مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (32) العدد (3) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (32) No. (3) 2010

تأثير استخدام المواد متغيرة الطور(PCM) في تخفيض أحمال التبريد في الأبنية السكنية

الدكتور رامي جورج *

(تاريخ الإيداع 14 / 1 / 2010. قُبِل للنشر في 2/ 6 / 2010)

□ملخّص □

يهدف البحث إلى دراسة نظرية برمجية لتأثير استخدام المواد متغيرة الطور (PCM) على السلوك الحراري للبناء، وذلك باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS عند الشروط المناخية لمدينة اللاذقية. حيث تم الاستفادة من عملية تخزين الطاقة الحرارية في المادة متغيرة الطور من أجل تخفيض التقلبات المستمرة في درجة الحرارة الداخلية وتحسين الشعور بالراحة الحرارية للقاطنين في البناء. بالإضافة إلى تخفيض أحمال التبريد الذي يؤدي بدوره إلى تقليل استهلاك الطاقة التقليدية المستخدمة في تغطية هذه الأحمال.

أظهر البحث انخفاض حمل التبريد الكلي مع زيادة سماكة المادة متغيرة الطور، فعند استخدام المادة متغيرة الطور RT27 بسماكة 3[cm] ينخفض حمل التبريد الكلي بمقدار 28.5[%]. كما أظهر البحث أن أكبر انخفاض في درجة الحرارة العظمى نهاراً يصل إلى القيمة 6.18[°C] ويصل أكبر ارتفاع في درجة الحرارة ليلاً إلى القيمة 5.17[°C]. وهذا ما يؤدي إلى انخفاض التأرجح في درجات الحرارة بين النهار والليل مما يحسن الشعور بالراحة الحرارية للقاطنين في البناء.

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

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

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (32) العدد (3) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (32) No. (3) 2010

Influence of Using Phase Change Materials (PCM) for Reducing Cooling Loads of Residential Buildings

Dr. Rami George *

(Received 14 / 1 / 2010. Accepted 2 / 6 / 2010)

□ ABSTRACT □

The objective of this investigation is to study the influence of application of phase change materials (PCM) on the thermal behavior of the building using TRNSYS simulation program for the weather conditions of Lattakia. Here, the benefit of thermal energy storage in phase change material was done for reducing the fluctuations of indoor temperatures and then improving the thermal comfort. Additionally, reducing the cooling loads which in return reduce consumption of conventional energy required to cover these loads.

This investigation showed the reducing of cooling load with increasing the material thickness. Using 3[cm] thickness of RT27 phase change material results in decreasing cooling load about 28.5[%]. The investigation showed that the highest decreasing of daytime temperature is about 6.18[°C], and the highest increasing of night temperature is about 5.17[°C]. These differences reduce the temperatures fluctuation and insure feeling with thermal comfort for residences.

Key words: Phase change material (PCM), Thermal energy storage, TRNSYS program

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

مقدمة:

إن الدور الأساسي الذي تلعبه الأبنية هو حماية الإنسان من قسوة وأخطار الظروف المناخية الخارجية. لذلك فإن العمل الجوهري لهندسة البيئة يتجلى في الجهد المتواصل الذي يبذله الإنسان من أجل إيجاد تصاميم مناسبة للأبنية بحيث تؤمن له الشعور بالراحة الحرارية.

