مجلة العمارة والتخطيط، م ٣٥ (١)، ص ص ١- ٤١، الرياض (٢٠٢٣م / ١٤٤٤هـ)
doi:10.33948/JAP-KSU-35-1-1

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

يســـر قســـم الله محمد رشـوان **أحمد عمـر محمـد سـيد مصـطفى**

طالبة ماجستير *أستاذ مشارك*

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

443204223@student.ksu.edu.sa *ahmedoms@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 المعماريين 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 لمدى إتاحة هذه الاتجاهات وأهم التحديات التي تواجه تطبيقها، وهو ما يمثل الإشكالية والفجوة البحثية التي يهدف هذا البحث إلى تجسيرها بتوفير البيانات اللازمة حول أهم اتجاهات وتحديات تقنيات نمذجة معلومات المباني التي يمكن لتطبيقاتها دعم المعماريين 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؛ فالمتوقع 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.

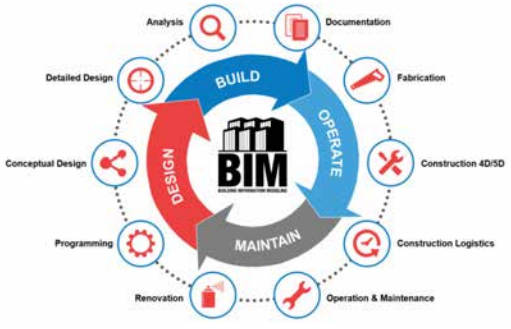
الكلمات المفتاحية: . نمذجة معلومات المباني، التصاميم المستدامة، كفاءة استهلاك الطاقة في المباني.

١. المقدمة

يمثـل مفهـوم الاسـتدامة مفهومًـا متعـدد الأبعـاد يعتمـد عـلى العلاقـات المتبادلـة بـين المجتمعـات البشريـة والبيئـة الطبيعيـة، ويعنـى بتلبيـة احتياجـات الحـاضر دون المسـاس بقـدرة الأجيـال القادمـة عـلى تلبيـة احتياجاتهـم الحاليـة (Razkenari et al., 2016) . ومـع زيـادة تأثيرات الاحتبـاس الحراري، ونقـص مـوارد الطاقـة، وتحديـات التدهـور البيئـي؛ فقـد تزايـد الاهتـمام بهـذا المفهـوم بشـكل كبـير في مجـال صناعـة البنـاء، وأكـد (Oduyemi & Oko-roh, 2016) أن الاسـتدامة أصبحـت جانبًـا مهـمًا مـن جوانـب العقـارات، ويجـب دمجهـا في تصميـم المبـاني وبنائهـا وتشـغيلها. كـما تطـور هـذا المفهـوم بصـورة كبـيرة وظهـرت لـه مصطلحـات جديـدة مثـل «المباني الخـضراء» التـي تؤكـد تحقيـق اسـتدامة المبنـى خـلال دورة الحيـاة الكاملـة لـه، والتـي تشـمل المحافظـة عـلى المـوارد، وحمايـة البيئـة، والحـد مـن التلـوث، وتزويـد النـاس باسـتخدام صحـي ومريـح وفعـال للفـراغ، وتحقيـق الانسـجام بـين الطبيعـة والعـمارة (Bonenberg & Wei, 2015).

ومـع التطـور الحـادث في مجـال الاسـتدامة كان هنـاك تطـور مـوازٍ ومتسـارع في مجـال التقنيـات الرقميـة بعامـة والتقنيـات التـي يمكنهـا دعـم تحقيـق المحـاور المتعـددة للاسـتدامة بخاصـة، وشـهد مجـال صناعـة البنـاء تغـيرًا جوهريًـا بتطويـر العديـد مـن التقنيـات التـي تدعـم مجموعـة متنوعـة مـن المهـام والأنشـطة في مراحـل التصميـم والإنشـاء والتشـغيل المختلفـة في صناعـة البنـاء (Rafsanjani, Nabizadeh, 2021). ومـن هـذه التقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني التـي أثبتـت قدرتهـا عـلى زيـادة كفـاءة وسـير عمـل التصميـم المتكامـل، والدقـة والسرعـة في توثيق معلومـات البنـاء والتقليـل مـن الأخطـاء، وتحسـين كفـاءة عمليـة التشـييد والجدولـة، والأداء التشـغيلي للمـشروع (Levy, 2011). كـما أثبتـت هـذه التقنيـات كفاءتهـا في دعـم جميـع المتخصصـين في مجـال صناعـة البنـاء والتشـييد لجعـل عمليـة التخطيـط والتصميـم والبنـاء والتشـغيل أكثـر تكامـلًا، وأكثـر قـدرة عـلى تحقيـق مكاسـب كبـيرة في مجـال الاسـتدامة (Razke-nari et al., 2016). ويوضـح الشـكل (١) إمكانيـات تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني خـلال مراحـل دورة حيـاة المبـاني.

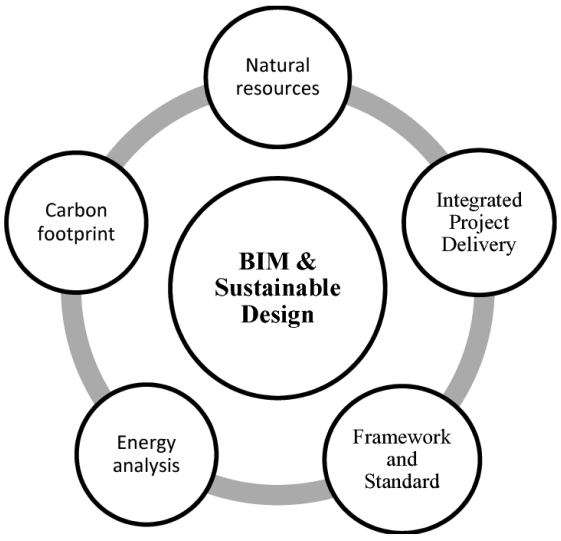
تعتمـد تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني عـلى اسـتراتيجية متكاملـة وشـاملة لتوثيـق كل مـا يرتبـط بالمبـاني خـلال عمليـات التصميـم والتشـييد والتشـغيل وإدارة دورة الحيـاة عـلى أسـاس النمذجـة والمحـاكاة الحاسـوبية، ويتضمـن ذلـك اسـتخدام



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.)

نظـام لإدارة البيانـات الرسـومية المتكاملـة وتدفـق المعلومـات المتعلقـة بالمبـاني. ويمكـن مـن خـلال تطبيقاتهـا المتعـددة دعـم المصمـم خـلال مراحـل التصميـم المختلفـة لاختيـار وتقييـم وتطويـر مجموعـات متنوعـة ومعقـدة مـن خيـارات وبدائـل بنـود المـواد والنظـم المتاحـة التـي تؤثـر بصـور مبـاشرة أو غير مبـاشرة في تحقيـق الاسـتدامة (Ahmad et al., 2017)، كـما يمكنها تحويـل المقاولين الفرديين إلى فـرق تعمـل كوحـدات لا مركزيـة تعالـج المشـكلات المعقـدة وتدمج المهـام المنفصلـة في عمليـات متكاملة، وهـو مـا يمثـل أهـم أسـباب زيـادة الكفـاءة وخفض تكاليـف العمليـات المختلفـة طـوال دورة حيـاة المبنـى بأكملهـا (Reizgevičius et al., 2018). وأدت التطـورات المتتاليـة في تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني إلى تيسـير طـرق وأسـاليب الأداء، وسـاعد الاتصـال بـين نمـوذج معلومـات المبـاني وأدوات محـاكاة وتحليـل أداء المبـاني؛ المصممـين خـلال طـرح وتقييـم بدائـل التصاميـم المقترحـة لتحقيـق التـوازن بـين جوانـب ومتغـيرات الأداء، ومتغـيرات التشـييد بشـكل أسرع وأفضـل مـن الناحيـة الاقتصاديـة، وتقليـل الآثـار السـلبية عـلى البيئـة، وهـذا مـا أدى إلى اعتبـار تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني أداة فعالـة لتحويـل قطـاع المبـاني إلى نمـوذج أكثـر اسـتدامة (عيسـى، ٢٠١٢). ويوضـح الشـكل (٢) المجـالات المتعـددة لـدور تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني في تحقيـق التصاميـم المسـتدامة.



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

● **إشـكالية البحـث**: عـلى الرغـم مـن انتشـار اسـتخدام وتطبيـق تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني في مجـال التصميـم المسـتدام عـلى المسـتوى العالمـي، وتطويـر منصـات وأدوات لتحسـين عمليـات التصميـم والبنـاء وإدارة المشـاريع، وفعاليتهـا في تحليـل أداء المبـاني، إلا أن الدراسـات التـي تناولـت تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني في المملكـة العربيـة السـعودية لم تتضمـن بيانـات كافيـة عـن واقـع الممارسـة المحليـة لمـدى إتاحـة هـذه الاتجاهـات وأهـم التحديـات التـي تواجـه تطبيقهـا، وهـو مـا يمثـل إشـكالية وفجـوة بحثيـة يجـب تجسـيرها لتوفـير البيانـات اللازمـة لدعـم متخـذ القـرار في تحديـد أولويـات هـذه الاتجاهـات والتحديـات

وتوجيـه الدعـم الـلازم لتحقيـق فعاليـة تطبيقهـا، ومعالجـة التحديـات التـي تواجههـا، والاسـتفادة مـن إمكانياتهـا في تحقيـق التصاميـم المسـتدامة.

- **أهـداف البحـث**: يهـدف البحـث بصـورة عامـة إلى أن يكـون إحـدى مبـادرات التحـول الرقمـي ضمـن رؤيـة المملكـة العربيـة السـعودية ٢٠٣٠ في مجـال كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة؛ مـن جهـة، وأن يمثـل لبنـة مـن لبنـات تجسـير الفجـوة البحثيـة الحادثـة في مجـال توثيـق واقـع الممارسـة المحليـة لتقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني في هـذا المجـال مـن جهـة أخـرى. ولتحقيـق ذلـك يهـدف البحـث إلى اسـتخلاص أهـم اتجاهـات وتحديـات تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني التـي يمكـن لتطبيقاتهـا دعـم المصمـم في تحسـين كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني كأحـد محـاور تحقيـق الاسـتدامة، ورصـد واقـع الأهميـة النسـبية لهـذه الاتجاهـات والتحديـات التـي تواجههـا وواقـع إتاحتهـا وتطبيقهـا في الممارسـات المحليـة بمدينـة الريـاض كمبـادرة لدراسـات مسـتقبلية تغطـي هـذا المجـال عـلى مسـتوى مـدن المملكـة.

