مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (6) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (6) 2018

تقييم أداء زجاج النوافذ من منظور استهلاك الطاقة الكهربائية

الدكتور فـــؤاد خضـرة *
غـيث حمود **

(تاريخ الإيداع 14 / 1 / 2018. قُبِل للنشر في 29/ 11 / 2018)

□ ملخّص □

إن تنامي الطلب على الطاقة قابله ضعف القدرة التوليدية للطاقة الكهربائية بسب ظروف الحرب في سوريا، وبما أن النوافذ تعتبر وسيلة الاتصال البصري بين داخل المبنى وخارجه ومصدر التهوية والإنارة الطبيعية، وبالتالي ذات تأثير مهم على الأداء الحراري للمبنى مما يؤثر على استهلاك الطاقة.

من هنا اعتمد البحث على اقتراح بدائل لأنواع زجاج مختلفة وذلك لاختبار الأداء الحراري لها، وقد اعتمد في اختيار البدائل على التنوع بين قيم نفاذيته للإشعاع الشمسي ونفاذيته للضوء المرئي إضافة لتعداد الطبقات، وقد اعتمد لهذه الغاية أسلوب المحاكاة الحاسوبي وتمت مقارنة النتائج بنموذج قياسي (المفرد الشفاف).

لقد أظهرت نتائج المقارنة إن مقدار الوفر في استهلاك الطاقة قد يصل إلى 35% لنسب تزجيج عالية بالنسبة للواجهات المعرضة للشمس مباشرة، وذلك بتقليل نفاذية الزجاج الإجمالية للإشعاع الشمسي وزيادة نفاذيته للضوء المرئي لزيادة كمية الإضاءة الطبيعية، مضافاً إليه اعتماد نظام التزجيج متعدد الطبقات، وقد أوصت الدراسة بمراعاة اختيار الزجاج المناسب في مرحلة التصميم المبكرة.

الكلمات المفتاحية: زجاج– الطاقة المستهلكة– برنامج المحاكاة DesignBuilder.

* أستاذ – قسم التصميم المعماري– كلية الهندسة المعمارية– جامعة تشرين– سورية.
الإيميل: fouad_TKH@hotmail.com
** طالب دراسات عليا(دكتوراه) قسم التصميم المعماري– كلية الهندسة المعمارية– جامعة تشرين– سورية.
الإيميل: ghayth79@hotmail.com

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (6) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (6) 2018

Evaluating the performance of windows glass from the electric power consumption

Dr .Fouad Khadra [*]
Ghayth Hammoud [**]

(Received 14 / 1 / 2018. Accepted 29 / 11 / 2018)

□ ABSTRACT □

The demand growing of energy is offset by the weakening of the generating capacity of power due to the war conditions in Syria. As the windows are the means of optical communication between inside and outside of the building, the source of the ventilation and the natural lighting, thus having an important effect on the thermal performance of the building, which affects the consumption of energy.

so the search relied on proposing alternatives for glass to test its thermal performance, the choice of alternatives was based on the diversity between the values of solar radiation permeability and the visual light in addition to enumeration of the layers, to which end the computer simulation method was adopted and the results were compared to a model Standard (single-transparent).

The results of the comparison showed that the amount of energy saving could be as high as 35% for the face of the sun-exposed facades directly. By reducing the permeability of the total glass of solar radiation and increasing the permeability of the visible light to increase the amount of natural illumination, plus the adoption of a Multi-layered glazing system , the study recommended that appropriate glass selection must be taken into account in the early design phase

Keywords: Glass- Energy Consumed- Simulation Software: DesignBuilder.

[*]**Professor- Department of Architectural Design, Faculty of Architectural, Tishreen University- Syria. fouad_TKH@hotmail.com .: Email**
[**]**Postgraduate Student, Department of Architectural Design, Faculty of Architectural, Tishreen University- Syria Email: ghayth79@hotmail.com**

مقدمة:

يشهد العالم طلباً متزايداً على الطاقة في الوقت الذي بدأت مصادر الطاقة بالنفاذ، وقد أصبحت مسألة استهلاك الطاقة في مختلف قطاعات الحياة من ضرورات العصر، وهي مسألة تشغل دول العالم كافة خاصة في سوريا التي تشهد انخفاضاً في القدرة التوليدية للطاقة الكهربائية بسب ظروف الحرب، يقابلها عدم القدرة لتلبية الاحتياجات السكانية لتلك الطاقة.

ولأن غلاف المبنى يمثل المحور الرئيسي لجميع عمليات السيطرة الحرارية باتجاه كونه يعزل البيئة الداخلية للمبنى عن الوسط المحيط وبالتالي فإن المعالجات الخارجية وإيجاد بدائل لها تلعب دوراً كبيراً في تحسين الأداء الحراري للفراغ الداخلي ومنه تحسين استهلاك الطاقة لذلك الفراغ[1] [6].

أهمية البحث وأهدافه

تعتبر النافذة الزجاجية من المتطلبات الأساسية في تصميم المباني حيث تعد وسيلة للاتصال البصري بين الداخل والخارج ومصدر التهوية الطبيعية القادرة على تحسين نوعية الهواء الداخلي للفراغ وتسمح أيضاً بدخول ضوء النهار إلى الفراغات الداخلية مما يجعلها تبدو أكثر اتساعاً وراحة للمستخدمين، ورغم هذا فإن للنافذة تأثير مهم على الأداء الحراري للمبنى، حيث أن استهلاك الطاقة في المباني على صلة بالأداء الحراري للنافذة لذلك فإن توجيه ومساحة ونوع الزجاج المستخدم تعتبر عوامل مهمة في التبادل الحراري، وبالتالي فإن هناك حاجة ماسة لدراسة الأداء الحراري للنافذة وصولاً إلى نتائج يمكن من خلالها ترشيد استهلاك الطاقة.

يهدف البحث إلى معرفة تأثير الزجاج على الأداء الحراري ضمن الفراغ الداخلي وبالتالي أثره على استهلاك الطاقة وذلك من خلال:

1- اقتراح تسعة بدائل من الزجاج متوفرة تجارياً ومختلفة الخصائص بين شفاف ومعتم وكذلك بين ماص للحرارة وناشر لها.

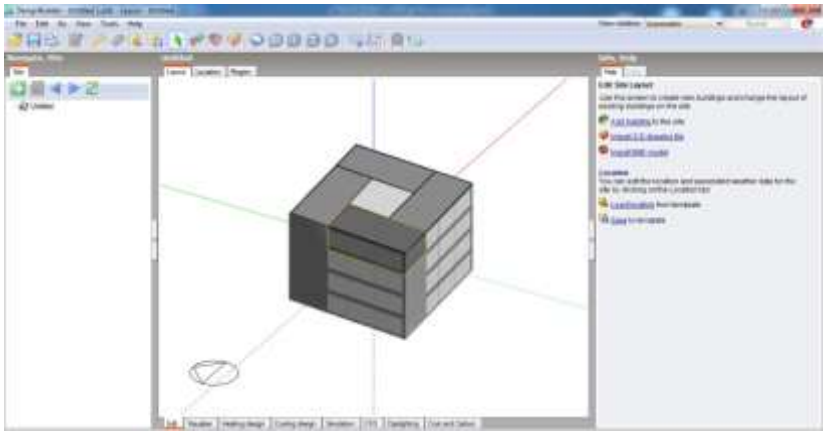
2- اقتراح نسب تزجيج مختلفة بالنسبة لمساحة الواجهة (20%-40%-60%-80%).

