

تأثير استخدام البيت الزجاجي (Sunspace) في تخفيض أحمال التدفئة في الأبنية السكنية

الدكتور رامي جورج*

(تاريخ الإيداع 4 / 1 / 2012. قُبِلَ للنشر في 21 / 2 / 2012)

□ ملخص □

يهدف البحث إلى دراسة تأثير استخدام البيت الزجاجي (Sunspace) في تخفيض أحمال التدفئة، والذي يؤدي بدوره إلى ترشيد استهلاك الطاقة التقليدية، وتحسين الشعور بالراحة الحرارية للقاطنين في البناء؛ وذلك باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS عند الشروط المناخية الساعية لمدينة اللاذقية. أظهر البحث أن أفضل موضع للبيت الزجاجي هو باتجاه الجنوب، وأنه مع زيادة مساحة الواجهة الأمامية للبيت الزجاجي ينخفض حمل التدفئة الكلي بشكل واضح؛ إذ تم الحصول على أكبر نسبة وفر في حمل التدفئة مقداره [84.55%] عند مساحة لواجهة البيت الزجاجي مساوية لمساحة الجدار وقدرها [9m²]. وأيضاً تزداد نسبة الوفر في حمل التدفئة الكلي بمقدار [13.35%] عند استخدام بيت زجاجي مع تهوية مقارنة بالبيت الزجاجي دون تهوية.

الكلمات المفتاحية: البيت الزجاجي، تخزين الطاقة الحرارية، تدفئة سلبية، برنامج محاكاة TRNSYS.

* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Influence of Using Sunspace for Reducing Heating Loads of Residential Buildings

Dr. Rami George*

(Received 4 / 1 / 2012. Accepted 21 / 2 / 2012)

□ ABSTRACT □

The objective of this investigation is to study the influence of using Sunspace attached to building for reducing the heating loads, which in return reduce consumption of conventional energy and improve the feeling with thermal comfort for residents by using simulation program TRNSYS for the hourly weather conditions of Lattakia. This investigation showed that the best location of Sunspace is to the south direction and with increasing the facing area of Sunspace the total heating load decreases significantly. We got the highest energy saving ratio about 84.55[%] at facing area of Sunspace equal to wall area 9[m²]. Also the saving ratio of the total heating load increases 13.35[%] by using vented Sunspace compared with unvented Sunspace.

Key words: Sunspace, Thermal energy storage, Passive heating, TRNSYS program

*Professor, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

نظراً لتغير المناخ وزيادة عدد السكان فإن تأمين الشعور بالراحة الحرارية في الأبنية يصبح أكثر أهمية، وهذا يؤدي بدوره إلى ازدياد الطلب على الطاقة؛ لذلك لابد من العمل على ترشيد استهلاك الطاقة ومن ثم تقليل التلوث البيئي الناتج عن مخلفات الوقود التقليدي باستخدام الطاقة الشمسية. يوجد نوعان من أنظمة تدفئة الأبنية بالطاقة الشمسية: الأول نظام الطاقة الشمسية الفعال، ويعتمد على تدوير وسيط التدفئة (ماء أو هواء) بوساطة مضخة أو مروحة ويحتوي على أجهزة التقاط وتجميع الطاقة الشمسية وتخزين الحرارة وشبكة توزيع، بالإضافة إلى صمامات وأجهزة تحكم. أما الثاني فهو نظام الطاقة الشمسية السلبي الذي لا يحتوي على أجهزة ميكانيكية، ويعتمد على مكونات البناء لالتقاط الطاقة الشمسية وتخزينها ومن ثم توزيعها لتدفئة الأبنية. يعد البيت الزجاجي (Sunspace) واحداً من أنظمة التدفئة الشمسية السلبية الذي يربط مباشرة مع البناء المراد تدفئته؛ إذ يمكن عدّه لاقطاً شمسياً كبيراً؛ حيث الفراغ بين الزجاج والجدار كبير إلى حد يمكن استعماله بوصفه غرفة إضافية أو مكان للزراعة. الإشعاع الشمسي المار من خلال الزجاج يمتصه جدار البيت الزجاجي وأرضيته. يتم انتقال الحرارة من البيت الزجاجي إلى داخل البناء الملاصق له إما عن طريق الإشعاع والحمل من السطح الداخلي لجدار البيت الزجاجي وإما عن طريق مرور الهواء الساخن الموجود ضمن البيت الزجاجي من خلال فتحات موجودة في أسفل الجدار وأعلى، والذي يتم بشكل حر نتيجة فرق درجات الحرارة بين هواء البناء والهواء الموجود ضمن البيت الزجاجي.

