

ه. **تخفيض تكاليف التشغيل والصيانة**: يمكن للمباني المستدامة تقليل تكاليف التشغيل والصيانة عبر استخدام تقنيات فعالة من حيث الطاقة والموارد.

و. **استخدام المواد المستدامة**: يتعلق هذا بتفضيل استخدام مواد بناء صديقة للبيئة ومستدامة من حيث استخدام الموارد الطبيعية بشكل فعال وتقليل النفايات البنائية[٣٧].

ز. **تخفيض النفايات وإعادة التدوير**: ذلك بتقليل النفايات البنائية وتشجيع إعادة تدوير المواد للحفاظ على الموارد الطبيعية.

ح. **جودة البناء والتشييد**: يشمل ذلك استخدام تقنيات البناء المتقدمة وضمان جودة الهياكل والتشطيبات بما يضمن عمرًا طويلًا للمباني وتقليل الحاجة إلى الصيانة المكلفة.

ط. **التوجه نحو المجتمع المستدام**: يتضمن ذلك الاهتمام بتأثير المشروع على المجتمع المحلي والتفاعل الإيجابي معه، بما في ذلك توفير فرص العمل المحلية والتخفيف من تأثيرات البناء على البيئة المحلية.

١,٣. دمج مؤشرات وإجراءات الاستدامة مع أدوات BIM في مرحلة التنفيذ

إجراءات الاستدامة خلال مرحلة البناء تشمل قرارات واستراتيجيات لدعم الاحتياجات البيئية، الاجتماعية، والاقتصادية، مع مراعاة سلامة وجودة المشروع. تم إجراء هذه الدراسة لجوانب وابعاد الاستدامة أثناء البناء لفهم أفضل لقرارات وإجراءات إدارة البناء ولإظهار آثار هذه الاستراتيجيات من خلال التطبيقات، ولتوفير أساس كمي أكثر للقرارات وذلك استناداً على مراجعة للأدبيات من قواعد بيانات مثل Web of Science وScopus، ويبرز مؤشرات الأداء الرئيسية للاستدامة (KPIs). يُذكر أن فريق بحثي بالمعهد الأمريكي (CII) طور ٥٤ إجراءً اختياريًا لتعزيز استدامة المشروعات أثناء البناء[٣٨]. لتحقيق أقصى فائدة، تم دمج هذه الإجراءات مع أدوات نمذجة معلومات البناء (BIM)، مما يسهم في تحسين إدارة المشروعات وكفاءتها، ويعزز تحقيق أهداف الاستدامة من خلال ضمان الامتثال للمعايير البيئية، كفاءة استخدام الموارد، تحسين جودة البيئة الداخلية، وتقليل التكاليف. كما يدعم هذا الدمج التواصل والتعاون بين الأطراف المعنية، معززًا المشاركة في اتخاذ القرارات. وتم تقسيم إجراءات الاستدامة في مرحلة التنفيذ إلى ثلاث مراحل رئيسية وهي: -

١,١,٣. دمج مؤشرات وإجراءات الاستدامة مع BIM في مرحلة الاعداد والتعاقد (ما قبل التنفيذ)

مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) للاستدامة تساعد في قياس وتقييم أداء العمليات الاستدامة في مشاريع البناء والتشييد. تُعد مؤشرات الأداء الرئيسية للاستدامة (KPIs) في مرحلة الإعداد والتعاقد، أو ما يُعرف بمرحلة ما قبل التنفيذ، تُعد حيوية لضمان دمج الممارسات المستدامة في مشاريع البناء منذ البداية. إجراءات الاستدامة خلال مرحلة ما قبل التنفيذ تشكل الأساس لضمان إدراج الممارسات المستدامة بفعالية في كافة مراحل المشروع[٣٩]. فيما يلي استنتاج لبعض من هذه المؤشرات (KPIs) والإجراءات (procedures (Proc. ودور BIM عند التطبيق مع جوانب الاستدامة وتشمل:

أ. **تحديد الأهداف الرئيسية للمشروع**:
- KPI: نسبة تحقيق أهداف الاستدامة المحددة مسبقًا.
- Proc.: وضع أهداف واضحة وقابلة للقياس تعكس التزام المشروع بالاستدامة، مثل خفض استهلاك الطاقة أو استخدام مواد معاد تدويرها.

- BIM: يسهل تحديد أهداف الاستدامة بدقة من خلال التحليل الدقيق للبيانات والنمذجة، مما يساعد على وضع أهداف قابلة للقياس والتحقيق.

ب. **إشراك أصحاب المصلحة في التخطيط للمشروع**:
- KPI: درجة رضا أصحاب المصلحة عن عملية التخطيط.
- .Proc: تنظيم جلسات تشاورية مع جميع أصحاب المصلحة لضمان تضمين احتياجاتهم في خطة المشروع.
- BIM: يوفر بيئة تعاونية تسمح بمشاركة المعلومات بسهولة مع جميع الأطراف المعنية، مما يعزز الشفافية والمشاركة في عملية التخطيط.

ج. **إعداد الرسومات الهندسية وكشف التصادمات**:
- KPI: نسبة التصادمات التي تم حلها قبل البدء بالمشروع.
- .Proc: استخدام أدوات النمذجة مثل BIM لتحديد وحل التصادمات المحتملة مبكرًا.
- BIM: يمكن من إنشاء رسومات هندسية دقيقة وإجراء كشوف التصادمات بشكل أوتوماتيكي، مما يقلل من الأخطاء ويحسن الكفاءة.

د. **إدارة التكلفة والزمن بالمشروع**:
- KPI: نسبة المشاريع التي تمت ضمن الميزانية والجدول الزمني المحدد.
- .Proc: وضع خطط مفصلة للتكلفة والجدولة وتطبيق إدارة فعالة لضمان الالتزام بها.
- BIM: يمكن إجراء تقديرات تكلفة دقيقة وجدولة الزمن بكفاءة، مما يساعد في الحفاظ على الميزانية والجدول الزمني.

ه. **إدارة مخاطر المشروع**:
- KPI: عدد المخاطر التي تم التعرف عليها وإدارتها بنجاح.
- .Proc: إجراء تحليل مخاطر شامل وتطوير خطط للتخفيف من هذه المخاطر أو تجنبها.
- BIM: يدعم تحليل الاستدامة وتقييم المخاطر المحتملة، مما يتيح اتخاذ قرارات مستنيرة لتقليل الآثار السلبية على البيئة.

و. **تقييم دورة حياة مواد البناء**:
- KPI: النسبة المئوية للمواد التي تم تقييمها من حيث الأثر البيئي على مدار دورة حياتها.
- .Proc: اختيار المواد بناءً على تقييم دورة حياتها لضمان استخدام المواد ذات الأثر البيئي المنخفض.
- BIM: يمكن لتحليل دورة حياة المواد، مما يساعد في اختيار المواد ذات الأثر البيئي المنخفض.

ز. **الإدارة المستدامة للموقع**:
- KPI: نسبة تطبيق ممارسات الإدارة المستدامة للموقع.
- .Proc: تطبيق إجراءات للحد من التأثير البيئي لموقع العمل، مثل تدابير إدارة المياه والحد من الضوضاء.
- BIM: يوفر رؤى حول تأثير الموقع وتساعد في تخطيط استخدام الموارد بكفاءة وتقليل النفايات.

ح. **التأكد من الامتثال للتشريعات البيئية**:
- KPI: نسبة الامتثال للقوانين واللوائح البيئية.
- .Proc: إجراء مراجعات دورية لضمان الامتثال لجميع التشريعات والمعايير البيئية.
- BIM: يسهل التحقق من الامتثال للقوانين واللوائح البيئية من خلال توفير تحليلات دقيقة ومفصلة.

ط. **تدريب الموظفين على الاستدامة**:
- KPI: نسبة الموظفين الذين تلقوا تدريبًا على الممارسات المستدامة.
- .Proc: توفير برامج تدريبية مخصصة لزيادة الوعي والكفاءة في تطبيق ممارسات الاستدامة.
- BIM: يوفر بيئات افتراضية للتدريب وزيادة الوعي بالاستدامة بين فرق العمل.

