

أهم اتجاهات وتحديات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني وواقع الممارسة المحلية بالمملكة العربية السعودية - مدينة الرياض أنموذجاً

يسر قسم الله محمد رشوان أحمد عمر محمد سيد مصطفى

أستاذ مشارك

طالبة ماجستير

قسم العمارة وعلوم البناء، كلية العمارة والتخطيط، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية

ahmedoms@ksu.edu.sa

443204223@student.ksu.edu.sa

قدم للنشر في ٢/٩/١٤٤٣ هـ؛ وقبل للنشر في ١٦/٢/١٤٤٤ هـ

ملخص البحث. في ظل التوجه العالمي نحو الاستدامة والتطور المستمر والمتسارع في التقنيات الرقمية في جميع القطاعات ومنها قطاع صناعة البناء والتشييد؛ أثبتت تقنيات نمذجة معلومات المباني كفاءة تطبيقاتها في دعم المماريين والمصممين في تحقيق متطلبات الاستدامة في جميع مراحل دورة حياة المشاريع. وعلى الرغم من توافر العديد من الدراسات التي تناولت تقنيات نمذجة معلومات المباني وتطبيقها في الأسواق العالمية، إلا أن ما يرتبط منها بالمملكة العربية السعودية لم يتضمن بيانات كافية عن واقع الممارسة المحلية لدى إتاحة هذه الاتجاهات وأهم التحديات التي تواجه تطبيقها، وهو ما يمثل الإشكالية والفجوة البحثية التي يهدف هذا البحث إلى تجسيدها بتوفير البيانات اللازمة حول أهم اتجاهات وتحديات تقنيات نمذجة معلومات المباني التي يمكن لتطبيقاتها دعم المماريين والمصممين في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني كأحد محاور تحقيق التصاميم المستدامة، وواقع إتاحة هذه التقنيات وتطبيقها في مدينة الرياض لدعم متخذ القرار في تحديد أولويات هذه الاتجاهات لتوجيه الدعم اللازم لتحقيق فعالية تطبيقها في تحقيق التصاميم المستدامة، وتحديد المطلوب لمعالجة التحديات التي تواجهها. تبنت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لتحقيق النتائج المستهدفة على جزأين: الأول تم فيه مراجعة الدراسات السابقة لاستخلاص أهم اتجاهات وتحديات نمذجة معلومات المباني في مجال تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني، والثاني تم فيه رصد أهمية وواقع إتاحة وتطبيق هذه الاتجاهات والتحديات. وإضافة إلى أهمية هذه الدراسة من منظور اعتبارها إحدى مبادرات تحقيق أهداف برنامج التحول الرقمي لرؤية المملكة ٢٠٣٠، وإحدى مبادرات الدراسات المستقبلية التي تستهدف تجسير الفجوة البحثية الحادثة في هذا المجال؛ فالتوقع أن تساهم نتائجها في دعم المسؤولين والتنفيذيين في الأقسام الحكومية ذات العلاقة بمكاتب تحقيق رؤية المملكة ٢٠٣٠، وبمراكز اتخاذ القرار؛ لتحديد أولويات دعم تطبيق أهم اتجاهات نمذجة معلومات المباني وأولويات معالجة التحديات التي تواجه تطبيقها.

الكلمات المفتاحية: . نمذجة معلومات المباني، التصاميم المستدامة، كفاءة استهلاك الطاقة في المباني.

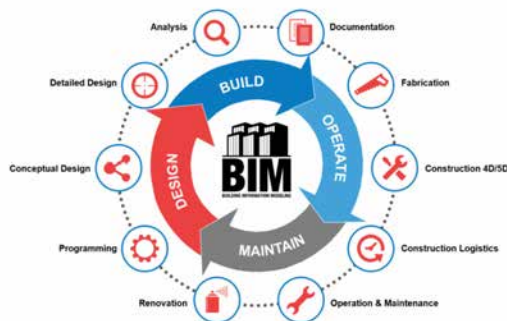
١. المقدمة

يمثل مفهوم الاستدامة مفهومًا متعدد الأبعاد يعتمد على العلاقات المتبادلة بين المجتمعات البشرية والبيئة الطبيعية، ويعنى بتلبية احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتهم الحالية (Razkenari et al., 2016). ومع زيادة تأثيرات الاحتباس الحراري، ونقص موارد الطاقة، وتحديات التدهور البيئي؛ فقد تزايد الاهتمام بهذا المفهوم بشكل كبير في مجال صناعة البناء، وأكد (Oduyemi & Oko-roh, 2016) أن الاستدامة أصبحت جانبًا مهمًا من جوانب العقارات، ويجب دمجها في تصميم المباني وبنائها وتشغيلها. كما تطور هذا المفهوم بصورة كبيرة وظهرت له مصطلحات جديدة مثل «المباني الخضراء» التي تؤكد تحقيق استدامة المبنى خلال دورة الحياة الكاملة له، والتي تشمل المحافظة على الموارد، وحماية البيئة، والحد من التلوث، وتزويد الناس باستخدام صحي ومريح وفعال للفراغ، وتحقيق الانسجام بين الطبيعة والعمارة (Bonenberg & Wei, 2015).

ومع التطور الحادث في مجال الاستدامة كان هناك تطور مواز ومتسارع في مجال التقنيات الرقمية بعامة والتقنيات التي يمكنها دعم تحقيق المحاور المتعددة للاستدامة بخاصة، وشهد مجال صناعة البناء تغيرًا جوهريًا بتطوير العديد من التقنيات التي تدعم مجموعة متنوعة من المهام والأنشطة في مراحل التصميم والإنشاء والتشغيل

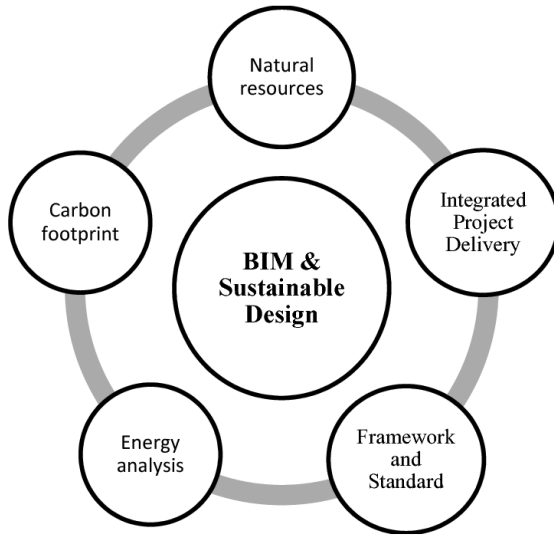
المختلفة في صناعة البناء (Rafsanjani, Nabizadeh, 2021). ومن هذه التقنيات نمذجة معلومات المباني التي أثبتت قدرتها على زيادة كفاءة وسير عمل التصميم المتكامل، والدقة والسرعة في توثيق معلومات البناء والتقليل من الأخطاء، وتحسين كفاءة عملية التشييد والجدولة، والأداء التشغيلي للمشروع (Levy, 2011). كما أثبتت هذه التقنيات كفاءتها في دعم جميع المتخصصين في مجال صناعة البناء والتشييد لجعل عملية التخطيط والتصميم والبناء والتشغيل أكثر تكاملاً، وأكثر قدرة على تحقيق مكاسب كبيرة في مجال الاستدامة (Razkenari et al., 2016). ويوضح الشكل (١) إمكانيات تقنيات نمذجة معلومات المباني خلال مراحل دورة حياة المباني.

تعتمد تقنيات نمذجة معلومات المباني على استراتيجية متكاملة وشاملة لتوثيق كل ما يرتبط بالمباني خلال عمليات التصميم والتشييد والتشغيل وإدارة دورة الحياة على أساس النمذجة والمحاكاة الحاسوبية، ويتضمن ذلك استخدام



الشكل رقم (١). إمكانيات تقنيات نمذجة معلومات المباني خلال مراحل دورة حياة المباني

(<https://www.yclm.ca/events/2018/3/29/introduction-to-bim-part-2>, n.d.)



الشكل رقم (٢). مجالات البحث الرئيسة لتطبيقات نمذجة معلومات المباني في التصميم المستدام (Mohammad Ahmadzadeh Razkenari et al., 2016)

٢. إشكالية البحث وأهدافه ومنهجيته وأهميته

● **إشكالية البحث:** على الرغم من انتشار استخدام وتطبيق تقنيات نمذجة معلومات المباني في مجال التصميم المستدام على المستوى العالمي، وتطوير منصات وأدوات لتحسين عمليات التصميم والبناء وإدارة المشاريع، وفعاليتها في تحليل أداء المباني، إلا أن الدراسات التي تناولت تقنيات نمذجة معلومات المباني في المملكة العربية السعودية لم تتضمن بيانات كافية عن واقع الممارسة المحلية لمدى إتاحة هذه الاتجاهات وأهم التحديات التي تواجه تطبيقها، وهو ما يمثل إشكالية وفجوة بحثية يجب تجسيدها لتوفير البيانات اللازمة لدعم اتخاذ القرار في تحديد أولويات هذه الاتجاهات والتحديات

نظام لإدارة البيانات الرسومية المتكاملة وتدفق المعلومات المتعلقة بالمباني. ويمكن من خلال تطبيقاتها المتعددة دعم المصمم خلال مراحل التصميم المختلفة لاختيار وتقييم وتطوير مجموعات متنوعة ومعقدة من خيارات وبدائل بنود المواد والنظم المتاحة التي تؤثر بصورة مباشرة أو غير مباشرة في تحقيق الاستدامة (Ahmad et al., 2017)، كما يمكنها تحويل المفاضلين الفرديين إلى فرق تعمل كوحدات لا مركزية تعالج المشكلات المعقدة وتدمج المهام المنفصلة في عمليات متكاملة، وهو ما يمثل أهم أسباب زيادة الكفاءة وخفض تكاليف العمليات المختلفة طوال دورة حياة المبنى بأكملها (Reizgevičius et al., 2018). وأدت التطورات المتتالية في تقنيات نمذجة معلومات المباني إلى تيسير طرق وأساليب الأداء، وساعد الاتصال بين نموذج معلومات المباني وأدوات محاكاة وتحليل أداء المباني؛ المصممين خلال طرح وتقييم بدائل التصميم المقترحة لتحقيق التوازن بين جوانب ومتغيرات الأداء، ومتغيرات التشييد بشكل أسرع وأفضل من الناحية الاقتصادية، وتقليل الآثار السلبية على البيئة، وهذا ما أدى إلى اعتبار تقنيات نمذجة معلومات المباني أداة فعالة لتحويل قطاع المباني إلى نموذج أكثر استدامة (عيسى، ٢٠١٢). ويوضح الشكل (٢) المجالات المتعددة لدور تقنيات نمذجة معلومات المباني في تحقيق التصميم المستدامة.

● **والثاني:** تم فيه رصد أهمية وواقع إتاحة وتطبيق هذه الاتجاهات والتحديات في الممارسة المحلية بمدينة الرياض.

وقد تم الاعتماد على مصدرين أساسيين للحصول على المعلومات اللازمة لتحقيق أهداف البحث:

١. **المصدر الأول:** يرتبط بهدف استخلاص أهم اتجاهات وتحديات نمذجة معلومات المباني في مجال تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني، من خلال اختيار مصادر البيانات ذات العلاقة (المراجع العربية والأجنبية) ومواقع الإنترنت المختلفة، مع التركيز على الدراسات الحديثة لضمان الحصول على أحدث الاتجاهات والتحديات المتعلقة بمجال البحث. وبعد تحديد قواعد البيانات الرقمية وفترة النتائج على عدة مراحل خلصت الدراسة إلى ترشيح (٦٠) مرجعاً في هذا الجزء كما هو موضح بالشكل رقم (٣).



الشكل رقم (٣). إجراءات ترشيح واختيار مراجع البحث

وتوجيه الدعم اللازم لتحقيق فعالية تطبيقها، ومعالجة التحديات التي تواجهها، والاستفادة من إمكانياتها في تحقيق التصاميم المستدامة.

● **أهداف البحث:** يهدف البحث بصورة عامة إلى أن يكون إحدى مبادرات التحول الرقمي ضمن رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠ في مجال كفاءة استهلاك الطاقة؛ من جهة، وأن يمثل لبنة من لبنات تجسير الفجوة البحثية الحادثة في مجال توثيق واقع الممارسة المحلية لتقنيات نمذجة معلومات المباني في هذا المجال من جهة أخرى. ولتحقيق ذلك يهدف البحث إلى استخلاص أهم اتجاهات وتحديات تقنيات نمذجة معلومات المباني التي يمكن لتطبيقاتها دعم المصمم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني كأحد محاور تحقيق الاستدامة، ورصد واقع الأهمية النسبية لهذه الاتجاهات والتحديات التي تواجهها وواقع إتاحتها وتطبيقها في الممارسات المحلية بمدينة الرياض كمبادرة لدراسات مستقبلية تغطي هذا المجال على مستوى مدن المملكة.

● **منهجية البحث:** لتحقيق أهداف البحث تم تبني المنهج الوصفي التحليلي وتقسيم البحث إلى جزأين رئيسين:

● **الأول:** تم فيه مراجعة الدراسات السابقة لاستخلاص أهم اتجاهات وتحديات نمذجة معلومات المباني في مجال تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني.

الأهمية البحثية: يتوقع أن تساهم نتائج هذا البحث في دعم المسؤولين التنفيذيين في مكاتب تحقيق رؤية المملكة ٢٠٣٠، وفي مراكز اتخاذ القرار بالجهات المختلفة لتحديد أولويات دعم تطبيق أهم اتجاهات نمذجة معلومات المباني ومعالجة التحديات التي تواجهها، كما يتوقع أن يكون لها دور مهم في تشجيع الدراسات المستقبلية لتجسير الفجوة البحثية الحادثة في هذا المجال، والمساهمة في تحقيق أهداف برنامج التحول الرقمي لرؤية المملكة ٢٠٣٠.

٣. استخلاص اتجاهات وتحديات تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني

أثرت تقنية نمذجة معلومات المباني بشكل كبير على الهيكل التنظيمي لعمليات التصميم والتشييد وتقييم أداء المباني، وتشير الدلائل إلى أن للعديد من تطبيقاتها تأثيراً إيجابياً على استدامة قطاع البناء بأكمله (Reizgevičius et al., 2018). وقد أدى هذا التأثير إلى حدوث ثورة في الطريقة التقليدية للعمل في مراحل دورة حياة المشاريع: التخطيط والتصميم والتشييد والتشغيل والصيانة، وثورة في عمليات التعاون ومشاركة البيانات في خلال هذه المراحل التي يتداخل فيها عدد كبير من المتخصصين وهو ما أدى إلى زيادة الحاجة إلى ضرورة العمل في إطار منهجية واضحة وإطار قوي منظم يساعد على مشاركة إدارة بيانات المشروع بفعالية (Levante, 2018)، وضرورة تطوير التقنيات الحالية وابتكار تقنيات جديدة

٢. المصدر الثاني: يرتبط بهدف رصد واقع إتاحة وتطبيق هذه التقنيات والأهمية النسبية لها وللتحديات التي تواجه استخدامها وتطبيقها في السوق المحلي. فقد لجأ الباحثان إلى الاستبانة كأداة رئيسة لجمع المعلومات اللازمة لرصد الأهمية النسبية للاتجاهات والتحديات التي تم استخلاصها من الدراسة النظرية، وواقع إتاحة وتطبيق هذه التقنيات في الممارسة المهنية المحلية. وبدأ بإعداد تصميم أولي للاستبانة اعتماداً على نتائج الجزء الأول، ومن ثم عقد لقاءات مع عدد من الخبراء المتخصصين لهدفين رئيسين: الأول: عرض نتائج المراجعات الأدبية والتحقق من الاتجاهات والتحديات التي تم استخلاصها، والثاني: مراجعة التصميم الأولي لأداة جمع المعلومات (الاستبانة) وتطوير محاورها وأسئلتها التي توزعت على ٣ محاور:

- المعلومات الشخصية لمعرفة خصائص عينة الدراسة.
- أهمية وواقع إتاحة وتطبيق تقنيات نمذجة معلومات المباني التي يمكن لتطبيقاتها دعم المصمم في تحقيق تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني.
- التحديات التي تواجه تطبيق الاتجاهات الحديثة تقنيات نمذجة معلومات المباني والأهمية النسبية لها.

