

تأثير التطور التكنولوجي على تصميم وبناء المباني المستدامة

The impact of technological development on the design and construction of sustainable buildings

م/ انور عبدالله الغانم

الهيئة العامة للتعليم التطبيقي والتدريب - معهد التدريب الانشائي

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على تأثير التطور التكنولوجي على تصميم وبناء المباني المستدامة. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي بالاعتماد على مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة. أشارت نتائج الدراسة أن الاستفادة من التطور التكنولوجي في تصميم وبناء المباني المستدامة يكون من خلال توظيف أنظمة التحكم البيئي (التحكم بالإضاءة ودرجات الحرارة وجودة الهواء)، التقنيات التي تعزز الاستفادة من الطاقة المتجددة، التقنيات المرتبطة بتصميم الغلاف الخارجي للمبنى. بالإضافة إلى بعض الأنظمة نمذجة معلومات البناء، الذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمي وغيرها. تبين الدراسة في نتائجها أن هذه التقنيات تعمل على تقليل استهلاك الطاقة والموارد الطبيعية، الحد من هدر الموارد، تحسين الاداء البيئي للمباني ومستوى جودة البيئة الداخلية فيه، والحد من البصمة الكربونية للمباني. في المقابل، يواجه استخدام التطور التكنولوجي في تصميم وتنفيذ المباني المستدامة مجموعة من التحديات وتشمل؛ التكلفة الأولية المرتفعة، نقص الكفاءة الرقمية والحاجة للتدريب، التوافق التشغيلي للأنظمة التقليدية والحديثة ومقاومة التغيير. توصي الدراسة ب العمل على تعزيز الوعي بأهمية هذه التقنيات وتدريب العاملين في القطاع على استخدامها وتحسين توجهاتهم لها.

الكلمات المفتاحية: التطور التكنولوجي، التقنيات الحديثة، الأنظمة الذكية، المباني المستدامة.

Abstract

This study aimed to identify the impact of technological developments on the design and construction of sustainable buildings. This study adopted a descriptive approach based on a literature review and previous studies. The results of this study indicate that the benefits of technological developments in the design and construction of sustainable buildings are achieved through the use of environmental control systems (lighting, temperature, and air quality control), technologies that enhance the use of renewable energy, and technologies related to the design of building envelopes. In addition, other systems can be included, such as Building Information Modeling (BIM), artificial intelligence, and digital twins. Moreover, the results of this study demonstrate that these technologies reduce energy consumption and natural resources, limit resource waste, improve the environmental performance of buildings and the quality of their indoor environments, and reduce the carbon footprint of buildings. However, the use of technological developments in the design and implementation of sustainable buildings faces a number of challenges, including high initial costs, lack of digital competence, need for training, interoperability between traditional and modern systems, and resistance to change. The study recommends raising awareness of the importance of these technologies, training sector workers in their use, and improving their attitudes toward them.

Keywords: Technological development, modern technologies, smart systems, sustainable buildings.

المقدمة

للمباني دور هام وحاسم في استهلاك الطاقة في كافة أنحاء العالم، حيث تشير التقديرات إلى أن المباني تستهلك ما نسبته 40% من استخدام الطاقة عالمياً، وتسبب بالنسبة ذاتها من انبعاثات الكربون وعليه فإن انشاء مباني مستدامة تقلل من استهلاك الطاقة والموارد المتجددة وتقلل انبعاثات الكربون لم يعد احدى أهم التوجهات في قطاع البناء فقط، بل مطلباً أساسياً لهذا القطاع الذي يتعرض لضغوط متزايدة لتقليل بصمته البيئية وانبعاثاته الكربونية (Jain & Nair, 2021; Firoozi et al., 2024).

تسير الاستدامة في قطاع البناء إلى تصميم المباني وإنشائها وتشغيلها وصيانتها وتفكيكها مع استهلاك موارد أقل ودون تدمير النظم البيئية وتعطيل الإيقاع الطبيعي للحياة (Li et al., 2024). في مجال الاستدامة، شكلت التقنيات الحديثة والتكنولوجيا الرقمية نقطة تحول ساهمت في ابتكار أساليب وتطبيقات مختلفة لتصميم وتنفيذ مباني مستدامة، صديقة للبيئة، ذات كفاءة أعلى في استهلاك الطاقة (محمود، 2025). حيث ساهمت التكنولوجيا المتطورة في تحقيق أعلى مستويات التحكم للحفاظ على جودة البيئة الخارجية والداخلية و تحقيق استدامة أفضل للموارد وخفض التكاليف (Mersal, 2024).

على سبيل المثال، باستخدام تقنية نمذجة معلومات البناء (Building information modelling - BIM) يمكن قياس انبعاثات الكربون في المباني بدقة خلال عملية التصميم، وبالتالي مساعدة المصممين على تحسين تصاميمهم، كما يمكن تقييم الطاقة المستهلكة في سلسلة التوريد. من جانب آخر، تستخدم

سلة الكتل (البلوك تشين)، لمعالجة المشاكل البيئية للمباني، مثل مراقبة الضوضاء والغبار ومستويات مياه الصرف الصحي أثناء مرحلة البناء، مما يساعد على خلق نظام ذكي وموثوق لإدارة المعلومات (Li et al., 2025).

على الرغم من جهود الدراسات في تحديد فوائد التقنيات الحديثة في تعزيز مستوى الاستدامة في قطاع الانشاءات، إلا أنه لا المراجعات الشمولية لدور هذه التقنيات في بناء عمليات تصميم وبناء المباني قليلة خاصة في الادبيات العربية. ونظراً لأهمية وجود عمل توجيهي يساعد في تعزيز معرفة المتعلمين والمتدربين في المؤسسات التعليمية والتدريبية الانشائية بهذه التقنيات ودورها الفعال في تحقيق الاستدامة، فإن فكرة هذه الدراسة تبلورت في تحديد تأثير التطور التكنولوجي على تصميم وبناء المباني المستدامة.

مشكلة الدراسة

تعد الابنية المستدامة واحدة من التوجهات المعمارية الحديثة والتي تلقى اقبالاً هاملاً من قبل أصحاب المصلحة في القطاع، خاصة مع الضغط الكبير على الموارد الطبيعية وتعرض بعضها لخطر النضوب. لتعزيز الاطر المستدامة في عمليات التصميم والبناء، تقدم التقنيات الحديثة امكانيات مهمة يمكنها المساعدة في تحقيق مبادئ الاستدامة في المباني، كتقليل استهلاك الطاقة وهدر الموارد الطبيعية وانبعاثات الكربون وغيرها. ونظراً لوجود محدودية في الدراسات العربية التي تقدم مراجعة شمولية لتأثير هذه التقنيات وأهميتها، فقد لاحظ الباحث خلال عملهما في معهد التدريب الإنشائي التابع للهيئة العامة

للتعليم التطبيقي في الكويت أن هذا يؤثر على الوعي بأهمية هذه التقنيات ودورها الهام والاقبال على استخدامها من قبل المهندسين والانشائيين وعليه، تتمثل مشكلة الدراسة في تحديد تأثير التطور التكنولوجي على تصميم وبناء المباني المستدامة.

