استخدام نمذجة معلومات البناء BIM في التحكم في تكلفة المباني المستدامة خلال مرحلة التصميم

الباحث/ مصطفى احمد السعيد موافي
ماجستير الهندسة المعمارية - كلية الهندسة بالمطرية – جامعة حلوان
mostafa.mwafy@m-eng.helwan.edu.eg

أ.د/حمدي صادق أحمد
أستاذ العمارة بقسم الهندسة المعمارية
كلية هندسة بالمطرية - جامعة حلوان

أ.م.د/إيناس عبد الصبور
أستاذ العمارة المساعد بقسم الهندسة المعمارية
كلية هندسة بالمطرية - جامعة حلوان

ملخـــــص

إن دور استخدام نمذجة معلومات البناء BIM قد ظهر حديثا في إدارة بيانات المشروعات وخاصة المستدامة منها، وتقليل أخطاء التنفيذ نظرا للدقة المتناهية التي يقدمها في مختلف مراحل المشروع التصميمية والتنفيذية والتشغيلية ، وقد تناول هذا البحث دور نمذجة معلومات البناء BIM في مراقبة والتحكم وأيضاً خفض تكلفة المباني المستدامة خلال مرحلة تصميم المبنى وباستخدام البرمجيات المدمجة مع نظام BIM، وعرض فوائد ذلك على قطاع المباني المستدامة.

Summary

The role of the use of Building Information Modeling (BIM) has recently emerged in managing project data, especially sustainable ones, and reducing implementation errors and conflicts due to the extreme accuracy that is shown in the various design, implementation and operational stages of the project. This research dealt with the role of Building Information Modeling (BIM) in monitoring, controlling, and even reducing the cost of sustainable buildings during the building design stage, using software integrated with the BIM system, and presenting the benefits of this to the sustainable building sector.

كلمات مفتاحية : نمذجة معلومات البناء، BIM، المباني المستدامة، التصميم المستدام.

Keywords: Building Information Modeling, BIM, sustainable buildings, Sustainable Design.

مقدمـــــة

إن الإستعانة بتطبيقات التكنولوجيا الحديثة والنماذج الرقمية في العمارة إنتقلت بالتصميم إلي مراحل متقدمة من الابداع المعماري، ولقد ظهرت مؤخراً أدوات أكثر تطوار تمثل المبني كقاعدة بيانات متكاملة من المعلومات المنسقة وتختلف تماما عن الاستخدام التقليدي لبرنامج الأوتوكاد أطلق عليها نمذجة معلومات البناء **BIM** Building Information Modeling، و خلال السنوات الأخيرة ازداد إعتماد كثير من دول العالم المتقدم علي BIM ويظهر ذلك من خلال المؤتمرات المنعقدة والتقارير المقدمة عن BIM والتي اثرت بدورها في صناعة البناء لتصبح أكثر تطوار في مجالات التخطيط والتصميم والتنفيذ والتشغيل والادارة، ولقد تمكن تطبيق نموذج البيم من تطوير أدوات ووسائل إنتاج المبني بطريقة تضمن تحسين مستوي الجودة والتنظيم والتواصل بين العاملين في كافة مراحل المشروع بالاضافة إلى تخفيض الوقت والتكلفة.

لقد إتخذت الدولة المسار الصحيح في السنوات الأخيره لإنشاء عدد من المشروعات القومية وإنشاء مدن مختلفه كليا عن المدن التقليديه تصميماً وانشاءاً معتمده علي التقنيات الحديثة في مجال الحاسب الالي (مدن ذكية مستدامة) ، و تتناول الورقة البحثية التعريف بنمذجة معلومات البناء BIM وربط أدواتها بالعمارة وإنعكاس تطبيقها علي التصميم، ويصل البحث إلي استراتيجية للتطبيق داعمة لتحقيق مدن خضراء مستدامة من خلال توثيق وإبراز دور التطبيقات الحديثة في مجال الحاسب الالي وتأثير ذلك علي جودة المنتج المعماري. (محمد هشام سعودي 2019)

أشكالية الدراسة

كثيراً ما ينطوي نطاق المشروع على مسائل معلومات ناقصة تسبب عدم اليقين في التكاليف. يتم إعداد التقديرات باستخدام البيانات التاريخية أو مشروع مماثل تم الحصول عليها من قاعدة بيانات التكاليف التي يتم تعديلها إلى أسعار السوق. إن البيانات التاريخية تحتوي على قضايا متأصلة مثل معلومات غير مكتملة، أخطاء في التصميم و يهدف عموماً إلى تحقيق التكلفة المتوقعة. وعلاوة على ذلك، خلال البناء هناك بيانات محدودة متاحة عن تقدم المشروع، مما يستلزم إجراء المعالجة لرصد التكاليف و مراقبلتها. و تعتبر آلية نقل الوثائق و تسجيلها سبباً حاسماً لخسارة البيانات تؤدي إلى زيادة التكلفة، لذلك جودة البيانات و إدارتها أمر حيوي و هام لنجاح إدارة التكاليف في أي مشروع بناء، وهذا ما يوفره العمل بتقنية البيم: (عملية التخطيط و التقدير و التنسيق و الرقابة و الإبلاغ عن جميع التكاليف ذات الصلة بدءاً من بدء المشروع وحتى وقت التسليم النهائي للمالك)

هدف الدراسة

يهدف البحث إلى تحديد طرق التحكم ومراقبة في تكلفة المباني المستدامة خلال مرحلة التصميم باستخدام تقنية نمذجة معلومات البناء BIM ووضع الآلية المناسبة لذلك وتوضيح البرمجيات المستخدمة في كل مرحلة من مراحل التصميم

فرضية الدراسة

تتلخص الفرضية الرئيسية لهذه الدراسة فى أن وجود آلية واضحة لمراقبة والتحكم في تكلفة المشروع خلال مراحل المشروع يؤدي إلى خفض أعمال التعديلات على التصميم وزيادة نسب تنفيذ المشروعات بالتكلفة الأولية الموضوعة لها دون تأخير.

منهجية الدراسة

يتم أتباع مجموعة من الخطوات البحثية لتحقيق أهداف الدراسة وذلك وفق المناهج التالية :

- الخطوة الأولى :وفيها يتم إتباع المنهج الإستقرائى وذلك للتعرف على سياسة إنشاء المدن الجديدة وأهدافها، وأهم عوامل التنمية اللازمة لها.
- الخطوة الثانية : وفيها يتم إتباع المنهج التحليلي لمجموعة من التجارب العالمية فى إنشاء مدن جديدة، وايضا التعرف على دور عوامل التنمية فى تغير نتائج هذه التجارب.

ومن خلال الخطوتين الأولى والثانية يتم التوصل إلى مجموعة من الحوافز التى تساهم فى أن المدن الجديدة تحقق أهدافها السكانية.

- الخطوة الثالثة : وفيها يتم إتباع المنهج التحليلي لمجموعة من المدن الجديدة المصرية، وذلك للتعرف علي معدلات النمو السكانى الخاص بها وأسباب تأخر التنمية. مع عمل دراسة ميدانية وذلك للتعرف عن قرب على أهم المشاكل الموجودة في هذه المدن.