وتم إعداد تصميم وتوزيع الاستبانة على عينة البحث من خلال الوسائل الرقمية الحديثة.

يمكنها احتضان ودعم التحول الرقمي لصناعة البناء، والاستفادة بشكل شامل من ابتكارات تقنية نمذجة معلومات المباني المستقبلية (Khudhair et al., 2021).

ومع تصاعد الاهتمامات البيئية وتوجهات الاستدامة على المستوى العالمي والمحلي والحاجة لتحقيق أفضل وأنسب الحلول التي تحقق متغيرات ومحاور الاستدامة تأثرت عمليات تصميم المباني وتداخل معها عمليات أخرى لقياس العديد من متغيرات الأداء ذات العلاقة بالاستدامة، واتجاه المصممين والمعماريين والمهندسين الذين يرغبون في تحسين أداء الطاقة في تصاميمهم إلى استثمار وتوظيف إمكانيات تقنيات المحاكاة متعددة التخصصات لدعم عمليات استكشاف وتقييم المزيد من بدائل التصميم واتخاذ القرارات الساعية لتحقيق مستوى عال من أداء الطاقة، وما صاحب كل ذلك من تطور مستمر ومتسارع في تقنيات نمذجة معلومات المباني، ظهر العديد من الاتجاهات التي تدعم تحسين أداء الطاقة بالمباني، وأمكن من واقع مراجعات الدراسات السابقة التي تم ترشيحها لهذا البحث استخلاص أهم الاتجاهات التالية:

١. التكامل بين نمذجة معلومات المباني وتقنيات المحاكاة الرقمية في التقييم الفعال لأداء المباني نتيجة زيادة الطلب على دمج تقنيات نمذجة معلومات البناء ونمذجة معلومات المباني المتقدمة والمحاكاة خلال تصميم المباني (Rahmani Asl et al., 2015).

والذي أدى إلى زيادة قدرات هذه التقنيات في تحليل أداء المباني. وأكد على ذلك (Alothman et al., 2021) الذي أشار إلى أن المتغيرات الخارجية ومكونات المبنى الداخلية تؤثر بشكل كبير على تحسين أداء الطاقة في تصاميم المباني، وأن استخدام أدوات تقييم الطاقة جنباً إلى جنب مع تقنيات نمذجة معلومات المباني يدعم بشكل فعال صنع القرار في مراحل التصميم المبكرة وذلك من خلال اختيار مكونات ومواد البناء المناسبة، إضافة إلى تقليل استهلاك الطاقة الكلي في تصاميم المباني، وأشار إلى هذا الاتجاه أيضاً كل من (Bahar et al., 2013)، و (Wang & Bonenberg & Wei, 2015)، و (Oduyemi & Okoroh, 2016)، و (Cho, 2015)، و (Zanni et al., 2017)، و (Gan et al., 2019)، و (Z. Liu et al., 2019)، و (Amani & Soroush, 2020)، و (Al-Saggaf et al., 2020)، و (El Saadany & Omar, 2021).

٢. التكامل بين نمذجة معلومات المباني وأنظمة التقييمات الخضراء للمباني مثل LEED وBREEAM والذي تم مناقشته في كل من دراسة (Maltese et al., 2017)، و (Y. Liu et al., 2018)، و (Rahman et al., 2021)، ويركز على أنظمة تصنيف الاستدامة كمعايير لصنع القرار إلى جانب نمذجة معلومات المباني.

إليه كل من (Asl et al., 2013)، و(Kim et al., 2015)، و(Yan, 2017)، و(Zardo et al., 2019)، و(Alwan et al., 2021)، و(Sakikhales & Stravoravdis, 2015)، و(Uddin et al., 2021).

٦. ظهر كذلك اتجاه تسليم المشروع المتكامل القائم على نمذجة معلومات المباني والذي تناولته دراسة (Ganiyu et al., 2020)، و(Rana Dalui et al., 2020)، و(Ayman, Zaid Alwan, 2021)، والذي يظهر مقدرة الدمج بين تسليم المشروع المتكامل ونمذجة معلومات المباني في تحقيق أفضل النتائج لإدارة المشاريع.

٧. إدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني وتناوله العديد من الدراسات كدراسة (McArthur, 2015)، و(Gerrish, et al., 2017)، و(Rokooei, 2015)، و(Chien et al., 2017)، و(Z. Liu et al., 2019)، و(Lim et al., 2019)، و(Desogus et al., 2021)، و(Li et al., 2022)، و(Rafsanjani, Nabizadeh, 2021)، واهتمت هذه الدراسات بقضايا تطوير ومشاركة وتخزين بيانات نمذجة معلومات المباني بشكل فعال.

ومع التوجه نحو استثمار وتطبيق مثل هذه الاتجاهات، ظهر العديد من التحديات التي تواجه تطبيقها، وأمكن من واقع مراجعات الدراسات السابقة التي تم ترشيحها لهذا البحث استخلاص أهم التحديات التالية:

٣. ومع الاهتمام العالمي بإشكالية زيادة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني والتحول نحو خفض الكربون المتجسد في قطاع البناء، ظهر اتجاه توظيف تقنيات نمذجة معلومات المباني في تقييم انبعاثات الكربون المتجسد وأشار إليه كل من (Ariyaratne & Moncaster, 2014)، و(Kiamili et al., 2020)، و(Chen et al., 2021).

٤. كما اقترح بعض الدراسات دمج تقنيات نمذجة معلومات المباني مع تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في تصاميم المباني، حيث أشار (Long & Li, 2021) إلى أن تقنيات الذكاء الاصطناعي قدمت طرق بحث جديدة لتطوير تقنيات كفاءة استخدام الطاقة في تصاميم المباني، واستناداً إلى التطور في تقنيات نمذجة معلومات المباني اقترح إطاراً لتصميم مباني موفرة للطاقة قائم على التكامل بين تقنيات نمذجة معلومات المباني وتقنيات الذكاء الاصطناعي.

٥. ومع تطور كفاءة تقنيات النمذجة البارامترية؛ ظهر اتجاه جديد يهدف إلى تحسين التصميم المستدام للمباني يعتمد على تحقيق التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية لدعم المصمم في تحقيق الاستدامة خلال مراحل تصميم أو تحديث تصميم المباني، وأشار

١. ارتفاع تكلفة تنفيذ نمذجة معلومات المباني (البرامج والتدريب) والذي أشار إليه كل من و (Ahmed, 2018)، و (Georgiadou, 2019)، و (Deng et al., 2020).
٢. قلة الدعم من جهات الاختصاص والذي أشارت إليه دراسة (Yuan et al., 2019)، و (Saka et al., 2020)، و (Onososen & Musonda, 2022).
٣. الحاجة إلى معايير التطبيقات للتأكد من دقة النتائج للمحاكاة والذي تناولته عدة دراسات منها دراسة (Miller et al., 2014)، و (Shoubi et al., 2015)، و (Royapoor & Roskil, 2015)، و (Wang et al., 2017)، و (Wetter et al., 2019)، و (da Silva et al., 2021).
٤. صعوبة تعامل أغلب المماريين مع المصطلحات الهندسية للمتغيرات في تطبيقات المحاكاة والذي تم مناقشته في كل من دراسة (Marsh, 1999)، و (Bam-Anderson, 2009)، و (bardekar & Poerschke, 2009)، و (Ceranica et al., 2015)، و (Lewis et al., 2014)، و (al., 2019).
٥. نقص التعاون والدعم من أصحاب القرار (الإدارة العليا للمؤسسات) وأشار إليه كل من (Ullah et al., 2019)، و (Saka et al., 2020)، و (Manzoor et al., 2021).
٦. ندرة المصممين متعددي التخصصات ذوي المهارة باستخدام تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحقيق الاستدامة للمباني الحديثة والقائمة والذي أوضحته دراسة (Tulen-Khaddaj, 2015)، و (heimo, 2015)، و (Meng, 2015)، و (Abdulfattah et al., 2017)، و (& Srouf, 2016)، و (Kalfa, 2018)، و (Hossain & Yeoh, 2018)، و (Zhang et al., 2019)، و (Al-Hammadi & Tian, 2020)، و (Leśniak et al., 2021)، و (An-gelo et al., 2022).
٧. قلة الطلب الكافي من العملاء والسوق لتطبيقات نمذجة معلومات المباني في دراسة (Manzoor et al., 2021)، و (Onososen & Musonda, 2022).
٨. قلة الوعي والمعرفة بفوائد نمذجة معلومات المباني في البناء المستدام والذي تمت الإشارة إليه في كل من دراسة (Ahmed, 2018)، و (Ullah et al., 2019)، و (Deng et al., 2020).
٩. تحدي مقاومة التغيير الذي تم التنويه عنه في دراسة (Georgiadou, 2019)، و (Ullah et al., 2019)، و (Manzoor et al., 2021).
- وبناء على مراجعة ما تم استخلاصه من اتجاهات وتحديات تقنيات نمذجة معلومات المباني، تم التركيز على أهم الاتجاهات

١, ٤ الاتجاه الأول: التكامل بين نمذجة معلومات المباني وتقنيات المحاكاة الرقمية في تقييم أداء المباني:

تطورت تقنيات نمذجة معلومات المباني بصورة كبيرة خلال الفترة الأخيرة، ونالت الكثير من الاهتمام لفوائدها المتعددة، ومنها دورها في دعم المصممين والمنفذين والمشغلين في تحقيق استدامة البيئة المبنية، وأصبحت الدراسات حول تصميم المباني المستدامة أكثر منهجية، وذلك من خلال العديد من الإمكانيات والأدوات وبيانات البيئة المبنية التي توظفها هذه التقنيات في تحليل أداء المباني بفعالية، من خلال محاكاة الوظائف والأداء، وتقييم أداء مشاريع التصميم، وتمكين المصممين من توقع الأخطاء المحتملة في التصميم وتصورها ثم تعديل التصميمات في وقت مبكر لتقليل احتماليات فشل المشروع أو أحد أجزائه، ومن ثم أصبحت نمذجة معلومات المباني أداة شائعة الاستخدام في تحقيق التصميم المستدام (Oduyemi & Okoroh, 2016).

أصبح تقييم أداء المباني ذا أهمية متزايدة لدى المصممين مع ازدياد الحاجة لتطبيق مفاهيم الاستدامة والرغبة في معرفة أداء مبانيهم، وتقديم حلول سريعة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة فيها وتقليل الآثار البيئية التي يمكن أن تنتج عنها. في الوقت الحاضر، يتم توظيف نماذج معلومات المباني على نطاق واسع خلال مرحلة تصميم المباني الجديدة، بخاصة مع ما نتج عن التطور في التكامل بينها وبين تقنيات المحاكاة وسهولة

والتحديات التي ترتبط بمجال تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني كأحد محاور تحقيق الاستدامة، وعلى ما تكرر تناوله في الدراسات السابقة، تم ترشيح عدد (٣) اتجاهات وعدد (٤) تحديات ومن ثم عرضها على مجموعة من الخبراء المتخصصين لتأكيد مناسبتها وأهميتها في هذا المجال. وسيتناول القسم التالي من هذه الدراسة تحليل كل منها مع دعم التحليل بحالات دراسية.

٤. أهم اتجاهات تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني

اعتمادًا على ما تم من مراجعات للدراسات السابقة في القسم السابق، تم استخلاص ثلاثة من أهم اتجاهات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في المباني: التكامل بين نمذجة معلومات المباني وتقنيات المحاكاة الرقمية في التقييم الفعال لأداء المباني، والتكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية، وإدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني كما يوضحها الشكل (٤).

أبرز الاتجاهات الحديثة لتقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني

إدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني

التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية

التكامل بين نمذجة معلومات المباني وتقنيات المحاكاة الرقمية

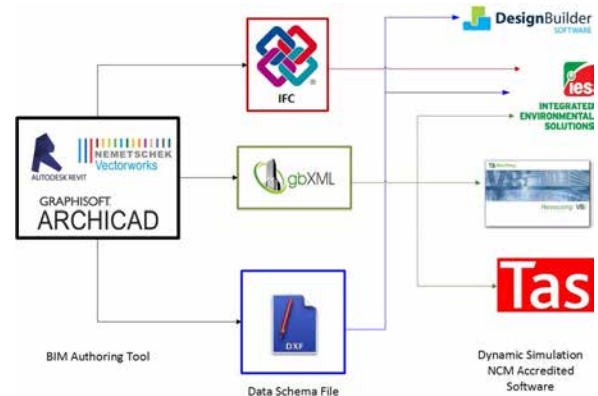
الشكل رقم (٤). أهم اتجاهات تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني (إعداد الباحثين من واقع المراجعات الأدبية)

نمذجة معلومات المباني لتحليل تأثير التهوية الطبيعية على الراحة الحرارية وأداء الطاقة في تصاميم المباني. ويمكن من خلاله توفير معلومات تتعلق بهندسة المباني والمواد والبيئة الخارجية، ودمجها مع ديناميكا الموائع الحاسوبية ومحاكاة طاقة المباني لتحليلات أكثر دقة حول التهوية الطبيعية، والمساعدة في الحفاظ على بيئة مريحة لشاغلي المبنى وتعزيز كفاءة الطاقة في تصاميم المباني. كما قام (Amani & Soroush, 2020) بإجراء دراسة لتقييم أداء الطاقة بناءً على تقنية نمذجة معلومات المباني، ووجد أن تطبيق هذه التقنية يمكن أن يؤدي إلى تحديد عناصر التصميم التي تؤدي إلى تقليل استهلاك الطاقة في المراحل الأولى من التصميم. كما أظهرت نتائج محاكاة الطاقة أنه سيتم تحقيق توفير بنسبة ١٦,٣٠٪ بناءً على كثافة استخدام الطاقة لنموذج المبنى الأساسي في أفق زمني مدته ٣٠ عامًا.

واستنتج (El Sayary & Omar, 2021) أداة مبسطة لتقييم استهلاك الطاقة الكهربائية (حاسبة الطاقة) كأداة لدعم القرار للمهندسين المعماريين والمصممين في المراحل الأولى من عملية التصميم، حيث طبقت هذه الدراسة التجريبية في مصر على مبنى حاصل على جائزة في تحقيق الاستدامة (جائزة حسن فتحي، ٢٠١١) ونجحت في تحقيق أهدافها بالوصول إلى مبنى صفري الطاقة عن طريق استبدال جميع الأجهزة الكهربائية بألواح شمسية كهروضوئية متوافقة مع معايير الصناعة.

تصديرها إلى برامج خارجية لإجراء التحليلات المختلفة ذات العلاقة بتقييم أداء وظائف المباني باختلاف نوعياتها (Wang & Cho, 2015). وفي مجال المباني الخضراء والمستدامة، أشار (Bonenberg & Wei, 2015) إلى إمكانية دمج نمذجة معلومات المباني في نظم تحليل الطاقة وتدفق الهواء والنظم البيئية للمباني، وتقليل الهدر في المواد وتحسين جودة البناء بتوظيف النماذج الرقمية للمباني والاستفادة من إمكانيات التشغيل البيئي بين التطبيقات المختلفة لإجراء المحاكاة والذي يتضح من الشكل (٥) على هذه النماذج الرقمية وتحليل المتغيرات المختلفة التي تفيد في تحسين تصميم وبناء المشاريع وإدارة العمليات.

وقد تناول العديد من الدراسات تطور إمكانيات التكامل بين نمذجة معلومات المباني وتقنيات المحاكاة الرقمية في التقييم الفعال لأداء المباني، حيث قدم (Gan et al., 2019) إطار عمل



الشكل رقم (٥). إمكانية التشغيل البيئي (Interoperability) بين أدوات نمذجة معلومات المباني والبرامج المعتمدة للمحاكاة

الديناميكية (Zanni et al., 2017)

تقييمها من حيث استهلاك الطاقة كما يتضح من الشكل (٦). وأظهرت نتائج المحاكاة أن التصميم (ج) هو الأقل استهلاكاً لحمل التبريد والأقل تكلفة للطاقة من التصميمين (أ) و(ب) كما يتضح في الشكل (٧). وتمت مقارنة نتائج هذه المحاكاة مع نظام قياس تأثير الطاقة القائم على الهندسة المعمارية لاختبار قابليته للتطبيق كنظام تسجيل لتحسين استهلاك أحمال تبريد الطاقة في مناطق المناخ الحار. وخلصت الدراسة إلى أن النظام المقترح يساعد المصممين في اختيار أفضل خيارات التصميم المعماري بالإضافة إلى تحسين وتقليل متطلبات حمل التبريد في مشاريع البناء، ومن ثم له دور كبير في الوصول إلى حلول تصميم مستدامة وتجنب تجاوز تكاليف الطاقة في مرحلة تشغيل المباني.

