دور أدوات نمذجة طاقة المباني (BEM) في رفع كفاءة الغلاف الخارجي
دراسة حالة مبنى تعليمي قائم

م.م/ أيمن سمير محمود [1]، أ.م. د / نسرين فتحي عبد السلام [2]، أ.م. د / ابتهال جلال الدين محمد [3]

[1] مدرس مساعد بقسم الهندسة المعمارية بالمعهد العالي للهندسة والتكنولوجيا بالعبور، الكيلو 21 طريق القاهرة بلبيس، العبور، مصر. aymans@oi.edu.eg
[2] أستاذ مساعد بقسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة المعمارية بالمطرية، جامعة حلوان.
[3] أستاذ مساعد بقسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة المعمارية بالمطرية، جامعة حلوان.

ملخص البحث

أصبح استخدام الطاقة لتبريد وتدفئة المباني ذو أهمية متزايدة في جميع أنحاء العالم بهدف تحقيق الراحة الحرارية، حيث تتسبب درجات الحرارة المرتفعة في البلدان الحارة الى عدم الشعور بالراحة الحرارية للمستخدمين، مما يؤثر سلباً علي الاداء وتزيد الحاجة الى نظم التبريد المختلفة، ونتيجة لذلك يرتفع الطلب على الطاقة في تلك المباني بانتظام نتيجة لزيادة ساعات تشغيل تلك الانظمة، وفي قطاع المباني غير السكنية تستهلك أنظمة التبريد معظم طاقة المبنى لتلبية متطلبات الراحة الحرارية[1]، وبناء على ذلك أصبحت عمليات المحاكاة في الوقت الحاضر أداة مهمة لتحسين الأداء البيئي للمباني، حيث أصبح المصممون يعتمدون على عمليات المحاكاة الديناميكية لتقييم أداء الطاقة في المباني لترشيد استخدام الطاقة غير المتجددة وبالتالي خفض التأثيرات الضارة على البيئة مثل الاحتباس الحراري الناتج عن غازات الدفيئة وعلى رأسهم ثاني اكيد الكربون والذي يمثل حوالي 66٪ منها [1]، تركز هذه الدراسة على اثبات الدور الايجابي لبرامج محاكاه الطاقة واهميتها الفعلية في ترشيد الطاقة وتحسين اداء المبني بيئياً من خلال تنفيذ إجراءات التعديل التحديثي للغلاف الخارجي على مبنى تعليمي قائم يقع في مدينة القاهرة – مصر، من خلال الاعتماد علي اداة نمذجة طاقة المباني (Building Energy Modelling)، وذلك استنادًا إلى الموقع الجغرافي للمبني، الظروف المناخية المحيطة، توجيه المبني، مكونات الغلاف الخارجي، نسب الفتحات، جدول تشغيل المبنى على مدار العام، استعمالات الفراغات والاجهزة المستخدمة، وبناء علية تحديد نسب استهلاك الطاقة لأجهزة التكييف والاضاءة والاجهزة المختلفة داخل المبني والذي يمثل مجموعهم إجمالي استهلاك الطاقة للمبني على مدار عام 2021 ، كما تم اجراء تحقق من توافق نتائج الاستهلاك الفعلي للمبني تبعاً لفواتير الكهرباء على مدار شهور السنة لعام 2021 مع الاستهلاك الصادر من نموذج المحاكاة، وذلك لضمان صحة الدراسة وفاعلية نتائجها فيما بعد، ومن خلال مقارنة النتائج ظهر توافق نسب الاستهلاك على مدار العام بنسبة حوالي 96 %، وبناء على ما سبق تم إنشاء مقترحات تعديل على غلاف المبني الخارجي والتي من شأنها تحسين اداء المبني بيئياً وخفض بصمته الكربونية، وتعتمد الدراسة على تقديم معالجتين أساسيتين لتحسين اداء الغلاف الخارجي وبالتالي ترشيد الطاقة، أحدهما اضافة عازل حراري مناسب للظروف المناخية المحيطة مما أدى إلى انخفاض حوالي 18٪ في استهلاك طاقة تكييف الهواء و8.1 ٪ من اجمالي استهلاك الطاقة للمبني.، والثاني استبدال نوع الزجاج المستخدم في واجهات المبني بنوع زجاج أكثر فاعلية مع الظروف المناخية المحيطة، مما أدى إلى انخفاض حوالي 21٪ في استهلاك طاقة تكييف الهواء و9.7 ٪ من اجمالي استهلاك الطاقة للمبني.

Abstract:

Using energy in heating and cooling has become increasingly important worldwide to gain thermal comfort inside buildings, as rising temperatures in hot countries can cause discomfort to individuals, and impact their productivity negatively, causing increased dependence on AC, which raises up the energy

requirements for buildings due to increasing AC hours of operation. In non-residential buildings, AC systems consume majority of the buildings' energy budget to meet required thermal comfort [(1)]**.** Consequently, simulations became an important tool to improve buildings' environmental performance, where designers use dynamic simulation operations to improve non-renewable energy use and minimize harmful environmental impacting factors like greenhouse gases, mainly CO_2 which represents a 66% ratio [(1)], This study's focus is proving the positive role of energy simulations in conserving energy and improving eco-friendliness of buildings, through retrofitting to the envelope of an existing educational building residing in Cairo-Egypt, using a (Building Energy Modelling) tool, By considering: the building's geographical location, surrounding climate conditions, building orientation, envelope materials, window to wall ratio, yearly building occupancy schedule, interior space use, and used equipment, and by measuring energy consumption of AC, lighting, and equipment, which represent the building's total energy consumption for the year 2021, A comparison was made between the actual building's energy consumption and electric bills of year 2021, and the estimated total consumption according to the simulation, to guarantee the accuracy of simulation results in the future, And by comparison, a 96% match in consumption rates was found throughout the year. Based on the above, a retrofit solution is proposed to maximize eco-friendliness and minimize carbon footprint, this study depends on two main treatments to improve the building envelope, hence increasing energy efficiency, One: is adding climate appropriate thermal insulation which resulted in 18% decrease in AC power consumption and 8.1% decrease in total building energy consumption. And Two: is replacing the building's glazing material with a more climate appropriate one, which resulted in a 21% decrease in AC power consumption, and a 9.7% decrease in total building energy consumption.

الكلمات المفتاحية:

الغلاف الخارجي – نمذجة طاقة المباني - التعديل التحديثي - ترشيد الطاقة – مباني الجامعات.

Keywords:

Building envelope - Building energy modelling – Retrofitting - Energy conservation - University buildings.

المقدمة:

يُعرف قطاع البناء عادةً بأنه أحد أكبر مستهلكي الطاقة في العالم حيث يستهلك ما يقرب من ثلثي الطلب العالمي على الطاقة، وفي مصر تستخدم البيئة المبنية حوالي 70٪ من اجمالي الطاقة [(2)]، وتمثل زيادة استهلاك الطاقة في المباني الجامعية الخاصة بهدف تحقيق الراحة الحرارية احدى المشكلات الموجودة حالياً والتي تواجه هذه المباني التعليمية القائمة، وذلك نظراً لاعتماد اغلب مباني الجامعات الحديثة على تقنيات التبريد الصناعية، وقد ساهم في ذلك بشكل كبير في تقييد التصميم المعماري في قوالب مغلقة لتحقيق الراحة الحرارية المطلوبة للمستعملين بالطرق الميكانيكية، حيث ان الغلاف الخارجي هو حلقة الوصل بين المناخ خارج وداخل المبني، ويتكون الغلاف الخارجي من عناصر ومواد مختلفة مثل الطوب والخرسانة والحديد والزجاج وغير ذلك من المواد، ويعمل الغلاف الخارجي للمبنى أيضاً على الحماية من العوامل المناخية كالإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة والامطار والرياح، ولذلك يجب ان يتوافق تصميمه مع طبيعة الظروف المناخية المحيطة به.

1- المشكلة البحثية:

نقص مباني الكليات المستدامة المرشدة للطاقة في مصر وذلك نتيجة اهمال العوامل المناخية عند تصميم غالبية المباني التعليمية الخاصة، ومدى تأثير هذه العوامل المناخية على الغلاف الخارجي والبيئة الداخلية وعلى استهلاك الطاقة داخل مباني الجامعات القائمة، وبالتالي تؤثر على الراحة الحرارية للمستعملين وعلى أداء انشطتهم داخل المبني وايضاً تساعد على زيادة من معدلات الاحتباس الحراري في الجو سنوياً وذلك في ظل ازمة الطاقة العالمية الحالية.

2- أهداف البحث:

يهدف البحث الى طرح رؤية لتطوير اداء الغلاف الخارجي الخاص بالمباني التعليمية القائمة من منظور ترشيد الطاقة والحفاظ على البيئة من فرط استهلاك الطاقة غير المتجددة في تبريد وتدفئة المباني، وذلك بواسطة استخدام اداة نمذجة طاقة المباني (Building energy modelling) مع الاعتماد على التطور التقني لمواد البناء والمعالجات المستخدمة في الغلاف الخارجي للمبني لتحسين كفاءته، ويمكن تحقيق ذلك باستخدام مواد ذات تأثير ايجابي في تخفيض الاكتساب الحراري، وبالتالي ترشيد استهلاك الطاقة الغير متجددة داخل هذا النوع من المباني.

3- التعديل التحديثي للمباني (Retrofitting)

يمكن اختصار تعريف مصطلح التعديل التحديثي للمباني القائمة الى انه "عملية تحديث في مبنى قائم بهدف تحسين الأداء البيئي ورفع كفاءته وتحسين البيئية الداخلية لتحقيق الاستدامة وترشيد استهلاك الطاقة والتقليل من الانبعاثات الكربونية" وذلك من خلال إضافة معالجات وتقنيات جديدة وعمل تعديل بالمبنى من أجل خفض التكاليف التشغيلية له، وتحسين صحة مستخدمي المبنى وإنتاجهم، والحد من الآثار السلبية على البيئة.

4- العوامل المؤثرة على كفاءة الطاقة وجودة البيئة الداخلية للمباني التعليمية القائمة

بالنظر الى أهم العوامل التي تؤثر على استهلاك الطاقة بالمباني القائمة نجد أن أغلبها ثابتاً لا يمكن تغييره مثل ما يلي [5]:

1- الإقليم المناخي.
2- توجيه المبنى.
3- ارتفاع المبنى.
4- تشكيل المسقط الأفقي.
5- الغلاف الخارجي.

وتركز الدراسة على العامل الأخير (الغلاف الخارجي) وهو العامل الذي يمكن من خلال تطويره تحقيق ترشيد الطاقة وتحسين جودة وكفاءة البيئة الداخلية وتقليل الاثار السلبية للمباني على البيئة.