نظراً لتغير المناخ وزيادة الأحمال الحرارية في الأبنية وارتفاع مستوى الحياة للسكان، فإن تأمين الشعور بالراحة الحرارية في الأبنية يصبح أكثر أهمية، وهذا يؤدي بدوره إلى الطلب المتزايد في استهلاك الطاقة. لذلك فإن تخزين الطاقة الحرارية يُعدُّ واحد من أهم تقنيات الطاقة المتطورة وهذا أدى إلى اهتمام متزايد من قبل الباحثين من أجل إيجاد تقنية جديدة للتطبيقات الحرارية سواء في التبريد أو التدفئة بشكل خاص في الأبنية من أجل الوصول إلى حلول تصميمية منخفضة الطاقة. إن استخدام المواد متغيرة الطور في تخزين الطاقة الحرارية له فائدة في تخزين طاقة كبيرة مقارنة مع تخزين الحرارة المحسوس، حيث تستطيع امتصاص وتحرير كمية كبيرة من الحرارة الكامنة عندما يتغير طورها من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة وبالعكس، وذلك ضمن مجال صغير لدرجة الحرارة، لذلك تعدّ من التطبيقات المهمّة في أنظمة تخزين الطاقة الحرارية.

أجريت الكثير من الأبحاث بهدف تحسين الشعور بالراحة الحرارية ضمن الأبنية باستخدام المواد متغيرة الطور. فقد تم استخدام مواد متغيرة موضوعة في اسطوانات ضمن مجاري نظام التهوية الميكانيكي من أجل تامين التبريد للبناء عن طريق تخزين البرودة ليلاً من الوسط الخارجي وتحريرها نهاراً ضمن البناء من أجل التبريد [1] و[2] و[3] و[4]. وهناك من استخدم المواد متغيرة الطور في اسطوانات موضوعة ضمن جدار البناء المصنوع من الآجر [5]، كما أجريت أبحاث لاستخدام مواد متغيرة الطور من أجل تخفيض أحمال التدفئة بأساليب مختلفة [6] و[7] و[8] و[9] و[10]. كما تم دراسة استخدام مواد متغيرة الطور موضوعة بكبسولات وممزوجة مع الأسمنت [11] و[12].

أهمية البحث وأهدافه:

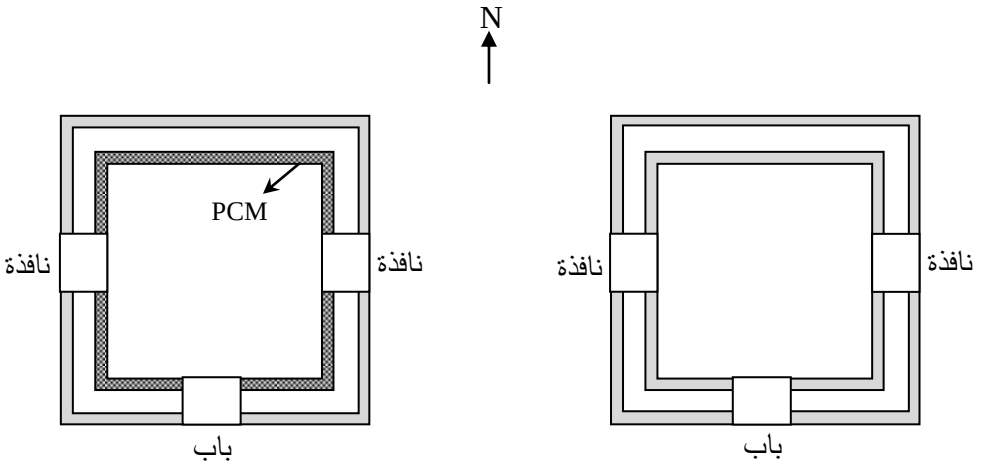
لقد شيدت معظم الأبنية القديمة معمارياً آخذة بالحسبان الظروف المناخية للمنطقة بحيث تؤمن للبناء البرودة صيفاً والتدفئة شتاءً. غير أن هذه الاعتبارات العمرانية قد أهملت في معظم الأبنية الحديثة في قطرنا والتي تبنى حالياً من مواد خفيفة الوزن أي من مواد ذات سعة حرارية منخفضة وبالتالي إمكانية منخفضة لتخزين الحرارة وهذا ما يؤدي إلى الارتفاع المفرط لدرجة الحرارة داخل البناء خاصة في فصل الصيف، وعدم تأمين الراحة الحرارية للقاطنين في البناء. هذا يؤدي بدوره إلى الاعتماد بشكل أساسي على الطرائق الميكانيكية لتأمين التدفئة والتبريد وتؤدي إلى استهلاك متزايد في الطاقة الكهربائية لأجهزة التكييف من أجل تأمين الراحة الحرارية.