ترشيدُ استهلاك الطاقة التقليدية في الأبنية، وحماية البيئة من التلوث الناتج عن مخلفات الوقود التقليدي جعل الباحثين يلجؤون إلى استخدام الأشكال المختلفة لأنظمة تدفئة الأبنية السلبية. فمنهم من استخدم المواد الخازنة للحرارة ضمن مكونات البناء [1] و [2] و [3] و [4]، ومنهم من استخدم المدخنة الشمسية [5] و [6] و [7]، وهناك من بحث في تأثير استخدام الجدار الخازن للحرارة في حمل التدفئة في الأبنية السكنية [8] و [9] و [10]. بعض الباحثين قدم نموذجاً رياضياً جديداً من أجل التحليل الحراري للبيت الزجاجي ومقارنته تجريبياً من خلال تحديد درجة حرارة الهواء داخل البيت الزجاجي [11] و [12]، ومنهم من أوجد نموذجاً رياضياً مبسطاً لتحديد عامل امتصاصية الإشعاع الشمسي للبيت الزجاجي [13].

أهمية البحث وأهدافه:

تشيد معظم الأبنية الحديثة في سورية معمارياً دون الأخذ بعين الاعتبار أهمية مكونات البناء في تخزين الطاقة الشمسية، حيث تبنى من مواد خفيفة الوزن؛ أي من مواد ذات سعة حرارية منخفضة، ومن ثم إمكانية منخفضة لتخزين الحرارة. وهذا يؤدي إلى عدم تأمين الراحة الحرارية للقائمين في البناء، ومن ثم ارتفاع في الأحمال الحرارية للبناء واستهلاك متزايد في الطاقة التقليدية.

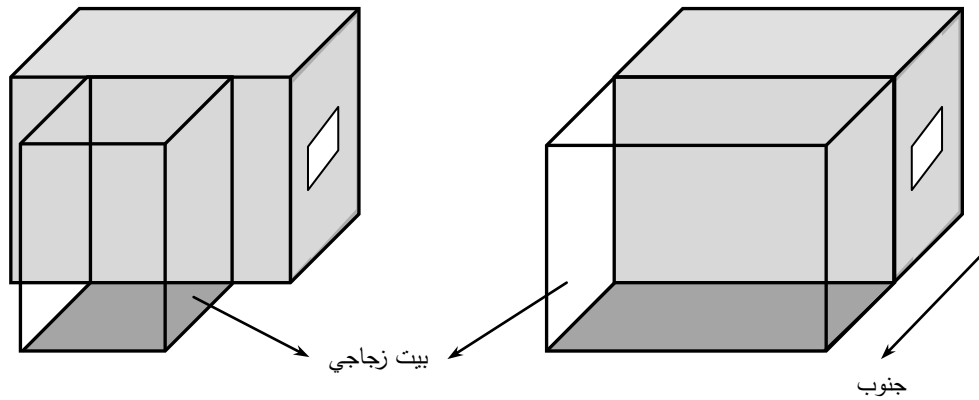
لذلك يهدف هذا البحث إلى دراسة الأداء الحراري لنظام التدفئة الشمسي السلبي الذي يستخدم البيت الزجاجي (Sunspace) الملاصق للبناء؛ إذ يتم دراسة تأثير متغيرات البيت الزجاجي (Sunspace) في أحمال التدفئة ودرجة حرارة الهواء الداخلية الساعية لبناء واقع في مدينة اللاذقية من أجل تقييم إمكانية استخدام البيت الزجاجي في الأبنية في سورية. يعد البيت الزجاجي نظام التقاط للطاقة الشمسية وتخزينها عبر مكوناته، ومن ثم تزويد الحرارة إلى داخل البناء الملاصق عند الحاجة؛ إذ يتم نهاراً انتقال الحرارة إلى داخل البناء عن طريق تمرير هواء البيت الزجاجي المسخن شمسياً، وعن طريق انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع من السطح الداخلي لجدار البيت الزجاجي. أما ليلاً فيتم الاستفادة

من الطاقة الحرارية المخزنة نهاراً في جدار البيت الزجاجي وأرضيته ونقلها إلى داخل البناء؛ بذلك يتم رفع درجة الحرارة الداخلية وتحسين الشعور بالراحة الحرارية للقاطنين في البناء، ومن ثم تخفيض أحمال التدفئة، والذي يؤدي بدوره إلى ترشيد استهلاك الطاقة التقليدية المستخدمة في تغطية هذه الأحمال ومن ثم حماية البيئة من التلوث من مخلفات الوقود التقليدي أيضاً.

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام برنامج المحاكاة TRNSYS [14] الذي يعدّ أكثر برامج المحاكاة استخداماً وشيوعاً لتقييم السلوك الحراري للأبنية؛ إذ يأخذ بالحسبان تأثير متغيرات متعددة كالمعطيات المناخية ومكونات البناء واتجاهه، بالإضافة إلى تأثير استخدام البيت الزجاجي (Sunspace) وخواصه وأبعاده على حمل التدفئة الكلي؛ إذ يقوم البرنامج بإجراء محاكاة للسلوك الحراري للبناء خلال فترة زمنية محددة وفقاً للمتغيرات السابقة، وفي نهاية المحاكاة نستطيع معرفة مقدار الانخفاض (نسبة الوفرة) في حمل التدفئة وأيضاً الارتفاع في درجة الحرارة الداخلية من أجل خواص مختلفة للبيت الزجاجي ومتغيراته.