ي. **نسبة العقود التي تشمل شروطًا واضحة للاستدامة**:
- KPI: نسبة العقود التي تضمن معايير وشروط استدامة محددة.
- .Proc: دمج شروط ومتطلبات الاستدامة بوضوح في وثائق وعقود المشروع.
- BIM: يمكن دعم صياغة العقود بشكل يعكس متطلبات الاستدامة بدقة، من خلال توفير معلومات مفصلة ودقيقة.

ك. **التعاقد مع مقاولي الباطن المستدامين**:
- KPI: نسبة المقاولين الفرعيين الذين يلتزمون بمعايير الاستدامة.
- .Proc: تطبيق معايير اختيار صارمة تضمن اختيار المقاولين الفرعيين الملتزمين بالممارسات المستدامة.
- BIM: يسهل تقييم واختيار المقاولين الفرعيين الذين يتبنون ممارسات مستدامة.

ل. **فعالية طرق التسليم في تحقيق الاستدامة**:
- KPI: فعالية أساليب التسليم المختارة في دعم وتحقيق أهداف الاستدامة.
- .Proc: اختيار أساليب تسليم المشروع التي تدعم التعاون والتكامل بين الأطراف لتعزيز الاستدامة.
- BIM: يمكن من تحسين التعاون والتكامل بين جميع الأطراف المعنية، مما يعزز فعالية طرق التسليم ويحقق الأهداف الاستدامة.

من خلال أدوات البيم يمكن تنفيذ هذه الإجراءات بشكل فعال، يمكن للفرق المسؤولة عن المشروع ضمان تضمين معايير ومبادئ الاستدامة منذ البداية، مما يسهم في تحقيق الأهداف الاستدامة والتأثير الإيجابي على البيئة والمجتمع.

٢,١,٣. دمج مؤشرات وإجراءات الاستدامة في مرحلة التنفيذ

في مرحلة التنفيذ، تعد مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) للاستدامة أساسية لضمان تطبيق الممارسات الصديقة للبيئة والمسؤولة اجتماعيًا طوال فترة البناء. فيما يلي توضيح لإجراءات الاستدامة المجمعة مع KPIs المقترحة لكل منها:

أ. تنظيم موقع العمل وإدارة النقل داخل المشروع:
- KPI: تقليل نسبة استهلاك الوقود والانبعاثات الكربونية من النقل داخل المشروع.
- Proc.: استخدام وسائل نقل صديقة للبيئة وتحسين اللوجستيات داخل الموقع.
- BIM يسهل تخطيط تخصيص المساحات وتنظيم حركة المواد داخل الموقع بكفاءة، مما يقلل من الحاجة إلى النقل ويخفض الانبعاثات.

ب. اختيار أساليب التنفيذ المستدامة:
- KPI: نسبة المهام التي تم تنفيذها باستخدام أساليب مستدامة.
- Proc.: تطبيق تقنيات بناء مبتكرة وصديقة للبيئة لزيادة كفاءة البناء.
- BIM: من خلال التحليلات والمحاكاة، يقيم الأساليب البديلة للتنفيذ لاختيار الأكثر كفاءة والأقل تأثيرًا على البيئة.

ج. تعزيز التجميع المسبق والتصنيع المسبق لعناصر البناء:
- KPI: النسبة المئوية للعناصر المصنعة أو المجمعة مسبقًا.
- Proc.: استخدام تقنيات التصنيع المسبق لتقليل النفايات وتحسين الكفاءة.
- BIM: تدعم تصميم وتخطيط عمليات التجميع والتصنيع مسبقًا بدقة، مما يقلل النفايات ويحسن الكفاءة.

د. إدارة التغييرات والتقليل من أثر اضطراب المشروع:
- KPI: عدد التغييرات التي أثرت بشكل إيجابي على الاستدامة.
- Proc.: تطبيق إدارة فعالة للتغيير لضمان التقليل من التأثيرات السلبية.
- BIM: يساعد في تتبع التغييرات وتقييم أثرها بشكل فوري، مما يسمح باتخاذ قرارات سريعة للحفاظ على الاستدامة.

ه. إدارة الطاقة في الموقع والتحكم في الانبعاثات:
- KPI: تخفيض في استهلاك الطاقة والانبعاثات بنسبة محددة.
- Proc.: استخدام معدات كفؤة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.
- BIM: يمكن من تخطيط استخدام الطاقة بكفاءة وتقليل الانبعاثات من خلال تحليل أداء الطاقة للمشروع.

و. إدارة المياه في الموقع:
- KPI: تقليل استهلاك المياه وزيادة إعادة استخدام المياه.
- Proc.: تطبيق أنظمة لجمع وإعادة استخدام المياه في الموقع.
- BIM: تدعم تصميم أنظمة فعالة لإدارة المياه، بما في ذلك جمع مياه الأمطار وإعادة استخدام المياه.

ز. جودة الهواء ومكافحة الانبعاثات بالموقع:
- KPI: تخفيض مستويات الجزيئات والغبار والانبعاثات.
- Proc.: استخدام تقنيات للتحكم في الغبار وتقليل الانبعاثات.
- BIM: يمكن استخدامه لتصميم حلول تقلل من تلوث الهواء وتحسين جودة الهواء داخل الموقع.

ح. إدارة مخلفات ونفايات البناء:
- KPI: نسبة النفايات التي تم إعادة تدويرها أو استخدامها مرة أخرى.
- Proc.: تطبيق سياسات فعالة لإدارة النفايات والتقليل منها.
- BIM: يساعد في تخطيط وتتبع مخلفات البناء لتعزيز إعادة التدوير والحد من النفايات.

ط. الاعتماد على القوى العاملة المحلية:
- KPI: نسبة العمالة المحلية المستخدمة في المشروع.
- Proc.: توظيف العمال من المجتمعات المحلية لدعم الاقتصاد.
- BIM: يمكن من خلال تحليلات الكفاءات والانتاجية تحديد الحاجة إلى العمالة المحلية وبالتالي توفير التكلفة.

ي. السلامة والأمان للعاملين بالموقع:
- KPI: عدد الحوادث والإصابات في الموقع.
- Proc.: تطبيق برامج تدريبية على السلامة واستخدام معدات الحماية الشخصية.
- BIM: توفر أدوات المحاكاة لتخطيط السلامة وإدارة المخاطر بفعالية، مما يحسن من بيئة العمل.

ك. الإدارة للمواد واستخدام المواد المستدامة:
- KPI: نسبة المواد المستدامة المستخدمة في المشروع.
- Proc.: اختيار مواد بناء صديقة للبيئة ومعتمدة من نظام تصنيف الاستدامة.
- BIM: يسمح بتحليل خيارات المواد واختيار الأكثر استدامة من حيث الإنتاج والاستخدام.

ل. تقليل وإدارة فائض المواد:

- KPI: نسبة المواد الفائضة التي تم إعادة تدويرها أو التبرع بها.
- .Proc: تخطيط دقيق لاستخدام المواد وإعادة تدوير الفائض.
- BIM: يمكن من تحسين تقديرات المواد لتقليل الفائض ودعم إعادة استخدام أو إعادة تدوير المواد الزائدة.

م. الإدارة والاستغلال الأمثل المناسب لمعدات البناء:

- KPI: كفاءة استخدام وتشغيل المعدات وتقليل الانبعاثات.
- .Proc: تشغيل المعدات بشكل مخطط طبقا للاحتياج الفعلي دون تعطيل او دون اهدار في تشغيل المعدة.
- BIM: يدعم تخطيط استخدام المعدات بكفاءة، مما يقلل من استهلاك الوقود والانبعاثات.

ن. فحص معدات البناء وصيانتها:

- KPI: عدد المعدات التي خضعت للصيانة الوقائية.
- .Proc: تنفيذ جدول زمني لصيانة المعدات لضمان فعاليتها وكفاءتها.
- BIM: يساعد في جدولة وتتبع أعمال الصيانة للمعدات، مما يضمن الكفاءة ويقلل من الأعطال والانبعاثات.

تتبع هذه المؤشرات وتطبيق الإجراءات ذات الصلة يضمن أن المشروع يسير وفقًا للمعايير البيئية والاجتماعية المستدامة.

