

نمذجة معلومات المباني والمحاكاة الرقمية لتقييم بدائل تحسين الأداء الحراري لنوافذ واجهات المباني - حالة دراسية: وحدة سكنية بمدينة الرياض

BIM and Digital Simulation in Assessing Window Alternatives for Enhancing Heat Performance of Building Facades - Case Study: A Housing Unit in Riyadh, SA

يسر قسم الله محمد رشوان ب
طالبة ماجستير

و

أحمد عمر محمد سيد مصطفى أ
استاذ مشارك

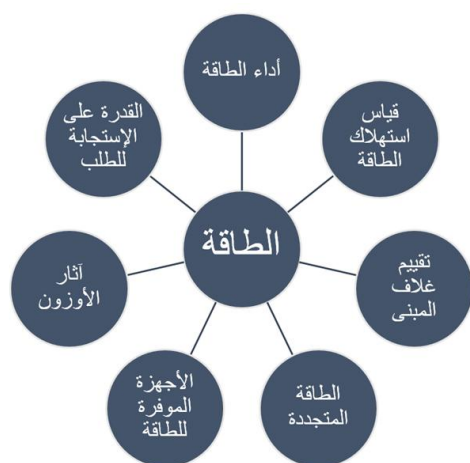
443204223@student.ksu.edu.sa

ahmedoms@ksu.edu.sa

قسم العمارة وعلوم البناء، كلية العمارة والتخطيط، جامعة الملك سعود، الرياض 11574، ص.ب. 57448، المملكة العربية السعودية

أ. مقدمة:

أكدت عدد من الدراسات والإحصاءات الصادرة عن هيئات الإحصاء في عدد من الدول أن المباني مسؤولة عن أكثر من 40٪ من إجمالي استهلاك الطاقة العالمي، وتساهم بنسبة تصل إلى 30٪ من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وأن القطاع السكني يستهلك حوالي 13٪ من إجمالي استهلاك الطاقة العالمي، ويزداد استهلاك الطاقة الفعلي في القطاع السكني بمتوسط 1.4٪ سنوياً إلى عام 2040 [1]، و [2]، و [3]، و [4]، و [5]، ولذلك تتخذ المؤسسات الحكومية بالعديد من الدول الإجراءات اللازمة لتقليل احتياجات المبنى من الطاقة من جهة، ولزيادة كفاءة المعدات المركبة من جهة ثانية، إضافة إلى زيادة كمية الطاقة التي تنتجها المصادر المتجددة من جهة ثالثة. أحدثت أهداف وغايات رؤية 2030 تغييراً سريعاً في المملكة العربية السعودية، الأمر الذي أدى إلى زيادة في الاحتياج إلى كفاءة استخدام الطاقة خاصة بعد إرتفاع تعريفة الكهرباء في جميع أنحاء المنطقة، لذلك تعمل جميع الوحدات السكنية الفردية والمباني السكنية متعددة الوحدات المعتمدة من "مستدام" على تحقيق أدنى مستوى من أداء الطاقة من خلال معايير محددة كما يتضح من شكل (1) [6].



شكل (1): معايير الطاقة من واقع نظام تقييم مستدام للمباني السكنية [6]

والجدير بالذكر أنه في نفس الوقت الذي تعتبر فيه واجهات المباني من أهم عناصر الغلاف الخارجي، فإنها تعتبر أيضاً أضعف مكون في غلاف المبنى من حيث الأداء وكفاءة الطاقة، من منظور مفهوم العمارة الخضراء، فهي مسؤولة عن أكبر قدر من نفاذية الحرارة، وكسب الطاقة الشمسية المباشر، والجسور الحرارية في المباني. وإعتماداً على الظروف الخارجية وحجم الزجاج، تكون النوافذ مسؤولة عن حوالي 10٪ إلى 25٪ من إجمالي اكتساب أو فقد الحرارة من المبنى [4]، كما يتضح من شكل (2). وبالنسبة، يجب أن يحظى هذا الجزء من غلاف المبنى باهتمام كبير من قبل المهندسين المعماريين، لا سيما في المناطق التي ترتفع فيها نسبة الإشعاع الشمسي [7].

ملخص البحث:

تعتبر واجهات المباني من أهم عناصر الغلاف الخارجي لتنوع وظائفها وتأثيرها على استهلاك طاقة المبنى بأكمله، وتمثل نوافذ المباني أحد أهم مفردات التصميم المعماري للواجهات والتي يوليه المصمم أهمية كبيرة ويقوم أي بدائل مقترحة لتغيير موقعها أو نسبها من قبل الفرق الهندسية المشاركة في العمل التصميمي، وهو ما يمثل إشكالية هذه الدراسة التي تستهدف طرح بدائل تصميمية للنوافذ لتحسين الأداء الحراري للواجهات اعتماداً على متغيرات لا تؤثر على مساحتها أو موقعها بالواجهة، وتوظيف تطبيقات نمذجة معلومات المباني والمحاكاة الرقمية لتقييم الأداء الحراري لهذه البدائل ودعم المصمم في اتخاذ القرارات التصميمية المناسبة تجاهها متبينة في ذلك المنهج الوصفي والتجريبي. خلصت الدراسة إلى أن البدائل المقترحة لنوافذ أحد المباني السكنية في مدينة الرياض أثرت إيجابياً في تحسين الأداء الحراري للواجهات، وأن تطبيق المعماري للتقنيات الحديثة سواء على مستوى التطبيقات أو على مستوى المواد له دور كبير في دعم المعماري لتقييم البدائل المطروحة لتحسين الأداء الحراري للمباني وتقادي المشاكل المحتملة في المراحل المبكرة من التصميم.

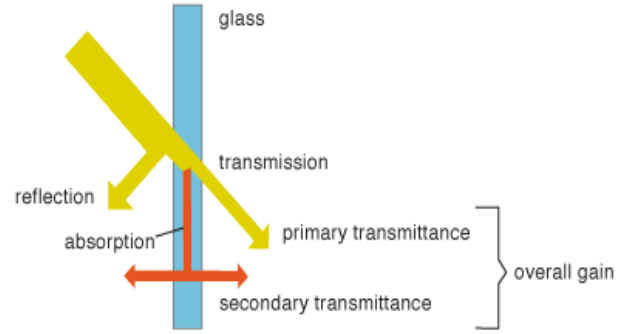
Abstract:

Building facades are one of the most important elements of the building envelope for their functions and impact on energy consumption. Windows are considered one of the most important elements of building facades that are given special importance by architects who resist any alternatives proposed by engineering teams, based on changing its location or proportions. This represents the problem of this study that aims to offer windows' facades' alternatives to enhance its thermal performance, with nearly no effect on its location or proportions, and employ Building Information Modeling and digital simulation applications in assessing the thermal performance of such alternatives to support the Architect in taking the suitable related design decisions. The study adopted a descriptive and experimental approach and concluded that the windows' facades' alternatives have a positive impact on enhancing facades' thermal performance, and that the new technologies used by architects, whether at the level of applications or at the level of materials, have a major role in supporting the architect to assess any offered alternatives to enhance the thermal performance of building facades and avoid Potential problems that may arise in the early design stages.

مصطلحات البحث:

نمذجة معلومات المباني (BIM)، محاكاة أداء المباني BPS، الأداء الحراري لواجهات المباني، نمذجة طاقة المباني (BEM)، متغيرات النوافذ.

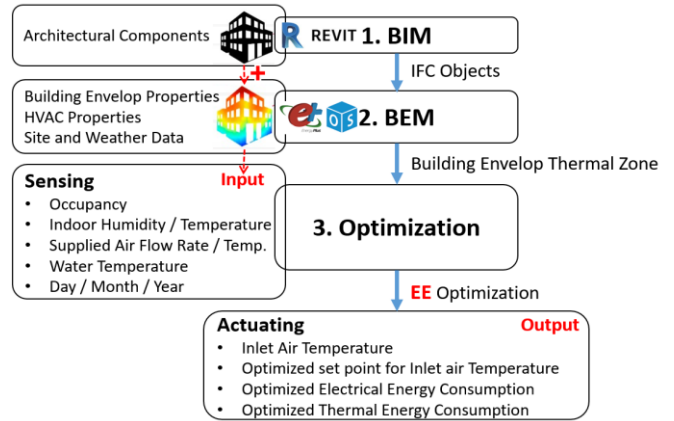
المستهدف للواجهات خلال مراحل التصميم الأولية التي يتم فيها محاولات لتحقيق التوازن بين الجوانب والمعايير الجمالية وبين الجوانب والمعايير الوظيفية والأداء الحراري للواجهات، وهو ما يمثل الإشكالية الرئيسية لهذا البحث... ويرتبط ذلك بتساؤل حول كيفية تحسين الأداء الحراري دون تغيير "كبير" في مواقع أو نسبة مساحات النوافذ إلى الحوائط بالواجهات، أو بمعنى آخر تحسين الأداء الحراري دون الإخلال بالجوانب الجمالية للواجهات.