تم إجراء المحاكاة على غرفتين متشابهتين أبعاد كل منهما [m] (3×3×3) وتحوي كل منهما على نافذة أبعادها [m] (1×1.5) على كل من الجدار الشرقي والغربي، وتتكون الجدران من توريقة أسمنتية من الخارج والداخل سماكتها [cm] 1.5 ومن بلوك مفرغ سماكته [cm] 20. الغرفة الأولى دون بيت زجاجي، والثانية متصلة ببيت زجاجي (Sunspace) على الجنوب من أجل مساحات مختلفة للواجهة الزجاجية، كما هو مبين في الشكل (1). يبين الجدول (1) خواص البيت الزجاجي المستخدم في البحث. تم إجراء المحاكاة الساعية لكلتا الغرفتين عند المعطيات المناخية نفسها لمدينة اللاذقية، ثم تم مقارنة نتائج المحاكاة بين الحالتين من أجل أوضاع مختلفة للبيت الزجاجي وأبعاده.



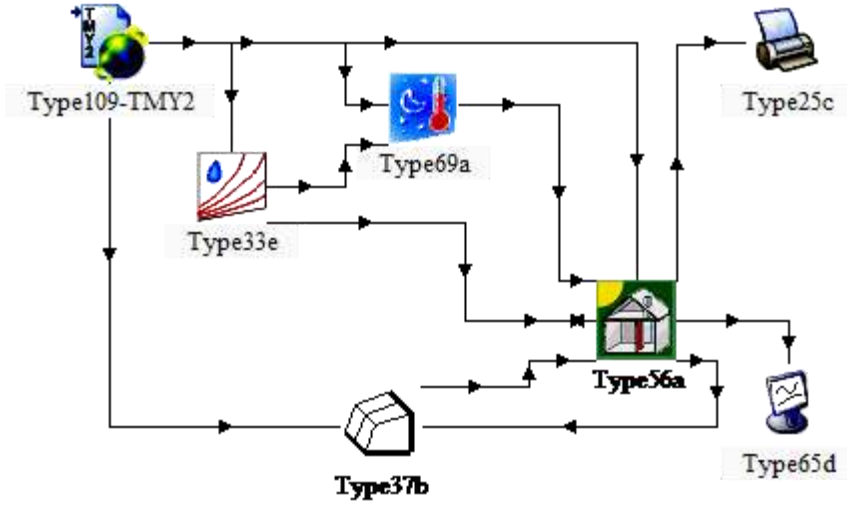
الشكل (1) مخطط الغرفة مع البيت الزجاجي (Sunspace)

الجدول (1) خواص البيت الزجاجي (Sunspace)

الواحدة	القيم	
m	0.2	سماكة جداره
m	3	ارتفاعه
m	(1-2-3)	عرضه
m	3	طوله الأمامي
$\text{kJ/h m}^\circ\text{C}$	4	إيصالية جداره
$\text{kJ/m}^3^\circ\text{C}$	2000	السعة الحرارية الحجمية لجداره
-	0.9	امتصاصية جداره (α_w)
-	0.5	امتصاصية أرضيته (α_g)

يبين الشكل (2) مخططاً لمكونات النظام وفق برنامج المحاكاة TRNSYS الخاص بالبناء المدروس، ورقم كل مكون، وعملية ربط هذه المكونات بعضها ببعض من أجل محاكاة السلوك الحراري للبناء. إن كل مكون هو عبارة عن برنامج جزئي يدعى عادة Type ويعرّف كل Type برقم مميز يرمز إلى وظيفة المكون. إن المكون الرئيس في نظام المحاكاة TRNSYS الخاص بالبناء هو Type56a ، ويرمز إلى البناء متعدد المناطق الحرارية (Multi-Zone building) ويتم فيه إنشاء البناء المدروس وإدخال أبعاد مكوناته وخواصها. والمكون Type37b يرمز إلى البيت الزجاجي (Sunspace)؛ إذ يتم فيه تغيير الخواص الحرارية وأبعاد مكونات البيت الزجاجي المستخدم. المكون Type69a يرمز لحساب درجة حرارة السماء والمكون Type33e يرمز لحساب الرطوبة النسبية والمكون Type25c يرمز للطابعة والمكون Type65d يرمز إلى الراسم لإظهار النتائج التي يتم الحصول عليها من البرنامج بعد إدخال الثوابت والمتغيرات المتعلقة بكل مكون.