٣،١،٣. دمج مؤشرات وإجراءات الاستدامة في مرحلة التسليم (ما بعد التنفيذ)

في مرحلة التسليم وما بعد التنفيذ، يتم التركيز على تقييم كيفية تحقيق أهداف الاستدامة والجودة والتكلفة والزمن للمشروع. مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) في هذه المرحلة تساعد على قياس فعالية الإجراءات المتخذة وضمان مواصلة التحسين. إليك شرحًا لبعض المؤشرات والإجراءات المرتبطة بها:

أ. **استلام الأعمال ومراجعة الجودة والتكلفة والزمن**:

- KPI: التطابق بين النتائج النهائية والأهداف الموضوعة في بداية المشروع.
- .Proc: إجراء عمليات تدقيق ومراجعات للتأكد من الجودة ومطابقة التكلفة والزمن للمخططات.
- BIM: يمكن توفير نظرة شاملة على المشروع، مما يتيح مقارنة النتائج الفعلية بالجداول المخططة.

ب. **تقييم الأداء طبقًا للخطط الموضوعة**:

- KPI: درجة تحقيق أهداف المشروع ومعايير الأداء المحددة مسبقًا.
- .Proc: مقارنة النتائج الفعلية بالأهداف والمعايير لتقييم الأداء. استمرار تقييم الأداء لضمان الاستدامة طويلة الأمد.
- BIM: يمكن من خلال التحليلات قياس الأداء الفعلي للمشروع مقابل الأهداف المحددة، بما في ذلك أهداف الاستدامة.

ج. **إغلاق العقود**:

- KPI: إتمام جميع العقود دون نزاعات قانونية أو مالية.
- .Proc: التأكد من الوفاء بجميع شروط العقود وإنهاء الالتزامات بشكل متبادل.
- BIM: يمكن من توثيق إكمال المشروع وضمان تحقيق جميع المتطلبات العقدية.

د. **تقييم فعالية ما تم تنفيذه من إجراءات الاستدامة وتأثيرها على مخرجات عملية التنفيذ**:

- KPI: مستوى التحسين في الأداء البيئي والاجتماعي للمشروع.
- .Proc: تحليل البيانات وجمع المعلومات لقياس تأثير إجراءات الاستدامة على المشروع.
- BIM: يستخدم لجمع وتحليل البيانات المتعلقة بالطاقة، استهلاك المياه، إدارة النفايات وغيرها من المؤشرات البيئية.

ه. **توثيق المعلومات**:

- KPI: جودة وشمولية الوثائق المتعلقة بالمشروع.
- .Proc: تجميع وتوثيق كافة المعلومات والبيانات المتعلقة بالمشروع لضمان سهولة الوصول والاستخدام في المستقبل.
- BIM: يستخدم كأداة لتوثيق جميع المعلومات والبيانات المتعلقة بالمشروع، مما يوفر قاعدة بيانات شاملة ودقيقة للتشغيل والصيانة المستقبلية والتحسينات.

و. **التغذية المرتدة**: (Feedback)

- KPI: درجة رضا جميع الأطراف المعنية بالمشروع.
- .Proc: جمع وتحليل التغذية الراجعة من جميع الأطراف لتحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسين.
- BIM: يستخدم لجمع وتحليل التغذية الراجعة من جميع أصحاب المصلحة، بما في ذلك المستخدمين النهائيين للمبنى، لتقييم الأداء العملي للمبنى وتحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسين في المشاريع المستقبلية.

تطبيق هذه المؤشرات والإجراءات يساهم في تحقيق مستوى عالٍ من الاستدامة والجودة في المشروعات البنائية، ويضمن تلبية توقعات جميع الأطراف المعنية.

٢,٣. تحديات ومعوقات تطبيق إجراءات الاستدامة في مرحلة البناء

تحقيق الاستدامة في مرحلة البناء تواجه العديد من التحديات التي قد تعيق الجهود المبذولة لبناء مشروعات مستدامة. هذه التحديات تتنوع من نقص في الموارد والتكنولوجيا إلى قضايا تتعلق بالتكلفة والثقافة التنظيمية. فيما يلي بعض من أبرز هذه التحديات: -

١. **ارتفاع التكاليف المبدئية**: غالبًا ما يُنظر إلى تقنيات البناء المستدام والمواد الصديقة للبيئة على أنها أكثر تكلفة من الخيارات التقليدية، مما يجعل بعض المطورين يترددون في اعتمادها.

٢. **نقص الوعي والتدريب**: قد يفتقر العمال والمهندسون والمقاولون إلى الوعي الكافي بأهمية الاستدامة والمعرفة بكيفية تطبيق الممارسات المستدامة بفعالية.

٣. **المعايير والتشريعات البيئية**: عدم وجود معايير واضحة وموحدة أو تشريعات داعمة لتطبيق الاستدامة في مرحلة البناء مما يجعل من الصعب تطبيق الممارسات المستدامة.

٤. **المقاومة للتغيير**: قد تواجه الشركات مقاومة داخلية لتغيير الطرق التقليدية للبناء وتبني نهج جديدة، خاصة إذا كانت تلك الطرق تتطلب استثمارات كبيرة أو تغيير في الثقافة التنظيمية.

٥. **تحديات التكنولوجيا والابتكار**: تطبيق التكنولوجيات الجديدة والمبتكرة مثل BIM يمكن أن يكون صعبًا بسبب نقص الخبرة أو الدعم التقني.

٦. **التحديات اللوجستية**: إدارة النقل واللوجستيات للمواد المستدامة، وخاصة تلك التي يجب استيرادها من بعيد، يمكن أن تكون معقدة ومكلفة.

٧. **الحاجة إلى تخطيط وتصميم دقيق**: تحقيق الاستدامة يتطلب تخطيطًا وتصميمًا دقيقًا منذ المراحل الأولى للمشروع، مما يتطلب مهارات وخبرات محددة.

٨. **التقييم والمتابعة**: قد يكون من الصعب تقييم فعالية الإجراءات المستدامة والمتابعة المستمرة للأداء البيئي للمشروع على المدى الطويل.

٩. **الاستثمار في الطاقة المتجددة**: تكاليف الاستثمار الأولية للطاقة المتجددة والتقنيات الكفؤة قد تكون عالية، رغم فوائدها طويلة الأمد.

للتغلب على هذه التحديات، من الضروري تطوير استراتيجيات وسياسات داعمة، بما في ذلك توفير حوافز للبناء المستدام، تحسين الوعي والتدريب، وتطوير معايير وتشريعات واضحة تدعم الاستدامة في البناء.

٤. تحليل SWOT لدمج بين BIM والاستدامة في مرحلة البناء

تعد تقنية تحليل SWOT واحدة من الأدوات الأساسية لتقييم الوضع الحالي وتحديد الاستراتيجيات المستقبلية. في هذا السياق، يهدف استخدام تحليل SWOT إلى فحص الفرص والتحديات، بالإضافة إلى تحليل نقاط القوة والضعف، والفرص والتهديدات. من خلال استغلال نتائج تحليل SWOT كأساس لتقييم نقاط القوة والضعف، بالإضافة إلى الفرص والتهديدات المرتبطة بتطبيق BIM، يُمكن تطوير إطار منهجي يبرز كيفية استخدام هذه التقنية لدعم الاستدامة. هذا الإطار يسهل على المنظمات تخطيط وتنفيذ استراتيجيات فعّالة تعزز الأداء المستدام بمساعدة أدوات BIM خلال مرحلة البناء. وفيما يلي جوانب تطبيق هذا التحليل:

شكل رقم (١) استخدم تحليل SWOT، لتحديد النقاط القوية التي يمكن تعزيزها، والضعف التي يمكن تحسينها، والفرص التي يمكن استغلالها، والتهديدات التي يجب التصدي لها. (الباحث)

٢,٤. إطار منهجي يستخدم (BIM) لتعزيز الاستدامة في عمليات مرحلة البناء

في هذا الجزء يستهدف البحث إنشاء إطار منهجي يستخدم نتائج تحليل SWOT السابق لبيان كيف يمكن لأدوات نمذجة معلومات البناء (BIM) المساهمة في تحقيق الاستدامة في عمليات مرحلة البناء مع التركيز على البعد البيئي، الاجتماعي، والاقتصادي للاستدامة؛ شكلي رقم (٢)، (٣) يبين الإطار ومكوناته وجوانبه وذلك من خلال الخطوات المحورية التالية:

خطوة ١: تحديد الأهداف والمعايير للاستدامة في المشروع

- **الهدف**: استخدام نتائج تحليل SWOT لتحديد الأهداف الرئيسية للاستدامة في كل جانب من الجوانب الثلاث، مثل تحسين كفاءة الطاقة، تقليل النفايات، واستخدام الموارد المستدامة.
- **تصنيف الاجراءات**: يتم تصنيف إجراءات الاستدامة المجمعة في جميع عمليات البناء في ثلاث جوانب رئيسية بيئي واجتماعي واقتصادي.
- **دورBIM**: تحديد دور BIM في كل إجراءات الاستدامة لكل جانب من الجوانب الثلاث الرئيسية لاستدامة.

