

دراسة تأثير بارامترات الجدار الخازن للحرارة (Trombe-wall, TW) على حمل التدفئة في الأبنية

الدكتور رامي جورج*
الدكتور حسن وسوف**
غيث سمير برياره***

(تاريخ الإيداع 13 / 10 / 2014. قُبل للنشر في 10 / 12 / 2014)

□ ملخص □

البحث عبارة عن دراسة نظرية برمجية لتأثير بارامترات الجدار الخازن للحرارة (Trombe wall) 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 لمدينة طرطوس.

أظهر البحث أنه مع زيادة الإيصالية الحرارية للجدار الخازن للحرارة، ينخفض حمل التدفئة الكلي. والقيمة المثلى لها هي $\lambda = 1.11 [W/m.K]$ حيث نحصل على زيادة في نسبة الوفر في حمل التدفئة مقدارها $5.63 [\%]$ مقارنة في حالة $\lambda = 0.28 [W/m.K]$. أيضاً وجدنا أن القيمة المثلى للسعة الحرارية النوعية للجدار هي $C_p = 2000 [kJ/kg.K]$ حيث نحصل على زيادة في نسبة الوفر مقدارها $3.03 [\%]$ مقارنة مع حالة $C_p = 1000 [kJ/kg.K]$.

كما أظهر البحث أن السماكة المثلى للفراغ الهوائي بين الجدار والزجاج هي $0.2 [m]$ ، حيث مع زيادة السماكة عن هذه القيمة، يصبح مقدار الزيادة في نسبة الوفر أقل من $0.5 [\%]$. وأن أفضل اتجاه للجدار الخازن للحرارة هو باتجاه الجنوب، حيث نحصل على أكبر نسبة وفر في حمل التدفئة مقدارها $54.5 [\%]$ وتتناقص مع دوران البناء باتجاه الشمال حيث نحصل على أقل نسبة وفر ومقدارها $17.7 [\%]$.

أظهر البحث أيضاً أن استخدام الجدار الخازن للحرارة أدى إلى ارتفاع في درجة الحرارة الداخلية للبناء خلال أشهر الشتاء واقتربها من درجة حرارة الارتياح الحراري للقاطنين في البناء، وكان أكبر ارتفاع في درجة الحرارة الداخلية في يوم 12 من كانون الثاني ومقداره $6.8 [^{\circ}C]$.

الكلمات المفتاحية: الجدار الخازن للحرارة، تخزين الطاقة الحرارية، تدفئة سلبية، برنامج محاكاة TRNSYS.

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

** مدرس - قسم هندسة المكننة الزراعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة تشرين - طرطوس - سورية

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة المعدات والآليات - كلية الهندسة التقنية - جامعة تشرين - طرطوس - سورية

A study of the Effects of Thermal Storage Wall (Trombe-wall, TW) Parameters on Heating Loads in buildings

Dr. Rami George*
Dr. Hassan Wassouf**
Ghieth Samir Barbara***

(Received 13 / 10 / 2014. Accepted 10 / 12 / 2014)

□ ABSTRACT □

The research aims to achieve theoretical programming study of the influence of the parameters of the thermal storage wall (Trombe wall) in minimizing heating loads which in turn leads to reduce the consumption of conventional energy and to improve heat comfort of building inhabitant by using the simulation program TRNSYS at climatic conditions of Tartous city.

The investigation showed that by increasing the conductivity of thermal storage wall, the total heating load decreases. It's optimum value is $\lambda=1.11$ [W/mK] where we obtain an increasing in heating load rate equals 5.63[%] comparing with the state when $\lambda=0.28$ [W/mK]. Also, we found that the optimum value specific capacitance of the wall is $C_p=2000$ [kJ/kgK] where we obtain an increasing in saving rate equals 3.03[%] comparing with the state when $C_p=1000$ [kJ/kgK].

The investigation showed that the optimum thickness of air spacing between wall and glazing is 0.2[m]. Whereas any increasing of thickness to become larger than optimum value, the increasing of saving rate be less than 0.5[%]. In addition, the investigation showed that the best location of thermal storage wall is toward the south where we obtain the greatest saving rate of heating load equals 54.5[%], which decreases with the building rotation toward the north where we obtain the least saving rate equals 17.7[%].

The investigation showed that the using of thermal storage wall causes rising building internal temperature during winter months, this leads to bring it near the temperature of heat comfort of building inhabitants. The largest rising of internal temperature was in 12 January which equaled 6.8[°C].

Key words: Thermal Storage Wall; Thermal Energy Storage; Passive Heating; Simulation Program TRNSYS.

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

**Assistant Professor, Department of Agronomic Mechanization Engineering, Faculty of Technical Engineering, University of Tishreen; Tartous, Syria

***Postgraduate student(Master's Degree);Department of Equipment & Vehicles Engineering, Faculty of Technical Engineering, University of Tishreen; Tartous, Syria.

مقدمة:

إن تخفيض الأحمال الحرارية للأبنية وتحسين الشعور بالارتياح الحراري للقائنين فيها، جعل الكثير من الباحثين يلجؤون إلى طرق كثيرة لتحقيق ذلك وخاصة باستغلال الطاقة الشمسية كمصدر طاقة نظيف ورخيص لا ينضب. ومن أجل التقليل من الاعتماد على الوقود التقليدي الذي سوف ينضب في المستقبل القريب، بالإضافة إلى الارتفاع المتزايد في ثمنه.

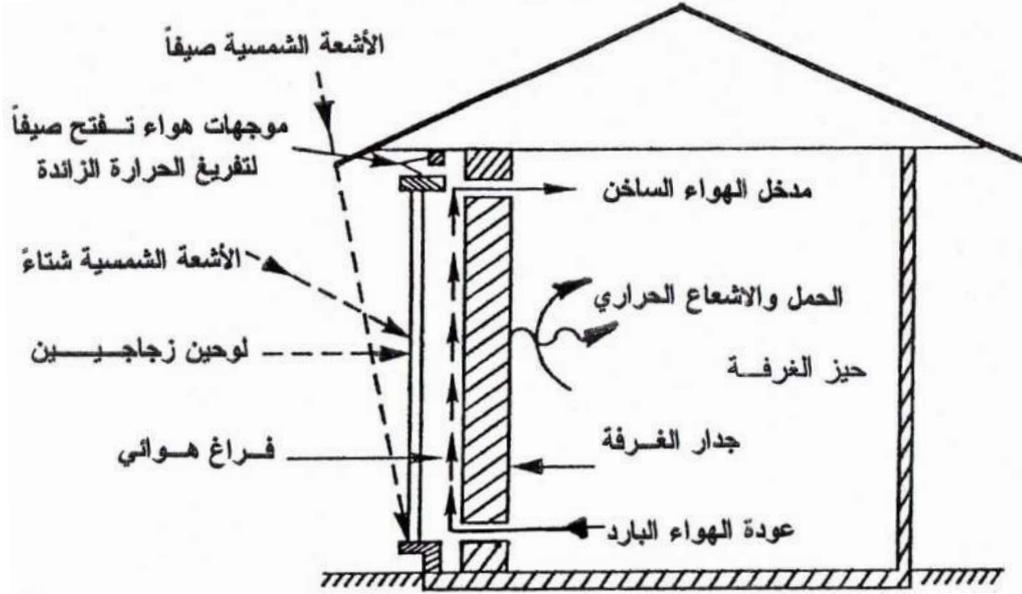
لذلك أجريت الكثير من الأبحاث بهدف تخفيض الأحمال الحرارية للأبنية ومن ثم ترشيد استهلاك الطاقة التقليدية باستخدام أنظمة التدفئة والتبريد السلبية المختلفة. فمنها من استخدم مواد خازنة للحرارة ضمن مكونات الجدار [1,2,3,4,5]، حيث تبين أن واحدة من أكثر الطرق شيوعاً المستخدمة في التسخين السلبي هي استخدام جدار مصمت من أجل تخزين الحرارة، وهناك عدة عوامل تؤثر في أداء الجدار، كالمساحة والمادة المستخدمة في تخزين الحرارة. وقد قُدم في هذه الدراسة نموذج يُقرر مدى صلاحية هذه المواد كأوساط تخزين حراري تحت شروط المناخ الحقيقية. لأجل هذه الغاية، تم تقييم التغير في درجة حرارة الغرفة ضمن مجال قدرة التخزين لكل مادة باستخدام سماكات مختلفة لكل جدار. ومنها استخدم المدخنة الشمسية [6,7,8]. في هذه الدراسة تم توظيف التبريد السلبي ك تقنية للتخلص من الحرارة الداخلية غير المرغوب بها من البناء في الفصل الحار. وتظهر النتيجة أن المدخنة الشمسية يمكن أن تستخدم بشكل تام لمد نظام التبريد تحت الأرض بالطاقة خلال النهار وبدون أي حاجة للكهرباء. وهناك بحث يتحدث عن تأثير بعض خواص الجدار الخازن للحرارة في مستودع لتخزين العسل [9] حيث تمت دراسة حفظ الطاقة، وتقليل انبعاث ثاني أكسيد الكربون واقتصاديات التعديل الإنشائي لبناء مستودع تخزين العسل مع جدار خازن للحرارة لتطبيق تسخين خلال فصل الشتاء. أظهر البحث أنه يمكن المحافظة على درجة حرارة هواء الغرفة بسهولة ضمن مجال درجات الحرارة المناسب من أجل تخزين العسل باستخدام جدار خازن للحرارة ذي فتحات. وقد تم تنفيذ العمل تجريبياً. كما أجريت بعض الأبحاث لتأثير استخدام جدار خازن للحرارة في الأبنية السكنية في بلدان ذات معطيات مناخية مختلفة [10,11,12,13]. لتأمين شروط الارتياح من درجة حرارة ورطوبة داخلية.