تم الحصول على قيم الإشعاع الشمسي الساعية الساقط على سطح أفقي والمعطيات المناخية لمدينة اللاذقية باستخدام برنامج Meteonorm [15]؛ إذ يتم الحصول على ملف المعطيات المناخية بالتنسيق المعياري TMY، والذي تتم قراءته من قبل برنامج TRNSYS باستخدام مكون (Type109-TMY2) الذي يقوم بحساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على جدران البناء والبيت الزجاجي.

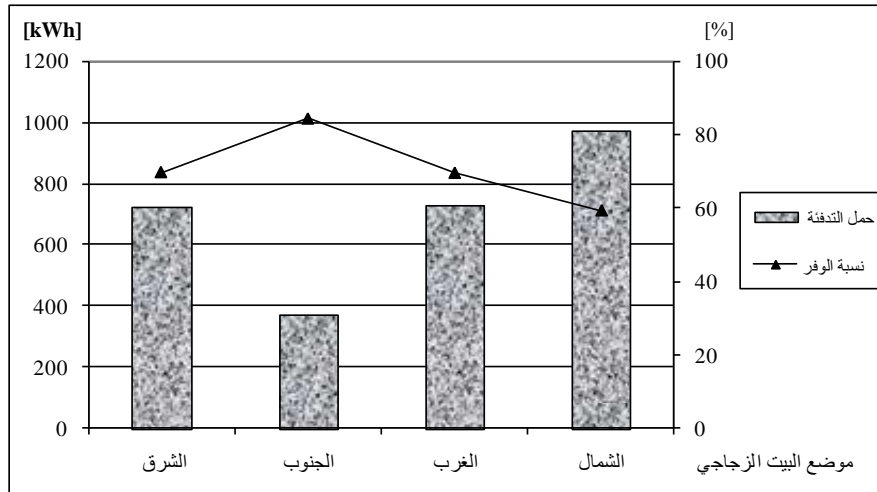


الشكل (2) لوحة محاكاة البناء وفق برنامج TRNSYS

النتائج والمناقشة:

تأثير موضع البيت الزجاجي في حمل التدفئة الكلي

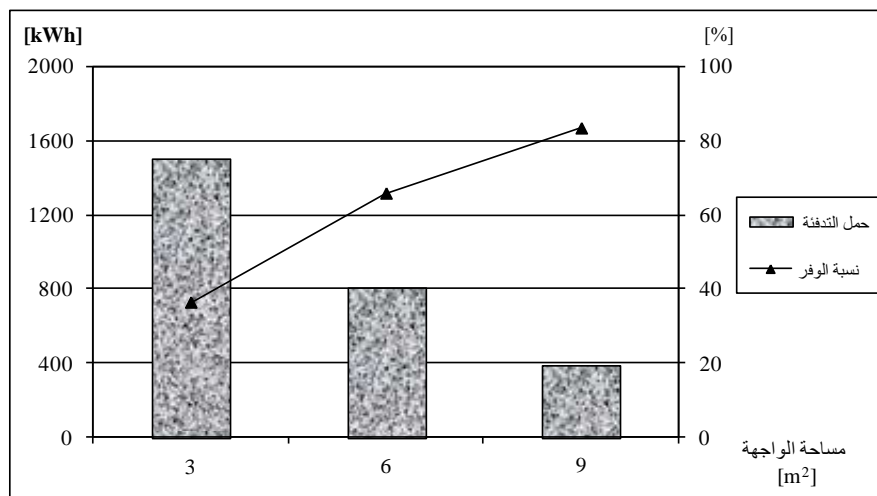
لقد تم إجراء المحاكاة الساعية باستخدام البرنامج TRNSYS خلال فصل الشتاء كله لغرفتين: الأولى مزودة بالبيت الزجاجي، والثانية غير مزودة بالبيت الزجاجي لحساب أحمال التدفئة الساعية، ومن ثم حساب حمل التدفئة الكلي في فصل الشتاء من أجل أوضاع مختلفة للبيت الزجاجي ومقارنتها مع حمل التدفئة الكلي للغرفة غير المزودة بالبيت الزجاجي. وبعد ذلك تم حساب نسبة الوفر في حمل التدفئة الكلي (النسبة بين الفرق في حمل التدفئة للغرفتين وحمل التدفئة للغرفة غير المزودة بالبيت الزجاجي) نتيجة استخدام البيت الزجاجي. يبين الشكل (3) تأثير موضع البيت الزجاجي (Sunspace) في حمل التدفئة الكلي، ونسبة الوفر في هذا الحمل في فصل الشتاء للغرفة المدروسة. نلاحظ من الشكل (3) أن أفضل موضع للبيت الزجاجي هو باتجاه الجنوب حيث نحصل على أقل حمل تدفئة وأعلى نسبة وفر في حمل التدفئة، فقد وجدنا أن حمل التدفئة الكلي ينخفض بمقدار (نسبة الوفر في حمل التدفئة) 84.55% بينما عند وضع البيت الزجاجي باتجاه الشرق تكون نسبة الوفر 69.8% ووضعه باتجاه الغرب تكون نسبة الوفر 69.65% في حين وضعه باتجاه الشمال يؤدي إلى انخفاض حمل التدفئة بمقدار 59.3% فقط. بناء على ذلك تم وضع البيت الزجاجي (Sunspace) باتجاه الجنوب للبناء المدروس.