شكل (2): اكتساب وامتصاص وانعكاس الحرارة من خلال زجاج النوافذ [7]

تطورت تقنيات نمذجة معلومات المباني (BIM) بصورة كبيرة خلال الفترة الأخيرة ونالت الكثير من الاهتمام لدورها في دعم المصممين والمنفذين والمشغلين في تحقيق إستدامة البيئة المبنية، وأصبحت الدراسات حول تصميم المباني المستدامة أكثر منهجية، وذلك من خلال العديد من الإمكانيات والأدوات والوظائف لهذه التقنيات في توفير البيانات الخاصة بالبيئة المبنية، وفي تحليل أداء المباني (BPA: Building Performance Assessment) بفعالية من خلال محاكاة الوظائف والأداء للتحقق من صحة 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، وبالتالي أصبحت أداة (BIM) أداة شائعة الاستخدام في التصميم المستدام [8].

أشار كيم وآخرون [9] إلى دراسات حديثة تعتبر تحليل الطاقة المستند إلى (BIM) مفيداً لتقييم الطاقة في المبنى حيث يؤدي استخدام نموذج معلومات المبنى كمصدر أساسي لبيانات تحليل الطاقة إلى زيادة كفاءة إدخال البيانات ويجعلها أكثر قابلية لإعادة الاستخدام، ومنها مقترح تم فيه استخدام (BIM) لتقييم أداء طاقة المبنى بناءً على دراسة حالة تستخدم تقنية (BIM) لتحسين التصميم الموفر للطاقة، اعتماداً على نموذج رقمي "مباشر" يتم التحكم فيه بشكل بارامتري ليتم ربطه ببرنامج محاكاة. وتتمثل فوائده أيضاً في أنه يمكن من عرض نتائج تحليل الطاقة، كما يمكن من خلاله الدمج المباشر للتغييرات في التصميم، وبالتالي يمكن تقييم المزيد من تكرارات وبدائل التصميم لتحسين الكفاءة وتحقيق أهداف الاستدامة.



شكل (3): عملية التحسين على أساس نموذج معلومات المباني (BIM) ونموذج طاقة المباني (BEM) - بتصرف من [10]

ب. المقدمات البحثية

ب-1: الإشكالية والتساؤلات البحثية: يحتل قطاع المباني السكنية نسبة كبيرة من قطاعات إستهلاك الطاقة العالمي مقارنة بالقطاعات الأخرى، ولذلك تبرز جهات الاختصاص ذات العلاقة بالمباني الجهود وتضع التشريعات التي تستهدف تخفيض الإستهلاك وتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني. تعتبر النوافذ والفتحات من أهم عناصر التصميم في الواجهات والتي تخضع للكثير من الإعتبارات الوظيفية والجمالية عند تصميمها، الأمر الذي يمثل أهمية كبيرة عند أي معماري، وأي بدائل تقدم من قبل أطراف خارجية لتغيير موقع أو نسبة مساحة النوافذ إلى الحوائط يعتبر في أغلب الأحيان إشكالية عند معظم المماريين خاصة عند اتخاذ القرارات التصميمية المتعلقة بجوانب أدائية وغير جمالية مثل تحقيق الأداء الحراري

ب-2. الهدف والمنهج العلمي: من واقع الإشكالية البحثية، تهدف هذه الدراسة إلى طرح بدائل تصميمية للنوافذ لتحسين الأداء الحراري للواجهات اعتماداً على متغيرين فقط للنوافذ (مواصفات الزجاج و الظل الواقع عليه) ودون تأثير كبير على مساحتها وموقعها بالواجهة لعدم التأثير على المتغيرات الجمالية التي وضعها المعماري ويقاوم أي تغيير فيها، من خلال التكامل بين نمذجة معلومات البناء وتطبيقات المحاكاة الرقمية للطاقة، وذلك لدعم المصمم في تقييم أداء هذه البدائل والمقارنة بينها ومن ثم اتخاذ القرارات التصميمية التي تحقق التوازن المناسب بين المعايير الجمالية للواجهات والمعايير الوظيفية لأدائها. ولتحقيق هذا الهدف يتبنى البحث المنهج الوصفي في الجزء الأول منه، والمنهج التجريبي في الجزء الثاني لتطبيق البدائل المقترحة على حالة دراسية لأحد المباني السكنية في مدينة الرياض وتقييمها باستخدام أحد تطبيقات المحاكاة الرقمية.

ب-3. الأهمية البحثية: إضافة إلى توافق هذه الدراسة مع توجهات المملكة العربية السعودية للتحويل الرقمية واستخدام التقنيات الحديثة وتحقيق الإستدامة في جميع المجالات، فإن أهميتها تكمن في كفاءة البدائل المطروحة لتحسين الأداء الحراري للمباني السكنية التي تمثل نسبة كبيرة من المشاريع في أي مدينة، وفي تأكيد دور التقنيات الحديثة ودور تحقيق التكامل بين تطبيقات نمذجة معلومات البناء (BIM) وتطبيقات المحاكاة الرقمية في دعم المصمم خلال مرحلة التصميم الأولية.

ج- تقديم عن تطبيق المحاكاة الرقمية المستخدم في الدراسة:

ج-1 إجراءات اختيار تطبيق المحاكاة المناسب للحالة الدراسية

أصبح تحليل أداء المبنى ذا أهمية متزايدة لأنه يمكن المصممين من تكوين تصور أفضل لأداء مبانيهم، وتقديم حلول سريعة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني وتقليل الآثار البيئية. في الوقت الحاضر، يتم إنشاء نماذج معلومات البناء (BIM) على نطاق واسع خلال مرحلة تصميم المباني الجديدة، ويمكن تصديرها بسهولة إلى تطبيقات المحاكاة الرقمية لإجراء التحليلات المختلفة [11]. وفي مجال المباني الخضراء والمستدامة، يمكن دمج نمذجة معلومات المباني (BIM) في نظم تحليل الطاقة وتدفق الهواء والنظم البيئية للمباني، وتقليل الهدر في المواد وتحسين جودة البناء. فهي تبني تصوراً لنماذج المباني الرقمية والتي توفر إمكانيات المحاكاة والتحليل التي تفيد في تصميم وبناء المشاريع وإدارة العمليات [12].



شكل (4): يوضح الإجراءات التي قام بها الباحثان لإختيار تطبيق المحاكاة المناسب

ولإستكشاف المدى الواسع من تطبيقات المحاكاة الرقمية لتحليل أداء المباني وتقييم كفاءة الطاقة، والتعرف على إمكانياتها وقدراتها وإختيار التطبيق الأنسب للحالة الدراسية، تم إنتهاج الخطوات الموضحة في الشكل (4) والتي بدأت بالبحث والتجميع لتطبيقات المحاكاة المتوفرة حيث تم التوصل إلى 15 تطبيقاً، ثم تم مراجعة أهم الوظائف والقدرات لكل تطبيق، واختيار أنسب ثلاثة تطبيقات يستخدمها المصممين لدعم التصميم المستدام وتقييم كفاءة إستهلاك الطاقة، ثم تحليل التطبيقات

Google، و Vectorworks و ArchiCad، و SketchUp. كمكون إضافي (Plug-in) لتطبيق

المختارة وإجراء مقارنة بينها اعتماداً على معايير التقييم المحددة في المواقع المتخصصة، ومن ثم تم إختيار التطبيق الأنسب لمعالجة مشكلة الدراسة وتقييم بدائل الحالة الدراسية.

ج-2 مراجعات أدبية حول تطبيق (IES-VE):

هناك العديد من الدراسات التي تطرقت الى تطبيق (IES-VE)، ومنها دراسة هان وآخرين [13] التي تم فيها استعراض مميزات التطبيق وما يحتويه من نمذجة مرئية تسمح للمستخدمين بإنشاء نموذج مباشرة في نافذة نمذجة، بالإضافة إلى ذلك إمكانية التشغيل البيئي حيث تم تطوير مكونات إضافية لقبول ملفات Revit و SketchUp و CAD، مما يسمح بالترايط بين CAD و BIM بواسطة الملفات، ويسهل قيام المستخدم بالنمذجة المباشرة في التطبيق. يضاف إلى ذلك إمكانية التطبيق في مشاركة الملفات مما يمكن للمشغلين المختلفين التعاون والتواصل مع بعضهم البعض باستخدام نفس النظام الأساسي في مراحل مختلفة. يساعد هذا التطبيق المهندسين المعماريين على محاكاة النماذج في مرحلة التصميم المبكرة وفي مراحل التصميم والإدارة التفصيلية اللاحقة. وقد قام عطية وآخرين [14] بإجراء مقارنة بين عشر تطبيقات محاكاة رقمية مختلفة، من خلال التصويت لتطبيق المحاكاة "الملائم للمهندس المعماري" "architect-friendly"، وكان التطبيق الأكثر قبولاً هو (IES VE)، أحد الأسباب الشائعة هو قوالبها (Templates)، والتي تسمح بمحاكاة سريعة في مرحلة التصميم المبكرة، واتفقت دراسة شن [3] مع هذا الرأي حيث قارنت بين برنامجين رائدين في تحليل أداء المباني هما تطبيق (Energy-Plus) و (IES-VE) ومدى فعاليتهما وملاءمتهما كأدوات لمحاكاة الطاقة قائمة على BIM، وذكرت الدراسة أن تطبيق (IES VE) أكثر سهولة في الاستخدام من حيث واجهة المستخدم، وإصدار التقارير، وسهولة تحديد متغيرات التصميم، وإجراء تحليل ديناميكا الموائع الحسابية (Computational Fluid Dynamics CFD) وتحليل تكلفة دورة الحياة (LCA)، وتوضح الأشكال (22 و 23) واجهة البرنامج خلال تطبيق الحالة الدراسية.