سنقوم بدراسة تأثير البارامترات الآتية للجدار الخازن للحرارة (الإيصالية الحرارية . السعة الحرارية النوعية . سماكة الفراغ الهوائي) على حمل التدفئة الكلي عند الشروط المناخية لمدينة طرطوس.

أهمية البحث وأهدافه:

تختلف درجة الحرارة في الأماكن المختلفة من سطح الكرة الأرضية تبعاً لتغير فصول السنة. ويأتي عادة الشتاء في بعض هذه الأماكن شديد البرودة، مما يتطلب تصميم وتركيب نظم تدفئة للمساكن والمباني العامة. يتحول الإشعاع الشمسي إلى حرارة، وكل ما على الإنسان فعله، هو استغلال التحويل الحراري لتلبية احتياجاته، وهذا ينطبق بشكل مباشر على بناء السكن، فمنذ أن بدأ الإنسان يبني بيتاً لنفسه أخذ باستغلال مهاراته للاستفادة من التأثير الحراري للشمس للحصول على تدفئة مريحة. وما الاهتمام الحالي بالبيوت الشمسية إلا إعادة لاكتشاف الاهتمامات القديمة للإنسان بشكل أكثر تقنية. بحيث تبقى أمراً واقعاً لاستخدام الطاقة الشمسية في المنازل. يعتبر الجدار الخازن للحرارة (Trombe-wall, TW) واحداً من أنظمة التدفئة الشمسية السلبية فهو يعتبر إلى حد ما كإلحاق شمسي ذي سعة حرارية عالية، ويربط مباشرة مع البناء المراد تدفئته، حيث يقوم بتجميع وتخزين الطاقة الشمسية التي تستخدم لاحقاً في تدفئة البناء. يتم انتقال الحرارة من الجدار إلى داخل البناء إما عن طريق الإشعاع

والحمل من السطح الداخلي للجدار أو عن طريق الهواء المار عبر الفراغ الموجود بين الجدار والغطاء الزجاجي من خلال فتحات موجودة في أسفل وأعلى الجدار. إن دوران الهواء ضمن فراغ الجدار يمكن أن يتم بشكل حر نتيجة فرق درجات الحرارة بين هواء البناء والهواء الموجود ضمن فراغ الجدار (وهو المعتمد في هذا البحث) أو أن يتم دوران الهواء بشكل قسري باستخدام مروحة. يظهر الشكل (1) جدار خازن للحرارة وماهية عمله.



الشكل (1) جدار خازن للحرارة (Trombe Wall-TW)

فالبحث يهدف إلى دراسة تصميمية رقمية لدور بارامترات الجدار الخازن للحرارة (TW) في تخفيض أحمال التدفئة الذي يؤدي بدوره إلى ترشيد استهلاك الطاقة التقليدية مما يؤدي إلى تحسين الشعور بالراحة الحرارية للقاطنين في البناء وذلك باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS (برنامج محاكاة الأنظمة الحرارية العابرة TRaNsient SYstems Simulation [14]). عند الشروط المناخية لمدينة طرطوس.

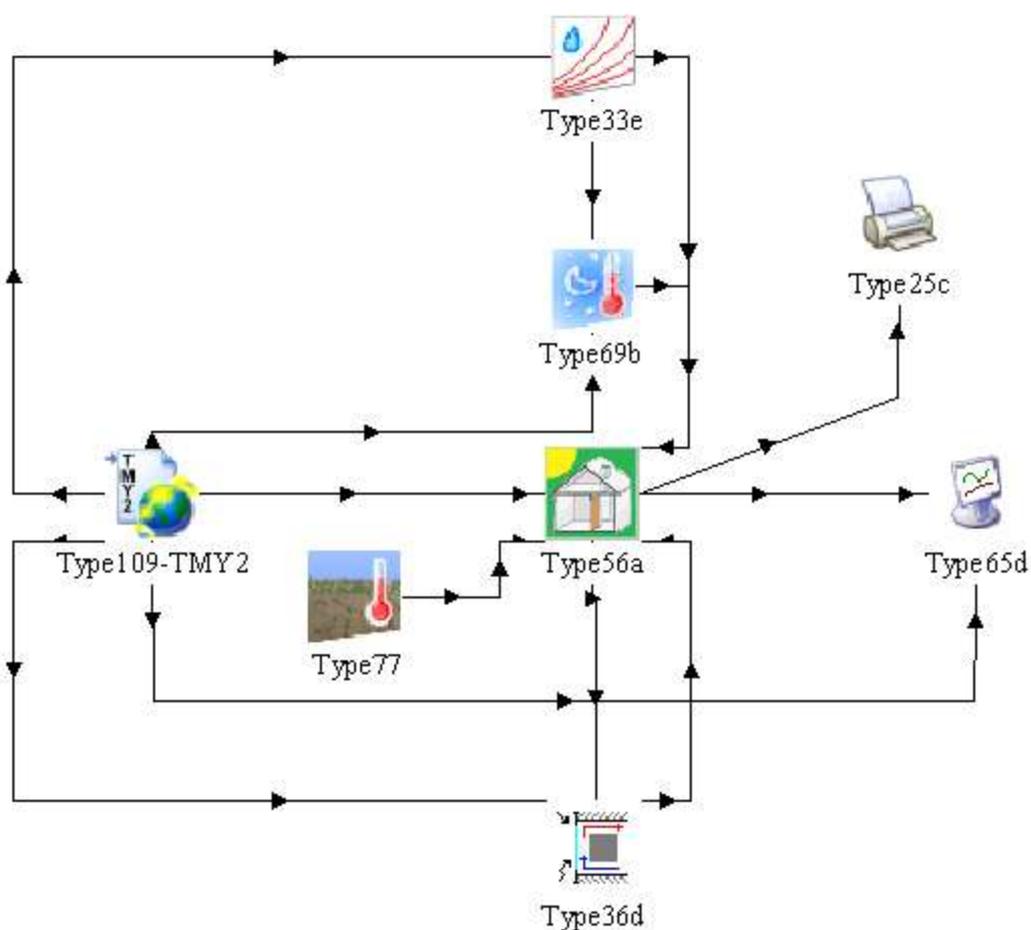
طرائق البحث ومواده:

إن برنامج TRNSYS عبارة عن بيئة متكاملة بإمكانها تصميم ومحاكاة أنظمة الطاقات المتجددة المتغيرة مع الزمن. لذلك تم استخدامه لتقييم السلوك الحراري للأبنية حيث يأخذ بالحسبان تأثير متغيرات متعددة كالمعطيات المناخية ومكونات واتجاه البناء، بالإضافة إلى تأثير استخدام الجدار الخازن للحرارة (Trombe-wall, TW) وخواصه. حيث يقوم بإجراء محاكاة للسلوك الحراري للبناء خلال فترة زمنية محددة وفقاً للمتغيرات السابقة وفي نهاية المحاكاة نستطيع معرفة مقدار الانخفاض في أحمال التدفئة وأيضاً الارتفاع في درجة الحرارة الداخلية من أجل خواص ومتغيرات مختلفة للجدار الخازن للحرارة.