١, ١, ٤ حالات دراسية توضح التكامل بين نمذجة معلومات المباني وتقنيات المحاكاة الرقمية في تقييم أداء المباني

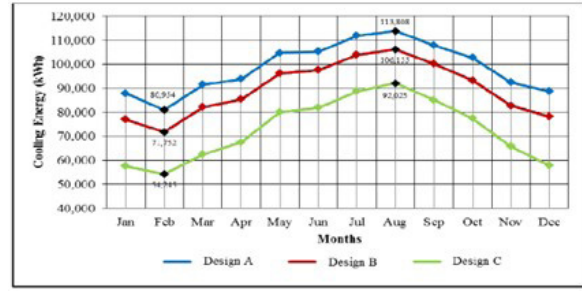
دراسة حالة (١): المحاكاة ونمذجة معلومات المباني لتقييم بدائل أحمال التبريد لتخفيض استهلاك الطاقة: اشتملت دراسة (Al-Saggaf et al., 2020) على حالة دراسية لمشروع بناء فيلا سكنية يقع في مدينة جدة (المملكة العربية السعودية) تم فيها إنشاء نماذج معلومات المباني للخيارات التصميمية بوساطة أحد تطبيقات نمذجة معلومات المباني (Rivet)، ثم تم دمجها مع أحد تطبيقات المحاكاة (Ecotect) لإجراء تحليل أحمال التبريد. تم اقتراح ثلاثة بدائل تصميم مختلفة (أ، ب، ج) لمبنى الفيلا ليتم

Design A					Design B				
1. Related to Wind Unlikely Wind	4. Facade Material Precast Concrete	7. Shape Complexity Simple (Regular)	10. Glazing Shape Irregular Shape	13. Span Dimension Medium (6.50m)	1. Related to Wind Likely Wind	4. Facade Material Block (Concrete)	7. Shape Complexity Normal (Moderate)	10. Glazing Shape Regular Shape	13. Span Dimension Long (7.60m)
2. Related to View Good Natural View	5. Glazing Percentage Medium (25.81%)	8. Number of Storey Medium-Rise (3-5)	11. Glazing Efficiency Medium Efficiency	14. Circulation Area High (33.22%)	2. Related to View Good Natural View	5. Glazing Percentage Medium (22.83%)	8. Number of Storey Medium-Rise (3-5)	11. Glazing Efficiency Low Efficiency	14. Circulation Area High (26.50%)
3. Building Form Simple (Regular)	6. Plan Efficiency Acceptable (70%)	9. Average Storey Height Normal (3.80m)	12. Sun-Breakers Geometry Simple Shape (1-P)		3. Building Form Normal (Moderate)	6. Plan Efficiency Efficient (98.61%)	9. Average Storey Height High (4.20m)	12. Sun-Breakers Geometry Normal Shape (2-P)	

Design C				
1. Related to Wind Likely Wind	4. Facade Material Brick (Stone)	7. Shape Complexity Normal (Moderate)	10. Glazing Shape Semi-Regular Shape	13. Span Dimension Long (7.60m)
2. Related to View Good Natural View	5. Glazing Percentage Small (17.94%)	8. Number of Storey Medium-Rise (3-5)	11. Glazing Efficiency High Efficiency	14. Circulation Area Normal (23.67%)
3. Building Form Normal (Moderate)	6. Plan Efficiency Efficient (109.88%)	9. Average Storey Height High (4.68m)	12. Sun-Breakers Geometry Normal Shape (2-P)	

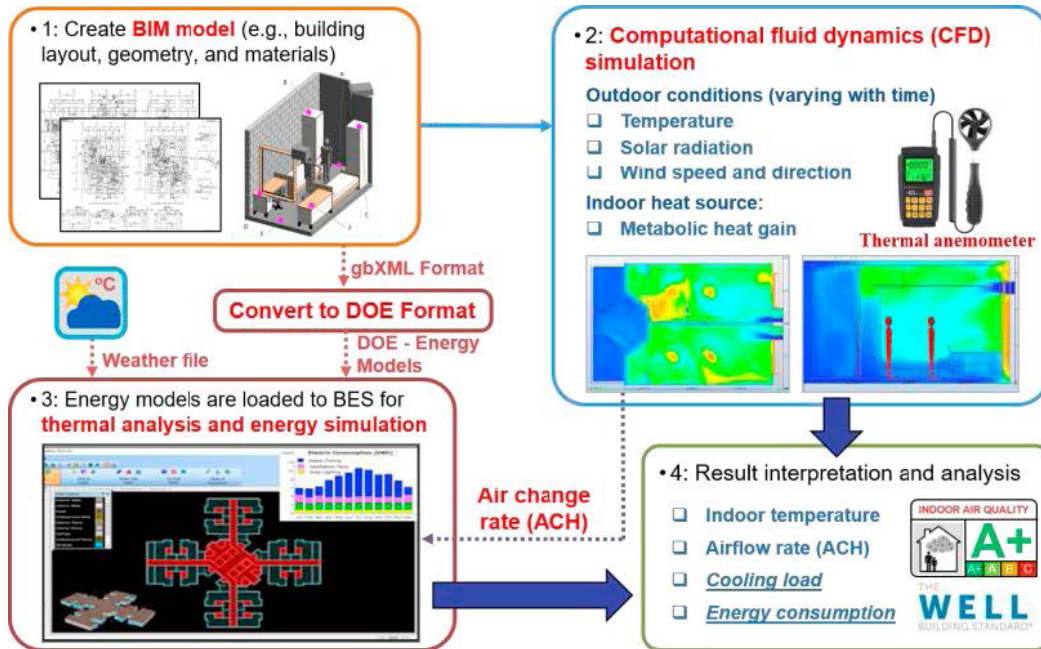
الشكل رقم (٦). نماذج نمذجة معلومات المباني للخيارات التصميمية الثلاثة ومتغيرات التصميم (Al-Saggaf et al., 2020)

للتحكم الحراري الداخلي وتقليل الطاقة. تمثلت الخطوة الأولى لتطبيق الإطار المقترح في تحديد مخطط تدفق المعلومات للمشروع كما يتضح من الشكل (٨)، ثم البدء بإنشاء نموذج معلومات المبنى واستخراج معلومات خصائص المواد من النموذج مثل التوصيل الحراري والإشعاع الشمسي لنمذجة عملية نقل الحرارة في محاكاة ديناميكا الموائع الحاسوبية ومحاكاة طاقة المباني ويوضحها الشكل (٩). وأظهرت النتائج أنه لا يمكن الاعتماد دائماً على استخدام التهوية الطبيعية فقط في تحقيق الراحة الحرارية، وساعد الإطار المقترح في تقييم التهوية الطبيعية في تصميم المباني للحفاظ على الراحة الحرارية الداخلية عند الحد الأدنى من استخدام الطاقة، ومن ثم خلق بيئة مبنية أكثر استدامة كما يتضح من الشكل (١٠).

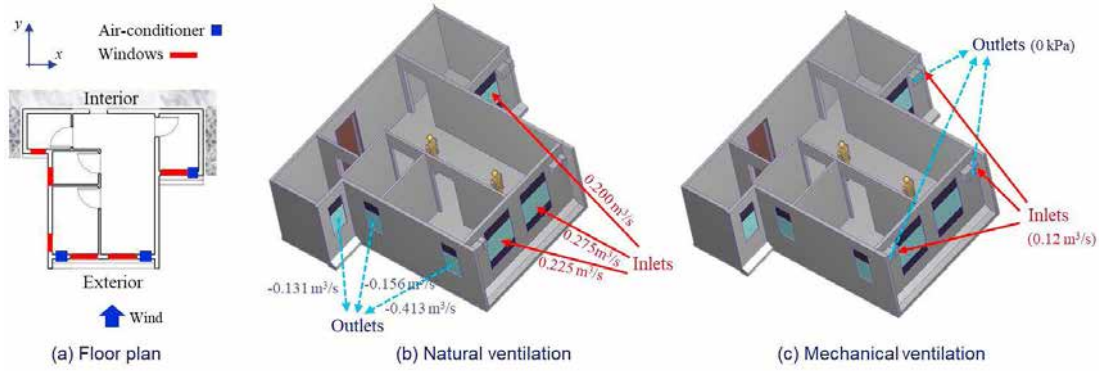


الشكل رقم (٧). الحد الأقصى والأدنى لاستهلاك أحمال التبريد (Al-Saggaf et al., 2020)

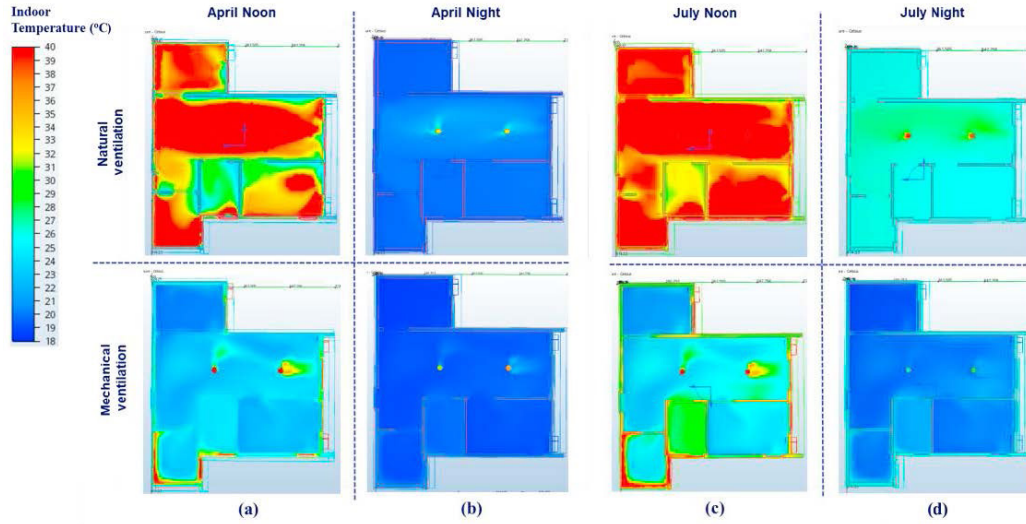
دراسة حالة (٢): المحاكاة ونمذجة معلومات المباني لتقييم إمكانية تخفيض استهلاك الطاقة باستخدام التهوية الطبيعية: اقترح (Gan et al., 2019) إطاراً يمكنه تنفيذ محاكاة أكثر كفاءة ودقة للبيئة الحرارية الداخلية وأداء طاقة المبنى بهدف التحقق من التهوية الطبيعية في شقة سكنية في هونغ كونغ في مواسم مختلفة



الشكل رقم (٨). مخطط انسيابي (Flow Chart) لإطار منهجية نمذجة معلومات المباني المقترح (Gan et al., 2019)



الشكل رقم (٩). نظرة عامة على نمذجة معلومات المباني (أ) مخطط الطابق، (ب) التهوية الطبيعية، (ج) التهوية الميكانيكية (Gan et al., 2019)



الشكل رقم (١٠). درجة الحرارة الداخلية للتهوية الطبيعية والميكانيكية خلال المواسم المختلفة باستخدام محاكاة ديناميكا الموائع الحاسوبية (Gan et al., 2019).

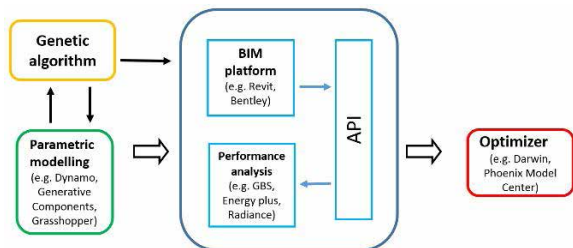
المباني والنمذجة البارامترية يمكن أن يكون فعالاً في محاكاة وتحسين أداء طاقة المبنى، حيث تتيح النمذجة البارامترية استكشاف جوانب التصميم ومتغيراته وعلاقاته في مرحلة التصميم المبكرة، خاصة عند اتخاذ قرارات التصميم الأكثر فاعلية للمباني المستدامة. (Asl et al., 2013) وأشار Zar- (do et al., 2019) إلى أن الاستخدام المرتبط بنماذج معلومات المباني وتقنيات التصميم البارامترية

٢، ٤ الاتجاه الثاني: التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية

يعد تكامل نمذجة معلومات المباني والنمذجة البارامترية اتجاهًا جديدًا لتطوير استخدام نمذجة معلومات المباني، والتي يمكن أن تفيد بشكل كبير في تصميم المباني المستدامة، كما أوضح (Azhar ، 2009) أن تكامل نمذجة معلومات

الرياح (Kim et al., 2015).

ومن جانب آخر؛ تم تقديم تجارب أولية لنمذجة معلومات المباني البارامترية المستندة إلى الويب (WP-BIM) لدعم التصميم التعاوني من خلال إطار عمل نموذجي متكامل فيه نمذجة معلومات المباني، والنمذجة البارامترية، وتقنيات الويب ويدعم تعاون المصممين عبر الإنترنت والسماح بالتصميم التشاركي للمستخدم (Yan, 2017). كما أمكن توظيف هذا التكامل في إنشاء أدوات مختلفة لتقييم أداء المبنى والتحليل الشامل لدورة حياة المبنى، حيث قام (Alwan et al., 2021) بتطوير أداة نمذجة معلومات مبانٍ بارامترية تركز على كل من الطاقة التشغيلية والمضمنة من خلال تحليل دراسة الحالة النوعي والكمي لدورة حياة المبنى. وأكدت نتائج ذلك أن الطاقة المضمنة تكون أكثر أهمية في المراحل الأولى من عمر المبنى، ثم يتم تجاوزها بسرعة بوساطة الطاقة التشغيلية. ويوضح الشكل (١٢) نموذجاً لإحدى القواعد التي تتكامل فيها نمذجة معلومات المباني مع النمذجة البارامترية.



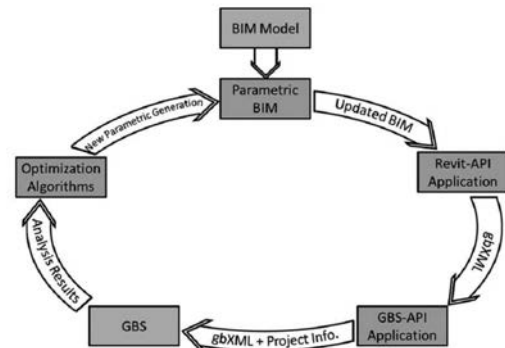
الشكل رقم (١٢). العلاقة بين المنصات في التصميم التكراري

لقاعدة نمذجة معلومات المباني (Sakikhales & Stravora-

(vdis, 2015)

يوفر وسائل لتطوير وتحسين عملية تصميم المباني وتمكين المصمم من الحصول على استقلالية أكبر لتطوير واستخدام أساليب التصميم الخاصة به، بخاصة عندما يتعلق الأمر بتحليل جوانب الأداء للمبنى وتكييف التصميم وفقاً لها.