3- أن تشمل الدراسة التحليلية التوجيهات الأربعة للنوافذ كل على حدا.

طرائق البحث ومواده:

سيتم التركيز على الزجاج المستخدم في الأغلفة الخارجية بخصائصها وأنواعها الشائعة تجارياً بسبب أهميتها في موضوعي كفاءة الطاقة وتحقيق الراحة للشاغلين لذلك تقرر طرح بدائل مختلفة للزجاج على نفس نموذج البناء في الدراسة التحليلية ودراسة أي البدائل المطروحة الأكثر كفاءة من حيث استهلاك الطاقة

لتحقيق الهدف من البحث تم اعتماد أسلوب المحاكاة الحاسوبية باختيار *برنامج (Design Builder) شكل(1)، الذي يعتبر واجهة لبرنامج (Energy plus) الذي يعمل كمحرك للمحاكاة له ويعتمد عليه في كل حساباته المنطقية* [3] ، ويعتبر برنامج (Design Builder) هو أحد أهم برامج المحاكاة وأكثرها انتشاراً وكفاءة.



شكل(1): يوضح نافذة برنامج Design Builder، المصدر: من عمل الباحث

وقد اختير لهذا الغرض نموذج بناء إداري مكون من أربع طوابق أبعاده 24*24م مع اقتراح نظام الفراغ المفتوح، وقد اعتمد في الدراسة التحليلية إجراء تجارب على فراغات جزئية (16*8 م) كل اتجاه على حدا بهدف الوصول إلى نتائج أكثر منطقية، كما اعتمد لذلك مجموعة ثوابت ومتغيرات.

الثوابت: الموقع الجغرافي (بيئة حارة جافة – مدينة حلب)، تجهيزات ميكانيكية تقليدية في التدفئة والتكييف، وسائل التظليل عبارة عن ستائر أفقية داخلية، الإضاءة التقليدية علماً أنه لن يتم التطرق لاستهلاك الإنارة للطاقة الكهربائية وذلك لتحديد الدراسة.

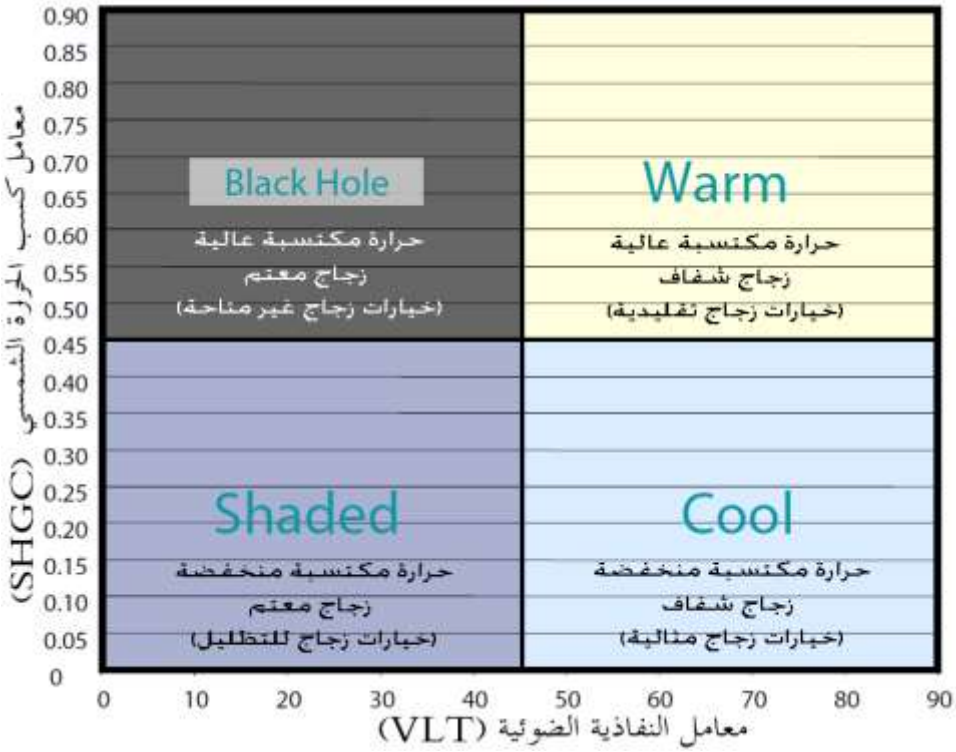
المتغيرات: اقتراح تسعة بدائل للزجاج ومقارنتها بالنموذج السائد وهو المفرد الشفاف بسماكة 6مم، اقتراح نسب التزجيج الأربعة 20%-40%-60%-80% ، اقتراح تحليل التوجيهات الأربعة للنوافذ.

1- **<u>خصائص الزجاج:</u>** هناك ثلاث عوامل تميز زجاج عن آخر وتحكم المصمم في التفضيل بين زجاج وآخر وهي:

- **الناقلية الحرارية Thermal Transmittance U-Value** : هي مقدار التيار الحراري بالواط المنتقل في متر مربع واحد من العنصر الإنشائي خلال طبقاته المختلفة بتأثير فرق في درجة الحرارة مقداره درجة مئوية واحدة للهواء داخل المبنى وخارجه أو بين حيزين مختلفين ضمن المبنى، وتعد معرفة قيمة الانتقالية الحرارية ضرورية للحكم على نوعية ومدى كفاءة العزل الحراري لعناصر المبنى (كالجدران والأسقف) ولحساب الطاقة الحرارية المفقودة من خلال العنصر الإنشائي من داخل المبنى إلى خارجه وكلما قلت قيمة الانتقالية الحرارية زادت قدرة العزل الحراري وارتفعت نسبة التوفير في الطاقة الحرارية المفقودة عبر أجزاء المبنى[1].
- **معامل كسب الحرارة الشمسي SHGC:** هي اختصار كلمة Solar Heat Gain Coefficient وتعني معامل كسب الحرارة الشمسي وهذا المعامل يقيس قدرة النظام (الزجاج والإطار) على خفض كسب الحرارة الشمسي واختيار قيمة أقل لهذا المعامل يقلل من طاقة التبريد في الصيف[1].
- **معامل النفاذية الضوئية Light Transmittance (VLT)** : النفاذية الضوئية هي معيار لنفاذية أشعة الشمس المرئية وهي تمثل الجزء المرئي من طيف الشمس الذي يمر عبر زجاج النوافذ، وقيم النفاذية الضوئية (VLT) العالية تعني مرور كمية أكبر من الإضاءة إلى داخل الفراغ وتتأثر نفاذية الضوء بنوع الزجاج وبعدد طبقاته وبأي طلاءات

عليه، وأي من تلك التطبيقات يتم استخدامها مع الزجاج يجعل قيمة النفاذية الضوئية (VLT) تتراجع وتقل من 90% إلى 10% من قيمتها الأساسية في حالة الزجاج المفرد الشفاف عالي النقاء وعالي النفاذية الضوئية (VLT) [1].