5- دراسة تطبيقية على مبني تعليمي قائم

جدول (1) بطاقة تعريف بالمبني محل الدراسة

اسم المبني	الأكاديمية الحديثة للهندسة والتكنولوجيا	
وظيفة المبني	مبني تعليمي - كلية هندسة المعمارية	
المحافظة	القاهرة	
تاريخ التأسيس	عام 2000	
موقع المبني	يقع المبني في منطقة بالمقطم على ارتفاع 119 متر من سطح البحر وإحداثيات 29°59'33.81"شمال، 31°19'1.94"شرق	
مسطح المبنى	مسطح الدور المتكرر الواحد حوالي 2000 متر تقريباً	
عدد الادوار	ارضي+ أربعة أدوار متكررة+ قاعة رسم واحد في دور السطح	**الواجهة الرئيسية للمبني**

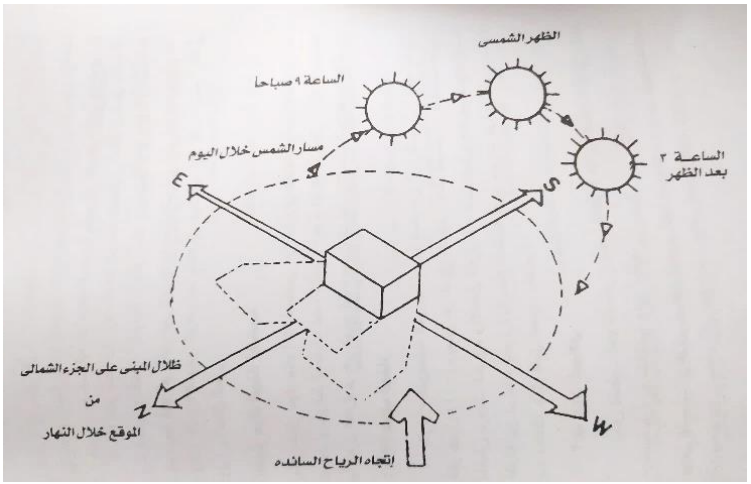
1-5 وصف المبني

المبني محل الدراسة هو مبنى تعليم عالي مخصص لقسم الهندسة المعمارية يقع في مدينة القاهرة- مصر، ويصنف مناخ مدينة القاهرة على أنه مناخ حار جاف (2B ZONE) وذلك تبعاً لتصنيف ASHRAE [3]، درجة الحرارة الجافة DBT تساوى 38.2 مئوية ودرجة الحرارة الرطبة WBT 21.2 درجة مئوية، يتكون المبني من خمسة ادوار، ويعمل عادة من الساعة 9:00 إلى الساعة 15:30 لمدة 5 أيام في الأسبوع، تم اختيار المبنى بناءً على إمكانية الوصول إلى بيانات الطاقة وتفاصيل المبني بشكل عام ، ويوضح شكل (1) منظور للمبني ويظهر الواجهة الرئيسية.

شكل (1) منظور للمبني ويظهر الواجهة الرئيسية (الباحث بواسطة Design Builder)

2-5 توجيه المبني

من خلال دراسة توجيه المبني وجدت ان توجيه الضلع الأطول للمبني جهة (شرق- غرب) والواجهة الرئيسية للمبني هي الواجهة الغربية، وذلك معاكس للتوجيه الأمثل للمباني الذي يحقق اقل كمية اشعاع شمسي ساقط على واجهات المبني صيفاً وأكبر كمية اشعاع شمسي شتاء، حيث ان التوجيه الأمثل للمنشأ في نصف الكرة الشمالي يكون (شمال- جنوب) [4]، ويوضح شكل (2) التوجيه الأمثل للمباني.



شكل (2) يوضح التوجيه الامثل للمباني [4]

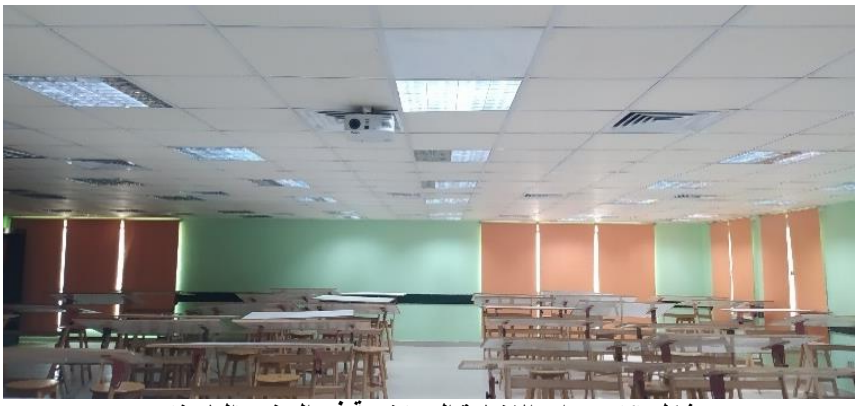
3-5 نظام التهوية

يعتمد المبني بشكل أساسي على نظام التبريد والتهوية الصناعية من خلال تكييف مركزي يضخ الهواء لجميع فراغات المبني، مع توافر نوافذ على جميع واجهات المبني بنسب مختلفة من واجهة لأخرى ولكنها مغلقة بشكل دائم على مدار العام.

شكل (3) وحدات التكييف المدمجة في سقف جميع فراغات المبني (الباحث)

4-5 نظام الإضاءة

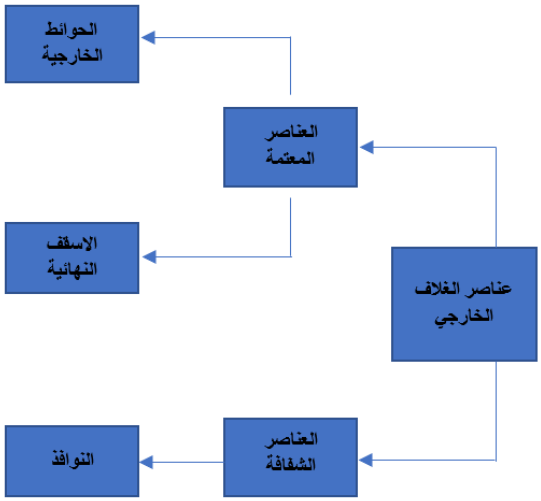
يعتمد المبني اعتماد أساسي على الاضاءة الصناعية، وذلك من خلال وحدات اضاءة مربعة الشكل مقاس 60*60سم تحتوي كل منها على أربعة وحدات فلورسنت T8 ذات ضوء ابيض مقاس الوحدة 60سم ذات قدرة 19 وات للمبة الواحدة، مع اهمال نسبة الاشعاع الحراري الصادرة من العدد الكبير من وحدات الإضاءة ومدي تأثيره على الراحة الحرارية، والذي يساهم في رفع معدلات استهلاك الطاقة داخل المبني، ويحتوي المبني على فناء داخلي يستفاد منه في توفير الإضاءة الطبيعية للممرات الرئيسية داخل المبني مع استخدام نفس وحدات الاضاءة الصناعية داخل الممرات لتوفير مستوي أفضل من الإضاءة، كما تم تصميم حوائط زجاجية على الواجهة الرئيسية وهى الواجهة الغربية للمبني ولكنها مغلقة بستائر داخلية طوال العام ، ونتيجة لقلة سمك الزجاج المستخدم فيها (زجاج مفرد أخضر عاكس سمك 6 مم) زاد معدل الاكتساب الحراري بشكل كبير نظراً لزيادة الاشعاع الشمسي على الواجهة الغربية في فصل الصيف.



شكل (4) وحدات الإضاءة المستخدمة في المبني (الباحث)

5-5 الغلاف الخارجي

يحدث التبادل الحراري بين البيئة الخارجية والفراغات الداخلية للمبنى من خلال الغلاف الخارجي، والذي يتكون من حوائط وأسقف وفتحات خارجية، وبالنسبة للفتحات الخارجية فهي تعتبر من المصادر الرئيسية لنفاذ الحرارة إلى الفراغ الداخلي، ويرجع ذلك لقلة سمك الزجاج مما يزيد من معدل الانتقال الحراري له، ويتأثر معدل الانتقال الحراري من وإلى المبنى بالخواص الحرارية لمواد البناء والتشطيب المستخدمة في الغلاف الخارجي باختلاف عناصره [5]، ويمكن تقسيم الغلاف الخارجي لأي مبني الى عنصرين أساسيين وهم العناصر المعتمة (حوائط وأسقف نهائية) والعناصر الشفافة (نوافذ) كما يظهر في شكل (5) .



شكل (5) يوضح العناصر الأساسية المكونة للغلاف الخارجي للمبني (الباحث)

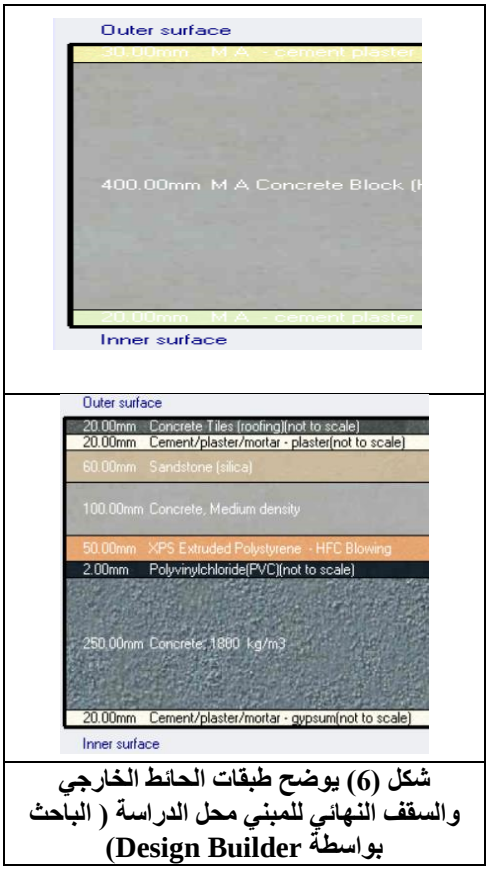
وفيما يلي تحليل لعناصر الغلاف الخارجي للمبني محل الدراسة :-

5-5 1 الحوائط الخارجية

- **الطبقة الخارجية :** بياض اسمنتي مع دهان مقاوم للمياه لون بيج فاتح بسمك 2سم.
- بلوكات من الطوب الاسمنتي بسمك 40سم .
- **الطبقة الداخلية :** بياض أسمنتي مقاوم للخدش لون اخضر فاتح بسمك 3سم.

5-5-2 السقف النهائي

- **الطبقة الخارجية :** بلاط إسمنتي سمك 2سم.
- 2سم مونة اسمنتية .
- 6سم رمل.
- 10سم خرسانة ميول.
- 5سم عزل حراري بولسترين ممدد.
- عزل رطوبة.
- 25سم بلاطة خرسانة مسلحة.
- **الطبقة الداخلية :** 2سم بياض إسمنتي.



شكل (6) يوضح طبقات الحائط الخارجي والسقف النهائي للمبني محل الدراسة (الباحث بواسطة Design Builder)

5-5-3 النوافذ الخارجية

جميع النوافذ المستخدمة في واجهات المبنى (الشمالية والجنوبية والشرقية) بأبعاد موحدة (1.3 م عرض* 1.6م ارتفاع)، مع استخدام نوافذ بأبعاد (1.3م عرض*1.9م ارتفاع) في غرفة السلم المطلة على الواجهة الشرقية وغرفتي السلم المطلتين على الفناء الداخلي، وجميع نوافذ المبني مكونة من طبقة واحدة بسمك (6مم) زجاج عاكس اخضر، مع إطار من مادة الالومنيوم، كما تحتوي الواجهة الغربية على حوائط زجاجية بمسطحات مختلفة ومن نفس نوع الزجاج وبنسبة اجمالية حوالي 27% من اجمالي مسطح الواجهة.

6-5 حساب نسبة النوافذ الى الحوائط (WWR)

يتم حساب نسبة النوافذ الى الحوائط من خلال قسمة إجمالي مساحة الزجاج في الواجهة على إجمالي مساحة الواجهة، وعادة يجب ألا تتجاوز WWR النموذجية لأجمالي واجهات المبنى بشكل عام عن 22٪ في المباني التعليمية وذلك تبعاً لكود (ASHRAE) [6]، حيث ان زيادة نسبة الزجاج عن حدود معينة تساعد على زيادة معدل الاكتساب الحراري من الخارج الى الداخل في شهور الصيف في المناخ الحار، وذلك نظراً لقلة سمك الزجاج وبالتالي قلة معامل المقاومة الحرارية (R) الخاص به.

لتحديد نسبة WWR الانسب عند تصميم واجهات المبني فأن الواجهات الشمالية والجنوبية يفضل ان تحتوي على مساحات زجاجية أكبر مع معالجة فتحات الواجهة الجنوبية، بخلاف الواجهات الشرقية والغربية يفضل ان تحتوي على مساحات زجاجية أقل، حيث انه من الصعب التحكم في الاكتساب الحراري الشمسي والوهج للواجهات الشرقية والغربية [6].