قدم (Asl et al., 2013) أداة مبتكرة تدمج نمذجة معلومات المباني البارامترية ومحاكاة أداء الطاقة في تصاميم المباني؛ لتسهيل نمذجة معلومات المباني البارامترية المتكاملة وتعزيز تطبيقاتها نحو تصميم بناء إبداعي ومستدام، وتمكين المصممين من إنشاء خيارات بديلة في نمذجة معلومات المباني لاستكشاف نتائج محاكاة أداء الطاقة تلقائياً، كما يتضح من الشكل (١١). وأكد Wang et al., ٢٠١٠ أنه يمكن دمج أساليب التصميم والنمذجة البارامترية المستندة إلى نمذجة معلومات المباني في نمذجة وتشغيل عناصر العمارة المتحركة (Kinetic Architecture) لتمكن المباني من الاستجابة لتغيرات مناخية موسمية محددة بما في ذلك الاختلافات في الإشعاع الشمسي واتجاه



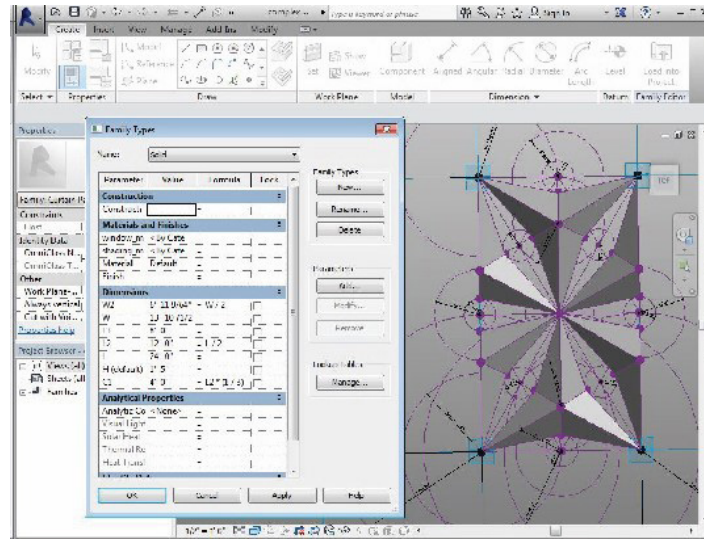
الشكل رقم (١١). تحسين الطاقة البارامترية القائم على نمذجة

معلومات المباني (Asl et al., 2013)

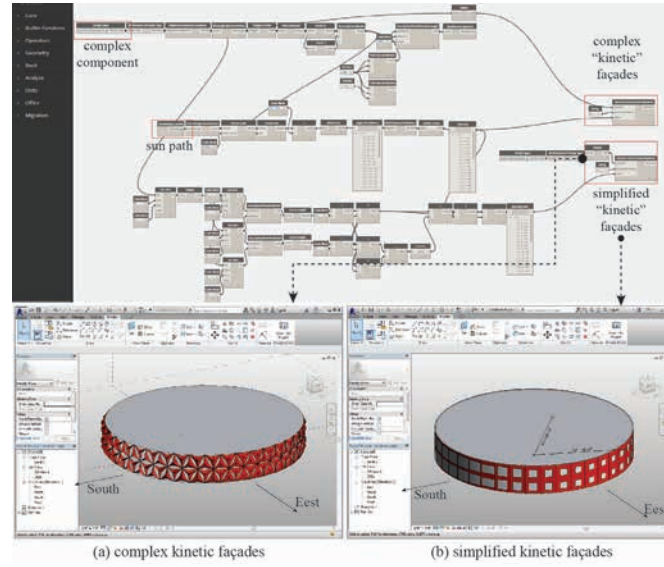
دراسة حالة (٢): النمذجة البارامترية ونمذجة معلومات المباني لتقدير الطاقة التشغيلية والمضمنة لكامل دورة حياة المبنى: هدفت الدراسة التي قام بها (Alwan et al., 2021) إلى تقديم أداة تقدير الطاقة البارامترية لكامل دورة حياة المبنى في نهج موحد وتمت على جزأين: الجزء الأول: تم فيه تطبيق مفاهيم نمذجة معلومات المباني الحالية لتدفقات العمل الرقمية على دراستي حالة؛ الأولى محلية والثانية تجارية (انظر الشكلين ١٥ و ١٦)، مع التركيز على منظوري الطاقة التشغيلية والمضمنة من أجل تحديد العناصر الحيوية للطاقة. وتضمن الجزء الثاني تطوير منصة لتحليل دورة حياة المبنى ضمن نمذجة معلومات المباني، وتوقع الباحثون أن يشكل هذا النهج تحليلاً مشتركاً لكل من الطاقة التشغيلية والمضمنة، والتي يمكن اعتمادها واستخدامها في قطاع البناء.

١, ٢, ٤ حالات دراسية توضح التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية

دراسة حالة (١): النمذجة البارامترية ونمذجة معلومات المباني لنمذجة الواجهات المتحركة المعقدة: قام (Kim et al., 2015) بإجراء دراسة اعتمدت على منهجية جديدة لتحليل أداء الطاقة للمباني ذات الواجهات المتحركة المعقدة، أمكن تطوير نظام يتم فيه دمج أساليب التصميم البارامترية المستندة إلى نمذجة معلومات المباني، ومن ثم مقارنة أداء الطاقة بالمبنى مع مبنى له واجهات ثابتة باستخدام أداة تحليل طاقة المبنى. تم تطبيق هذه الدراسة على نظام الواجهة سريع الاستجابة المطبق في مشروع أبراج البحر في أبو ظبي كحالة دراسية، كما يتضح من الشكل (١٣) و (١٤). وأكدت النتائج أن الواجهات المتحركة يمكن أن تستهلك طاقة أقل فيما يتعلق بمؤشر الفتحات، بالمقارنة مع الواجهات الثابتة المكافئة.



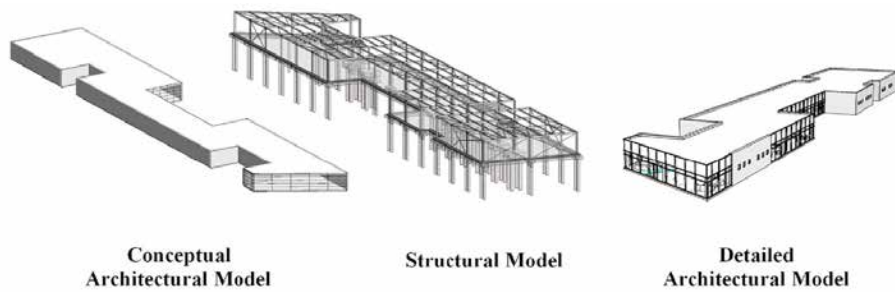
الشكل رقم (١٣). النمذجة البارامترية القائمة على نمذجة معلومات المباني للواجهات المعقدة (Kim et al., 2015)



الشكل رقم (١٤). بيئة برمجة مرئية ونموذج نمذجة معلومات المباني البارامتري (Kim et al., 2015)



الشكل رقم (١٥). نموذج نمذجة معلومات المباني لدراسة الحالة المحلية يوضح إبراز العناصر الرئيسة المطلوب تحليلها (Alwan et al., 2021)



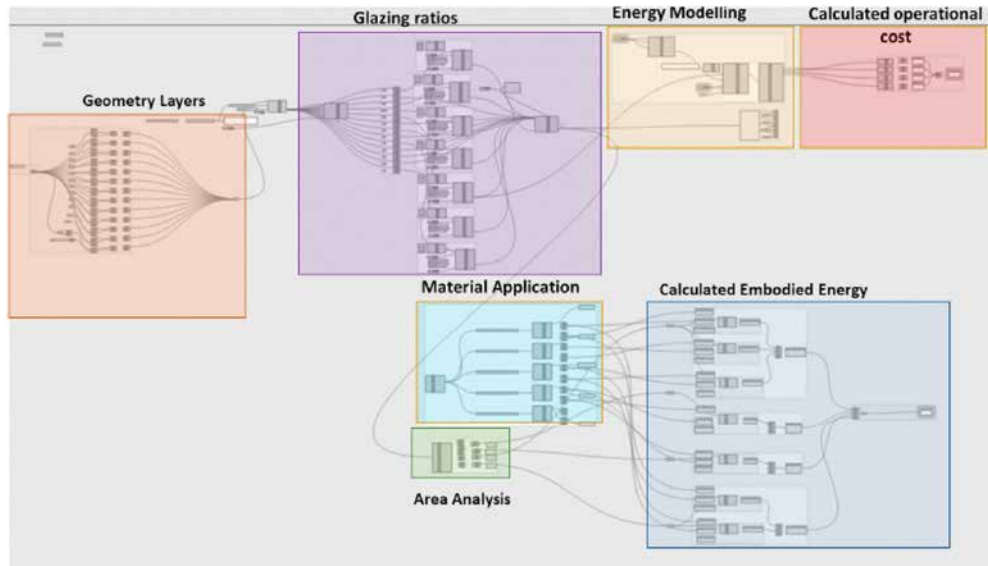
الشكل رقم (١٦). نموذج نمذجة معلومات المباني لدراسة الحالة التجارية في مراحل مختلفة من التصميم (Alwan et al., 2021)

٣, ٤ الاتجاه الثالث: إدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني

أصبحت نمذجة معلومات المباني عملية تعاونية شاملة في صناعة البناء، بعد أن شهدت نموًا متزايدًا خلال العقد الماضي وتطور قدراتها في دعم مشاريع البناء، ومكّنها ذلك من إنشاء لغة مشتركة بين جميع الأطراف وأقسام النظام في المشروع وجعلهم فريقًا متكاملًا. يتطابق نهج نمذجة معلومات المباني بشدة مع أنظمة تسليم المشروع المتكاملة، ويمكن تشبيه دور نمذجة معلومات المباني كمنسق لنظام المشروع إلى حد كبير مع دور مدير المشروع؛ حيث يتضمن أدوات يمكن من خلالها تشارك التخصصات المختلفة وبناء فرق تعاونية عن طريق الاتصال الفعال، لتحليل أنظمة المشروع وتقدير تكلفته ووقته خلال مراحل دورة حياته (Rokooei, 2015)، كما

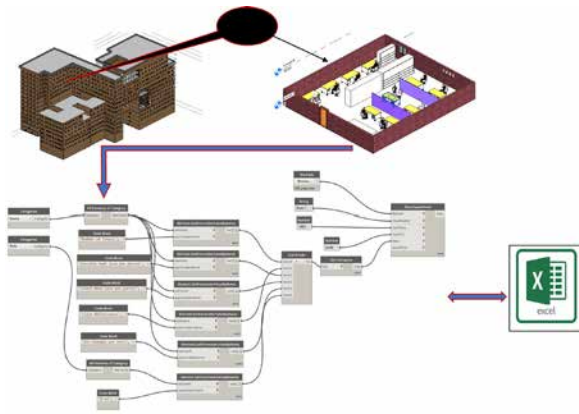
يدعم ذلك إدارة عمليات التشييد وإدارة المرافق للمشاريع، وتقديم واجهة موحدة للمعلومات المتعلقة بجميع جوانب بناء الأداء التشغيلي (McArthur, 2015).

تشير إمكانية التشغيل البيني (Interoperability) إلى قدرة نظامين منفصلين أو برنامجين على الاتصال وتبادل البيانات معًا. الميزة التي يوفرها النقل السلس للبيانات هي إزالة تكرار توليد البيانات في النماذج التحليلية، وضمان دمج الميزات المستدامة في مرحلة التصميم المبكرة. كما تعد قابلية التشغيل البيني أحد الموضوعات الرئيسة للبحث والتطوير في مجال تكنولوجيا المعلومات لصناعة العمارة والهندسة والبناء وإدارة المرافق (Bahar et al., 2013). وقد تناولت الدراسات التي ارتبطت بهذا الاتجاه العديد من الموضوعات التي تؤكد أهميته ودوره

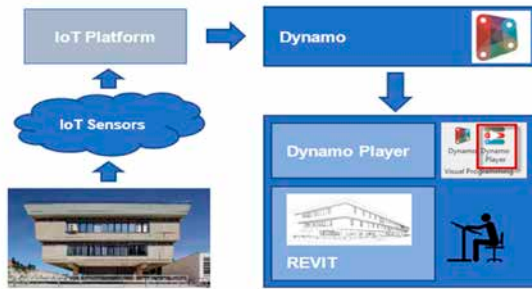


الشكل رقم (١٧). نظرة عامة على إطار عمل تطبيق Grasshopper تم تطويره لكل من الطاقة التشغيلية والمضمنة (Alwan et al., 2021)

المصرحة من Blockchain)، اعتمدت على تصميم البنية التحتية كخدمة مع الأجهزة والتقنيات الأساسية والبروتوكولات ذات العلاقة. ويوضح الشكل (١٨) و(١٩) نماذج لتبادل البيانات الرقمية بين نماذج معلومات المباني والتطبيقات الأخرى.



الشكل رقم (١٨). تبادل البيانات بين نمذجة معلومات المباني و (Excel) من خلال (Dynamo-API) (Uddin et al., 2021)

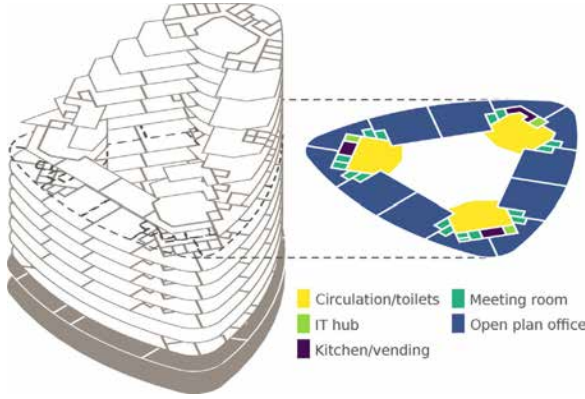


الشكل رقم (١٩). تدفق بيانات المراقبة (Desogus et al., 2021)

في دعم المصمم لتحقيق الاستدامة خلال المراحل المختلفة لعملية التصميم. فعلى سبيل المثال: قام (McArthur, 2015) بتطوير إطار عمل يتيح المرونة في تكييف نموذج معلومات المباني لتلبية الاحتياجات المتغيرة لفرق عمليات البناء، يعتمد على تنسيق الإدخال للبيانات المتعلقة بإدارة الطاقة والاستدامة، وهو ما يسمح بتقييم ترقية الطاقة المحتملة قبل الانتهاء من البناء الكامل للنموذج، وهو ما يكون له أثر فعال في تحقيق الاستدامة بطريقة جديدة وفعالة.

كما تم تطوير منصة حوسبة سحابية لنمذجة معلومات المباني (Cloud BIM-based Platform) في دراسة (Chien et al., 2017) بتطوير مجموعة من متطلبات المستخدم المتقدمة لالتقاط الوظائف الأساسية لنماذج النظام المرغوبة، ودمج معلومات وبيانات نظم إدارة معلومات المباني، ونظم إدارة المرافق، ونظم إدارة الصيانة المحوسبة، واستشعار البيئة في النظام الأساسي القائم على نمذجة معلومات المباني، وقد تم تطبيق ذلك في مبنى قائم في سنغافورة. وقد وفرت التطورات الحالية في مجال التوأمة الرقمية (Digital Twin) بين المبنى الفعلي ونموذج المبنى الرقمي دعماً كبيراً لإدارة جميع البيانات والمعلومات لعملية تحديث التصميم (Desogus et al., 2021). كما نتج عن دراسة (Li et al., 2022) بنية نظام جديد لإحدى منصات إدارة البيانات (منصة (IoT-BIM (BIBP

البيانات بين التطبيقات المختلفة.