يكمن الهدف من هذا البحث في تخزين الطاقة الحرارية عن طريق زيادة السعة الحرارية للبناء باستخدام المواد متغيرة الطور ضمن مكونات البناء من أجل تخفيض التقلبات المستمرة في درجة الحرارة الداخلية وتحسين الشعور بالراحة الحرارية للقاطنين في البناء. بالإضافة إلى تخفيض أحمال التبريد الذي يؤدي بدوره إلى تقليل استهلاك الطاقة التقليدية المستخدمة في تغطية هذه الأحمال.

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام برنامج المحاكاة TRNSYS [13] الذي يُعدُّ أكثر برامج المحاكاة استخداماً وشيوعاً لتقييم السلوك الحراري للأبنية حيث يأخذ بالحسبان تأثير متغيرات متعددة كالمعطيات المناخية ومكونات واتجاه البناء بالإضافة إلى كمية ونوع المادة متغيرة الطور المستخدمة، حيث يقوم البرنامج بإجراء محاكاة للسلوك الحراري للبناء خلال فترة زمنية محددة وفقاً للمتغيرات السابقة، وفي نهاية المحاكاة نستطيع معرفة مقدار الانخفاض في أحمال التبريد وأيضاً الانخفاض في درجة الحرارة الداخلية.

تم إجراء المحاكاة على غرفتين متشابهتين أبعاد كل منهما [m] (3×3×3) وتحوي كل منهما على نافذة أبعادها [m](1×1.5) على الجدار الشرقي والغربي كما تحتوي كل منهما على باب أبعاده [m] (1×2) على الجدار الجنوبي كما هو موضح بالشكل (1)، حيث يتكون الجدار من توريقة أسمنتية من الخارج والداخل سماكتها [cm] 1.5 ومن بلوك مفرغ سماكته [cm] 20. الغرفة الأولى من دون مادة متغيرة الطور والثانية بإضافة مادة متغيرة الطور على السطح الداخلي للجدران بدلاً من التوريقة الأسمنتية وتم إجراء مقارنة نتائج المحاكاة بين الحالتين حيث تم استخدام مدة زمنية مقدارها 10 دقائق كخطوة للمحاكاة. لقد تم إجراء المحاكاة من أجل مادة متغيرة الطور (PCM) من البارافينات RT27 حيث درجة حرارة انصهارها (أو تجمدها) هي [°C](25-28) والحرارة الكامنة للانصهار تساوي 180[kJ/kg] [14].