- **منهجيـة البحـث**: لتحقيـق أهـداف البحـث تـم تبنـي المنهـج الوصفـي التحليـلي وتقسـيم البحـث إلى جزأيـن رئيسـين:

- **الأول**: تـم فيـه مراجعـة الدراسـات السـابقة لاسـتخلاص أهـم اتجاهـات وتحديـات نمذجـة معلومـات المبـاني في مجـال تحسـين كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني.
- **والثـاني**: تـم فيـه رصـد أهميـة وواقـع إتاحـة وتطبيـق هـذه الاتجاهـات والتحديـات في الممارسـة المحليـة بمدينـة الريـاض.

وقـد تـم الاعتـماد عـلى مصدريـن أساسـين للحصـول عـلى المعلومـات اللازمـة لتحقيـق أهـداف البحـث:

١. **المصـدر الأول**: يرتبـط بهـدف اسـتخلاص أهـم اتجاهـات وتحديـات نمذجـة معلومـات المبـاني في مجـال تحسـين كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني، مـن خـلال اختيـار مصـادر البيانـات ذات العلاقـة (المراجـع العربيـة والأجنبيـة) ومواقـع الإنترنـت المختلفـة، مـع التركيـز عـلى الدراسـات الحديثـة لضـمان الحصـول عـلى أحـدث الاتجاهـات والتحديـات المتعلقـة بمجـال البحـث. وبعـد تحديـد قواعـد البيانـات الرقميـة وفلـترة النتائـج عـلى عـدة مراحـل خلصـت الدراسـة إلى ترشـيح (٦٠) مرجعًـا في هـذا الجـزء كـما هـو موضـح بالشـكل رقـم (٣).

الشكل رقم (٣). إجراءات ترشيح واختيار مراجع البحث

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. وبدآ بإعداد تصميم أولي للاستبانة اعتمادًا 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.

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 تأثيرًا إيجابيًا 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

يمكنهـا احتضـان ودعـم التحـول الرقمـي لصناعـة البنـاء، والاسـتفادة بشـكل شـامل مـن ابتـكارات تقنيـة نمذجـة معلومـات المبـاني المسـتقبلية (Khudhair et al., 2021).

ومـع تصاعـد الاهتمامـات البيئيـة وتوجهـات الاسـتدامة عـلى المسـتوى العالمـي والمحـلي والحاجـة لتحقيـق أفضـل وأنسـب الحلـول التـي تحقـق متغـيرات ومحـاور الاسـتدامة تأثـرت عمليـات تصميـم المبـاني وتداخـل معهـا عمليـات أخـرى لقيـاس العديـد مـن متغـيرات الأداء ذات العلاقـة بالاسـتدامة، واتجـاه المصممـين والمعماريـين والمهندسـين الذيـن يرغبـون في تحسـين أداء الطاقـة في تصاميمهـم إلى اسـتثمار وتوظيـف إمكانيـات تقنيـات المحـاكاة متعـددة التخصصـات لدعـم عمليـات استكشـاف وتقييـم المزيـد مـن بدائـل التصميـم واتخـاذ القـرارات السـاعية لتحقيـق مسـتوى عـال مـن أداء الطاقـة، ومـا صاحـب كل ذلـك مـن تطـور مسـتمر ومتسـارع في تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني، ظهـر العديـد مـن الاتجاهـات التـي تدعـم تحسـين أداء الطاقـة بالمبـاني، وأمكـن مـن واقـع مراجعـات الدراسـات السـابقة التـي تـم ترشـيحها لهـذا البحـث اسـتخلاص أهـم الاتجاهـات التاليـة:

١. التكامـل بـين نمذجـة معلومـات المبـاني وتقنيـات المحـاكاة الرقميـة في التقييـم الفعـال لأداء المبـاني نتيجـة زيـادة الطلـب عـلى دمـج تقنيـات نمذجـة معلومـات البنـاء ونمذجـة معلومـات المبـاني المتقدمـة والمحـاكاة خـلال تصميـم المبـاني (Rahmani Asl et al., 2015).

والـذي أدى إلى زيـادة قـدرات هـذه التقنيـات في تحليـل أداء المبـاني. وأكـد على ذلـك (Aloth-man et al., 2021) الـذي أشـار إلى أن المتغيرات الخارجيـة ومكونـات المبنـى الداخليـة تؤثـر بشـكل كبـير عـلى تحسـين أداء الطاقـة في تصاميـم المبـاني، وأن اسـتخدام أدوات تقييـم الطاقـة جنبًـا إلى جنـب مـع تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني يدعـم بشـكل فعـال صنـع القـرار في مراحـل التصميـم المبكـرة وذلـك مـن خـلال اختيـار مكونـات ومـواد البنـاء المناسـبة، إضافـة إلى تقليـل اسـتهلاك الطاقـة الـكلي في تصاميـم المبـاني، وأشـار إلى هـذا الاتجـاه أيضًـا كل مـن (Bahar et al., 2013)، و (Bonenberg & Wei, 2015)، و(Wang & Cho, 2015)، و(Oduyemi & Okoroh, 2016)، 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 Sa-yary & Omar, 2021).

٢. التكامـل بـين نمذجـة معلومـات المبـاني وأنظمـة التقييـمات الخـضراء للمبـاني مثـل LEED وBREEAM والـذي تـم مناقشـته في كل مـن دراسـة (Maltese et al., 2017)، و (Y. Liu et al., 2018) و (Rahman et al., 2021)، ويركـز عـلى أنظمـة تصنيـف الاسـتدامة كمعايـير لصنـع القـرار إلى جانـب نمذجـة معلومـات المبـاني.

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، واستنادًا إلى التطور في تقنيات نمذجة معلومات المباني اقترح إطارًا 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 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 Ayman, Zaid Alwan, 2020)، و(Dalui et al., 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 (Rokooei, 2015)، و(Gerrish, et al., 2017)، 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:

١. ارتفـاع تكلفـة تنفيـذ نمذجـة معلومـات المباني (البرامـج والتدريـب) والـذي أشـار إليـه كل مـن و(Ahmed, 2018)، و(Georgiadou, 2019)، و(Deng et al., 2020).

٢. قلـة الدعـم مـن جهـات الاختصـاص والـذي أشـارت إليـه دراسـة (Yuan et al., 2019)، و (Saka et al., 2020)، و (Onososen & Musonda, 2022).

٣. الحاجـة إلى معايـرة التطبيقـات للتأكـد مـن دقـة النتائـج للمحـاكاة والـذي تناولتـه عـدة دراسـات منهـا دراسـة (Miller et al., 2014)، و(Shoubi et al., 2015)، و(Royapoor & Roskil-ly, 2015)، و(Wang et al., 2017)، و(Wetter et al., 2019)، و(da Silva et al., 2021).

٤. صعوبـة تعامـل أغلـب المعماريـين مـع المصطلحـات الهندسـية للمتغـيرات في تطبيقـات المحـاكاة والـذي تـم مناقشـته في كل مـن دراسـة (Marsh, 1999)، و (Bam-bardekar & Poerschke, 2009)، و(Anderson, 2014)، و(Ceranic et al., 2015)، و(Lewis et al., 2019).

٥. نقـص التعـاون والدعـم مـن أصحـاب القـرار (الإدارة العليـا للمؤسسـات) وأشـار إليـه كل من (Ullah et al., 2019)، و(Saka et al., 2020)، و(Manzoor et al., 2021).

٦. نـدرة المصممـين متعـددي التخصصـات ذوي المهـارة باسـتخدام تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني لتحقيـق الاسـتدامة للمبـاني الحديثـة والقائمـة والـذي أوضحتـه دراسـة (Tulen-heimo, 2015)، و(Meng, 2015)، و(Khaddaj & Srour, 2016)، و(Abdulfattah et al., 2017)، 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. قلـة الطلـب الـكافي مـن العمـلاء والسـوق لتطبيقـات نمذجـة معلومـات المباني في دراسـة (Al-Hammadi & Tian, 2020)، و (Manzoor et al., 2021)، و(Onososen & Musonda, 2022).

٨. قلـة الوعـي والمعرفـة بفوائـد نمذجـة معلومـات المبـاني في البنـاء المسـتدام والـذي تمـت الإشـارة إليـه في كل من دراسـة (Ahmed, 2018)، و(Ullah et al., 2019)، و (Deng et al., 2020).

٩. تحـدي مقاومـة التغيـير الـذي تـم التنويـه عنـه في دراسـة (Georgiadou, 2019) و(Ullah et al., 2019)، و(Manzoor et al., 2021).

وبنـاء عـلى مراجعـة مـا تـم اسـتخلاصه مـن اتجاهـات وتحديـات تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني، تـم التركيـز عـلى أهـم الاتجاهـات

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).

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

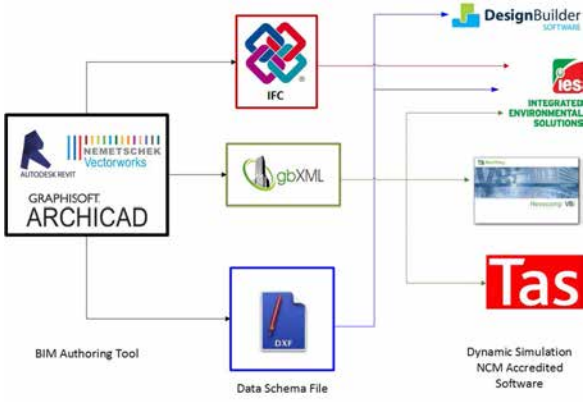
٤,١ الاتجاه الأول: التكامل بين نمذجة معلومات المباني وتقنيات المحاكاة الرقمية في تقييم أداء المباني:

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

تصديرهـا إلى برامـج خارجيـة لإجـراء التحليـلات المختلفـة ذات العلاقـة بتقييـم أداء وظائـف المبـاني باختـلاف نوعياتهـا (Wang & Cho, 2015). وفي مجـال المبـاني الخـضراء والمسـتدامة، أشـار (Bonenberg & Wei, 2015) إلى إمكانيـة دمـج نمذجـة معلومـات المبـاني في نظـم تحليـل الطاقـة وتدفـق الهـواء والنظـم البيئيـة للمبـاني، وتقليـل الهـدر في المـواد وتحسـين جـودة البنـاء بتوظيـف النـماذج الرقميـة للمبـاني والاسـتفادة مـن إمكانيـات التشـغيل البينـي بـين التطبيقـات المختلفـة لإجـراء المحـاكاة والـذي يتضـح مـن الشـكل (٥) عـلى هـذه النـماذج الرقميـة وتحليـل المتغـيرات المختلفـة التـي تفيـد في تحسـين تصميـم وبنـاء المشـاريع وإدارة العمليـات.