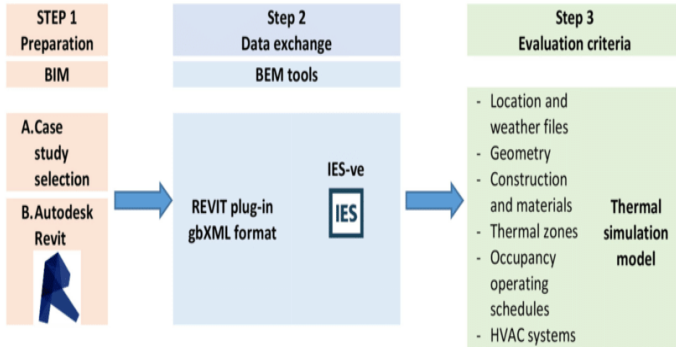
أشارت كذلك دراسة سولماز [15] أن تطبيق IES-VE يتمتع بقدرة عالية على تقييم أداء المباني وفقاً للعديد من المعايير (مثل الطاقة، الراحة الحرارية، ضوء النهار، تحليل ديناميكا الموائع الحسابية (CFD)، وإلى أن التطبيق يحتوي على أداة بارامترية قائمة بذاتها تمكن المستخدمين من إنشاء محاكاة لسيناريوهات تصميم متعددة وتشغيلها تلقائياً دون الحاجة إلى التدخل اليدوي. كما أن لديه أدوات تمكن المستخدم من اكتشاف متغيرات تصميم المباني المثالي التي تحقق معايير الأهداف المحددة، وقادرة على تحسين متغيرات التصميم المتعددة مثل الراحة الحرارية والطاقة الكلية وانبعثات الكربون في وقت واحد. ومن ضمن القيود التي تم تناولها في الدراسة أنه لا يدعم التحقق من التوافق مع متطلبات كود البناء، ولا يتضمن إمكانيات نمذجة تفاعل الإنسان مع البيئة المبنية، ولا يدعم النمذجة والتحليل لطاقة المباني على نطاق المدن، إلى جانب أنه لا يدعم تقييم استخدام المباني للطاقة الكامنة وانبعثات ثاني أكسيد الكربون.

ج-3 مسار المعلومات ونمذجة الطاقة في تطبيق (IES-VE):

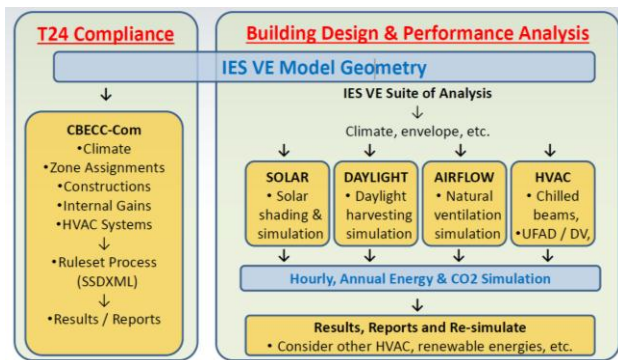
يوضح الشكل (5) ثلاثة خطوات أساسية لسير عمل تطبيق IES-VE كما أوردها النبوي في دراسته [16]، كما يوضح الشكل (6) أن بكلي [17] قدم تفصيلاً لتوضيح إجراءات نمذجة عمل الطاقة والتحليل الذي يتم في التطبيق.

ج-4 إمكانية تطبيق (IES-VE) في تبادل الملفات مع التطبيقات الأخرى:

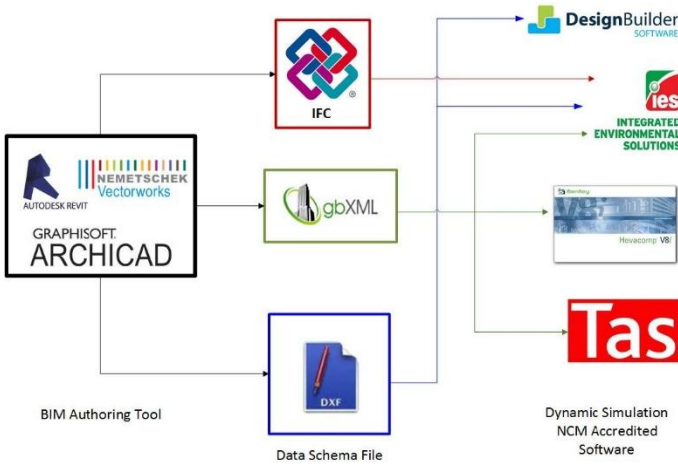
تشير إمكانية التشغيل البيئي (Interoperability) إلى قدرة نظامين منفصلين أو تطبيقين على الاتصال وتبادل البيانات مع بعضهما البعض. الميزة التي يوفرها النقل السلس للبيانات هي إزالة تكرار توليد البيانات في النماذج التحليلية، وضمان دمج الميزات المستدامة في مراحل التصميم الأولية، وتناولت دراسة بحر إمكانية التشغيل البيئي للتطبيق مع التطبيقات الأخرى [18]، وتم فيها الإشارة إلى التحديات والفرص المحتملة لاستخدام أدوات المحاكاة الحرارية لتحسين أداء المباني بعد مراجعة الاتجاهات الحالية في المحاكاة الحرارية، وتحديد المعايير الرئيسية لتقييم أدوات المحاكاة الحرارية للمباني بناءً على الموصفات والقدرات في قابلية التشغيل البيئي، ومناقشة تفاصيل تدفق إجراءات العمل لتبادل البيانات للتحليلات الحرارية المتعددة. وأشارت الدراسة إلى تطبيق IES VE على أنه نظام متكامل يقوم بتشغيل جميع عمليات محاكاة البناء من نموذج بناء مركزي، ويسمح بتقييم الأداء وتقديم ملاحظات حول استهلاك الطاقة في المباني. وكما يتضح من الشكلين (7) و (8) يدعم تطبيق IES VE التشغيل البيئي مع عدد من البرامج الأخرى، من خلال صيغ متعددة (gbXML و dxf و IFC)، كما يمكنه استيراد الملفات من تطبيقات Revit و



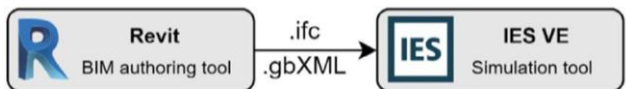
شكل (5): سير عمل تطبيق (IES-VE) (Elabawi, 2020)



شكل (6): نمذجة طاقة المباني في تطبيق (IES VE) (Buckley, 2017)



شكل (7): إمكانية التشغيل البيئي (Interoperability) بين أدوات (BIM) والبرامج المعتمدة للمحاكاة الديناميكية [19]



شكل (8): إمكانية التشغيل البيئي بين أداة (BIM) Revit و تطبيق IES VE من خلال منسقات gbXML و IFC [20]

تناولت دراسة النبوي [16] دقة وسلامة نمذجة الطاقة للمباني (Building Energy Modelling: BEM) القائمة على BIM من خلال التحقق من مدى جودة تطبيق (BIM) Revit، جنباً إلى جنب مع اثنين من أكثر برامج نمذجة طاقة المباني استخداماً وهما IES-VE و Design Builder، من حيث قابلية التشغيل البيئي، بما في ذلك ملفات الموقع والطقس، والهندسة، والبناء والمواد، والمناطق الحرارية، وجدول التشغيل، وأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء. تم تحديد جميع

