مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (4) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (4) 2012

مقارنة استخدام كل من مادة متغيرة الطور(PCM) ومادة عازلة لتحسين الأداء الحراري للأبنية

الدكتور رامي جورج*
محمد ياسين**

(تاريخ الإيداع 26 / 3 / 2011. قُبِل للنشر في 14/ 6 / 2012)

ملخّص

يهدف البحث إلى دراسة برمجية تحليلية لتأثير استخدام المادة متغيرة الطور (RT27)، والمادة العازلة الستريوبور معاً على السلوك الحراري للبناء، وذلك باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS من أجل الشروط المناخية لمدينة اللاذقية.

أظهر البحث أنه عند استخدام المادة متغيرة الطور (RT27) بمفردها بسماكة [cm]2 نحصل على نسبة وفر في الحمل الحراري السنوي مقدارها [%]27.2. وعند استخدام المادة العازلة الستريوبور بمفردها بسماكة [cm]8 نحصل على نسبة وفر مقدارها [%]50.89 بينما عند استخدام المادتين معاً نحصل على نسبة وفر في الحمل الحراري السنوي مقدارها [%]64.34. أي بزيادة مقدارها [%]37.14 عن حالة استخدام المادة متغيرة الطور فقط و[%]13.45 عن حالة استخدام المادة العازلة فقط. وهذا يؤدي بدوره إلى تقليل استهلاك الطاقة التقليدية المستخدمة في تغطية الأحمال الحرارية السنوية.

أظهر البحث أن استخدام المادة متغيرة الطور والمادة العازلة معاً أدى إلى انخفاض درجة حرارة الهواء الداخلية نهاراً وارتفاعها ليلاً. وكان مقدار التأرجح في درجات الحرارة بين النهار والليل، عند استخدام المادتين معاً، أقل من حالة استخدام كل مادة بمفردها، مما يؤدى إلى الشعور بالارتياح الحراري بشكل أفضل لسكان البناء.

الكلمات المفتاحية: مواد متغيرة الطور– مواد عازلة– تخزين الطاقة الحرارية– برنامج محاكاة TRNSYS.

* أستاذ – قسم هندسة القوى الميكانيكية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية
** قائم بالأعمال –قسم هندسة القوى الميكانيكية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (4) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (4) 2012

Using Phase Change Material (PCM) & Insulation Material for Improving Thermal Performance of Buildings

Dr. Rami George*
Mohammed Yaseen**

(Received 26 / 3 / 2012. Accepted 14 / 6 / 2012)

□ ABSTRACT □

The objective of this investigation is to study the influence of application of phase change material (RT27) and the insulation material (sterubore) on the thermal behavior of the building using TRNSYS simulation program for the weather conditions of Lattakia.

This investigation showed that when using phase change material (RT27) with 2[cm] thickness we got the yearly energy load saving ratio about 27.2[%], and when using insulation material with 8[cm] thickness we get a saving ratio about 50.89[%], whereas using both materials together we get a saving ratio about 64.34[%]. With increasing about 37.14[%] or 13.45[%] compared to that when only using phase change material, or when only using insulation material respectively. Which, in return, reduce the consumption of conventional energy required to cover this load.

This investigation showed that using phase change material together with insulation material resulted in decreasing of the temperature at daytime and increasing it at night. The reduction of the indoor temperatures fluctuations between daytime and night will be more significant compared with using each material alone. and improved the thermal comfort for residences.

Keywords: Phase Change Materials (PCM), Insulation Materials, Thermal Energy Storage, TRNSYS Program

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

مقدمة:

مما لا شك فيه أن قسماً لا بأس به من الوقود التقليدي يستهلك في تدفئة وتبريد الأبنية السكنية. وبما أن ثمن الوقود التقليدي في تزايد مستمر، واحتمال نفاذه في المستقبل القريب، كان لا بد من العمل على ترشيد استهلاك الطاقة في الأبنية السكنية. ونتيجة لتغير المناخ وتزايد عدد السكان، فإن تأمين الارتياح الحراري لسكان الأبنية أدى إلى الطلب المتزايد في استهلاك الطاقة.

وبما أن العناصر الإنشائية لغلاف البناء تلعب دوراً أساسياً في تحديد مقدار الأحمال الحرارية للبناء، لذلك يعتبر استخدام المواد متغيرة الطور والمواد العازلة ضمن هذه العناصر من إحدى الاستخدامات الهامة من أجل تخفيض الأحمال الحرارية في الأبنية، وتأمين الارتياح الحراري لسكان الأبنية، الأمر الذي يعتبر أهم الأهداف التي يسعى إليها التصميم الحراري الجيد للبناء. إذ إنه باستخدامها يتم امتصاص الحرارة وتخزينها نهاراً، وطرحها ليلاً، لتخفيض أحمال التدفئة والتبريد للأبنية والتخفيض من أحمال الذروة أيضاً، وتقليل التأرجح في درجات الحرارة بين الليل والنهار. يؤدي هذا بدوره إلى التقليل من استطاعة التجهيزات الميكانيكية اللازمة.

أجريت الكثير من الأبحاث بهدف تحسين الشعور بالارتياح الحراري ضمن الأبنية باستخدام المواد متغيرة الطور أو المواد العازلة. فقد تم استخدام مواد متغيرة الطور في مجاري نظام التهوية الميكانيكي [1,2] أو في المبادلات الحرارية [3] من أجل تبريد البناء عن طريق تخزين البرودة ليلاً من الوسط الخارجي وتحريرها نهاراً ضمن البناء. وهناك من استخدم المواد متغيرة الطور في اسطوانات موضوعة ضمن جدار البناء المصنوع من الآجر [4,5]، كما أجريت أبحاث لاستخدام مواد متغيرة الطور من أجل تخفيض أحمال التدفئة بأساليب مختلفة [6,7,8]. كما أجريت بعض الأبحاث لدراسة تأثير استخدام المواد العازلة ضمن العناصر الإنشائية لغلاف البناء [9,10,11,12] على السلوك الحراري للبناء.