أسئلة الدراسة

تسعى الدراسة إلى الاجابة عن الأسئلة الآتية:

- ما الخصائص التصميمية والبنائية للمباني المستدامة؟
- ما هي التقنيات التكنولوجية المتطورة التي يمكن استخدامها في تصميم وبناء المباني المستدامة؟
- كيف يساهم التطور التكنولوجي في تصميم وبناء المباني المستدامة(التطبيقات)؟
- ما التحديات التي تواجه توظيف التطور التكنولوجي في تصميم وبناء المباني المستدامة؟

أهداف الدراسة

تهدف الدراسة إلى تحقيق ما يلي:

- التعرف على الخصائص التصميمية والبنائية للمباني المستدامة.
- التعرف على التقنيات التكنولوجية المتطورة التي يمكن استخدامها في تصميم وبناء المباني المستدامة.

- التعرف على تطبيقات التطور التكنولوجي في تصميم وبناء المباني المستدامة.
- التعرف على التحديات التي تواجه توظيف التطور التكنولوجي في تصميم وبناء المباني المستدامة.

أهمية الدراسة

مع التطور الكبير في تكنولوجيا البناء، ظهرت العديد من الابتكارات ذات الصلة بتحقيق الاستدامة في المباني، ولهذا بدأت الدراسات بمحاولة استكشاف هذه الامكانيات. هنالك نقص واضح في الدراسات العربية ذات الصلة، حيث عدد محدود من الدراسات تطرق لأهمية هذه التقنيات ودورها في تحقيق الاستدامة في المباني. وهذا بدوره يؤثر على يؤثر سلباً على قدرة بعض المؤسسات التعليمية والتدريبية في تصور الواقع الحالي لإمكانات هذه التقنيات والفرص التي تخلفها لتحقيق الاستدامة والتحديات التي يواجهها. وعليه تكمن أهمية الدراسة في اثناء المكتبة البحثية العربية وتقديم مراجعة شمولية لتأثير التطور التكنولوجي على تصميم وبناء مباني مستدامة.

منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي، القائم على مراجعة الأدبيات، حيث تم الرجوع لمجموعة من الدراسات والأبحاث ذات الصلة بما يجيب عن أسئلة الدراسة ويحقق أهدافها.

الدراسات السابقة

هدفت دراسة (محمد وآخرون، 2025) بعنوان " تكنولوجيا المباني الذكية المستدامة من منظور عمارة المستقبل" إلى توضيح أهمية التكنولوجيا المستخدمة في أنظمة البناء في تعزيز توفير استهلاك الطاقة وتعزيز راحة المستخدمين. اعتمدت الدراسة المنهج الاستقرائي بدراسة مفاهيم التكنولوجيا والتعرف على تأثيرها في المباني المستدامة. أشارت نتائج الدراسة أن المباني المستدامة تتطلب منظومة متكاملة من الأنظمة التصميمية، البيئية، التكنولوجية، كما بينت أن تصميم هذه المباني يعتمد على ثلاثة نقاط أساسية؛ الأنظمة المستخدمة، مواد البناء، والغلاف الخارجي والواجهات. من جهة أخرى، تتميز المباني التي تستخدم التقنيات الحديثة بقدرتها على توفير الطاقة وتوفير بيئة داخلية ذات جودة عالية، تقليل التكاليف والحد من استنزاف المواد الطبيعية وتعزيز استدامتها للأجيال المستقبلية. (محمد، محمد، و حسن، 2025)

أما دراسة (Li et al., 2025) بعنوان " تطبيقات التقنيات الرقمية في تعزيز ممارسات البناء المستدامة: مراجعة الأدبيات" فجاءت بهدف مراجعة الأدبيات فيما يتعلق بالتطبيقات الرقمية ودورها في الأبنية المستدامة. اعتمدت الدراسة أسلوب المراجعة المنهجية، حيث حللت الدراسة 990 مقالة نشرت ما بين 2014-2023م. أشارت نتائج الدراسة إلى تركيز الدراسات على سبع موضوعات أساسية هي؛ الحواجز وكفاءة الطاقة وأداء الطاقة في المباني، تقييم دورة حياة المبنى، الرؤية الحاسوبية، التجديد، وتقييم استدامة

المباني، والإدارة. علاوة على ذلك، بينت المراجعة أن التطبيقات الأساسية للتقنيات الرقمية تعتمد على أربع أبعاد للبناء المستدام وتشمل؛ الأداء البيئي، الاجتماعي، الاقتصادي، وتقييم المباني الخضراء. من جهة أخرى، تقترح الدراسة مجمعة من الاتجاهات البحثية المستقبلية وتشمل؛ أنواع التقنيات الرقمية المستخدمة، استخدام التقنيات الرقمية في مرحلتي التشغيل والصيانة والهدم، واستكشاف آلية التغلب على التحديات المتعلقة بالاستفادة من هذه التحديات.

بينما هدفت دراسة (Itanola & Whang, 2024) بعنوان "تأثير التقنيات الرقمية على المباني الموفرة للطاقة: دراسة قائمة على نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي" إلى استكشاف التأثير التحويلي للتقنيات الرقمية، وتحديدًا نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي (AI)، على تطوير المباني الموفرة للطاقة. اعتمدت الدراسة أسلوب المراجعة المنهجية، تم مراجعة 559 دراسة من عام 2010 وحتى عام 2023م. أشارت نتائج الدراسة إلى أن نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي يتمتعان بإمكانات كبيرة لتعزيز كفاءة الطاقة خلال المراحل الأولى من التصميم والبناء، مما يُسهّل اتخاذ القرارات بشكل أفضل، ويقلل الأخطاء، ويُحسّن استخدام الموارد. فيما أشارت المراجعة إلى مجموعة كبيرة من التحديات التي تعرقل استخدام هذه التقنيات يمكن تضمينها في 14 فئة أساسية وهي؛ التوافق التشغيلي، الفجوات المعرفية، التعقيد في العمليات، نقص المعايير، عدم توفر البيانات، مقاومة القطاع، ضعف اهتمام العملاء، ارتفاع تكاليف الخدمة، انعدام الثقة، المشكلات التقنية، تضخم تكاليف

التكنولوجيا، عدم كفاءة سير العمل، أخطاء التصميم، وغموض الأدوار. في ضوء هذه التحديات تؤكد الدراسة على ضرورة وضع معايير أداء واضحة وتعزيز الابتكار في القطاع.

كما هدفت دراسة (Mageed et al., 2024) بعنوان " تأثير استخدام التقنيات المتقدمة في التصميم المستدام لتعزيز قابلية الاستخدام وتحقيق التصميم المعماري الأمثل"، إلى توضيح فهم الاستدامة وأهميتها في الممارسة المعمارية. اعتمدت الدراسة منهجية دراسة الحالة، حيث تم اختيار ثلاثة مشاريع عالمية وعربية بارزة وهي؛ مدينة مصدر (Masdar City)، وذا إيدج (The Edge)، ومركز بوليت (Bullitt Center). تم إجراء مقابلات مع أصحاب المصلحة الرئيسيين؛ المهندسين المعماريين ومديري المشاريع وخبراء الاستدامة المشاركين في تصميم وتنفيذ المشاريع المختارة. علاوة على ذلك، أجريت زيارات ميدانية لمركز بوليت ومدينة مصدر لمراقبة التطبيق العملي لميزات الاستدامة، بما في ذلك الألواح الشمسية وأنظمة إدارة المياه واستخدام الضوء الطبيعي والتهوية. كما اعتمدت الدراسة على بيانات أداء الطاقة وتقارير الأثر البيئي وتقييمات الجهات الخارجية من المنظمات الحكومية وغير الحكومية ومنظمات البحث لدعم تحليل مقاييس الاستدامة للمباني. تشير نتائج الدراسة أن استخدام المواد المستدامة، والعزل الحراري المتقدم، واستراتيجيات التهوية الطبيعية، ومصادر الطاقة المتجددة، يُقلل بشكل كبير من الأثر البيئي للبناء. توصي الدراسة بدمج التقنيات المتقدمة ومبادئ الاستدامة بشكل أكبر في التعليم والممارسة المعمارية لتعزيز بيئات عمرانية أكثر استدامة وجمالاً على الصعيد العالمي.