الشكل (3) تأثير موضع البيت الزجاجي في حمل التدفئة الكلي ونسبة الوفر

تأثير مساحة واجهة البيت الزجاجي في حمل التدفئة الكلي

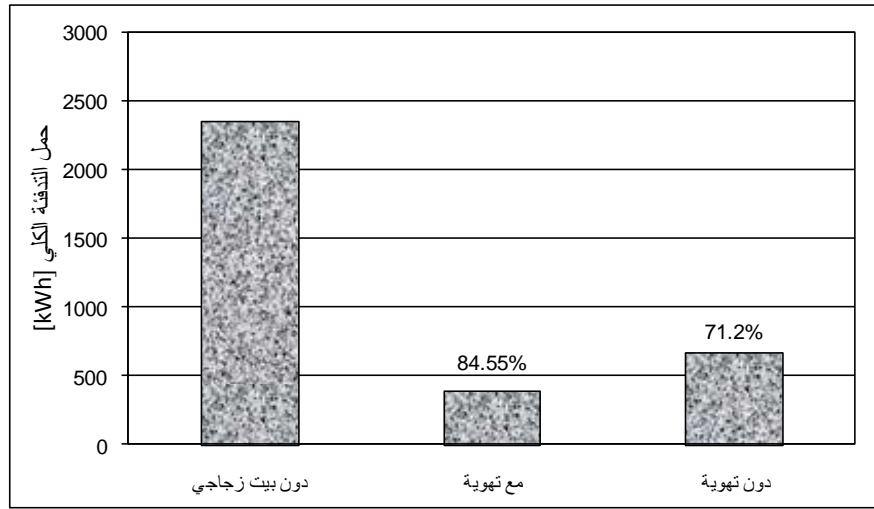
لقد تم إجراء المحاكاة الساعية خلال فصل الشتاء كله من أجل مساحات مختلفة لواجهة البيت الزجاجي (Sunspace) الموضوع باتجاه الجنوب للبناء المدروس، ومن ثم حساب حمل التدفئة الكلي. يوضح الشكل (4) تأثير مساحة واجهة البيت الزجاجي في حمل التدفئة الكلي ونسبة الوفر في هذا الحمل مقارنة بالغرفة غير المزودة بالبيت الزجاجي. نلاحظ من الشكل (4) أنه مع زيادة مساحة واجهة البيت الزجاجي ينخفض حمل التدفئة الكلي ومن ثم تزداد نسبة الوفر في حمل التدفئة، وهذا ناتج عن تخزين كمية أكبر من الحرارة نتيجة السماح لكمية أكبر من الإشعاع للنفاذ إلى داخل البيت الزجاجي في النهار ومن ثم تزويد طاقة حرارية أكبر للغرفة الملاصقة للبيت الزجاجي. نلاحظ من الشكل (4) أنه من أجل مساحة واجهة البيت الزجاجي مقدارها $9[m^2]$ مساوية لمساحة جدار الغرفة تكون نسبة الوفر في حمل التدفئة 84.55% بينما من أجل مساحة تساوي $6[m^2]$ تكون نسبة الوفر 65.76% في حين عند استخدام بيت زجاجي ذي واجهة مساحتها $3[m^2]$ تكون نسبة الوفر 36.3% فقط.