أهمية البحث وأهدافه:

يلعب التصميم الحراري الجيد للأبنية دوراً رئيسياً في تخفيض الأحمال الحرارية لهذه الأبنية، وتخفيض استهلاك الوقود التقليدي اللازم لتغطية هذه الأحمال. لذلك تكمن أهمية هذا البحث في تخزين الطاقة الحرارية الكامنة باستخدام المواد متغيرة الطور (PCM)، والتي تعتبر من الطرق المهمة في تخزين الطاقة مقارنة بالتخزين الحراري المحسوس عبر العناصر الإنشائية لغلاف البناء. إذ تقوم المواد متغيرة الطور بتخزين كميات كبيرة من الحرارة بواحدة الحجم، بالإضافة إلى أن تخزين وطرح الحرارة من المواد متغيرة الطور يتم ضمن مجال فرق درجات حرارة صغير، مما يجعلها مناسبة للاستخدام في تدفئة وتبريد الأبنية. بالإضافة إلى استخدام المواد العازلة مع المادة متغيرة الطور لحمايتها من الحرارة الزائدة صيفاً، ومنع طرح الحرارة إلى الخارج شتاءً، وبالتالي تأمين الارتياح الحراري لسكان الأبنية على مدار السنة.

يهدف البحث إلى دراسة السلوك الحراري اللحظي للبناء عند استخدام المادة متغيرة الطور (RT27) والمادة العازلة (ستريوبور) معاً ضمن عناصر غلاف البناء. وبالتالي تحديد مقدار الوفر في الأحمال الحرارية السنوية للبناء في حالة استخدام المادتين معاً، ومقارنة النتائج مع حالة استخدام كل مادة بمفردها، بالإضافة إلى تخفيض التقلبات المستمرة في درجة الحرارة الداخلية، وتحسين الشعور بالارتياح الحراري للقاطنين في البناء والذي يؤدي بدوره إلى تقليل استهلاك الطاقة التقليدية المستخدمة في تغطية الأحمال الحرارية.

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام برنامج المحاكاة TRNSYS [13] الذي يعتبر أكثر برامج المحاكاة استخداماً وشيوعاً لتقييم السلوك الحراري للأبنية، إذ يأخذ بالحسبان تأثير متغيرات متعددة كالمعطيات المناخية الساعية وعناصر غلاف البناء واتجاهه، بالإضافة إلى سماكة كل من المادة متغيرة الطور والمادة العازلة المستخدمة في البحث. يقوم البرنامج بإجراء محاكاة للسلوك الحراري للبناء خلال فترة زمنية محددة (مقدارها 10 دقائق كخطوة للمحاكاة) على مدار السنة وفقاً للمتغيرات السابقة. وفي نهاية المحاكاة نستطيع معرفة مقدار الوفر في الأحمال الحرارية السنوية للبناء وأيضاً معرفة مقدار تقليل التقلبات في درجة الحرارة الداخلية ما بين النهار والليل.

تم إجراء المحاكاة ومقارنة النتائج لأربع غرف متشابهة أبعاد كل منها [m](3×4×5)، وتحوي كل منها على نافذة أبعادها [m](2×1) على الجدار الجنوبي وعلى باب أبعاده [m](2×1) على الجدار الشرقي، إذ يتكون الجدار من توريقة أسمنتية من الخارج والداخل سماكتها [cm]1.5 ومن بلوك مفرغ سماكته [cm]20. (درجة الحرارة الداخلية التصميمية 24°C صيفاً و22°C شتاء).

- الغرفة الأولى (المرجعية) غير معزولة وغير مزودة بالمادة متغيرة الطور.
- الغرفة الثانية مزودة بالمادة متغيرة الطور (RT27) على السطوح الداخلية.
- الغرفة الثالثة مزودة بالمادة العازلة (ستريوبور)على السطوح الخارجية.
- الغرفة الرابعة مزودة بالمادة متغيرة الطور (RT27) على السطوح الداخلية والمادة العازلة (ستريوبور) على السطوح الخارجية.

يبين الجدول (1) الخواص الفيزيائية الحرارية لكل من المادة متغيرة الطور (RT27) وهي مادة عضوية من البارافينات والمادة العازلة (ستريوبور) [14,15] المستخدمتين في هذا البحث.

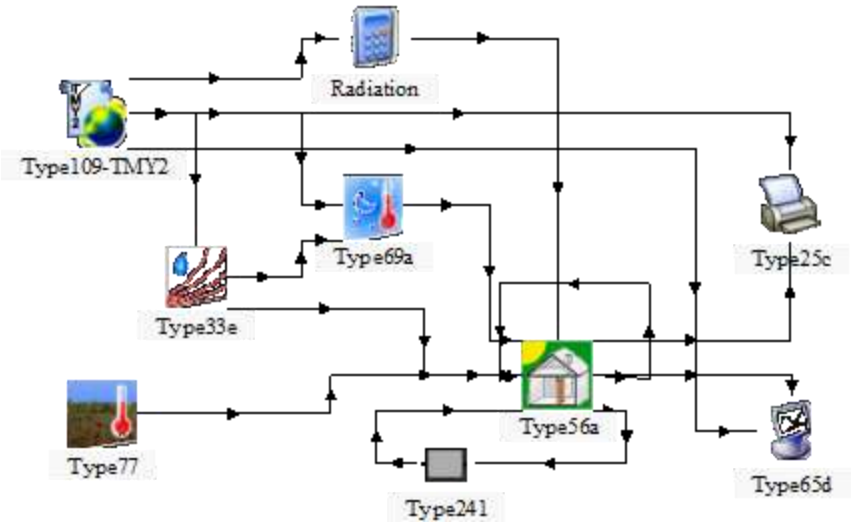
الجدول (1) الخواص الفيزيائية الحرارية للمادة متغيرة الطور والمادة العازلة المستخدمة في البحث