الشكل رقم (٢٠). نموذج دراسة الحالة (Gerrish et al., 2017)



الشكل رقم (٢١). عملية نقل البيانات واستخراجها وتصورها (Gerrish et al., 2017)

دراسة حالة (٢): تبادل البيانات بين نمذجة معلومات المباني والنمذجة البارامترية وخوارزمية تحسين متعددة الأهداف لأتمتة عملية اتخاذ قرار تحديث التصميم الأخضر: اعتمدت دراسة (Lim et al., 2019) على تطبيق نمذجة معلومات المباني الحاسوبية (Computational BIM) لأتمتة عملية اتخاذ القرار خلال عملية التصميم من أجل تحديث التصميم الأخضر لغلاف المبنى الحالي. وتم التحقق من صحة النموذج المقترح من خلال دراسة حالة لمبنى قائم في ماليزيا كما

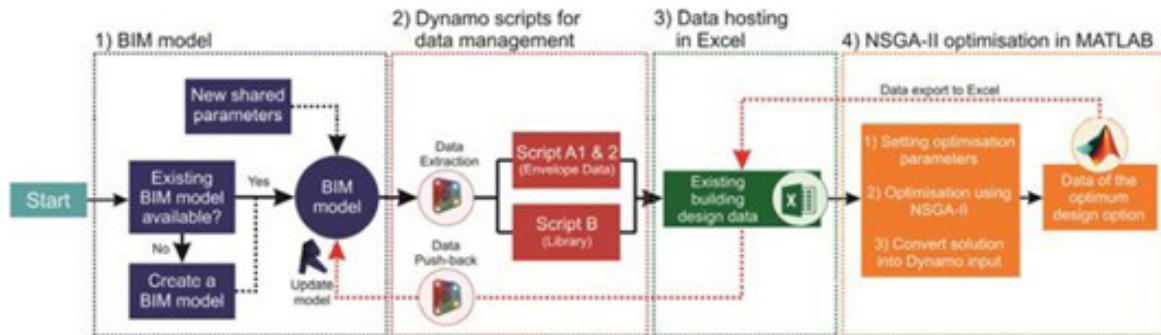
دراسة حالة (١): ربط بيانات نموذج معلومات المباني ونظام إدارة المبنى: اعتمدت دراسة (Gerrish, et al., 2017) على إمكانية استخدام نمذجة معلومات المباني كأداة لدعم تصور وإدارة أداء المبنى من خلال تطبيق طريقة لالتقاط وتصنيف وربط البيانات المخزنة عبر بيانات بيئات نمذجة معلومات المباني المتباينة حاليًا ونظام إدارة المباني، وهدفت الدراسة إلى تحديد العوائق التي تواجه تنفيذ نمذجة معلومات المباني لمصممي المباني والمشغلين كأداة لتحسين الأداء. طورت الطريقة التي تم اتباعها الترابط بين وثائق التصميم وأداء المبنى بتحديد المتطلبات التقنية لنمذجة معلومات المباني وأداء المبنى. أجريت الدراسة التطبيقية على مبنى مكتبي يوضحه الشكل (٢٠)، تم اختياره بسبب إمكانية الوصول إلى بيانات التصميم والتشغيل وحالته كمبنى مشغول. تم تحقيق التشغيل البيئي للبيانات وتفسيرها من خلال الواجهة الأمامية لتطبيق نظام إدارة المبنى BMS وتطبيق (Python)، كما تم تطبيق نمذجة معلومات المباني كأداة لإدارة الأداء باستخدام التقنيات التقليدية. واتضح من الدراسة الحاجة إلى إدارة بيانات أكثر فعالية في كل من التصميم والتشغيل لدعم ربط هذه البيئات الغنية بالبيانات بعضها بالآخر وبالتعليقات الواردة من مصممي المباني والمشغلين، وهو ما يوفر إرشادات لإنتاج البيانات وتحديد مصادرها لدعم إدارة أداء المباني باستخدام نمذجة معلومات المباني. ويوضح الشكل (٢١) تسلسل انتقال

تحسين مستوى الأتمتة في اتخاذ قرارات تحديث التصميم الأخضر من خلال النهج الحاسوبي القائم على نمذجة معلومات المباني والذي تمت صياغته، وقدمت نتائج هذه الدراسة مستوى أعلى من الأتمتة لإدارة بيانات تحديث التصميم لغلاف المبنى باستخدام الطريقة الحاسوبية المستندة إلى نمذجة معلومات المباني المطورة حديثاً. كما أدى الدمج بين نمذجة معلومات المباني والنمذجة البارامترية وخوارزمية التحسين متعددة الأهداف إلى فتح إمكانية أتمتة وتسريع عملية تقييم أداء تحديث التصميم، وتصميم اتخاذ القرار بنتائج دقيقة وموثوقة ومحسنة.

يتضح من الشكل (٢٢)، حيث تم دمج أداة نمذجة معلومات المباني (Revit)، وأداة البرمجة البارامترية المرئية (Dynamo) وخوارزمية التحسين متعددة الأهداف (NSGA-II MATLAB) لإنشاء طريقة حاسوبية قائمة على نمذجة معلومات المباني لبناء التحديث التصميمي للغلاف من خلال تحسين القيمة الإجمالية للنقل الحراري وتكلفة الاستثمار في البناء كما يتضح من الشكل رقم (٢٣). وأظهرت النتائج أن التصميم الأمثل حقق انخفاضاً بنسبة ٧٨،٤٤٪ في القيمة الإجمالية للنقل الحراري مع تكاليف استثمارية قدرها ٣٦٩، ١٨٢ (رينغيت ماليزي) كما يتضح من الجدول رقم (١). وأظهرت الدراسة إمكانية



الشكل رقم (٢٢). دراسة حالة مبنى قائم (أ) صورة، (ب) نموذج نمذجة معلومات المباني (Lim et al., 2019)



الشكل رقم (٢٣). سير العمل المنطقي وتحسين تكلفة المبنى الحالي (Lim et al., 2019)

جدول رقم (١). تخفيض إجمالي قيمة النقل الحراري (OTTV) وتكلفة الاستثمار لجميع السيناريوهات

Orientation	Scenario 1			Scenario 2		
	OTTV (W/m ²)	OTTV reduction (%)	Investment cost (RM)	OTTV (W/m ²)	OTTV reduction (%)	Investment cost (RM)
North-east	39.62	19.91	31,374	25.96	47.53	92,832
South-east	42.50	33.87	57,571	41.65	35.19	83,553
North-west	39.23	19.65	36,874	25.57	47.64	96,134
South-west	41.40	34.46	62,845	31.38	50.32	96,663
Overall	40.64	27.54	188,664	30.97	44.78	369,182

(Lim et al., 2019)

٥. أهم التحديات التي تواجه تطبيق تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني

من واقع ما تم من مراجعات للدراسات السابقة والتي أشير إليها في القسم الثالث من البحث، تبين أن أهم التحديات التي تواجه الاتجاه الأول للتكامل بين نمذجة معلومات المباني وتقنيات المحاكاة الرقمية في التقييم الفعال لأداء المباني تتمثل في معايير التطبيقات للتأكد من دقة النتائج للمحاكاة، وصعوبة تعامل أغلب المماريين مع المصطلحات الهندسية للمتغيرات في تطبيقات المحاكاة. كما يشترك كل من الاتجاهات الثلاثة في التحديات المتمثلة في ندرة المصممين متعددي التخصصات ذوي المهارة باستخدام تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني الحديثة والقائمة، بالإضافة إلى متطلبات إدارة وتخزين وتأمين ومعالجة البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني كما هو موضح في الشكل (٢٤)



الشكل رقم (٢٤). تصنيف أهم التحديات التي تواجه تطبيق اتجاهات تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني (إعداد الباحثين من واقع المراجعات الأدبية)

١, ٥ التحدي الأول: معايير التطبيقات للتأكد من دقة النتائج للمحاكاة:

تساعد تقنية محاكاة أداء المباني صانعي القرار والمهندسين والمماريين، في مراحل التصميم وما قبل البناء، على اختيار أفضل المواصفات بأقل تأثير ضار على البيئة. يمكن استخدام

وعلى الرغم من إمكانية توفير محاكاة نمذجة معلومات المباني مخططاً لكفاءة الطاقة، إلا أنه قد لا يكون أفضل مخطط لتوفير الطاقة لتأثير قيمة مخرجات المحاكاة إلى حد كبير ببيانات الإدخال. وأكدت دراسة (Wang et al., 2017) أن استخدام تقنية القياس الفرعي يساعد في التحقق من دقة المحاكاة، وأن تحليل التحديث التصميمي للمباني يعتمد في جزء منه على الاستدلال والخبرة وأفضل الممارسات، وأن توظيف تقنيات المحاكاة والقياس تمكن من الوصول إلى أنسب مخطط لتوفير وزيادة كفاءة الطاقة في المبنى. ونجحت دراسة (Miller et al., 2014) في توضيح عملية جديدة لاستخراج المعلومات من نمذجة معلومات المباني إلى نموذج طاقة المبنى باستخدام إحدى قيم الأداء للتصميم الذي يتم محاكاته، وتطوير هذه العملية واستخدامها كجزء من عملية التحديث التصميمي للنموذج المعايير.

٢, ٥ التحدي الثاني: صعوبة تعامل أغلب الممارسين مع المصطلحات الهندسية للمتغيرات في تطبيقات المحاكاة:

تم توجيه قدر كبير من الجهود البحثية والتطبيقية في تطوير تقنيات محاكاة المباني وتحليل الأداء وتوفير مجموعة واسعة من الأدوات التي تدعم المصممين خلال عمليات التطبيق، وأدى ذلك إلى استخدامات واسعة النطاق في كل من التطبيقات البحثية والتجارية. وتوجه تركيز التطوير في هذا المجال على المحاكاة الدقيقة للعمليات الفيزيائية الأساسية، مثل: آليات

نمذجة معلومات المباني بطريقة متكاملة مع تقنيات المحاكاة لخلق فرص لتقييم وتحسين أداء المباني في مراحل التصميم المختلفة، وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني، كأحد محاور تحقيق الاستدامة، وتقليل الحاجة إلى تعديلات التصميم اللاحقة التي تتطلب وقتاً وتكلفةً إضافيين (Shoubi et al., 2015). تتطلب عمليات تحليل الطاقة محاكاة متعددة المقاييس ويعتمد تحسينها على استخدام نماذج حرارية وكهربائية وسلوكية. كما يمكن سد الفجوة بين الأداء التصميمي والأداء الفعلي من خلال التشغيل ومراقبة الطاقة واكتشاف الأخطاء وتشخيص أسبابها (Wetter et al., 2019).

إن قابلية تطبيق «نموذج طاقة المبنى» تعتمد بشكل مباشر على شرط أساس وهو تمثيل الظواهر الحقيقية بدقة مقبولة. ويتطلب تحسين موثوقية نتائج المحاكاة مرحلة معايرة، والتي تتكون من عملية ضبط متغيرات الإدخال لتمثيل المبنى في النموذج، للحصول على مخرجات محاكاة قريبة من البيانات الحقيقية المقاسة (da Silva et al., 2021). وقد ذكر (Loshin, 2013) أن إنشاء وصيانة وتحديث نماذج المباني الافتراضية يتطلب بشكل متزايد مستويات أعلى من الدقة. كما أوضح (Raftery, 2011) أن توفر كل من الطاقة التي تم محاكاتها والطاقة المقاسة وبيانات الراحة يعطي مسألة معايرة النموذج فاعلية أكبر، حيث تعد معايرة نموذج البناء مقياساً على دقته (Royapoor & Roskilly, 2015).

التطبيقية لتنمية قدراتهم في هذا الجانب (Anderson, 2014). وقد أشار (Ceran et al., 2015) إلى أنه على الرغم من زيادة الأبحاث المنشورة حول قابلية التشغيل البيئي وجوانب التعاون في المشروع منذ بدايتها، وأنه تم تنفيذ قدر كبير من العمل على جوانب قابلية التشغيل البيئي التقني لنمذجة معلومات المباني وتحليل التصميم المستدام، إلا أن الممارسة لا تزال جديدة إلى حد ما، والممارسون في حيرة من مقدار وتعقيد الحلول البرمجية على السوق.

٣, ٥ التحدي الثالث: ندرة المصممين متعددي التخصصات ذوي المهارة باستخدام تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني

تم استخدام نمذجة معلومات المباني بشكل شائع في مجالات متعددة للعمارة والهندسة والتشييد في السنوات الأخيرة. حاول عدد كبير من دول العالم اعتماد أنظمة نمذجة معلومات المباني لتعميم فوائدها المتعددة، لكن استخدام هذه الأنظمة يتطلب معرفة ومهارة وخبرة عميقة ولسوء الحظ لا يتوافر العدد الكافي من خبراء نمذجة معلومات المباني في العديد من البلدان (Kalfa, 2018). من خلال استكشاف وتحليل التحديات والعقبات الحرجة لاستخدام تقنية نمذجة معلومات المباني في قطاعات البناء؛ أشارت دراسة (Al-Hammadi & Tian, 2020) إلى أن العديد من الحواجز المهمة التي تؤثر سلباً على استخدام نمذجة معلومات المباني، في المملكة

تدفق الحرارة عبر المواد، وحركة الهواء المضطربة والانعكاس الداخلي للضوء، وتم استخدام نماذج رياضية مفصلة لمتغيرات هذه الحسابات، وقد أدى ذلك إلى إنتاج أدوات ذات نهج هندسي للغاية وقائم على الحلول، وبينما ازداد قبول هذا التوجه بين مهندسي البناء من التخصصات غير المعمارية، كانت هناك استجابة بطيئة نسبياً لهذه التقنيات بين المهندسين المعماريين نتيجة لما شعروا به من الصعوبة والتعقيد للمتغيرات المرتبطة بهذه التقنيات (Marsh, 1999).

وعلى الرغم من تطور تقنيات محاكاة الطاقة وتحسين واجهات تطبيقاتها ليسهل استخدامها من قبل المهندسين غير المتخصصين في مراحل التصميم المبكرة، إلا أنهم يعتبرون أن الإرشادات المتاحة محدودة للغاية، وهو ما كان حافزاً لبعض الدراسات التي تستهدف الطرق التي تزيد من تعامل المهندسين المعماريين مع تطبيقات محاكاة الطاقة بشكل أفضل من خلال تمكينهم من تحديد وترجمة استفسارات التصميم إلى مهام محاكاة للحصول على دعم القرار اللازم لاختيار بدائل التصميم المناسبة من جهة، وتعريفهم بالمفاهيم والعمليات المتضمنة في محاكاة الطاقة من جهة أخرى (Bambardekar & Poerschke, 2009).

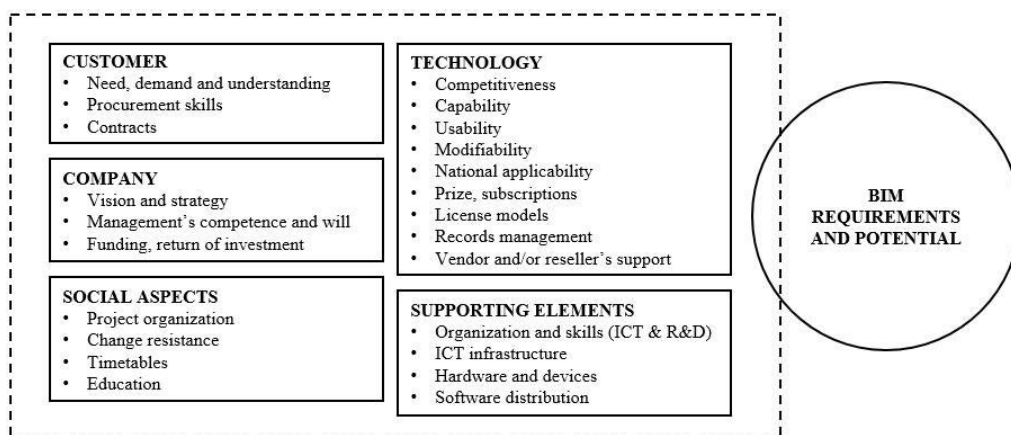
باستخدام تقنيات المحاكاة للنماذج التصميمية، يمكن للمهندسين المعماريين فهم تأثيرات تصاميمهم على استهلاك الطاقة، إذا أمكنهم تطوير معارفهم عن طريق المشاريع

يتطلب تطبيق نمذجة معلومات المباني مستوى عاليًا من دعم تكنولوجيا المعلومات، حيث يستوعب العديد من شركات الاستشارات الهندسية وحدات منفصلة للبحث والتطوير إلى جانب تكنولوجيا المعلومات والاتصالات المسؤولة عن صيانة وتطوير التقنيات الحالية، بالإضافة إلى إدخال تقنيات وأدوات جديدة. ويتمثل التحدي الرئيس في أن الافتقار إلى موظفين متعددي التخصصات يتمتعون بالمعرفة الفنية ومهارات الابتكار، سيقول من قدرة المؤسسات والشركات على إدخال وتنفيذ تقنيات جديدة، وإذا لم يكن أعضاء الفريق ذوي رؤية أو منفتحين على التغيير، فإن مشاريع التطوير والتنفيذ محكوم عليها بالفشل (Tulenheimo, 2015).

وتزداد صعوبة معالجة هذا التحدي بالنظر إلى الحاجة لتوافر خبراء لهم معرفة وخبرة مزدوجة بمجال نمذجة معلومات المباني ومجال الاستدامة، وهذا يجعل الحكومات والمؤسسات أمام تحدٍّ كبير بشكل خاص في تطوير المواهب متعددة التخصصات (Meng, 2015). واتفق مع هذا الرأي (Isayyar, Jrade, 2015) الذي أكد إشكالية نقص في الخبراء متعددي التخصصات في صناعة البناء، وعدم قدرة مستخدمي تقنية نمذجة معلومات المباني في الحصول على تدريب تقني شامل، وهو ما يقلل من كفاءة العمل.