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 وخواص مكوناته. والمكون Type36 يرمز إلى الجدار الخازن للحرارة (Trombe-wall) حيث يتم فيه تغيير الخواص الحرارية وأبعاد مكونات

الجدار. والمكون Type33e يرمز إلى درجة حرارة نقطة الندى والرطوبة النسبية والرطوبة المطلقة. والمكون Type69b يرمز إلى درجة حرارة السماء الفعالة (درجة الحرارة الرطبة) التي هي أقل دائماً من درجة حرارة الهواء، والمكون Type77 يرمز إلى درجة الحرارة السطحية للأرض، والمكون Type25c يرمز للطابعة والمكون Type65d يرمز إلى الراسم لإظهار النتائج التي يتم الحصول عليها من البرنامج بعد إدخال الثوابت والمتغيرات المتعلقة بكل مكون. كما يظهر في الشكل (2) لوحة محاكاة البناء وفق برنامج TRNSYS.

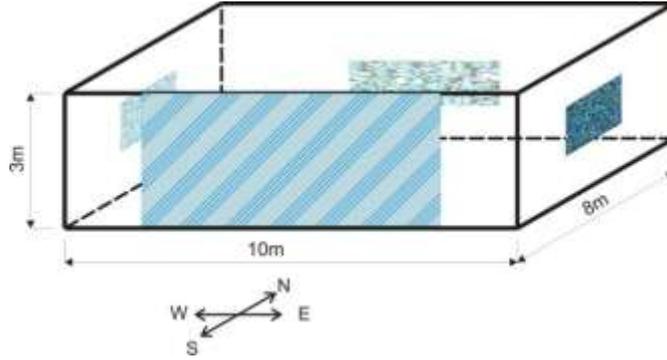
تم الحصول على قيم الإشعاع الشمسي اللحظي الساقط على سطح أفقي والمعطيات المناخية لمدينة طرطوس باستخدام برنامج [15]Meteonorm. حيث يتم الحصول على ملف المعطيات المناخية بالتنسيق المعياري TMY والذي تتم قراءته من قبل برنامج TRNSYS باستخدام مكون (Type109-TMY2) الذي يقوم بحساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على جدران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



الشكل (2) لوحة محاكاة البناء وفق برنامج TRNSYS

مواصفات البناء:

تمت الدراسة على بناء في مدينة طرطوس (خط عرض $37^{\circ}53'N$ خط طول $53^{\circ}53'E$) في سوريا. أبعاد البناء معطاة بالأمتار كما تظهر في الشكل (3).



الشكل (3) مخطط منظوري للبناء

- نسبة المساحة الزجاجية للجدار الشمالي 15% من مساحة الجدار. بينما للجدار الشرقي والغربي هي 10% من مساحة الجدار.
- درجة حرارة التدفئة المطلوبة 22°C .
- تتكون الجدران الخارجية من ثلاث طبقات: طبقة وسطى مؤلفة من بلوك أسمنتي مفرغ (سماكة 20[cm]) وتوريقية أسمنتية (سماكة 1.5[cm]) لكل من الطبقة الداخلية والطبقة الخارجية.
- وكذلك للسقف بنية مكونة من ثلاث طبقات، الطبقة الداخلية توريقية أسمنتية (سماكة 1.5[cm]) بلوك أسمنتي مفرغ هوردي (سماكة 20[cm]) وبيتون مسلح (سماكة 10[cm]).
- أما الأرضية فالطبقة الأولى من البلاط (سماكة 5[cm])، الطبقة الثانية من جص رملي (سماكة 2.5[cm]) والطبقة الأخيرة من خرسانة إنشائية (سماكة 40[cm]).
- النوافذ من الزجاج، معامل انتقال الحرارة: $U=5.68 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
- يبين الجدول (1) الخواص الفيزيائية الحرارية (الفيزيائية الحرارية) لمواد البناء. [16]

الجدول (1) الخصائص الفيزيائية الحرارية لمواد البناء [16]

المادة	الإصلالية الحرارية λ [W/m.K]	السعة الحرارية النوعية C_p [kJ/kg.K]	الكثافة P [kg/m ³]
توريقية أسمنتية	0.60	1	1200
بلوك اسمنتي عادي . مفرغ	1.30	0.365	1800
خرسانة إنشائية	2.10	1	2400
بلوك اسمنتي عادي . هوردي	0.95	0.88	1400
بلاط بحصة	1.60	0.95	2450
جص رملي	1.74	0.84	2240
باب خشب معاكس	0.10	1.88	350

ويبين الجدول (2) بارامترات الجدار الخازن للحرارة المستخدمة في هذا البحث.

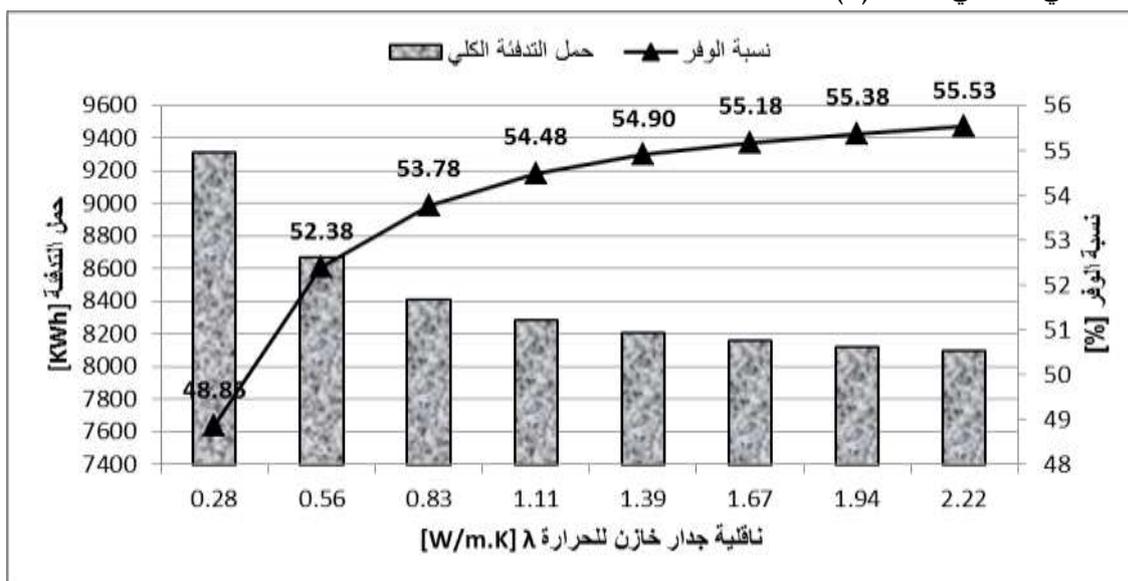
الجدول (2) خواص الجدار الخازن للحرارة (Trombe-wall)

البارامتر	القيم	الواحدة
سماكة الجدار	0.2	M
الايصالية الحرارية	متغيرة	W/m.K
السعة الحرارية النوعية	متغيرة	kJ/kg.K
امتصاصية الجدار	0.9	-
مساحة الجدار	30	m ²
سماكة الفراغ الهوائي	متغيرة	M

النتائج والمناقشة:

تأثير ايصالية جدار خازن للحرارة على حمل التدفئة

لقد تم إجراء المحاكاة الساعية خلال فصل الشتاء كاملاً من أجل قيمة لسماكة جدار خازن للحرارة مساوية 0.20[m] مع قيم مختلفة لإيصالته بعد أخذ عرضه مساوياً لعرض واجهة البناء [m] 10 ومن ثم حساب حمل التدفئة الكلي. كما في الشكل (4).