وقـد تنـاول العديـد مـن الدراسـات تطـور إمكانيـات التكامـل بـين نمذجـة معلومـات المبـاني وتقنيـات المحـاكاة الرقميـة في التقييـم الفعـال لأداء المبـاني، حيـث قـدم (Gan et al., 2019) إطـار عمـل



الشكل رقم (٥). إمكانية التشغيل البيني (Interoperability) بين أدوات نمذجة معلومات المباني والبرامج المعتمدة للمحاكاة الديناميكية (Zanni et al., 2017)

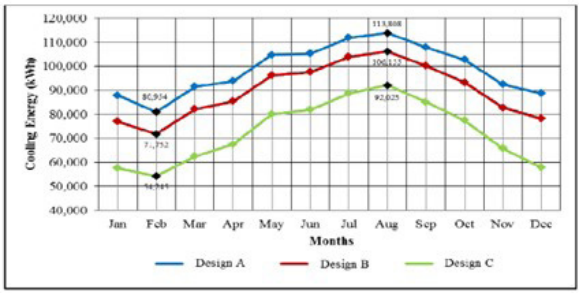
نمذجـة معلومـات المبـاني لتحليـل تأثـير التهويـة الطبيعيـة عـلى الراحـة الحراريـة وأداء الطاقـة في تصاميـم المبـاني. ويمكـن مـن خلالـه توفـير معلومـات تتعلـق بهندسـة المبـاني والمـواد والبيئـة الخارجيـة، ودمجهـا مـع ديناميـكا الموائـع الحاسـوبية ومحـاكاة طاقـة المبـاني لتحليـلات أكثـر دقـة حـول التهويـة الطبيعيـة، والمسـاعدة في الحفـاظ عـلى بيئـة مريحـة لشـاغلي المبنـى وتعزيـز كفـاءة الطاقـة في تصاميـم المبـاني. كـما قـام (Amani & Soroush, 2020) بإجـراء دراسـة لتقييـم أداء الطاقـة بنـاءً عـلى تقنيـة نمذجـة معلومـات المبـاني، ووجـد أن تطبيـق هـذه التقنيـة يمكـن أن يـؤدي إلى تحديـد عنـاصر التصميـم التـي تـؤدي إلى تقليـل اسـتهلاك الطاقـة في المراحـل الأولى مـن التصميـم. كـما أظهـرت نتائـج محـاكاة الطاقـة أنـه سـيتم تحقيـق توفـير بنسـبة ١٦,٣٠٪ بنـاءً عـلى كثافـة اسـتخدام الطاقـة لنمـوذج المبنـى الأسـاسي في أفـق زمنـي مدتـه ٣٠ عامًـا.

واسـتنتج (El Sayary & Omar, 2021) أداة مبسـطة لتقييـم اسـتهلاك الطاقـة الكهربائيـة)حاسـبة الطاقـة(كأداة لدعـم القـرار للمهندسـين المعماريـين والمصممـين في المراحـل الأولى مـن عمليـة التصميـم، حيـث طبقـت هـذه الدراسـة التجريبيـة في مـصر عـلى مبنـى حاصـل عـلى جائـزة في تحقيـق الاسـتدامة (جائـزة حسـن فتحـي، ٢٠١١) ونجحـت في تحقيـق أهدافهـا بالوصـول إلى مبنـى صفـري الطاقـة عـن طريـق اسـتبدال جميـع الأجهـزة الكهربائيـة بألـواح شمسـية كهروضوئيـة متوافقـة مـع معايـير الصناعـة.

٤,١,١ 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 تقييمها من حيث استهلاك الطاقة كما يتضح من الشكل (٦). وأظهرت نتائج المحاكاة أن التصميم (ج) هو الأقل استهلاكًا 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.

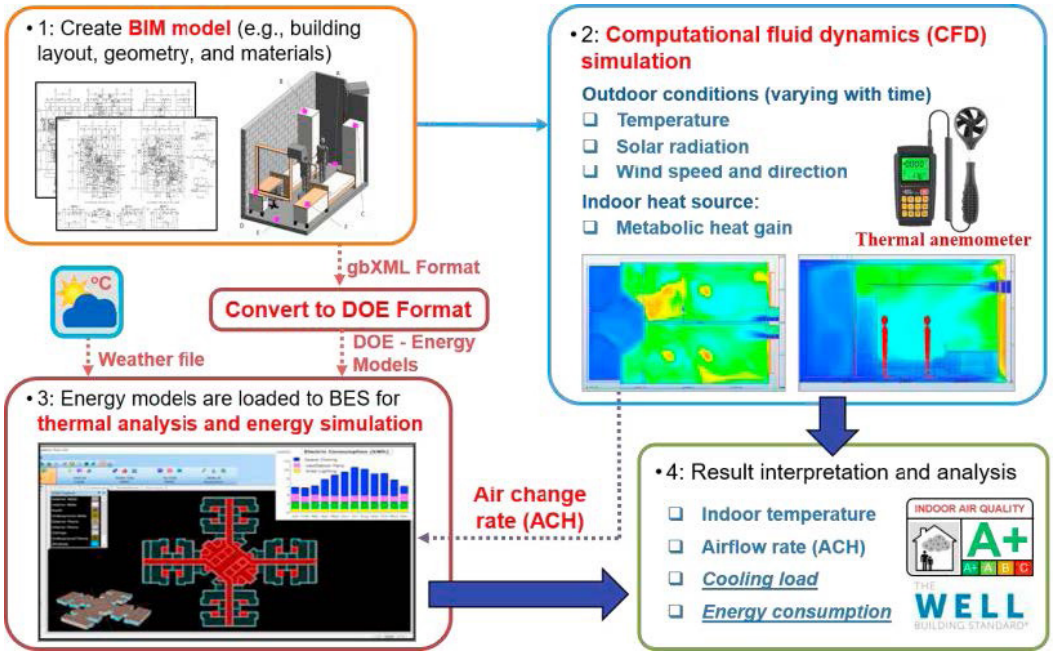
الشكل رقم (٦). نماذج نمذجة معلومات المباني للخيارات التصميمية الثلاثة ومتغيرات التصميم (Al-Saggaf et al., 2020)



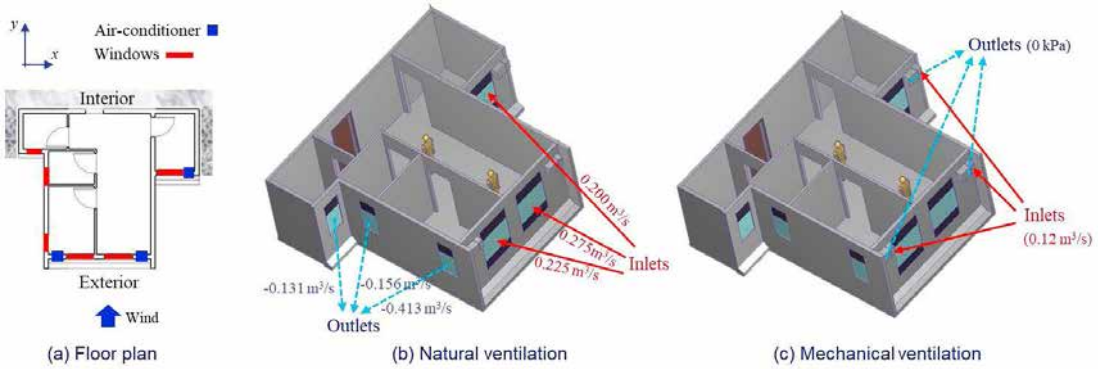
الشكل رقم (٧). الحد الأقصى والأدنى لاستهلاك أحمال التبريد

(Al-Saggaf et al., 2020)

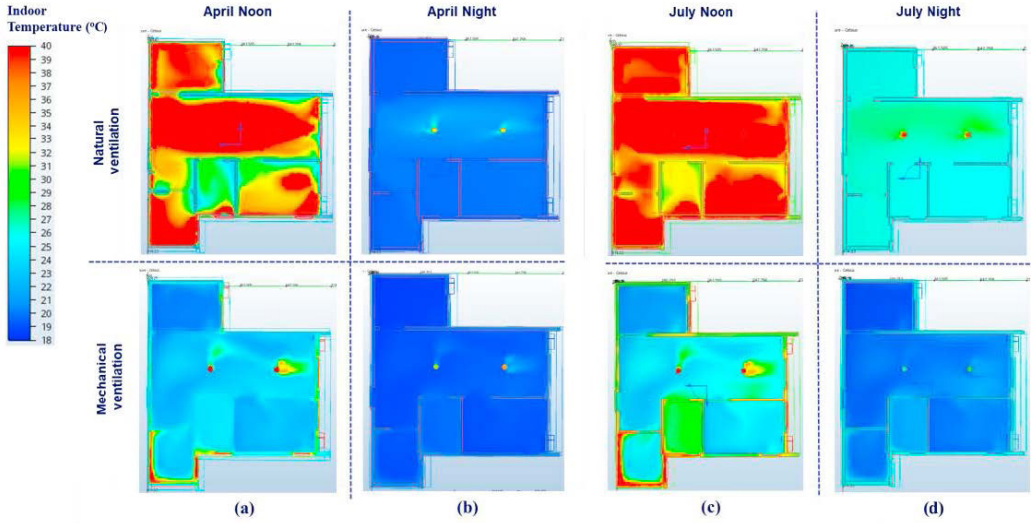
دراسة حالة (٢): المحاكاة ونمذجة معلومات المباني لتقييم إمكانية تخفيض استهلاك الطاقة باستخدام التهوية الطبيعية: اقترح (Gan et al., 2019) إطارًا يمكنه تنفيذ محاكاة أكثر كفاءة ودقة للبيئة الحرارية الداخلية وأداء طاقة المبنى بهدف التحقق من التهوية الطبيعية في شقة سكنية في هونغ كونغ في مواسم مختلفة للتحكم 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 دائمًا على استخدام التهوية الطبيعية فقط في تحقيق الراحة الحرارية، وساعد الإطار المقترح في تقييم التهوية الطبيعية في تصاميم 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 (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)



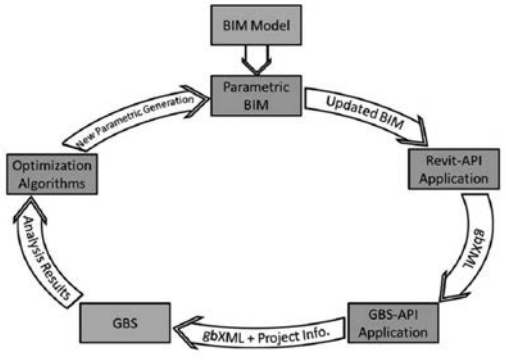
الشكل رقم (١٠). درجة الحرارة الداخلية للتهوية الطبيعية والميكانيكية خلال المواسم المختلفة باستخدام محاكاة ديناميكا الموائع الحاسوبية (Gan et al., 2019).