العربية السعودية، ترتبط بنقص الطلب، ونقص الخبراء، وضعف الوعي بفوائد نمذجة معلومات المباني، والتي لها مؤشرات أهمية نسبية أكبر، بينما تشكل مسؤوليات البيانات غير المحددة، وصعوبة تعلم نمذجة معلومات المباني، ونقص مشاركة البيانات، والتكنولوجيا الحالية الكافية، تحديات أقل أهمية. وأشار (Lewis et al., 2019) إلى عدد من العوامل منها: منحنى التعلم كأحد حواجز استخدام نمذجة معلومات المباني في محاكاة الطاقة.

وفي السياق نفسه أكدت دراسة (Abdulfattah et al., 2017) أن نقص الخبراء والتدريب على نمذجة معلومات المباني يعتبر العائق الأكبر لاستخدام نمذجة معلومات المباني والتغلب على التحديات المرتبطة بوعي أصحاب المصلحة في البناء بتحديات تنفيذ نمذجة معلومات المباني في دولة الكويت، ومدى وعي المصممين والمهندسين المعماريين وأصحاب المصلحة في البناء بهذه التحديات، إلى جانب تحديد الحلول العملية لتسهيل استخدامها. كما أشار Hama-adama (٢٠٢٠) إلى ١٤ تحديًا حول العالم حددها باحثون مختلفون، تضمنت نقص الخبرة، وارتفاع تكلفة الاستثمار، والافتقار إلى التوحيد القياسي، والمسائل التشريعية على أنها عوائق كبيرة أمام تنفيذ نمذجة معلومات المباني (Leśniak et al., 2021).



الشكل رقم (٢٥). التحديات الرئيسة المرتبطة بمتطلبات التقنيات الجديدة لنظم نمذجة معلومات المباني (Tulenheimo, 2015)

ثنائي الأبعاد وما إلى ذلك، تحتاج إلى خبرة في مجال النمذجة اللازمة لتكوين نموذج معلومات المباني بالتفاصيل المطلوبة، علاوة على ذلك، فإن معظم هذه التقنيات معقد، ويتطلب معرفة متخصصة، والخطوات الأساسية لا تزال يدوية تواجه تحديات في التعامل مع متغيراتها، ومن ثم تصبح عملية نمذجة معلومات المباني القائمة مرهقة مع زيادة مستوى التفاصيل (Hossain & Yeoh, 2018).



الشكل رقم (٢٦). نمذجة عمليات الأعمال (BPM) القائمة على نمذجة معلومات المباني لتحديث المباني القائمة (Angelo et al., 2022)

ويزيد من عبء تكلفة تخطي هذا التحدي، التكلفة المرتبطة بمتطلبات إنشاء نظام مستدام لإدارة معلومات وصيانة المعدات اللاحقة وتحديثات برامج نمذجة معلومات المباني، كما يتضح من الشكل (٢٥)، والتي تعتبر عالية بالنسبة لأغلب المكاتب والمؤسسات والشركات. (Zhang et al., 2019).

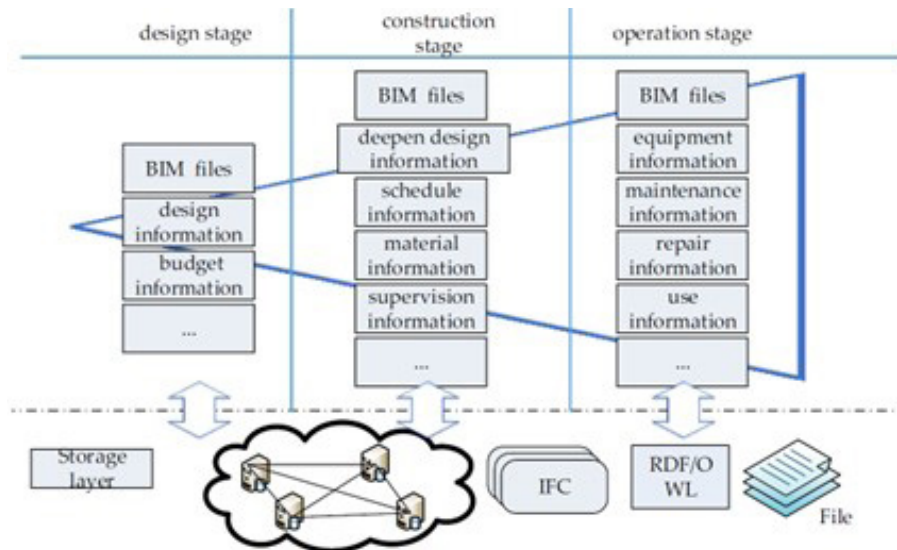
وعلى مستوى تحديث المباني القائمة: فإن تطبيق نمذجة معلومات المباني لتحديث تصميم المباني القائمة، كما يوضحه الشكل (٢٦)، يواجه تحديات قد تكون بسبب الطبيعة متعددة التخصصات لتبادل المعلومات، وحسن توقيت التبادل، والمجموعة الواسعة من المكونات التقنية اللازمة لضمان التبادل الأمثل (Khaddaj & Srouf, 2016)، فالتقنيات المختلفة المستخدمة في التقاط بيانات البناء مثل: التصوير، والمسح الضوئي ثلاثي الأبعاد (3D scanning)، ورادار اختراق الأرض (GPR)، والمخططات المسوحة ضوئياً

٤, ٥ التحدي الرابع: متطلبات إدارة وتخزين وتأمين ومعالجة البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني

حظيت نمذجة معلومات المباني باهتمام واسع النطاق في مجالات البناء وإدارة المشاريع. ونظرًا للكميات الكبيرة من المعلومات، والحاجة إلى مشاركة الموارد بين الإدارات والتخصصات المختلفة، والفترة الزمنية الطويلة لتطبيق نمذجة معلومات المباني، والتحديات المتعلقة بقابلية التشغيل البيني للبيانات، والأمن والتكلفة، والحاجة لنظام التخزين السحابي كأحد أهم الاتجاهات في تطويره كما يوضحه الشكل (٢٧)، وتحديات متطلبات تخزين وتأمين ومعالجة البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني وغيرها من التحديات؛ فقد أدى ذلك كله إلى البطء في تطبيقه (Ding & Xu, 2014).

التحديات المرتبطة بتطبيقات عمليات

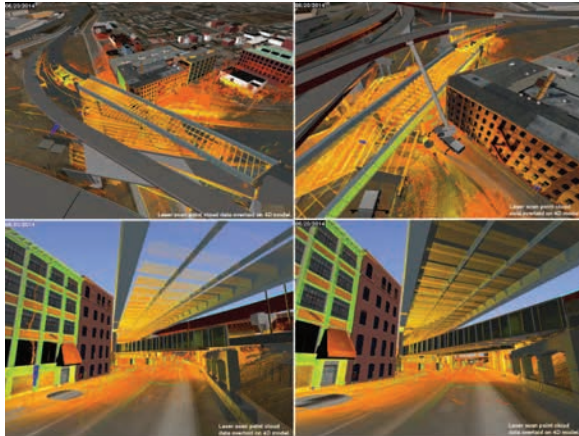
الحوسبة السحابية كثيرة وتنطوي على قدر كبير من المشاركة لتحسين توصيل أجهزة إنترنت الأشياء (IoT) عبر البنية التحتية للإنترنت، الذي يعتمد على تكامل نمذجة معلومات المباني مع البيانات في الوقت الفعلي من أجهزة إنترنت الأشياء؛ بهدف تحسين كفاءات البناء والتشغيل، إلى جانب توفير نماذج نمذجة معلومات المباني عالية الدقة للعديد من التطبيقات (Altohami et al., 2021)، كما تمثل مخاوف أمن المعلومات أحد أهم هذه التحديات نظرًا للقلق الكبير الذي يمثله حفظ وتأمين البيانات المستضافة بشكل عام، سواء على مستوى مخاوف أمن البيانات ومستوى مخاوف الأمن السيبراني. وأشار معظم خبراء نمذجة معلومات المباني إلى أن استخدام التخزين السحابي لاستضافة بيانات النماذج الرقمية غير آمن وعرضة للاختراق والقرصنة؛ لأن عنصر المصادقة للوصول إلى البيانات ليس



الشكل رقم (٢٧). استخدام تقنية التخزين السحابي بشكل فعال في دورة حياة نمذجة معلومات المباني (Ding & Xu, 2014)

المباني المحتملين على النظر في الخيارات بعناية (S. Liu et al., 2015).

وتزداد التحديات في مجال حفظ وتأمين ومعالجة البيانات في حال نمذجة المباني القائمة التي تعتبر عملية معقدة ومكلفة بسبب التحديات الحالية، وتزداد التعقيدات مع زيادة مستوى التفاصيل لنمذجة معلومات المباني في وظائف التشغيل والصيانة وإدارة المرافق، وفي بعض المشاريع أو المرافق الكبيرة التي تتطلب عملية مسح ثلاثي الأبعاد للمنشأة لتتبع تقدم المشروع أو تغييرات المنشأة؛ تكون عملية إعداد نموذج معلومات المبنى الذي يتميز بالدقة وقلة الأخطاء على درجة كبيرة من الصعوبة والتعقيد (كما يتضح من الشكل (٢٨))، ويكون مكلفاً للغاية، وتتأثر جودة النموذج بشكل كبير إلى الحد الذي يؤثر على دقة التحليلات لكشف التعارضات (Tan Qu & Wei Sun, 2015).



الشكل رقم (٢٨). بيانات سحابة نقطة المسح (Point Cloud) بالليزر متراكبة على نموذج رباعي الأبعاد لتحليل قابلية البناء في

المشروع (Tan Qu & Wei Sun, 2015)

جيداً بما يكفي (Alreshidi, Mourshed, and Rezgui, 2017). وعلى الرغم من استفادة قطاع البناء من اعتماد أدوات وأنظمة إدارة المعلومات الجديدة التي تسمح للمهنيين بتطوير ومشاركة وتخزين بيانات البناء بشكل أكثر فعالية، ونجاح هذه الأدوات في معالجة العديد من مشكلات التشغيل البيئي التقليدية التي أثرت على الصناعة، إلا أن العديد من التحديات لا يزال دون حل.

يضاف إلى ذلك تحديات الخصوصية والتكلفة، فالاتصال الفعال في العالم الحقيقي لا يعتمد فقط على التوافق بين تنسيقات البيانات والأنظمة، ولكن أيضاً على قضايا مثل الخصوصية والشفافية والثقة. وظهر بروتوكول (Blockchain) كأحد مداخل تخطي هذه المشكلات؛ حيث يمكن من خلاله حماية الاتصالات والبيانات من التلاعب من الأطراف غير المصرح لها، وغالباً ما تتم عمليات نمذجة معلومات المباني و (Blockchain) بشكل متزامن؛ لأن (Blockchain) يتعامل مع البيانات، وعمليات نمذجة معلومات المباني هي المصدر الأساس لهذه البيانات (Darabseh & Martins, 2020). كما تمثل تكلفة تأمين ومعالجة البيانات أحد التحديات المهمة أيضاً حيث يتطلب تنفيذ نمذجة معلومات المباني برامج محددة وتخزين للبيانات، وهو ما يعني تكلفة كبيرة للشركة، هذه التكلفة قد تشكل عائقاً أمام الشركات الصغيرة. تجبر قضية التكلفة المستثمرين ومستخدمي نمذجة معلومات

٦. الدراسة الميدانية: الأهمية النسبية لاتجاهات وتحديات تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني وواقع إتاحتها وتطبيقها بمدينة الرياض

تم تطبيق هذه الدراسة في مدينة الرياض بالملكة العربية السعودية، بهدف رصد واقع إتاحة وتطبيق الاتجاهات الحديثة لتقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني، والتحديات التي تواجه تطبيقها في الممارسة المهنية المحلية، والأهمية النسبية لكل منهما. ولتحقيق أهداف البحث تم الاعتماد على استراتيجية مجموعات التخصص أو التركيز (Focus Group) التي تم اختيارها من الخبراء المتخصصين من عينة البحث وعقد لقاءات معها قبل تنفيذ المسح الميداني من خلال الاستبانات لهدفين رئيسين: الأول: عرض نتائج المراجعات الأدبية والتحقق من الاتجاهات والتحديات التي تم استخلاصها، والثاني: مراجعة التصميم الأولي لأداة جمع المعلومات (الاستبانة) وتطوير محاورها وأسئلتها.

٦،٣ مجتمع وعينة الدراسة وأدوات جمع المعلومات

• مجتمع وعينة البحث

يتكون مجتمع البحث من فئتين: المكاتب الهندسية، والمختصين الأكاديميين بالجامعات، وقد تم حصر مجتمع البحث بعدد (٢٥٦) أكاديمي ومهندس ومتخصص كالتالي:

الأكاديميون بالجامعات السعودية: تم مراجعة مواقع أعضاء هيئة التدريس بكيليات العمارة بالجامعات السعودية وأمكن حصر عدد (٨٠) عضو هيئة تدريس متخصص في مجال التقنيات الحديثة للبناء.

المهندسون العاملون في المكاتب الاستشارية: تم مراجعة موقع الهيئة السعودية للمهندسين وأمكن حصر عدد (١٧٦) مكتب استشاري في المجال المعماري. وافترض أن كل مكتب لديه مهندس واحد، على الأقل، متخصص في مجال نمذجة معلومات المباني، ومن ثم يكون مجتمع البحث من هذه الفئة هو عدد المكاتب الهندسية نفسه.

واعتماداً على أحد مواقع حساب عينة البحث^(١)، واعتبار مستوى الثقة (٩٥٪) ومدى الخطأ (٥٪)، ونسبة تمثيل العينة ١٠٪، بلغت عينة الدراسة عدد (٩١).

• تصميم أداة جمع المعلومات (الاستبانة)

اعتمد التصميم الأولي للاستبانة على ما تم التوصل إليه في الجزء النظري، ثم تم تطويرها بعد مقابلات مع مجموعة التخصص التي تمت الإشارة إليها. وتكونت الاستبانة من ثلاثة أقسام: الأول: يتعلق بالمعلومات الشخصية لتحديد خصائص عينة الدراسة، والثاني: تضمن أسئلة لتحديد الأهمية النسبية للاتجاهات والتحديات التي تم التوصل إليها في

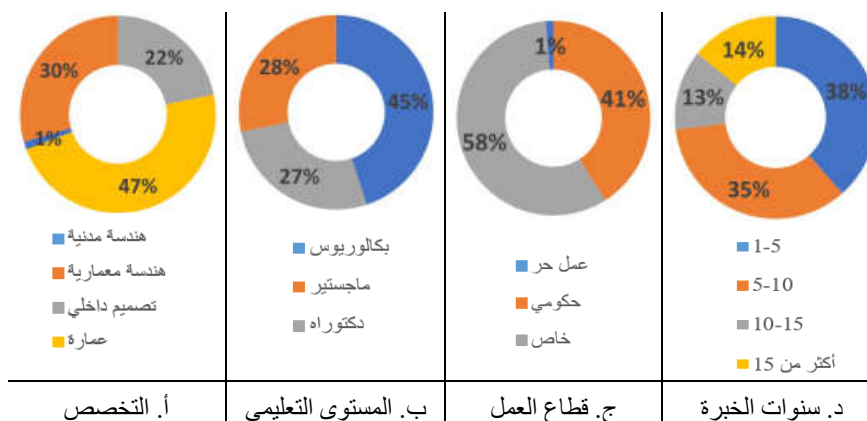
(1) <https://www.calculator.net/sample-size-calculator.html?type=1&cl=95&ci=5&pp=10&ps=256&x=49&y=32>

من القطاع الخاص ويمثلون نسبة ٥٨٪ (٤٥ مشاركا).

٦,٣ الأهمية النسبية للاتجاهات

الجزء الأول من القسم الثاني لأسئلة البحث ارتبط بالأهمية النسبية للاتجاهات الحديثة لتقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني وكانت استجابات عينة الدراسة، كما يتضح من الشكل (٣٠)، كالتالي:

- اكتسب كل من الاتجاهات الثلاثة لتقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين استهلاك الطاقة في تصاميم المباني أهمية نسبية كبيرة من منظور المشاركين وتمثل ذلك في إجاباتهم بـ (مهم جداً) و (مهم)، والذي يتراوح مجموعها ما بين ٧٠ - ٧٥٪، كما تقاربت الآراء في الإجابات المتعلقة بـ (متوسط الأهمية) حيث قاربت من نسبة ٢٠٪ لكل من الاتجاهات الثلاثة.