المعايير: وضع معاييرKPIs محددة لقياس التقدم نحو تحقيق الأهداف، استنادًا إلى نقاط القوة والفرص التي حددها SWOT

خطوة ٢: معالجة نتائج SWOT

- **استغلال نقاط القوة:** استخدام BIM لتعزيز استدامة المشروع، مستفيدًا من قدرته على تحليل الأداء البيئي للمباني منذ المراحل الأولى. تعزيز التعاون بين أصحاب المصلحة من خلال مشاركة النماذج الرقمية لضمان اعتماد الممارسات المستدامة بشكل فعال.
- **معالجة نقاط الضعف**: وضع خطط لتدريب الفريق على استخدام BIM لمعالجةً لنقص المهارات أو المعرفة. مع تطوير استراتيجيات للتغلب على التكلفة الأولية العالية لتطبيق BIM من خلال تحليل العائد على الاستثمار على المدى الطويل.

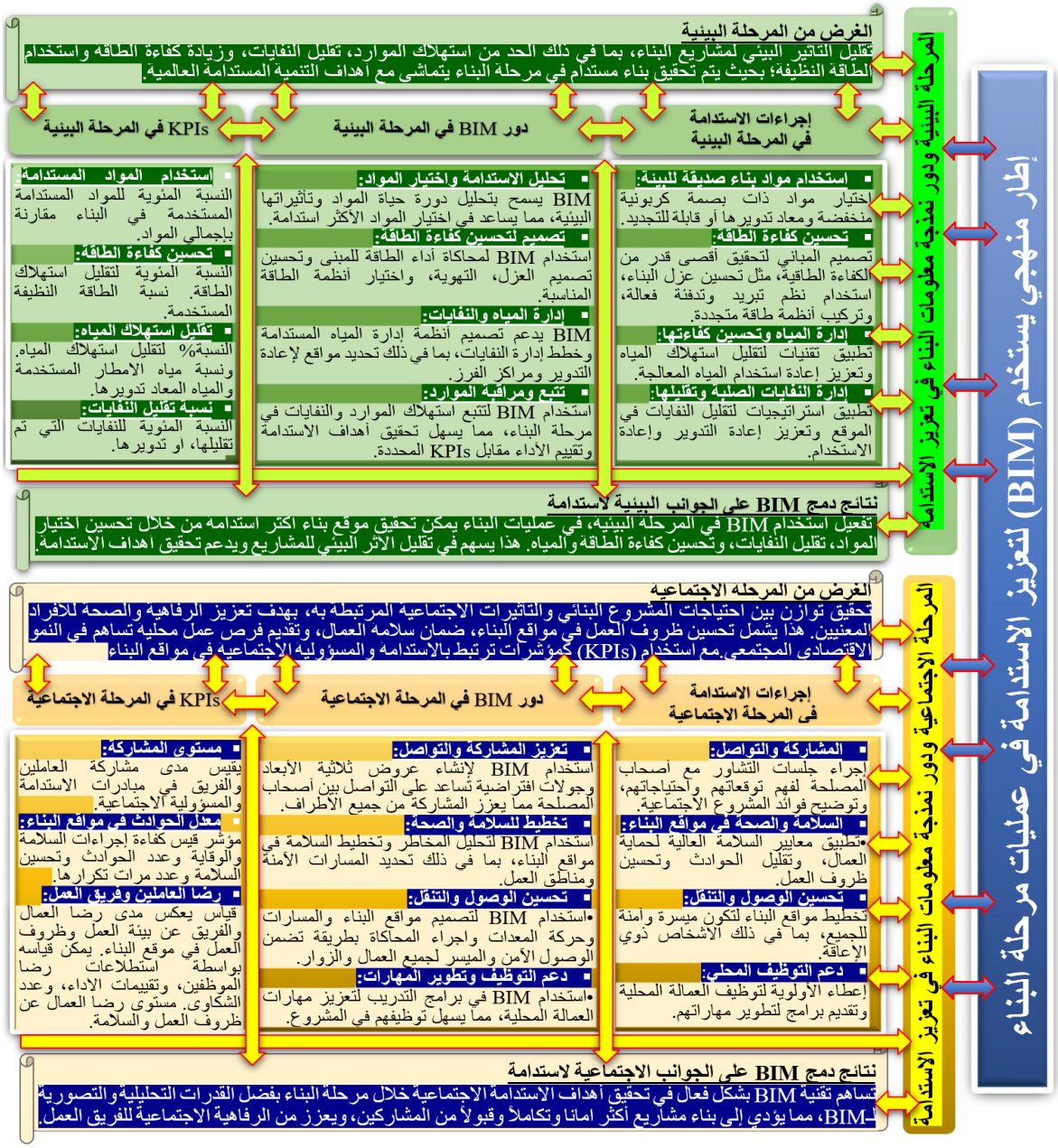
- **استغلال الفرص**: استخدام BIM لاستكشاف وتطبيق تقنيات بناء مبتكرة ومستدامة. مع دمج التقنيات الجديدة مع BIM لتحسين الاستدامة، وتحسين الفهم والتنفيذ الميداني للمشاريع.
- **التقليل من التهديدات**: تطوير برامج توعية لإظهار فوائد BIM والاستدامة لجميع أصحاب المصلحة، من أجل التقليل من مقاومة التغيير. مع العمل على ضمان التوافق بين الأنظمة والبرمجيات المستخدمة في BIM لتجنب التحديات التقنية.

خطوة ٣: تطوير خطة تنفيذية

- **تحديد الأدوار والمسؤوليات**: تحديد من هو مسؤول عن كل جانب من جوانب استخدام BIM لتحقيق الاستدامة، مع تحديد جدول زمني واضح.
- **مراقبة وتقييم**: وضع نظام مراقبة وتقييم فعالية استخدام BIM في تحقيق الاستدامة، مع إجراء تعديلات حسب الحاجة.

خطوة ٤: مراجعة وتحسين

- **تقييم النتائج**: تقييم مدى نجاح الاستراتيجية في استخدام BIM لتحقيق الاستدامة وتحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسين.
- **التحسين المستمر**: تطبيق التحسين المستمر لتعزيز استخدام BIM في تحقيق الاستدامة، استنادًا إلى الدروس المستفادة.



شكل رقم (٢) الإطار المنهجي لاستخدام BIMفي تحقيق الاستدامة في الجوانب البيئة والاجتماعية (الباحث)

شكل رقم (٣) الإطار المنهجي لاستخدام BIMفي تحقيق الاستدامة في الجوانب الاقتصادية (الباحث)

٢,٤. مناقشة نتائج إطار تعزيز الاستدامة باستخدام "BIM

تظهر النتائج المنبثقة من الإطار المنهجي والتي تم ترتيبها ضمن ثلاثة أقسام رئيسية تتماشى مع جوانب الاستدامة الرئيسية البيئية، والاجتماعية، والاقتصادية وهي كالتالي:

١,٢,٤. النتائج البيئية

من خلال دمج BIM بمبادئ الاستدامة يمكن ان يعزز بشكل كبير من الأداء البيئي في مرحلة البناء؛ وكذلك من خلال التحسينات في عمليات البناء، ومن ثم يؤدي الي تقليلاً ملحوظاً في استهلاك الطاقة والموارد، وتقليل إنتاج النفايات، وتحسين كفاءة استخدام المواد. ومع ذلك، تتطلب الفعالية البيئية استثمارات مبدئية كبيرة وتغييرات في عمليات التصميم والبناء، مما يشير إلى الحاجة إلى استراتيجيات دعم تشجع على الاستثمار في هذه التكنولوجيا.