1- تعريف نمذجة معلومات البناء (BIM):

اختصارا هو عمل نموذج لكل معلومات المبنى لتكون في متناول يد كل المشاركين بالمشروع خلال دورة حياة المبنى. (عمر سليم 2018)

ويمكن أيضا تعريفه بأنه هو تمثيل لكل من الخصائص الفيزيائية والوظيفية للمنشأة_ في شكل نموذج محاكاة يتم بناءه باستخدام الكمبيوتر _ و يكون هو مصدر المعلومات المشتركة خلال دورة حياة هذه المنشأة حيث تشكل أساساً يمكن الاعتماد عليهه في اتخاذ القرارات. (ياسر أبو السعود، 2017)

البيم هي اختصار لنمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling)، وهي تعني تصميم نموذج للمبنى شامل جميع المعلومات والبيانات الخاصة به، ومعنى نموذج هنا يتعدى حدود مفهوم بناء أي مجرد شكل ثلاثي الأبعاد. بل إن المقصود بنموذج للمبنى في تقنية البيم هو عمل محاكاة وتوصيف لكل عملية يمر بها المبنى عند بناؤه في الواقع، وبالتالي فهو يشمل بناؤه كشكل ثلاثي الأبعاد(3D) له خصائصه التي يمكننا إدخالها، ويشمل أيضاً إدراكه لعامل الوقت أو الزمن(4D)، وكذلك إدخال أيضا عامل التكلفة(5D) و العامل السادس هو الاستدامه و العامل السابع هو ادارة المشروع بعد الانتهاء من تنفيذه و الاهتمام بصيانته واي تغييرات تطرق على المبنى بالمستقبل.

ونمذجة معلومات البناء (BIM) هي واحدة من أهم التطورات الواعدة الأخيرة في مجالات الهندسة المختلفة (AEC – Architecture, Engineering and Construction)و باستخدام BIM يتم إنشاء نموذج تخيلي دقيق للمبنى؛ وهذا النموذج معروف باسم نموذج معلومات المبنى، ويمكن استخدامه في تخطيط وتصميم وبناء وتشغيل المشروع، كما أنه ايضا يساعد المهندسين في تصور ما سيتم بناؤه في بيئة محاكاة تخيلية وذلك لتحديد بدائل التصميم والانشاء، أو العناصر المتعلقة بالتشغيل. و BIM كمنهج جديد في مجالات الهندسة المختلفة (AEC)فهو يعمل على تكامل أدوار الأطراف أصحاب المصلحة بالمشروع.

شكل (1) الأبعاد المختلفة لتكنولوجيا BIM

المصدر: Wyner, 2014

2- تقييم الاستفادة من برمجيات BIM في مجال الاستدامة:

بعض الأبحاث ناقشت الكثيرمن القضايا المحيطة باستخدام BIM جنباً إلى جنب مع ممارسات التصميم المستدام و المشاكل المرتبطة به كمحاولة لتقييم الفوائد بطريقة كمية بحتة، و نقاش القيود المفروضة على البحوث و الدراسات السابقة عن BIM في قياس مدى الاستفادة، و اقتراح إطار أوسع يشمل كلا من القياس الكمي و النوعي لفهم اشمل لعملية الدمج بين BIM و التصميم المستدام لقياس ما يمكن لـ BIM أن يقدمه للاستدامه، و تقديمه كنظام لتيسير التغيير في مفاهيم و ممارسات البناء المستدام السائدة، ووضع محددات قياس الأداء تتطلب أكثر من مجرد تقييم الأداء الفني فقط ، من أجل أن يصبح BIM ذو فائدة لكل من الأداء التنظيمي و أداء البناء.

1-2 أهمية تطبيقات BIM في المباني المستدامة:

- **تحليل الطاقة**

يمكن للبيم إجراء تحليلات الطاقة في جميع مراحل عملية التصميم وتقييم مختلف الخيارات وذلك لتوفير الطاقة، ويمكن لأدوات تحليل الطاقة أن توفر تحليلاً للبناء بأكمله يسمح للمصممين بفهم توقعات تكلفة الطاقة التي يمكن أن تساعد بالقرارات المالية والتصميمية.

- **تحسين إدارة المرافق:**

يمكن لبرنامج بيم من خلال تضمين مديري المنشآت في عملية التصميم، أن يمنحهم إمكانية الوصول إلى البيانات الضرورية وأن يبرهنوا على كيفية جمع هذه البيانات وإدارتها ضمن أنظمة إدارة المرافق Facility Management ويمكن استخدام هذه البيانات المخزنة في برنامج بيم لتدريب عمال الصيانة على أنظمة المبنى أثناء عملية التصميم والبناء.

يمكن مع التدريب المناسب لمدراء المرافق وعمال الصيانة أن يعمل البيم على ضمان بناء يحقق عائد الإستثمار، وتحسين أدائهم، وزيادة دورة حياة معداتهم.

- **إدارة المواد:**

تمثل المواد التي تختارها لبناء المبنى تكلفة كبيرة، وايضا عاملاً مهماً في تحديد التأثير البيئي للمبنى. فأدوات برامج البيم تتأكد من أن جميع معلومات البناء منسقة داخلياً، وهذا يساعد على ضمان حساب دقيق للتكلفة المادية للمشروع.

- **الحد من النفايات وعدم الكفاءة:**

تقوم أدوات البيم بتنسيق معلومات التصميم عبر كل الوثائق والمحاكاة المستخدمة في المشروع والجداول الزمنية، وغير ذلك، مما يعمل على الحد من النفايات وممارسات البناء غير الفعالة في موقع البناء.

ويمكن أن تؤدي وثائق البناء التي لم يتم تنسيقها إلى سوء التنفيذ والعمل الغير الضروري أو دون المستوى المطلوب، أو جهود إعادة البناء كل هذه المشاكل يمكن أن تهدر كميات كبيرة من الطاقة والموارد المادية، وتكلف المالك مالاً إضافيا.

- **تحسين التصميم:**

يمكن لفريق التصميم تطوير ودراسة بدائل تصميم متعددة مع أدوات البيم من أجل تصور وتحديد وتحليل كيفية بناء مبنى قادر على تحقيق أهداف الإستدامة. يمكن اتباع عدة خيارات طوال عملية التصميم، مما يساعد المهندسين المعماريين في جمع وإدخال المزيد من المعلومات من أجل إتخاذ القرارات المثلى. على سبيل المثال، يمكن أن تتطور المخططات النهارية مع تنفيذ خطط وأنظمة أخرى للبناء، أو عندما يتم تغيير الخطط، ويمكن للمصممين أن يروا كيف ستؤثر هذه التغييرات مع مستويات مختلفة من الإستدامة.

- **ضوء النهار:**

يمكن ايضا استخدام نموذج البيم لتوفير استخدام الطاقة والأحمال الكهربائية للإنارة بالنهار وتوفير بيئة أكثر راحة والمساعدة على تحسين المزاج والصحة العامة والإنتاجية لمستخدمي المبنى(عمر سليم، 2018).

- **استخدام البيم في التجديدات:**

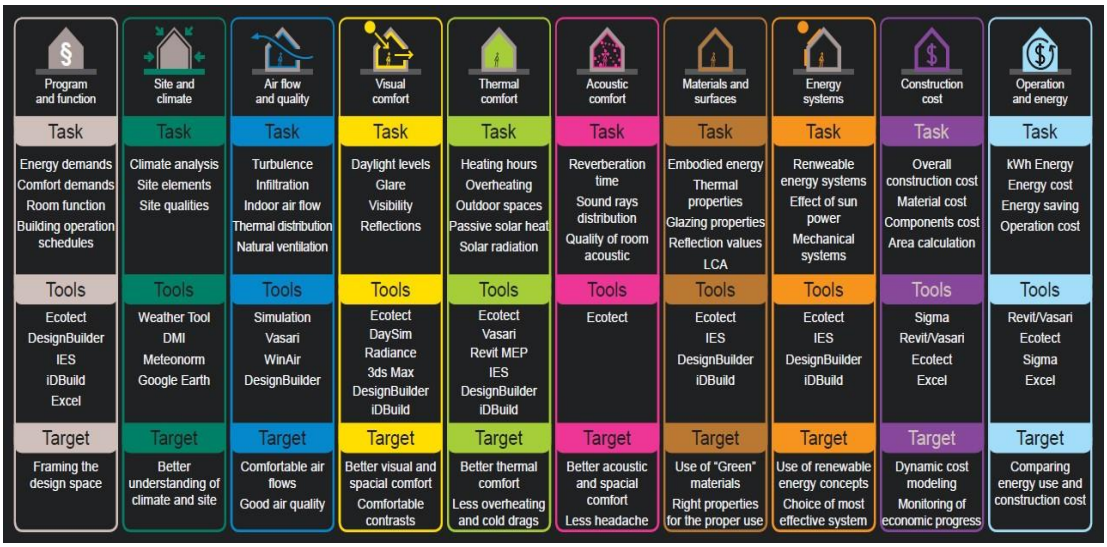
يمكن استخدام برمجيات البيم بشكل فعال في مشاريع التجديد. يمكن أن تساعد أدوات بيم المصممين والمهندسين المعماريين على رؤية تأثير مختلف في الخطط والمواد الجديدة على الصفات المستدامة لمبنى أقدم.