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 المباني والنمذجة البارامترية يمكن أن يكون فعالًا 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 البارامتري

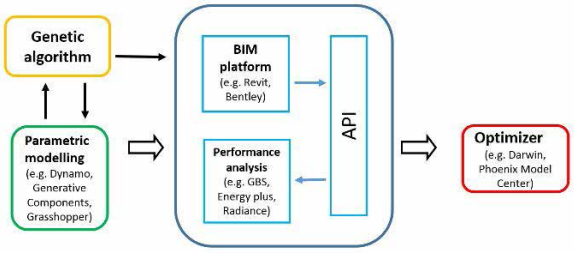
يوفـر وسـائل لتطويـر وتحسـين عمليـة تصميـم المباني وتمكـين المصمـم مـن الحصـول عـلى اسـتقلالية أكـبر لتطويـر واسـتخدام أسـاليب التصميـم الخاصـة بـه، بخاصـة عندمـا يتعلـق الأمـر بتحليـل جوانـب الأداء للمبنـى وتكييـف التصميـم وفقًـا لهـا.

قـدم (Asl et al., 2013) أداة مبتكـرة تدمـج نمذجـة معلومـات المبـاني البارمـتري ومحـاكاة أداء الطاقـة في تصاميـم المبـاني؛ لتسـهيل نمذجـة معلومـات المبـاني البارامتريـة المتكاملـة وتعزيـز تطبيقاتهـا نحـو تصميـم بنـاء إبداعـي ومسـتدام، وتمكـين المصممـين مـن إنشـاء خيـارات بديلـة في نمذجـة معلومـات المبـاني لاستكشـاف نتائـج محـاكاة أداء الطاقـة تلقائيًـا، كـما يتضـح مـن الشـكل (١١). وأكـد Wang et al.، ٢٠١٠ أنـه يمكـن دمـج أسـاليب التصميـم والنمذجـة البارامتريـة المسـتندة إلى نمذجـة معلومـات المبـاني في نمذجـة وتشـغيل عنـاصر العمارة المتحركـة (Kinetic Architecture) لتمكـن المبـاني مـن الاسـتجابة لتغـيرات مناخيـة موسـمية محـددة بـما في ذلـك الاختلافـات في الإشـعاع الشـمسي واتجـاه الريـاح (Kim et al., 2015).



الشكل رقم (١١). تحسين الطاقة البارامتري القائم على نمذجة معلومات المباني (Asl et al., 2013)

ومـن جانـب آخـر؛ تـم تقديـم تجـارب أوليـة لنمذجـة معلومـات المبـاني البارامتريـة المسـتندة إلى الويـب (WP-BIM) لدعـم التصميـم التعـاوني مـن خـلال إطـار عمـل نموذجـي تتكامـل فيـه نمذجـة معلومـات المبـاني، والنمذجـة البارامتريـة، وتقنيـات الويـب ويدعـم تعـاون المصممـين عـبر الإنترنـت والسـماح بالتصميـم التشـاركي للمسـتخدم (Yan, 2017). كـما أمكـن توظيـف هـذا التكامـل في إنشـاء أدوات مختلفـة لتقييـم أداء المبنـى والتحليـل الشـامل لـدورة حيـاة المبنـى، حيـث قـام (Alwan et al., 2021) بتطويـر أداة نمذجـة معلومـات مبـانٍ بارامتريـة تركـز عـلى كل مـن الطاقـة التشـغيلية والمضمنـة مـن خـلال تحليـل دراسـة الحالـة النوعـي والكمـي لـدورة حياة المبنـى. وأكـدت نتائـج ذلـك أن الطاقـة المضمنـة تكـون أكثـر أهميـة في المراحـل الأولى مـن عمـر المبنى، ثـم يتـم تجاوزهـا بسرعـة بوسـاطة الطاقـة التشـغيلية. ويوضـح الشـكل (١٢) نموذجًـا لإحـدى القواعـد التـي تتكامـل فيهـا نمذجـة معلومـات المبـاني مـع النمذجـة البارامتريـة.

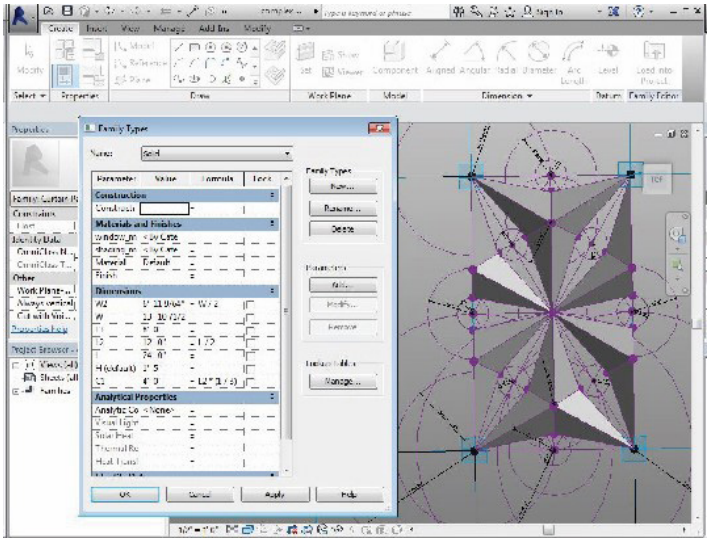


الشكل رقم (١٢). العلاقة بين المنصات في التصميم التكراري لقاعدة نمذجة معلومات المباني (Sakikhales & Stravora-vdis, 2015)

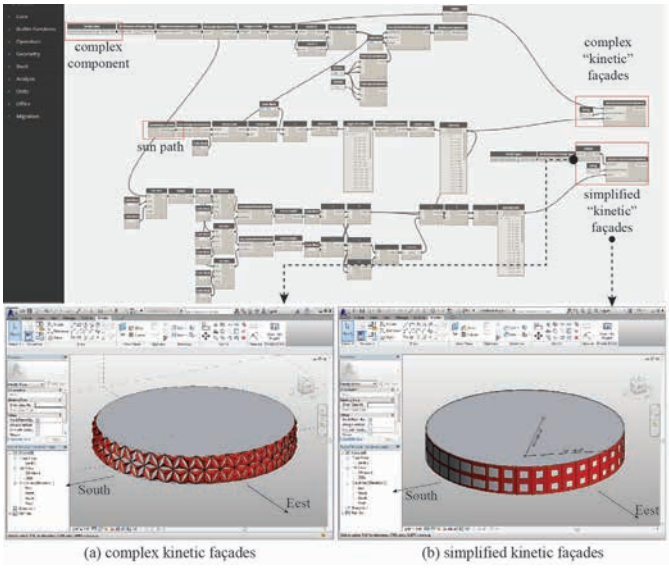
٤,٢,١ حالات دراسية توضح التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية

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.

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 و١٦)، 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 تحليلًا مشتركًا لكل من الطاقة التشغيلية والمضمنة، والتي يمكن اعتمادها واستخدامها في قطاع البناء.

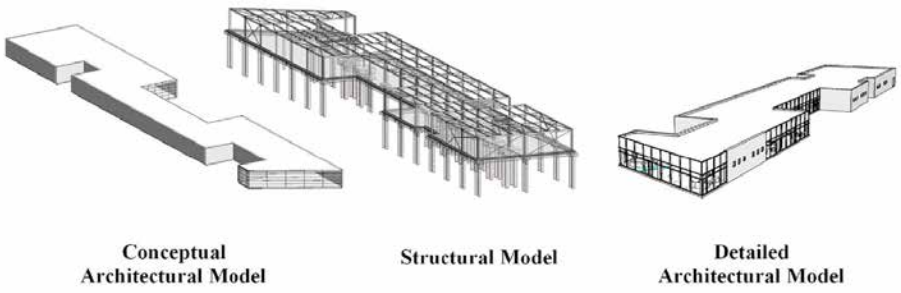


الشكل رقم (١٣). النمذجة البارامترية القائمة على نمذجة معلومات المباني للواجهات المعقدة (Kim et al., 2015)



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)

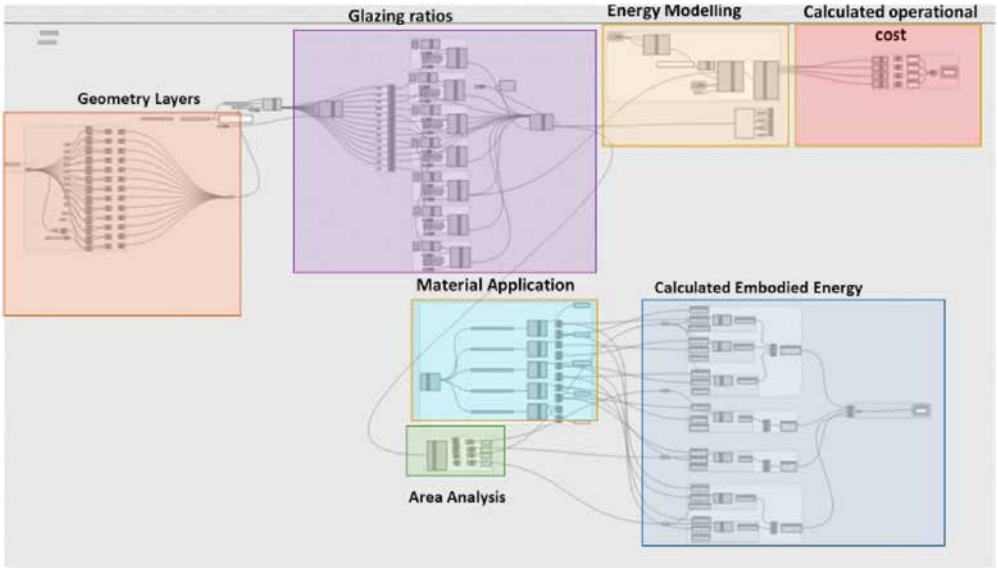


الشكل رقم (١٦). نموذج نمذجة معلومات المباني لدراسة الحالة التجارية في مراحل مختلفة من التصميم (Alwan et al., 2021)

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، ومكَّنها 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).