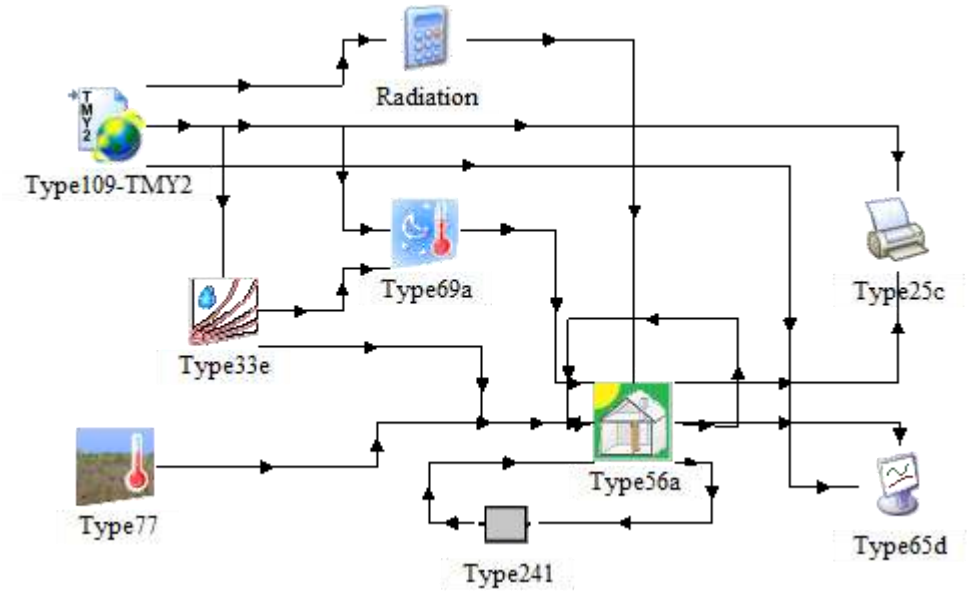


الشكل (1) مخطط الغرفتين الأولى بدون PCM (غرفة مقارنة) والثانية مع PCM

يبين الشكل (2) مخطط لمكونات النظام وفق برنامج المحاكاة TRNSYS الخاص بالبناء المدروس ورقم كل مكون وعملية ربط هذه المكونات مع بعضها بعضاً 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 وخواص مكوناته والمكون Type241 يرمز إلى المادة متغيرة

الطور حيث يتم فيه تغيير الخواص 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 [15]. حيث يتم الحصول على ملف المعطيات المناخية بالتنسيق المعياري TMY الذي تتم قراءته من قبل برنامج TRNSYS باستخدام مكون (Type109-TMY2) الذي يقوم بحساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على جدران البناء.