ان إدارة وتتبع المعلومات هي واحدة من المزايا الرئيسية التي تقدمها البيم. ويمكن لكل عنصر من عناصر المبنى أن يحتوي على بيانات إضافية مرتبطة به ويمكن أيضاً الوصول إليه بسهولة من خلال المصممين والمقاولين ومديري المباني.

2-2 برمجيات BIM المستخدمة في مجال الاستدامة:

مما لا شك فيه أن العمل على قياس أداء المباني باستخدام برمجيات BIM يقتصر على برنامج واحد وإنما يجب أن يتبع آلية عمل مكونة من عدة برمجيات يقوم كل منها بدور محدد خلال عملية التصميم بدءاً من مرحلة الأفكار الأولية (Conceptual Design Stage) (شكل 2) والذي يعطي تصوراً مبدئياً لأشهر البرمجيات التي يمكن استخدامها في قياس الأداء البيئي للمباني. إلى جانب هذه البرمجيات قامت بعض الشركات العالمية بتطوير برمجيات أو إضافات تعمل داخل برمجيات BIM.

شكل (2) البرمجيات المستخدمة في تحليل أداء المباني خلال مراحل التصميم



المصدر: عمر سليم، 2018

3-2 تقييم الإستدامة باستخدام تقنيات BIM:

كما هو الحال مع النماذج والرسومات التقليدية، وتقييم الأداء بناء على أساس الرسوم البيانية أو عناصرالـ CAD ؛ فإن الحلول التقليدية تتطلب قدراً كبيراً من التدخل البشري والكثير من التفسير، مما يجعل عمليات التحليل مكلفة للغاية وتستغرق وقتاً طويلاً. وأشار إستطلاع أجراه (CIFE Center for Integrated Facility (Engineering) في جامعة ستانفورد أن الأسباب الأقتصادية هي من الأسباب الرئيسية لعدم تنفيذ إجراءات التصميم والبناء المستدامة من قبل غالبية المشاركين في الاستطلاع CIFE,2004 . وحيث أن منهجية نمذجة معلومات البناء BIMتقوم على تمثيل المبنى كقاعدة بيانات متكاملة منسقة؛ وهذا يعني التصور الواضح لشكل المبنى وتوفير الكثير من البيانات اللازمة لدعم التصميم المستدام بشكل طبيعي في مراحل المشروع المختلفة. بالإضافة إلى ذلك فإن دمج نمذجة معلومات البناء BIM مع أدوات تحليل الأداء يسهل بشكل كبير من التحليلات المعقدة. هذا المنهج يعطي المهندسين المعماريين سهولة الوصول إلى الأدوات التي توفر إستجابة فورية على بدائل التصميم في وقت مبكر من عملية التصميم. وقد أشار Nies and Krygiel)2008) إلى أن الـ BIM يمكن أن يساهم في الجوانب التالية من التصميم المستدام: (ياسر ابو السعود، 2017)

- توجيه المبنى (التوجيه الأمثل الذي يؤدي إلى إستهلاك الحد الأدنى من الطاقة)
- كتلة المبنى (تحليل شكل المبنى وإقتراح الواجهات المثلى له)
- الإضاءة الطبيعية
- تجميع المياه (للحد من إحتياجات المبنى لمصادر المياه)
- تصميم نماذج إستهلاك الطاقة (للحد من إستهلاك الطاقة وتحليل إمكانية إستخدام مصادر الطاقة المتجددة)
- إستخدام المواد المستدامة وإستخدام المواد المعاد تدويرها (للحد من إستنفاذ المصادر الطبيعية للمواد)

3 استخدام BIM في التحكم في تكلفة المباني المستدامة:

3-1 تقدير تكلفة البناء:

إن برمجيات أنظمة BIM تستخدم للحصول على الكميات الدقيقة لعناصر البناء وتقديرات التكلفة خلال دورة حياة المشروع، تسمح هذه العملية لفريق العمل معرفة تأثير التغييرات الخاصة بهم على تكلفة المشروع خلال جميع مراحله، والتي يمكن أن تساعد في الحد من التجاوزات المفرطة للميزانية بسبب التعديلات في المشروع.

2-3 فوائد استخدام BIM في تقدير تكلفة البناء:

- تحديد كل الموارد المطلوبة بدقة.
- الحصول على الكميات بسرعة وذلك للمساعدة في اتخاذ القرارات خلال مراحل مبكرة من المشروع.
- الحصول على تقديرات التكلفة بمعدل أسرع من الطرق العادية وخاصة للمالك وذلك من خلال مرحلة التصميم وطول دورة حياة المشروع بالإضافة إلى التغيرات أثناء عملية البناء.
- تمثيل بصري أفضل لعناصر المشروع وذلك من خلال التقنيات المرئية المتاحة العالية الجودة.
- توفير الوقت المسؤول عن تقدير التكلفة وذلك من خلال توفير وقت حساب الكميات.
- السماح لمقدر التكلفة بالتركيز أكثر على أنشطة ومهام أخرى مثل تحليل تكلفة المخاطر، الأمر الذي من شأنه أن يؤدي إلى تقديرات تكلفة عالية الجودة.
- التطوير في عملية تقدير التكلفة وذلك من خلال إدخال الزمن كبعد إضافي مع التكلفة (5D) مما يساعد بتعقب مسار التكلفة خلال مرحلة التنفيذ.

3-3 برمجيات حساب التكلفة في BIM:

إن برمجيات BIM والتي نذكر منها Nomitech, Gala, Construction software, Digital Alchemy, VICO, Innovaya, Tocoman, Autodesk, Buildsoft، تقدم ميزات أدوات BIM لأفضل الطرق باستخراج الكميات والحصول على تقدير أمثل للتكلفة.

وقد وجد المستخدمون مستوى عالي من المخرجات لأدوات BIM بسبب التحديثات الديناميكية المستمرة للنموذج الالكتروني، حيث أن المخرجات تحولت من مخططات وصور إلى عناصر تظهر بالمناظير المختلفة وتسمح بتخزين كافة خصائص تلك العناصر. (لولوه خربوطلي، 2014)

ويوجد ثلاث خيارات أساسية لتطبيق أنظمة BIM لاستخراج الكميات ودعم عملية تقدير التكلفة وهي:

- **تصدير الكميات من برمجيات BIM إلى برمجيات تقدير التكلفة:**

تشمل معظم أدوات أنظمة BIM إمكانية استخراج الكميات والتي تتضمن أيضا إمكانية تصدير الكميات إلى قاعدة بيانات خارجية أو إلى جداول بيانات محددة ومنها Win QS – CostX – QTO – Easy Tender – QS Plus وغيرها من البرمجيات المختصة بحساب الكميات وتقدير التكلفة. ويعتبر برنامج مايكروسوفت اكسل Microsoft Excel من البرامج المستخدمة والشائعة والتي تصدر كميات البناء إليها برمجيات BIM (مثل برنامج Revit) لتصدير الكميات المستخرجة من النموذج المنشأ إليها. إن هذا النوع من تصدير المخرجات يؤدي إلى دقة أكبر بالكميات وبمرحلة مبكرة من المشروع، مع العلم أن هذا المنهج يتطلب نمذجة صحيحة ومتكاملة للحصول على المخرجات المطلوبة لعملية تقدير التكلفة وتحضير الكشف التقديري للمشروع.