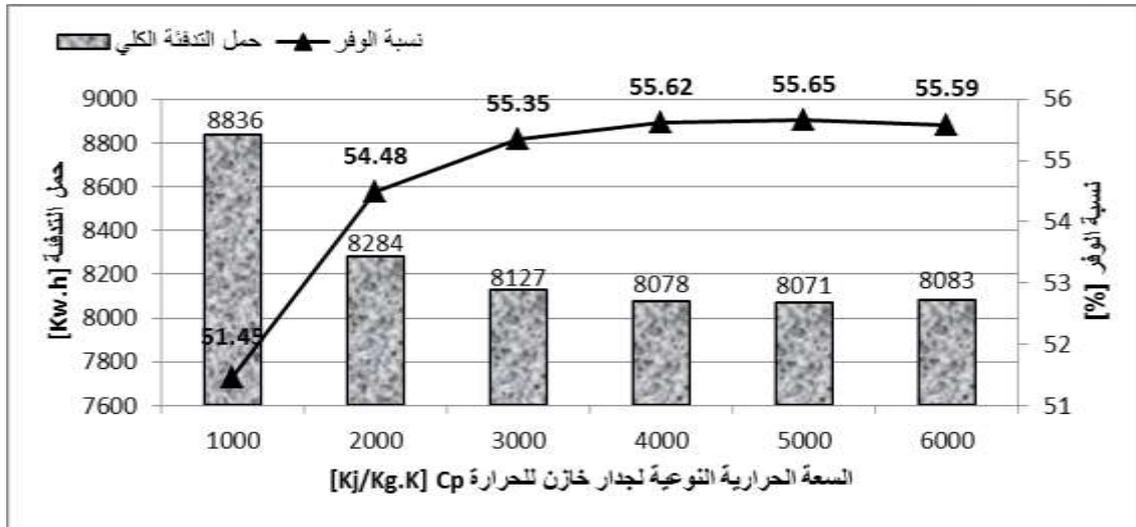
الشكل (4) تأثير ايصالية جدار خازن للحرارة في حمل التدفئة الكلي

نلاحظ من الشكل (4) وعندما $\lambda = 1.11 [W/m.K]$ يحدث انخفاض في حمل التدفئة الكلي، بحيث يكون الفرق مساوياً $1025 [kWh]$ بالمقارنة مع $\lambda = 0.28 [W/m.K]$ ، محققاً زيادة في الوفر مقداره 5.63% . أما من أجل $\lambda = 1.67 [W/m.K]$ يكون الانخفاض في حمل التدفئة الكلي محققاً فرقاً مساوياً $126 [kWh]$ بالمقارنة مع $\lambda = 1.11 [W/m.K]$. محققاً زيادة في الوفر مقداره 0.69% . لذلك نختار ايصالية جدار خازن للحرارة المثلى مساوية $\lambda = 1.11 [W/m.K]$. حيث أنه عند أي زيادة للايصالية الحرارية للجدار عن القيمة $\lambda = 1.11 [W/m.K]$ يكون مقدار الزيادة في نسبة الوفر أقل من 0.5% .

تأثير السعة الحرارية النوعية لجدار خازن للحرارة على حمل التدفئة

تم إجراء المحاكاة الساعية خلال فصل الشتاء كاملاً من أجل قيم مختلفة للسعة الحرارية النوعية لجدار خازن للحرارة بعد أخذ عرضه مساوياً لعرض واجهة البناء 10 [m] وسماكته 0.20 [m] وإيصالته $\lambda = 1.11\text{ [W/m.K]}$ ومن ثم تم حساب حمل التدفئة الكلي، كما في الشكل (5)، حيث نلاحظ أنه مع زيادة السعة الحرارية النوعية للجدار، ينخفض حمل التدفئة الكلي. والانخفاض في حمل التدفئة ناتج عن دور الجدار الخازن للحرارة في امتصاص الحرارة وتخزينها. ومن ثم طرحها إلى داخل البناء الملاصق له بالحمل والإشعاع من السطح الداخلي للجدار الخازن للحرارة وهذا يضمن الوفرة في حمل التدفئة داخل البناء.

يظهر الشكل (5) أنه عند $Cp = 2000\text{ [kJ/kg.K]}$ نحصل على زيادة في نسبة الوفرة مقدارها 3.03% . وهي أكبر زيادة مقارنة مع قيم السعة الحرارية النوعية الأخرى. حيث إن أي زيادة للسعة الحرارية النوعية عن القيمة $Cp = 2000\text{ [kJ/kg.K]}$ يكون مقدار الزيادة في نسبة الوفرة أقل من 1% .



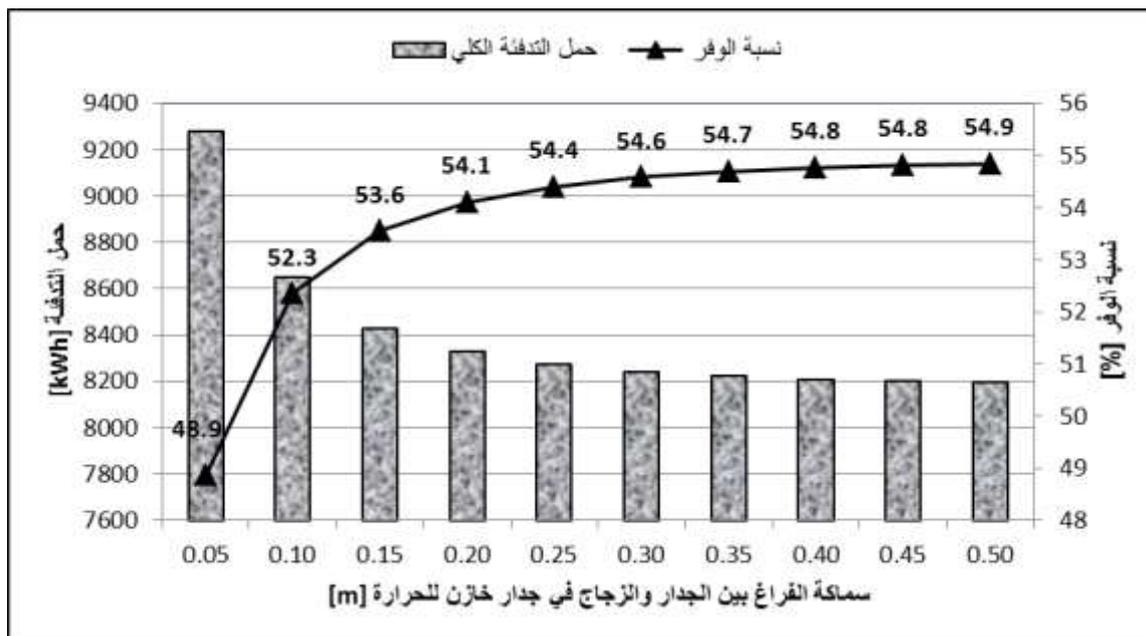
الشكل (5) تأثير السعة الحرارية النوعية لجدار خازن للحرارة في حمل التدفئة الكلي ونسبة الوفرة

تأثير سماكة الفراغ بين الجدار والزجاج لجدار خازن للحرارة على حمل التدفئة

لقد تم إجراء المحاكاة الساعية خلال فصل الشتاء كاملاً من أجل قيم مختلفة لسماكة الفراغ بين الجدار والزجاج لجدار خازن للحرارة. بعد أخذ عرضه مساوياً لعرض واجهة البناء 10 [m] وسماكته 0.20 [m] وإيصالته $\lambda = 1.11\text{ [W/m.K]}$ وسعته الحرارية النوعية $Cp = 2000\text{ [kJ/kg.K]}$ من ثم حساب حمل التدفئة الكلي.

نلاحظ من الشكل (6) أنه مع زيادة سماكة الفراغ بين الجدار والزجاج ينخفض حمل التدفئة الكلي. ومن ثمّ تزداد نسبة الوفرة في حمل التدفئة وهذا ناتج عن زيادة كمية الإشعاع الشمسي الممتص من قبل الهواء الموجود في الفراغ، ومن ثمّ زيادة الطاقة الحرارية المنتقلة إلى داخل البناء بالحمل من خلال الهواء المتدفق الموجود بين السطح الخارجي للجدار الخازن للحرارة والغطاء الزجاجي.

نلاحظ من الشكل (6) أن السماكة المثلى للفراغ الهوائي هي 0.2 [m] ، حيث نحصل على نسبة وفرة في حمل التدفئة مقدارها 54.1% ، وعند أي زيادة في السماكة عن هذه القيمة يكون مقدار الزيادة في الوفرة أقل من 0.5% .

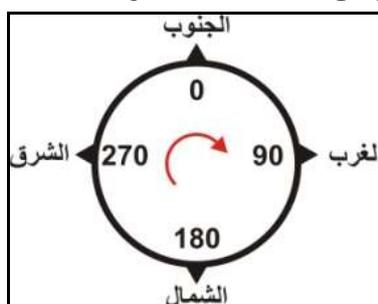


الشكل (6) تأثير سماكة الفراغ بين الجدار والزجاج في جدار خازن للحرارة في حمل التدفئة الكلي ونسبة الوفر.