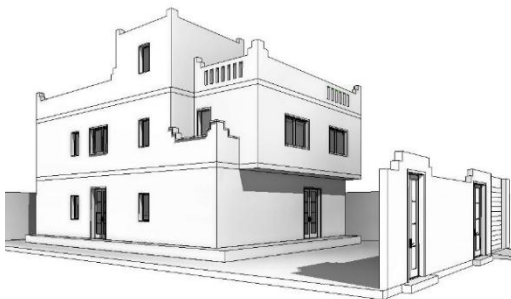
د-2. وصف الحالة الدراسية الأساسية:

لتحقيق هدف البحث تم إجراء دراسة تطبيقية علي نموذج لمبنى سكني (فيلا) في مرحلة التصميم الأولية بقسم التصميم المعماري بأحد المكاتب الإستشاري بمدينة الرياض لتحسين الأداء الحراري للواجهة الجنوبية والغربية من خلال طرح بدائل تصميمية للنوافذ اعتماداً على اثنين من متغيرات النوافذ فقط (مواصفات الزجاج و الظل الواقع عليه) ودون التأثير على موقع النافذة أو نسبة النافذة إلى الحائط الخارجي. المبنى السكني يمثل وحدة سكنية قابلة للتمدد المستقبلي رأسياً ويقع في حي العليا بمدينة الرياض كما يتضح من شكل (10)، وهو مكون من طابقين وملحق علوي كما يتضح في شكل (11). الطابق الأول من الوحدة السكنية بمساحة 180 متر مربع يتكون، كما يتضح من شكل (12) و(13)، من ثلاث غرف نوم، صالة معيشة، صالة جلوس وطعام، بالإضافة إلى المطبخ وثلاثة حمامات إضافة إلى منطقة المصعد والدرج. وتمثل الواجهات الجنوبية والغربية الإتجاهات الحرجة بالنسبة للأداء الحراري لمدينة الرياض، ولذلك تم اختيار الغرفتين (1) و (2) المطلتين على الواجهة الجنوبية والغربية على التوالي لتطبيق دراسة تقييم الأداء الحراري وطرح بدائل تحسين هذا الأداء. الحالة الأساسية للتصميم قبل إجراء تحسين الأداء الحراري للغرفة (1) موضحة في الواجهة الجنوبية في الشكل (14)، وللغرفة (2) موضحة في الواجهة الغربية في الشكل (15). سيتم طرح خيارات التصميم لبدائل نوافذ هذه الغرف من خلال أربعة سيناريوهات لمتغيرين فقط من متغيرات النوافذ (توصيف الزجاج والظل الواقع عليه)، ومن ثم تحليل نتائج السيناريوهات والمقارنة بينها بعد إجراء محاكاة الطاقة مع تثبيت كل المتغيرات الأخرى ذات العلاقة بالنوافذ. تم إنشاء نموذج معلومات البناء (BIM) للتصميم الأساسي للمبنى بواسطة برنامج Revit، وتم تحديد كل البيانات المتعلقة بالخصائص الحرارية لمكونات الغلاف البنائي، إضافة إلى إعدادات الطاقة الخاصة بالمبنى للبدء بإجراءات تصدير النموذج إلى تطبيق IES-VE بصيغة (gbXML) لإجراء محاكاة الطاقة.

البيانات أثناء عملية التشغيل البنني، تليها المقارنة بين نتائج محاكاة نمذجة الطاقة المستندة إلى BIM واستهلاك الطاقة الفعلي لدراسة الحالة، لتقييم موثوقية العملية. اتضح من التطبيق العملي خلال الدراسة عدد من مشكلات التشغيل البنني فيما يتعلق بإدخال بيانات BIM وتفسير بيانات BEM. وعلى الرغم من أن عملية BIM إلى BEM تعتبر طريقة غير قياسية لإنتاج نماذج طاقة المبنى لأنها تختلف من مصمم إلى آخر، فقد أثبتت نمذجة الطاقة المستندة إلى BIM أنها أداة واعدة لتصميم مبنى مستدام ومنخفض الطاقة.

د-1. المنهجية المتبعة للتطبيق:

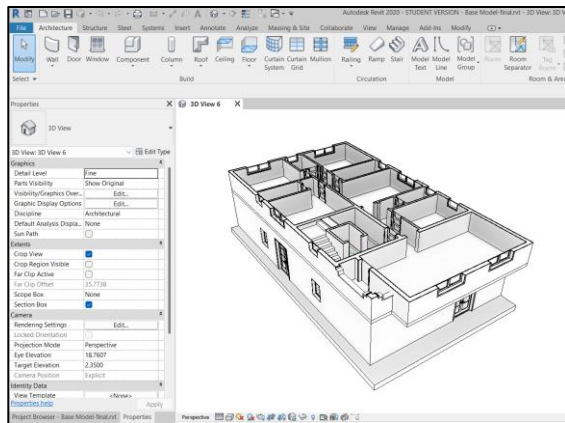
إعتمدت الدراسة على الأسلوب التطبيقي كما هو موضح في الشكل (9)، الخطوة الأولى تتضمن بناء نموذج معلومات البناء (BIM) للتصميم الأساسي للمخطط السكني. ثم يتم إجراء محاكاة الطاقة لحساب حمل التبريد للحالة الأساسية (Base Model) للحالة الدراسية في كل من الغرف المحددة في الواجهة الجنوبية والغربية خلال الفترة الحارة (أشهر الصيف الثلاثة: يونيو/ يوليو/ أغسطس) تحديداً بإعتبار الضغط العالي على حمل التبريد في هذه الفترة. الخطوة الثانية تتعلق بتنفيذ سيناريوهات البدائل التصميمية بحسب متغيرات النوافذ وإجراء محاكاة الطاقة لكل سيناريو، ومن ثم يتم تحليل النتائج والمقارنة بينها. من المتوقع أن يكشف هذا التحليل عن كيفية تأثير خيارات التصميم لمتغيرات النوافذ في الواجهة الجنوبية والغربية على حمل التبريد (Cooling Load) خلال الفترة الحارة في المباني السكنية في مدينة الرياض، وأي الخيارات كان له التأثير الأكبر على الحمل عند تغييره. يتم إنشاء نموذج (BIM) للتصميم الأساسي وتنفيذ سيناريوهات البدائل التصميمية باستخدام تطبيق Revit، كما تتم إجراءات محاكاة الطاقة بواسطة تطبيق IES-VE.



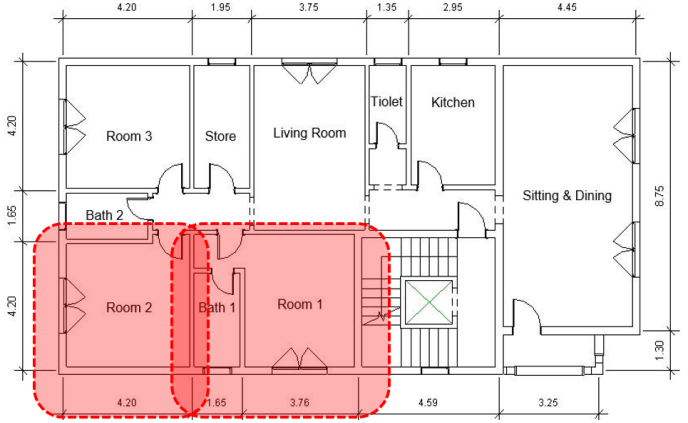
شكل (11): نموذج ثلاثي الأبعاد للحالة الدراسية أعده الباحثان (مشروع الفيلا السكنية في مرحلة التصميم الأولي)



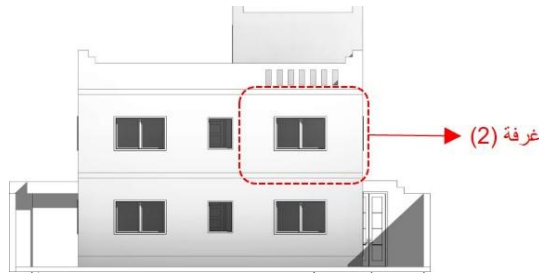
شكل (10): موقع المشروع (فيلا سكنية) في حي العليا بمدينة الرياض واشتراطاته التنظيمية المرجع: خرائط جوجل والخرائط الرقمية لمدينة الرياض



شكل (13): نموذج معلومات البناء (BIM) أعده الباحثان للفيلا



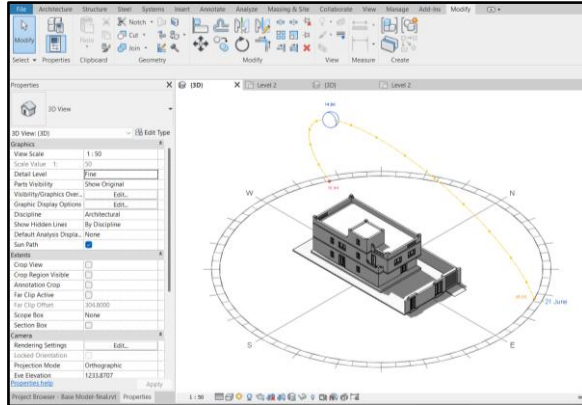
شكل (12): مخطط الدور الأول للفيلا أعده الباحثان وموضح عليه الغرفتين (1) و (2) حالة الدراسة