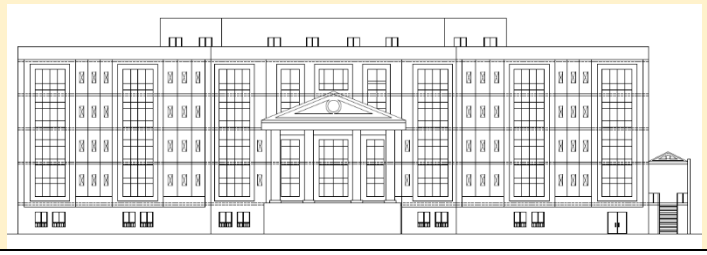
يبلغ متوسط WWR للمباني التعليمية لجميع واجهات المبني حوالي 22٪ وهذا هو الأساس في معظم اكواد الطاقة [6]، وفيما يلي تحليل لنسب الزجاج الى الحوائط لكل واجهة من واجهات المبني، ويوضح جدول (2) نسبة WWR لكل واجهة من واجهات مبني كلية الهندسة.

جدول (2) يوضح نسبة الزجاج الى الحوائط WWR في واجهات المبني الأربعة
(الباحث بواسطة برنامج AutoCAD)

واجهة المبنى	اجمالي مساحة الواجهة (م2)	مساحة الزجاج (م2)	مساحة الحوائط (م2)	WWR %
الشمالية	820	101	719	%12.4
واجهة المبنى	اجمالي مساحة الواجهة (م2)	مساحة الزجاج (م2)	مساحة الحوائط (م2)	WWR %
الجنوبية	820	109.5	710.5	% 13.4

واجهة المبنى	اجمالي مساحة الواجهة (م2)	مساحة الزجاج (م2)	مساحة الحوائط (م2)	WWR %
الشرقية	1349	255	1094	%19

واجهة المبنى	اجمالي مساحة الواجهة (م2)	مساحة الزجاج (م2)	مساحة الحوائط (م2)	WWR %
الغربية	1349	355	994	%26.4



وفيما يلي في جدول (3) مقارنة بين نسبة الزجاج الى الحوائط (WWR) على واجهات المبني الاربعة :-

جدول (3) يوضح مقارنة بين نسبة الزجاج الى الحوائط (WWR) على واجهات المبني الأربعة للمبني (الباحث)

واجهة المبنى	المساحة الاجمالية للواجهة (م2)	مساحة الزجاج (م2)	مساحة الحوائط (م2)	نسبة الزجاج الي الحوائط WWR %
الشمالية	820	101	719	%12.4
الجنوبية	820	109.5	710.5	% 13.4
الشرقية	1349	255	1094	%19
الغربية	1349	355	994	%26.4
الإجمالي	**4338**	**820.5**	**3517.5**	**%19**

ويظهر من خلال جدول (3) توافق المتوسط الإجمالي لنسبة مساحة الزجاج الى الحوائط على الواجهات الأربعة معاً مع متطلبات كود ASHRAE [6]، بالإضافة الى زيادة نسبة مسطحات الزجاج في الوجهات الشرقية والغربية واحتواء الواجهة الغربية على حوائط ستائرية بنسبة حوالي 27% من اجمالي مسطح الواجهة وذلك لا يتناسب مع كود ASHRAE ، مما يسبب زيادة الاكتساب الحراري داخل المبنى وبالتالي يزيد من متطلبات التبريد الصناعي.

7-5 فرضية الدراسة

تم عمل الدراسة على مبنى كلية الهندسة من خلال محاكاة أداء الطاقة للمبني على مدار عام كامل، بدأ من يوم 1 يناير الى يوم 31 ديسمبر لعام 2021 ، وقد تم ذلك بناء على إمكانية الوصول الى فواتير الاستهلاك لهذا العام، وبناء علية تم عمل تحقق من توافق بيانات القراءات الفعلية لاستهلاك المبني على مدار العام مع البيانات المستخرجة من برنامج المحاكاة المستخدم وهو برنامج Design Builder ، وذلك تمهيداً للبدء في عمل المعالجات الأنسب مناخياً لتحسين أداء المبني وترشيد الطاقة، ولتحقيق ذلك بشكل سليم لابد من عمل تحليل مناخي للظروف المحيطة بالمبني لتحديد المعالجات الأنسب تبعاً للمناخ المحيط، وقد تم الاستعانة ببرنامج (Climate Consultant) لاستخراج البيانات المناخية بالمبني محل الدراسة.

8-5 الظروف المناخية

تم إجراء تحليل المناخ لمطار القاهرة الدولي حيث انها تعتبر محطة الرصد الاقرب لمنطقة الدراسة، وذلك باستخدام برنامج (Climate Consultant)، وهو يعتبر أداة دقيقة وسهلة الاستخدام لتقييم فاعلية استراتيجيات التصميم، وذلك باستخدام بيانات الطقس الموحدة لبرنامج محاكاة الطاقة، حيث يمثل الرسم البياني أداة تساعد على توفير تصور للراحة الحرارية وترشيد الطاقة [7]، وفيما يلي شكل (7) يوضح التحليلات المناخية الخاصة بدرجات الحرارة ويظهر أن أعلي معدل لدرجات الحرارة هي (38 سْ) وذلك في أشهر يونيو-يوليو– أغسطس.

شكل (7) نطاق درجات الحرارة على مدار العام (الباحث بواسطة برنامج Climate Consultant)

5-8-1 استراتيجيات التصميم المقترحة من برنامج (Climate Consultant)

قدم برنامج Climate Consultant قائمة بإرشادات التصميم الخاصة بمناخ منطقة مطار القاهرة ومحيطها، وذلك من خلال اقتراح مجموعة من افضل استراتيجيات التصميم لزيادة ساعات الراحة الحرارية وترشيد الطاقة، وهذه الارشادات تستند إلى معيار ASHRAE 55-2004 ، حيث يمكن أخذها كمرجع لاقتراح استراتيجيات التصميم لتحسين الأداء الحراري وترشيد الطاقة للمبني القائم حالة الدراسة، حيث انه يوجد ارشادات متعلقة بتصميم المبني وتوجيهه ومواضع النوافذ وابعادها، وذلك يخص المباني التي في مرحلة التصميم وبالتالي يصعب تنفيذها على مبني قائم مع الحفاظ على استمرارية عمل المبني اثناء التعديلات، وفيما يلى عرض للاستراتيجيات التي يمكن تنفيذها على المبني القائم حالة الدراسة، ويوضح شكل (8) الاستراتيجيات التصميمية الانسب تبعاً للمناخ المحيط للمبني محل الدراسة[8] .

DESIGN GUIDELINES (for the Full Year)
ASHRAE Standard 55-2004 using PMV
User Modified Design Strategies, User Modified Criteria

LOCATION: Cairo Intl Airport, Al Qahirah, EGY
Latitude/Longitude: 30.13° North, 31.4° East, **Time Zone from Greenwich** 2
Data Source: ETMY 623660 WMO Station Number, **Elevation** 74 m

Assuming only the Design Strategies that were selected on the Psychrometric Chart, 100.0% of the hours will be Comfortable.
This list of Non-Residential Design guidelines applies specifically to this particular climate, starting with the most important first. Click on a Guideline to link to the 2030 Palette for related passive design ideas (see Help).

37	Window overhangs (designed for this latitude) or operable sunshades (awnings that extend in summer) can reduce or eliminate air conditioning
42	On hot days ceiling fans or indoor air motion can make it seem cooler by 5 degrees F (2.8C) or more, thus less air conditioning is needed
20	Provide double pane high performance glazing (Low-E) on west, north, and east, but clear on south for maximum passive solar gain
45	Flat roofs work well in hot dry climates (especially if light colored)
35	Good natural ventilation can reduce or eliminate air conditioning in warm weather, if windows are well shaded and oriented to prevailing breezes
32	Minimize or eliminate west facing glazing to reduce summer and fall afternoon heat gain
11	Heat gain from lights, occupants, and equipment greatly reduces heating needs so keep building tight, well insulated (to lower Balance Point temperature)
62	Climate responsive buildings in temperate climates used light weight construction with slab on grade and operable walls and shaded outdoor spaces
66	Climate responsive buildings in hot windy dry climates used enclosed well shaded courtyards, with a small fountain to provide wind-protected microclimates
56	Screened occupancy areas and patios can provide passive comfort cooling by ventilation in warm weather and can prevent insect problems
43	Use light colored building materials and cool roofs (with high emissivity) to minimize conducted heat gain
19	For passive solar heating face most of the glass area south to maximize winter sun exposure, and design overhangs to fully shade in summer
38	Raise the indoor comfort thermostat setpoint to reduce air conditioning energy consumption (especially if occupants wear seasonally appropriate clothing)
59	In this climate air conditioning will always be needed, but can be greatly reduced if building design minimizes overheating
47	Use open plan interiors to promote natural cross ventilation, or use louvered doors, or instead use jump ducts if privacy is required
33	Long narrow building floorplan can help maximize cross ventilation in temperate and hot humid climates
46	High Efficiency air conditioner or heat pump (at least Energy Star) should prove cost effective in this climate
26	A radiant barrier (shiny foil) will help reduce radiated heat gain through the roof in hot climates
60	Earth sheltering, occupied basements, or earth tubes reduce heat loads in very hot dry climates because the earth stays near average annual temperature
36	To facilitate cross ventilation, locate door and window openings on opposite sides of building with larger openings facing up-wind if possible

شكل (8) الاستراتيجيات التصميمية الأنسب على مدار العام تبعاً لموقع المبني (الباحث بواسطة برنامج Climate Consultant)

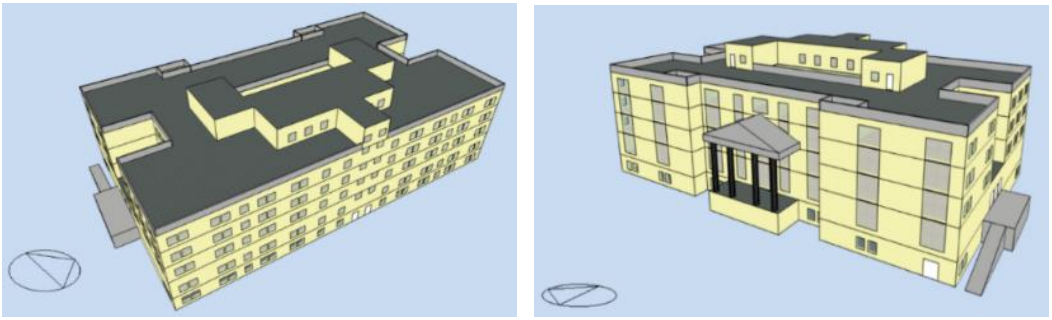
وفيما يلي تلخيص لاهم الاستراتيجيات التي يمكن الاستعانة بها :-

- يساعد العزل الحراري المناسب للغلاف الخارجي في هذه المنطقة المناخية على خفض الاكتساب الحراري وبالتالي ترشيد استهلاك الكهرباء الخاصة بتبريد فراغات المبني، حيث يعتبر تكييف الهواء متطلب أساسي في هذه المنطقة المناخية في أشهر الصيف.
- يساعد استخدام زجاج النوافذ المزدوج عالي الأداء منخفض الانبعاثية low- E Glass على خفض الطلب على الطاقة وتحسين الراحة الحرارية وزيادة مستوى العزل داخل المبني.
- يمكن أن تقلل كاسرات النوافذ الشمسية overhangs المتحركة تبعاً لحركة الشمس من استهلاك تكييف الهواء في فصل الصيف.
- في هذه المنطقة المناخية استخدام أجهزة التكييف ذات الكفاءة العالية (حاصلة على شهادة Energy Star) اثبت انها أكثر اقتصادية.