فيما هدفت دراسة (العومره، 2022) بعنوان " أثر التطور التكنولوجي على بنية الشكل المعماري المستدام" إلى إعادة التفكير في التطور التكنولوجي وتأثيره في مجال الهندسة المعمارية وتصميم مباني مستدامة. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي، القائم على مراجعة مجموعة من الدراسات ذات الصلة. أشارت الدراسة في نتائجها إلى التطور التكنولوجي يساهم في خلق فرص إضافية لتصميم وإنشاء مباني وتصاميم أكثر استدامة من خلال الاستفادة من مواد البناء ومخرجات الثورة الصناعية لإنشاء مباني موفرة للطاقة وتعتمد على مواد ذات عمر تشغيلي أطول. توصي الدراسة بضرورة إعادة تقييم مناهج تدريس التصميم المعماري بحيث يتم تطوير النهج المستخدم ليتناسب والتطور التقني.

كما جاءت دراسة (العاطي وآخرون، 2022) بعنوان " دور برامج محاكاة المبنى في تعزيز استراتيجيات الاستدامة في العملية التصميمية (متطلبات ومعوقات التطبيق في ليبيا ومقترحات الحلول)" بهدف فهم دور برامج المحاكاة الرقمية في تعزيز الاستدامة من خلال تأثيرها على اتخاذ القرارات التصميمية المبكرة وتحديد أفضل الاستراتيجيات التي يمكن اتباعها للمساهمة في تطوير الممارسات التصميمية وتطوير التعليم الهندسي المعماري بما يتناسب والتطور التقني في القطاع. اعتمدت منهجية الدراسة على ثلاثة محاور أساسية؛ مراجعة الدراسات السابقة، اجراء دراسة تطبيقية باستخدام برنامج (The MIT Design Advisor) للمحاكاة. ومن ثم اجراء دراسة استطلاعية من خلال استبانة شارك فيها مجموعة من المتخصصين في مدينة درنة الليبية لتحديد الصعوبات التي تواجههم خلال استخدام هذه البرامج. تشير

نتائج الدراسة أن لبرامج المحاكاة دور فعال في الحد من استهلاك الطاقة في المباني من خلال تعزيز الاعتماد على التهوية والتبريد الطبيعي. كما أن هذه البرامج سهلة الاستخدام وتعطي نتائج دقيقة تساعد في اتخاذ القرار في الوقت المناسب. أما فيما يتعلق بالصعوبات فتبين من خلال الاستبانة قصور في إدراك الطلبة لمفهوم الاستدامة، وعدم امتلاك المعماريين مهارات تؤهلهم لاستخدام مثل هذه البرامج، فضلاً عن ضعف الدعم الحكومي. توصي الدراسة بتعزيز المعرفة والوعي ببرامج المحاكاة وآلية الاستفادة لاتخاذ قرارات تصميمية تعزز من الاستدامة البيئية للمباني.

فيما هدفت دراسة (Azadkhani, 2022) بعنوان "أثر تكنولوجيا البناء الحديثة في تحسين جودة البيئة المعمارية للمباني التعليمية المستدامة" إلى تحليل آثار تكنولوجيا البناء الحديثة في تحسين جودة البيئة المعمارية للمباني التعليمية. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم بناء استبانة كأداة رئيسية لجمع البيانات اللازمة. يتكون مجتمع الدراسة من مجموعة من المهندسين المعماريين ومصممي المباني الذكية، تم اختيار 170 منهم كعينة للدراسة. أشارت نتائج الدراسة أن متغيرات التكنولوجيا الحديثة (خفض استهلاك الطاقة، واستخدام موارد المياه، وجودة البيئة الداخلية، واختيار الموقع والمواد) لها علاقة وثيقة بجودة البيئة واستدامتها في المباني التعليمية. لتفعيل استخدام التكنولوجيا الحديثة في تصميم مباني مستدامة لا بد من تعزيز الدعم الحكومي، رفع التوعية، تعزيز التعاون الدولي، وتطوير البنية التحتية الرقمية لقطاع الانشاءات والبناء.

أما دراسة (كمال، 2019) بعنوان " التطور التكنولوجي للمباني السكنية ودورها في توفير الطاقة" فجاءت بهدف توضيح أهمية دور التكنولوجيا في تطوير أنظمة بناء تساعد على توفير الطاقة المستهلكة. ركزت الورقة على نظامين أساسيين؛ توفير الطاقة عبر الأنظمة الذكية كأجهزة الاستشعار ونظام اكتساب الطاقة من خلال الخلايا الشمسية. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي، القائم على مراجعة الدراسات السابقة، وأسلوب دراسة الحالة. أشارت نتائج الدراسة أن التكنولوجيا الحديثة ساعدت في المحافظة على مصادر الطاقة الغير متجددة وتعزيز الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة. علاوة على ذلك، تساعد الأنظمة الذكية على توفير ما يقارب من 40% من الطاقة المستهلكة، وتعمل على تقسيم القيمة المحددة من الطاقة المسموح استهلاكها بين أنظمة تشغيل المنازل وأجهزتها. ومن أهم الأنظمة الذكية المستخدمة، نظام التحكم بالتبريد والتكييف، التحكم بالإضاءة وغيرها. توصي الدراسة بأهمية نشر الوعي بأهمية استخدام الأنظمة التقنية الموفرة وقدرة هذه الأنظمة على استرداد التكلفة الأولية للنظام بعد عدة سنوات من استخدامها.

تؤكد الدراسات السابقة أن التقنيات الحديثة تساهم في توفير العديد من الفرص لتصميم وبناء أبنية مستدامة تقلل من استهلاك الطاقة وخاصة أحمال التدفئة والتكييف، وتحد من هدر الموارد واستنزافها وتركز على الموارد المتجددة والتهوية والإضاءة الطبيعية.

الإطار النظري

أولاً: الاستدامة في تصميم وتنفيذ المباني

تعد الاستدامة إحدى التوجهات الرائدة في الوقت الحاضر، تتجه كافة المجتمعات للاهتمام بقضايا البيئة والموارد الطبيعية والبصمة الكربونية للمباني (محمود، 2025). بدأ مفهوم الاستدامة بالانتشار في العقود الأخيرة من القرن العشرين، كاستجابة للأضرار البيئية التي خلفتها الثورة الصناعية والتي تزامنت مع زيادة هائلة في أعداد السكان، ضغط الكبير على الموارد، وانتشار ظواهر بيئية غير معتادة كالجزر الحضرية، الاحتباس الحراري، وثقب الأوزون (كلاب، 2016).