٢,٢,٤. النتائج الاجتماعية

الدمج الفعال لأدوات BIM مع مبادئ الاستدامة يعزز من الشمولية والتعاون في عمليات البناء، مما يؤدي إلى تحسين رفاهية المجتمعات المحلية والمستخدمين النهائيين. وتشمل النتائج تحسين الوصول والأمان في المساحات العامة، وتعزيز الرضا والرفاهية للسكان، وتحسين الشفافية والمشاركة الجماهيرية في مشاريع البناء. العقبات تتضمن تحديات في التكيف مع التقنيات الجديدة والحاجة إلى توسيع نطاق التدريب والتعليم.

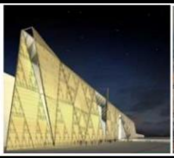
٣,٢,٤. النتائج الاقتصادية

التحليل يكشف أن تكامل BIM والاستدامة يوفر فرصاً كبيرة لتحسين الكفاءة الاقتصادية للمشاريع، من خلال خفض التكاليف التشغيلية وزيادة قيمة المباني على المدى الطويل. النتائج تشير إلى تحسين إدارة الموارد، وتقليل الأخطاء والتكرار في العمل، وتحسين مرونة المشاريع أمام التغيرات. العوائق الرئيسية تتمثل في الحاجة إلى استثمارات مالية كبيرة في البداية والحاجة إلى بناء قدرات اقتصادية لتقييم وتحليل الفوائد الاقتصادية للمشاريع المستدامة.

٣,٤.تقنية BIM في تحقيق الاستدامة: دراسة حالة المتحف المصري الكبير

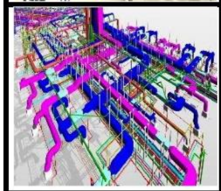
تم اختيار المتحف المصري الكبير كدراسة تحليلية نظرًا لأهميته كمشروع مميز ومعلم ثقافي بارز في مصر والعالم، كما يُعتبر هذا المشروع مناسبًا لدراسة تأثير تقنية بناء المعلومات (BIM) وتكاملها مع جوانب الاستدامة في مختلف مراحل المشروع. يُمكن استخدامه كدراسة تحليلية مفصلة، حيث تعقيدات المشروع الفنية والتنظيمية، إلى جانب التفاصيل الفنية المعقدة، تجعل من المتحف المصري الكبير موضوعًا مميزًا للدراسة. يشمل ذلك اهتمامًا بالتقنيات الحديثة للبناء، واستدامة استخدام الموارد، وتخطيط العمليات بدقة، والتعاون مع الأطراف المختلفة. ومن ثم، يتم تحليل وعرض كيفية توظيف تقنية BIM في تحقيق أهداف الاستدامة مثل تقليل الهدر، وإدارة الطاقة والمياه بكفاءة، وتحقيق الاستدامة البيئية والاجتماعية. لذا، يُعتبر هذا التطبيق مثالًا جيدًا للإطار المقترح في دراسة جوانب الاستدامة في مرحلة البناء، مع توضيح كيفية تكامل تقنية BIM مع مفاهيم الاستدامة في جميع جوانب.

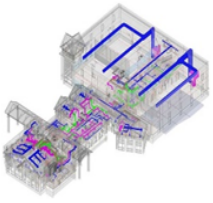
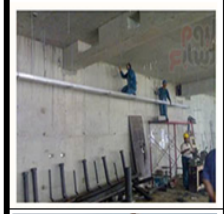
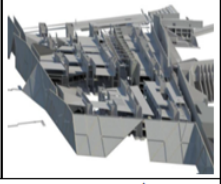
جدول رقم (٢) يبين الدراسة جوانب التحليلية للمتحف المصري الكبير (الباحث)

التعريف بالمشروع	مشروع المتحف المصرى الكبير Grand Egyptian Museum Project			
	المالك	وزارة السياحة المصرية	مدة التنفيذ: من 2003 الي 2024	
	وصف المشروع	اختير موقع إنشاء المتحف بالقرب من أهرام الجيزة، ليقام على مساحة 117 فدان. وفازت شركة هينجان بنغ Heneghan Peng بمسابقة التصميم المعماري للمتحف. أما الأعمال الإنشائية ففاز بها تحالف شركة أوراسكوم للإنشاء والصناعة مع شركة بيسكس.		

استخدامات وأدوات نمذجة معلومات البناء في المشروع

	نمذجة معلومات البناء في الموقع		نمذجة موقع	تقدير تكلفة البناء		التخطيط الزمنى للمشروع		مراجعة التنسيق بين عناصر		تكنولوجيا انشاء المبنى			التصنيع الرقمي			التخطيط الرقمي ثلاثي الأبعاد		إدارة	
ادوات وبرامج BIM	ادوات نمذجة معلومات البناء	ادوات المسح بالليزر والرفع	ادوات حساب وتدقيق التكلفة	ادوات نمذجة معلومات البناء	ادوات ادارة الوقت والمزامنة	ادوات المسح بالليزر والرفع	ادوات التنسيق عناصر المشروع	أدوات كشف التضاربات	ادوات نمذجة معلومات البناء	ادوات تحليل انشائي المبنى	ادوات تحليل اداء المبنى	ادوات ادارة المواصفات	ادوات تحليل انشائي المبنى	ادوات نمذجة معلومات البناء	ادوات المسح بالليزر	أدوات كشف التضاربات	ادوات نمذجة معلومات البناء	ادوات ادارة المواصفات	ادوات تدقيق واختيار النموذج
اسم البرنامج	Revit AR. Revit MEP	Real works-	primavera	Synchro Pro	Navisworks -	Autodesk Recap	Revit	Autodesk Recap	Revit Ar. Revit MEP	Tekla Structures	CATIA	COST X	Digital Project	Revit	Real works	Revit	Revit	COST X	Navisworks