الخواص الفيزيائية الحرارية	RT27	ستريوبور
درجة حرارة الانصهار	(25–28) [°C]	–
الحرارة الكامنة للانصهار	180 [kJ/kg]	–
عامل الإيصالية الحرارية	λ= 0.2 [W/m°C]	λ= 0.04[W/m°C]
السعة الحرارية النوعية	$C_{p,\ solid}$=1.8 [kJ/kg°C] $C_{p,\ liquid}$=2.4 [kJ/kg°C]	C_p =1.8[kJ/kg°C]

يبين الشكل (1) مخططاً لمكونات النظام وفق برنامج المحاكاة TRNSYS الخاص بالبناء المدروس، ورقم كل مكون، وعملية ربط هذه المكونات مع بعضها البعض، 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 الرئيسي في نظام المحاكاة TRNSYS الخاص بالبناء هو Type56a ويرمز إلى البناء متعدد المناطق الحرارية (Multi–Zone building) ويتم فيه إنشاء الغرف الأربع المدروسة وإدخال أبعاد وخواص عناصر غلاف كل غرفة، والمكون Type241 يرمز إلى المادة متغيرة الطور ويتم فيه تغيير الخواص الفيزيائية الحرارية للمادة متغيرة الطور المدروسة،

والمكون Type69a يرمز لحساب درجة حرارة السماء، والمكون Type33e يرمز لحساب الرطوبة، 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 اللحظي الساقط على سطح أفقي والمعطيات المناخية للمنطقة المدروسة باستخدام برنامج Meteonorm [16]. ويتم الحصول على ملف المعطيات المناخية الساعية على مدار السنة بالتنسيق المعياري TMY والذي تتم قراءته من قبل برنامج TRNSYS باستخدام المكون (Type109-TMY2) الذي يقوم بحساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على جدران وسقف البناء.

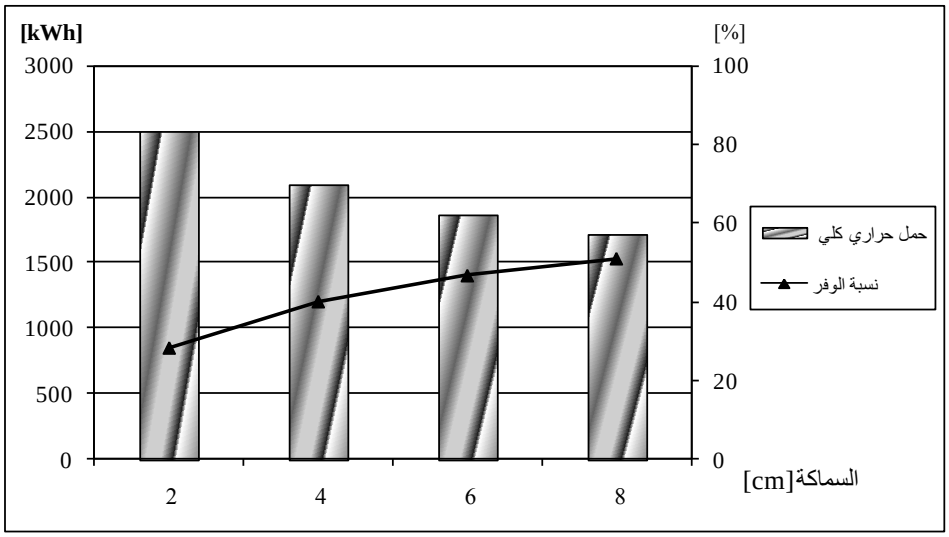


الشكل (1) لوحة محاكاة البناء وفق برنامج TRNSYS

النتائج والمناقشة:

تأثير سماكة المادة العازلة على الحمل الحراري السنوي ونسبة الوفر

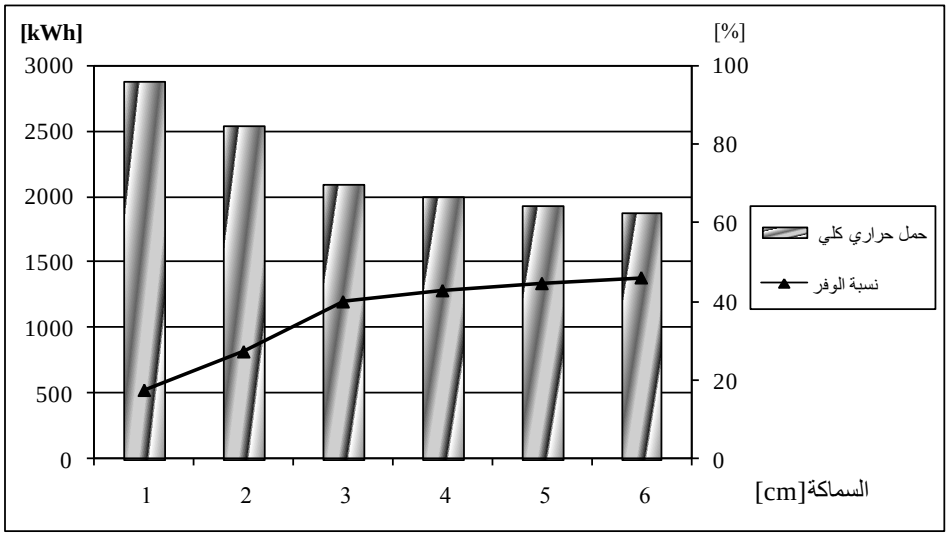
يبين الشكل (2) نتائج المحاكاة اللحظية باستخدام برنامج TRNSYS لتأثير سماكة المادة العازلة على الحمل الحراري السنوي، وعلى نسبة الوفر للغرفة المزودة فقط بالمادة العازلة (ستريوبور) بالمقارنة بالغرفة المرجعية (الغرفة الأولى) غير المعزولة وغير المزودة بالمادة متغيرة الطور. نلاحظ من الشكل (2) أنه بزيادة سماكة المادة العازلة ينخفض الحمل الحراري السنوي. وبالتالي تزداد نسبة الوفر في هذا الحمل، لكن مقدار الزيادة في نسبة الوفر تكون أقل مع زيادة سماكة المادة العازلة. وتكون نسبة الوفر في الحمل الحراري السنوي عند استخدام المادة العازلة بسماكة 6[cm] حوالي 46.63[%] بينما تكون نسبة الوفر في الحمل الكلي عند السماكة 8[cm] حوالي 50.89[%].