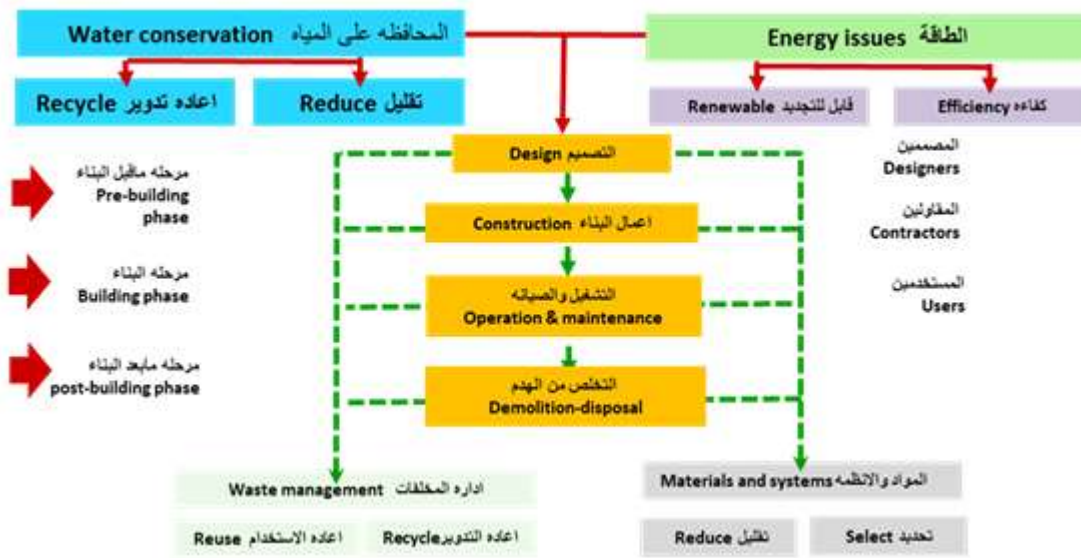
استخدم مفهوم الاستدامة لأول مرة ضمن تقرير برونديتالاند المعروف بمستقبلنا المشترك والذي أصدرته اللجنة العالمية للتنمية والبيئة (World Commission on Environment and Development) عام 1987م (Tascia, 2015). في هذا التقرير تم صياغة تعريف الاستدامة على أنها القدرة على تلبية احتياجات الجيل الحالي دون بقدرة الأجيال القادمة على تلبية متطلباتها (Al-Surf et al., 2013). بعد ذلك وفي عام 1992 قامت الأمم المتحدة والبيئة والتنمية بعقد مؤتمر الأرض في مدينة ريو دي جانيرو البرازيلية، وفيه تم تعريف الاستدامة على أنها إدارة الموارد الطبيعية بصورة تحافظ عليها وتحميها من التدهور والاستنزاف سعياً لتمكين الأجيال المستقبلية من العيش بطريقة كريمة (إسماعيل، 2011).

لا يقتصر مفهوم الاستدامة على البعد البيئي بل يتضمن أيضاً بعد اجتماعي واقتصادي، تعمل هذه الأبعاد الثلاثة معاً لتحقيق الاستدامة بمفهومها الشامل (Reddy & Thomson, 2015). تعبر الاستدامة الاجتماعية عن الممارسات التي تسعى للارتقاء بنوعية الحياة وجودتها، بما يساهم في خلق مجتمعات متنوعة ومنصفة وديمقراطية، توفر لأفرادها حياة كريمة (Younis & Chaudhary, 2017). أما الاستدامة الاقتصادية فتعبر عن النمو الاقتصادي المستدام والزيادة في الناتج المحلي بدون وجود تأثيرات سلبية على جوانب أخرى من الحياة وبدون تكبد تكاليف مستقبلية تتحملها الاجيال الأخرى (Maynard, et al., 2020). أما الاستدامة البيئية فهي الاستدامة التي تركز على حماية الموارد الطبيعية والحد من استنزافها بحيث تستطيع الاجيال المستقبلية التمتع بخيراتها والاستفادة منها (الريفي، 2020).

في العمارة وتصميم وانشاء المباني، بدأ استخدام مفهوم الاستدامة بعد مؤتمر الارض ، حيث بدأت العديد من التوجهات التصميمية والبنائية بالظهور كالتصميم المستدام، البناء أو العمارة الخضراء، التخطيط المستدام، المباني المستدامة وغيرها ، وتتمحور فكرة هذه المفاهيم حول المحافظة على الموارد والحد من استهلاك الطاقة واستخدام مواد صديقة للبيئة تقلل البصمة الكربونية للمباني (Hasan et al., 2016).

وبالتالي تحقق المباني المستدامة الجودة البيئية، الاقتصادية، والاجتماعية من خلال استخدام مواد طبيعية متجددو بما يساعد في المحافظة على الموارد وتقليل استهلاك الطاقة وتحسين جودة البيئة. وهذا يؤكد أن

المباني المستدامة هي المباني التي تحمل تأثير أقل على الانسان والبيئة خلال دورة حياة المبنى بأكملها (محمود، 2025) والشكل (1) يعكس فكرة المباني المستدامة خلال المراحل المختلفة للمبنى.



الشكل (1): المباني المستدامة خلال دورة حياة المبنى، المرجع: (محمود، 2025)

يعكس استخدام مفهوم الاستدامة في العمارة نمطين أساسيين من التصميم، التصميم السلبي (Passive design) والذي يعتمد بشكل أساسي على المعالجات الطبيعية تحسين توجه البناء، الاضاءة، التهوية والعزل الطبيعي، والتصميم النشط (Active design) القائم على استخدام استراتيجيات تقنيات وتدخلات صناعية لتحسين أداء المبني كأنظمة التحكم والاستشعار وغيرها (Ardyanny, 2022) .

مع انتشار التوجهات المستدامة في البناء، عمدت العديد من الدول على وضع أنظمة خاصة لتقييم استدامة المباني والتحقق من مستوى تحقيقها للمعايير المطلوبة. تحصل المشاريع التي تحقق هذه المعايير على شهادات تحفز الفاعلين في القطاع على الالتزام بمعايير الاستدامة وإنشاء مشاريع مميزة وذات كفاءة عالية (الطار وآخرون، 2018). ويما يلي نستعرض أهم الأنظمة المستخدمة في تقييم المباني:

• **نظام برييم، أسلوب التقييم البيئي لمؤسسة أبحاث المباني (Building Research)**

(Establishment Environmental Assessment Method –BREEAM): هو

نظام بريطاني أسس من قبل مؤسسة أبحاث البناء عام 1990م، تشمل معايير التقييم كفاءة الطاقة و استهلاك المياه، مستوى انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون، تأثير مواد البناء المستخدمة ومصادرها، إدارة المياه السطحية والنفايات، قابليتها للتدوير، مستوى التلوث الصحة والرفاهية (الطالبي و البزاز، 2018).

• **نظام LEED الريادة في الطاقة والتصميم البيئي (Leadership in Energy and)**

(Environmental Design): هو نظام أمريكي تم تأسيسه من قبل جمعية البناء الخضراء

عام 1994م. يتم تقييم الابنية تبعاً لهذا النظام بالاعتماد على سبع معايير أساسية وتشمل؛ الموقع المستدام، كفاءة استهلاك الطاقة، كفاءة استهلاك المياه، المواد والمصادر، جودة البيئة

الداخلية، الابتكار والعملية التصميمية بالإضافة إلى ترجيح الأولوية الإقليمية (عيسى وآخرون، 2014).