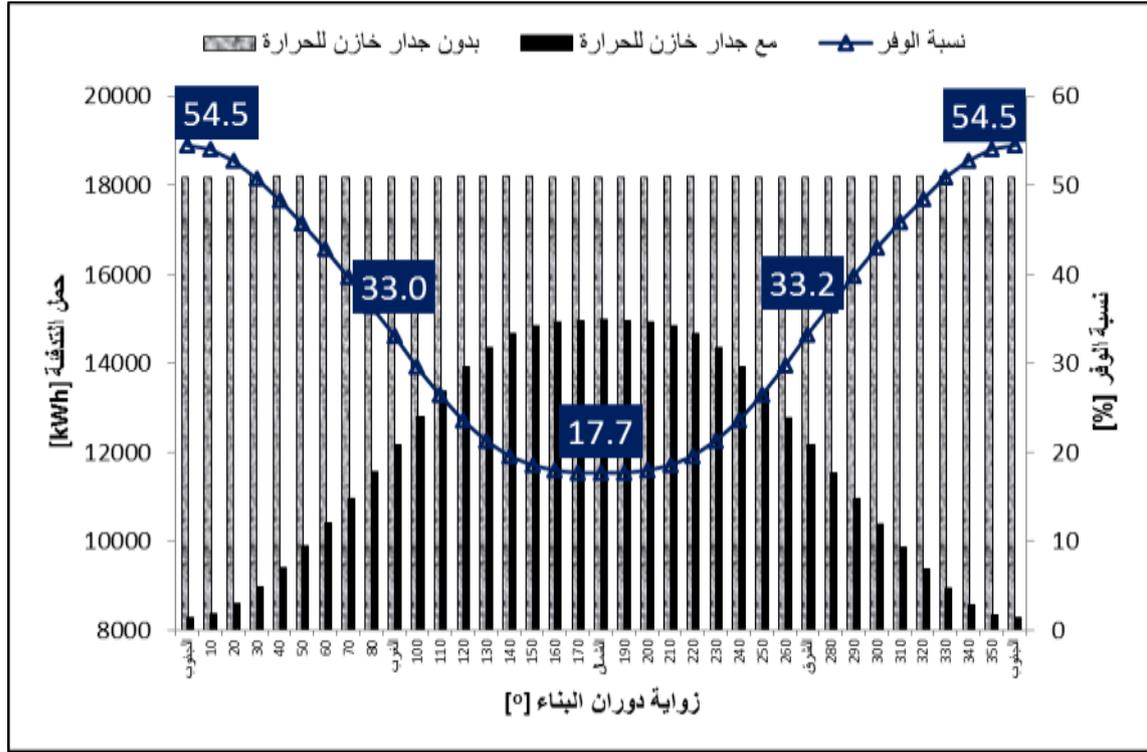
تأثير اتجاه الجدار الخازن للحرارة على حمل التدفئة

لقد تم إجراء المحاكاة الساعية باستخدام البرنامج TRNSYS خلال فصل الشتاء كاملاً لبناءين: الأول مزود بجدار خازن للحرارة، والثاني بدون حساب أحمال التدفئة الساعية، ومن ثم حساب حمل التدفئة الكلي في فصل الشتاء مع مواضع مختلفة للجدار الخازن للحرارة، ومقارنته مع حمل التدفئة الكلي للبناء غير المزود بجدار خازن للحرارة. وبعد ذلك تم حساب الوفر في حمل التدفئة الكلي نتيجة استخدام الجدار الخازن للحرارة. يبين الشكل (7) كيفية تدوير البناء ليأخذ اتجاهات مختلفة، ويبين الشكل (8) تأثير اتجاه الجدار الخازن للحرارة على حمل التدفئة الكلي، ونسبة الوفر في هذا الحمل في فصل الشتاء للبناء المدروس.

نلاحظ من الشكل (8) أن أفضل اتجاه لجدار خازن للحرارة هو باتجاه الجنوب حيث نحصل على أقل حمل تدفئة وأعلى نسبة وفر في حمل التدفئة، فقد وجدنا أن حمل التدفئة الكلي ينخفض بمقدار [%] 54.5 بينما عند توجيه الجدار الخازن للحرارة باتجاه الشرق تكون نسبة الوفر [%] 33.2 وتوجيهه باتجاه الغرب تكون نسبة الوفر [%] 33 في حين توجيهه نحو الشمال يؤدي إلى انخفاض حمل التدفئة بمقدار [%] 17.7 فقط. بناء على ذلك تم توجيه الجدار الخازن للحرارة باتجاه الجنوب للبناء المدروس. أيضاً يظهر الشكل (8) الرسم البياني لنسبة الوفر خلال دوران البناءين، حيث يوجد في كل اتجاه وفر تكون قيمته عظمى عند التوجه نحو الجنوب وتأخذ بالانخفاض كلما دار البناء باتجاه الشمال ومن ثم تعاود الازدياد عند الدوران من الشمال باتجاه الجنوب.



الشكل (7) اتجاه دوران البناء



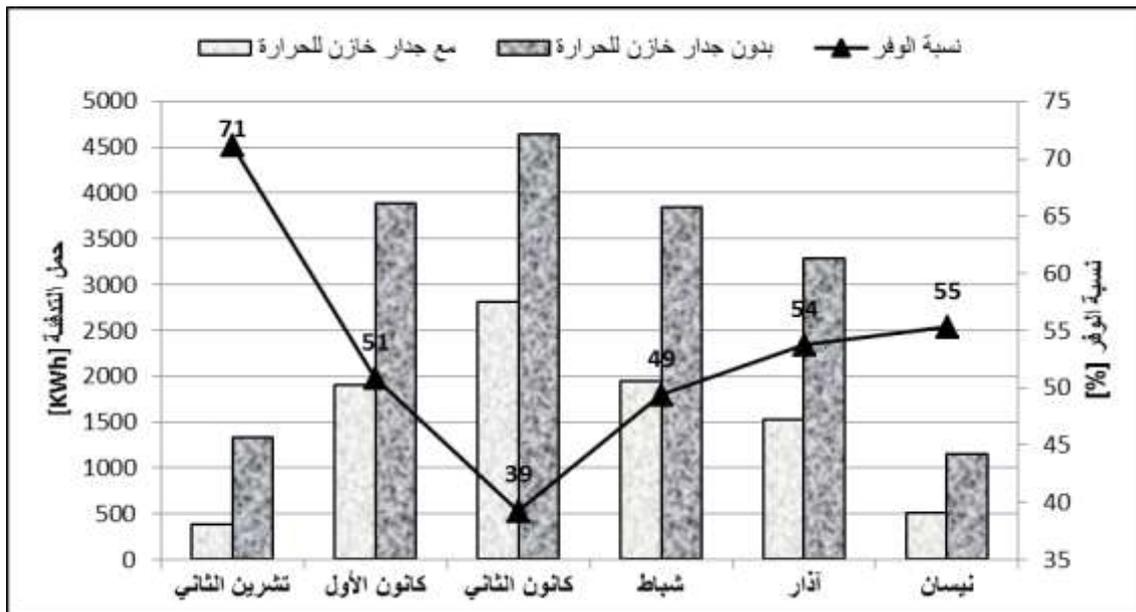
الشكل (8) تأثير اتجاه جدار خازن للحرارة في حمل التدفئة الكلي ونسبة الوفر