الشكل رقم (٢٩). خصائص عينة الدراسة

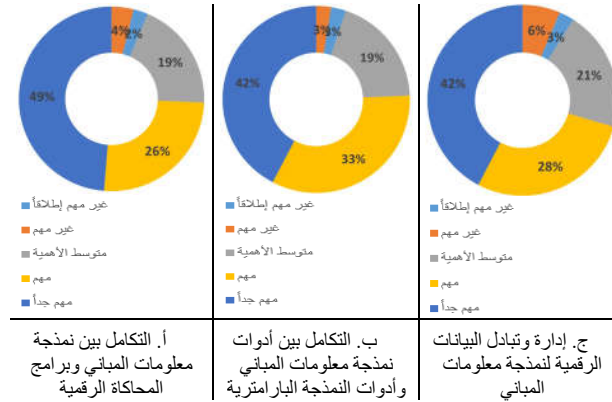
الجزء النظري، أما القسم الثالث: فتضمن أسئلة لرصد واقع مدى إتاحة وتطبيق الاتجاهات التي تم استكشافها في الواقع المحلي.

● توزيع الاستبانة ونسب الاستجابة

تم إعداد وتوزيع الاستبانة رقمياً من خلال منصة جوجل (رابط الاستبانة <https://forms.gle/VycUgXFZ8bE4LM769>)، وبعد حصر جميع الاستجابات واستبعاد غير المكتمل منها، بلغ عدد الاستجابات المكتملة عدد (٧٨) استجابة من إجمالي العينة (٩١)، بنسبة استجابة بلغت (٨٦٪). وتم تحليل النتائج لمحاوَر الاستبانة فكانت وفق ما يلي:

٦,٢ خصائص عينة الدراسة

الشكل (٢٩) يوضح خصائص عينة الدراسة حسب متغيرات المشاركين، حيث تبين أن ٤٧٪ (٣٧ مشاركا) من عينة الدراسة من تخصص العمارة، كما أظهر أن أغلب المشاركين



الشكل رقم (٣٠). الأهمية النسبية لاتجاهات تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني

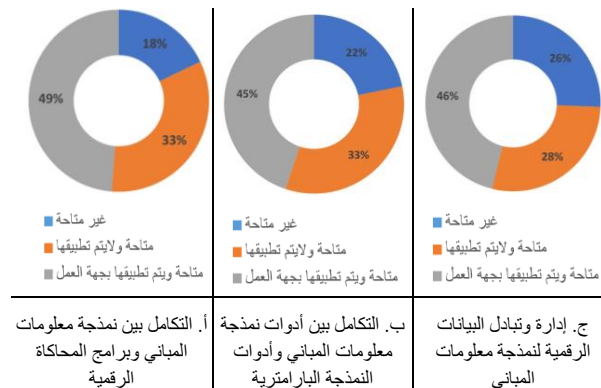
إتاحة الاتجاهات الثلاثة لتقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني وتطبيقها في عملهم تتراوح ما بين ٤٥ - ٤٩٪.

- تساوت نسب واقع الإتاحة وعدم التطبيق في اتجاه التكامل بين نمذجة معلومات المباني وبرامج المحاكاة الرقمية واتجاه التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية بنسبة

٦, ٤ واقع إتاحة وتطبيق الاتجاهات الحديثة في المملكة

تعلق الجزء الثاني من القسم الثاني لأسئلة البحث برصد واقع إتاحة واستخدام الاتجاهات الحديثة لتقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني في الممارسة المحلية. وكانت استجابات عينة الدراسة، كما يتضح من الشكل (٣١)، كالتالي:

- تبين أن نسبة المشاركين الذين أفادوا بواقع



الشكل رقم (٣١). واقع إتاحة وتطبيق اتجاهات تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني

من خلال الإجابة (بمهم جداً) و(مهم) ما يتراوح بين ٧٢ - ٨٢٪، كما تراوحت نسبة المشاركين الذين أدلوا (بمتوسط الأهمية) في إجاباتهم للتحديات الأربعة ما بين ١٤ - ٢٣٪. وعلى النقيض من ذلك، أجاب ما يتراوح مجموعه ما بين ٢ - ٥٪ من المبحوثين (بغير مهم) و(غير مهم إطلاقاً).

٦, ٦ تحليل بيانات أخرى من الاستبيان

عند سؤال المشاركين عن الاتجاه الرابع أو الخامس الذي يرغبون في إضافته قام أحد المشاركين بإضافة اتجاهين جديدين من واقع تجربته، وكان الاتجاه الرابع المضاف هو الربط بين نمذجة معلومات المباني وجميع مراحل التنفيذ حتى تسليم المشروع، والاتجاه الخامس هو الاستفادة من نمذجة معلومات المباني في الهندسة القيمة (Value Engineering) للمشروع دعماً للاستدامة، وحدد أهميتهما النسبية (بمهم جداً) و(مهم) على التوالي. كما اقترح إضافة تحديين جديدين، حيث كان التحدي الأكبر من وجهة نظره حتى الآن هو الخلط بين مفهوم نمذجة معلومات المباني ومفهوم إدارة المشروع (Project Management)، والتحدي الآخر يتمثل بوعي فريق العمل بالمشروع بالحد الأدنى من مفهوم نمذجة معلومات المباني لتحقيق التكامل بين فريقَي العمل التقني والإداري، وجاءت أهميتهما النسبية (بمهم جداً) لكلا التحديين.

٣٣٪ لكل منهما، بينما انخفضت في اتجاه إدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني إلى نسبة ٢٨٪.

● في حين أظهرت النتائج أن اتجاه إدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني كانت النسبة الأكبر فيه ٢٦٪ لعدم الإثابة والتطبيق، يليه اتجاه التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية بنسبة ٢٢٪، ومن ثم اتجاه التكامل بين نمذجة معلومات المباني وبرامج المحاكاة الرقمية بنسبة ١٨٪.

٦, ٥ الأهمية النسبية للتحديات وأولويات تناولها

الجزء الثالث والأخير من الأسئلة البحثية تناول الأهمية النسبية للتحديات التي تواجه تطبيق الاتجاهات الحديثة لتقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني في الممارسة المحلية. وكانت استجابات عينة الدراسة، كما يتضح من الشكل (٣٣)، كالتالي:

● أشارت نسب الأهمية النسبية للتحديات التي تواجه تطبيق الاتجاهات الحديثة لتقنيات نمذجة معلومات البناء لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني؛ إلى الأهمية الكبيرة لهذه التحديات من وجهة نظر المشاركين، حيث شكل مجموع الذين أفادوا بواقع أهمية هذه التحديات الأربعة

٧. النتائج والمناقشة

أمكن من واقع المراجع التي تم ترشيحها واختيارها لهذه الدراسة استخلاص ثلاثة من أهم اتجاهات تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني:

- التكامل بين نمذجة معلومات المباني وبرامج المحاكاة الرقمية.
- التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية.
- إدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني.

● واتضح من تحليل نتائج رصد واقع الممارسة المحلية في مدينة الرياض أن اتجاه التكامل بين نمذجة معلومات المباني وبرامج المحاكاة الرقمية، واتجاه التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية؛ هما الاتجاهان الأكثر أهمية من منظور المشاركين في تطوير واقع صناعة البناء المتجهة نحو تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني، ويليهما الاتجاه الخاص بإدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني.

● وتبين واقع الاتجاهات غير المتاحة أو المتاحة ولا يتم تطبيقها، حيث كانت بنسب تتراوح بين ٥١٪ - ٥٥٪، وكان أكثر هذه الاتجاهات من حيث عدم الإتاحة أو الإتاحة وعدم التطبيق هو اتجاه التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني

وأدوات النمذجة البارامترية (٥٥٪)، ومقارب له اتجاه إدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني (٥٤٪)، ويليه اتجاه التكامل بين نمذجة معلومات المباني وبرامج المحاكاة الرقمية (٥١٪)، وهو ما يستوجب النظر إلى هذه الاتجاهات والعمل على توفيرها في السوق المحلي وتشجيع تطبيقها.

كما أمكن من واقع المراجع التي تم ترشيحها واختيارها لهذه الدراسة استخلاص أربعة من أهم التحديات التي تواجه تطبيق تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني، وهي:

- معايير التطبيقات للتأكد من دقة النتائج للمحاكاة.
- صعوبة تعامل أغلب الممارسين مع المصطلحات الهندسية للمتغيرات في تطبيقات المحاكاة.
- ندرة المصممين متعددي التخصصات ذوي المهارة باستخدام تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحقيق كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني.

● متطلبات إدارة وتخزين وتأمين ومعالجة البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني.

● واتضح من تحليل نتائج رصد واقع الممارسة المحلية في مدينة الرياض أن التحدي الخاص بندرة المصممين متعددي التخصصات

- ذوي المهارة باستخدام تقنيات نمذجة معلومات المباني لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني هو أهم تحدٍّ يجب معالجته والاهتمام به في الوقت الحالي، يليه التحدي الخاص بصعوبة تعامل أغلب الممارسين مع المصطلحات الهندسية للمتغيرات في تطبيقات المحاكاة، ويليه التحدي الخاص بمعايرة التطبيقات للتأكد من دقة النتائج للمحاكاة، وآخرًا التحدي الخاص بمتطلبات إدارة وتخزين وتأمين ومعالجة البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني.

٨. الخلاصة والتوصيات والرؤى المستقبلية

- تطبيق أفضل للتقنيات الحديثة لنمذجة معلومات البناء لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في تصاميم المباني في الممارسة المحلية، تختتم هذه الورقة بالتوصيات التالية للجهات المختصة والشركات، والأفراد لتعزيز تطبيق هذه التقنيات في تصاميم المباني المستدامة، وهي:
- استكمال إجراء دراسات مشابهة لهذه الدراسة في مدن المملكة المختلفة لتجسير الفجوة البحثية الحادثة في مجال واقع الممارسة المحلية لتقنيات نمذجة معلومات المباني.
- إجراء المزيد من الدراسات في الفرعين الرئيسيين للدراسة من الاتجاهات والتحديات بصورة متعمقة للخروج بنتائج أكثر تفصيلاً وتحليلاً.
- فتح محاور لأبحاث مستقبلية تتناول واقع تطبيق التقنيات الرقمية المتقدمة مثل: تقنيات الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence)، والبيانات الضخمة (Big Data) في تصاميم المباني المستدامة، والتحديات التي تواجه تطبيقها في الممارسة المحلية.
- النظر في قيود تطبيق التقنيات، حيث يمكن لجهات الاختصاص وضع سياسات فنية وإدارية مناسبة للتنفيذ الفعال لتقنيات نمذجة معلومات المباني في تصاميم المباني المستدامة، بحيث يمكن تطبيق هذه التقنيات بشكل أكثر فعالية.
- على مستوى المؤسسات، على متخذي القرار أن يكونوا ذوي رؤية ومنفتحين على التغيير بدعم التطوير والابتكار. كما يجب الاهتمام بالتدريب الفني والتقني للمصممين في مجال الجمع بين تقنيات نمذجة معلومات المباني والاستدامة، والعمل على تطوير المهارات، بخاصة تطوير المواهب متعددة التخصصات.
- ومن المنظور الفردي للمصمم، من المهم رفع الوعي بقيمة تطبيق تقنيات نمذجة معلومات المباني في تصاميم المباني المستدامة، وتطوير المهارات المعرفية والتقنية. بالإضافة إلى رفع قابلية التعامل مع المستجدات في مجال التقنيات، وتطوير

- doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.239
- Ahmed, S.** (2018). Barriers to Implementation of Building Information Modeling (BIM) to the Construction Industry: A Review. *Journal of Civil Engineering and Construction*, 7(2), 107. <https://doi.org/10.32732/jcec.2018.7.2.107>
- Al-Hammadi, M. A., & Tian, W.** (2020). Challenges and Barriers of Building Information Modeling Adoption in the Saudi Arabian Construction Industry. *The Open Construction & Building Technology Journal*, 14(1), 98–110. <https://doi.org/10.2174/1874836802014010098>
- Al-Saggaf, A., Taha, M., Hegazy, T., & Ahmed, H.** (2020). Towards Sustainable Building Design: The Impact of Architectural Design Features on Cooling Energy Consumption and Cost in Saudi Arabia. *Procedia Manufacturing*, 44(2019), 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.215>
- Allothman, A., Ashour, S., & Krishnaraj, L.** (2021). Energy Performance Analysis of Building for Sustainable Design Using Bim: A Case Study on Institute Building. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11(2), 556–565. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i2.11825.g8222>
- Alreshidi, Eissa, Mourshed, Monjur and Rezgui, Y.** (2017). Factors for effective BIM governance.
- Altohami, A. B. A., Haron, N. A., Ales@ Alias, A. H., & Law, T. H.** (2021). Investigating approaches of integrating BIM, IoT, and facility management for renovating existing buildings: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/su13073930>
- Alwan, Z., Nawarathna, A., Ayman, R., Zhu, M., & ElGhazi, Y.** (2021). Framework for parametric assessment of operational and embodied energy impacts utilising

مهارات التواصل الفعال مع أعضاء فريق المشروع لتحقيق التكامل بين الفرق التقنية والإدارية.

٩. المراجع

المراجع العربية:

حنان عيسى. (٢٠١٢). منهج دمج إستراتيجيات التصميم المستدام في تقنية نمذجة معلومات المباني: الإمكانيات الحالية و الاحتمالات المستقبلية. مجلة جامعة الملك سعود - كلية العمارة والتخطيط، م ٢٤ (٢)

Arabic References:

Hanan Suliman Eissa Mohammed. (2012). The Methodology of Integrating the Sustainable Design Strategies in Building Information Modeling Technology (BIM): Current Abilities and Future Possibilities. *J. King Saud Univ., Arch. & Planning*, 24(2).

English References:

- Abdulfattah, N. M., Khalafallah, A. M., & Kartam, N. A.** (2017). Lack of BIM training: Investigating practical solutions for the state of Kuwait. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 11(8), 1050–1056. <http://www.waset.org/publications/10007742>
- Ahmad, T., Aibinu, A., & Thaheem, M. J.** (2017). BIM-based Iterative Tool for Sustainable Building Design: A Conceptual Framework. *Procedia Engineering*, 180, 782–792. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.239>

- International Building Performance Simulation Association 2009, 1306–1313.
- Bonenberg, W., & Wei, X.** (2015). Green BIM in Sustainable Infrastructure. *Procedia Manufacturing*, 3(Ahfe), 1654–1659. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.483>
- Ceranic, B., Latham, D., & Dean, A.** (2015). Sustainable design and building information modelling: Case study of energy plus house, hieron's wood, derbyshire UK. *Energy Procedia*, 83, 434–443. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.163>
- Chen, C., Zhao, Z., Xiao, J., & Tiong, R.** (2021). A conceptual framework for estimating building embodied carbon based on digital twin technology and life cycle assessment. *Sustainability (Switzerland)*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/su132413875>
- Chien, S., Chuang, T., Yu, H.-S., Han, Y., Soong, B. H., & Tseng, K. J.** (2017). Implementation of Cloud BIM-based Platform Towards High-performance Building Services. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.129>
- Da Silva, P. P. F., Neto, A. H., & Sauer, I. L.** (2021). Evaluation of model calibration method for simulation performance of a public hospital in brazil. *Energies*, 14(13), 1–20. <https://doi.org/10.3390/en14133791>
- Dalui, P., Elghaish, F., Brooks, T., & McIlwaine, S.** (2021). Integrated project delivery with BIM: A methodical approach within the UK consulting sector. *Journal of Information Technology in Construction*, 26(October), 922–935. <https://doi.org/10.36680/J.ITCON.2021.049>
- Darabseh, M., & Martins, J. P.** (2020). Risks and opportunities for reforming construction with blockchain: Bibliometric study. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 6(6), 1204–1217. [https://doi.org/10.28991/cej-2020-BIM. Journal of Building Engineering, 42\(January\). https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102768](https://doi.org/10.28991/cej-2020-BIM. Journal of Building Engineering, 42(January). https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102768)
- Amani, N., & Soroush, A. A. R.** (2020). Effective energy consumption parameters in residential buildings using Building Information Modeling. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 6(4), 467–480. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2020.04.04>
- Anderson, K.** (2014). Design energy simulation for architects: Guide to 3D graphics. http://www.amazon.com/Design-Energy-Simulation-Architects-Graphics/dp/041584066X/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1460530107&sr=8-1&keywords=design+energy+simulation+f or+architects
- Angelo, L. D., Hajdukiewicz, M., Seri, F., & Keane, M. M.** (2022). A novel BIM-based process workflow for building retrofit. 50(February), 1–17.
- Ariyaratne, C. I., & Moncaster, A. M.** (2014). Stand-alone calculation tools are not the answer to embodied carbon assessment. *Energy Procedia*, 62, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.376>
- Asl, M. R., Zarrinmehr, S., & Yan, W.** (2013). Towards BIM-based parametric building energy performance optimization. *ACADIA 2013: Adaptive Architecture - Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, 101–108.
- Bahar, Y. N., Pere, C., Landrieu, J., & Nicolle, C.** (2013). A thermal simulation tool for building and its interoperability through the Building Information Modeling (BIM) platform. *Buildings*, 3(2), 380–398. <https://doi.org/10.3390/buildings3020380>
- Bambardekar, S., & Poerschke, U.** (2009). The architect as performer of energy simulation in the early design stage. *IBPSA 2009*