- **الربط المباشر بين برمجيات BIM وبرمجيات تقدير التكلفة:**

استخدام أدوات BIM هو البديل الثاني لتقدير التكلفة والتي يمكنها الربط المباشر لعناصر المبنى مع برامج تقدير التكلفة والتي تعرف بالوظائف الإضافية Plug – in، فإن العديد من أدوات تقدير التكلفة ومع تطور BIM أصبحت تقدم هذا النوع من المكونات أو الوظائف الإضافية للربط المباشر لمكونات البناء معها. ويوضح الجدول أدناه بعض من تلك الأدوات. وبالتالي طورت عملية الربط المباشر مع برمجيات BIM والتي تسمح للمستخدم بربط عناصر البناء بأدوات ومواصفات برامج تقدير التكلفة.

جدول (1) برمجيات تقدير التكلفة

اسم البرنامج	الشركة المصنعة	الاستخدامات المتاحة مع أنظمة BIM	الموقع الالكتروني للمصدر
Success Estimator	U.S. Cost	تقدير التكلفة	www.uscost.com
Graphisoft Estimator	Graphiosoft	تقدير التكلفة	www.graphisoft.com
Innovaya	Innovaya	تقدير التكلفة	www.innovaya.com

المصدر: لولوة خربوطلي 2014

وبذلك يتم الحصول على مستوى عالي من المعلومات المترابطة والمتزامنة مع النموذج المنشأ بالإضافة إلى تلافي النقص لأي خاصية من خصائص العناصر النمذجة والتي تلزم بعملية تقدير التكلفة.

- **الأدوات المستقلة لحساب الكميات:**

استخدام أداة متخصصة لحساب الكميات والتي تستورد بياناتها من برمجيات BIM هو البديل الثالث. ومن مميزات هذا البديل هو أن المستخدم يمكنه اختيار أداة حساب الكميات التي تتوافق مع احتياجاته والتي اعتاد استخدامها دون الحاجة إلى تعلم ومعرفة كل الميزات وإمكانيات برمجيات BIM، والجدول التالي يعطي أمثلة عن تلك البرمجيات مع الشركة المصنعة لها. (لولوه خربوطلي، 2014)

جدول (2) برمجيات حساب الكميات المنفصلة

اسم البرنامج	الشركة المصنعة	الاستخدامات المتاحة مع أنظمة BIM	الموقع الالكتروني للمصدر
QTO	U.S. Cost	حساب الكميات	www.autodesk.com
Exactal	Graphiosoft	حساب الكميات	www.exactal.com
Innovaya	Innovaya	حساب الكميات	www.innovaya.com
Takeoff Manager	Vico	حساب الكميات	www.vicosoftware.com
OnCenter	OnCenter	حساب الكميات	www.oncenter.com

المصدر: لولوة خربوطلي 2014

ويمكن لتلك البرمجيات أن تضيف ملاحظات على عناصر المبنى وإنشاء المناظير المختلفة وذلك لتوضيح الكميات المحددة للعناصر، حيث أن المستخدم يقوم بتجميع عناصر البناء ويتم نقل بيانات العناصر البعدية ومواصفاتها إلى برمجيات حساب الكميات ومواصلة عملية التسعير فإن التحقق البصري لكافة عناصر البناء يقلل من احتمالية نسيان العناصر وخاصة في المشاريع الكبيرة، ولكنها بالمقارنة مع الربط المباشر بين عناصر المبنى المنمذج وبين برمجيات تقدير التكلفة نجد أن هذا البديل يستغرق وقت أطول لإستخراج المعلومات المطلوبة من نموذج BIM وتجميعها وإعدادها لعملية التسعير.

مع العلم أنه بكل الحالات السابقة الذكر يمكننا إما أن نبدأ العمل بالتصميم باستخدام برمجيات BIM أو تحويل مخططات الرسم الإلكترونية إلى برمجيات BIM (إما تصدير أو ربط مباشر) وذلك لعناصر المبنى ومناسيب الموقع العام (وبالتالي يمكننا استخلاص أوتوماتيكي لكميات الحفر والردم). وكذلك يمكن تحويل المخططات الورقية إن لم تتوفر الإلكترونية إلى برمجيات BIM مثل برامج Dprofiler من خلال عمل Scan للمخططات الورقية وتحويل الخطوط المرسومة إلى عناصر ثلاثية الأبعاد ذات خصائص محددة.

3-3 تطبيقات التحكم في تكلفة المباني المستدامة باستخدام BIM:

فيما سبق يتضح دور برمجيات BIM في تقدير والتحكم في تكلفة المباني خلال مرحلة التصميم بشكل خاص، وفيما يلي سيتم عرض بعض التطبيقات التي يمكن الاستفادة منها في تقدير التكلفة بنظام BIM للمباني المستدامة:

- اضافة تكلفة دورة الحياة مع التكلفة الاولية لعناصر المبنى المستدام عند حساب التكلفة.
- مراقبة التكلفة في بداية مرحلة تصميم المبنى المستدام عند تجربة البدائل التصميمية المختلفة وذلك لتصفية البدائل الأنسب حسب مبدئي الاستدامة المطللوبة وميزانية المشروع.
- امكانية ربط التكاليف بنقاط تصنيف معايير الاستدامة مثل LEED، وذلك لإمكانية مقارنة المعايير الأنسب للمشروع.
- دمج تكاليف ومواصفات عناصر وتجهيزات الاستدامة وتوفير الطاقة والمياه مثل الخلايا الشمسية وتجهيزات تدوير المياه وأجهزة التكييف عالية الكفاءة، وكذلك دمج بياناتها مباشرة من المورد او الشركة المصنعة وتحديث تكلفتها أول بأول في نموذج BIM.

4- الدراسة التحليلية:

قام الباحث بتطبيق برمجيات حساب التكلفة المدمجة مع نظام BIM على الحالة الدراسية باستخدام أحد برمجيات BIM (Autodesk Revit) والمقارنة بين تكلفة المبنى على التصميم الأساسي المستدام و تكلفتة بعد اضافة عناصر الاستدامة ومبادئ الاستدامة اللازمة لحصوله على تصنيف LEED، وذلك للوصول لإمكانية التحكم في تكلفة المبنى المستدام خلال مرحلة تصميميه واستنتاج مواضع الزيادة في التكلفة للتمكن من التعامل معها ووضع البدائل اللازمة لخفض التكلفة قبل الوصول لمرحلة التنفيذ.

شكل (3) التصميمات الخارجية للنموذج التحليلي

4-1 الحالة الدراسية:

مشروع HOME Family Residence - Orabi

العبور - مصر

وهو مشروع سكني خاص يقع شرق القاهرة بمدينة العبور الجديدة، تم تسجيله في معيار LEED عام 2020 حيث أنه أول مبنى سكني مسجل في مصر للحصول على شهادة LEED عند انتهاؤه.