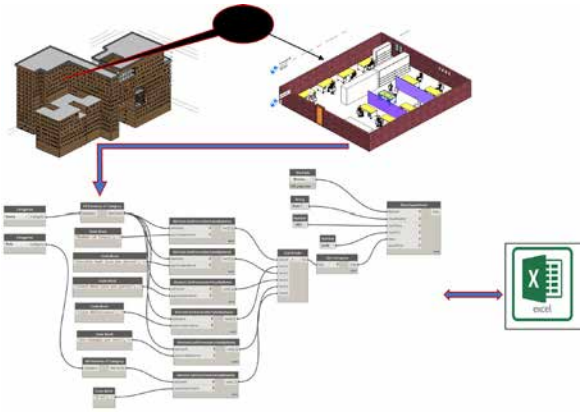
تشير إمكانية التشغيل البيني (Interoperability) إلى قدرة نظامين منفصلين أو برنامجين على الاتصال وتبادل البيانات معاً. الميزة التي يوفرها النقل السلس للبيانات هي إزالة تكرار توليد البيانات في النماذج التحليلية، وضمان دمج الميزات المستدامة في مرحلة التصميم المبكرة. كما تعد قابلية التشغيل البيني أحد الموضوعات 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)

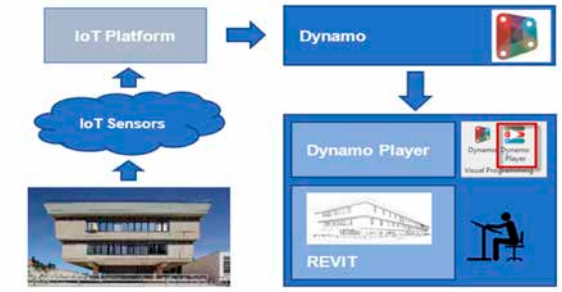
في دعـم المصمـم لتحقيـق الاسـتدامة خـلال المراحـل المختلفـة لعمليـة التصميـم. فعـلى سـبيل المثـال: قـام (McArthur, 2015) بتطويـر إطـار عمـل يتيـح المرونـة في تكييـف نمـوذج معلومـات المبـاني لتلبيـة الاحتياجـات المتغـيرة لفـرق عمليـات البنـاء، يعتمـد عـلى تنسـيق الإدخـال للبيانـات المتعلقـة بـإدارة الطاقـة والاسـتدامة، وهـو مـا يسـمح بتقييـم ترقيات الطاقـة المحتملـة قبـل الانتهـاء مـن البنـاء الكامـل للنمـوذج، وهـو مـا يكـون لـه أثـر فعـال في تحقيـق الاسـتدامة بطريقـة جديـدة وفعالـة.

كـما تـم تطويـر منصـة حوسـبة سـحابية لنمذجـة معلومـات المبـاني (Cloud BIM-based Platform) في دراسـة (Chien et al., 2017) بتطويـر مجموعـة مـن متطلبـات المسـتخدم المتقدمـة لالتقـاط الوظائـف الأساسـية لنـماذج النظـام المرغوبـة، ودمـج معلومـات وبيانـات نظـم إدارة معلومـات المبـاني، ونظـم إدارة المرافـق، ونظـم إدارة الصيانـة المحوسـبة، واستشـعار البيئـة في النظـام الأسـاسي القائـم عـلى نمذجـة معلومـات المبـاني، وقـد تـم تطبيـق ذلـك في مبنـى قائـم في سـنغافورة. وقـد وفـرت التطـورات الحاليـة في مجـال التوأمـة الرقميـة (Digital Twin) بـين المبنـى الفعـلي ونمـوذج المبنـى الرقمـي دعـمًا كبـيرًا لإدارة جميـع البيانـات والمعلومـات لعمليـة تحديـث التصميـم (Desogus et al., 2021). كـما نتـج عـن دراسـة (Li et al., 2022) بنيـة نظـام جديـد لإحـدى منصـات إدارة البيانـات (منصـة (BIBP (IoT-BIM المصرحـة مـن Blockchain)، اعتمـدت عـلى تصميـم البنيـة التحتيـة كخدمـة مـع الأجهـزة والتقنيـات الأساسـية والبروتوكـولات ذات العلاقـة. ويوضـح الشـكل (١٨) و(١٩) نـماذج لتبـادل البيانـات الرقميـة بـين نـماذج معلومـات المبـاني والتطبيقـات الأخـرى.



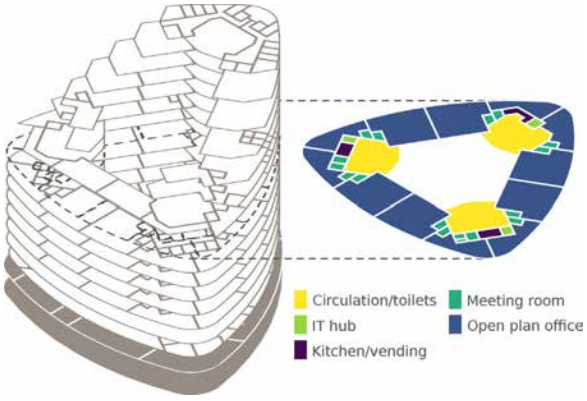
الشكل رقم (١٨).تبادل البيانات بين نمذجة معلومات المباني و(Excel) من خلال (Dynamo-API)

(Uddin et al., 2021)

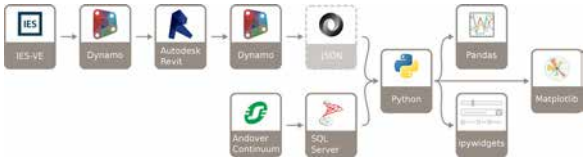


الشكل رقم (١٩). تدفق بيانات المراقبة (Desogus et al., 2021)

دراسة حالة (١): ربط بيانات نموذج معلومات المبني 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 بيئات بيانات 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 البيني 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 البيانات بين التطبيقات المختلفة.



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

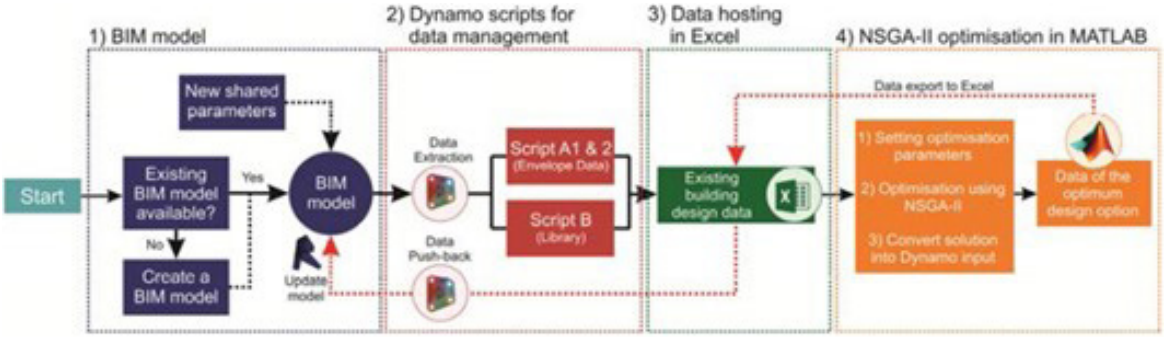


الشكل رقم (٢١). عملية نقل البيانات واستخراجها وتصورها (Gerrish et al., 2017)

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

يتضـح مـن الشـكل (٢٢)، حيـث تـم دمـج أداة نمذجـة معلومـات المبـاني (Revit)، وأداة البرمجـة البارامتريـة المرئيـة (Dynamo) وخوارزميـة التحسـين متعـددة الأهـداف (NSGA-II MATLAB) لإنشـاء طريقـة حاسـوبية قائمـة عـلى نمذجـة معلومـات المبـاني لبنـاء التحديـث التصميمـي للغـلاف مـن خـلال تحسـين القيمـة الإجماليـة للنقـل الحـراري وتكلفـة الاسـتثمار في البنـاء كـما يتضـح مـن الشـكل رقـم (٢٣). وأظهـرت النتائـج أن التصميـم الأمثـل حقـق انخفاضًـا بنسـبة ٧٨ , ٤٤٪ في القيمـة الإجماليـة للنقـل الحـراري مـع تكاليـف اسـتثمارية قدرهـا ١٨٢ , ٣٦٩ (رينغيـت ماليـزي) كـما يتضـح مـن الجـدول رقـم (١). وأظهـرت الدراسـة إمكانيـة تحسـين مسـتوى الأتمتـة في اتخـاذ قـرارات تحديـث التصميـم الأخـضر مـن خـلال النهـج الحاسـوبي القائـم عـلى نمذجـة معلومـات المبـاني والـذي تمـت صياغتـه، وقدمـت نتائـج هـذه الدراسـة مسـتوى أعـلى مـن الأتمتـة لإدارة بيانـات تحديـث التصميـم لغـلاف المبنـى باسـتخدام الطريقـة الحاسـوبية المسـتندة إلى نمذجـة معلومـات المبـاني المطـورة حديثًـا. كـما أدى الدمـج بـين نمذجـة معلومـات المبـاني والنمذجـة البارامتريـة وخوارزميـة التحسـين متعـددة الأهـداف إلى فتـح إمكانيـة أتمتـة وتسريـع عمليـة تقييـم أداء تحديـث التصميـم، وتصميـم اتخـاذ القـرار بنتائـج دقيقـة وموثوقـة ومحسـنة.