- **نظام اللؤلؤ للتقييم (Pearl Building Rating System):** هو نظام عربي يستخدم في تقييم المباني المستدامة تم اصداره من خلال مجلس أبو ظبي للتخطيط العمراني يستند بالأصل إلى نظام (LEED)، ويعتمد التقييم فيه على سبع معايير أساسية؛ عملية التنمية المتكاملة، الأنظمة الطبيعية، مدى مناسبة البيئة الداخلية والخارجية للحياة، مصادر الطاقة، إدارة الموارد، الخبرة والتدريب على الابتكار (البحرة و فاكوش، 2013).

ثانياً: التطور التكنولوجي في تصميم وتنفيذ المباني

هنالك حاجة ملحة في قطاع البناء لتحسين الكفاءة والاستدامة والجودة والانتاجية. مع ذلك، هنالك أظهر القطاع استجابة بطيئة في تبني التقنيات الحديثة مقارنة بالقطاعات الأخرى (Sepasgozar & Davis, 2017; Hwang et al., 2019)، ويعزى ذلك إلى ميل صناعة البناء لمقاومة التغيير. أظهرت دراسة أجرتها شركة شوبر وهوف أن (93%) من أصحاب المصلحة في البناء يتفقون على أن عمليات البناء الخاصة بهم ستتأثر في نهاية الامر بالتكنولوجيا الجديدة، وخاصة الرقمنة (Itanola & Whang, 2024). ويخضع قطاع البناء حالياً لموجة من التقنيات الرقمية التي تهدف إلى تعزيز الكفاءة والفعالية، مع تقليل التكاليف وتحسين الأداء البيئي للمباني (Wang et al., 2022; Zhao et al., 2016).

تؤدي التكنولوجيا والتقنيات الحديثة دوراً محورياً في انشاء مباني مستجيبة وتكيفية، تساعد هذه التكنولوجيا على تعزيز التحكم والسيطرة وتوفير معلومات دقيقة تساعد المصمم في اتخاذ قرارات تصميمية مناسبة (محمد وآخرون، 2025).

هنالك مجموعة واسعة من التقنيات التي تساعد في تصميم وبناء مباني مستدامة؛ أجهزة الاستشعار، ونمذجة معلومات البناء (BIM)، وأنظمة إدارة المباني (BMS)، العدادات الذكية، الطباعة ثلاثية الأبعاد، والروبوتات، البيانات الضخمة، وإنترنت الأشياء (IoT)، التعلم الآلي، الذكاء الاصطناعي، التوائم الرقمي، سلسلة الكتل (blockchain)، والأمن السيبراني (Asif et al., 2024).

تساعد أجهزة الاستشعار على توفير مراقبة دقيقة للإضاءة ودرجات الحرارة داخل الفراغات، وعليه يمكن تنظيم الإضاءة والتدفئة والتبريد وفقاً شاغلي المكان، وبالتالي تعزيز الكفاءة. علاوة على ذلك، يمكن مراقبة صحة وجودة الهيكل بشكل مستقل؛ وتعزيز الأمن المادي؛ وتحسين تحديد مسارات السكان؛ وإعداد تقارير مفصلة عن استخدام المبنى، تعمل أجهزة الاستشعار والمشغلات في المبنى الذكي معاً لتوفير معيشة مريحة وموفرة للطاقة لسكانه (Lavrinovic et al., 2024).

أما نمذجة معلومات البناء فهي تقنية واعدة تعتمد على تبادل المعلومات بين كافة الأطراف المهمة في تنسيق وتصميم وتناسق المهام من خلال نموذج بناء افتراضي بارامتري يتم تجديده باستمرار، بما يحقق درجة عالية من التكامل، وبالتالي تجنب الأخطاء في مرحلة مبكرة من البناء. هذا بدوره يمكن أن يضمن

أداء عالي في الطاقة ومحدودية في هدر الموارد وقدرة أفضل على تطبيق معالجات طبيعية وتقنية متقدمة
(Bukunova & Bukunov, 2021).

بالمثل تساعد أنظمة إدارة المباني بالتحكم في بيئة تشغيل المبنى ومراقبتها، بما فيها أنظمة تكييف الهواء
والإضاءة والتهوية والأمن. وهذا يعزز راحة شاغلي المبنى ويقلل من استهلاك الطاقة (Lavrinovica
et al., 2024)

أما تقنيات الذكاء الاصطناعي فيمكن لأنظمة الطاقة اللامركزية التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي
تحسين توليد الطاقة، وتخزينها، وتوزيعها داخل المباني وعبر الشبكات الذكية، مما يعزز المرونة
والاستدامة مع تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة المركزية. كما تكتسب تقنيات الذكاء الاصطناعي، مثل
التعلم الآلي والرؤية الحاسوبية، أرضية واسعة في تعزيز استدامة المباني، إلا أن معظم التطبيقات الحالية
تركز على المرحلة التشغيلية، مع اهتمام أقل بمراحل التصميم والبناء (Adewale et al., 2024)

أما سلسلة الكتل فتعمل على دعم أداء إدارة مشتريات الإنشاءات المستدامة من خلال تعزيز قدرة الإدارة ع
على الحد من الآثار البيئية من خلال ممارسات مثل تقييمات دورة الحياة، واستخدام مواد منخفضة
الكربون، وتقليل نفايات البناء. كما تُعزز العدالة الاجتماعية والمرونة الاقتصادية على المدى الطويل.
بخلاف عمليات الشراء التقليدية، التي غالبًا ما تُعطي الأولوية للمخرجات الفورية للمشروع، وتدعم الشفافية
وإمكانية التتبع والمساءلة على طول سلسلة التوريد بأكملها. تدعم سلسلة الكتل هذه الإدارة من خلال

تمكين تتبع المواد من البداية إلى النهاية، والتحقق من ادعاءات الاستدامة، ومراقبة الأداء في الوقت الفعلي (Singh et al., 2025). فيما تتكامل تقنية التوأم الرقمي (Digital Twin) مع تقنية نمذجة معلومات البنا والذكاء الاصطناعي لتعزيز عمليات المراقبة والتحكم وتحسين تكامل مراحل عملية التصميم بما يحسن أداء المباني في استهلاك الطاقة ويقلل من الهدر (Zahedi et al., 2024).

ثالثاً: مزايا استخدام التطور التكنولوجي في تصميم وبناء المباني المستدامة

يشكل استخدام التكنولوجيا الحديثة في قطاع المباني فرصة لإنشاء مباني ذكية، لا تعمل على تحسين أداء المبنى من حيث استهلاك الطاقة فقط، بل تساعد في تعزيز جودة حياة المستخدمين وتوفير بيئة آمنة، مريحة، ومثيرة للاهتمام (Azadkhani, 2022).

علاوة على ذلك، يعزز استخدام التقنيات الحديثة من قدرة المصممين على استخدام مصادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحيوية. من خلال ذلك، يمكن تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري بشكل كبير وبالتالي يقلل من البصمة الكربونية للبناء (Wang et al., 2019). من جانب آخر، تساهم التقنيات الحديثة في تسهيل وتطوير عمليات إعادة التدوير في قطاع البناء، حيث يمكن تدوير مخلفات البناء وتحسين خصائصها لاستخدامها مرة أخرى بما يقلل الضغط على المواد الخام (Loni, et al., 2021).