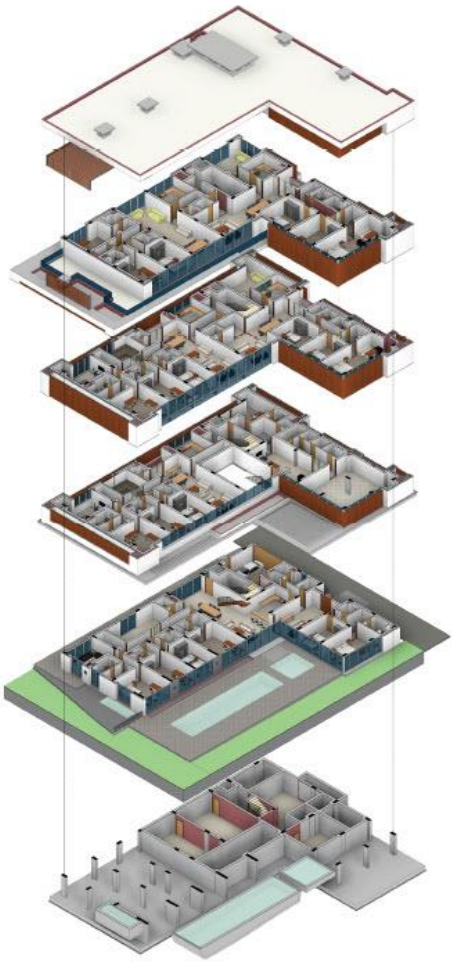
المصدر www.ldppartners.com

ويتكون المبني من خمسة طوابق (بدروم و أرضي و أول و ثاني و طابق السطح) بالمسطحات التالية :

- دور البدروم مخصص للخدمات بمسطح 308 متر مربع.
- الدور الأرضي مدخل للعمارة السكنية وجراج لعدد 2 سيارة و الباقي دور أرضي للفيلا بمسطح 581 متر مسطح.
- الدور الأول عبارة عن ملحق للفيلا (مكتب وصالة جيم) و الباقي وحدة سكنية بمسطح 573 متر مسطح.
- الدور الثاني عبارة عن وحدتين سكنيتين بإجمالي مسطح 612 متر مربع.
- دور السطح عبارة عن وحدتين سكنيتين بإجمالي مسطح 494 متر مربع.
- إجمالي مسطح البناية ككل 2,568 متر مربع.

وتم تسجيل المشروع للحصول على شهادة LEED V4 for BD+C للمستوي Silver

شكل (4) نموذج BIM للتصميم المعماري



2-4 استراتيجيات المباني المستدامة المستخدمة :

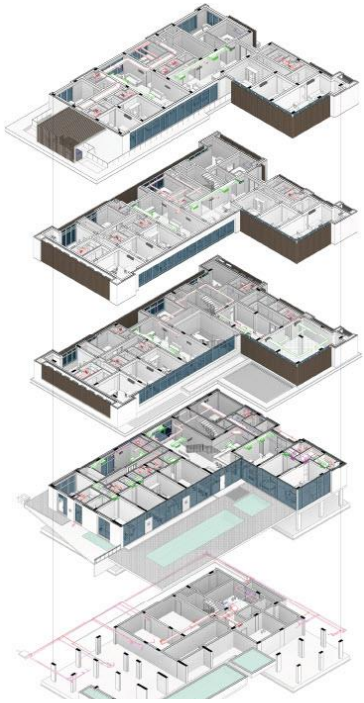
وقد روعي الالتزام بمتطلبات ومعايير العمارة المستدامة للحصول علي مقياس سيلفر وبناء كامل المشروع عن طريق نمذجة معلومات البناء BIM لجميع الأقسام ذلك كالاتي :

المصدر: www.ldppartners.com

- مراعاة استخدام مواد لا تعكس إضاءه الشمس في تشطيبات الواجهة الخارجية و تشطيبات السطح .
- تزويد مواقف السيارات الخارجية بمنصة شحن سيارات الكهرباء.
- الالتزام بمعايير (VOC) عند اختيار تشطيبات المواد الداخلية .
- و كذلك روعي جعل الحوائط الخارجية من الطبقات التالية من الخارج ألي الداخل (2سم بياض أسمنتي+12سم بلوكات طوب طفلي+5سم فراغ هواء+5 سم عازل حراري من مادة البوليستيرين+25سم بلوكات طوب طفلي+2سم بياض أسمنتي) و ذلك لتحقيق متطلبات (UV) المطلوبة .

- و كذلك روعي عند استخدام طبقات السطح العلوي المعرضة للشمس و كذلك نوعية الزجاج تحقيق متطلبات ال(UV) المطلوبة.

شكل (5) نموذج BIM لاعمال الالكتروميكانيكال



المصدر: www.ldppartners.com

الأعمال الميكانيكية:

- عمل نظام الهواء الطبيعي Fresh air باستخدام المراوح المزودة بفلتر 13-MERV.
- استخدام أنظمة تكييف ذات كفاءة عالية وتكون موفرة للطاقة وتحديد COP لايقل عن 3.9.
- منع استخدام أي سوائل تبريد ذات تأثير على طبقة الأوزون.
- استخدام أدوات صحية للمطابخ والحمامات موفرة لاستهلاك المياه.
- تجميع مياه صرف الأمطار وصرف التكييفات واستخدامها في أعمال الري
- تركيب عدادت منفصلة وفرعية للمياه والري والمياه الساخنة.

الأعمال الكهربائية:

- استخدام الخلايا الشمسية في توليد الطاقة الكهربائية واعادة التيار الزائد إلى الشبكة.
- استخدام أنظمة اضاءة داخلية موفرة للطاقة
- استخدام أنظمة اضاءة خارجية غير مسببة للتلوث الضوضائي.
- تزويد مواقف السيارات الخارجية بمنصة شحن سيارات الكهرباء.
- توفير كواشف ثاني اكسيد الكربون للتنبيه في حالة زيادة نسبته في الهواء

3-4 دمج برمجيات التكلفة مع نموذج ال BIM للمبنى :

لقد تم تحديد العناصر في المبنى المرتبطة بنقاط تصنيف LEED، ودمج أنظمة التصنيف هذه مع نمذجة معلومات البناء (BIM) لتحقيق تصميم بناء مستدام يلبي معايير التقييم للمباني المستدامة المتعلقة بالتأثير البيئي والأداء. ويتم استخدام نظام جداول Revit لتحديد تكاليف عناصر المبنى عن طريق نظام قائم على تقييم آثار تكلفة دورة الحياة الكاملة لمشاريع البناء. و يتم فقط استخدام ما يتعلق بالتكلفة الأولية و تتمثل في عنصرين من تكاليف المشروع وهما سعر الوحدة والتكلفة الأولية الإجمالية (تم احتساب الأسعار في شهر ديسمبر 2020 بالجنيه المصري). يعتبر نظام حصر الكميات من نظام نمذجة معلومات البناء (BIM) أكثر موثوقية ودقة وسرعة من طرق الحصر التقليدي. ومع ذلك، فإن جودة نموذج BIM تؤثر على جودة نظام الحصر القائم على BIM.

في طريقة حساب الكميات المستندة إلى BIM ، يجب أن تكون عناصر نموذج البناء على الأقل 300 LOD ، والتي سيكون لها الحجم والشكل والاتجاه والموقع الدقيق لإجراء حساب دقيق. تقوم خوارزميات جدول المراجعة تلقائيًا بإنشاء بيانات الجدول الزمني والمعلومات من معايير العناصر بالنموذج. بعد ذلك ، يتم تخزين كميات كل عنصر بالنموذج في خصائص النوع في نموذج BIM للسماح باستخدام النموذج لتقليل الكمية.

المنهجية و الخطوات:

- تم استخدام Autodesk Revit 2021.2 و Dynamo 2.5.0.7580 لتطوير النموذج الأولي لنظام القياس الكمي المستند إلى BIM.

- Dynamo هو امتداد برمجة مرئية مفتوح المصدر في Autodesk Revit يسمح للمستخدمين الذين ليس لديهم خلفية برمجة لتطوير الخوارزميات وتصور النتائج (Autodesk، 2021). ويمكن تشغيل نصوص Dynamo أيضاً مباشرةً في Autodesk Revit باستخدام ميزة Dynamo Player ، وهي تعتبر أسرع وأسهل من فتح امتداد Dynamo.
- إن شرح تطوير نظام النموذج الأولي ينقسم إلى ست عمليات رئيسية وفقًا للطريقة المقترحة. جميع العمليات عامة لأي منتج برمجي BIM ، باستثناء الأجزاء التي تتعلق بـ Revit API ، بما في ذلك الجزء الذي يدخل عناصر النموذج من نموذج Revit والأجزاء التي تنشئ معايير جديدة لعناصر النموذج وتكتب البيانات إلى تلك المعايير.