- Georgiadou, M. C.** (2019). An overview of benefits and challenges of building information modelling (BIM) adoption in UK residential projects. *Construction Innovation*, 19(3), 298–320. <https://doi.org/10.1108/CI-04-2017-0030>
- Gerrish, T., Ruikar, K., Cook, M., Johnson, M., Phillip, M., & Lowry, C.** (2017). BIM application to building energy performance visualisation and management Challenges and potential. *Energy and Buildings*, 144, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.032>
- Hossain, M. A., & Yeoh, J. K. W.** (2018). BIM for Existing Buildings: Potential Opportunities and Barriers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 371(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/371/1/012051>
- Kalfa, S. M.** (2018). Building information modeling (BIM) systems and their applications in Turkey. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 1(1), 55–66. <https://doi.org/10.31462/jcemi.2018.01055066>
- Khaddaj, M., & Srouf, I.** (2016). Using BIM to Retrofit Existing Buildings. *Procedia Engineering*, 145, 1526–1533. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.192>
- Khudhair, A., Li, H., Ren, G., & Liu, S.** (2021). Towards future BIM technology innovations: A bibliometric analysis of the literature. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/app11031232>
- Kiamili, C., Hollberg, A., & Habert, G.** (2020). Detailed assessment of embodied carbon of HVAC systems for a new office building based on BIM. *Sustainability (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/SU12083372>
- Kim, H., Asl, M., & Yan, W.** (2015). Parametric BIM-based energy simulation for buildings with complex kinetic facades. *ECAADe* 03091541
- Deng, Y., Li, J., Wu, Q., Pei, S., Xu, N., & Ni, G.** (2020). Using network theory to explore bim application barriers for BIM sustainable development in China. *Sustainability (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/SU12083190>
- Desogus, G., Quaquero, E., Rubiu, G., Gatto, G., & Perra, C.** (2021). Bim and iot sensors integration: A framework for consumption and indoor conditions data monitoring of existing buildings. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/su13084496>
- Ding, L., & Xu, X.** (2014). Application of cloud storage on BIM life-cycle management. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(1). <https://doi.org/10.5772/58443>
- El Sayary, S., & Omar, O.** (2021). Designing a BIM energy-consumption template to calculate and achieve a net-zero-energy house. *Solar Energy*, 216(January), 315–320. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.003>
- Gan, J. L., Chen, W., Jack, C. P., Andri, I., Pina, A., Ferrão, P., Fournier, J., Lacarrière, B., & Gan, J. L.** (2019). Cooling BIM-based framework to analyze the effect of natural on BIM-based framework to analyze the effect of natural ventilation on thermal the comfort and energy performance in buildings Assessing feasibility of using the heat demand-outdoor thermal comf. *Energy Procedia*, 158, 3319–3324. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.971>
- Ganiyu, S. A., Oyedele, L. O., Akinade, O., Owolabi, H., Akanbi, L., & Gbadamosi, A.** (2020). BIM competencies for delivering waste-efficient building projects in a circular economy. *Developments in the Built Environment*, 4(November). <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100036>

- Rating Systems and Building Information Modeling. *Advances in Civil Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8183536>
- Liu, Z., Zhang, C., Guo, Y., Osmani, M., & Demian, P.** (2019). A Building Information Modelling (BIM) based Water Efficiency (BWe) Framework for Sustainable Building Design and Construction Management. *Electronics*.
- Long, R., & Li, Y.** (2021). Research on energy-efficiency building design based on BIM and artificial intelligence. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 825(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/825/1/012003>
- Maltese, S., Tagliabue, L. C., Cecconi, F. R., Pasini, D., Manfren, M., & Ciribini, A. L. C.** (2017). Sustainability Assessment through Green BIM for Environmental, Social and Economic Efficiency. *Procedia Engineering*, 180, 520–530. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.211>
- Manzoor, B., Othman, I., Gardezi, S. S. S., Altan, H., & Abdalla, S. B.** (2021). Bim-based research framework for sustainable building projects: A strategy for mitigating bim implementation barriers. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/app11125397>
- Marsh, A.** (1999). Performance Analysis and conceptual design. December, 216.
- McArthur, J. J.** (2015). A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability. *Procedia Engineering*, 118, 1104–1111. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.450>
- Meng.** (2015). Relationships between top managers' leadership and infrastructure sustainability: A Chinese urbanization perspective No Title. *Engineering, Construction and Architectural*
- 33 - Real Time - Extending the Reach of Computation, 1(September), 657–664.
- Leśniak, A., Górka, M., & Skrzypczak, I.** (2021). Barriers to bim implementation in architecture, construction, and engineering projects—the Polish study. *Energies*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/en14082090>
- Levante, R., Gudmundsson, K., Osello, A., Ugliotti, F. M., & Levante, R.** (2018). Data Management and Virtual Reality Applications of BIM models. <https://webthesis.biblio.polito.it/9157/1/tesi.pdf%0Ahttp://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1238430>
- Levy, F.** (2011). BIM in Small-Scale Sustainable Design. In WILEY.
- Lewis, A. M., Valdes-Vasquez, R., & Clevenger, C.** (2019). Understanding the perceived value of using bim for energy simulation. *Journal of Green Building*, 14(1), 79–92. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.14.1.79>
- Li, X., Lu, W., Xue, F., Wu, L., Zhao, R., Lou, J., & Xu, J.** (2022). Blockchain-Enabled IoT-BIM Platform for Supply Chain Management in Modular Construction. In *Journal of Construction Engineering and Management (Vol. 148, Issue 2)*. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002229](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002229)
- Lim, Y. W., Seghier, T. E., Harun, M. F., Ahmad, M. H., Samah, A. A., & Majid, H. A.** (2019). Computational bim for green retrofitting of the existing building envelope. *WIT Transactions on the Built Environment*, 192, 33–44. <https://doi.org/10.2495/BIM190041>
- Liu, S., Xie, B., Tivendal, L., & Liu, C.** (2015). Critical Barriers to BIM Implementation in the AEC Industry. *International Journal of Marketing Studies*, 7(6), 162. <https://doi.org/10.5539/ijms.v7n6p162>
- Liu, Y., Van Nederveen, S., Wu, C., & Hertogh, M.** (2018). Sustainable Infrastructure Design Framework through Integration of

- Building Rating. *Journal of Engineering Science*, 12(2), 47–57. <https://doi.org/10.3329/jes.v12i2.54630>
- Rahmani Asl, M., Zarrinmehr, S., Bergin, M., & Yan, W.** (2015). BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. *Energy and Buildings*, 108, 401–412. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.011>
- Rana Ayman, Zaid Alwan, L. M.** (2020). BIM for sustainable project delivery: review paper and future development areas. 51(September), 1–51.
- Reizgevičius, M., Ustinovičius, L., Cibulskienė, D., Kutut, V., & Nazarko, L.** (2018). Promoting sustainability through investment in Building Information Modeling (BIM) technologies: A design company perspective. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/su10030600>
- Rokooei, S.** (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 210, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.332>
- Royapoor, M., & Roskilly, T.** (2015). Building model calibration using energy and environmental data. *Energy and Buildings*, 94, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.050>
- Saka, A. B., Chan, D. W. M., & Siu, F. M. F.** (2020). Drivers of sustainable adoption of building information modelling (BIM) in the nigerian construction small and medium-sized enterprises (SMEs). *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093710>
- Sakikhales, M. H., & Stravoravdis, S.** (2015). Using BIM to facilitate iterative design. *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*, 1, 9–19. <https://doi.org/10.2495/bim150021>
- Shoubi, M. V., Shoubi, M. V., Bagchi, A., & Management, Volume 22(Issue 6).**
- Miller, C., Thomas, D., Irigoyen, S. D., Hersberger, C., Nagy, Z., Rossi, D., & Schlueter, A.** (2014). BIM-extracted energyplus model calibration for retrofit analysis of a historically listed building in Switzerland. 2014 ASHRAE/IBPSA-USA Building Simulation Conference, July, 331–338. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1671.7285>
- Mohammad Ahmadzadeh Razkenari, SeyedHessamoddin Moussavi Nanehkaran, & Khalegh Barati.** (2016). Comprehensive Evaluation of Different Aspects of BIM Applications in Sustainable Design. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 10(9), 1006–1014. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2016.09.004>
- Oduyemi, O., & Okoroh, M.** (2016). Building performance modelling for sustainable building design. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 461–469. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.05.004>
- Onososen, A., & Musonda, I.** (2022). Barriers to BIM-Based Life Cycle Sustainability Assessment for Buildings: An Interpretive Structural Modelling Approach. *Buildings*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/buildings12030324>
- Rafsanjani, Hamed Nabizadeh , Nabizadeh, A. H.** (2021). Towards digital architecture, engineering, and construction (AEC) industry through virtual design and construction (VDC) and digital twin. Effect of Grain Boundaries on Paraconductivity of YBCO, 1(1), 1–11.
- Rahman, M., Mim, S. A., & Oshin, S. A.** (2021). Integration of Building Information Modeling (BIM) and LEED for A Green

- based on Study on energy consumption of large public building based Study on energy. *Procedia Engineering*, 205, 3056–3060. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.273>
- Wetter, M., Van Treeck, C., Helsen, L., Maccarini, A., Saelens, D., Robinson, D., & Schweiger, G.** (2019). IBPSA Project 1: BIM/GIS and Modelica framework for building and community energy system design and operation - Ongoing developments, lessons learned and challenges. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323(1), 0–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012114>
- Yan, W.** (2017). WP-BIM: Web-based Parametric BIM Towards Online Collaborative Design and Optimization. *Ecaade 2017: Sharing of Computable Knowledge! (Shock!)*, Vol 2, 2, 527–534.
- Yuan, H., Yang, Y., & Xue, X.** (2019). Promoting owners' BIM adoption behaviors to achieve sustainable project management. *Sustainability (Switzerland)*, 11(14), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su11143905>
- Zanni, M. A., Soetanto, R., & Ruikar, K.** (2017). Towards a BIM-enabled sustainable building design process: roles, responsibilities, and requirements. *Architectural Engineering and Design Management*, 13(2), 101–129. <https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1213153>
- Zardo, P., Ribeiro, L. A., & Mussi, A. Q.** (2019). Bim and parametric design applications for buildings' energy efficiency: An analysis of practical applications. *Arquiteturarevista*, 15(2), 238–255. <https://doi.org/10.4013/arq.2019.152.02>
- Zhang, L., Chu, Z., He, Q., & Zhai, P.** (2019). Investigating the constraints to building information modeling (BIM) applications
- Barough, A. S.** (2015). Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(1), 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.09.006>
- Tan Qu, & Wei Sun.** (2015). Usage of 3D Point Cloud Data in BIM (Building Information Modelling): Current Applications and Challenges. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 9(11), 1269–1278. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2015.11.001>
- Tulenheimo, R.** (2015). Challenges of Implementing New Technologies in the World of BIM – Case Study from Construction Engineering Industry in Finland. *Procedia Economics and Finance*, 21(Henttinen 2012), 469–477. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00201-4](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00201-4)
- Uddin, M. N., Wang, Q., Wei, H. H., Chi, H. L., & Ni, M.** (2021). Building information modeling (BIM), System dynamics (SD), and Agent-based modeling (ABM): Towards an integrated approach. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 4261–4274. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.015>
- Ullah, K., Lill, I., & Witt, E.** (2019). An overview of BIM adoption in the construction industry: Benefits and barriers. *Emerald Reach Proceedings Series*, 2, 297–303. <https://doi.org/10.1108/S2516-285320190000002052>
- Wang, C., & Cho, Y. K.** (2015). Performance Evaluation of Automatically Generated BIM from Laser Scanner Data for Sustainability Analyses. *Procedia Engineering*, 118, 918–925. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.531>
- Wang, C., Shi, J., Chen, Z., & Zha, X.** (2017). Study on energy consumption of large public building based on Study on energy consumption of large public building

for sustainable building projects: A case of China. Sustainability (Switzerland), 11(7).
<https://doi.org/10.3390/su11071896>.

Web References

<https://www.yclm.ca/events/2018/3/29/introduction-to-bim-part-2>. (n.d.). Retrieved 2 15, 2022

١٠. المصطلحات المستخدمة

المختصر	المصطلح	
	باللغة الإنجليزية	باللغة العربية
BIM	Building Information Modelling	نمذجة معلومات المباني
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design	الريادة في مجال الطاقة والتصميم البيئي
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method	طريقة التقييم البيئي لمؤسسة أبحاث المباني
CFD	Computational Fluid Dynamics	ديناميكا الموائع الحاسوبية
WP-BIM	Web-based Parametric Building Information Modeling	نمذجة معلومات المباني البارامترية المستندة إلى شبكة الإنترنت
API	Application Programming Interface	واجهة برمجة التطبيقات
BMS	Building Management System	نظام إدارة المباني
IoT	Internet of Things	إنترنت الأشياء
BIBP	Blockchain-enabled IoT-BIM Platform	منصة إنترنت الأشياء القائمة على نمذجة معلومات المباني التي تدعم تقنية Blockchain
OTTV	Overall Thermal Transfer Value	القيمة الإجمالية للنقل الحراري
GPR	Ground Penetration Radar	رادار إختراق الأرض
BPM	Business Process Modelling	نمذجة عمليات الأعمال
IFC	Industry Foundation Classes	صيغة ملفات تسمح بالتبادل بين برامج نمذجة معلومات المباني المختلفة

Top Trends and Challenges of Building Information Modeling (BIM) to Enhance the Performance of Building Designs' Energy Consumption And the Reality of its Practice in Saudi Local Market-Riyadh City as a Model

Yosr Gismalla M. Rashwan

Ahmed Omar M. S. Mostafa

MSc Student

Associate Professor

College of Arch. And Planning, King Saud University, KSA.

443204223@student.ksu.edu.sa

ahmedoms@ksu.edu.sa

Received 3/4/2022; accepted for publication 12/9/2022

Abstract. In the light of the current global trends of sustainability and digital technologies, Building Information Modeling (BIM) proved the efficiency of its applications in supporting architects and designers to achieve sustainability during all stages of the project life cycle. Despite the availability of various studies about BIM trends and techniques and its related applications in global markets, those related to Saudi Arabia did not include sufficient data about the real status of its availability and the challenges facing its application in the local market. This status represents the research gap and problem of this paper that aims to bridge the gap and provide the necessary information about BIM top trends and challenges that could support architects and designers in enhancing the efficiency of building energy consumption. The information also aims to support the decision makers in prioritizing these trends and challenges, directing the related support, and addressing the necessary measures to handle BIM related challenges. The paper adopted the descriptive analytical approach to achieve its objectives through two parts: the first depends on the literature review to explore BIM top trends and challenges in the field of enhancing building energy efficiency, while the second depends on the field survey to explore the real status of practicing in the Saudi local market including the trends of availability, relational importance and the challenges of its application. Moreover, the significance of this paper as being considered one of emanates from the initiatives to achieve the goals of the digital transformation program for the Kingdom's Vision 2030, and to bridge the research gap found in this field. It is expected that the results would support executives and officials in the government sections related to achieving the Kingdom's Vision 2030, and help the decision-making centers identify the priorities for supporting applying top trends of Building Information Modeling and address the measures needed to handle the challenges facing its application.

Key words: Building Information Modeling (BIM), Sustainable Design, Building Energy Efficiency.