6- خطوات محاكاة أداء المبني

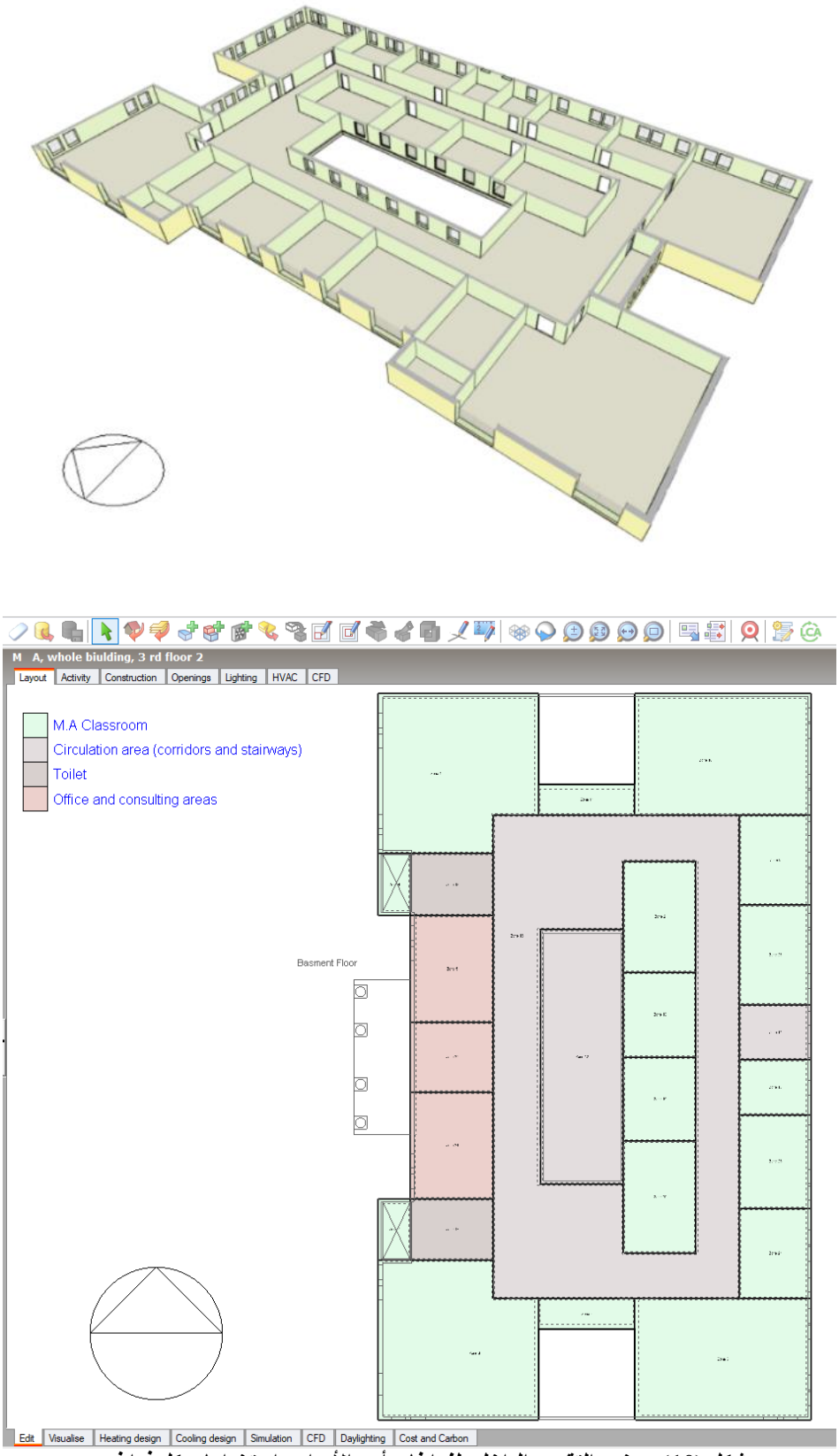
هناك العديد من برامج محاكاة الأداء الحراري واستهلاك الطاقة في المباني، ولكن هناك عددًا قليلاً من هذه البرامج التي يمكنها إجراء محاكاة كاملة للمبنى والغلاف الخارجي، لذلك تم اختيار برنامج Design Builder لهذه الدراسة حيث انه معتمد من قبل "المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء" بالإضافة إلى أنه تم استخدامه في كود الطاقة المصري [9]، وفيما يلي خطوات المحاكاة للمبني :-

يتم في البداية فتح ملف جديد خاص بالمبنى على برنامج **Design builder** واختيار موقع المبنى على الخرائط الخاصة بالبرنامج وذلك لتحديد المنطقة المناخية الواقع فيها المبني، وذلك لضمان صحة الظروف المناخية المحيطة والمعدلات الخاصة بالإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة والرطوبة والعوامل المناخية الأخرى، ثم بعد ذلك يتم رسم المبنى بالأبعاد الواقعية وعلية كافة التفاصيل، من حيث ابعاد النوافذ والابواب الخارجية والافنية ومراعاه توجيه المبني حسب اتجاه الشمال الحقيقي، ويوضح شكل (9) كتلة وواجهات المبني بعد المحاكاة بواسطة برنامج Design Builder.



شكل (9) يوضح كتلة المبني بعد المحاكاة بواسطة برنامج (الباحث بواسطة Design Builder)

بعد ذلك يتم تقسيم الفراغات الداخلية لأدوار المبني وإعطاء كل فراغ الوظيفة الخاصة به وتحديد نوع وسمك كل مادة من المواد المستخدمة في الحوائط والاسقف والنوافذ تبعاً لنوع المادة والسمك الفعلي لها وتحديد نسبة الإضاءة لكل 1م^2 ونوع وقدرة الأجهزة المستخدمة سواء أجهزة كمبيوتر او طابعات وغيرها، وتحديد نوع جهاز التكييف المستخدم ، ثم يتم ضبط جدول مواعيد العمل اليومية والاجازات الأسبوعية والسنوية، وذلك لضمان دقة نتائج المحاكاة وفاعليتها، ويوضح شكل (10) التقسيم الداخلي لفراغات أحد الأدوار واستخدامات كل فراغ من خلال مخرجات برنامج Design Builder .

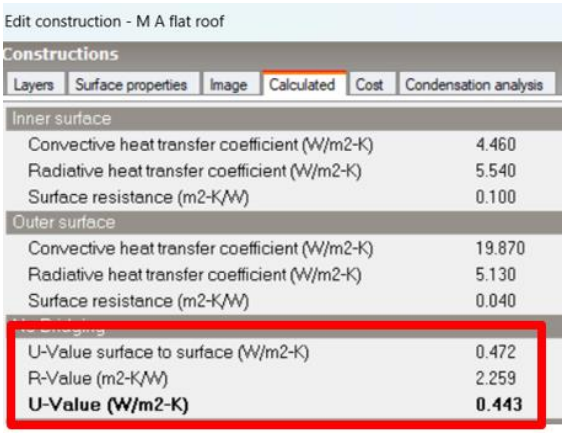


شكل (10) يوضح التقسيم الداخلي لفراغات أحد الأدوار واستخدامات كل فراغ
(الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

1-6 محاكاه الوضع الأصلي للغلاف الخارجي للمبني

1-1-6 أولاً: السقف النهائي

بعد بناء المبني على برنامج Design Builder يتم توصيف مواد البناء لكل عنصر من عناصر المبني وذلك لضمان صحة المحاكاة، ويوضح الشكل(11) مواصفات الناقلية الحرارية والمقاومة الحرارية لقطاع السقف النهائي للمبني، وذلك تبعاً لما تم إدخاله من بيانات في برنامج Design Builder ، وبناء على ذلك فاءن المقاومة الحرارية الكلية لقطاع السقف النهائي (Rt) = 2.26 م^2. س^o / وات، وبناء على ما ورد في متطلبات المقاومة الحرارية لأسطح المباني الواقعة في مدينة القاهرة في الكود المصري لترشيد الطاقة في المباني ظهر ان قطاع السقف النهائي الخاص بمبني كلية الهندسة متناسب مع الحد الأدنى لمتطلبات الكود والذي ينص على ان لا تقل المقاومة الحرارية للسطح النهائي للمباني في مدينة القاهرة عن 2.2 م^2. س^o / وات [10].

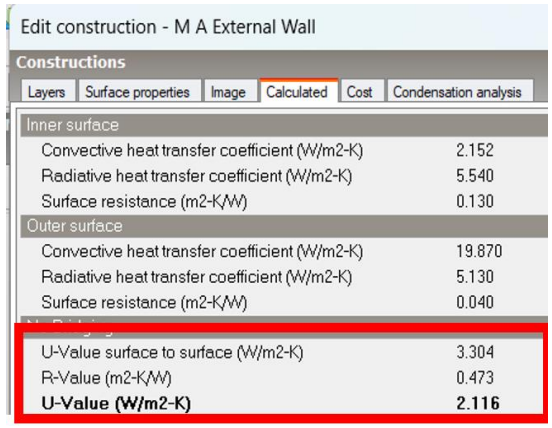


شكل (11) يوضح عناصر وسمك قطاع السقف النهائي للمبني والانتقالية والمقاومة الحرارية له (الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

2-1-6 ثانياً: الحوائط الخارجية

بعد بناء المبني على برنامج Design Builder يتم توصيف مواد البناء لكل عنصر من عناصر المبني وذلك لضمان صحة المحاكاة، ويوضح شكل (12) مواصفات الناقلية الحرارية والمقاومة الحرارية وذلك تبعاً لما تم إدخاله من بيانات في برنامج Design Builder .

- المقاومة الحرارية الكلية للقطاع (Rt) = 0.473 م^2. س^o / وات.
- معامل الانتقال الحراري الكلى للقطاع (U) = 2.11 وات/ م^2. س^o.

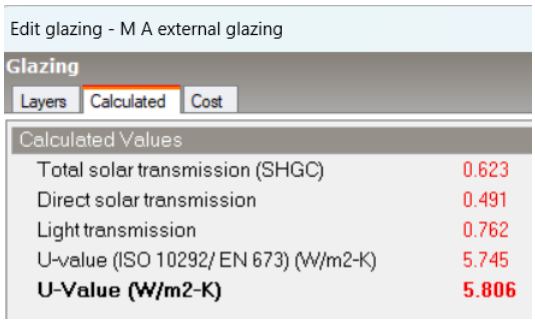


شكل (12) يوضح مواصفات الحائط الخارجي للمبني ومكوناته والناقلية والمقاومة الحرارية (الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

وبناء على ما ورد في متطلبات المقاومة الحرارية للحوائط الخارجية في الكود المصري لترشيد الطاقة في المباني ظهر ان قطاع الحائط الخاص بالمبني غير مستوفي الشروط [10]، وبالتالي يحتاج الي معالجة لتحسين كفاءته بهدف خفض معدل الاكتساب الحراري وترشيد الطاقة المستخدمة في تبريد المبني، وذلك ما سوف يتم عملة لاحقاً خلال مقترح تحسين كفاءة الحوائط الخارجية.

3-1-6 النوافذ الخارجية

بناء على تحليل مواصفات الزجاج المستخدم ظهر ان نوع الزجاج المستخدم بالمبني ذو معامل انتقالية حرارية (U Value) عالية، وبالتالي فهو يساعد بشكل كبير علي زيادة الاكتساب الحراري الشمسي داخل المبني خلال فصل الصيف ولا يتناسب مع كود ASHRAE [11] ، وكما يظهر في شكل (13) فان معامل الانتقال الحراري للنوافذ (U) = 5.8 وات/ م^2. س^o، وهو مرتفع وبالتالي يحتاج الى تحسين كفاءته باستبداله بنوع أكثر تناسباً مع الظروف المناخية المحيطة.