4-3-1 تطوير نموذج نمذجة معلومات البناء:

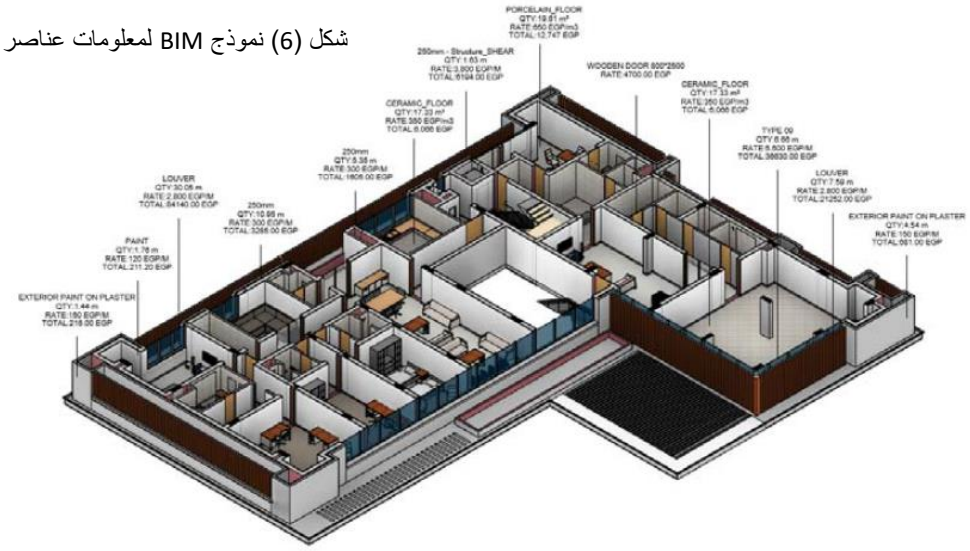
في هذه المرحلة تم إنشاء نموذج افتراضي للمبنى رقميًا بدقة وعند اكتماله، يجب أن يحتوي النموذج على دقة هندسية وبيانات ذات صلة بمستوى عالٍ من التفاصيل و كانت هناك حاجة إلى 350 (LOD) لدعم تطوير الجداول الزمنية التفصيلية اللازمة لتحقيق كميات البناء وتكاليفه الفعلية.

عند تطبيق تقنية BIM ، كان لابد من فصل عناصر النموذج حسب الفئة والنوع لتحديد المعايير اللازمة لنمذجة بيانات الجدول الفعلي عند تنفيذها بشكل مناسب، فهي بدورها تسهل عملية تصميم وبناء أكثر تكاملاً ينتج عنها فوائد في الوقت والتكلفة للمشاريع وللمباني ذات الجودة العالية التي تتطلب تكاليف تشغيل وصيانة أقل.

4-3-2 دمج معلومات النموذج:

تم دمج كل عنصر نموذج مع جميع المعلومات والبيانات الضرورية اللازمة لإنشاء جدول Revit دقيق من خلال تعيين و تحديد جميع البيانات البارامترية المتعلقة بكل عنصر نموذج ، وكذلك استخدام المعايير المشتركة والعامة مع عناصر النموذج المعقدة للحصول على كل المعلومات اللازمة لبناء الجدول الزمني.

شكل (6) نموذج BIM لمعلومات عناصر المبنى

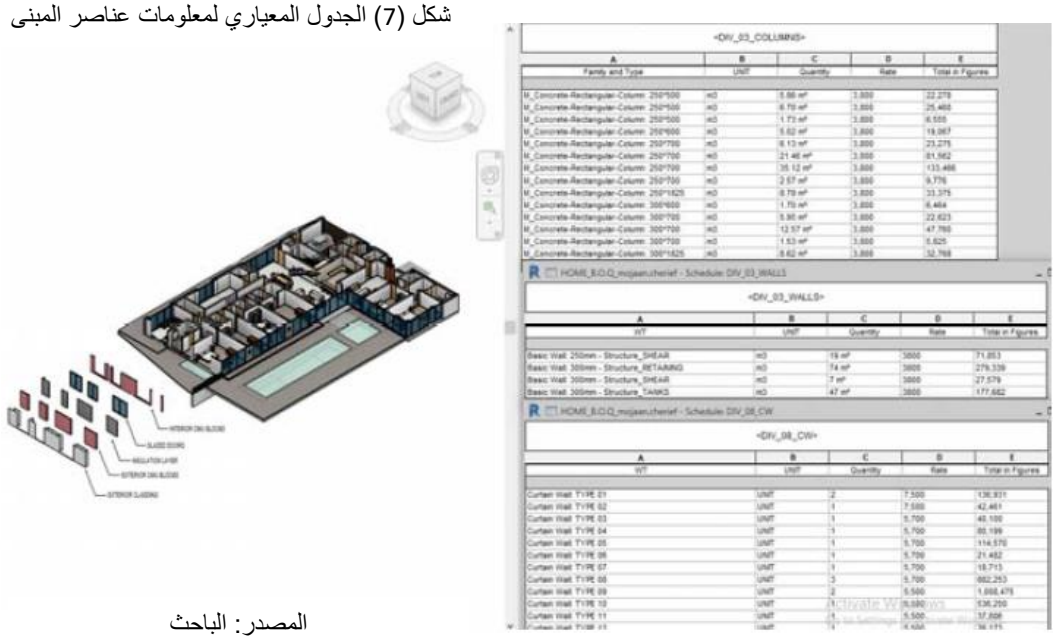


المصدر: الباحث

3-3-4 إنشاء جداول معيارية:

بعد دمج معلومات وبيانات كل عناصر النموذج، يتم تصميم و انشاء جداول معيارية بها البيانات النهائية واضافة اعمدة التكلفة ووحدة القياس والتكلفة الاجمالية واي معيار اخر مطلوب.

شكل (7) الجدول المعياري لمعلومات عناصر المبنى

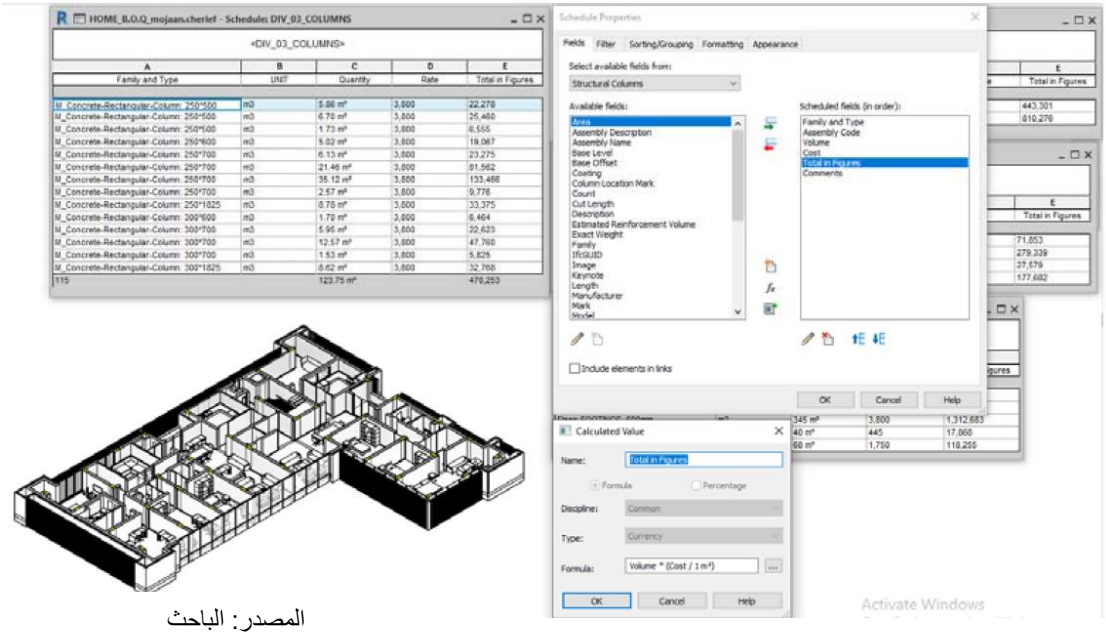


المصدر: الباحث

4-3-4 تطوير الصيغ الرياضية و المعادلات:

في هذه المرحلة تم وضع الصيغ الرياضية والمعادلات لحساب التكلفة لكل عنصر بناءاً على العملة المختارة ومقياس التكلفة المناسب بالمتر المربع او المكعب واضافة نسب التوريد والتركيب حسب كل عنصر.