جوانب الرئيسية		المعايير الفرعية	اجراءات الاستدامة وعمليات البناء في مواقع المشروع
جوانب الاستدامة الرئيسية	مرحلة الإعداد والتجهيز	تحديد الاهداف الرئيسية للمشروع	**الاهداف الرئيسية للمشروع تتمثل في: -** إنشاء أكبر متحف لأثار الفرعونية في العالم يسير الزائر في مسارات زمنية تاريخية لرؤية التاريخ مسلسلا وبكل مراحله ويرتبط بهضبة الاهرامات ويضم أكبر عدد من الاثار في العالم ويستوعب خمسة ملايين سائح سنويا
		إشراك أصحاب المصلحة في التخطيط للمشروع	تم استخدام BIM في جميع مراحل المشروع من خلال إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة للمتحف، مما ساعد على تحليل التصاميم واكتشاف الأخطاء المحتملة مبكرًا في عملية التصميم. كما ساعد المهندسين والمصممين تنسيق وتبادل البيانات والمعلومات بين مختلف التخصصات، مما يزيد من تفاعل الفرق والمشاركة الفعالة في حل المشكلات.
	الجوانب البيئة	إعداد التصميمات والرسومات طبقا لمبادي الاستدامة وكشف التصادمات	تم إعداد نموذج BIM الشامل للمشروع باستخدام البرمجيات المخصصة مثل Revit أو AutoCAD يشمل النموذج المعلومات الهندسية الشاملة للمباني والهياكل والتفاصيل الدقيقة. يتم استخدام أدوات BIM الخاصة مثل Clash Detection لكشف التصادمات بين مكونات المشروع المختلفة. بعد اكتشاف التصادمات، يتم تصحيحها بواسطة فريق الهندسة والمعمار. 
		اختيار مواد البناء واساليب التنفيذ المستدامة	كان العنصر الاساسي في التنفيذ هو الخرسانة وجاءت تغطية السقف بالهيكل الحديدي وتم عمل به فتحات للتهوية والاضاءة الطبيعية وتم كسوة للواجهة بالحجر الألباستر الذي يسمح بنفاذ الضوء تم اختيار مواد البناء التي تحترم البيئة وتساهم في تقليل الآثار البيئية السلبية. استخدام مواد بناء معاد تدويرها مثل الخرسانة البيئية والخشب المستدام والعوازل الحرارية ذات الكفاءة العالية. تفضيل استخدام الموارد المحلية لتقليل تكاليف النقل والبصمة الكربونية للمشروع. باستخدام BIM، تم إجراء تحليل شامل لتأثيرات المواد على البيئة خلال دورة حياتها، من إنتاجها وتوزيعها واستخدامها وتخليصها. هذا يساعد في اتخاذ قرارات مستنيرة في اختيار المواد.
		إدارة الطاقة في الموقع	تم دراسة تقليل استهلاك الطاقة. تثبيت نوافذ عازلة للحرارة ومعدات تكييف وتدفئة فعالة من حيث الطاقة. استخدام تقنيات الإضاءة الذكية مثل الاستشعار والتحكم التلقائي لتوفير الطاقة. يمكن استخدام BIM لتصميم نظم الإضاءة والتهوية وتكييف الهواء بطريقة تحسن كفاءة استخدام الطاقة داخل المتحف. تم استخدام تحليلات BIM لتحديد أفضل الممارسات في هذا الصدد.
		إدارة المياه بالموقع	جمع مياه الأمطار من السقف والأرضيات وتوجيهها إلى نقاط تجميع مركزية. يتم تخزين هذه المياه في خزانات مخصصة، ومن ثم يمكن استخدامها لأغراض مثل ري الحدائق بعد معالجتها. تستخدم أنظمة لإعادة استخدام مياه (مياه المطابخ) بعد معالجتها. يتم تنقية هذه المياه وتعقيمها بواسطة أنظمة تنقية متقدمة قبل إعادة استخدامها في الري. توفير المياه باستخدام حنفيات ذات التدفق المنخفض، وأنظمة رش المياه في الحدائق باستخدام أنظمة الري الذكية. تأتي تقنيات BIM للمساعدة في تصميم هذه الأنظمة.
		إدارة مخلفات البناء	تقسم النفايات إلى فئات مختلفة لتسهيل عمليات التخلص وإعادة التدوير. وضع نظام فعال لإعادة تدوير للمواد مثل استخدام الخرسانة المكسورة في إعادة تدويرها لإنتاج خرسانة جديدة، وإعادة تدوير الخشب لاستخدامه في تصنيع منتجات جديدة. باستخدام BIM والتخطيط الجيد لعمليات البناء يتم تقليل كمية النفايات التي تنتج خلال عمليات البناء. باستخدام تقنيات لتقليل الهدر.

جوانب الاستدامة الرئيسية	الجوانب الاجتماعية	التواصل والمشاركة بي فريق العمل		استخدام نموذج BIM رقمي كمنصة للتعاون والتنسيق بين جميع الأطراف المعنية، مثل المهندسين المعماريين، والمهندسين المدنيين، والمقاولين، وأصحاب العمل، BIMلتوثيق معلومات الاستدامة بشكل مرئي وواضح، لتبادل هذه المعلومات بسهولة بين جميع الأطراف المعنية. ومن ثم توفير البيانات اللازمة لاتخاذ القرارات الاستراتيجية المتعلقة بالاستدامة.
		السلامة والامان للعاملين بالموقع		اتباع نظام صارم للسلامة والامان داخل المشروع . استخدام BIM لمحاكاة العمليات والأنشطة على الموقع بشكل ثلاثي الأبعاد، إنشاء محتوى تعليمي وتوعوي للعمال حول إجراءات السلامة والتدابير الوقائية المطلوبة، مما يسهم في تحسين الوعي والتدريب اللازم لتجنب الحوادث. التدريب وعمل خطة اخلاء للموقع في حالة الطوارئ لتوفير أكبر 
		تنظيم موقع العمل وادارة النقل داخل المشروع		يمكن استخدام BIM لتصميم وتخطيط موقع العمل بشكل دقيق وفعال، بما في ذلك تحديد المناطق الآمنة للعمل والمناطق الخطرة، وتحديد مسارات الحركة الآمنة داخل الموقع. محاكاة العمليات اللوجستية: باستخدام BIM تم عمل محاكاة لعمليات اللوجستية داخل المشروع، مثل حركة المعدات والمواد داخل الموقع، مما ساعد في تحديد أفضل الطرق وتحسين كفاءة النقل واستخدام الموارد.
		الاعتماد على العمالة المحلية		تم الدمج بين العمالة المحلية والعمالة الأخرى من خلال احتياجات المشروع ولكن كانت النسبة الاكبر من العمالة المحلية والعمالة الفنية وذلك لتوفير التكاليف قدر الإمكان. استخدام ن موذج BIM كأداة تعليمية لتوعية الفرق العاملة والتدريب على كيفية تطبيق الممارسات المستدامة خلال عمليات البناء والتشغيل مع توضيح التأثيرات الاجتماعية للمشروع لزيادة الوعي والمشاركة.
	الجوانب الاقتصادية	ادارة التكاليف والتخطيط الزمني للمشروع		لم يكن هناك التزام بخطط العمل ولا الجدول الزمني للمشروع مما زيادة التكاليف وزيادة مده التنفيذ . لتعويض التأخيرات السابقة تم الاعتماد على BIM في رصد ومراقبة العمليات على الموقع بشكل دقيق، واستخدام البيانات لتحديث الجداول الزمنية وتقدير التكاليف بشكل مستمر مما ساهم في تخطيط العمليات بكفاءة أكبر مما سهل عملية التخطيط للمشتريات و تقليل التأخيرات الناتجة عن نقص الموارد. هذا ساعد في تحديد أي تأخيرات محتملة واتخاذ الإجراءات اللازمة مبكرًا لتفاديها، مما حسن من كفاءة العمل وقلل من التكاليف الزائدة المحتملة.
		تحسين الإنتاجية وتقليل الهدر		من خلالBIM امكن تحسين إدارة المشاريع وتنسيق العمليات بشكل أفضل، فكان له أكبر الأثر علي زيادة الإنتاجية وتقليل من الهدر وفي المواد والإنتاج وبالتالي تقليل التكلفة . بالتحليل الدقيق للبيانات والمعلومات في نماذجBIM تم تحديد المناطق التي يمكن تحسينها وتحديد العمليات غير الفعّالة لتحسين أداء المشروع وتقليل التكاليف الزائدة. من خلال تقليل الهدر وتحسين
		تحسين كفاءة استخدام الموارد		يتيح BIM أيضًا فهمًا أفضل للتدفقات العملية والتنسيق بين الفرق المختلفة، مما يزيد من كفاءة استخدام الموارد ويقلل من الهدر . بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام بيانات BIM لتحديد كميات الموارد وأماكن توزيعها بدقة، مما يساعد في التخطيط الفعّال وتوفير الوقت والتكاليف. بالتالي، ومن ثم تحقيق الاستدامة الاقتصادية عن طريق تحسين كفاءة استخدام الموارد.
		استخدام تقنيات مستدامة في تقليل النفايات والانبعاثات		تعتبر تقنيات المستدامة في عمليات البناء أساسية لتحقيق الاستدامة الاقتصادية حيث تقليل الانبعاثات في مرحلة البناء كجزء من هذه الجهود. يُعد استخدام تقنيات BIM في مشروع مثل المتحف المصري الكبير خطوة استراتيجية، حيث يمكن للتحليلات المتقدمة التي يوفرها BIM تحديد الفرص لتقليل الانبعاثات مثل استخدام مواد البناء المستدامة، وتحسين كفاءة الطاقة للمباني، وإدارة النفايات بشكل فعال، واستخدام مصادر الطاقة المتجددة. تلك الاستراتيجيات تساهم في تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية للمشروع، مما يعزز من جاذبيته وفاعليته في المدى الطويل.
		تحليل الأداء التشغيلي		يمكن استخدام تحليل الأداء التشغيلي لتحسين عمليات التنفيذ في موقع البناء من خلال تحديد نقاط الضعف في تدفق العمل وكفاءة استخدام الموارد وتقييم التأثير المالي. هذه الأداة ساعدت في تحديد الاختناقات التشغيلية والمشكلات اللوجستية مبكرًا، مما سمح بتدخلات سريعة لتحسين الأداء التشغيلي. من خلال تحليل البيانات والمعلومات لتحديد المشاكل المتكررة وتحسين عمليات الإدارة والتخزين، وتطبيق إجراءات لتجنب الأخطاء المتكررة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تحليل التكاليف وتقدير التوفير المحتمل مما يساهم في زيادة الكفاءة وتحقيق الاستدامة الاقتصادية في عمليات البناء.