تأثير استخدام الجدار الخازن للحرارة على أحمال التدفئة الشهرية

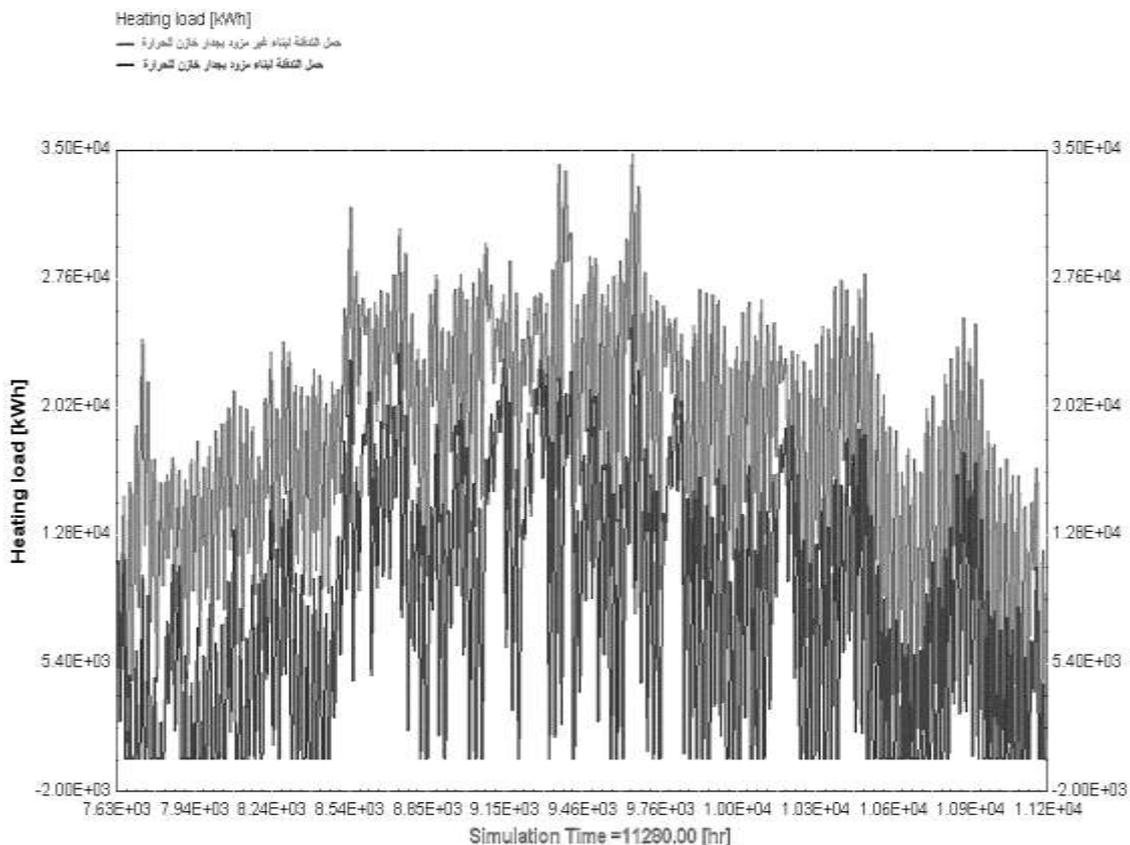
يبين الشكل (9) تغيرات حمل التدفئة الشهري للبناءين الأول غير مزود بجدار خازن للحرارة والثاني مزود. نلاحظ من الشكل (9) الارتفاع الواضح في نسبة الوفر في حمل التدفئة بين البناءين وتصل أكبر نسبة وفر إلى [71%]. في شهر تشرين الثاني. وأقل نسبة وفر إلى [39%] في شهر كانون الثاني لأن حمل التدفئة في هذا الشهر أكبر بينما شدة الإشعاع الشمسي أقل ومن ثم كسب حراري أقل من الجدار الخازن للحرارة.

وبين الشكل (10) تغير حمل التدفئة الساعي للبناءين السابقين طيلة أشهر التدفئة.

نلاحظ من الشكلين (9) و(10) بأن الانخفاض في حمل التدفئة ناتج عن دور الجدار الخازن للحرارة في امتصاص الحرارة وتخزينها. ومن ثم طرحها إلى داخل البناء الملاصق له بالحمل والإشعاع من السطح الداخلي للجدار الخازن للحرارة وبالحمل من خلال تمرير الهواء من الفراغ بين الجدار والزجاج إلى داخل البناء الملاصق له وهذا يضمن الوفر في حمل التدفئة داخل البناء.



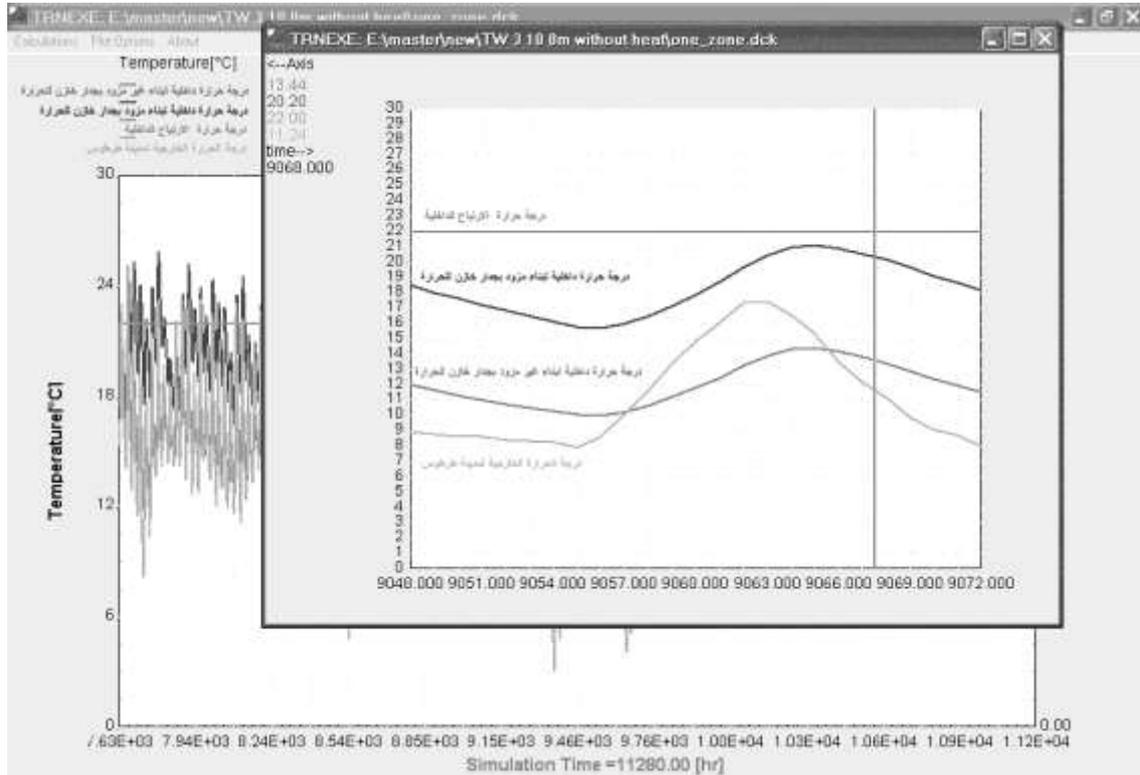
الشكل (9) تغير حمل التدفئة الكلي الشهري للبنائين مع جدار خازن للحرارة ومع عدم وجوده ونسبة الوفر



الشكل (10) تغير حمل التدفئة الساعي للبنائين مع جدار خازن للحرارة ومع عدم وجوده طيلة أشهر فصل الشتاء

تأثير استخدام الجدار الخازن للحرارة على درجة حرارة الهواء الداخلية

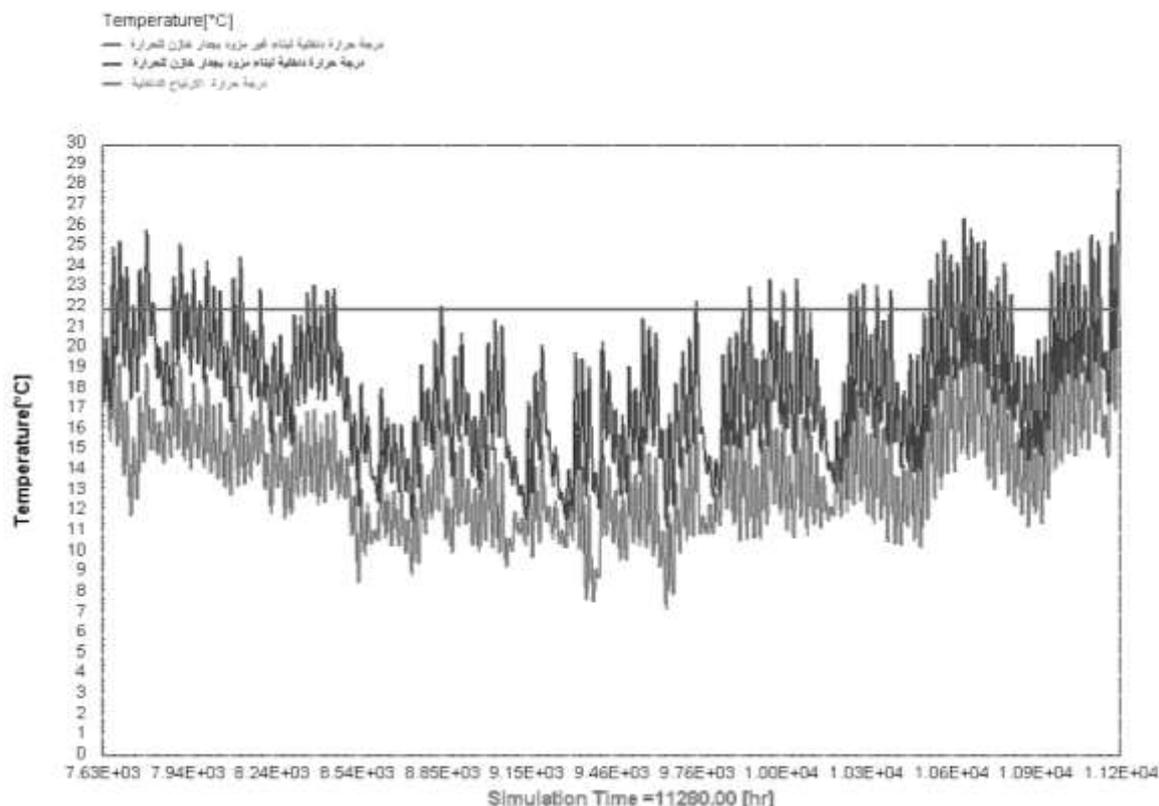
يبين الشكل (11) تغير درجة حرارة الهواء الداخلية للبناءين الأول من دون جدار خازن للحرارة والثاني مزود بجدار خازن للحرارة في يوم 12 كانون الثاني. حيث نلاحظ أنه عند الساعة 8pm نحصل على أعظم قيمة لارتفاع درجة حرارة الهواء الداخلية وقيمتها $\Delta t = 6.8 [^{\circ}\text{C}]$.