الشكل (2) تأثير سماكة المادة العازلة على الحمل الحراري السنوي ونسبة الوفر

تأثير سماكة المادة متغيرة الطور على الحمل الحراري السنوي ونسبة الوفر

يبين الشكل (3) تأثير سماكة المادة متغيرة الطور على الحمل الحراري السنوي، وعلى نسبة الوفر للغرفة المزودة فقط بالمادة متغيرة الطور (RT27) بالمقارنة بالغرفة المرجعية (الغرفة الأولى) غير المعزولة وغير المزودة بالمادة متغيرة الطور. نلاحظ من الشكل (3) أنه بزيادة سماكة المادة متغيرة الطور (RT27) ينخفض الحمل الحراري السنوي وتزداد نسبة الوفر في هذا الحمل. وتكون الزيادة في نسبة الوفر في الحمل الحراري الكلي كبيرة حتى السماكة 3[cm] إذ تبلغ القيمة 39.95[%] ، وبعد هذه السماكة يكون مقدار الزيادة في نسبة الوفر قليلاً مع زيادة سماكة هذه المادة، وتكون نسبة الوفر عند السماكة 6[cm] حوالي 46[%]. وهذه الزيادة في نسبة الوفر ناتجة عن زيادة السعة الحرارية لعناصر البناء (الجدران والسقف) مع زيادة كمية المادة متغيرة الطور (نتيجة زيادة سماكة المادة متغيرة الطور) وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة في كمية الحرارة المخزنة خلال النهار، والتي يتم طرحها ليلاً، وبالتالي تخفيض الحمل الحراري السنوي للبناء.

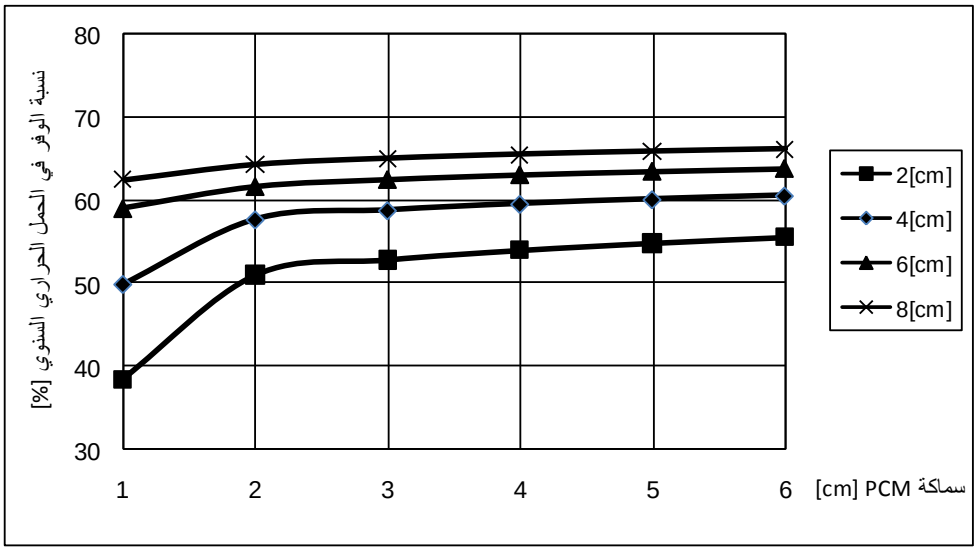


الشكل (3) تأثير سماكة المادة متغيرة الطور على الحمل الحراري السنوي ونسبة الوفر

تأثير سماكة المادة متغيرة الطور والمادة العازلة على نسبة الوفر في الحمل الحراري السنوي