٥. تحليل نتائج الدراسة والتوصيات المقترحة

عد دراسة نظرية وتحليلية شاملة وجمع البيانات، تمكن الباحث من الوصول إلى نتائج تبلور أهمية دور استخدام تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) في تعزيز جوانب الاستدامة في مرحلة البناء في ضوء الإشكالية البحثية والسؤال المحوري للبحث، الذي يتساءل عن كيفية تأثير BIM بشكل فعال على جوانب الاستدامة في عمليات البناء، فإن النتائج النهائية تقدم حلا وإجابة كاملة من خلال إطار متكامل يدمج بين أدوات BIM ومبادئ الاستدامة. هذا لتحقيق هدف البحث المتمثل في تحسين جوانب الاستدامة في مرحلة البناء باستخدام نمذجة معلومات البناءBIM ، من خلال تحديد الإجراءات والاستراتيجيات الفعالة التي يمكن تبنيها لتفعيل الاستدامة في عمليات البناء على الموقع. النتائج النهائية للبحث تظهر أن تحقيق الاستدامة في مرحلة البناء يمكن من خلال تطبيق إطار متكامل يستفيد من إمكانات BIM لتحليل البيانات البيئية والاجتماعية والاقتصادية بدقة. من خلال توظيفBIM ، تم تحسين استخدام الموارد، تقليل النفايات، وزيادة الكفاءة الطاقية، بالإضافة إلى تعزيز الرفاهية الاجتماعية وتحقيق كفاءة اقتصادية أكبر في مشاريع البناء. إذا، يمكن الاستنتاج أن الاستخدام المتقدم والمتكامل لتقنية BIM يعتبر حلا فعالا لإشكالية البحث المتمثلة في دمج الاستدامة في عمليات البناء. هذا النهج لا يفيد في تحقيق الأهداف البيئية والاجتماعية والاقتصادية لمشاريع البناء فحسب، بل يعزز أيضا الكفاءة الإجمالية لعملية البناء، مما يؤدي إلى تحسينات ملموسة في الاستدامة على جميع المستويات.

من خلال تحليل SWOT الذي تم إجراؤه، تم تحديد مقومات الاستدامة البيئية والاجتماعية والاقتصادية بوضوح، مما أتاح تصنيف الإجراءات المستدامة وتحديد دور المشاركين في تحقيقها بنجاح. بالتركيز على استغلال نقاط القوة ومعالجة نقاط الضعف واستغلال الفرص والتعامل مع التهديدات، تمكن الإطار المنهجي من وضع خطة تنفيذية محكمة ومدروسة مع وضع معايير محددة لقياس التقدم نحو تلك الأهداف، مما يعزز الشفافية والمتابعة الفعالة. مع مراعاة التحسين المستمر والتقييم المنتظم للأداء والتوافق مع أهداف الاستدامة على المدى الطويل.

ظهرت النتائج في مشروع المتحف المصري الكبير، حيث استخدمت تقنية BIM كجزء أساسي في استراتيجية الاستدامة، مما يظهر التزام بتحسين الأداء وتحقيق الأهداف المستدامة في مشاريع البناء وقد استخدمت BIM لأكثر من مجرد التصميم والتشييد؛ إذ يمكنها أيضا أن تستخدم لتعزيز التعاون والابتكار في جميع مراحل المشروع، مما يدفع باتجاه تنفيذ عمليات البناء بشكل أكثر فاعلية واستدامة. باستخدام مؤشرات الأداء الرئيسية(KPIs) ، يمكن قياس وتقييم الأداء في مرحلة البناء بشكل دوري ومنطقي، وتحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسين لتحقيق الأهداف المستدامة. وظهر ذلك بوضوح خلال عملية تقييم شاملة للمعايير المحددة في مجالات ترشيد الطاقة والمياه ونسبة الانبعاثات الكربونية من المواد المستخدمة في البناء. عملية التقييم تضمنت المراجعة الميدانية لكافة إجراءات وجوانب الإطار المقترح مع استعراض إجراءات الاستدامة التي يتم استخدامها لترشيد الطاقة والتي تتواكب مع التوجهات العالمية في استخدام الطاقة النظيفة، وتركيب الخلايا الشمسية بالإضافة لأنظمة الإضاءة والتهوية الطبيعية التي تتيح للزائرين معدل درجات حرارة أقل من الخارج في فصل الصيف ودرجات حرارة معتدلة في الشتاء. المتحف المصري الكبير حقق نسب أداء قياسية حيث حصل على نسبة ترشيد ٦٢ % في مجال الطاقة ونسبة ترشيد ٣٤ % في مجال استهلاك المياه كما حصل على نسبة ترشيد ٥٩ % لنسبة الانبعاثات الكربونية لمواد البناء. لهذه النتائج الباهرة في تطبيق الاستدامة، منح مشروع المتحف المصري الكبير الشهادة الدولية EDGE Advance المتطورة للمباني الخضراء والمعتمدة من مؤسسة التمويل الدولية، إحدى مؤسسات مجموعة البنك الدولي، كأول متحف أخضر في أفريقيا والشرق الأوسط.

بشكل عام، يبرز دور BIM كأداة حيوية في تحقيق التوازن بين الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية للاستدامة في مشاريع البناء وتعزيز التعاون والفعالية في عمليات البناء. يمكن لهذه النتائج أن تسهم في تعزيز الوعي بأهمية تكامل التقنيات الحديثه مع مفاهيم الاستدامة في صناعة البناء؛ وأن الاستخدام الاستراتيجي لـ BIM يمكن أن يكون محوريا في تحويل قطاع البناء نحو ممارسات أكثر استدامة، مما يؤدي إلى تحسينات طويلة الأمد في الأداء والتأثير على البيئة والمجتمع.

استنادا إلى النتائج المحققة في البحث، توصي هذه الدراسة بعدة خطوات استراتيجية لتعزيز تحقيق الاستدامة في مشاريع البناء من خلال استخدام تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) لتحقيق النتائج المرجوة بشكل فعال ينبغي على القائمين بمتابعة أداء الاستدامة استخدام هذه الأدوات بشكل منتظم وتحليل البيانات بعناية لاتخاذ قرارات مستنيرة وتحقيق تحسين مستمر في الأداء. كما يوصى بتدريب وتثقيف الفرق المعنية، والتعاون بين جميع الأطراف المعنية، وتبني سياسات داعمة للبناء المستدام، والاستثمار في البحث والتطوير. بتطبيق هذه التوصيات، يمكن تحقيق أقصى استفادة من إمكانات BIM في دعم وتعزيز الاستدامة في مشاريع البناء، مما يسهم في تحقيق مستقبل أكثر استدامة وكفاءة لقطاع البناء.

٦. المراجع الأجنبية

(1) Murtagh, N.; Scott, L.; Fan, J. Sustainable and Resilient Construction: Current Status and Future Challenges. J. Clean. Prod. 2020,268, 122264 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122264.
(2) Stanitsas, M.; Kirytopoulos, K.; Leopoulos, V. Integrating Sustainability Indicators into Project Management: The Case of Construction Industry. J. Clean. Prod. 2021, 279, 123774 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123774.
(3) Yu, W.D.; Cheng, S.T.; Ho, W.C.; Chang, Y.H. Measuring the Sustainability of Construction Projects throughout Their Lifecycle: A Taiwan Lesson. Sustainability 2018, 10, 1523 https://doi.org/10.3390/su10051523.