الشكل (4) تأثير مساحة واجهة البيت الزجاجي في حمل التدفئة الكلي ونسبة الوفر

تأثير وجود تهوية في البيت الزجاجي في حمل التدفئة الكلي

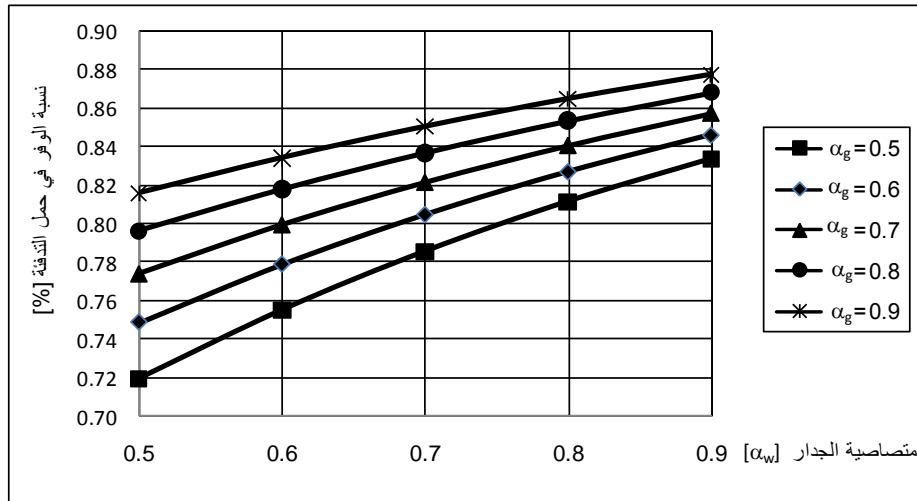
يبين الشكل (5) تأثير وجود تهوية أو دون تهوية للبيت الزجاجي على حمل التدفئة الكلي في فصل الشتاء للغرفة الملاصقة للبيت الزجاجي. لقد تم إجراء المحاكاة الساعية خلال فصل الشتاء كله من أجل كلتا الحالتين للبيت الزجاجي الموضوع باتجاه الجنوب للبناء المدروس مع تهوية أو دون تهوية، ومن ثم تم حساب حمل التدفئة الكلي. نلاحظ من الشكل (5) أن حمل التدفئة الكلي للغرفة الملاصقة للبيت الزجاجي مع تهوية أقل منه للغرفة الملاصقة للبيت الزجاجي دون تهوية، ويكون مقدار الزيادة في نسبة الوفر في حمل التدفئة الكلي مع تهوية حوالي [13.35%] مقارنة لحالة دون تهوية. وهذه الزيادة في نسبة الوفر ناتجة عن الحرارة المزودة للغرفة من قبل الهواء الساخن الموجود في البيت الزجاجي والمتدفق إلى داخل الغرفة الملاصقة للبيت الزجاجي ومن ثم تقليل الضياعات إلى الوسط الخارجي.



الشكل (5) تأثير وجود تهوية في البيت الزجاجي في حمل التدفئة الكلي

تأثير امتصاصية جدار البيت الزجاجي وأرضيته على نسبة الوفر في حمل التدفئة الكلي

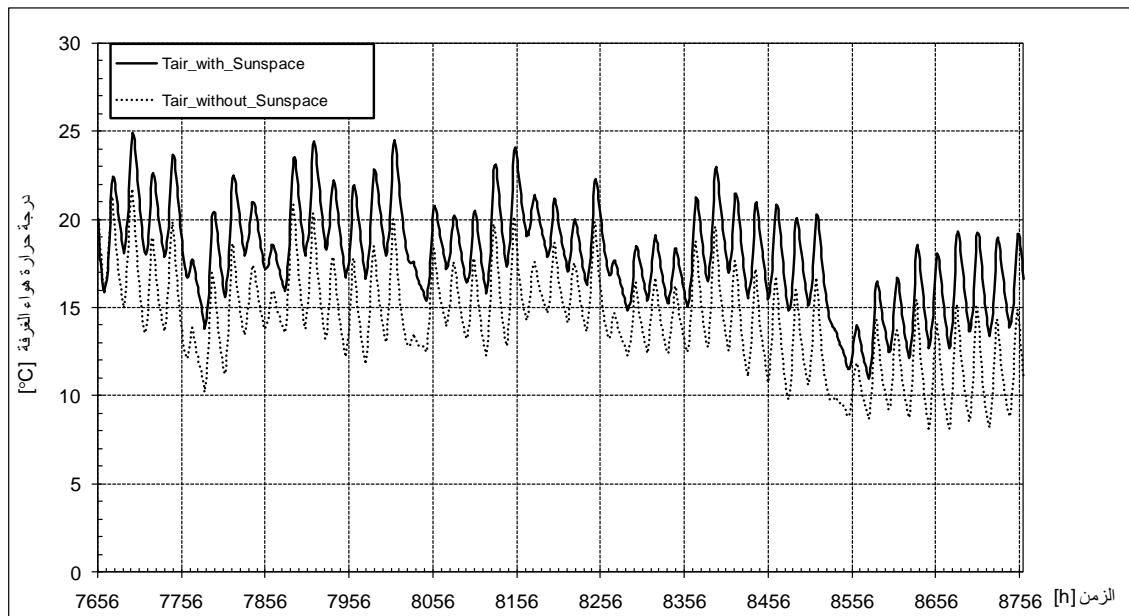
لقد تم إجراء المحاكاة الساعية خلال فصل الشتاء كله من أجل قيم مختلفة لامتصاصية كل من جدار البيت الزجاجي (Sunspace) الموضوع باتجاه الجنوب للبناء المدروس وأرضيته، ومن ثم حساب حمل التدفئة الكلي. يوضح الشكل (6) تأثير امتصاصية جدار البيت الزجاجي وأرضيته على نسبة الوفر في حمل التدفئة الكلي. نلاحظ من الشكل (6) أنه مع زيادة امتصاصية كل من الجدار والأرضية تزداد نسبة الوفر في حمل التدفئة، وهذا ناتج عن زيادة كمية الإشعاع الشمسي الممتص من قبل جدار وأرضية البيت الزجاجي، ومن ثم زيادة كمية الطاقة الحرارية المنتقلة إلى داخل البناء سواء بالتوصيل عبر الجدار أو بالحمل من خلال الهواء المتدفق عبر الجدار من البيت الزجاجي إلى داخل البناء. نلاحظ من الشكل (6) أنه من أجل امتصاصية للجدار مساوية لامتصاصية الأرضية ومقدارها 0.5 تكون نسبة الوفر في حمل التدفئة [72%]، بينما من أجل امتصاصية مقدارها 0.9 لكليهما تكون نسبة الوفر [87.8%]؛ أي أننا نحصل على زيادة في نسبة الوفر مقدارها [15.8%]؛ لذلك يفضل استخدام مواد في الجدار والأرضية ذات امتصاصية عالية للإشعاع الشمسي.