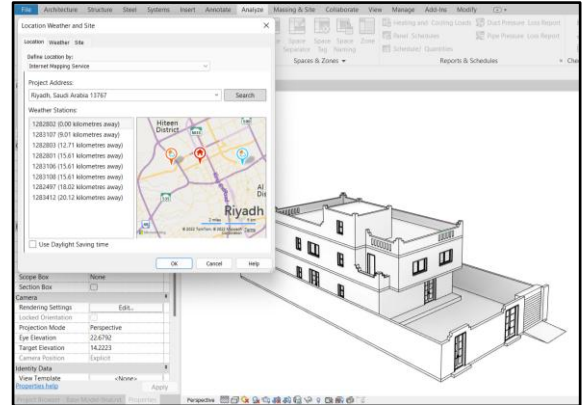
شكل (15): الواجهة الغربية للفيلا أعدها الباحثان وموضح عليها موقع الغرفة (2)



شكل (14): الواجهة الجنوبية للفيلا أعدها الباحثان وموضح عليها موقع الغرفة (1)



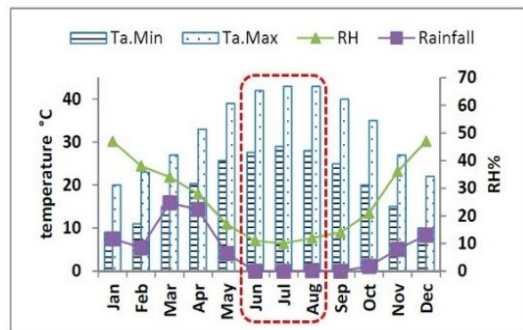
شكل (17): دراسة المناخ والظل في تطبيق (BIM)



شكل (16): موقع المشروع وتوجيه المبنى في تطبيق (BIM)

د-3. المناخ في منطقة الحالة الدراسية (الرياض):

منطقة الرياض كما يتضح من شكل (18)، ذات مناخ صحراوي حار وجاف صيفاً، بارد وممطر أحياناً شتاءً. يصل المتوسط اليومي السنوي لدرجة الحرارة إلى 26.6 مئوية، حيث يرتفع إلى أكثر من 50 مئوية في الصيف، وينخفض في فصل الشتاء إلى الصفر المئوي، مع رطوبة نسبية تبلغ 33.1% ومتوسط تساقط أمطار سنوي 84.4 ملم. كما تتعرض المنطقة للعواصف الغبارية والرملية المتكررة بفعل الكثبان الرملية الصحراوية المحيطة بها. ويكون الجو صافياً في الغالب على مدار السنة. يستمر الموسم الحار لمدة 4 شهراً بمتوسط درجة حرارة مرتفعة يومية أعلى من 39 درجة مئوية. يستمر الموسم البارد لمدة 3 أشهر بمتوسط درجة حرارة مرتفعة يومية أقل من 25 درجة مئوية. ويوضح الشكل (19) الظروف المناخية لمدينة الرياض ومشار فيها إلى الشهور الثلاثة التي تسجل الدرجات الأعلى في الحرارة خلال السنة (يونيو- يوليو- أغسطس).



شكل (19): الظروف المناخية لمدينة الرياض موضحة للشهور الثلاثة التي تسجل أعلى درجات الحرارة خلال السنة (يونيو- يوليو- أغسطس)



شكل (18): موقع وإرتفاع مدينة الرياض في الخريطة الطبوغرافية للمملكة العربية السعودية

د-4: مقترحات البدائل التصميمية للحالة الدراسية:

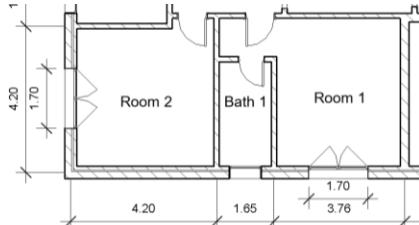
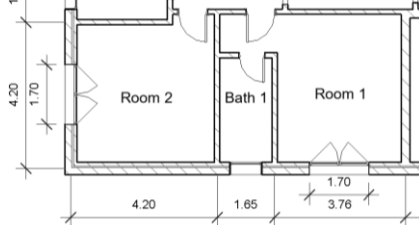
تم اقتراح أربعة سيناريوهات للبدائل التصميمية اعتماداً على متغيرين فقط من متغيرات النوافذ (مواصفات الزجاج والظل الواقع عليه) لتحسين الأداء الحراري للواجهة الجنوبية والغربية للمبنى، وذلك بناءً على أن هاتين الواجهتين هما الأكثر كسباً للحرارة نسبة للموقع الجغرافي لمدينة الرياض، الأمر الذي يشكل تحدياً وظيفياً لأي معماري. وكما يتضح من الجدول رقم (1) كانت سيناريوهات البدائل كالتالي:

- السيناريو رقم (1): تحويل الزجاج من زجاج مفرد إلى زجاج مزدوج شفاف 6 ملم / 13 ملم فراغ هواء - (U-Value 2.8567 W/m2.K)
- السيناريو رقم (2): زجاج مزدوج شفاف 6 ملم / 13 ملم فراغ هواء ومعالج بتقنية النانو - (U-Value 1.5330 W/m2.K) (SHGC 0.26)
- السيناريو رقم (3): إرتداد نوافذ الواجهة الجنوبية للداخل (مع تطبيق التطوير المقترح في سيناريو 1 و 2)
- السيناريو رقم (4): إرتداد وتقسيم النوافذ العريضة في الواجهة الغربية (مع تطبيق التطوير المقترح في سيناريو 1 و 2)

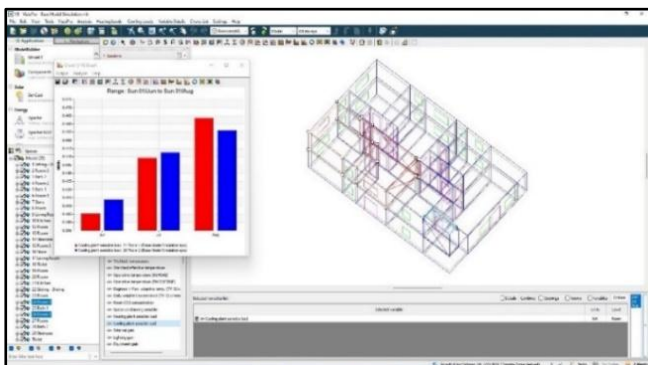
د-5. نمذجة الحالة الأساسية والبدائل التصميمية:

قام الباحثان بتنفيذ جميع سيناريوهات بدائل التصميم ببرنامج Revit، وتمثلت أهم الخطوات في تحديد الخواص الحرارية للنوافذ في كل سيناريو مثل قيمة الموصلية الحرارية (U-Value) ومعامل الإكتساب الحراري (SHGC)، ومن ثم تصدير النماذج الرقمية (BIM) للبدائل بعد تحديد المعلومات المطلوبة لإجراء محاكاة الطاقة لكل سيناريو على حده في تطبيق IES-VE. كما يتضح من الشكلين (20) و (21).

جدول (1): يوضح الحالة الأساسية للتصميم بالمقارنة مع مقترحات بدائل التصميم بحسب متغيرات النوافذ في الواجهة الجنوبية والغربية (إعداد الباحثين).

نوع الزجاج		المسقط الأفقي الجزئي		الواجهة	
				الواجهة الغربية	الواجهة الجنوبية
أولاً: الحالة الأساسية لتصنيف زجاج وتشكيل النوافذ الجنوبية والغربية					
الحالة الأساسية للتصميم: استخدام زجاج مفرد شفاف 6 ملم للنوافذ في الواجهة الجنوبية والغربية - (U-Value 5.7780 W/m2.K)					
					
زجاج مفرد					
ثانياً: بدائل تطوير توصيف النافذة في الواجهة: زجاج مزدوج، وزجاج معالج بتقنيات النانو					
السيناريو رقم (1): تحويل الزجاج من زجاج مفرد إلى زجاج مزدوج شفاف 6 ملم / 13 ملم فراغ هواء - (U-Value 2.8567 W/m2.K)					
السيناريو رقم (2): زجاج مزدوج شفاف 6 ملم / 13 ملم فراغ هواء ومعالج بتقنية النانو - (SHGC 0.26) (U-Value 1.5330 W/m2.K)					
					
				زجاج مزدوج	
				سيناريو رقم (1)	
ثالثاً: تطوير متغيرات النافذة في نفس موقعها بالواجهة لتحقيق نسبة أعلى من الإزالة: إرتداد وتقسيم النوافذ لتظليلها					
السيناريو رقم (3): إرتداد نوافذ الواجهة الجنوبية (مع تطبيق التطوير المقترح في سيناريو 1 و2)					
السيناريو رقم (4): إرتداد وتقسيم النوافذ العريضة في الواجهة الغربية (مع تطبيق التطوير المقترح في سيناريو 1 و2)					
					
				زجاج مزدوج	
				زجاج معالج بتقنية النانو	
				سيناريو رقم (2)	

المحددتين. الشكل (24) يوضح النتائج الخاصة بحساب حمل التبريد في الحالة الأساسية للتصميم (Base Model) للغرفتين (1) و(2) بعد إجراء محاكاة الطاقة.