عادة يحاول مصممو الواجهات تحقيق التوازن في اختيار الزجاج بين تقليل نفاذية الزجاج الإجمالية للإشعاع الشمسي بتقليل (معامل كسب الحرارة الشمسي) (SHGC) وبالتالي تقليل أحمال التبريد وبين زيادة نفاذية الزجاج للضوء المرئي (VLT) لزيادة كمية الإضاءة الطبيعية وتقليل الإنارة الصناعية[4]، فسيعتمد التنوع في اختيار الزجاج على التباين في نفاذية الزجاج الإجمالية للإشعاع الشمسي (SHGC) وعلى نفاذية الزجاج للضوء المرئي (VLT).



شكل(2): تقسيم أنواع الزجاج المفرد والمزدوج المستخدمة وفق العلاقة

بين معامل كسب الحرارة الشمسي (SHGC) ونفاذية الزجاج للضوء المرئي (VLT)، المصدر: من عمل الباحث.

لم يلجأ مصنعو الزجاج إلى تصنيع أي نوع من أنواع الزجاج ذا حرارة مكتسبة عالية و نفاذية للضوء قليلة (زجاج معتم) لأنه توجد خيارات زجاج أكثر منها كفاءة متاحة تجارياً في نفاذية الضوء ولها نفس المواصفات الحرارية ونتيجة لذلك وجدت منطقة بالشكل (2) يطلق عليها الفجوة السوداء ليس بها أي من الخيارات المتاحة صناعياً ولا تجارياً[5]، ويلجأ المعماري إلى التغلب على الحرارة المكتسبة العالية نتيجة مسطحات الفتحات الكبيرة أو التوجيهات ذات الأحمال الحرارية العالية باستخدام الزجاج المناسب الذي عادة ما يكون ذا مواصفات حرارية كفوءة، فاختيار الزجاج المعتم يحقق التحكم الحراري المطلوب صيفاً ولكنه قد يكون غير مناسب مطلقاً في بعض التوجيهات التي تحتاج للتدفئة أكثر من التبريد على مدار العام وفي بعض المناطق المناخية الأخرى[4].

2- **<u>بعض النماذج الشائعة</u>:** سيتم استعراض بعض أنواع الزجاج وخصائصه الفيزيائية والضوئية وكذلك المعالجات المختلفة للزجاج لتحقيق كفاءة في استهلاك الطاقة كمايلي:

أ- **الزجاج الشفاف Clear Single Glass:** الزجاج الشفاف هو أكثر أنواع الزجاج الذي ينتقل خلاله الإشعاع الشمسي بجميع أطواله، وبالتالي تزيد كمية الإضاءة التي يمكن الحصول عليها وعلى الجانب الآخر يسهم في نقل أكبر

كمية من الحرارة إلى داخل المبنى في فصل الصيف ما يؤدي إلى زيادة كبيرة في أحمال التبريد للمبنى، بينما يساهم هذا النوع من الزجاج شتاءً في تحسين الأجواء الداخلية للفراغات المعمارية[4].

ب- **الزجاج الماص للحرارة Heat Absorbent Glass:** هو نوع جديد من الزجاج له معامل امتصاص عالي بالنسبة للأشعة الشمسية ذات الطول الموجي القريب (الأشعة الحمراء) وبالمقارنة بامتصاصية هذا النوع للإشعاع المرئي وجد أن نتيجة امتصاص الزجاج للأشعة الحمراء فإن درجة حرارته ترتفع مما يتسبب في زيادة الإشعاع الحراري إلى داخل المباني (الإشعاع طويل الموجة)، فمن ناحية ترشيد الطاقة في المباني يوضع هذا النوع من الزجاج الماص للحرارة في الطبقة الخارجية للنوافذ مزدوجة الزجاج فيقوم بامتصاص أكبر كمية من الطاقة الشمسية، ويساعد الزجاج الثاني الداخلي على عدم فقد الأشعة من الداخل ومن ثم الاحتفاظ بالحرارة الناتجة عن النافذة[2].

ت- الزجاج العاكس للحرارة Heat Reflective Glass: نتيجة التقدم التكنولوجي الذي حدث في تكنولوجيا صناعة الأغشية الرقيقة فقد أمكن إنتاج أنواع من الأغشية الرقيقة المعدنية يمكن التحكم في خصائصها الضوئية بحيث يعتمد معامل نفاذيتها للضوء على الطول الموجي للضوء، وعادة ما تصنع هذه الأغشية المعدنية من أنواع لها معامل نفاذية عالي للضوء المرئي ومعامل انعكاس كبير بالنسبة للأشعة فوق الحمراء، كما أن لها عدة ألوان مثل الذهبي والبرونزي والفضي[2].

ث- **الزجاج الملون Tinted Glass:** تتميز هذه الأنواع من الزجاج بقدرتها العالية على امتصاص الضوء المرئي أكثر من امتصاصها للأشعة فوق الحمراء Infrared Radiation وتستخدم هذه الأنواع من الزجاج لتقليل الإبهار الناتج وخفض كمية الأشعة الشمسية من النوافذ الكبيرة والجدران الزجاجية[2].

شكل(3): يوضح بعض نماذج الزجاج الشائعة:

نموذج الزجاج الشفاف نموذج الزجاج الماص للحرارة الزجاج العاكس للحرارة الزجاج الملون

المصدر: http://www.ics.ele.tue.nl.

تم وضع نتائج الدراسات التي أجريت على مختلف أنواع الزجاج في الجدول رقم(1) وفق المقاومة الحرارية (R)ومعامل الإظلال (Shading Coefficient SC) ونفاذية الضوء المرئي (VT) (Visible Transmittance)لبعض أنواع من الزجاج.

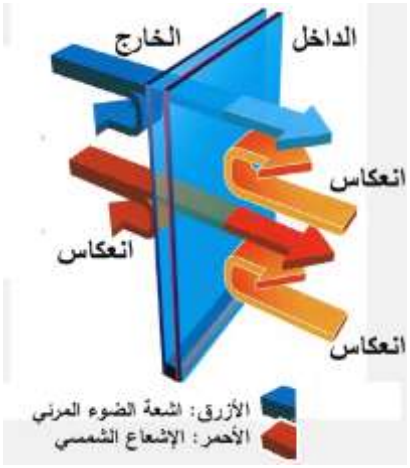
جدول رقم (1): نماذج من الزجاج ، المصدر: من عمل الباحث.

الزجاج	معامل كسب الحرارة الشمسي SHGC	معامل الناقلية الضوئية VLT	الناقلية الحرارية U-Value
عاكس – برونز	٠.٢٠	٠.١	٢,٢٧
ملون برونز	٠.٥٧	٠.٤٧	٢,٨٦
شفاف	٠.٨٢	٠.٨	٢,٨٦
منخفض الانبعاثية – برونز	٠.٤٢	٠.٤١	١,٨٩
منخفض الانبعاثية – شفاف	٠.٦٦	٠.٧٢	١,٩٢
ملون أخضر	٠.٥٦	٠.٦٧	٢,٨٦
منخفض الانبعاثية أخضر	٠.٤٦	٠.٦١	١,٨٩

3- **<u>أنواع أنظمة التزجيج الشائعة</u>:** تعتبر أنظمة التزجيج بتعدد الطبقات والتقنيات المستخدمة هي أمور مكملة لأنظمة الغلاف الخارجي[7]، وسيطرح في الشق التحليلي بدائل مختلفة لأنواع التزجيج لبيان إمكانية الوفر في استهلاك الطاقة وتأمين الراحة للشاغلين، لذلك وجب التفصيل في هذا الجانب، وحيث أن نوع نظام تزجيج النوافذ يؤثر تأثيراً مباشراً على معامل مقاومتها الحرارية ومن هذه الأنظمة:

- **<u>نظام التزجيج المتعدد:Multiple Glazing</u>** : انتشر نظام الزجاج العازل المزدوج تجارياً بقوة وبدأ ظهور النوافذ ذات التزجيج الثلاثي ثم تلتها النوافذ رباعية التزجيج وتزيد طبقات الزجاج من المقاومة الحرارية عن طريق الهواء المحصور في الفراغات البينية بين طبقات الزجاج والتي تعمل كعازل حراري [6].
- **<u>نظام التزجيج ذي وحدات البلاستيك البينية:</u>** تسبب زيادة عدد طبقات تزجيج النافذة في زيادة وزنها ومن ثم فإن ثقل وزن وحدات الزجاج في النوافذ ذات نظم التزجيج المتعدد يعد مشكلة يمكن حلها عن طريق استبدال ألواح الزجاج البينية بأخرى أخف وزناً، وتحقق نفس الكفاءة الحرارية للطبقات المتعددة من الزجاج في النافذة تعتمد على الهواء البيني كمادة عازلة أكثر من اعتمادها على مادة الزجاج نفسها، وهكذا فإن العديد من النوافذ ذات نظم التزجيج الثلاثي أو الرباعي التي ظهرت في الأسواق تعتمد على طبقات بلاستيكية بينية بدلاً من ألواح الزجاج مما يخفف من وزن النافذة بشكل كبير[2].
- **<u>نظم التزجيج ذات الفراغات البينية الغازية: (Gas-Filled Window)</u>:** يتم زيادة المقاومة الحرارية للنافذة في هذه النظم عن طريق إيقاف تيارات الحمل الناقلة للحرارة بين طبقات الزجاج بواسطة إحلال غاز أثقل من الهواء بين ألواح الزجاج، وتستخدم ثلاثة أنواع من الغازات لتحقيق ذلك الغرض هي الأرغون وسداسي فلوريد الكبريت وثاني أكسيد الكربون، كما يستخدم هذا النظام كعازل صوتي حيث تعمل على إضعاف الصوت المنتقل إلى داخل المبنى عبر النافذة[2].
- **<u>نظم التزجيج ذات الانبعاثية القليلة: (Low-Emissivity Glass)</u>:** الانبعاثية Emissivity هي قياس امتصاص سطح ما للإشعاع الكهرومغناطيسي، أي قيمة ما يمر عبر الزجاج من الإشعاع الشمسي ذو الموجات الطويلة[7]، وتتميز التغطيات منخفضة الانبعاثية التي تغطي سطح زجاج النافذة بأنها ذات صفة اختيارية للطول الموجي حيث تعكس الإشعاع ذو الطول الموجي الكبير والإشعاع الحراري، وتمرر الأطوال الموجية الأقصر الخاصة

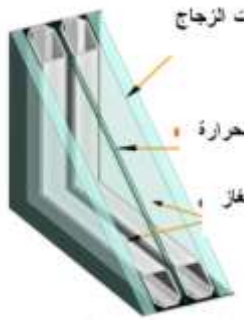
بالضوء المرئي، وعلى ذلك يقوم الزجاج ذو التغطيات قليلة الانبعاثية والذي يمثل الطبقة الداخلية من طبقة التزجيج في النافذة بعكس الأشعة تحت الحمراء الطويلة الموجة القادمة من الطبقة الخارجية الدافئة بينما يسمح بمرور أشعة الضوء المرئي[9]. شكل (4)



شكل(4): يوضح نظام التزجيج ذو الانبعاثية القليلة، المصدر: micro.magnet.fsu.edu

- **<u>نظام التزجيج ذات مرآة الحرارة: (Heat Mirror):</u>**

يعتمد هذا النظام على وجود غشاء من مادة البوليستر (Polyester) بسمك 2سم، مغطى بطبقة منخفضة الانبعاثية، وموضوع بين طبقتين من الزجاج، ويعمل هذا الغشاء المسمى بمرآة الحرارة على عكس الأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة المنبعثة من لوح زجاج النافذة الخارجي مما يؤدي لتقليل الاكتساب الحراري داخل المبنى، ويزيد من معامل المقاومة الحرارية الفعال للنافذة كما في الشكل (5) ويعمل هذا الغشاء بالإضافة لكونه حاجز إشعاعي كما لو أنه لوح زجاج ثالث مما يقلل من الاكتساب الحراري بشكل أكبر[2].



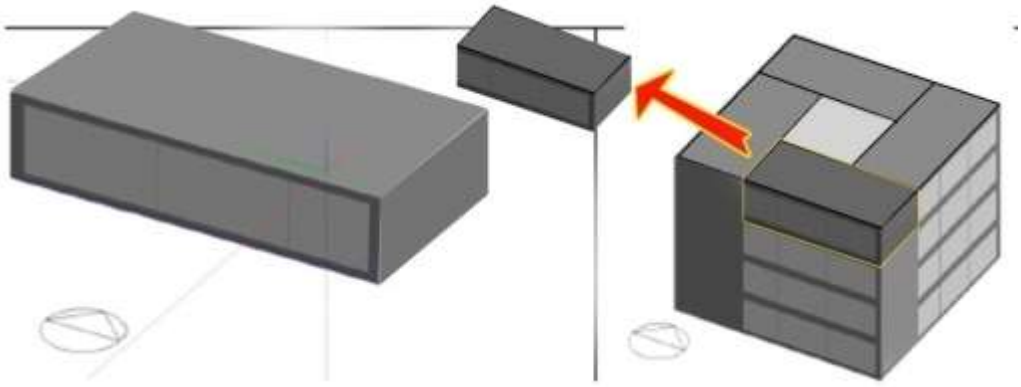
شكل (5): نظم التزجيج ذات مرآة الحرارة، المصدر: المصدر: micro.magnet.fsu.edu

4- **<u>بناء نموذج المحاكاة</u>**: وسيحدد في هذا الجزء المواضيع التالية:

-**الموقع والمناخ:** سيتم اختيار البيئة الحارة الجافة (حلب مثالاً) كأحد البيئات في سوريا ، وسيقوم برنامج المحاكاة المعتمد بتوفير جميع البيانات المناخية البيئية المطلوبة عن سوريا بما يضمن مصداقية وواقعية للتطبيق في هذا البحث. وستكون مدخلات المناخ الخاصة بموضوعات الحرارة والرطوبة والإشعاع الشمسي وحركة الشمس والرياح ثابتة لكل حالات المحاكاة أثناء التحليل، أما الموقع فيقصد به محيط المشروع (داخل المدينة أو خارجها) وبالتالي مستوى الضوضاء والتلوث بأشكاله، وسيفترض البحث وقوع المبنى وسط مدينة لكي يحاكي حالة الوقوع في وسط مزدحم لبيان أهمية تحسين خصائص الزجاج الصوتية إضافة للحرارية ومالها من أثر في تحسين استهلاك الطاقة.

- **نوع الفراغ:** سيتم اعتماد نموذج الفراغ المفتوح عند بناء نموذج المحاكاة حيث يعطي مرونة في الفرش الداخلي ولا يتم فرض أي نظام لتقسيمها داخلياً بالقواطع وتحتمل تنوعاً كبيراً.