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 معايرة التطبيقات للتأكد من دقة النتائج للمحاكاة، وصعوبة تعامل أغلب المعماريين 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)

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

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

نمذجـة معلومـات المبـاني بطريقـة متكاملـة مـع تقنيـات المحـاكاة لخلـق فـرص لتقييـم وتحسـين أداء المبـاني في مراحـل التصميـم المختلفـة، وتحسـين كفاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني، كأحـد محـاور تحقيـق الاسـتدامة، وتقليـل الحاجـة إلى تعديـلات التصميـم اللاحقـة التـي تتطلـب وقتًـا وتكلفـةً إضافيـين (Shoubi et al., 2015). تتطلـب عمليـات تحليـل الطاقـة محـاكاة متعـددة المقاييـس ويعتمـد تحسـينها عـلى اسـتخدام نـماذج حراريـة وكهربائيـة وسـلوكية. كـما يمكـن سـد الفجـوة بـين الأداء التصميمـي والأداء الفعـلي مـن خـلال التشـغيل ومراقبـة الطاقـة واكتشـاف الأخطـاء وتشـخيص أسـبابها (Wetter et al., 2019).

إن قابليـة تطبيـق «نمـوذج طاقـة المبنـى» تعتمد بشـكل مبـاشر على شرط أسـاس وهـو تمثيـل الظواهر الحقيقيـة بدقـة مقبولـة. ويتطلـب تحسـين موثوقيـة نتائـج المحـاكاة مرحلـة معايـرة، والتـي تتكـون مـن عمليـة ضبـط متغـيرات الإدخـال لتمثيـل المبنـى في النمـوذج، للحصـول عـلى مخرجـات محـاكاة قريبـة مـن البيانـات الحقيقيـة المقاسـة (da Silva et al., 2021). وقـد ذكـر (Loshin, 2013) أن إنشـاء وصيانـة وتحديـث نـماذج المبـاني الافتراضيـة يتطلـب بشـكل متزايـد مسـتويات أعـلى مـن الدقـة. كـما أوضـح (Raftery, 2011) أن توفـر كل مـن الطاقـة التـي تـم محاكاتهـا والطاقـة المقاسـة وبيانـات الراحـة يعطـي مسـألة معايـرة النمـوذج فاعليـة أكـبر، حيـث تعـد معايـرة نمـوذج البنـاء مقياسًـا عـلى دقتـه (Royapoor & Roskilly, 2015).

وعـلى الرغـم مـن إمكانيـة توفـير محـاكاة نمذجـة معلومـات المبـاني مخططًـا لكفـاءة الطاقـة، إلا أنـه قـد لا يكـون أفضـل مخطـط لتوفـير الطاقـة لتأثـر قيمـة مخرجـات المحـاكاة إلى حـد كبـير ببيانـات الإدخـال. وأكـدت دراسـة (Wang et al., 2017) أن اسـتخدام تقنيـة القيـاس الفرعـي يسـاعد في التحقـق مـن دقـة المحـاكاة، وأن تحليـل التحديـث التصميمـي للمبـاني يعتمـد في جـزء منـه عـلى الاسـتدلال والخـبرة وأفضـل الممارسـات، وأن توظيـف تقنيـات المحـاكاة والقيـاس تمكـن مـن الوصـول إلى أنسـب مخطـط لتوفـير وزيـادة كفـاءة الطاقـة في المبنـى. ونجحـت دراسـة (Miller et al., 2014) في توضيـح عمليـة جديـدة لاسـتخراج المعلومـات مـن نمذجـة معلومـات المبـاني إلى نمـوذج طاقـة المبنـى باسـتخدام إحـدى قيـم الأداء للتصميـم الـذي يتـم محاكاتـه، وتطويـر هـذه العمليـة واسـتخدامها كجـزء مـن عمليـة التحديـث التصميمـي للنمـوذج المعايـر.

٢,٥ التحـدي الثـاني: صعوبـة تعامـل أغلـب المعماريـين مـع المصطلحـات الهندسـية للمتغـيرات في تطبيقـات المحـاكاة:

تـم توجيـه قـدر كبـير مـن الجهـود البحثيـة والتطبيقيـة في تطويـر تقنيـات محـاكاة المبـاني وتحليـل الأداء وتوفـير مجموعـة واسـعة مـن الأدوات التـي تدعـم المصممـين خـلال عمليـات التطبيـق، وأدى ذلـك إلى اسـتخدامات واسـعة النطـاق في كل مـن التطبيقـات البحثيـة والتجاريـة. وتوجـه تركيـز التطويـر في هـذا المجـال عـلى المحـاكاة الدقيقـة للعمليـات الفيزيائيـة الأساسـية، مثـل: آليـات

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 نسبيًا 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 حافزًا 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 التطبيقية لتنمية قدراتهم في هذا الجانب (Anderson, 2014). وقد أشار (Ceranic et al., 2015) إلى أنه على الرغم من زيادة الأبحاث المنشورة حول قابلية التشغيل البيني وجوانب التعاون في المشروع منذ بدايتها، وأنه تم تنفيذ قدر كبير من العمل على جوانب قابلية التشغيل البيني 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

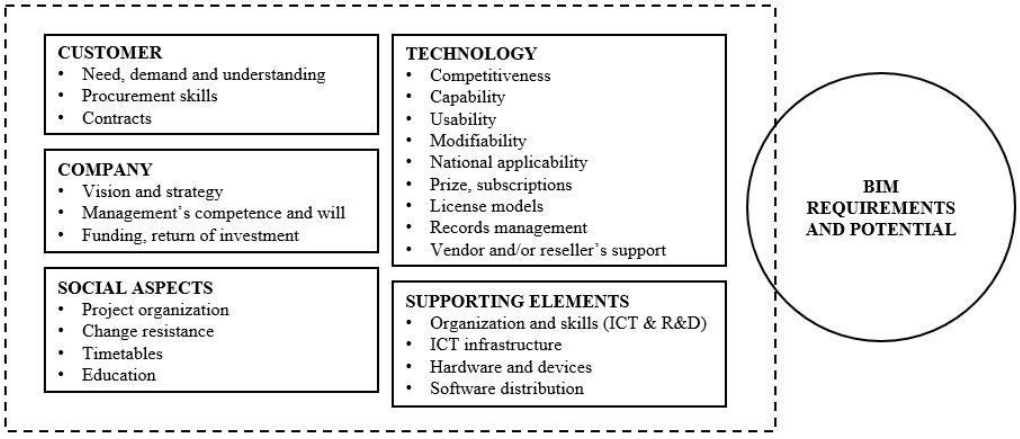
تم استخدام نمذجة معلومات المباني بشكل شائع في مجالات متعددة للعمارة والهندسة والتشييد في السنوات الأخيرة. حاول عدد كبير من دول العالم اعتماد أنظمة نمذجة معلومات المباني لتعميم فوائدها المتعددة، لكن استخدام هذه الأنظمة يتطلب معرفة ومهارة وخبرة عميقة ولسوء الحظ لا يتوافر العدد الكافي من خبراء نمذجة معلومات 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 سلبًا على استخدام نمذجة معلومات المباني، في المملكة

العربيـة السـعودية، ترتبـط بنقـص الطلـب، ونقـص الخـبراء، وضعـف الوعـي بفوائـد نمذجـة معلومـات المبـاني، والتـي لهـا مـؤشرات أهميـة نسـبية أكـبر، بينـما تشـكل مسـؤوليات البيانـات غـير المحـددة، وصعوبة تعلـم نمذجـة معلومـات المبـاني، ونقـص مشـاركة البيانـات، والتكنولوجيـا الحاليـة الكافيـة، تحديـات أقـل أهميـة. وأشـار (Lewis et al., 2019) إلى عـدد مـن العوامـل منهـا: منحنـى التعلـم كأحـد حواجـز اسـتخدام نمذجـة معلومـات المبـاني في محـاكاة الطاقـة.

وفي السـياق نفسـه أكـدت دراسـة (Abdulfattah et al., 2017) أن نقـص الخـبراء والتدريـب عـلى نمذجـة معلومـات المبـاني يعتـبر العائـق الأكـبر لاسـتخدام نمذجـة معلومـات المبـاني والتغلـب عـلى التحديـات المرتبطـة بوعـي أصحـاب المصلحـة في البنـاء بتحديـات تنفيـذ نمذجـة معلومـات المبـاني في دولـة الكويـت، ومـدى وعـي المصممـين والمهندسـين المعماريـين وأصحـاب المصلحـة في البنـاء بهـذه التحديـات، إلى جانـب تحديـد الحلـول العمليـة لتسـهيل اسـتخدامها. كـما أشـار Hamma-adama (٢٠٢٠) إلى ١٤ تحديًـا حـول العـالم حددهـا باحثـون مختلفـون، تضمنـت نقـص الخـبرة، وارتفـاع تكلفـة الاسـتثمار، والافتقـار إلى التوحيـد القيـاسي، والمسـائل التشريعيـة عـلى أنهـا عوائـق كبـيرة أمـام تنفيـذ نمذجـة معلومـات المبـاني (Leśniak et al., 2021).

يتطلـب تطبيـق نمذجـة معلومـات المبـاني مسـتوى عاليًـا مـن دعـم تكنولوجيـا المعلومـات، حيـث يسـتوعب العديـد مـن شركات الاستشـارات الهندسـية وحـدات منفصلـة للبحـث والتطويـر إلى جانـب تكنولوجيـا المعلومـات والاتصـالات المسـؤولة عـن صيانـة وتطويـر التقنيـات الحاليـة، بالإضافـة إلى إدخـال تقنيـات وأدوات جديـدة. ويتمثـل التحـدي الرئيـس في أن الافتقـار إلى موظفـين متعـددي التخصصـات يتمتعـون بالمعرفـة الفنيـة ومهـارات الابتـكار، سـيقلل مـن قـدرة المؤسسـات والـشركات عـلى إدخـال وتنفيـذ تقنيـات جديـدة، وإذا لم يكـن أعضـاء الفريـق ذوي رؤيـة أو منفتحـين عـلى التغيـير، فـإن مشـاريع التطويـر والتنفيـذ محكـوم عليهـا بالفشـل (Tulenheimo, 2015).