شكل (13) يوضح الانتقالية والمقاومة الحرارية للزجاج المستخدم في المبني (الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

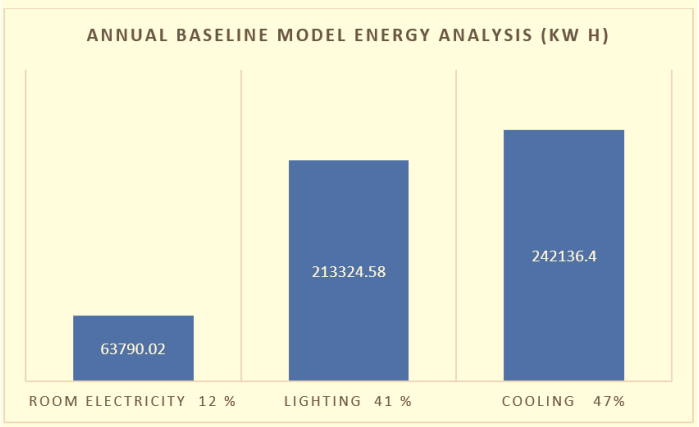
2-6 نتائج محاكاة استهلاك الطاقة للوضع الأصلي للمبني

بناء على تحليل استهلاك الطاقة بواسطة نموذج المحاكاة ببرنامج **Design Builder** على مدار عام 2021 بداية من يوم 1 يناير الى يوم 31 ديسمبر ظهرت نسب الاستهلاك لكل عنصر كما هو موضح في جدول (4) .

جدول (4) يوضح تحليل استهلاك الطاقة لكل عنصر على مدار عام 2021 من خلال نموذج المحاكاة (الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

أجهزة التكييف	الاضاءة	الأجهزة الكهربائية	الاجمالي
242136.4	213324.58	63790.02	519251
%47	%41	%12	%100

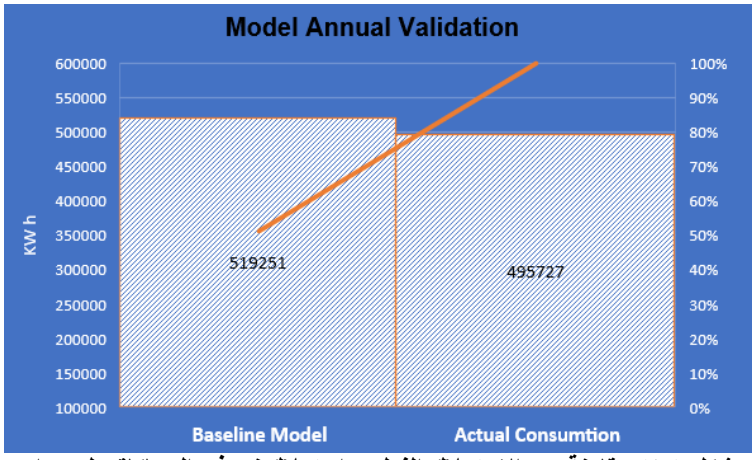
وبناء على نتائج تحليل الاستهلاك السنوي نجد ارتفاع نسبة استهلاك الطاقة المستخدمة في نظام تبريد المبني، حيث تصل الى 47% من إجمالي الاستهلاك السنوي للطاقة داخل المبني، ويرجع ذلك الى عدم توافق المقاومة الحرارية (R) الخاصة بالحوائط الخارجية مع الظروف المناخية المحيطة وذلك مقارنة باشتراطات المقاومة الحرارية للحوائط بالكود المصري لترشيد الطاقة في المباني، بالإضافة لزيادة نسبة الاكتساب الحراري من الزجاج المستخدم في الواجهات الخارجية للمبني، حيث يعتمد المبني على حوائط زجاجية في الواجهة الغربية بنسبة تصل الى 27% تقريباً، مع استخدام زجاج مفرد سمك 6مم عاكس في جميع الواجهات، واظهرت نتائج المحاكاة عدم توافقه مع متطلبات الاكتساب الحراري الخاص بهذه المنطقة المناخية، وذلك مخالف لكود (ASHRAE) ، وبناء على ذلك لابد من وضع حلول لخفض الاستهلاك، وذلك ما سوف يتم لاحقاً، ويوضح شكل (14) مقارنة بين الاستهلاك لكل عنصر داخل المبني.



شكل (14) تحليل لنسب الاستهلاك السنوي لكل عنصر داخل المبني (الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

3-6 التحقق من صحة نموذج المحاكاة

تم عمل معايرة بين نتائج الاستهلاك الفعلي للمبني من فواتير الكهرباء على مدار شهور عام 2021 وذلك منذ يوم 1 يناير الى يوم 31 ديسمبر، مع الاستهلاك الصادر من نموذج المحاكاة بواسطة برنامج Design Builder ، وذلك لضمان صحة الدراسة وفاعلية نتائجها فيما بعد، وفيما يتعلق بالاستهلاك السنوي فمن خلال المقارنة نلاحظ توافق نسب الاستهلاك على مدار العام بنسبة حوالي 96 % ، حيث ان الاستهلاك السنوي الفعلي لفواتير الاستهلاك = 495727 كيلو وات ساعة، وبالمقارنة مع نتائج المحاكاة بواسطة برنامج Design Builder لنفس المدة وجدت النتيجة = 519251 كيلو وات ساعة، ويوضح شكل (15) مقارنة بين الاستهلاك الفعلي واستهلاك نموذج المحاكاة علي مدار عام 2021 .



شكل (15) مقارنة بين الاستهلاك الفعلي واستهلاك نموذج المحاكاة على مدار شهور عام 2021 (الباحث بواسطة برنامج Excel)

وبناء على ما سبق توضيحه سابقاً فيما يخص الوضع الراهن للمبني ظهر ان المقاومة الحرارية للحوائط الخارجية والنوافذ غير مستوفيه لشروط الكود المصري للعزل الحراري في المباني، وبالتالي تحتاج الي معالجة لتحسين كفاءتها بهدف خفض معدل الاكتساب الحراري وترشيد الطاقة المستخدمة في تبريد المبني، ومن خلال دراسة مقارنة لعزل حائط خارجي في مناخ حار جاف (إقليم شبة صحراوي) يقع فيه مدينة القاهرة، وجد ان اللواح البولسترين المشكل بالبثق أعطت كفاءة عزل حراري اعلي مع استخدام سمك أقل مقارنة بمواد عزل اخري مثل البولسترين الممدد والسليتون والفيرميكيوليت [4]، لذلك يمكن الاعتماد على احدى أنواع البوليسترين المشكل بالبثق في معالجة المبني محل الدراسة حيث انه يقع في نفس الاقليم المناخي.

وفيما يلي توضيح لاشتراطات معالجة غلاف المبني بالطريقة الأمثل تبعاً لمتطلبات كود العزل الحراري الصادر من المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء:-

4-6 العوامل التي يتوقف عليها اختيار نوع المادة العازلة

1- الموصلية الحرارية للمادة والتي تحقق القيمة التصميمية للانتقالية الحرارية الكلية للحائط.
2- نوع المنشأ المراد عزلة (مبني قائم – مبني تحت الانشاء) .
3- مكان المادة العازلة من الخارج او الوسط او الداخل، فلكل موضع المواد المناسبة له.
4- الخواص الميكانيكية المطلوبة لمادة العزل من تحمل اجهادات الانضغاط والانحناء والشد وكذلك مقاومة البري والاحتكاك والعوامل الجوية.
5- توافر العمالة المدربة والمعدات اللازمة لتنفيذ المادة، فهناك مواد سهلة التركيب ومواد تحتاج لمعدات ضخ وحقن وعمالة مدربة.
6- توافر المادة بسعر اقتصادي مناسب [4].

5-6 اختيار مكان وضع المادة العازلة للحرارة في الحائط

يوجد ثلاث طرق لوضع المادة العازلة للحرارة في الحوائط وهي (من الخارج- في الوسط – من الداخل)، وكما هو معلوم في علم انتقال الحرارة ان توضع المادة العازلة في اتجاه مصدر الحرارة، ففي البلاد الباردة

توضع المادة العازلة من الداخل، بينما في البلاد الحارة توضع المادة العازلة من الخارج، ومن المعلوم ايضاً انه في حالة عزل مبني قائم حرارياً لابد من استخدام العزل من الخارج حيث انه لا يتطلب إيقاف الأنشطة داخل المبني اثناء العزل [4]، وذلك ما سوف يتم تطبيقه على المبني محل الدراسة، وفيما يلي تطبيق مقترحات برنامج Climate Consultant المناسبة مناخياً لمدينة القاهرة والتي سيتم تنفيذها كمقترحات معالجة لغلاف المبني بواسطة المحاكاة بهدف تحسين اداء الطاقة بالمبني :-

7- المقترح الأول : إضافة عزل حراري للحوائط الخارجية للمبني

وفقًا لموقع المبني المحدد في منطقة المقطم بمدينة القاهرة والذي يتبع محطة الرصد الخاصة بمطار القاهرة الدولي، وبناء على البيانات الخاصة بالمقاومة الحرارية المناسبة لمدينة القاهرة والتي ينص عليها الكود المصري لترشيد الطاقة في المباني فاءن الحوائط الخارجية الحالية للمبني لا تتناسب مقاومتها الحرارية مع متطلبات الكود، وبالتالي يزيد معدل الانتقال الحراري مما يؤدى الي زيادة استهلاك الطاقة المستخدمة في تبريد المبني، ويوضح جدول (5) الحد الأدنى للمقاومة الحرارية المطلوبة تبعاً لمناخ مدينة القاهرة، ويمكن اخذها في المتوسط للأربعة واجهات (1 م^2. سْ / وات) ، حيث ان كود العزل الحراري في المباني ينص على ان لا يزيد معامل الانتقالية الحرارية للحوائط المعرضة عن (1 وات/ م^2. س^o) [4]، وذلك بناء على المعادلة التالية :-

$$U = 1/ Rt$$

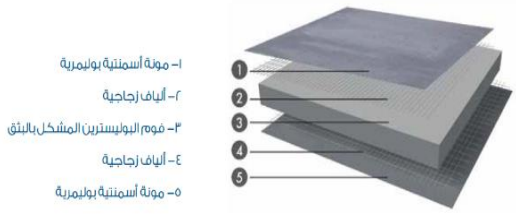
حيث أن: **U**= معامل الانتقال الحراري الكلى للقطاع (وات/ م^2. س^o).

Rt= المقاومة الكلية للقطاع (م^2. سْ / وات)

جدول (5) يوضح المقاومة الحرارية المطلوب تحقيقها للحوائط والاسقف في مدينة القاهرة [10]

الاتجاه	الأجزاء المعتمة		
	اللون	المقاومة الحرارية المطلوبة م^2. س^o / وات	
		انشاء ثقيل	انشاء خفيف
السطح النهائي	داكن	2.2	2.7
شمال	داكن	0.7	1.2
	فاتح	0.6	1.1
جنوب	داكن	0.9	1.8
	فاتح	0.7	1.5
شرق	داكن	1.4	2.5
	فاتح	0.9	2
غرب	داكن	1.4	2.5
	فاتح	0.9	2

وبناء علي ما ورد في اشتراطات كود العزل الحراري المصري، تم اقتراح اضافة اللواح عازل حراري مصنوعة من فوم البوليسترين المشكل بالبثق والمسلحة من الوجهين بشبكة من الالياف الزجاجية ومغطاة بطبقة من المونة الاسمنتية المعالجة سمك 2سم على الواجهات الخارجية للمبني، حيث ان هذا السمك هو الأنسب لتحقيق المقاومة الحرارية المطلوبة، وذلك من خلال دراسة الخواص الحرارية لكل سمك من الالواح على حده، وهي اللواح ذات خواص عزل مميزة ومعتمدة من اختبارات المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء وتتناسب مع متطلبات الكود المصري لترشيد الطاقة في المباني في مدينة القاهرة ، بالإضافة لإمكانية استخدامها بسهولة في تحسين كفاءة الغلاف الخارجي للمباني القائمة دون احداث تغييرات أو هدم أو تعطيل لوظيفة المبني، ويوضح شكل (16) مكونات اللواح العزل المستخدمة.