- **شكل الفراغ ومواصفاته المعمارية:** سيفترض البحث المسقط الأفقي مربع الشكل طول ضلعه 24م وعمقه خلف الواجهة 8م، بحيث تكون المساحة المتبقية في المركز هي نواة المسقط الخدمية، وسيتم تقسيم الفراغ لأربع فراغات متساوية الشكل والمساحة بحيث تأخذ الشكل المبين بالصورة التالية، الشكل(6) لكي تعطي نتائج أدق بالنسبة للتوجيه كالمواصفات الحرارية والضوئية للفراغات.



شكل(6): نموذج المبنى الذي سيعتمد للدراسة وشكل وحدة نموذج المحاكاة المعتمدة للدراسة، المصدر: من عمل الباحث.

لقد تم تحديد مواصفات الجدران الداخلية والخارجية وشكل الفراغ ونسبته وخواص الفراغ الشكلية كقيم افتراضية ثابتة لكل الخيارات.

– **التشطيبات الداخلية:** عامل هام لوصف البيئة الداخلية لنماذج المحاكاة، واختيار مواصفاتها وتحديد خواصها الفيزيائية والحرارية وخواص السطح لها كالملمس واللون لما له من تأثير على سلوك الفراغات في استهلاك الطاقة. وسيتم اعتبار أن الكتلة الحرارية لمعظم التشطيبات الداخلية ستكون خفيفة. فالجدران والأسقف ستكون ذات لون أبيض فاتح والملمس سيكون لهما (شبه ناعم)، وبالنسبة للأرضيات ستكون ذات ألوان متوسطة داكنة والملمس سيكون خشن.

– **وظيفة المبنى:** اعتمد في البحث الوظيفة الإدارية للمبنى حيث نسبة الإشغال العالية من المستخدمين (موظفين ومراجعين). كما يميزها أنها تعمل في معظم فترات النهار ولا يشغلها أحد معظم فترات الليل عكس المباني السكنية.

وسيتم اعتبار أن الأنظمة الخدمية بالمبنى تعمل طوال ساعات العمل الرسمية وسيغض الطرف عن التدرج في عمل الأنظمة الخدمية الذي يسبق ساعات العمل الرسمية، وسيعتبر البحث أن ساعات العمل الرسمية من 7 صباحاً وحتى 4عصراً.

–**نسبة مسطح النوافذ لمسطح الغلاف الخارجي (WWR):** نظراً لما للتغيير في نسب مسطحات النوافذ من تأثير مباشر على إمكانية الاستفادة من الإضاءة الطبيعية إضافة لتوفير ظروف عزل حراري غير كفوءة، عدا عن التوجه في معظم الأبنية الحديثة إلى القيم الكبيرة في مساحة المسطحات الزجاجية نتيجة رصد الواقع، وذلك دون تمييز لتوجيه عن آخر. لذلك كان أحد القرارات التصميمية في توليف البدائل دراسة هذا البند كمتغير حيث من المفترض أن يكون هذا التوجه المعماري له تأثير على المستوى البيئي مرتبط بالخواص الحرارية للزجاج وكذلك العزل خاصة في بيئات مناخية حارة كبعض المدن السورية، لذلك سيقترح البحث أن تكون النسب بين 20% و80% لكل توجه من التوجهات الأربع وبالتالي سيعبر عن كل نموذج قياسي بأربع نسب (20%– 40%– 60%– 80%) وبالتالي ستجري التحليلات بأربع نسب لكل توجه

5– **<u>أنواع الزجاج المقترحة في الدراسة</u>:** لقد تم اختيار تسعة أنظمة للزجاج من بين العديد من الأنظمة التي يمكن أن تكون لانهائية عند الدمج بين العشرات من الاحتمالات بين نوع الزجاج وسمكه وعدد طبقاته ونوع الفراغ بين طبقاته، عرضها ونوع الغاز بين طبقاته وأي طلاءات عليه، وقد تم اختيارها في ظل المتغيرات الثلاثة الأهم للزجاج وهي معامل النفاذية الضوئية (VLT) ومعامل كسب الحرارة الشمسي (SHGC) والانتقالية الحرارية (U–Value). وستكون بالتالي خيارات الزجاج التي تدخل ضمن نطاق عمليات المحاكاة تغطي احتمالات التزجيج المختلفة الموضحة بالشكل (7) باستثناء المنطقة التي ليس لها تطبيقات على المستوى التجاري، وهذه الأنواع كالتالي[2] [1]:

1-زجاج مفرد شفاف (glass1) متوفر بسماكة 6مم (sgl clr 6mm).

2-زجاج مفرد معتم عاكس ملون (glass2) متوفر بسماكة 6مم (sgl elec ref colored 6mm).

3-زجاج مفرد شفاف (glass3) متوفر بسماكة 3مم (sgl clr low iron 3mm).

4-زجاج مفرد شفاف لون برونزي (glass4) متوفر بسماكة 6مم (sgl Bronze 6mm).

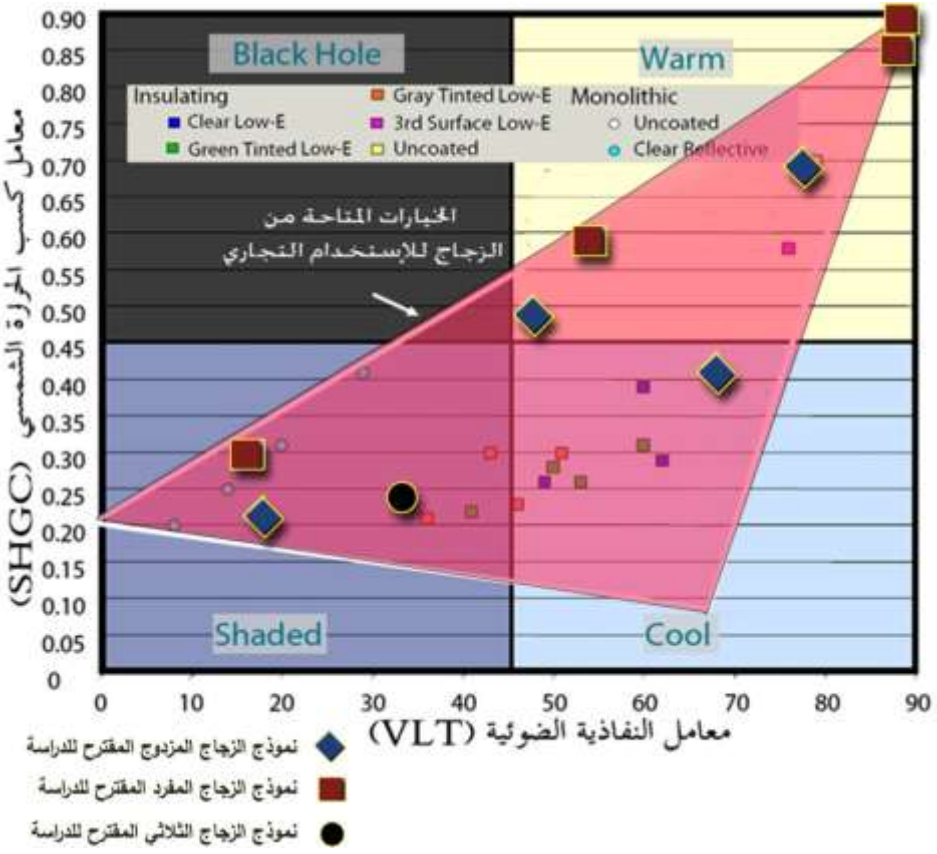
5-زجاج مزدوج شفاف بسماكة 6مم للزجاج و13مم للفراغ الهوائي بين الطبقتين (glass5) (dbl clr 6mm/13mm Air).