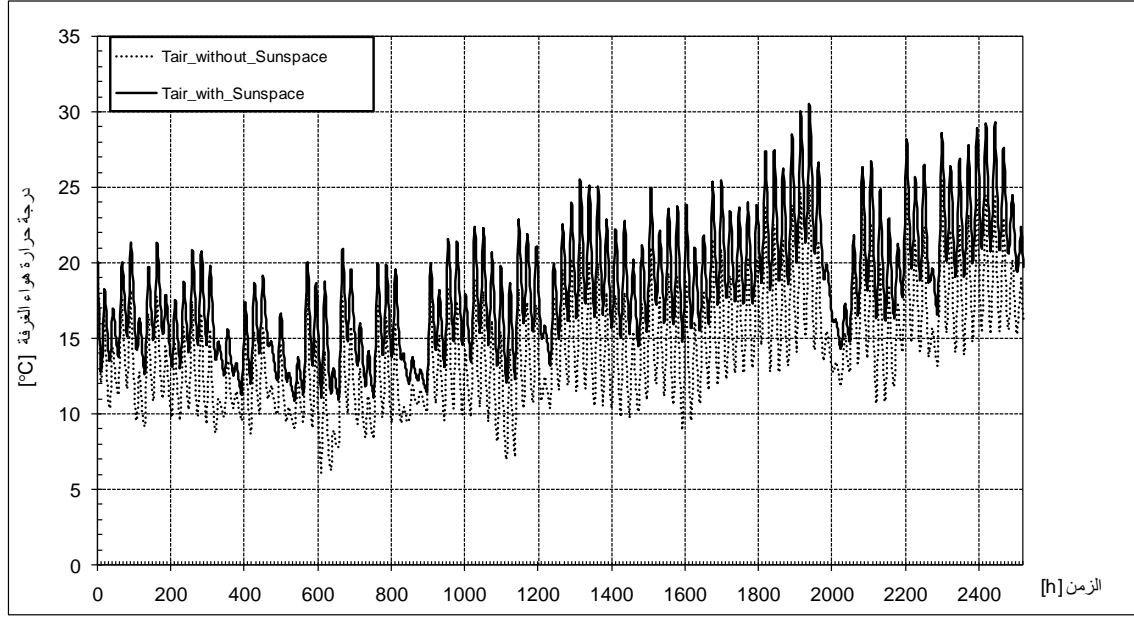
الشكل (6) تأثير امتصاصية جدار وأرضية البيت الزجاجي في نسبة الوفرة

تأثير استخدام البيت الزجاجي في درجة حرارة الهواء الداخلية

يبين الشكلان (7) و(8) التغير الساعي خلال أشهر فصل الشتاء لدرجة حرارة الهواء الداخلية لغرفتين الأولى غير ملاصقة لبيت زجاجي والثانية ملاصقة له. نلاحظ من الشكلين السابقين الارتفاع الواضح في درجة حرارة هواء الغرفة الملاصقة للبيت الزجاجي مقارنة بالغرفة غير الملاصقة للبيت الزجاجي ويصل أكبر ارتفاع إلى [6.6°C]. إن الارتفاع في درجة الحرارة الداخلية ناتج عن دور البيت الزجاجي في امتصاص الحرارة وتخزينها، ومن ثم طرحها إلى داخل الغرفة الملاصقة له بالحمل والإشعاع من السطح الداخلي لجدار البيت الزجاجي وبالحمل من خلال تمرير الهواء من البيت الزجاجي إلى داخل الغرفة الملاصقة له وهذا ما يضمن الشعور بالراحة الحرارية للقائمين داخل البناء.