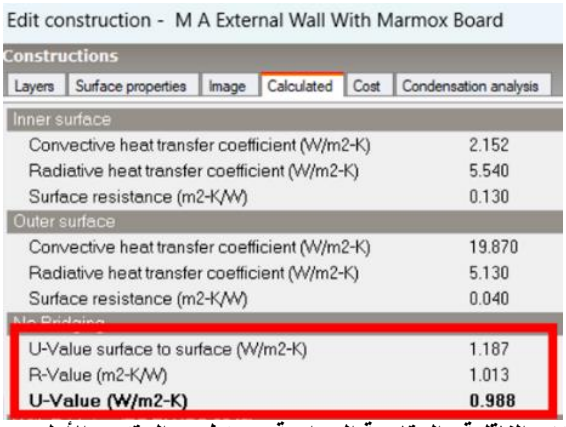
شكل (16) يوضح مكونات اللواح العزل الحراري المقترح استخدامها كمعالجة خارجية لحوائط المبني

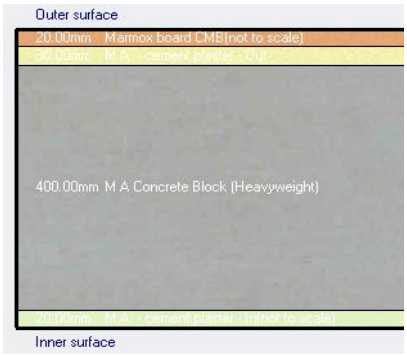
1-7 تطبيق المقترح الاول

تم إضافة اللواح فوم البوليسترين المشكل بالبثق سمك 2 سم للحوائط الخارجية كطبقة خارجية على الحائط وذلك في الواجهات الأربعة للمبني بهدف تحقيق المقاومة الحرارية المناسبة تبعاً لمتطلبات الكود، ويوضح شكل (17) مكونات وطبقات الحائط الخارجي للمبني ومواصفات الناقلية الحرارية والمقاومة الحرارية وذلك تبعاً لما تم إدخاله من بيانات في برنامج Design Builder، حيث يتكون مما يلي :-

- **الطبقة الخارجية :** اللواح مارموكس بورد سمك 2 سم مثبت تبعاً للمواصفات الفنية.
- بياض اسمنتي مع دهان مقاوم للمياه بسمك 2سم.
- بلوكات من الطوب الاسمنتي بسمك 40سم .
- **الطبقة الداخلية :** بياض أسمنتي مقاوم للخدش لون اخضر فاتح بسمك 3سم .
- **المقاومة الحرارية الكلية للقطاع (Rt)** = 1.013 م^2. س^o / وات
- **معامل الانتقال الحراري الكلى للقطاع (U)** = 0.99 وات/ م^2. س^o

يتضح من الجدول التالي ان المقاومة الحرارية لقطاع الحائط الخارجي زادت من 0.473 الى 1.013 وبالتالي أصبحت مناسبة لمتطلبات الكود المصري لترشيد الطاقة في المباني، مع عدم زيادة نسبة الانتقالية الحرارية (U Value) للحوائط عن النسبة المذكورة في كود العزل الحراري المصري لمناخ مدينة القاهرة، والتي يجب ان لا تزيد عن (1وات/م^2.س^o) [4].

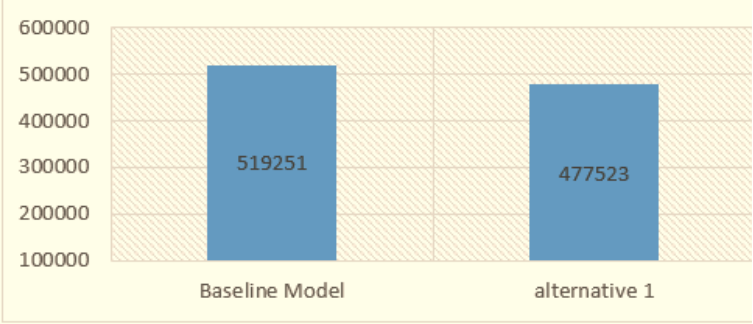




شكل (17) يوضح مواصفات الحائط الخارجي ومكوناته والناقلية والمقاومة الحرارية بعد تطبيق المقترح الأول (الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

وفيما يلي دراسة مدى جدوى تطبيق هذا المقترح على معدل استهلاك الطاقة داخل المبني، من خلال تعديل في مدخلات المحاكاة واضافة المادة الجديدة كطبقة خارجية على الحوائط الخارجية للمبني :-

بناء على تطبيق المقترح الأول وهو عزل الحوائط الخارجية للمبني تم خفض استهلاك طاقة تبريد المبني (AC) بنسبة 18% وتخفيض اجمالي طاقة المبني بنسبة 8.1% ، وإذا نظرنا الي نسبة الوفر السابقة فهي ليست قليلة، حيث انه وفقًا لكود ASHRAE يتطلب لتوليد وتسليم 1 كيلو وات في الساعة للمستهلك ما يقرب من 3 كيلو وات ساعة من إجمالي الطاقة المولدة، ويرجع ذلك الي ان إنتاج الطاقة الكهربائية وتوصيلها فعالان بنسبة 33٪ فقط [6]، ويوضح شكل (18) مقارنة بين استهلاك المبني حالة الأساس واستهلاك المبني بعد تطبيق المقترح الأول.



شكل (18) مقارنة بين استهلاك المبني حالة الأساس واستهلاك المقترح الاول على مدار عام 2021 (الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

وقد ذكرت وكالة حماية البيئة الامريكية ان خفض استهلاك الكهرباء يساعد على خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والتي تمثل نسبة 66% من اجمالي انبعاثات غازات الدفيئة، وهو أحد مسببات الاحتباس الحراري وتلوث الهواء، ومن خلال استخدام حاسبة معدلات غازات الاحتباس الحراري الخاصة بوكالة حماية البيئة الامريكية [12]، وبناء على نتيجة ترشيد الطاقة للمقترح الأول والتي تساوي 41728 كيلو وات، فهي تكافي خفض 29.6 طن من ثان أكسيد الكربون في الجو سنوياً.

8- المقترح الثاني: تغيير نوع النوافذ

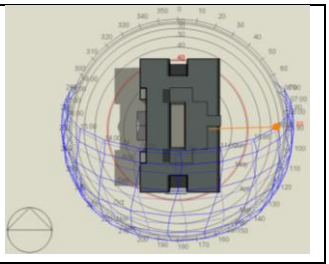
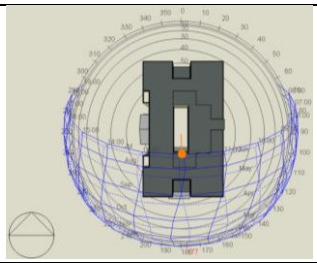
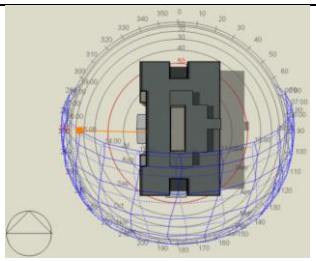
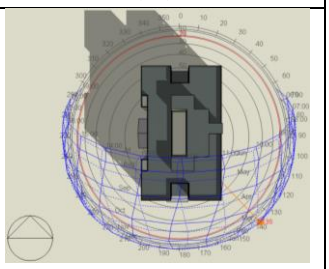
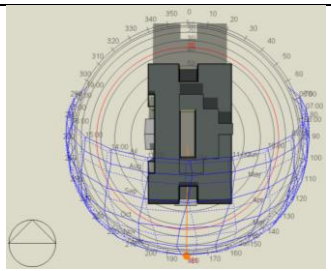
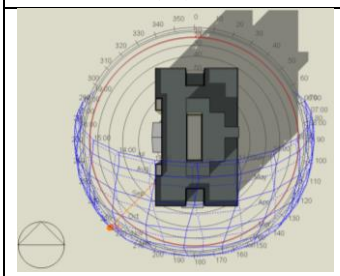
شكل (19) الواجهة الغربية الرئيسية للمبني وموضح عليها الحوائط الزجاجية (الباحث)

يعتمد هذا المقترح علي تبديل نوع النوافذ من الزجاج المنفرد إلى الزجاج الثنائي منخفض الانبعاثية low-E Glass حيث ان نوع الزجاج المستخدم حالياً لا يتناسب مع معدلات الاكتساب الحراري لمناخ المنطقة محل الدراسة، مع تغيير الإطارات الألومنيوم الي إطارات خشبية، وذلك على النحو الذي اقترحه برنامج Climate Consultant والذي يمثل الحد الادنى من متطلبات كود ASHRAE 90.1 الخاصة بنوع الزجاج[13]، وهو زجاج ثنائي معالج بطبقة منخفضة الانبعاثات يوصى به كاستراتيجية تصميم مثالية لتوفير العزل في الصيف وتجنب زيادة اكتساب البرودة في الشتاء، حيث يضمن طلاء Low-E قلة الناقلية الحرارة بين داخل وخارج المبني ويحسن خصائص العزل للفتحة، كما ان المكونات الأخرى للنوافذ مثل الفراغ بين الالواح يمكن أن يقلل بشكل كبير من النفاذية الحرارية أو قيمة U Value للفتحات [7]، وفيما يتعلق بإطار النافذة تتمتع الإطارات الخشبية بعزل أفضل بسبب النفاذية الحرارية المنخفضة، بينما تحتوي إطارات الألومنيوم الحالية على موصلية عالية، وبناء علية تم اقتراح تغيير الإطار الألمنيوم لجميع الفتحات بإطارات خشبية لتحسين المقاومة الحرارية وزيادة العزل، حيث ان نوع الزجاج المستخدم لجميع النوافذ والأبواب الخارجية هو زجاج مفرد لون اخضر عاكس بسمك 6 مم، مع قيمة U= 5.8 وات/ م^2. س^o، معامل الاكتساب الحراري الشمسي (SHGC) = 0.623، وإطار النوافذ من الألومنيوم، كما ان الابواب الخارجية ايضاً من نفس نوع الزجاج واطارات الالومنيوم، وجميع النوافذ لا يتم فتحها كما انها مغطاة بستائر داخلية بلون برتقالي بهدف خفض معدل الابهار الضوئي والاكتساب الحراري الناتج عن زيادة المسطحات الزجاجية في الوجهات الشرقية والغربية لأنهم الواجهتان الاكبر في المبني.

شكل (20) يوضح اغلاق النوافذ الخارجية بستائر لخفض الاكتساب الحراري داخل الفراغات (الباحث)

بما ان جميع الفتحات في المبني لا يتم فتحها وتستخدم للإضاءة فقط، مع العلم ان المبني في الأساس يعتمد على الإضاءة الصناعية والستائر مغلقة طول الوقت، فانة من المفيد تغيير نوع زجاج واطارات النوافذ الى الزجاج المزدوج ذو الإطارات الخشبية نظراً لقلة الناقلية الحرارية عبر الزجاج والاطارات، وبالتالي ترشيد طاقة تبريد المبنى واحكام الحرارة داخل المبني في فصل الشتاء.