6-زجاج مزدوج شفاف بسماكة 6مم للزجاج و13مم للفراغ الهوائي بين الطبقتين (glass6) (dbl loe spec sel clr 6mm/13mm Air).

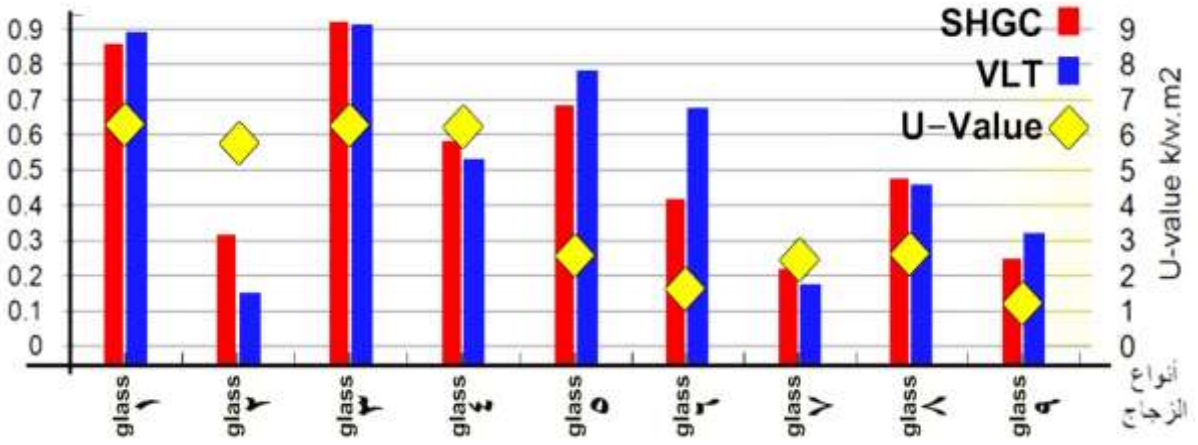
7-زجاج مزدوج معتم ملون عاكس بسماكة 6مم للزجاج و13مم للفراغ الهوائي بين الطبقتين (glass7) (dbl ref-B-L- clr 6mm/13mm Air).

8-زجاج مزدوج معتم برونزي عاكس بسماكة 6مم للزجاج و13مم للفراغ الهوائي بين الطبقتين (glass8) (dbl Bronze 6mm/13mm Air).

9-زجاج ثلاثي برونزي بسماكة 6مم للزجاج و13مم للفراغ الهوائي بين الطبقات (glass9) (Trp loe film 66 Bronze 6mm/13mm Air).



شكل(7): يوضح تقسيم أنواع الزجاج المفرد والمزدوج والثلاثي المستخدم ضمن نطاق المحاكاة وفق العلاقة بين معامل كسب الحرارة الشمسي (SHGC) ونفاذية الزجاج للضوء المرئي (VLT)، المصدر: من عمل الباحث.



شكل(8) يوضح خيارات الزجاج المعتمدة في الدراسة وفق المتغيرات الثلاث، المصدر: من عمل الباحث.

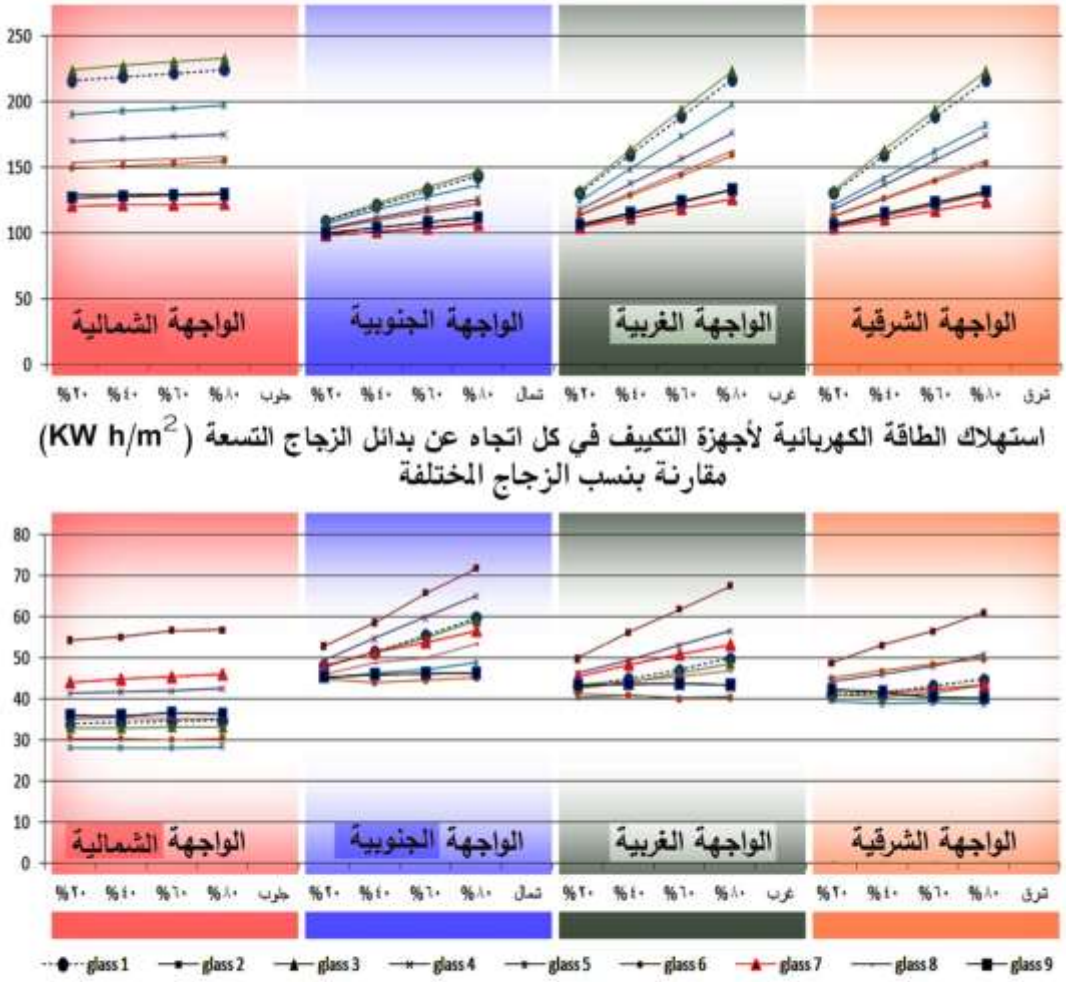
جدول (2) يوضح أنواع الزجاج المفرد والمزدوج والثلاثي المستخدمة ضمن نطاق المحاكاة، المصدر: من عمل الباحث.