وتـزداد صعوبـة معالجـة هـذا التحـدي بالنظـر إلى الحاجـة لتوافـر خـبراء لهـم معرفـة وخـبرة مزدوجـة بمجـال نمذجـة معلومـات المبـاني ومجـال الاسـتدامة، وهـذا يجعـل الحكومـات والمؤسسـات أمـام تحـدٍّ كبـير بشـكل خـاص في تطويـر المواهـب متعـددة التخصصـات (Meng, 2015). واتفـق مـع هـذا الـرأي (lsayyar, Jrade, 2015) الـذي أكـد إشـكالية نقـص في الخـبراء متعـددي التخصصـات في صناعـة البنـاء، وعـدم قـدرة مسـتخدمي تقنيـة نمذجـة معلومـات المبـاني في الحصـول عـلى تدريـب تقنـي شـامل، وهـو مـا يقلـل مـن كفـاءة العمـل.



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

ويزيد من عبء تكلفة تخطى 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).

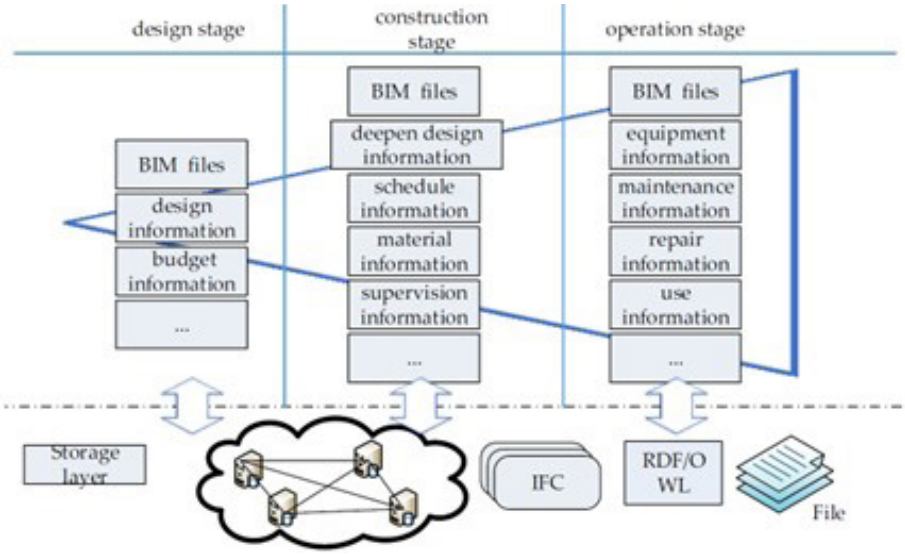
وعلى مستوى تحديث المباني القائمة: فإن تطبيق نمذجة معلومات المباني لتحديث تصميم المباني القائمة، كما يوضحه الشكل (٢٦)، يواجه تحديات قد تكون بسبب الطبيعة متعددة التخصصات لتبادل المعلومات، وحسن توقيت التبادل، والمجموعة الواسعة من المكونات التقنية اللازمة لضمان التبادل الأمثل (Khaddaj & Srour, 2016)، فالتقنيات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

٤,٥ التحـدي الرابـع: متطلبـات إدارة وتخزيـن وتأمـين ومعالجـة البيانـات الرقميـة لنمذجـة معلومـات المبـاني

حظيـت نمذجـة معلومـات المبـاني باهتـمام واسـع النطـاق في مجـالات البنـاء وإدارة المشـاريع. ونظـرًا للكميـات الكبـيرة مـن المعلومـات، والحاجـة إلى مشـاركة المـوارد بـين الإدارات والتخصصـات المختلفـة، والفـترة الزمنيـة الطويلـة لتطبيـق نمذجـة معلومـات المبـاني، والتحديـات المتعلقـة بقابليـة التشـغيل البينـي للبيانـات، والأمـن والتكلفـة، والحاجـة لنظـام التخزيـن السـحابي كأحـد أهـم الاتجاهـات في تطويـره كـما يوضحـه الشـكل (٢٧)، وتحديـات متطلبـات تخزيـن وتأمـين ومعالجـة البيانـات الرقميـة لنمذجـة معلومـات المبـاني وغيرهـا مـن التحديـات؛ فقـد أدى ذلـك كلـه إلى البـطء في تطبيقـه (Ding & Xu, 2014).

التحديـات المرتبطـة بتطبيقـات عمليـات الحوسـبة السـحابية كثـيرة وتنطـوي عـلى قـدر كبـير مـن المشـاركة لتحسـين توصيـل أجهـزة إنترنـت الأشـياء (IoT) عـبر البنيـة التحتيـة للإنترنـت، الـذي يعتمـد عـلى تكامـل نمذجـة معلومـات المبـاني مـع البيانـات في الوقـت الفعـلي مـن أجهـزة إنترنـت الأشـياء؛ بهـدف تحسـين كفـاءات البنـاء والتشـغيل، إلى جانـب توفـير نـماذج نمذجـة معلومـات المبـاني عاليـة الدقـة للعديـد مـن التطبيقـات (Altohami et al., 2021)، كـما تمثـل مخـاوف أمـن المعلومـات أحـد أهـم هـذه التحديـات نظـرًا للقلـق الكبـير الـذي يمثلـه حفـظ وتأمـين البيانـات المسـتضافة بشـكل عـام، سـواء عـلى مسـتوى مخـاوف أمـن البيانـات ومسـتوى مخـاوف الأمـن السـيبراني. وأشـار معظـم خـبراء نمذجـة معلومـات المبـاني إلى أن اسـتخدام التخزيـن السـحابي لاسـتضافة بيانـات النـماذج الرقميـة غـير آمـن وعرضـة للاخـتراق والقرصنـة؛ لأن عنـصر المصادقـة للوصـول إلى البيانـات ليـس

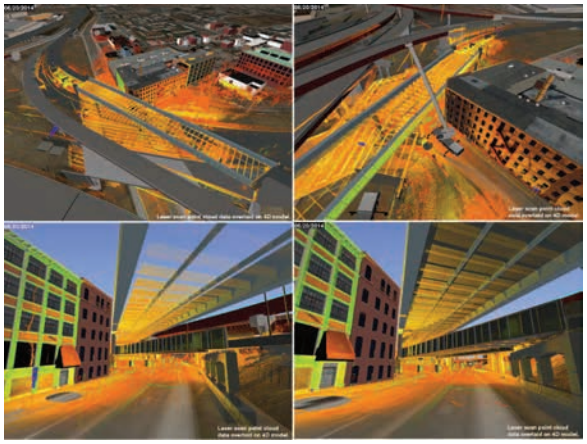


الشكل رقم (٢٧). استخدام تقنية التخزين السحابي بشكل فعال في دورة حياة نمذجة معلومات المباني (Ding & Xu, 2014)

جيدًا 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 البيني 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 أيضًا 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، وغالبًا 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 أيضًا حيث يتطلب تنفيذ نمذجة معلومات المباني برامج محددة وتخزين للبيانات، وهو ما يعني تكلفة كبيرة للشركة، هذه التكلفة قد تشكل عائقًا أمام الشركات الصغيرة. تجبر قضية التكلفة المستثمرين ومستخدمي نمذجة معلومات 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 مكلفًا 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)

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

تـم تطبيـق هـذه الدراسـة في مدينـة الريـاض بالمملكـة العربيـة السـعودية، بهـدف رصـد واقـع إتاحـة وتطبيـق الاتجاهـات الحديثـة لتقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني لتحسـين كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني، والتحديـات التـي تواجـه تطبيقها في الممارسـة المهنيـة المحليـة، والأهميـة النسـبية لـكل منهـا. ولتحقيـق أهـداف البحـث تـم الاعتـماد عـلى اسـتراتيجية مجموعـات التخصص أو التركيـز (Focus Group) التـي تـم اختيارهـا مـن الخـبراء المتخصصـين مـن عينـة البحـث وعقـد لقـاءات معهـا قبـل تنفيـذ المسـح الميـداني مـن خـلال الاسـتبانات لهدفـين رئيسـين: الأول: عـرض نتائـج المراجعـات الأدبيـة والتحقـق مـن الاتجاهـات والتحديـات التـي تـم اسـتخلاصها، والثـاني: مراجعـة التصميـم الأولي لأداة جمـع المعلومـات (الاسـتبانة) وتطويـر محاورهـا وأسـئلتها.

٦,٣ مجتمع وعينة الدراسة وأدوات جمع المعلومات

- **مجتمع وعينة البحث**

يتكـون مجتمـع البحـث مـن فئتـين: المكاتـب الهندسـية، والمختصـين الأكاديميـين بالجامعـات، وقـد تـم حـصر مجتمـع البحـث بعـدد (٢٥٦) أكاديمـي ومهنـدس ومتخصـص كالتـالي:

الأكاديميـون بالجامعـات السـعودية: تـم مراجعـة مواقـع أعضـاء هيئـة التدريـس بكليـات العـمارة بالجامعـات السـعودية وأمكـن حـصر عـدد (٨٠) عضـو هيئـة تدريـس متخصـص في مجـال التقنيـات الحديثـة للبنـاء.

المهندسـون العاملـون في المكاتـب الاستشـارية: تـم مراجعـة موقـع الهيئـة السـعودية للمهندسـين وأمكـن حـصر عـدد (١٧٦) مكتـب استشـاري في المجـال المعـماري. وافـتراض أن كل مكتـب لديـه مهنـدس واحـد، عـلى الأقـل، متخصـص في مجـال نمذجـة معلومـات المبـاني، ومـن ثـم يكـون مجتمـع البحـث مـن هـذه الفئـة هـو عـدد المكاتـب الهندسـية نفسـه.

واعتـمادًا عـلى أحـد مواقـع حسـاب عينـة البحـث[1]، واعتبـار مسـتوى الثقـة (٩٥٪) ومـدى الخطـأ (٥٪)، ونسـبة تمثيـل العينـة ١٠٪، بلغـت عينـة الدراسـة عـدد (٩١).