الشكل (11) تغير درجة حرارة البناءين مع جدار خازن للحرارة وبدونه خلال كامل فصل التدفئة ويوضح الشكل الصغير يوم 12 كانون الثاني حيث تحصل القيمة العظمى عند الساعة 8pm

ويبين الشكل (12) التغير الساعي طيلة أشهر فصل الشتاء لدرجة حرارة الهواء الداخلية للبناءين الأول غير مزود بجدار خازن للحرارة والثاني مزود. ونلاحظ من الشكل (12) الارتفاع الواضح في درجة حرارة هواء البناء المزود بجدار خازن للحرارة مقارنة بالبناء الآخر. هذا يؤدي إلى اقتراب درجة حرارة الهواء الداخلية من درجة الحرارة المطلوبة لتحقيق الارتياح الحراري للقاطنين في البناء في فصل التدفئة $22 [^{\circ}\text{C}]$.

إن الارتفاع في درجة الحرارة الداخلية ناتج عن دور الجدار الخازن للحرارة في امتصاص الحرارة وتخزينها. ومن ثم طرحها إلى داخل البناء الملاصق له بالحمل والإشعاع من السطح الداخلي لهذا الجدار وبالحمل من خلال تمرير الهواء من الفراغ بين الجدار والزجاج إلى داخل البناء الملاصق له، وهذا يضمن الشعور بالراحة للقاطنين داخل البناء. أي إن استخدام الجدار الخازن للحرارة يجعل درجة الحرارة الداخلية للبناء قريبة من درجة حرارة الارتياح الحراري $22 [^{\circ}\text{C}]$ وكما هو واضح على الشكل (12).

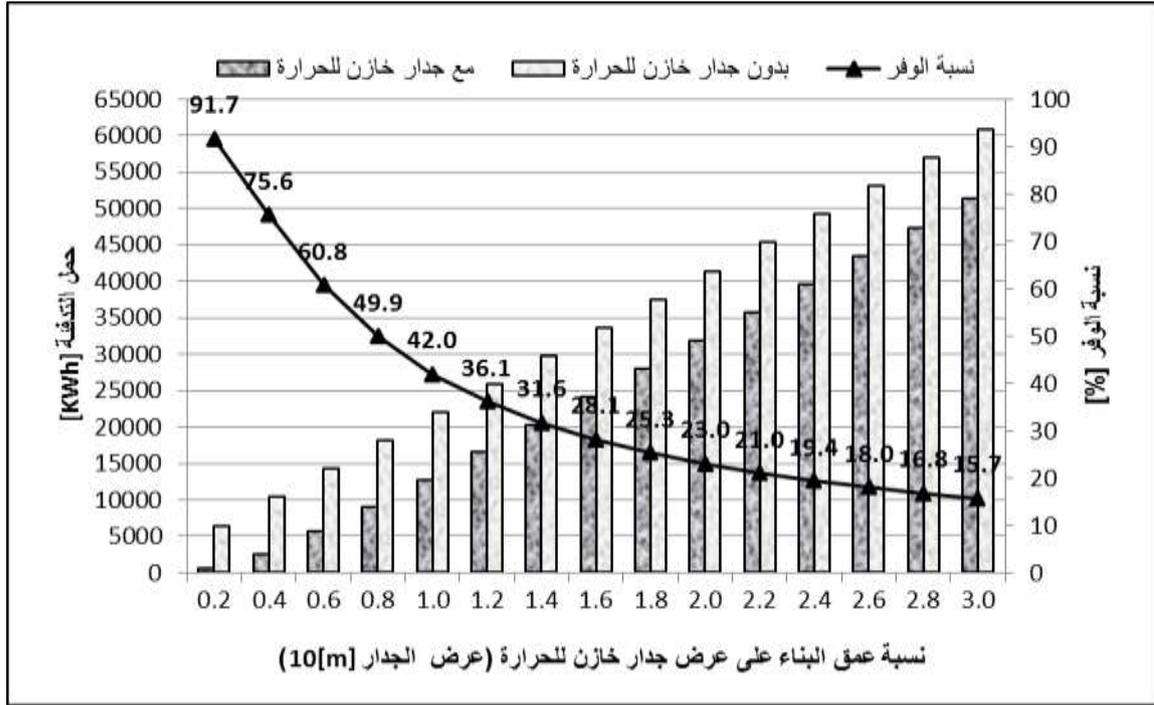


الشكل (12) تغير درجة حرارة البنائين مع جدار خازن للحرارة ومع عدم وجوده طيلة أشهر فصل الشتاء

تأثير نسبة عمق البناء إلى عرض جدار خازن للحرارة على حمل التدفئة

من أجل تعميم الدراسة على أبعاد مختلفة لعمق البناء (طول البناء العمودي على الجدار الخازن للحرارة)، فقد تم إجراء المحاكاة الساعية باستخدام البرنامج TRNSYS خلال فصل الشتاء كله لبنائين: الأول مزود بجدار خازن للحرارة، والثاني بدون، وذلك من أجل حساب أحمال التدفئة الساعية، ومن ثم حساب حمل التدفئة الكلي في فصل الشتاء عند قيم مختلفة لعمق البناء بالنسبة لعرض جدار خازن للحرارة ومقارنته مع حمل التدفئة الكلي للبناء غير المزود بجدار خازن للحرارة. وبعد ذلك تم حساب الوفر في حمل التدفئة الكلي نتيجة استخدام جدار خازن للحرارة. الشكل (13).

نلاحظ من الشكل (13) أن نسبة الوفر في حمل التدفئة تتخفف مع زيادة نسبة عمق البناء إلى عرض جدار خازن للحرارة ويكون هذا الانخفاض كبيراً من أجل النسب أقل من 1 بينما يكون الانخفاض أقل من أجل النسب أكبر من 1. هذا ناتج عن عدم إمكانية وصول الهواء الساخن لمسافة أكبر.



الشكل (13) تغير نسبة الوفر اعتماداً على عمق البناء

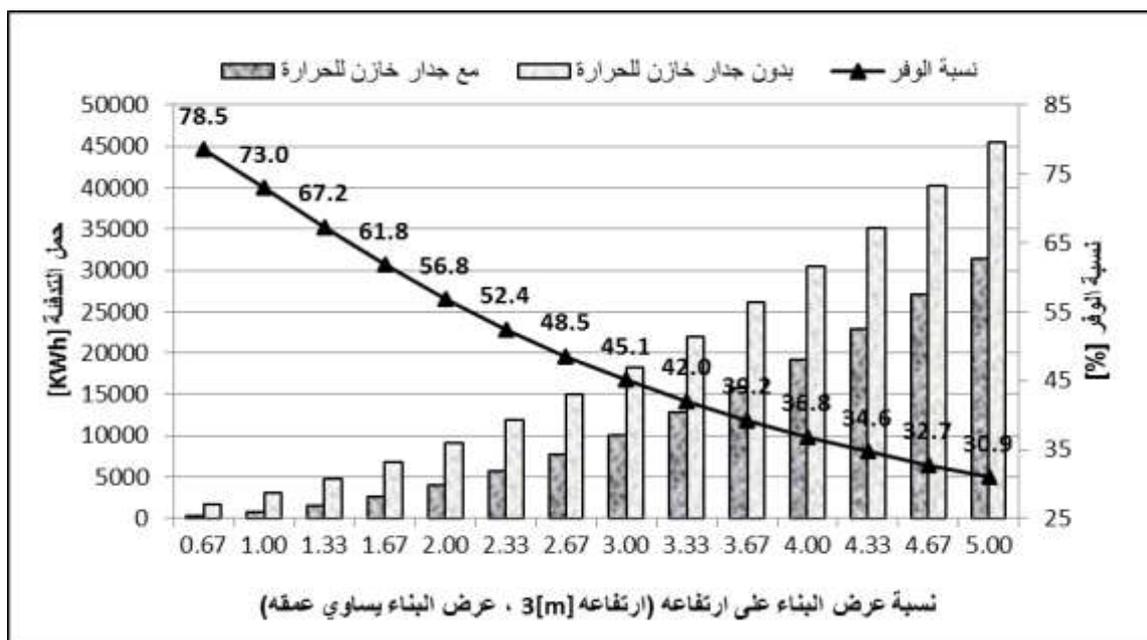
تأثير نسبة عرض البناء إلى ارتفاعه على حمل التدفئة

من أجل تعميم الدراسة على أبعاد مختلفة للبناء (حجوم بناء مختلفة)، فقد تم إجراء المحاكاة الساعية باستخدام البرنامج TRNSYS خلال كامل فصل الشتاء لبناءين.