شكل (8) اضافة الصيغ الرياضية والمعادلات

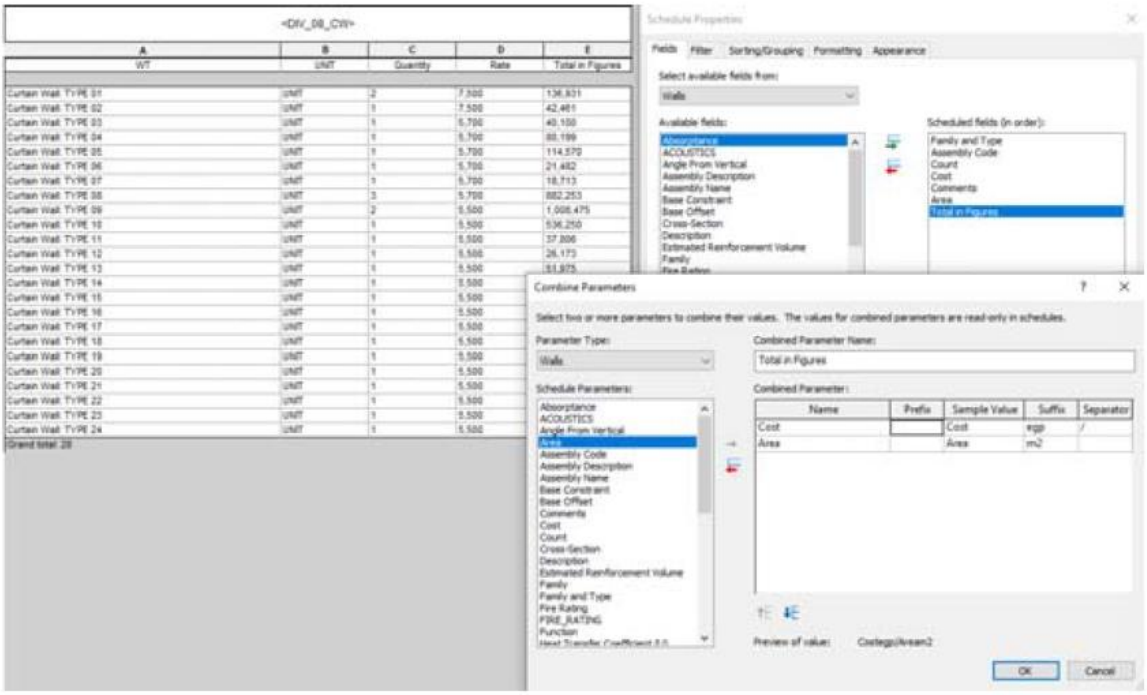


المصدر: الباحث

5-3-4 استخدام المعايير المجمعة:

في هذه المرحلة تم الانتهاء من جميع المعادلات وتم تثبيت المعايير المجمعة لكل المواد والعناصر بالمبنى

شكل (9) المعيار المجمع النهائي



المصدر: الباحث

6-3-4 عرض تصوري لبيانات الجدول الزمني:

تم عمل الجدول الزمني لمرحلية التنفيذ لحساب تأثير التكلفة بناءا على ذلك

شكل (10) النموذج المستدام بعد اضافة المعلومات

المصدر: الباحث

7-3-4 مقارنة النموذج المستدام مع النموذج العادي:

بعد الانتهاء من الخطوات السابقة واضافة الأسعار لجميع المواد والعناصر بالمبنى المستدام، تم تكرار النموذج الافتراضي للمبنى مرة أخرى بعد الغاء وتعديل عناصر الاستدامة بالمبنى حسب معيار LEEDالمستخدم، وعمل المقارنة التالية لاحتساب الفرق في التكلفة لكل عنصر من عناصر الاستدامة المستخدمة في المبنى.

جدول (3) مقارنة تكلفة نموذج BIM للمبنى المستدام والغير مستدام

عناصر المبنى المستدام حسب متطلبات LEED					عناصر المبنى العادي غير المستدام			
	البند	الكمية	السعر	السعر الإجمالي	البند	الكمية	السعر	
الحوائط الخارجية	مباني بالطوب الأسمنتي سمك 25 سم	2,700	300	810,000		2,743	300	822,900
	مباني بالطوبالأسمنتي سمك 12 سم	1,773	250	443,250		951	250	237,750
العزل الحراري للحوائط الخارجية	ألواح صلبة للعزل الحراري للحوائط الخارجية بسمك 50 مم من مادة البولياستيرين بحسب التفاصيل من المخططات والمواصفات الفنية	926	85	78,710	Canceled			
اعمال التبليطات و الارضي ات	أرضيات سيراميك يكون معدل الأنبعاث الكربوني بها منخفض	435	438	190,313	أرضيات سيراميك	435	350	152,250
	بالمتر المسطح توريد وتركيب أرضيات بورسلين م يكون معدل الأنبعاث الكربوني بها منخفض	582	813	472,875	أرضيات بورسلين	582	650	378,300
	فرشة خرسانية يكون معدل الأنبعاث الكربوني بها منخفض	187	1,250	233,750	فرشة خرسانية	187	1,000	187,000

	أرضيات HDF يكون معدل الأنبعاث الكربوني بها منخفض	610	469	285,938	أرضيات HDF	610	375	228,750
الاعمال الصحية	مرحاض نوع غربي وطبقا للمخططات والمواصفات ومعدل تدفق 3.9 liters per flush	30	6,960	208,800	مرحاض طبقا للمخططات والمواصفات	30	5,800	174,000
	حوض مطبخ من حسب المواصفات والمخططات ومعدل تدفق 5.30 liters per minute	7	8,640	60,480	حوض مطبخ حسب المواصفات والمخططات	7	7,200	50,400
	حوض غسيل ايدى حسب المواصفات والمخططات معدل تدفق 5.30 liters per minute	36	5,400	194,400	حوض غسيل ايدى حسب المواصفات والمخططات	36	4,500	162,000
	نقطة صرف دش مع كابينة دشية حسب المواصفات والمخططات ومعدل تدفق 6.17 liters per minute	8	4,800	38,400	نقطة صرف دش مع كابينة دش حسب المواصفات والمخططات	8	4,000	32,000
	بانيو حسب المواصفات والمخططات ومعدل تدفق 6.17 liters per minute	13	8,400	109,200	بانيو حسب المواصفات والمخططات	13	7,000	91,000
	(BD) BIDET وحسب المواصفات والمخططات ومعدل تدفق	13	7,200	93,600	BD)) BIDET حسب المواصفات و المخططات	13	6,000	78,000

	liters 5.30 per minute							
	الأعمال الميكانيكية لخزان مياه الامطار	1	12,600	12,600				
	مضخات لزوم المياه المعالجة (واحده للعمل وواحده إحتياطى) قدرة 40 جالون/دقيقة ورفع 140 قدم وقدرة 3 حصان	1	95,000	95,000				
	مضخات تصريف ثابت لرفع مياة الامطار حسب المخططات والمواصفات				Canceled			
	مضخات لزوم غرفة مياة الامطار قدرة 100 جالون/دقيقة ورفع 85 قدم وقدرة 3 حصان	1	110,000	110,000				
	وحدة معالجة مياه WASTE WATER TREATMENT UNT	1	65,000	65,000				
اعمال الميكانيكية (تكييف و تهوية)	وحدات تكييف الهواء المنفصلة تعمل بنظام التمدد المباشر من النوع الذى يركب عليها مجارى هواءفوق السقف الصناعى حسب الموضح بالمخططات والمذكور بالمواصفات				وحدات تكييف الهواء المنفصلة تعمل بنظام التمدد المباشر من النوع الذى يركب عليها مجارى هواءفوق السقف الصناعى			