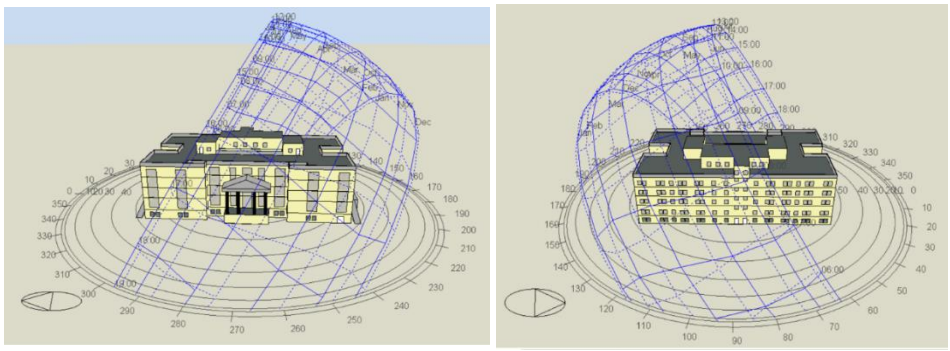
ويعد الاكتساب الحراري الشمسي من أهم العوامل التي تؤثر على الفراغات الداخلية وبالتالي يؤثر على استهلاك الطاقة المستخدمة في نظام HVAC ، ويتأثر المبني بالاكتساب الحراري الشمسي من خلال عدد ساعات التعرض لكل واجهة من واجهات المبني وشدة الحرارة وزاوية ميل الشمس باختلاف الفصول، وفيما يلي شكل (21) يوضح حركة الشمس على واجهات المبني في فصل الصيف (يوم 21 يونيو) وذلك في ثلاث مواعيد مختلفة على مدار يوم العمل، وهم الساعة 9 صباحا، 12 ظهرا ، 3 عصرا ، وكذلك في فصل الشتاء (يوم 21 ديسمبر) وذلك الساعة 9 صباحا، 12 ظهرا ، 3 عصراً، وذلك مع توضيح اتجاه سهم الشمال.

		
صيفاً: الساعة 9 صباحاً يوم 21 يونيو	**صيفاً: الساعة 12 ظهراً يوم 21 يونيو**	**صيفاً: الساعة 3 عصراً يوم 21 يونيو**
		
شتاء: الساعة 9 صباحاً يوم 21 ديسمبر	**شتاء: الساعة 12 ظهراً يوم 21 ديسمبر**	**شتاء: الساعة 3 عصراً يوم 21 ديسمبر**

شكل (21) يوضح حركة الشمس على واجهات المبني صيفاً وشتاً على مدار فتره النهار (الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

وبما ان اغلب الاستهلاك السنوي للكهرباء يكون من خلال اجهزة التكييف داخل المبني، فلابد من عمل المعالجات المناسبة للمنطقة المناخية الواقع فيها المبني وذلك للحد من ذلك الاستهلاك، ومن خلال الشكل السابق يظهر في فصل الصيف تعامد الشمس على الواجهة الشرقية وذلك بداية من الساعة 9 صباحاً، وبالتالي فهي تحتاج الى معالجة للحوائط الخارجية لتناسب المقاومة الحرارية (Rt) مع متطلبات الكود

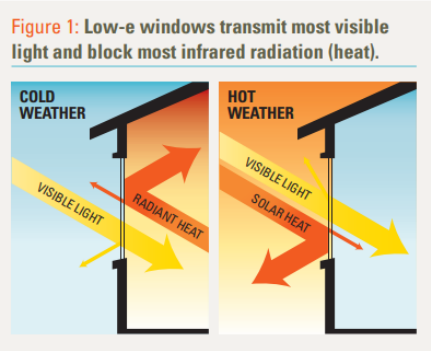
المصري لترشيد الطاقة في المباني التجارية المكيفة، بالإضافة الى دراسة نوع الزجاج المستخدم بها حيث ان الزجاج يعتبر من اكثر العناصر الى تساعد على حدوث الاكتساب الحراري الشمسي صيفاً، وبداية من الساعة 12 ظهراً وصولاً الى الثالثة عصرا تتعامد الشمس على الواجهة الجنوبية والغربية مما يزيد من معدل الاكتساب الحراري الشمسي، وبالتالي يجب ان تتناسب المقاومة الحرارية (Rt) مع متطلبات الكود المصري لترشيد الطاقة في المباني التجارية المكيفة، ومن أهم السلبيات الموجودة بالمبني زيادة المسطحات الزجاجية المستخدمة في الواجهة الغربية (WWR) والتي تمثل نسبة حوالى 27% من اجمالي مساحة الواجهة الغربية والتي تعتبر اكثر الواجهات تعرضاً للشمس صيفاً، بالإضافة الي ان توجيه الضلع الطويل للمبني تجاه الغرب هو توجيه غير مناسب [4]، ويوضح شكل (22) حركة الشمس علي الواجهة الرئيسية الغربية والشرقية.



شكل (22) على اليمين تعامد الشمس على الواجهة الشرقية من الساعة 9 صباحاً وعلى اليسار تعامد الشمس على الواجهة الغربية فترة ما بعد الظهيرة في فصل الصيف (الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

1-8 تطبيق المقترح الثاني

تم تبديل نوع النوافذ إلى نوافذ ذات زجاج ثنائي منخفض الانبعاثية low-E Glass ذو إطارات خشبية، وذلك على النحو الذي اقترحه برنامج Climate Consultant والذي يمثل الحد الادنى من متطلبات كود ASHRAE 90.1 الخاصة بنوع الزجاج [13]، وهو زجاج ثنائي معالج يعكس حرارة الشمس خارج المبني في الطقس الحار، وهو عبارة عن طلاء معدني أو أكسيد معدني رقيق مجهريًا يكون شفافًا يقلل من كمية الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية التي تخترق الزجاج دون تقليل كمية الضوء المنقول [14]، وفيما يتعلق بنوع الزجاج المستخدم فهو زجاج مزدوج سمك كل طبقة 6 مم مع وجود فراغ بينهما بسمك 13 مم يحتوي على هواء مع قيمة U= 1.77 وات/ م^2. س^o، معامل الاكتساب الحراري الشمسي (SHGC) = 0.369، ويوضح شكل (23) خصائص الزجاج منخفض الانبعاثية المستخدم في النوافذ الخارجية من حيث التعامل مع الاشعاع الشمسي صيفاً وشتاء، ويوضح جدول (6) مقارنة بين خصائص الزجاج المستخدم في الحالة الأساسية والنموذج المقترح.



شكل (23) يوضح مواصفات الزجاج المزدوج منخفض الانبعاثية

جدول (6) يوضح مقارنة بين مواصفات الزجاج المستخدم في الحالة الأساسية والنموذج المقترح

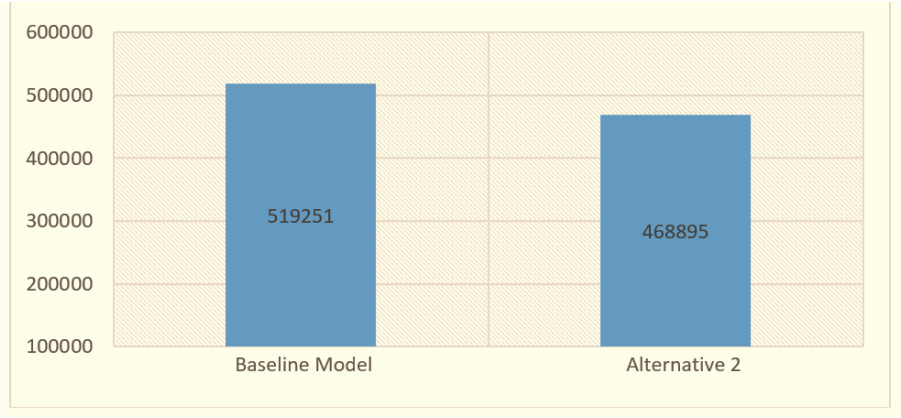
نموذج	الحالة الأساسية	المقترح
نوع الزجاج	زجاج مفرد سمك 6مم لون أخضر	زجاج مزدوج Low E سمك 6مم مع فراغ هواء 13مم
الانتقالية الحرارية (وات/ م^2. س^o)	5.8	1.77
معامل الاكتساب الحراري الشمسي (SHGC)	0.623	0.369

وفيما يلي دراسة مدى جدوى تطبيق هذا المقترح على معدل استهلاك الطاقة داخل المبني من خلال تعديل في مدخلات المحاكاة باستبدال نوع النوافذ المستخدمة في للمبني والموضح مواصفاتها في شكل (24) من خلال مخرجات برنامج Design Builder تم خفض استهلاك طاقة تبريد المبني بنسبة 21% وخفض اجمالي استهلاك المبني بنسبة 9.7% بناء على استبدال نوافذ المبني بنوافذ ذات زجاج مزدوج منخفض الانبعاثية، وذلك بناء على تحليل برنامج Design Builder، وإذا نظرنا الي نسبة الوفر السابقة فهي ليست قليلة، حيث انه وفقًا لكود ASHRAE يتطلب لتوليد وتسليم 1 كيلو وات في الساعة للمستهلك ما يقرب من 3 كيلو وات ساعة من إجمالي الطاقة المولدة، ويرجع ذلك الي ان إنتاج الطاقة الكهربائية وتوصيلها فعالان بنسبة 33٪ فقط [6].

General	
Dbl LoE (e2=.1) Tint 6mm/13mm Air	
Source	EnergyPlus dataset
Category	Double
Region	General
Colour	
Definition method	
Definition method	1-Material layers
Layers	
Number layers	2
Outermost pane	
Pane type	Generic LoE TINT 6MM
Flip layer	No
Window gas 1	
Window gas type	AIR 13MM
Innermost pane	
Pane type	Generic CLEAR 6MM
Flip layer	No
Outside Surface	
Fix convective heat transfer coefficient	No
Inside Surface	
Fix convective heat transfer coefficient	No
Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0.369
Direct solar transmission	0.284
Light transmission	0.444
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m2-K)	1.772
U-Value (W/m2-K)	1.772

شكل (24) يوضح مواصفات الزجاج المزدوج المستخدم في المقترح الثاني
(الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

وفيما يلي شكل (25) يوضح مقارنة بين استهلاك المبني حالة الأساس واستهلاك المبني في المقترح الثاني وذلك بناء على مخرجات برنامج **Design Builder .**



شكل (25) مقارنة بين استهلاك المبني حالة الأساس واستهلاك المقترح الثاني على مدار عام 2021
(الباحث بواسطة برنامج Design Builder)

ومن مميزات تطبيق ذلك المقترح ايضاً تقليل تسرب الهواء من خلال غلاف المبنى وبالتالي يساهم في تقليل فقد الحرارة في الشتاء وفقدان التبريد في الصيف وهو من أهم عوامل ترشيد طاقة المبني على مدار العام، بالإضافة الى تحسين العزل الصوتي بشكل كبير مما يؤثر بالإيجاب على العملية التعليمية داخل المبني.

وبناء على ما ذكرته وكالة حماية البيئة الامريكية ان خفض استهلاك الكهرباء يساعد على خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والتي تمثل نسبة 66% من اجمالي انبعاثات غازات الدفيئة، وهو أحد مسببات الاحتباس الحراري وتلوث الهواء، ومن خلال استخدام حاسبة معدلات غازات الاحتباس الحراري الخاصة بوكالة حماية البيئة الامريكية [12]، وبناء على نتيجة ترشيد الطاقة للمقترح الثاني والتي تساوي 50356 كيلو وات، فهي تكافي خفض 35.7 طن من ثان أكسيد الكربون في الجو سنوياً.

النتائج والتوصيات

أولاً: نتائج الدراسة

1- إذا نظرنا الى أهم العوامل التصميمية التي تؤثر على استهلاك الطاقة في المباني التعليمية القائمة نجد أن أغلبها ثابتاً لا يمكن تغييره مثل (الإقليم المناخي- توجيه المبنى- ارتفاع المبنى- تشكيل المسقط الأفقي- الغلاف الخارجي)، وتركز الدراسة على العامل الأخير(الغلاف الخارجي)، وهو العامل الذي يمكن من خلال تطويره بالاعتماد على التعديل التحديثي للغلاف الخارجي تخفيض الاكتساب الحراري وبالتالي ترشيد الطاقة وتحسين جودة البيئة الداخلية وتقليل الاثار السلبية للمباني التعليمية القائمة على البيئة.