U-Value	VLT	SHGC	نوع الزجاج	
6,257	0,898	0,858	مفرد	Glass 1
5,778	0,155	0,306	مفرد	Glass 2
6,201	0,913	0,904	مفرد	Glass 3
6,121	0,534	0,588	مفرد	Glass 4
2,708	0,781	0,697	مزدوج	Glass 5
1,685	0,681	0,417	مزدوج	Glass 6
2,460	0,180	0,210	مزدوج	Glass 7
2,708	0,473	0,482	مزدوج	Glass 8
1,200	0,322	0,240	ثلاثي	Glass 9

النتائج والمناقشة :

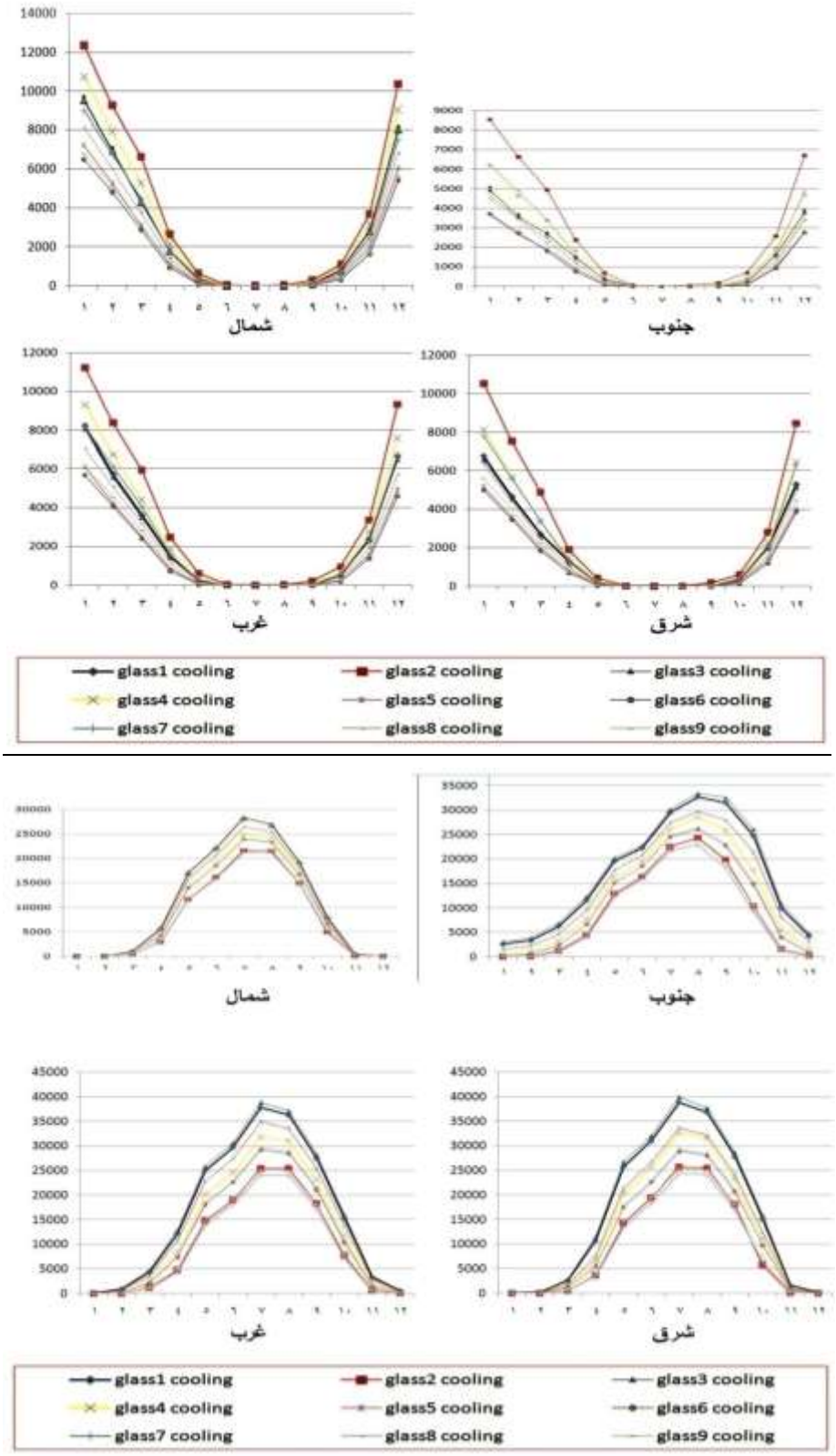
سيتم التحليل في اتجاهين

- **<u>قراءة الاستهلاك السنوي لنسب التزجيج 20%-40%-60%-80% لكل اتجاه على حدا، شكل(9).</u>**
- تظهر النتائج إن معدلات استهلاك الطاقة السنوية لاتظهر فروقات كبيرة مع اختلاف نسب التزجيج بالنسبة للواجهة الشمالية (حوالي 30 ك واط سا/م2).
- تظهر النتائج أن معدلات استهلاك الطاقة السنوية ثابتة مع اختلاف نسب التزجيج بالنسبة للواجهة الجنوبية.
- إن أنواع الزجاج ذات القيم المنخفضة (U-Value, VLT , SHGC) تظهر فروقات ضئيلة مع تغير نسب التزجيج وذلك لأنها تتمتع بعزل حراري مميز، بينما تعطي الأنواع ذات القيم المرتفعة فروقات كبيرة مع ارتفاع نسب التزجيج (مثال: الزجاج المفرد الشفاف يعطي تباين كبير في استهلاك الطاقة الكهربائية عند زيادة نسبة التزجيج وذلك مقارنة بالزجاج المزدوج العاكس للضوء والحرارة).



شكل(9): قراءة نتائج التحليل، المصدر: من عمل الباحث.

- **قراءة الاستهلاك الشهري للطاقة الكهربائية لكل من التدفئة والتكييف، شكل(10).**



شكل(10): قراءة نتائج التحليل، المصدر: من عمل الباحث.

أ- عند اعتبار النموذج glass1 هو نموذج المقارنة كونه السائد تجارياً أظهرت النتائج تناقص كمية استهلاك الطاقة الكهربائية مع تناقص القيم (SHGC, VLT , U-Value) بالنسبة لأعمال التكييف.

ب- أما بالنسبة للتدفئة فقد أظهرت النتائج أن نموذج المقارنة يعطي كفاءة في استهلاك الطاقة مقارنة بالنماذج الأخرى المقترحة.

ت- تزداد الفوارق في استهلاك الطاقة بالنسبة للتكييف بين أنواع الزجاج المقترح بشكل أكبر مع اشتداد الحر (تموز- آب)، وكذلك تصبح الفوارق أكبر بالنسبة للتدفئة مع اشتداد البرد.

تحليل النتائج: عند مقارنة الاستهلاك الكلي للنماذج المقترحة مع النموذج القياسي أظهرت النتائج جدول(3):

جدول(3): نتائج التحليل ، المصدر: من عمل الباحث.