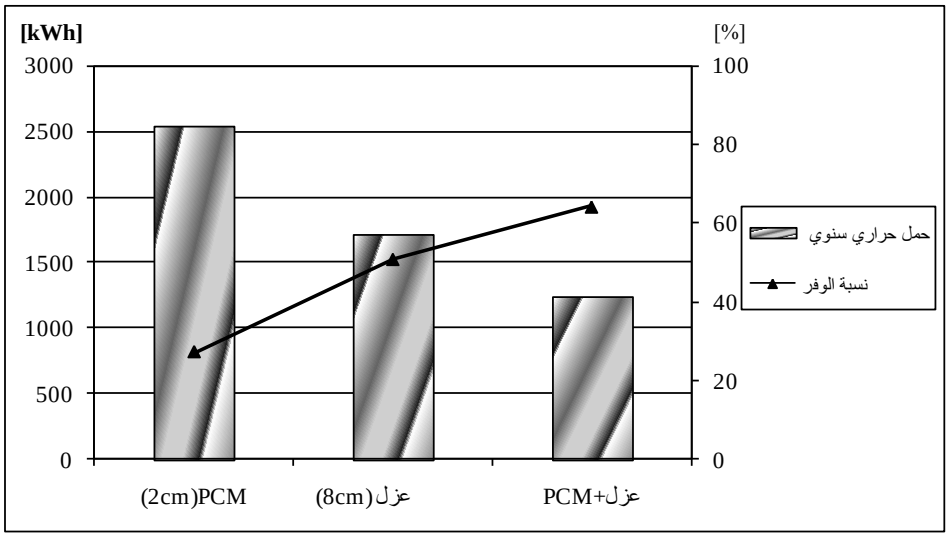
يبين الشكل (4) تأثير سماكة المادة متغيرة الطور من أجل سماكات مختلفة للمادة العازلة على نسبة الوفر في الحمل الحراري السنوي للغرفة المزودة بالمادة متغيرة الطور والمادة العازلة معاً. نلاحظ من الشكل أنه عند زيادة سماكة المادة متغيرة الطور تزداد نسبة الوفر في الحمل الحراري السنوي من أجل أية سماكة للمادة العازلة، لكن هذه الزيادة تكون أقل مع زيادة سماكة المادة العازلة. أيضاً من أجل سماكة معينة للمادة متغيرة الطور ينخفض مقدار الزيادة في نسبة الوفر مع زيادة سماكة المادة العازلة.

فعند استخدام المادة متغيرة الطور بسماكة 2[cm] والمادة العازلة بسماكة 8[cm] معاً نحصل على نسبة وفر في الحمل الحراري السنوي مقدارها 64.34[%]. بينما عند استخدام المادة متغيرة الطور بسماكة 6[cm] والمادة العازلة بسماكة 8[cm] معاً نحصل على نسبة وفر في الحمل الحراري السنوي مقدارها 66.16[%]؛ أي بزيادة ضئيلة مقدارها 1.8[%].



الشكل (4) تأثير سماكة المادة متغيرة الطور والمادة العازلة على نسبة الوفر في الحمل الحراري السنوي

يبين الشكل (5) الحمل الحراري السنوي، ونسبة الوفر في هذا الحمل لثلاث غرف؛ الأولى مزودة فقط بالمادة متغيرة الطور (RT27) بسماكة 2[cm]، والثانية معزولة بالستريوبور فقط بسماكة 8[cm]، والثالثة مزودة بالمادة متغيرة الطور بسماكة 2[cm] ومعزولة بسماكة 8[cm] معاً. نلاحظ من الشكل أنه في الحالة الأولى تكون نسبة الوفر 27.2[%]، وفي الحالة الثانية 50.89[%]، أما في الحالة الثالثة (عند استخدام المادة متغيرة الطور والمادة العازلة معاً). وتكون نسبة الوفر في الحمل الحراري السنوي 64.34[%] أي بمعدل زيادة عن الغرفة المزودة بالمادة متغيرة الطور مقداره 37.14[%]، وبمعدل زيادة عن الغرفة المعزولة مقداره 13.45[%]. ومن هنا نلاحظ أهمية استخدام المادة متغيرة الطور والمادة العازلة معاً ضمن العناصر الإنشائية لغلاف البناء.



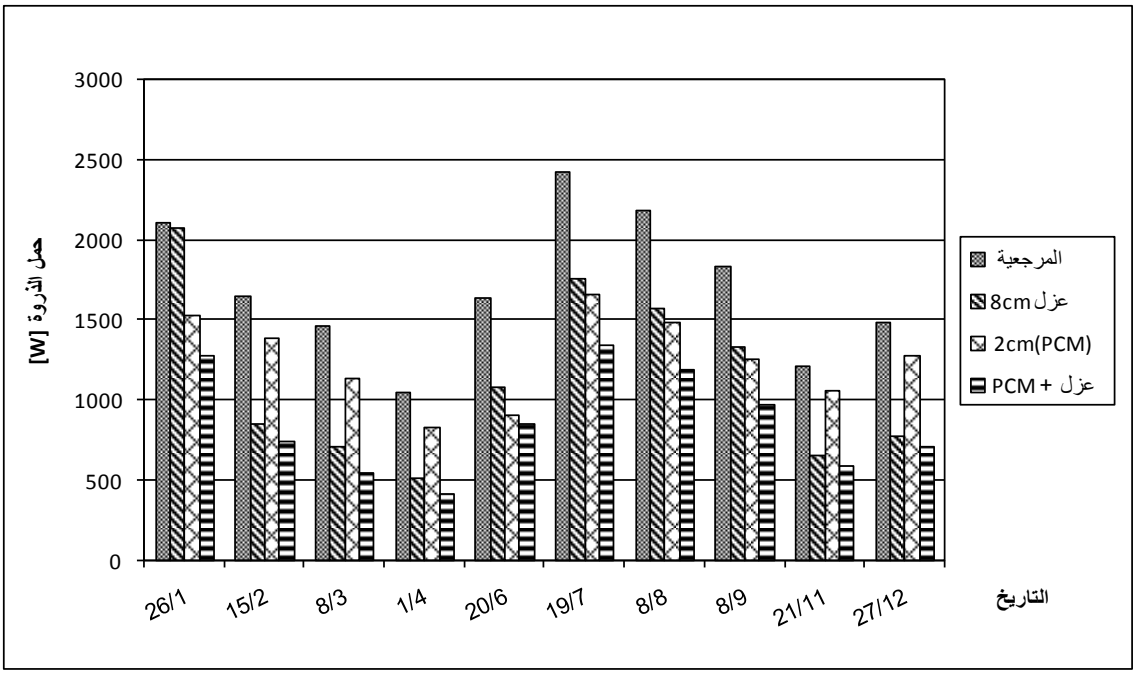
الشكل (5) الحمل الحراري السنوي ونسبة الوفر عند استخدام المادة متغيرة الطور أو المادة العازلة أو كلا المادتين معاً