(4) Wen, B.; Musa, S.N.; Onn, C.C.; Ramesh, S.; Liang, L.; Wang, W.; Ma, K. The Role and Contribution of Green Buildings on Sustainable Development Goals. Build. Environ. 2020, 185, 107091 https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107091.
(5) Shashi; Centobelli, P.; Cerchione, R.; Ertz, M.; Oropallo, E. What We Learn Is What We Earn from Sustainable and Circular Construction. J. Clean. Prod. 2023, 382, 135183. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135183.
(6) Araújo, A.G.; Pereira Carneiro, A.M.; Palha, R.P. Sustainable Construction Management: A Systematic Review of the Literature with Meta-Analysis. J. Clean. Prod. 2020, 256, 120350 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120350
(7) Mattinzioli, T.; Sol-Sánchez, M.; Martínez, G.; Rubio-Gámez, M. A Critical Review of Roadway Sustainable Rating Systems. Sustain. Cities Soc. 2020, 63, 102447. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102447
(8) Xiahou, X.; Tang, Y.; Yuan, J.; Chang, T.; Liu, P.; Li, Q. Evaluating Social Performance of Construction Projects: An Empirical Study. Sustainability 2018, 10, 2329 https://doi.org/10.3390/su10072329.
(9) Lazar, N.; Chithra, K. Comprehensive Bibliometric Mapping of Publication Trends in the Development of Building Sustainability Assessment Systems. Environ. Dev. Sustain. 2021, 23, 4899–4923. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00796-w.
(10) Pham, T.; Pham, H. Improving Green Performance of Construction Projects through Supply Chain Integration: The Role of Environmental Knowledge. Sustain. Prod. Consum. 2021, 26, 933–942 https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.004.
(11) Marjaba, G.E.; Chidiac, S.E. Sustainability and Resiliency Metrics for Buildings—Critical Review. Build. Environ. 2016, 101, 116–125. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.03.002.
(12) Atta, I.; Bakhoum, E.S.; Marzouk, M.M. Digitizing Material Passport for Sustainable Construction Projects Using BIM. J. Build.Eng. 2021, 43, 103233 https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103233.
(13) Ferreira, A.; Pinheiro, M.D.; de Brito, J.; Mateus, R. A Critical Analysis of LEED, BREEAM and DGNB as Sustainability Assessment Methods for Retail Buildings. J. Build. Eng. 2023, 66, 105825. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105825.
(14) Stanitsas, M.; Kirytopoulos, K. Investigating the Significance of Sustainability Indicators for Promoting Sustainable Construction Project Management. Int. J. Constr. Manag. 2023, 23, 434–448 https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1887718.
(15) Zhang, C.; Hu, M.; van der Meide, M.; Di Maio, F.; Yang, X.; Gao, X.; Li, K.; Zhao, H.; Li, C. Life Cycle Assessment of Material Footprint in Recycling: A Case of Concrete Recycling. Waste Manag. 2023, 155, 311–319 https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.10.035.
(16) Filho, M.V.A.P.M.; da Costa, B.B.F.; Najjar, M.; Figueiredo, K.V.; de Mendonça, M.B.; Haddad, A.N. Sustainability Assessment of a Low-Income Building: A BIM-LCSA-FAHP-Based Analysis. Buildings 2022, 12, 181. https://doi.org/10.3390/buildings12020181.
(17) Solaimani, S.; Sedighi, M. Toward a Holistic View on Lean Sustainable Construction: A Literature Review. J. Clean. Prod. 2020,248, 119213 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119213.
(18) Ruiz, A.; Guevara, J. Energy Efficiency Strategies in the Social Housing Sector: Dynamic Considerations and Policies. J. Manag. Eng. 2021, 37, 04021040 https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000937
(19) Marjaba, G.E.; Chidiac, S.E.; Kubursi, A.A. Sustainability Framework for Buildings via Data Analytics. Build. Environ. 2020,172, 106730 https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106730.
(20) Francis, A.; Thomas, A. Exploring the Relationship between Lean Construction and Environmental Sustainability: A Review of Existing Literature to Decipher Broader Dimensions. J. Clean. Prod. 2020, 252, 119913 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119913.
(21) Sameer, H.; Bringezu, S. Life Cycle Input Indicators of Material Resource Use for Enhancing Sustainability Assessment Schemes of Buildings. J. Build. Eng. 2019, 21, 230–242 https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.010.
(22) Ghanbari, M.; Zolfaghari, D.; Yadegari, Z. Mitigating Construction Delays in Iran: An Empirical Evaluation of Building Information Modeling and Integrated Project Delivery. J. Eng. Manag. Syst. Eng. 2023, 2, 170–179 https://doi.org/10.56578/jemse020304.
(23) James T. O'Connor, Ph.D., M. ASCE, Sustainability Actions during the Construction Phase, journal of Construction Engineering and Management Volume 142, Issue 7July 2016 https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001128.
(24) Aghimien, D.O., Aigbavboa, C.O. and Thwala, W.D. (2019), "Microscoping the challenges of sustainable construction in developing countries", Journal of Engineering, Design and Technology, https://doi.org/ 10.1108/JEDT-01-2019-0002.
(25) Francis, A.; Thomas, A. A Framework for Dynamic Life Cycle Sustainability Assessment and Policy Analysis of Built Environment through a System Dynamics Approach. Sustain. Cities Soc. 2022, 76, 103521 https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103521.
(26) Athapaththu, K.I. and Karunasena, G. (2018), "Framework for sustainable construction practices in Sri Lanka", Built Environment Project and Asset Management, Vol. 8 No. 1, pp. 51-63
(27) Ndlangamandla, M.G. and Combrinck, C. (2019), "Environmental sustainability of construction practices in informal settlements", Smart and Sustainable Built Environment, doi: 10.1108/SASBE-09-2018-0043.
(28) Diaz, P. Analysis of Benefits, Advantages and Challenges of Building Information Modelling in Construction Industry. J. Adv. Civ.Eng. 2016, 2, 1–11. DOI: 10.18831/djcivil.org/2016021001.

(29) Chen, Y.; Huang, D.; Liu, Z.; Osmani, M.; Demian, P. Construction 4.0, Industry 4.0, and Building Information Modeling (BIM) for Sustainable Building Development within the Smart City. Sustainability 2022, 14, 10028 https://doi.org/10.3390/su141610028.
(30) Ilhan, B.; Yaman, H. Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. Autom. Constr. 2016, 70,26–37. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.001.
(31) J.P. Carvalho, L. Bragança, R. Mateus, optimizing building sustainability assessment using BIM, Autom. Constr. 102 (2019) 170–182, https://doi.org/ 10.1016/j.autcon.2019.02.021.
(32) Karunasena, G., Rathnayake, R.M.N.U. and Senarathne, D. (2016), "Integrating sustainability concepts and value planning for sustainable construction", Built Environment Project and Asset Management, Vol. 6 No. 2, pp. 125-138.
(33) Ahmed Saleh, D. (2023), "Applying the lean construction methodology to improve the performance of construction projects in Egypt", JES, Vol. 51, No. 3, May 2023. JES, Vol. 51, No. 3, May 2023 DOI: 10.21608/JESAUN.2023.183428.1192 Part E: Architectural Engineering https://doi.org/10.21608/JESAUN.2023.183428.1192
(34) H.-Y. Chong, C.-Y. Lee, X. Wang, A mixed review of the adoption of building information modelling (BIM) for sustainability, J. Clean. Prod. 142 (2017) 4114–4126, https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.09.222.
(35) J.P. Carvalho, L. Bragança, R. Mateus, automating building sustainability assessment using building information modelling: a case study, J. Build. Eng. 76 (2023) 107228, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107228.
(36) J.P. Carvalho, L. Bragança, R. Mateus, Sustainable building design: Analyzing the feasibility of BIM platforms to support practical building sustainability assessment, Compute. Ind. 127 (2021) 103400, https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103400.
(37) Shurrab, J., Hussain, M. and Khan, M. (2019), "Green and sustainable practices in the construction industry: a confirmatory factor analysis approach", Engineering Construction and Architectural Management, Vol. 26 No. 6, pp. 1063-1086.
(38) Payyanapotta, A.; Thomas, A. An Analytical Hierarchy Based Optimization Framework to Aid Sustainable Assessment of Buildings. J. Build. Eng. 2021, 35, 102003. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102003.
(39) 1. Yahya, L.M. Effect of Modern Technologies of Energy Conservation on Forming High–Rise Buildings. J. Sustain. Energy 2023, 2,119–131. https://doi.org/10.56578/jse020302.