من جانب آخر تستخدم بعض التقنيات لتقليل البصمة الكربونية كتقنية احتجاز الكربون وتخزينه (Carbon Capture and Storage-CCS)، التي يُشار إليها فيما يلي باستمرار، كحل تكنولوجي رئيسي تهدف إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أو إعادة استخدامها، دورًا حيويًا في الحد من الأثر البيئي لقطاع البناء (Cai, et al., 2019; Wilberforce et al., 2021). أما نمذجة معلومات البناء، فتسمح بتعزيز التكامل بين عمليات التصميم والتنفيذ والتنبؤ بالأخطاء وتعديلها في اوقات مبكرة مما يقلل من الهدر في الموارد ويحد من تجاوز التكاليف (Anireddy, 2024).

بالإضافة إلى ذلك، تساعد التقنيات الحديثة من تكيف المباني مع الظروف البيئية وبالتالي تعزيز استدامتها. الواجهات الحركية هي إحدى الأمثلة على التكيفات التي ساعدت التكنولوجيا في تحقيقها. حينها تكتسي واجهات المباني بمواد وعناصر متحركة تستجيب للإضاءة الطبيعية واشعة الشمس والهواء. على سبيل المثال، يتميز مبنى برج البحر (Al Bahar Towers) بواجهة تفاعلية ديناميكية (الشكل 2) تعتمد على تقنية المشربية التقليدية ولكن مع التكنولوجيا الحديثة. تحتوي الواجهة على نظام تظليل متحرك ذكي يتفاعل مع حركة الشمس ويغير من شكله وضعيته حسب زوايا الشمس، مما يقلل من استهلاك الطاقة ويحسن كفاءة التبريد داخل المبنى (Barozzi et al., 2016).



الشكل (2): الواجهات الخارجية المزدوجة لأبراج البحر (Al Bahr Towers) في أبو ظبي، المرجع: (الصواف،

(2018)

أما مبنى معرض (One Ocean, Thematic Pavilion Yeosu Expo) (الشكل 3) فصمم عام 2012م، باستخدام الشفرات المتحركة لمعالجة الحد من مقدار الكسب الحراري الشمسي والتحكم بالإضاءة من أجل تأمين بيئة داخلية مريحة (ابراهيم، 2016) تصنع هذه الشفرات من البوليمرات معززة بألياف زجاجية (GFRP - glass fiber reinforced polymers) (Barozzi et al., 2016). تتميز هذه الشفرات بوجود طرفين احدهما قاسي والآخر مرن يعزز قدرتها على الانحناء بشكل غير

متماثل ما يسمح للضوء الطبيعي بالمرور دون تكبد أحمال حرارية إضافية (ابراهيم، 2016) . علاوة على ذلك، يوجد على طرفي الشفرات محرك كهربائي يقوم بتولد الضغط اللازم للانحناء. يتم تحويل طاقة التنشيط إلى طاقة مرنة مخزنة في الشفرات المنحنية ويتم تحويلها جزئيًا إلى طاقة كهربائية أثناء عملية الاغلاق باستخدام المحركات المساعدة مما يسهم في توفير الطاقة، الامر الذي يعزز من استدامة المبنى (Barozzi et al., 2016)



الشكل(3): الشفرات المتحركة في واجهة مبنى معرض (one ocean Thematic Pavilion Yeosu Expo) صمم عام 2012، المصدر: (Barozzi et al., 2016)

أما مبنى تكنولوجيا المعلومات ذو الفقاعات (Media-TIC) فيتميز برشولونة بواجهة تفاعلية ذكية مصنوعة من مادة ETFE (الشكل 4) والتي تستجيب لمستويات الإضاءة ودرجة الحرارة لتقليل استهلاك

الطاقة، كما يحتوي على نظام إضاءة LED تفاعلي يعرض بيانات استهلاك الطاقة وأحوال الطقس (خيوط، 2017).



الشكل(4): واجهة مبنى تكنولوجيا المعلومات ذو الفقاعات (Media Tic) في مدينة برشلونا، المرجع: (خيوط،

(2017)

بينما يتميز مبنى الفراغ الأخضر (The Green Void Building) في سيدني استراليا فيعتمد على تصميم تفاعلي ديناميكي (الشكل 5) يستخدم أنظمة إضاءة ذكية، حيث يستخدم الذكاء الاصطناعي لضبط الإضاءة ودرجة الحرارة والتهوية بناءً على الاستخدام الفعلي (Eldamaty, 2025) .



الشكل (5): مبنى الفراغ الأخضر (The Green Void Building) في سيدني استراليا، المرجع: (Eldamaty, 2025).

فيما يعتمد مبنى كيفر تكنيك (Kiefer Technic) في النمسا على واجهة تفاعلية تتكون من 112 بلاطة متحركة وقابلة للطي (الشكل 6) تتحرك وفقاً لحركة الشمس (Ahmad & Alibaba, 2019)، مما يوفر عزلاً حراريًا فعالاً ويقلل من استهلاك الطاقة الخاصة بالتكييف عن طريق تغيير شكلها باستمرار بطريقة أوتوماتيكية خلال ساعات اليوم، تعمل على توفير كمية اضاءة طبيعية داخل المبنى وتحميه من أشعة الشمس المباشرة استجابة للعوامل البيئية الخارجية (السيد، 2015).



الشكل (6): واجهة مبنى معرض كييفر تكنيك (Kiefer Technic Showroom) في النمسا والوضعيات المختلفة

لواجهة أثناء الحركة، المرجع: (السيد، 2015).

رابعاً: تحديات استخدام التطور التكنولوجي في تصميم وبناء المباني المستدامة

على الرغم من الأهمية الكبيرة لدمج التطور التكنولوجي في تصميم المباني المستدامة والمزايا التي يمكن تحقيقها، إلا أنه في الوقت نفسه يرتبط استخدام هذه التقنيات بمجموعة من التحديات. تشكل التكلفة الأولية المرتفعة واحدة من أهم هذه التحديات، فعظم هذه التقنيات سواء أكانت أجهزة أو برمجيات تتسم بتكلفة شراء مرتفعة وهذا يجعلها مكلفة خاصة على الشركات الصغيرة والمتوسطة. كما تتطلب بنية تحتية

رقمية على درجة عالية من الجاهزية ما يزيد من تكاليف تبني هذه التقنيات (Kineber, et al., 2023).

علاوة على ذلك، يتطلب استخدام هذه التقنيات كوادر مدربة تمتلك المهارات الرقمية للتعامل مع هذه التقنيات ودمجها في أنظمة عملها، الأمر الذي يتطلب من الشركات تخصيص موارد للتدريب ووضع الخطط والاستراتيجيات التي تضمن اكساب الموظفين المهارات التي تؤهلهم لبدء استخدام هذه التقنيات في عمليات التصميم والتنفيذ (Scott & Rogers, 2023) .

كما يرتبط استخدام هذه التقنيات بفكرة التوافق التشغيلي، حيث أن معظم التقنيات المتطورة لا يمكنها التكامل مع الأنظمة الحالية المستخدمة في تصميم وتنفيذ المباني ما يؤكد على التوافقية كتحدٍ أساسي ينبغي العمل على معالجته لتمكين استخدام هذه التقنيات في مجال تصميم وتنفيذ المباني المستدامة (Tchouanguem et al., 2019).