تأثير استخدام المادة متغيرة الطور والمادة العازلة على حمل الذروة

يبين الشكل (6) حمل الذروة في أشهر الشتاء والصيف للغرف الأربع، الأولى هي الغرفة المرجعية (غير معزولة وغير مزودة بالمادة متغيرة الطور)، والثانية مزودة فقط بالمادة متغيرة الطور (RT27) بسماكة [cm]2، والثالثة مزودة بالمادة العازلة (ستريوبور) فقط بسماكة [cm]8، والرابعة مزودة بالمادة متغيرة الطور بسماكة [cm]2 وبالمادة العازلة بسماكة [cm]8 معاً. نلاحظ من الشكل أن حمل الذروة للغرفة الثالثة (في حالة استخدام المادة متغيرة الطور والمادة العازلة معاً ضمن العناصر الإنشائية لغلاف البناء) أقل بكثير، مقارنة مع الغرف الأخرى، إذ نحصل على نسبة انخفاض أعظمية في حمل الذروة للغرفة الرابعة مقارنة بالغرفة الأولى المرجعية تصل حوالي [%]62.5 في أحد أشهر الشتاء (الثامن من آذار)، وحوالي [%]47.8 في أحد أشهر الصيف (العشرون من حزيران). وهذا الانخفاض في حمل الذروة يقلل بشكل كبير من استطاعة الأجهزة الميكانيكية المطلوبة لتأمين الأحمال الحرارية للبناء.

نلاحظ من الشكل (6) أن تأثير استخدام المادة العازلة شتاء يكون أكثر تأثيراً منه عند استخدام المادة متغيرة الطور إذ وجدنا أن حمل الذروة للغرفة المزودة بالمادة العازلة أقل منه للغرفة المزودة بالمادة متغيرة الطور في أشهر الشتاء، والسبب يعود إلى عدم الانصهار الكامل للمادة متغيرة الطور كون درجة حرارة الغرفة أقل من درجة انصهار المادة متغيرة الطور.

كما نلاحظ من الشكل (6) أن تأثير استخدام المادة متغيرة الطور صيفاً، يكون أكثر فعالية منه عند استخدام المادة العازلة فقد وجدنا أن حمل الذروة للغرفة المزودة بالمادة متغيرة الطور أقل منه للغرفة المزودة بالمادة العازلة في أشهر الصيف. والسبب يعود إلى الانصهار الكامل للمادة متغيرة الطور كون درجة حرارة الغرفة تصل إلى درجة انصهار المادة متغيرة الطور، وبالتالي الاستفادة من كامل حرارتها الكامنة بامتصاص وتخزين كمية أكبر من الحرارة.

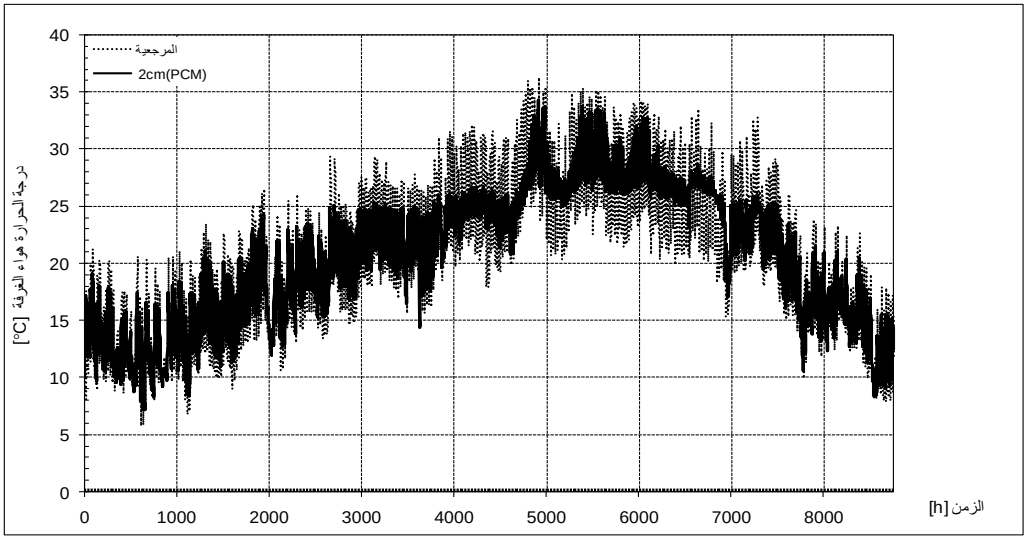


الشكل (6) تغير حمل الذروة خلال أشهر السنة للغرف الأربع: – المرجعية – مع استخدام المادة متغيرة الطور بمفردها – مع استخدام المادة العازلة بمفردها – مع استخدام المادتين معاً