الأول مزود بجدار خازن للحرارة، والثاني غير مزود بجدار خازن للحرارة لحساب أحمال التدفئة الساعية، ومن ثم حساب حمل التدفئة الكلي في فصل الشتاء عند قيم مختلفة لعرض جدار خازن للحرارة بالنسبة إلى ارتفاعه (علمياً أن عمق وعرض البناء يساوي عرض الجدار الخازن للحرارة وارتفاع البناء يساوي ارتفاع الجدار الخازن للحرارة) ومقارنته مع حمل التدفئة الكلي لبناء غير المزود بجدار خازن للحرارة. وبعد ذلك تم حساب الوفر في حمل التدفئة الكلي نتيجة استخدام جدار خازن للحرارة. يبين الشكل (14) تأثير نسبة عرض البناء على ارتفاع الجدار الخازن للحرارة في حمل التدفئة الكلي، ونسبة الوفر في هذا الحمل في فصل الشتاء للبناء المدروس.

نلاحظ من الشكل (14) أن نسبة الوفر في حمل التدفئة تتخفف مع زيادة عرض الجدار وعمق البناء أي مع زيادة حجم البناء، وهذا لأن كمية الحرارة المقدمة من الجدار الخازن للحرارة غير كافية لتغطية حمل التدفئة الزائد الناتج من زيادة حجم البناء.

نستطيع من الشكل (14) تحديد نسبة الوفر في حمل التدفئة من أجل قيم مختلفة لعرض وعمق البناء (من أجل أي حجم للبناء).



الشكل (14) تغير حمل التدفئة ونسبة الوفر مع تغير نسبة عرض البناء إلى ارتفاعه

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد إجراء المحاكاة على بناءين لدراسة تأثير بارامترات الجدار الخازن للحرارة على حمل التدفئة ودرجة الحرارة الداخلية باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS نستنتج ما يأتي:

. انخفاض حمل التدفئة الكلي مع زيادة الإيصالية للجدار الخازن للحرارة، فعند أخذ عرضه مساوياً لعرض واجهة البناء 10 [m] وسماكته 0.20 [m] وإيصالية $\lambda = 1.11\text{ [W/m.K]}$ يكون الفرق مساوياً 1025 [kWh] مقارنة بالحالة عندما $\lambda = 0.28\text{ [W/m.K]}$. محققاً زيادة في الوفر مقداره 5.63% . وعند زيادة الإيصالية عن القيمة $\lambda = 1.11\text{ [W/m.K]}$ تزداد نسبة الوفر بمقدار أقل من 0.5% .

. انخفاض حمل التدفئة الكلي مع زيادة السعة الحرارية النوعية للجدار الخازن للحرارة، فعند أخذ عرضه مساوياً لعرض واجهة البناء 10 [m] وسماكته 0.20 [m] وإيصاليته $\lambda = 1.11\text{ [W/m.K]}$ وعند زيادة السعة الحرارية النوعية من $C_p = 1000\text{ [kJ/kg.K]}$ إلى $C_p = 2000\text{ [kJ/kg.K]}$ نحصل على زيادة في نسبة الوفر مقدارها 3.03% .

. انخفاض حمل التدفئة الكلي مع زيادة سماكة الفراغ بين الجدار حيث إن أي زيادة في السماكة عن القيمة 0.20 [m] تكون الزيادة في نسبة الوفر بمقدار أقل من 0.5% .

. إن أفضل موقع للجدار الخازن للحرارة باتجاه الجنوب حيث نحصل على أكبر نسبة وفر في حمل التدفئة يصل إلى 54.5% .

. ازدياد درجة حرارة الهواء الداخلية بشكل واضح عند استخدام الجدار الخازن للحرارة مما يؤمن الشعور بالراحة للقاطنين في البناء، ويصل أكبر ارتفاع في درجة حرارة الهواء الداخلية إلى $6.8\text{ [}^\circ\text{C]}$. في يوم 12 كانون الثاني الساعة 8 pm .

. تزداد نسبة الوفر في حمل التدفئة للبناء كلما كان عمق البناء أصغر من عرض الجدار الخازن للحرارة.

.تزداد نسبة الوفر في حمل التدفئة للبناء كلما كان عرض البناء أصغر من ارتفاعه.
 .نوصي بدراسة تأثير بارامترات أخرى للجدار الخازن للحرارة على حمل التدفئة (سماكة الجدار الخازن للحرارة، الخواص الضوئية للزجاج).
 .نوصي أن تتم دراسة تأثير الجدار الخازن للحرارة على تخفيض أحمال التبريد صيفاً.

المراجع:

- [1].KHALIFA, A. N., ABBAS, E. F., 2009 - *A comparative performance study of some thermal storage materials used for solar space heating*. Energy and Buildings, 41(4), 407-415.
- [2].ASTE, N., ANGELOTTI, A., BUZZETTI, M., 2009 - *The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings*. Energy and Buildings, 41(11), 1181-1187.
- [3].RIJKSEN, D. O., WISSE, C. J., VAN SCHIJNDEL, A. W. M., 2010 - *Reducing peak requirements for cooling by using thermally activated building systems*. Energy and Buildings, 42(3), 298-304.
- [4].KUHN, T. E., HERKEL, S., FRONTINI, F., STRACHAN, P., KOKOGIANNAKIS, G., 2011 -*Solar control: A general method for modeling of solar gains through complex facades in building simulation programs*. Energy and Buildings, 43(1), 19-27.
- [5].KHODAKARAMI, J., KNIGHT, L., NASROLLAHI, N., 2009 - *Reducing the demands of heating and cooling in Iranian hospitals*. Renewable Energy, 34(4), 1162-1168.
- [6].LEE, K. H., STRAND, R. K., 2009- *Enhancement of natural ventilation in buildings using a thermal chimney*. Energy and Buildings, 41(6), 615-621.
- [7]. CHUNGLOO, S., LIMMEECHOKCHAI, B., 2009 - *Utilization of cool ceiling with roof solar chimney in Thailand: The experimental and numerical analysis*. Renewable Energy, 34(3), 623-633.
- [8].MAEREFAT, M., HAGHIGHI, A. P., 2010 - *Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney*. Renewable Energy, 35(10), 2316-2324.
- [9].CHEL, A., NAYAK, J. K., KAUSHIK, G., 2008 - *Energy conservation in honey storage building using Trombe wall*. Energy and Buildings, 40(9), 1643-1650.
- [10].KALOGIROU, S. A., FLORIDES, G., TASSOU, S., 2002 - *Energy analysis of building employing thermal mass in Cyprus*. Renewable Energy, 27(3), 353-368.
- [11].CHEN, B., CHEN, H. J., MENG, S. R., CHEN, X., SUN, P., DING, Y. H., 2006 - *The effect of Trombe wall on indoor humid climate in Dalian, China*. Renewable Energy, 31(3), 333-343.
- [12].CHEN, B., CHEN, X., DING, Y. H., JIA, X., 2006 - *Shading effects on the winter thermal performance of the Trombe wall air gap: An experimental study in Dalian*. Renewable Energy, 31(12), 1961-1971.
- [13].YILMAZ, Z., KUNDAKCI, A. B., 2008- *An approach for Energy conscious renovation of residential buildings in Istanbul by Trombe wall system*. Building and Environment, 43(4), 508-517.
- [14].KLEIN, S. A. et al., 2006- *TRNSYS- a transient simulation program, User Manual*. University of Wisconsin-Madison, version 16.1, USA.
- [15]. Meteoronorm, Nov 1999- *Global Meteorological Database for Solar Energy Applied Meteorology*. Version 4.00.

[16] كود العزل الحراري للأبنية في الجمهورية العربية السورية، المركز الوطني لبحوث الطاقة - وزارة

الكهرباء.(2006)