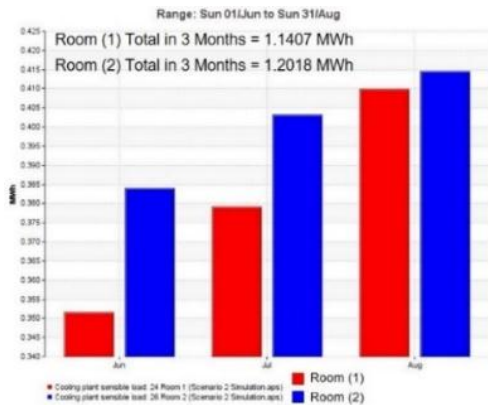
شكل (23): إدراج نموذج (BIM) للحالة الأساسية إلى تطبيق IES-VE وإجراء محاكاة الطاقة لحساب حمل التبريد للغرفتين من خلال (Apache Dynamic Simulation)

هـ - المحاكاة الرقمية للطاقة وتحليل النتائج:

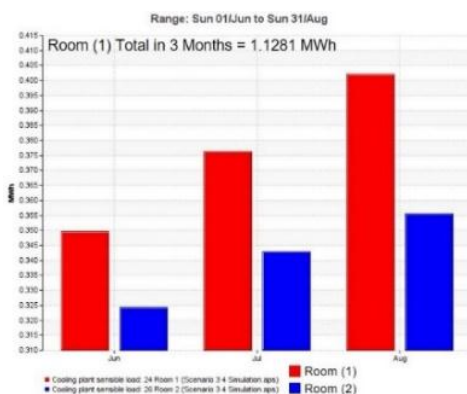
يتضمن الجزء الثاني من سير العمل المقترح للدراسة إجراء محاكاة الطاقة وتقييم الأداء الحراري لكل من الحالة الأساسية للتصميم وسيناريوهات البدائل التصميمية المقترحة بحسب متغيرات النوافذ لحساب حمل التبريد (Cooling Load) في الفترة الحارة (أشهر الصيف: يونيو/ يوليو/ أغسطس) في الغرفتين المحددتين (1) و(2)، والمقارنة بين النتائج لتحديد الخيار الأفضل في تحسين الأداء الحراري للغرف في كل من الواجهة الجنوبية والغربية، ومن ثم اتخاذ القرار بالتصميم المناسب لتحقيق الاستفادة للواجهات المحددة. وقد تمت إجراءات محاكاة الطاقة باستخدام تطبيق IES-VE.

هـ-1. نتائج الحالة الأساسية:

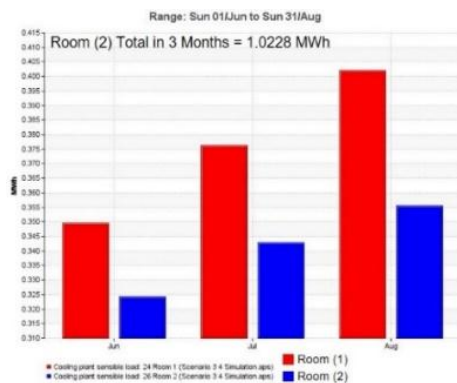
تمثلت الخطوات الأولى في إدراج النموذج الرقمي للحالة الأساسية بصيغة (gbXML) إلى تطبيق IES-VE لإجراء محاكاة الطاقة وإدخال البيانات المطلوبة الظاهرة في الشكل (22) و(23)، وبعد إنشاء (Thermal Profile) الخاص بحالة الدراسة وإستخدام (Apache Simulation) لإجراء المحاكاة لحساب حمل التبريد في الفترة الحارة، تم إستعراض نتائج المحاكاة من خلال (VistaPro) في الغرفتين



شكل (26): نتائج السيناريو الثاني: تحسين الأداء الحراري للنوافذ في الواجهة الجنوبية والغربية باستخدام الزجاج مزدوج المعالج بتقنية النانو (U-Value 1.5330 W/m2.K)



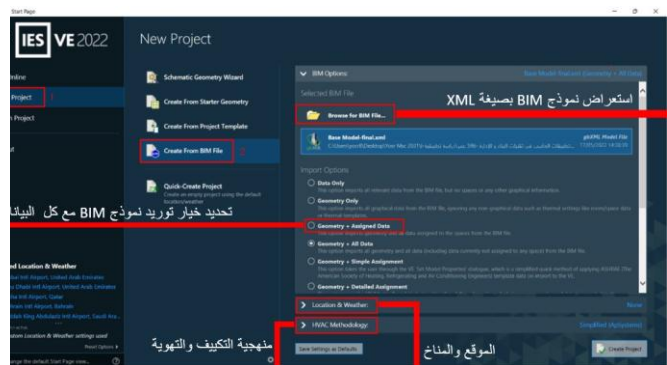
شكل (27): نتائج السيناريو الثالث: إرتداد النافذة (Recessed) لتحقيق التظليل في الواجهة الجنوبية مع استخدام زجاج مزدوج معالج بتقنية النانو (U-Value 1.5330 W/m2.K)



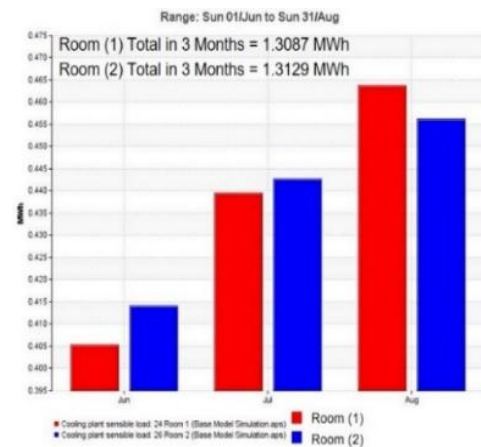
شكل (28): نتائج السيناريو الرابع: إرتداد وتقسيم النافذة العريضة رأسياً إلى أجزاء النافذة لتحقيق التظليل في الواجهة الغربية مع استخدام زجاج مزدوج معالج بتقنية النانو (U-Value 1.5330 W/m2.K)

و- النتائج والمناقشة:

هذا الجزء يوضح نتائج الدراسة التطبيقية التي تم فيها إجراء دراسة تطبيقية على نموذج لمبنى سكني (فيلا) في مرحلة التصميم الأولية لتحسين الأداء الحراري لنوافذ الواجهة الجنوبية والغربية. وعن طريق برنامج Revit تم إنشاء نماذج (BIM) للحالة الأساسية ومقترحات البدائل التصميمية أولاً لتطوير توصيف الزجاج المستخدم في النوافذ، وثانياً زيادة الظل الواقع عليه بتطوير موقع النوافذ في الواجهات المعنية من خلال إرتداد النافذة عن مستوى سطح الواجهة، وتقسيم النافذة بحاجز رأسي في الواجهة الغربية. تم تحديد الخصائص الحرارية وتصديرها إلى تطبيق IES-VE لإجراء محاكاة الطاقة والحصول على بيانات النتائج الخاصة بحساب حمل التبريد المحسوس لأشهر الصيف لكل سيناريو من السيناريوهات الأربعة في الغرفتين (1)



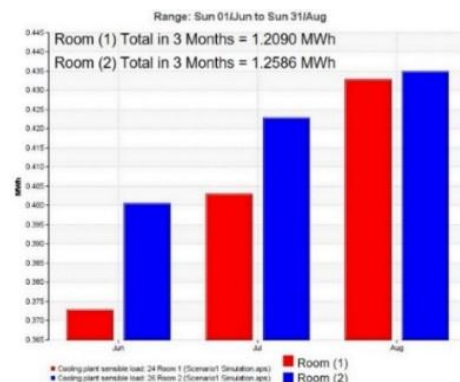
شكل (22): أهم البيانات المدخلة (Inputs) في تطبيق IES-VE لإجراء محاكاة الطاقة لنموذج (BIM)



شكل (24): نتائج الحالة الأساسية (Base Model) لحساب حمل التبريد خلال الفترة الحارة (يونيو- يوليو- أغسطس) للغرفتين (1) و (2) (U-Value 5.7780 W/m2.K)

هـ-2. نتائج المحاكاة الرقمية لسيناريوهات البدائل التصميمية:

بعد تحديد الخصائص الحرارية ومن ضمنها قيمة الموصلية الحرارية (U-Value) لكل متغير من متغيرات النوافذ للبدائل التصميمية في تطبيق (BIM)، ويمثل الخطوات السابقة للحالة الأساسية تم إدراج جميع السيناريوهات الأربعة للمتغيرات كل على حدة إلى تطبيق IES-VE لإجراء محاكاة الطاقة لتقييم الأداء الحراري للغرفتين (1) و (2) المطلتين على الواجهة الجنوبية والغربية على التوالي لتحديد أي المتغيرات التي كان لها تأثير كبير على خفض حمل التبريد بالمقارنة مع حمل التبريد في الحالة الأساسية في كل من الواجهتين. الأشكال (25) و (26) و (27) و (28) تظهر النتائج الخاصة بكل سيناريو للبدائل التصميمية بعد إجراء محاكاة الطاقة باستخدام التطبيق.