من جهة أخرى، يشهد قطاع الإنشاءات بشكل عام مقاومة للتغيير، حيث أن العاملين فيه وخاصة كبار السن اعتادوا على التقنيات التقليدية ، وعليه لا يملكون دوافع ايجابية تجاه هذه التقنيات، ولا يشعرون بالراحة باستخدامها وهذا يتطلب العمل على تعزيز وعيهم بأهمية هذه التقنيات وتعزيز مهاراتهم لاستخدامها كخطوة أولية لتحسين توجهاتهم لاستخدامها (Anireddy, 2024).

الخاتمة

يناقش البحث تأثير التطور التكنولوجي على تصميم وبناء المباني المستدامة. من خلال الدراسات السابقة، يتضح أن التطور التكنولوجي يعزز من قدرة المهندسين على تصميم وتنفيذ مباني مستدامة. يتم تحقيق الاستدامة في المباني بعدة طرق سواء من خلال أساليب توفير الطاقة أو اكتسابها. يساعد التطور التكنولوجي على تعزيز استجابة المباني للتحديات البيئية سواء من خلال أنظمة التحكم بالإضاءة والتبريد والتكييف (على سبيل المثال أجهزة الاستشعار) والتقنيات التي تعزز الاستفادة من الطاقة المتجددة، وحتى تلك الخاصة بأغلفة المباني وواجهاتها الخارجية. فضلاً عن ذلك هنالك تقنيات تعزز الاستدامة من خلال عملية التصميم كنموذج معلومات البناء والذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمي وغيرها. تساعد هذه التقنيات في تقليل استهلاك الطاقة والموارد الطبيعية، الحد من هدر الموارد، تحسين الاداء البيئي للمباني ومستوى جودة البيئة الداخلية فيه، والحد من البصمة الكربونية للمباني. وعلى الرغم من هذه الميزات إلا أن استخدام التطور التكنولوجي في تصميم مباني مستدامة يواجه مجموعة من التحديات؛ التكلفة الأولية المرتفعة، نقص الكفاءة الرقمية والحاجة للتدريب، التوافق التشغيلي للأنظمة التقليدية والحديثة ومقاومة التغيير. في ضوء هذه النتائج توصي الدراسة بضرورة العمل على تعزيز الوعي بأهمية هذه التقنيات وتحسين توجهات العاملين في القطاع تجاهها كخطوة لتعزيز استخدامها.

قائمة المراجع

المراجع العربية

- ابراهيم، لينا علي. (2016). تقنيات تنفيذ الواجهات الذكية. مجلة جامعة البعث، 38(49)، 39-59.
- إسماعيل، سمر يوسف. (2011). إستراتيجيات تحقيق الإستدامة في التصميم العمراني للمدارس (حالة دراسية : مدارس وكالة الغوث وتشغيل اللاجئين الفلسطينيين بقطاع غزة). غزة، فلسطين : الجامعة الإسلامية، بغزة.
- البحر، طلال مروان ، و فاكوش، عقبة. (2013). دراسة مقارنة تحليلية لبعض معايير الإستدامة السكنية العالمية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، 29(2)، 549-565.
- خيطو، علا. (2017). مفهوم العمارة التكيّفية وتطبيقاتها على أغلفة الابنية. مجلة جامعة البعث، 39(24)، 99-132.
- الريفي، نادية محمد سعدي. (2020). المخطط التفصيلي لحي التفاحة بمدينة غزة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ومدى تطبيقه للتنمية العمراني المستدامة. غزة، فلسطين : الجامعة الإسلامية بغزة.
- السيد، مني رزق جاد. (2015). مفهوم المباني المتنفسة لمواجهة التغير المناخي. الجيزة، مصر: جامعة القاهرة .
- الصواف، ابتسام سمير ادريس. (2018). مكونات انظمة الواجهات الذكية للأنظمة. مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية، 25(1)، 1-18.

الطالبي، رائد عبد الجبار ، و البزاز، إنعام. (2018). المؤشرات العامة والثانوية لتكوين منظومة تقويم محلية لتحقيق الإستدامة البيئية في الأبنية. مجلة الهندسة، 24 (2)، 25-53.

العاطي، بلال رافع عبد ، ساسي، ايمان عطية ، و أغفير، نضال فتحي. (2022). دور برامج محاكاة المبنى في تعزيز استراتيجيات الاستدامة في العملية التصميمية (متطلبات ومعوقات التطبيق في ليبيا ومقترحات الحلول). مجلة العلوم الانسانية والطبيعية، 3 (2)، 473-491.

الطار، محمد عصمت ، مبارك، لبنى محمود ، و الجميلي، زينب حسن. (2018). المنهجية الحالية لتقييم المباني المستدامة في مصر بين الإمكانيات والعقبات. مجلة العلوم الهندسية، جامعة أسيوط، 46 (2)، 263-281.

العومره، لؤي عبدالله حسين. (2022). أثر التطور التكنولوجي على بنية الشكل المعماري المستدام. المجلة العربية للنشر العلمي (43)، 516-526.

عيسى، صفاء ، مصطفى، حسام الدين ، و الحناوي، علا سامي. (2014). معايير الاستدامة العمرانية بين النظام الأمريكي (LEED) وتشريعات البناء المصرية. مجلة الابحاث الهندسية، 37 (2)، 1-18.

كلاب، داليا جهاد عبد الوهاب. (2016). استراتيجيات تحقيق الأستدامة في مباني المستشفيات (مباني المستشفيات في قطاع غزة- حالة دراسية). غزة، فلسطين: الجامعة الإسلامية بغزة.

كمال، آيات خلف. (2019). التطور التكنولوجي للمباني السكنية ودورها في توفير الطاقة. مجلة العمارة والفنون، 15، 115-132.

محمد، علي محمد سنوسي ، محمد، دعاء عبدالرحمن ، و حسن، محمد حسن رمضان. (2025). تكنولوجيا المباني الذكية المستدامة من منظور عمارة المستقبل. مجلة العمارة والعلوم الانسانية، 10 (51)، 46-64.

محمود، أميره مرسال. (2025). الاستدامة التكنولوجية لتحقيق جودة الحياة والتقليل من تأثير التغيرات المناخية. *مجلة العمارة والفنون والعلوم الانسانية، 10 (49)*، 1-27.

المراجع الأجنبية

المراجع

Adewale, B. A., Ene, V. O., Ogunbayo, B. F., & Aigbavboa, C. O. (2024). A Systematic Review of the Applications of AI in a Sustainable Building's Lifecycle. *Buildings, 14*, 1-28.

Ahmad, J., & Alibaba, H. Z. (2019). Kinetic Façade as a Tool for Energy Efficiency. *International Journal of Engineering Research and Reviews, 7(4)*, 1-7.

Ajaj, A., & Pugnali, F. (2014). Re-Thinking Traditional Arab Architecture: A Traditional Approach to Contemporary Living. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology,, 6(4)*, 286-289.

Al-Surf, M. S., Trigunarsyah, B., & Susilawati, C. (2013). Saudi Arabia's sustainable housing limitations: the experts' views. *Smart and Sustainable Built Environment*, 2(3), 251–271.

Anireddy, A. R. (2024). Impact of Technology on Construction: The Role of Building Information Modeling (BIM) in Modern Construction Projects. *The International Journal of Innovative Research in Engineering & Multidisciplinary Physical Sciences (IJIRMPS)* *The International Journal of Innovative Research in Engineering & Multidisciplinary Physical Sciences (IJIRMPS)*, 12(4), 1–6.