الشكل (7) تغير درجة حرارة هواء الغرفتين مع وجود البيت الزجاجي ومع عدم وجوده من 11/15 حتى 12/31



الشكل (8) تغير درجة حرارة هواء الغرفتين مع وجود البيت الزجاجي ومع عدم وجوده من 1/1 حتى 4/15

الاستنتاجات والتوصيات:

- بعد إجراء المحاكاة على غرفتين لدراسة تأثير استخدام البيت الزجاجي (Sunspace) على حمل التدفئة ودرجة حرارة الغرفة الملاصقة له باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS نستنتج ما يلي:
1. إن أفضل موضع للبيت الزجاجي باتجاه الجنوب حيث نحصل على أكبر نسبة وفر في حمل التدفئة يصل إلى 84.55[%].
 2. ينخفض حمل التدفئة الكلي مع زيادة مساحة واجهة البيت الزجاجي حيث عند مساحة واجهة $3[m^2]$ نحصل على نسبة وفر قدرها 36.3[%]، بينما عند مساحة واجهة مساوية لمساحة جدار الغرفة $9[m^2]$ تكون نسبة الوفر 84.55[%] ؛ أي بزيادة مقدارها 48.25[%].
 3. تزداد نسبة الوفر في حمل التدفئة الكلي للغرفة بمقدار 13.35[%] عند استخدام بيت زجاجي مع تهوية مقارنة بالبيت الزجاجي دون تهوية.
 4. ينخفض حمل التدفئة الكلي مع زيادة امتصاصية كل من جدار البيت الزجاجي وأرضيته حيث عند امتصاصية للجدار مساوية لامتصاصية الأرضية وقدرها 0.5 تكون نسبة الوفر 72[%]، بينما عند امتصاصية مقدارها 0.9 لكليهما تكون نسبة الوفر 87.8[%] ؛ أي تزداد نسبة الوفر بمقدار 15.8[%].
 5. تزداد درجة حرارة الهواء الداخلية بشكل واضح عند استخدام البيت الزجاجي مما يؤمن الشعور بالراحة للقاطنين في البناء.
 6. متابعة البحث في دراسة تأثير بعض الخواص الحرارية الأخرى للبيت الزجاجي في حمل التدفئة، وكيفية استخدام البيت الزجاجي من أجل تخفيض حمل التبريد.

المراجع:

- [1]. KHALIFA, A. N., ABBAS, E. F. *A comparative performance study of some thermal storage materials used for solar space heating*. Energy and Buildings, Vol. 41, 2009, 407-415.
- [2]. ASTE, N., ANGELOTTI, A., BUZZETTI, M. *The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings*. Energy and Buildings, Vol. 41, 2009, 1181-1187.
- [3]. RIJKSEN, D. O., WISSE, C. J., VAN SCHIJNDEL, A. W. M. *Reducing peak requirements for cooling by using thermally activated building systems*. Energy and Buildings, Vol. 42, 2010, 298-304.
- [4]. KUHN, T. E., HERKEL, S., FRONTINI, F., STRACHAN, P., KOKOGIANNAKIS, G. *Solar control: A general method for modeling of solar gains through complex facades in building simulation programs*. Energy and Buildings, Vol. 43, 2011, 19-27.
- [5]. LEE, K. H., STRAND, R. K. *Enhancement of natural ventilation in buildings using a thermal chimney*. Energy and Buildings, Vol. 41, 2009, 615-621.
- [6]. CHUNGLOO, S., LIMMEECHOKCHAI, B. *Utilization of cool ceiling with roof solar chimney in Thailand: The experimental and numerical analysis*. Renewable Energy, Vol. 34, 2009, 623-633.
- [7]. MAEREFAT, M., HAGHIGHI, A. P. *Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney*. Renewable Energy, Vol. 35, 2010, 2316-2324.
- [8]. CHEN, B., CHEN, H. J., MENG, S. R., CHEN, X., SUN, P., DING, Y. H. *The effect of Trombe wall on indoor humid climate in Dalian, China*. Renewable Energy, Vol. 31, 2006, 333-343.
- [9]. CHEN, B., CHEN, X., DING, Y. H., JIA, X. *Shading effects on the winter thermal performance of the Trombe wall air gap: An experimental study in Dalian*. Renewable Energy, Vol. 31, 2006, 1961-1971.
- [10]. YILMAZ, Z., KUNDAKCI, A. B. *An approach for Energy conscious renovation of residential buildings in Istanbul by Trombe wall system*. Building and Environment, Vol. 43, 2008, 508-517.
- [11]. ROUX, J. J., TEODOSIU, C., COVALET, D., CHAREILLE, R. *Validation of a glazed space simulation model using full-scale experimental data*. Energy and Buildings, Vol. 36, 2004, 557-565.
- [12]. MOTTARD, M. J., FISSORE, A. *Thermal simulation of an attached sunspace and its experimental validation*. Solar Energy, Vol. 81, 2007, 305-315.
- [13]. OLIVETI, G., DE SIMONE, M., RUFFOLO, S. *Evaluation of the absorption coefficient for solar radiation in sunspace and widowed rooms*. Solar Energy, Vol. 82, 2008, 212-219.
- [14]. KLEIN, S. A. et al., *TRNSYS – a transient simulation program, version 16.1, User Manual*. University of Wisconsin-Madison, USA. 2006.
- [15]. *Meteonorm, 4.00, Global Meteorological Database for Solar Energy Applied Meteorology*. Nov 1999.