شكل (25): نتائج السيناريو الأول: تحسين الأداء الحراري للنوافذ في الواجهة الجنوبية والغربية باستخدام الزجاج المزدوج (U-Value 2.8567 W/m2.K)

1.2586، 1.2090 ميغا واط للغرفة 1، (U-Value 1.5330 W/m².K) ميغا واط للغرفة 2).

وأدى المقترح الثاني الذي تم فيه تطوير موقع النافذة في الواجهتين مع استخدام الزجاج المزدوج المعالج بتقنية النانو في السيناريو رقم (3) و(4) كان له تأثير أكبر في خفض الاستهلاك في الغرفتين (1.1281 ميغا واط للغرفة 1، 1.0228 ميغا واط للغرفة 2) بواقع إنخفاض وقدره 12.6 كيلو واط في الغرفة (1) و179 كيلو واط في الغرفة (2) مقارنة مع السيناريو رقم (2) (1.1407 ميغا واط للغرفة (1)، 1.2018 ميغا واط للغرفة (2))، ويلاحظ وضوح هذا التأثير في السيناريو رقم (4) بارتداد نافذة الواجهة الغربية مع تقسيمها في الغرفة (2) (1.0228 ميغا واط) بصورة أكبر من السيناريو رقم (3) بارتداد نافذة الواجهة الجنوبية للغرفة (1).

وبالتالي يمكن ترتيب فعالية تأثير السيناريوهات المقترحة لتخفيض الحمل الحراري للغرف كالآتي:

○ بالنسبة للغرفة (1) المظلة على الواجهة الجنوبية كما يلخصها شكل (31): أفضل بديل هو السيناريو رقم (3) والتمثل في تحسين الأداء الحراري بتطوير موقع النافذة وإرتدادها (Recessed) مع استخدام الزجاج المزدوج المعالج بتقنية النانو حيث يمثل البديل التصميمي الأكثر فعالية في تخفيض حمل التبريد للغرفة خلال الفترة الحارة (1.1281 ميغا واط) بوفرة وقدرها 180.6 كيلو واط في استهلاك الطاقة خلال الثلاثة أشهر بالمقارنة مع حساب حمل التبريد في الحالة الأساسية للتصميم (1.3087 ميغا واط)، يليه السيناريو رقم (2) (تطوير توصيف الزجاج باستخدام الزجاج المزدوج المعالج بتقنية النانو، 1.1407 ميغا واط)، ثم يأتي السيناريو رقم (1) (تطوير توصيف الزجاج باستخدام الزجاج المزدوج، 1.2090 ميغا واط) في المرتبة الأخيرة.

○ أما في الغرفة (2) المظلة على الواجهة الغربية كما يلخصها شكل (32): أفضل بديل هو السيناريو رقم (4) ولك بتطوير توصيف الزجاج (استخدام الزجاج المزدوج المعالج بتقنية النانو) وزيادة نسبة التظليل (إرتداد وتقسيم النافذة العريضة)، 1.0228 ميغا واط) حيث يمثل البديل التصميمي الأكثر فعالية في تحسين الأداء الحراري في الواجهة الغربية خلال الأشهر الثلاثة مقارنة مع الحالة الأساسية للتصميم (1.3129 ميغا واط) ويوفر قدرًا 290.1 كيلو واط في استهلاك الطاقة خلال الفترة الحارة، يليه السيناريو رقم (2) (استخدام الزجاج المزدوج المعالج بتقنية النانو، 1.2018 ميغا واط)، وفي المرتبة الأخيرة جاء السيناريو رقم (1) (استخدام الزجاج المزدوج، 1.2586 ميغا واط).

أثبتت نتائج الدراسة أن البدائل التصميمية المقترحة سواء بتطوير توصيف زجاج النوافذ (بتطوير توصيف نوع الزجاج باستخدام الزجاج المزدوج المعالج بتقنية النانو) أو زيادة نسبة الإظلال له (بتطوير موقع النوافذ العريضة بارتدادها في الواجهة الجنوبية بالإضافة إلى تقسيمها في الواجهة الغربية) لها دور في تحسين الأداء الحراري دون اللجوء إلى تغيير مساحتها أو موقعها بالواجهة، كما أكدت الدراسة أن تبني المقترحين معاً له تأثير أكبر على تخفيض استهلاك الطاقة.

كما أكدت النتائج المستخلصة من إجراء المحاكاة باستخدام تطبيق IES-VE التالي:

○ سهولة الاستخدام من حيث واجهة المستخدم “architect-friendly”، وكذلك سهولة التشغيل البيئي (Interoperability) بينه وبين منصة (BIM) ودرجة التكامل الكبيرة بينهما في تبادل البيانات، وفعاليته في إعطاء مجموعة واسعة من التقارير بحسب المتغيرات، بالإضافة إلى تنسيق المخططات (IES Charts) بأنماط الرسوم البيانية المختلفة (أعمدة، شريطية أو دائرية).

○ قيود في الاستخدام بأن التطبيق يستلزم تبسيط أشكال النماذج (Geometries)، كما أنه لا يدعم الأسطح المنحنية (Curved Surfaces) عند تصديرها من أداة (BIM) المستخدمة مما يسبب إشكالية عند التعامل مع الأشكال المعقدة.

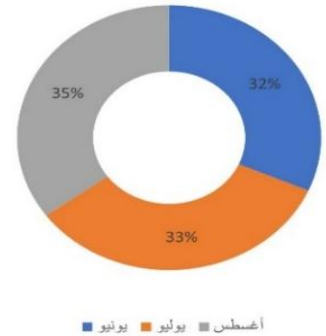
ز- التوصيات والرؤى المستقبلية:

تم تصنيف توصيات الدراسة وفق مستوى جهات الاختصاص والمؤسسات والمصممين لتعزيز التوجهات نحو تحقيق الإستدامة كتحسين الأداء الحراري للواجهات في المباني السكنية:

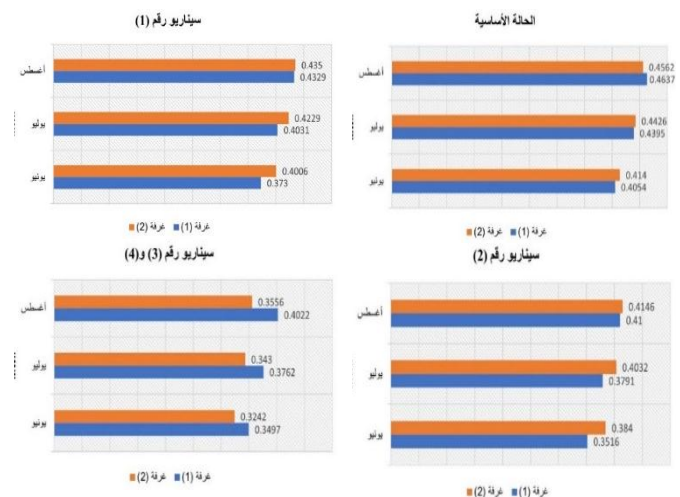
و(2) المظلتين على الواجهة الجنوبية والغربية والمبينة في الأشكال السابقة، وتمت مقارنتها مع نتائج حمل التبريد المحسوس للحالة الأساسية خلال الفترة الحارة. تم تصنيف وتحليل البيانات باستخدام برنامج مايكروسوفت إكسل، ودلت نتائج الدراسة على الآتي:

● أشارت نسب حمل التبريد المحسوس خلال الفترة الحارة للغرفتين (1) و(2) المظلتين على الواجهة الجنوبية والغربية، والمبينة في الشكل (29)، أن شهر أغسطس هو الأعلى في حساب حمل التبريد (35%)، يليه شهر يوليو (33%)، ثم شهر يونيو (32%) في كل من الحالة الأساسية للتصميم والسيناريوهات الأربعة للبدائل التصميمية.