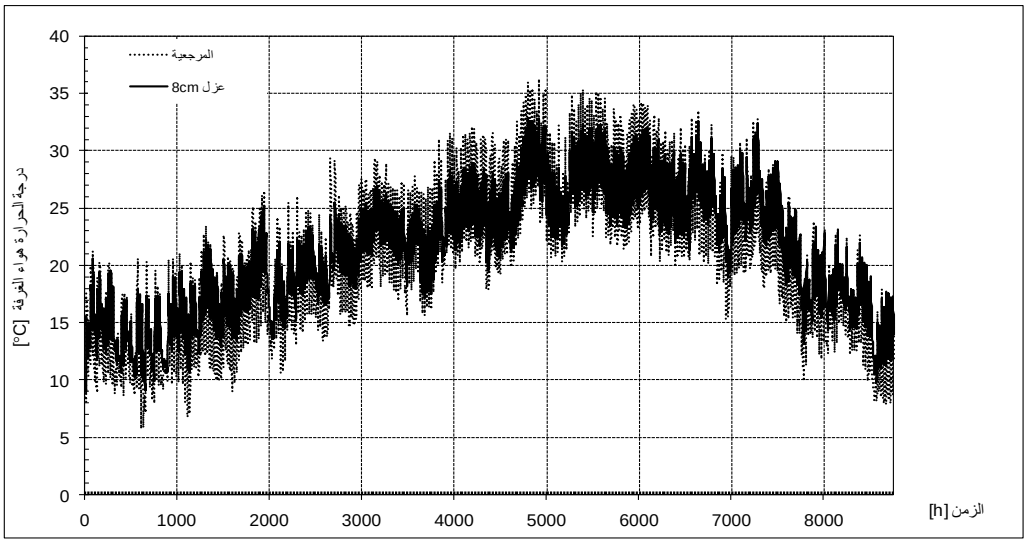
تأثير استخدام المادة متغيرة الطور والمادة العازلة على درجة حرارة الهواء الداخلية

تبين الأشكال (7) و(8) و(9) نتائج المحاكاة الساعية باستخدام برنامج TRNSYS لدراسة تأثير إضافة المادة متغيرة الطور (RT27)، أو المادة العازلة (ستريوبور)، أو المادة متغيرة الطور والمادة العازلة معاً على الترتيب إلى الجدران والسقف وبدرجة حرارة هواء الغرف المدروسة على مدار السنة.

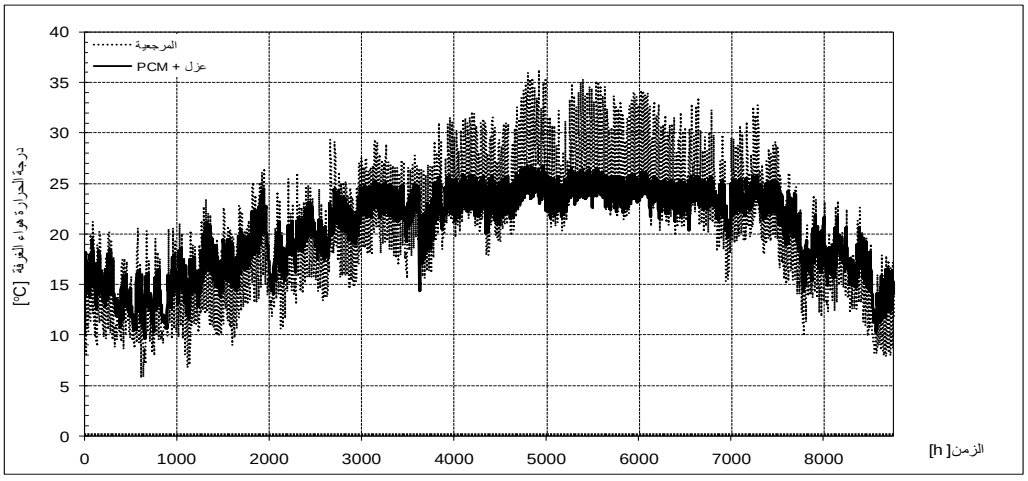
نلاحظ في جميع الحالات السابقة انخفاض درجة الحرارة الداخلية نهاراً نتيجة ذوبان المادة متغيرة الطور (تحولها من الطور الصلب إلى الطور السائل)، ثم امتصاصها وتخزينها للحرارة. ونلاحظ أيضاً ارتفاع درجة الحرارة الداخلية ليلاً نتيجة تجمد المادة متغيرة الطور (تحولها من الطور السائل إلى الطور الصلب) عن طريق طرحها للحرارة المخزنة نهاراً. هذا الانخفاض نهاراً والارتفاع ليلاً لدرجة حرارة الغرفة يقلل من التأرجحات الكبيرة في درجات الحرارة ما بين النهار والليل. ويكون مقدار الانخفاض في هذا التأرجح أكثر وضوحاً، في حالة استخدام المادة متغيرة الطور والمادة العازلة معاً، ضمن العناصر الإنشائية لغلاف البناء مقارنةً مع حالات استخدام كل مادة بمفردها. وهذا بالتالي يؤدي إلى الشعور بالارتياح الحراري بشكل أفضل للقاطنين في البناء المزود بالمادتين معاً.



الشكل (7) التغير السنوي لدرجة حرارة هواء الغرفتين دون ومع مادة متغيرة الطور (RT27) سماكتها [2cm]



الشكل (8) التغير السنوي لدرجة حرارة هواء الغرفتين دون ومع المادة العازلة (ستريوبور) سماكتها [8cm]



الشكل (9) التغير السنوي لدرجة حرارة هواء الغرفتين دون ومع مادة متغيرة الطور (RT27) سماكتها [2cm] ومادة عازلة (ستريوبور) سماكتها [8cm] معاً

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد إجراء المحاكاة لدراسة تأثير استخدام المادة متغيرة الطور (RT27) والمادة العازلة (ستريوبور) ضمن العناصر الإنشائية لغلاف البناء باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS نستنتج ما يلي:

1. ينخفض الحمل الحراري السنوي، وتزداد نسبة الوفر مع زيادة سماكة المادة العازلة ولكن مقدار الزيادة في نسبة الوفر تكون أقل مع زيادة سماكة المادة العازلة. وتكون نسبة الوفر في الحمل الحراري السنوي عند استخدام المادة العازلة بسماكة [cm]6 حوالي [%]46.63 بينما تكون نسبة الوفر في الحمل الكلي عند السماكة [cm]8 حوالي [%]50.89.