Ardyanny, Y. M. (2022). Implementation of Passive and Active Design Strategies for Energy Efficient Office Building (Case Study: VOZA Office Tower Surabaya, Indonesia). *International Webinar on Digital Architecture (IWEDA 2021)*. 671, pp. 196–200. Indonesia: Advances in Social Science, Education and Humanities Research.

Asif, M., Naeem, G., & Khalid, M. (2024). Digitalization for sustainable buildings: Technologies, applications, potential, and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 450 .

Azadkhani, P. (2022). The impact of modern construction technology in improving the quality of the architectural environment of sustainable educational buildings. *Journal of Urban Management and Energy Sustainability (JUMES)*, 3(4), 11–27.

Barozzi, M., Lienhard, J., Zanelli, A., & Monticelli, C. (2016). The sustainability of adaptive envelopes: developments of kinetic architecture. *Procedia Engineering*(155), 275 – 284.

Bukunova, O., & Bukunov, A. (2021). Building Information Modeling for Sustainable Construction. *International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020)* (pp. 1–7). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.

Cai, W., Lai, K.-h., Liu, C., Wei, F., Ma, M., Jia, S., . . . Lv, L. (2019).

Promoting sustainability of manufacturing industry through the lean energy-saving and emission-reduction strategy. *Science of The Total Environment*, 665, 23–32.

Eldamaty, D. S. (2025). Technology and Interactive Architecture: The Impact

of Technological Innovations on Building Design and User Experience,. *International Design Journal*, 15(3), 11–19.

Firoozi, A. A., Firoozi, A. A., Oyejobi, D., Avudaiappan, S., & Flores, E. S.

(2024). Emerging trends in sustainable building materials: Technological innovations, enhanced performance, and future directions. *Results in Engineering*, 24 , 1–37.

Hasan, M. I., Murtini, T. W., & Sari, S. R. (2016). Sustainable Architecture

Responded by Islamic Architecture for Better Environment. *Int'l Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engg.*, 3(1), 214–216.

Hwang, B.-G., Zhu, L., & Ming, J. T. (2017). Productivity improvement strategies for green construction projects: performance comparison and critical factors. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 8 (1), 45–53.

Itanola, M., & Whang, S.-W. (2024). The impact of digital technologies on energy-efficient buildings: BIM and AI-based study. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 15(3), 392–412.

Kineber, A., Othman, I., Famakin, I. O., Oke, A. E., Hamed, M. M., & Olayemi, T. M. (2023). Challenges to the Implementation of Building Information Modeling (BIM) for Sustainable Construction Projects. *Applied Sciences*, 13(6), 1–24 .

Lavrinovica, I., Judvaitis, J., Laksis, D., Skromule, M., & Ozols, K. (2024). A Comprehensive Review of Sensor-Based Smart Building Monitoring and Data Gathering Techniques. *Applied Sciences*, 14 , 1–17.

Li, J., Liu, Z., Han, G., Demian, P., & Osmani, M. (2024). The Relationship Between Artificial Intelligence (AI) and Building Information Modeling (BIM) Technologies for Sustainable Building in the Context of Smart Cities. *Sustainability, 16*, 1–36.

Li, Y., Zhao, X., Liu, C., & Zhang, Z. (2025). Applications of Digital Technologies in Promoting Sustainable Construction Practices: A Literature Review. *Sustainability, 17* (2), 1–18.

Loni, R., Najafi, G., Bellos, E., Rajaei, F., Said, Z., & Mazlan, M. (2021). A review of industrial waste heat recovery system for power generation with Organic Rankine Cycle: Recent challenges and future outlook. *Journal of Cleaner Production, 287*.

Mageed, N. N., Alsultani, R., & Abbas, A. W. (2024). The Impact of Using Advanced Technologies in Sustainable Design to Enhance Usability and Achieve Optimal Architectural Design. *International Journal of Sustainable Development and Planning, 19* (11), 4273–4280.



Maynard, D. d., Vidigal, M. D., Farage, P., Zandonadi, R. P., Nakano, E. Y., &

Botelho, R. B. (2020). Environmental, Social and Economic

Sustainability Indicators Applied to Food Services:A Systematic Review.

Sustainability, 12, 1–19.

Mersal, A. (2024). The Role of Modern Technologies in Reducing Heat and

Sustainability Through the Building Envelope. *Nile Journal of Architecture*

&Civil Engineering, 1, 1–16.

Reddy, T., & Thomson, R. (2015). Environmental, Social and Economic

Sustainability: Implications for Actuarial Science. *The 2015 ASTIN,*

AFIR/ERM and IACA Colloquia (pp. 1–28). sydney , australia: Actuaries

Institute.

Scott, P., & Rogers, J. (2023). The Role of Standardized BIM Protocols.

Construction Technology Standards, 30(9), 67–85.

Sepasgozar, S. M., & Davis, S. (2019). Digital Construction Technology and Job-Site Equipment Demonstration: Modelling Relationship Strategies for Technology Adoption. *Buildings, 9* (7), 1–33.

Singh, A. K., Mohandes, S. R., Shakor, P., Kidd, C., & Kumar, V. R. (2025). Blockchain Technology Adoption for Sustainable Construction Procurement Management: A Multi-Pronged Artificial Intelligence-Based Approach. *Infrastructures, 10*, 1–36.

Tascia, B. G. (2015). “Sustainability” Education by Sustainable School Design. *5th World Conference on Learning, Teaching and Educational Leadership WCLTA 2014. 186*, pp. 868 – 873. Prague , Czech : Procedia – Social and Behavioral Sciences.

Tchouanguem, F., Karray, H., Foguem, B. K., & Magniont, C. (2019). Interoperability Challenges in Building Information Modelling (BIM). In K. Popplewell, K.-D. Thoben, T. Knothe, & R. Poler, *Enterprise Interoperability* (pp. 275–282). Cham, Switzerland,: Springer.

Wang, K., Guo, F., Zhang, C., Hao, J., & Schaefer, D. (2022). Digital Technology in Architecture, Engineering, and Construction (AEC) Industry: Research Trends and Practical Status toward Construction 4.0. *Construction Research Congress* , (pp. 983–992). Arlington, Virginia.

Wang, M., Wang, G., Sun, Z., Zhang, Y., & Xu, D. (2019). Review of renewable energy–based hydrogen production processes for sustainable energy innovation. *Global Energy Interconnection*, 2(5), 436–443.

Wilberforce, T., Olabi, A., Sayed, E. T., Elsaid, K., & Abdelkareem, M. A. (2021). Progress in carbon capture technologies. *Science of The Total Environment*, 761.

Younis, F., & Chaudhary, M. A. (2017). Sustainable Development: Economic, Social, and Environmental Sustainability in Asian Economies. *Munich Personal RePEc Archive*, 1–29.

Zahedi, F., Alavi, H., Sardroud, J. M., & Dang, H. (2024). Digital Twins in the Sustainable Construction Industry. *Buildings*, 14(11), 1–33.



المجلة الإلكترونية الشاملة متعددة التخصصات
Electronic Interdisciplinary Miscellaneous Journal

العدد السادس والثمانون شهر 8 (2025)

Issue 86, (8) 2025

ISSN: 2617-958X

Zhao, Q., Chen, Z., Zhu, Y., Li, Z., & Hei, X. (2016). Toward Automatic Review of Building Energy Efficiency Based on Building Information Modeling. *12th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS)* (pp. 213–217). IEEE.