2- تعتبر العناصر المكونة للغلاف الخارجي للمباني التعليمية هي المنفذ الرئيسي للحرارة الى داخل المبنى، وبالتالي تؤثر على مناخ الفراغات الداخلية ، لذلك يجب مراعاة اختيار مواد ذات نوعية وسمك مناسب للظروف المناخية المحيطة لتقليل التبادل الحراري بين داخل وخارج المبني وترشيد الطاقة غير المتجددة المستخدمة في تبريد فراغات المبني، وبالتالي حماية البيئة من الاثار السلبية لارتفاع معدلات الكربون في الجو عام بعد اخر.

3- ينص الكود على ان لا يزيد معامل الانتقالية الحرارية للحوائط المعرضة في مناخ مدينة القاهرة عن (1 وات/ م^2. س^o)، وقد كانت الانتقالية الحرارية قبل المعالجة بقيمة تساوى (2.11 وات/ م^2) وأصبحت بعد المعالجة المقترحة بقيمة تساوى (0.98 وات/ م^2) وبالتالي أصبحت مناسبة لمتطلبات الكود في مناخ مدينة القاهرة، وبالنسبة للسقف النهائي للمبني ينص الكود على ان لا يزيد معامل الانتقالية الحرارية للأسقف النهائية عن (0.6 وات/ م^2. س^o)، وهي في الوضع الأصلي للمبني تساوى (0.44 وات/ م^2) وبالتالي فهي مناسبة لمتطلبات الكود.

4- من خلال إضافة مادة العزل الحراري للحوائط الخارجية وبناء على تحليل برنامج Design Builder تم خفض طاقة تبريد المبني بنسبة 18% ، كما تم خفض اجمالي طاقة المبني بنسبة 8.1% بعد إضافة العزل الحراري المقترح والمتناسب مع متطلبات واشتراطات كود العزل الحراري المصري، وذلك من خلال تحقيق متطلبات المقاومة الحرارية المناسبة تبعاً للمنطقة المناخية الخاصة بالمبني محل الدراسة، مما يساهم في خفض معدلات الكربون بمقدار 29.6 طن من ثاني أكسيد الكربون في الجو سنوياً وذلك من خلال استخدام حاسبة معدلات غازات الاحتباس الحراري الخاصة بوكالة حماية البيئة الامريكية.

5- من خلال تبديل نوع النوافذ بنوافذ أكثر كفاءة ذات زجاج مزدوج منخفض الانبعاثية، وبناء على تحليل برنامج Design Builder تم خفض طاقة تبريد المبني بنسبة 21% ، كما تم خفض اجمالي طاقة المبني بنسبة 9.7% للمبني بعد تبديل النوافذ بنوافذ متناسبة مع متطلبات واشتراطات كود ASHRAE، مما يساهم في خفض معدلات الكربون بمقدار 29.6 طن من ثاني أكسيد الكربون في الجو سنوياً وذلك من خلال استخدام حاسبة معدلات غازات الاحتباس الحراري الخاصة بوكالة حماية البيئة الامريكية.

6- تعتبر الواجهة الغربية هي أكثر الواجهات اكتساباً للحرارة في شهور الصيف الحارة، وذلك بناء على حساب معدل الاكتساب الحراري لكل 1 م^2 لكل واجهة من واجهات المبني محل الدراسة ومقارنتهم،

وبناء علية لابد من اختيار السمك والنوع المناسب من مواد البناء والتشطيب الخاصة بكل واجهة تبعاً للتوجيه والظروف المحيطة بالمبني محل الدراسة.

7- تعد مواد العزل الحراري ذات خواص بيئية هامة جداً، وهي حالياً أصبحت متطلب أساسي يجب على المصمم الاهتمام بدمجة في الأغلفة الخارجية للمباني تبعاً للمناخ السائد.

8- تمثل المباني القائمة النسبة الاكبر مقارنة مع المباني التي لم تبني بعد، ولذلك يجب الاهتمام بها ومحاولة تحسين كفاءتها لكي تواكب متطلبات المرحلة الحالية ومشكلاتها، والتي تتمثل في قلة موارد الطاقة غير المتجددة مع زيادة المؤثرات السلبية الناتجة عن المباني الغير مرشدة للطاقة وأثرها السلبي على البيئة المحيطة.

9- تم عمل الدراســـة على مبني تعليمي قائم في مدينة القاهرة، والتي تقع في نطاق المناخ الحار الجاف، وتختلف المعطيات البيئية ومتطلبات واشـــتراطات الكود لكل منطقة مناخية، وبالتالي طرق المعالجة بحسب الظروف المناخية المحيطة لمناطق مناخية مختلفة.

10-يؤثر توجيه المباني بشكل كبير على معدلات الانتقال الحراري الشمسي تبعاً لساعات النهار ولذلك يجب مراعاة ذلك منذ بداية مرحلة التصميم الاولية.

11-من خلال نتائج الدراسة ظهر الدور الايجابي لبرامج محاكاه الطاقة واهميتها الفعلية في ترشيد الطاقة وتحسين اداء المبني بيئياً.

ثانياً: التوصيات

- **توصيات على مستوى الدولة**

1- تفعيل اشتراطات حديثة لاستخراج رخص البناء للمباني الجديدة، والتي تتمثل في ضرورة الالتزام بتحقيق مواصفات الكود المصري لترشيد الطاقة في المباني وكود العزل الحراري في الغلاف الخارجي للمبني بما يناسب كل منطقة مناخية في مصر، وذلك بهدف ترشيد الطاقة والحماية من الاثار السلبية على البيئة ومواكبة اهداف استراتيجية مصر 2030 بشأن البيئة والطاقة.

2- عمل خطة لحصر المباني القائمة غير المستوفية لاشتراطات كود ترشيد الطاقة وكود العزل الحراري في المباني من حيث عدم تناسب المقاومة الحرارية للغلاف الخارجي لتلك المباني مع الظروف المناخية المحيطة، والعمل على رفع كفاءتهم، مع تحفيز الملاك من خلال اعطائهم ميزات تشجعهم على تحسين كفاءة مبانيهم مثل الاعفاء أو التخفيض الضريبي على سبيل المثال.

3- التوعية المجتمعية بأهمية التعديل التحديثي للمباني القائمة على مستوى الدولة والتي تتمثل في تحقيق كلا من:-

- خفض معدلات الاحتباس الحراري وانبعاثات الكربون وحماية البيئة.
- انخفاض تكاليف الطاقة بشكل عام، وبالتالي زيادة العائد الاقتصادي للدولة.
- تحسين جودة البيئة الداخلية والتي بدورها لها فوائد على صحة شاغلي المباني ومعدل انتاجيتهم
- الحفاظ على التراث من خلال تطبيق التعديل التحديثي على المباني التاريخية بما يناسبها لحمايتها والحفاظ عليها.
- زيادة عائد الاستثمار: حيث ان المستأجرين غالبا ما يكونوا على استعداد لدفع مبالغ إيجاريه أعلى في المباني ذات الأداء البيئي الجيد والكفاءة في استخدام الطاقة.

- **توصيات على مستوى المعماريين**

1- ضرورة التوعية بأهمية تحديث المباني القائمة من وجهة النظر البيئية نظرا لاستهلاكها ما يزيد عن 60% من اجمالي حجم استهلاك الطاقة، وذلك في المباني السكنية والتجارية والمباني العامة ، طبقاً للتقري السنوي للشركة القابضة للكهرباء في مصر، مما يؤثر سلباً على أسعار وحدات الطاقة، حيث ارتفعت قيمة التعريفة الكهربائية منذ عام 2014 وملحقاته حتى عام 2025 ، وبالتالي أصبح أهمية تحديث المباني القائمة أمر ضروري لتحويلها الى مباني مرشدة للطاقة.

2- ضرورة دمج برامج محاكاه الطاقة ضمن البرامج الدراسية للمرحلة الجامعية بجميع كليات الهندسة نظراً لدورها الايجابي واهميتها الفعلية في ترشيد الطاقة وتحسين اداء المباني بيئياً.

3- عقد دورات تدريبية للطلاب والمهندسين بالتعاون مع المراكز البحثية مثل المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء، وذلك لدراسة الخواص الفنية للمواد المستخدمة في الغلاف الخارجي للمباني، وعلاقتها باستهلاك الطاقة، وتأثير العوامل المناخية على أداء المباني، للاستفادة من ذلك في تحسين كفاءة المباني.
4- ضرورة الاهتمام بالجوانب البيئية في مراحل التصميم الأولية بداية من اختيار الموقع وتوجيه المبني واختيار المواد المناسبة لكل واجهة، بهدف مواكبة المتغيرات الحالية في قطاع الطاقة، مع خلق بيئة مريحة للمستعملين وزيادة انتاجيتهم وتحسين جودة الحياة بشكل عام.
5- يجب عمل دراسة حرارية للمواد المستخدمة في الغلاف الخارجي للمبنى واختيار انسب المواد التي تتوافق مع المناخ العام بالمنطقة وذلك بهدف توفير بيئة مريحة حرارياً وترشيد استهلاك الطاقة المستهلكة في تبريد المبني الجامعي وحماية البيئة من اثار الاحتباس الحراري.

قائمة المراجع

اولاً: المراجع العربية

4. اللجنة الدائمة لإعداد المواصفات المصرية العامة لبنود الاعمال. مواصفات بنود اعمال العزل الحراري. القاهرة : المركز القومي لبحوث الاسكان والبناء، 2007.
5. منهجية جديدة لتصميم الغلاف الخارجي للمباني واستثمار الامكانات التكنولوجية لتحقيق الاهداف البيئية. أحمد حليم. القاهرة : مؤتمر الازهر الهندسي الدولي الثالث عشر ، 2014.
10. اللجنة الدائمة لإعداد الكود المصري في المباني. الكود المصري لتحسين كفاءة الطاقة في المباني- المباني التجارية. القاهرة : المركز القومي لبحوث الاسكان والبناء، 2005.

ثانياً : المراجع الإنجليزية

1. economic evaluation of building envelope solutions in hot arid climate: A case study of educational building. Micheal A. William, María José Suárez-López, Silvia Soutullo, Ahmed A. Hanafy. s.l. : Energy Reports, 2021, Vols. Volume 7, Supplement 5.
2. Retrofit as a Means for Reaching Net-Zero Energy Residential Housing in Greater Cairo. Bassent Adly, Hanan Sabry, Ahmed Faggal, and Mahmoud Abd Elrazik. cairo : Proceedings of the 3rd International Conference on Architecture and Urban Planning, 2020.
3. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE handbook - fundamentals (SI). ATLANTA : ASHRAE , 2017.
6. ASHRAE. . Achieving zero energy: Advanced energy design guide for K-12 school buildings. ATLANTA : ASHRAE, 2018.
7. Towards Passive Design Strategies for Improving Thermal Comfort Performance in a Naturally Ventilated Residence. Rana, Kritika. Sydney : Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering, 2021, Vol. Vol. 29 No. 2.
8. TOOLS, ENERGY DESIGN. CLIMATE CONSULTANT. [Online] 2017. [Cited: 12 12, 2022.] https://energy-design-tools.sbse.org/.
9. Calibration of Design Builder program. Ismail, A. M., Abo Elela, M. M., & Ahmed, E. B. Fayoum : Journal of American Science, 2015, Vols. 11(11):96-102.
11. ASHRAE. energy saving in commercial buildings. Colorado : national renewable energy laboratory, 2011.

12. Agency, U.S. Environmental Protection. Greenhouse Gas Equivalencies Calculator. United States : s.n., 2023.
13. Assessing the Energy Efficiency and Environmental impact of an Egyptian Hospital Building. William, M., El-Haridi, A.M., Hanafy, A.E., & El-Sayed, A.E. Cairo : IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019.
14. EFFECT OF DIFFERENT WINDOWS' GLAZING TYPES ON ENERGY CONSUMPTION OF A RESIDENTIAL BUILDING IN A HOT-ARID CLIMATE "Case Study: Residential Building in New Cairo City. Ahmed Atef Faggal, Abeer Mohamed Moustafa, Mohamed Yasser Arafat. Assiut : Journal of Engineering Sciences, 2019, Vols. Volume 47, No 5.