2. ينخفض الحمل الحراري السنوي مع زيادة سماكة المادة متغيرة الطور، ويكون أكثر وضوحاً حتى السماكة [cm]3 وتكون نسبة الوفر [%]39.95 وبعد هذه السماكة يكون انخفاض الحمل قليلاً إذ تبلغ نسبة الوفر عند السماكة [cm]6 حوالي [%]46.

3. عند استخدام المادة متغيرة الطور بسماكة [cm]2 والمادة العازلة (ستريوبور) بسماكة [cm]8 معاً، نحصل على نسبة وفر في الحمل الحراري السنوي مقدارها [%]64.34. أي بزيادة مقدارها [%]37.14 عن حالة استخدام المادة متغيرة الطور فقط و[%]13.45 عن حالة استخدام المادة العازلة فقط عند نفس السماكات السابقة. وهذا يؤدي بدوره إلى تقليل استهلاك الطاقة التقليدية المستخدمة في تغطية الأحمال الحرارية السنوية.

4. عند استخدام المادة متغيرة الطور بسماكة [cm]2 والمادة العازلة (ستريوبور) بسماكة [cm]8 معاً نحصل على نسبة انخفاض أعظمية في حمل الذروة مقدارها [%]62.5 شتاءً وحوالي [%]47.8 صيفاً وهذا ما يقلل من استطاعة أجهزة التدفئة والتبريد المطلوبة.

5. استخدام المادة متغيرة الطور والمادة العازلة معاً أدى إلى انخفاض درجة حرارة الهواء الداخلية نهاراً وارتفاعها ليلاً. وكان مقدار التأرجح في درجات الحرارة بين النهار والليل عند استخدام المادتين معاً أقل بشكل واضح من حالة استخدام كل مادة على حدى مما يؤدى إلى الشعور بالارتياح الحراري بشكل أفضل لسكان البناء.

6. نوصي بمتابعة البحث في دراسة تأثير الخواص الفيزيائية الحرارية لكل من المواد متغيرة الطور والمواد العازلة، واختبار هذه الاقتراحات عملياً أو تجريبياً على أرض الواقع.

المراجع:

[1]. Butala, V., Stritih, U. Experimental Investigation Of Pcm Cold Storage. Energy And Buildings, Vol. 41, 2009, 354-359.

[2]. Darkwa, J. Mathematical Evaluation Of A Buried Phase Change Concrete Cooling System For Building. Applied Energy, Vol. 86, 2009, 706-711.

[3]. Lazaro, A., Dolado, P., Marin, M. J., Zalba, B. Pcm-Air Heat Exchangers For Free-Cooling Applications In Buildings: Empirical Model And Application To Design. Energy Conversion And Management, Vol. 50, 2009, 444-449.

[4]. Alawadhi, M. E. Thermal Analysis Of A Building Brick Containing Phase Change Material. Energy And Buildings, Vol. 40, 2008, 351-357.

[5]. Castell, A., Martorell, I, Medrano, M., Perez, G., Cabeza, F. L. Experimental Study Of Using Pcm In Brick Constructive Solutions For Passive Cooling. Energy And Buildings, Vol. 42, 2010, 534-540.

[6]. Zhou, G., Zhang, Y., Lin, K., Xiao, W. Thermal Analysis Of A Direct-Gain Room With Shape-Stabilized Pcm Plates. Renewable Energy, Vol. 33, 2008, 1228-1236.
[7]. Zhou, G., Zhang, Y., Wang, X., Lin, K., Xiao, K. An Assessment Of Mixed Type Pcm-Gypsum And Shape-Stabilized Pcm In A Building For Passive Solar Heating. Solar Energy, Vol. 81, 2007, 1351-1360.
[8]. Lin, K., Zhang, Y., Di, H., Yang, R. Study Of An Electrical Heating System With Ductless Air Supply And Shape-Stabilized Pcm For Thermal Storage. Energy Conversion And Management, Vol. 48, 2007, 2016-2024.
[9]. Ucar, A., Balo, F. Determination Of The Energy Savings And The Optimum Insulation Thickness In The Four Different Insulated Exterior Walls. Renewable Energy, Vol. 35, 2010, 88-94.
[10]. Yu, J., Yang, C., Tian, L., Liao, D. A Study Of Optimum Insulation Thicknesses Of External Walls In Hot Summer And Cold Winter Zone Of China. Applied Energy, Vol. 86, 2009, 2520-2529.
[11]. Daouas, N. A Study On Optimum Insulation Thickness In Walls And Energy Savings In Tunisian Buildings Based On Analytical Calculation Of Cooling And Heating Transmission Loads. Applied Energy, Vol. 88, 2011, 156-164.
[12]. Ozel, M. Effect Of Wall Orientation On The Optimum Insulation Thickness By Using A Dynamic Method. Applied Energy, Vol. 88, 2011, 2429-2435.
[13]. Klein, S. A. Et Al., Trnsys – A Transient Simulation Program, Version 16.1, User Manual. University Of Wisconsim-Madison, Usa. 2006.
[14]. Www.Rubitherm.De.
[15]. Www.Baalbaki.Com.
[16]. Meteonorm, 4.00, Global Meteorological Database For Solar Energy Applied Meteorology. Nov 1999.