- **تصميم أداة جمع المعلومات (الاستبانة)**

اعتمـد التصميـم الأولى للاسـتبانة عـلى مـا تـم التوصـل إليـه في الجـزء النظـري، ثـم تـم تطويرهـا بعـد مقابـلات مـع مجموعـة التخصـص التـي تمـت الإشـارة إليهـا. وتكونـت الاسـتبانة مـن ثلاثـة أقسـام: الأول: يتعلـق بالمعلومـات الشـخصية لتحديـد خصائـص عينـة الدراسـة، والثـاني: تضمـن أسـئلة لتحديـد الأهميـة النسـبية للاتجاهـات والتحديـات التـي تـم التوصـل إليهـا في

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

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 رقميًا 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 لمحاور الاستبانة فكانت وفق ما يلي:

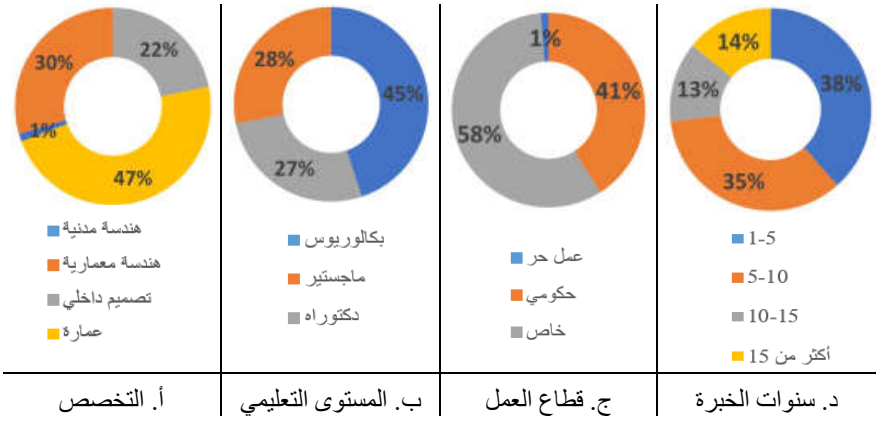
٦,٢ خصائص عينة الدراسة

الشكل (٢٩) يوضح خصائص عينة الدراسة حسب متغيرات المشاركين، حيث تبين أن ٤٧٪ (٣٧ مشاركًا) من عينة الدراسة من تخصص العمارة، كما أظهر أن أغلب المشاركين من القطاع الخاص ويمثلون نسبة ٥٨٪ (٤٥ مشاركًا).

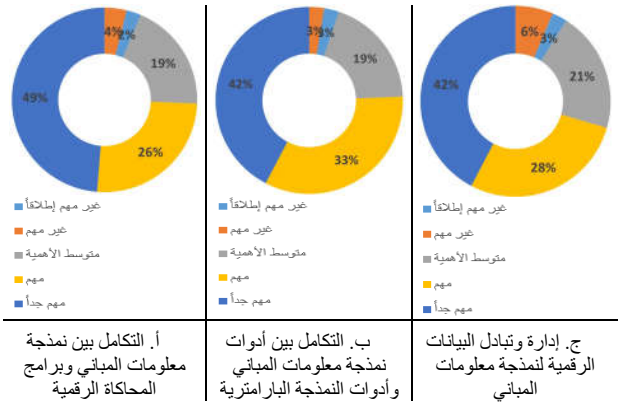
٦,٣ الأهمية النسبية للاتجاهات

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 جدًا) 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



أ. التكامل بين نمذجة معلومات المباني وبرامج المحاكاة الرقمية

ب. التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية

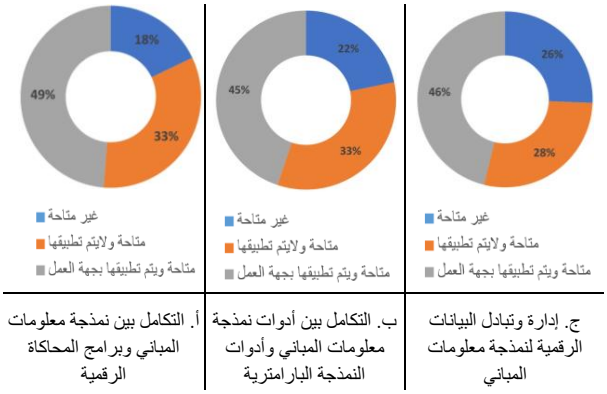
ج. إدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني

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

٤ ,٦ واقـع إتاحـة وتطبيـق الاتجاهـات الحديثـة في المملكـة

تعلـق الجـزء الثـاني مـن القسـم الثـاني لأسـئلة البحـث برصـد واقـع إتاحـة واسـتخدام الاتجاهـات الحديثـة لتقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني لتحسـين كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني في الممارسـة المحليـة. وكانـت اسـتجابات عينـة الدراسـة، كـما يتضـح مـن الشـكل (٣١)، كالتـالي:

- تبـين أن نسـبة المشـاركين الذيـن أفـادوا بواقـع إتاحـة الاتجاهـات الثلاثـة لتقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني لتحسـين كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني وتطبيقهـا في عملهم تـتراوح مـا بـين ٤٥ - ٤٩٪.
- تسـاوت نسـب واقـع الإتاحـة وعـدم التطبيـق في اتجـاه التكامـل بـين نمذجـة معلومـات المبـاني وبرامـج المحـاكاة الرقميـة واتجـاه التكامـل بـين أدوات نمذجـة معلومـات المبـاني وأدوات النمذجـة البارامتريـة بنسـبة



أ. التكامل بين نمذجة معلومات المباني وبرامج المحاكاة الرقمية

ب. التكامل بين أدوات نمذجة معلومات المباني وأدوات النمذجة البارامترية

ج. إدارة وتبادل البيانات الرقمية لنمذجة معلومات المباني

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

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 الإتاحة 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 من خلال الإجابة (بمهم جدًا) 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 إطلاقًا).

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 القيمية (Value Engineering) للمشروع دعماً للاستدامة، وحدد أهميتهما النسبية (بمهم جدًا) 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 فريقي العمل التقني والإداري، وجاءت أهميتهما النسبية (بمهم جدًا) لكلا التحديين.

٧. النتائج والمناقشة

أمكـن مـن واقـع المراجـع التـي تـم ترشـيحها واختيارهـا لهـذه الدراسـة اسـتخلاص ثلاثـة مـن أهـم اتجاهـات تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني لتحسـين كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني:

- التكامـل بـين نمذجـة معلومـات المبـاني وبرامـج المحـاكاة الرقميـة.
- التكامـل بـين أدوات نمذجـة معلومـات المبـاني وأدوات النمذجـة البارامتريـة.
- إدارة وتبـادل البيانـات الرقميـة لنمذجـة معلومـات المبـاني.

● واتضـح مـن تحليـل نتائـج رصـد واقـع الممارسـة المحليـة في مدينـة الريـاض أن اتجـاه التكامـل بـين نمذجـة معلومـات المبـاني وبرامـج المحـاكاة الرقميـة، واتجـاه التكامـل بـين أدوات نمذجـة معلومـات المبـاني وأدوات النمذجـة البارامتريـة؛ هما الاتجاهـان الأكثـر أهميـة مـن منظـور المشـاركين في تطويـر واقـع صناعـة البنـاء المتجهـة نحـو تحسـين كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني، ويليهـما الاتجـاه الخـاص بـإدارة وتبـادل البيانـات الرقميـة لنمذجـة معلومـات المبـاني.

● وتبـين واقـع الاتجاهات غـير المتاحـة أو المتاحة ولا يتـم تطبيقهـا، حيـث كانـت بنسـب تـتراوح بـين ٥١٪- ٥٥٪، وكان أكثـر هـذه الاتجاهـات مـن حيـث عـدم الإتاحـة أو الإتاحـة وعـدم التطبيـق هـو اتجـاه التكامـل بـين أدوات نمذجـة معلومـات المبـاني وأدوات النمذجـة البارامتريـة (٥٥٪)، ومقـارب لـه اتجـاه إدارة وتبـادل البيانـات الرقميـة لنمذجـة معلومـات المبـاني (٥٤٪)، ويليـه اتجـاه التكامـل بـين نمذجـة معلومـات المبـاني وبرامـج المحـاكاة الرقميـة (٥١٪)، وهـو مـا يسـتوجب النظـر إلى هـذه الاتجاهـات والعمـل عـلى توفيرهـا في السـوق المحـلي وتشـجيع تطبيقهـا.

كـما أمكـن مـن واقـع المراجـع التـي تـم ترشـيحها واختيارهـا لهـذه الدراسـة اسـتخلاص أربعـة مـن أهـم التحديـات التـي تواجـه تطبيـق تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني لتحسـين كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني، وهـي:

- معايـرة التطبيقـات للتأكـد مـن دقـة النتائـج للمحـاكاة.
- صعوبـة تعامـل أغلـب المعماريـين مـع المصطلحـات الهندسـية للمتغـيرات في تطبيقـات المحـاكاة.
- نـدرة المصممـين متعـددي التخصصـات ذوي المهـارة باسـتخدام تقنيـات نمذجـة معلومـات المبـاني لتحقيـق كفـاءة اسـتهلاك الطاقـة في تصاميـم المبـاني.
- متطلبـات إدارة وتخزيـن وتأمـين ومعالجـة البيانـات الرقميـة لنمذجـة معلومـات المبـاني.

● واتضـح مـن تحليـل نتائـج رصـد واقـع الممارسـة المحليـة في مدينـة الريـاض أن التحـدي الخـاص بنـدرة المصممـين متعـددي التخصصـات

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 المعماريين 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

لتطبيق 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 الرئيسين للدراسة من الاتجاهات والتحديات بصورة متعمقة للخروج بنتائج أكثر تفصيلًا وتحليلًا.
- 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

مهـارات التواصـل الفعـال مـع أعضـاء فريـق المـشروع لتحقيـق التكامـل بـين الفـرق التقنيـة والإداريـــة.

٩. المراجع

المراجع العربية:

حنـان عيسـى. (٢٠١٢). منهـج دمـج إسـتراتيجيات التصميـم المسـتدام في تقنيـة نمذجـة معلومات المبـاني: الإمكانيـات الحاليـة و الإحتـمالات المسـتقبيلية. مجلـة جامعـة الملـك سـعود – كليـة العـمارة و التخطيـط، 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

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

Alothman, 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

- 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.jobe.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+for+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 managementChallenges 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., & Srour, 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 perspectiveNo 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

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.ijsbe.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 buidling 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

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 الى 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

doi:10.33948/JAP-KSU-35-1-1

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 *MSc Student*

Ahmed Omar M. S. Mostafa *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.