جنوب	GLASS 1	GLASS 2		GLASS 3		GLASS 4		GLASS 5		GLASS 6		GLASS 7		GLASS 8		GLASS 9	
نسبة التزجيج	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2
%٢٠	٢٤٩	%٢٧	١٨٣	%٣-	٢٥٧	%١٦	٢١١	%١٣	٢١٨	%٢٨	١٨٠	%٣٥	١٦٤	%٢٥	١٨٨	%٣٥	١٦٢
%٤٠	٢٥٢	%٢٧	١٨٤	%٣-	٢٦٠	%١٦	٢١٣	%١٣	٢٢٠	%٢٩	١٨١	%٣٥	١٦٦	%٢٥	١٩٠	%٣٦	١٦٣
%٦٠	٢٥٦	%٢٨	١٨٦	%٣-	٢٦٣	%١٦	٢١٥	%١٣	٢٢٣	%٢٩	١٨٣	%٣٥	١٦٧	%٢٦	١٩١	%٣٦	١٦٥
%٨٠	٢٥٨	%٢٨	١٨٦	%٣-	٢٦٦	%١٦	٢١٧	%١٣	٢٢٥	%٢٩	١٨٥	%٣٥	١٦٨	%٢٦	١٩٢	%٣٦	١٦٥

شمال	GLASS 1	GLASS 2		GLASS 3		GLASS 4		GLASS 5		GLASS 6		GLASS 7		GLASS 8		GLASS 9	
نسبة التزجيج	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2
%٢٠	١٥٧	%٥	١٥٠	%٠	١٥٧	%٣	١٥٣	%٤	١٥١	%٧	١٤٧	%٧	١٤٦	%٦	١٤٨	%٨	١٤٥
%٤٠	١٧٢	%٨	١٥٩	%١-	١٧٤	%٤	١٦٦	%٥	١٦٣	%١١	١٥٣	%١٢	١٥٢	%٩	١٥٨	%١٤	١٤٩
%٦٠	١٨٧	%٩	١٧٠	%١-	١٨٩	%٥	١٧٨	%٧	١٧٤	%١٥	١٦٠	%١٦	١٥٧	%١٢	١٦٥	%١٨	١٥٤
%٨٠	٢٠٣	%١٢	١٧٩	%١-	٢٠٥	%٦	١٩١	%٩	١٨٥	%١٨	١٦٧	%٢٠	١٦٣	%١٤	١٧٥	%٢٣	١٥٨

غرب	GLASS 1	GLASS 2		GLASS 3		GLASS 4		GLASS 5		GLASS 6		GLASS 7		GLASS 8		GLASS 9	
نسبة التزجيج	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2
%٢٠	١٧٣	%١١	١٥٥	%١-	١٧٤	%٥	١٦٤	%٦	١٦٤	%١١	١٥٤	%١٤	١٤٩	%١٠	١٥٧	%١٤	١٤٩
%٤٠	٢٠٤	%١٧	١٧٠	%٢-	٢٠٧	%٩	١٨٦	%٨	١٨٩	%١٨	١٦٩	%٢٢	١٥٩	%١٥	١٧٤	%٢٣	١٥٨
%٦٠	٢٣٥	%٢٢	١٨٥	%٣-	٢٤٠	%١١	٢٠٩	%٩	٢١٤	%٢٢	١٨٤	%٢٨	١٦٩	%١٩	١٩٢	%٢٩	١٦٧
%٨٠	٢٦٦	%٢٥	٢٠٠	%٣-	٢٧٢	%١٣	٢٣٢	%١١	٢٣٨	%٢٦	١٩٩	%٣٣	١٧٩	%٢٢	٢٠٩	%٣٤	١٧٦

شرق	GLASS 1	GLASS 2		GLASS 3		GLASS 4		GLASS 5		GLASS 6		GLASS 7		GLASS 8		GLASS 9	
نسبة التزجيج	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2	نسبة الوفر	الاستهلاك Kw/m2
%٢٠	١٧١	%١٠	١٥٤	%١-	١٧٣	%٦	١٦٢	%٧	١٦٠	%٩	١٥٧	%١٣	١٤٩	%١٠	١٥٥	%١٤	١٤٨
%٤٠	٢٠٠	%١٧	١٦٦	%٢-	٢٠٣	%٩	١٨٢	%١٠	١٨٠	%١٤	١٧٢	%٢١	١٥٧	%١٦	١٦٨	%٢٢	١٥٦
%٦٠	٢٣١	%٢٣	١٧٨	%٢-	٢٣٥	%١٢	٢٠٣	%١٣	٢٠١	%١٩	١٨٨	%٢٩	١٦٥	%٢١	١٨٣	%٣٠	١٦٣
%٨٠	٢٦٠	%٢٧	١٩١	%٣-	٢٦٦	%١٤	٢٢٥	%١٥	٢٢١	%٢٣	٢٠٢	%٣٤	١٧٣	%٢٤	١٩٨	%٣٥	١٧١

أ- أن نسب التزجيج العالية أظهرت فروقات كبيرة في استهلاك الطاقة مع اعتماد نوع زجاج بقيم (SHGC ,VLT U-Value) منخفضة حيث تصل نسبة الوفر 35% بالنسبة للواجهة الجنوبية والغربية والشرقية بينما تصل نسبة الوفر لـ 23% بالنسبة للواجهة الشمالية. لنفس نسبة التزجيج العالية.

ب- إن نسب التزجيج المنخفضة أظهرت فروقات كبيرة بالنسبة للواجهة الجنوبية حيث وصلت نسبة الوفر لـ 35% بينما نسبة الوفر 14% بالنسبة للواجهتين الشرقية والغربية أما الواجهة الشمالية لم تتجاوز نسبة الوفر 8%.

الاستنتاجات والتوصيات:

لقد أظهرت النتائج أن اختيار نوع تزجيج منخض الناقلية الحرارية و ذو الكسب الضوئي المعتدل يعطي كفاءة كبيرة في استهلاك الطاقة الكهربائية للفراغات الداخلية خاصة في البيئات المناخية الصعبة ومع التوجه حديثاً لنسب التزجيج العالية، حيث وصلت نسبة الوفر في استهلاك الطاقة الكهربائية لـ 35% مقارنة بالنموذج السائد تجارياً (المفرد والشفاف).

توصي الدراسة بمراعاة اختبار أنواع زجاج مختلفة في مرحلة التصميم المبكرة عند إعداد الدراسات الهندسية لمشاريع عامة وخاصة، واعتماد برامج المحاكاة الحاسوبية لهذا الغرض لما لها من أهمية كبيرة أثناء إعداد الدراسات الهندسية، حيث أظهرت النتائج وفر كبير في استهلاك الطاقة، كما توصي الدراسة بمراعاة اختبار نوع الزجاج الملائم للبيئة المناخية وموقع البناء المراد تصميمه.

المراجع:

[1] ELKADI,H- "*Glass and meaningful place making*"," Journal of urban Technology" ,Amman, Jordan, vol.12, Desember, 2005 ,34

[2] COMPAGNO, A- "*Intelligent glass Facades, Material "* , Practice, Design 4th, Ed, Boston, Birck. User-Vertag, oct 1995.

[3] BAKER, N and STEEMERS, k- *" Eenergy and Enviroment in Architecture*" ,Atechnical Design Guide, Great Britain at the University Press, Cambridge, 1999.

[4] NED NISSON, J. D. GAUTAM DUTT ,"*The super insulated home book*" ,Mc-Graw,Hill, 2010

[5] DAVID BUTTON & BRIAN PYE," *Glassing Building*" ,1994.

[6] SEYMOUR, JARMUL " *The Architect's Guide To Energy Conservation Realistic Energy Conservation In Buildings*" Singapore , 2008.

[7] ASHRAE, "*Emerge Estimating And Modeling Methods, Handbook Of Fundamentals*" 2008.

[8] RENATO D'ALENCON CASTRILLON, *"Integration of Active and Passive Systems in Glass Façades"*, 8th International Conference on Sustainable Energy Technologies, .Aachen, Germany, (2009).

[9] J.C. LAM and D.H.W LI, "*An Analysis Of Daylighting And Solar Heat For Cooling-Dominated Office Buildings"*, Solar Energy, vol.65(4), p 251, (1999).