شكل (29): نسب حمل التبريد المحسوس خلال الفترة الحارة للغرفتين (1) و(2) في الحالة الأساسية للتصميم والسيناريوهات الأربعة المقترحة



أدت الإجراءات المقترحة في البدائل التصميمية بتطوير توصيف زجاج النافذة من حيث تحويل الزجاج المستخدم من زجاج مفرد في الحالة الأساسية (U-Value 5.7780 W/m².K) إلى زجاج مزدوج (U-Value 2.8567 W/m².K) كما هو مطبق في السيناريو رقم (1)، ومن ثم تطبيق الزجاج المزدوج المعالج بتقنية النانو (U-Value 1.5330 W/m².K) كما هو في السيناريو رقم (2) قد عمل على تخفيض حمل التبريد خلال الفترة الحارة بالمقارنة مع الحالة الأساسية للتصميم في كلا الغرفتين، وإستمر ذلك الإنخفاض في الاستمرار مع تنفيذ المقترح الثاني بزيادة نسبة تظليل الزجاج بتطوير موقع النافذة في الواجهة (إرتداد للداخل – تقسيم) كما هو مطبق في السيناريو رقم (3) بارتداد نافذة الواجهة الجنوبية للغرفة (1)، وفي السيناريو رقم (4) بارتداد نافذة الواجهة الغربية العريضة مع تقسيمها في الغرفة (2)، مع استخدام الزجاج المزدوج المعالج بتقنية النانو المقترح في سيناريو رقم (1) و(2) في الحالتين الأخيرتين، ويتضح ذلك في حسابات حمل التبريد الموضحة في شكل (30).



شكل (30): حساب حمل التبريد المحسوس خلال الأشهر الثلاثة للغرفتين (1) و(2) في الحالة الأساسية للتصميم والسيناريوهات الأربعة المقترحة

أدى المقترح الأول الذي تم فيه تطوير توصيف الزجاج أن استخدام الزجاج المزدوج المعالج بتقنية النانو (U-Value 1.5330 W/m².K) المطبق في السيناريو رقم (2) إلى خفض الاستهلاك في حمل التبريد خلال الفترة المحددة لكلا الغرفتين (1.1407 ميغا واط للغرفة 1، 1.2018 ميغا واط للغرفة 2) بالمقارنة مع استخدام الزجاج المزدوج دون معالجة كما في السيناريو رقم (1)

International IBPSA Conference: Building simulation 2009, Glasgow, Scotland, 2009.

- [15] A. S. Solmaz, "A critical review on building performance simulation tools," *Alam Cipta*, 12(2), p. 7–21, 2019.
 - [16] M. H. Elnabawi, "Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results.," *Frontiers in Built Environment*, 6 (December), 2020.
 - [17] L. Buckley, "IES VE with CBECC-Com and Whole-Building Energy Modeling.," 2017.
 - [18] Y. N. P. C. L. J. & N. C. Bahar, "A thermal simulation tool for building and its interoperability through the Building Information Modeling (BIM) platform," *Buildings*, 3(2), p. 380–398, 2013.
 - [19] M. A. S. R. & R. K. Zanni, "Towards a BIM-enabled sustainable building design process: roles, responsibilities, and requirements," *Architectural Engineering and Design Management*, 13(2), 101–129, 2017.
 - [20] M. T. L. C. & C. M. Sušnik, "BIM-based energy and acoustic analysis through CVE tools," *Energy Reports*, 7, p. 8228–8237, 2021.
 - [21] "وزارة الشؤون البلدية والقروية،" 2020.
 - [22] M. I. L. Y. W. L. P. C. & I. O. M. Ayoosu, "Daylighting evaluation and optimisation of window to wall ratio for lecture theatre in the tropical climate," *Journal of Daylighting*, 8(1), p. 20–35, 2021.
 - [23] M. A. N. & D. A. Brahmankar, "Performance Analysis of Windows with Integration of Daylight and Artificial Light: A Case Study," *SSRN Electronic Journal*, 2018.
 - [24] Z. W. D. L. J. Y. H. & H. B. Liu, "Optimizing Building Envelope Dimensions for Passive Solar Houses in the Qinghai-Tibetan Region: Window to Wall Ratio and Depth of Sunspace.," *Journal of Thermal Science*, 28(6), p. 1115–1128., 2019.
- بذل المزيد من الجهود من جهات الاختصاص لتشجيع تطبيق التقنيات الرقمية الحديثة لنمذجة معلومات البناء (BIM) المتوجهة نحو الإستدامة بتوفير حوافز ومزايا لتطبيقها.
 - ضرورة أن تستمر المؤسسات في السعي لتطوير مهارات المصممين في الجمع بين تقنيات نمذجة معلومات البناء (BIM) والإستدامة، وتوفير التدريب المستمر على إستخدام برامج المحاكاة الرقمية لمواكبة التطورات والتحديات التي تطرأ على المجال.
 - التأكيد على أهمية إستخدام المصممين لبرامج المحاكاة في المراحل الأولية من التصميم حيث وضحت العديد من الدراسات دور محاكاة الوظائف والأداء في التحقق من صحة أداء مشاريع التصميم وتقادي الأخطاء المحتملة و تعديل التصميمات وطرح البدائل في مراحل مبكرة لتفادي فشل المشروع أو أجزاء منه.
 - توصي الدراسة بإعتماد تطبيق هذه البدائل التصميمية معاً لتحقيق أفضل النتائج في تحسين الأداء الحراري للواجهات وفق إحتياجات التصميم وإمكانيات المالك.
 - إجراء المزيد من الدراسات على متغيرات الواجهات الأخرى بالمباني السكنية للخروج بنتائج أكثر تفصيلاً حول تحسين الأداء الحراري،
 - فتح محاور مستقبلية حول دور التكامل بين نمذجة معلومات البناء (BIM) وأدوات النمذجة البارامترية (Parametric Modeling) من خلال الأبحاث في تحسين الأداء الحراري للمباني السكنية وإستكشاف تأثير هذا التكامل في دعم المصممين بصورة أكبر في التوصل الى خيارات التصميم الأمثل في المباني المستدامة.
- ح- المراجع:

- [1] A. Sieminski, "EIA's Energy Outlook 2016," U.S. Energy Information Administration, Independent Statistics & Analysis, 2016.
- [2] G. A. A. G. M. B. L. F. M. P. E. & S. E. M. Chiesa, "Parametric optimization of window-to-wall ratio for passive buildings adopting a scripting methodology to dynamic-energy simulation. Sustainability," *Sustainability (Switzerland)*, 11(11), 2019.
- [3] C. C. D. & W. S. Cho, "Building Information Modeling (BIM-BASED DESIGN OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS. 3, 1–6.," in *Proceedings of the 28th ISARC*, Seoul, Korea., 2011.
- [4] M. & B. O. Alwetaishi, "Impact of window to wall ratio on energy loads in hot regions: A study of building energy performance," *Energies*, 14(4), 2021.
- [5] الهيئة العامة للإحصاء، "التقرير السنوي للهيئة العامة للإحصاء - إحصاءات الطاقة الكهربائية،" الهيئة العامة للإحصاء، 2020.
- [6] ا. -و. الإسكان، "نظام تقييم مستدام للمباني السكنية - دليل مرحلة (التشغيل + المبنى القائم)،" البناء المستدام-وزارة الإسكان، 2019.
- [7] M. Alwetaisi, "Impact of glazing to wall ratio in various climatic regions: A case study," *Journal of King Saud University - Engineering Science*, 31(1), pp. 6-18, 2019.
- [8] O. & O. M. Oduyemi, "Building performance modelling for sustainable building design," *International journal of sustainable built environment*, vol. 5, no. 2, pp. 461-469, 2016.
- [9] S. Z. P. A. S.-F. S. F. T. & C. B. T. Kim, "Assessment of the Impact of Window Size, Position and Orientation on Building Energy Load Using BIM.," *Procedia Engineering*, 145, , p. 1424–1431, 2016.
- [10] I. K. S. R. Y. G. A. & L. H. Petri, "Optimizing energy efficiency in operating built environment assets through building information modeling: A case study.," *Energies*, 10(8), p. 1–17, 2017.
- [11] C. & C. Y. K. Wang, "Performance Evaluation of Automatically Generated BIM from Laser Scanner Data for Sustainability Analyses," *Procedia Engineering*, 118, 918–925, 2015.
- [12] W. & W. X. Bonenberg, "Green BIM in Sustainable Infrastructure," *Procedia Manufacturing*, vol. 3, pp. 1654-1659, 2015.
- [13] T. H. Q. Z. A. & Z. Q. Han, "Simulation-based decision support tools in the early design stages of a green building-A review.," *Sustainability (Switzerland)*, 10(10), 2018.
- [14] S. B. L. D. H. A. & H. J. Attia, "“ARCHITECT FRIENDLY”: A COMPARISON OF TEN DIFFERENT BUILDING," in *Eleventh*