			حسب الموضح بالمخططات والمذكور بالمواصفات				ومعاملات الاداء المطلوبة.	
16,000	**16,000**		طاقة التبريد 4.0 كيلووات وسعة مروحة التغذية 190 ل/ث	**20,000**	**20,000**		طاقة التبريد 4.0 كيلووات وسعة مروحة التغذية 190 ل/ث	
147,000	**21,000**	**7**	طاقة التبريد 5.3 كيلووات وسعة مروحة التغذية 270 ل/ث	**183,750**	**26,250**	**7**	طاقة التبريد 5.3 كيلووات وسعة مروحة التغذية 270 ل/ث	
48,000	**24,000**	**2**	طاقة التبريد 7.1 كيلووات وسعة مروحة التغذية 360 ل/ث	**60,000**	**30,000**	**2**	طاقة التبريد 7.1 كيلووات وسعة مروحة التغذية 360 ل/ث	
90,000	**30,000**	**3**	طاقة التبريد 8.8 كيلووات وسعة مروحة التغذية 450 ل/ث	**112,500**	**37,500**	**3**	طاقة التبريد 8.8 كيلووات وسعة مروحة التغذية 450 ل/ث	
127,500	**42,500**	**3**	طاقة التبريد 10.6 كيلووات وسعة مروحة التغذية 540 ل/ث	**159,375**	**53,125**	**3**	طاقة التبريد 10.6 كيلووات وسعة مروحة التغذية 540 ل/ث	

طاقة التبريد 12.4 كيلووات وسعة مروحة التغذية 630 ل/ث	2	**73,500**	**147,000**	طاقة التبريد 12.4 كيلووات وسعة مروحة التغذية 630 ل/ث	**2**	**58,800**	**117,600**	
طاقة التبريد 17.6 كيلووات وسعة مروحة التغذية 900 ل/ث	5	**87,313**	**436,563**	طاقة التبريد 17.6 كيلووات وسعة مروحة التغذية 900 ل/ث	**5**	**69,850**	**349,250**	
وحدة تكييف هواء منفصله حائطيه تعمل بنظام التمدد المباشر حسب الموضح بالمخططات والمذكور بالمواصفات ومعاملات الاداء المطلوبة.				وحدة تكييف هواء منفصله حائطيه تعمل بنظام التمدد المباشر حسب الموضح بالمخططا ت والمذكور بالمواصف ات				
طاقة التبريد 3.5 كيلووات	2	**14,000**	**28,000**	مرجع 01FCU- وطاقة التبريد 3.5 كيلووات	**2**	**11,200**	**22,400**	
طاقة التبريد 5.3 كيلووات	12	**15,625**	**187,500**	مرجع 02FCU- وطاقة التبريد 5.3 كيلووات	**12**	**12,500**	**150,000**	
طاقة التبريد 7.0 كيلووات	12	**18,125**	**217,500**	مرجع 03FCU- وطاقة التبريد	**12**	**14,500**	**174,000**	

			7.0 كيلووات					
36,200	**18,100**	**2**	مرجع 04FCU- وطاقة التبريد 8.8 كيلووات	**45,250**	**22,625**	**2**	طاقة التبريد 8.8 كيلووات	
41,700	**20,850**	**2**	مرجع 05FCU- وطاقة التبريد 10.6 كيلووات	**52,125**	**26,063**	**2**	طاقة التبريد 10.6 كيلووات	
Canceled							وحدة مناولة الهواء النقى حسب الموضح بالمخططات والمواصفات	
				263,125	**263,125**	**1**	مروحة التغذية740 لتر/ثانية وطاقه تبريد 19.5 كيلووات	
			مراوح طرد الهواء حسب المفصل في المخططات والمذكور بالمواصفات				مراوح طرد الهواء حسب المفصل في المخططات والمذكور بالمواصفات و كثافة القدرة الكهربية المطلوبة.	
7,600	**3,800**	**2**	بسعة 150 ل/ ث	**9,500**	**4,750**	**2**	بسعة 150 ل/ ث	
85,500	**4,500**	**19**	بسعة 35 ل/ ث	**106,875**	**5,625**	**19**	بسعة 35 ل/ ث	
40,000	**8,000**	**5**	بسعة 70 ل/ ث	**50,000**	**10,000**	**5**	بسعة 70 ل/ ث	
41,000	**41,000**	**1**	بسعة 900 ل/ ث	**51,250**	**51,250**	**1**	بسعة 900 ل/ ث	

الإجمالي	المصدر: الباحث			**4,088,100**

بناءاً على الجدول السابق، تبين وجود زيادة في التكلفة الأولية للمبنى المستدام عنه في نموذج المبنى العادي مايقرب من 1,600,000 جنيه مصري تقريبا، مما تساعد هذه الدراسة في تحديد مواضع الزيادة في التكلفة الكبيرة في النموذج المستدام ، ومن ثم طرح البدائل المختلفة لتعويض هذه الزيادة سواء في تكاليف التشغيل أو في البدائل التصميمية واختيار المواد والتجهيزات خلال المراحل المختلفة للتصميم.

5- النتائج

وتتلخص نتائج البحث في النقاط التالية:

- توضيح الدور الرئيسي لنمذجة معلومات البناء BIM في مشروعات المباني المستدامة بدءاً من مرحلة التنفيذ وحتى مراحل التنفيذ والتشغيل.
- تعد تكلفة دورة الحياة هي الدافع الأكبر لاستخدام BIM في حساب تكلفة المباني المستدامة، مما يقوم به من تسجيل بيانات دورة حياة عناصر المبنى تفصيليا بداية من المادة الخام وحتى اهلاك العنصر.
- يساعد استخدام BIM في خفض تكلفة المباني المستدامة بما يتيح من قدرات فائقة ودقيقة في قياس وتسجيل تكاليف جميع عناصر المبنى وجميع تجهيزات الاستدامة مباشرة من الجهات المصنعة لها، وامكانية مراقبة التكلفة على مدار مراحل التصميم وعند إجراء أي تعديل تصميمي.

6- التوصيات

يوصي الباحث باستخدام برمجيات BIM في تصميم المباني المستدامة بدءا من المراحل الأولى للتصميم لإمكانية التحكم ومراقبة التكلفة بشكل مستمر خلال مرحلة التصميم مما يعمل على سهولة اختيار البدائل التصميمية وعناصر المشروع المختلفة بالتوافق مع ميزانية المشروع، كما يوصي الباحث بعرض البدائل الممكنة لتخفيض تكلفة المباني المستدامة بالاعتماد على برمجيات BIM في تقييمها ومراقبة تكلفتها خلال مراحل التصميم المختلفة.

قائمة المراجع

أ.د محمد هشام سعودي، أ.د هشام جلال الشيمي، د محمد احمد فؤاد مهدي، م.م شيماء فتحي عاشور، "استراتيجيات تصميم المدن المستدامة باستخدام تقنية نمذجة معلومات البناء BIM "، ورقة بحثية، مجلة الفنون والعلوم الانسانية، 2019

عمر سليم، "فوائد البيم للاستدامة "، ورقة بحثية، مجلة بيم أرابيا 29، 2018

لولوه خربوطلي (2014)، استخدام أنظمة نمذجة معلومات الأبنية BIM في مشاريع التشييد، رسالة ماجيستير، جامعة حلب

م. ياسر أو السعود، "منهجية البيم في قياس أداء المباني المستدامة "، ورقة بحثية، مجلة بيم أرابيا 22، 2017

Wyner, E. (2014). BIM Theory, Practice, and Commissioning. *National conference on Building Commissioning.* NewYork: AIA .