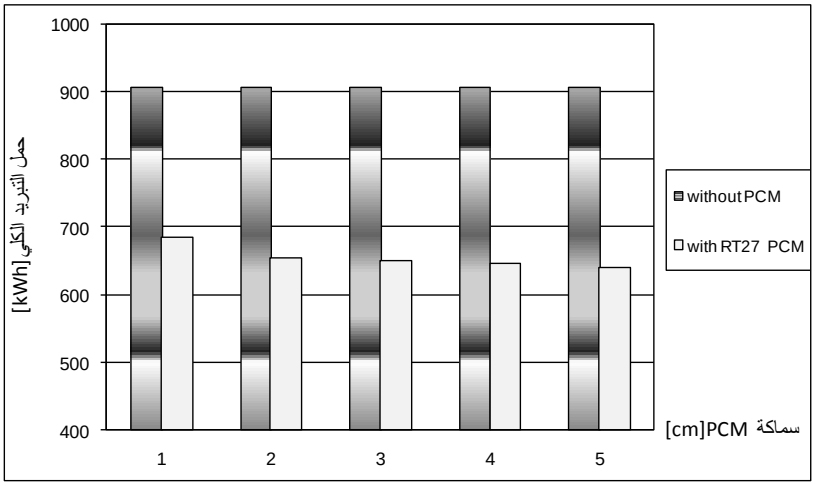


الشكل (2) لوحة محاكاة البناء وفق برنامج TRNSYS

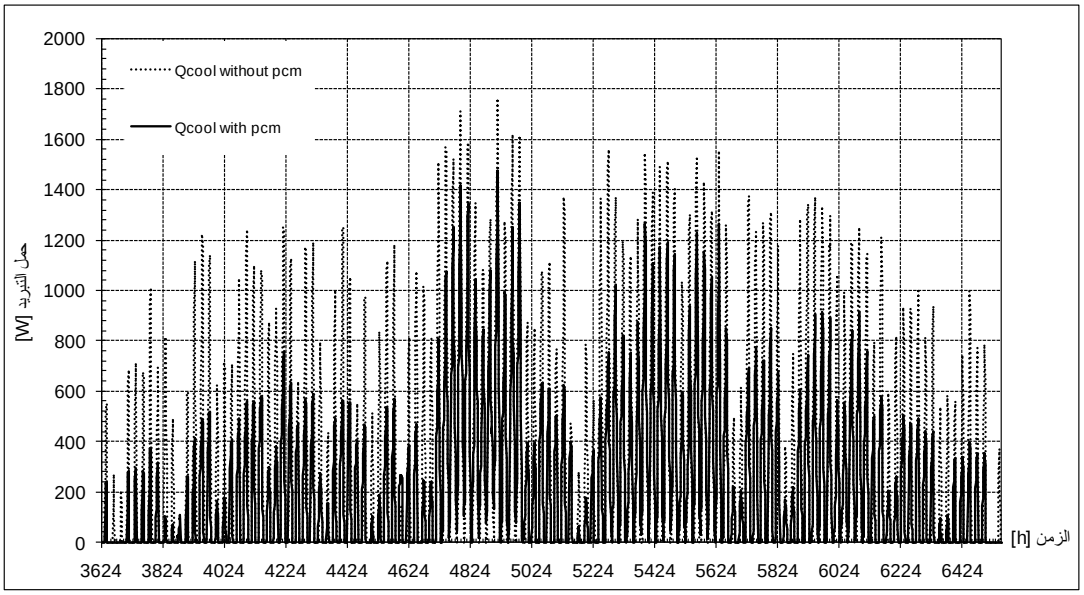
النتائج والمناقشة:

تأثير سماكة المادة متغيرة الطور على حمل التبريد الكلي

يبين الشكل (3) تأثير سماكة المادة متغيرة الطور على حمل التبريد الكلي في فصل الصيف للغرفة المدروسة، حيث تم إجراء المحاكاة باستخدام المادة متغيرة الطور RT27 على جميع جدران الغرفة. نلاحظ من الشكل (3) أنه بزيادة سماكة المادة متغيرة الطور ينخفض حمل التبريد الكلي حيث تكون نسبة الانخفاض في الحمل الكلي عند استخدام المادة متغيرة الطور RT27 (PCM) بسماكة 3[cm] حوالى 28.5[%] وهذا ناتج عن زيادة السعة الحرارية لجدران الغرفة مع زيادة كمية المادة متغيرة الطور ويؤدي بدوره إلى زيادة في كمية الحرارة المخزنة خلال النهار. يبين الشكل (4) تغير حمل التبريد الساعي خلال كامل فصل الصيف من أجل سماكة 3[cm] للمادة متغيرة الطور.



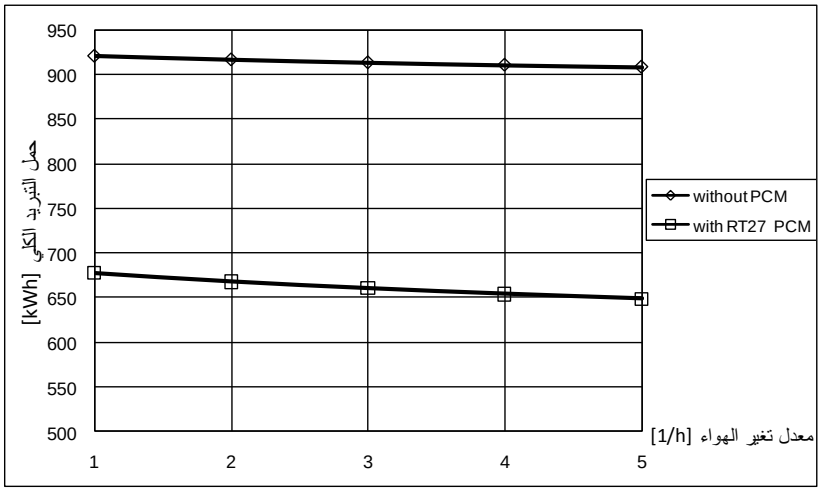
الشكل (3) تأثير سماكة المادة متغيرة الطور على حمل التبريد الكلي



الشكل (4) حمل التبريد الساعي خلال كامل فصل الصيف لغرفتين الأولى من دون مادة متغيرة الطور والثانية مع مادة متغيرة الطور سماكتها 3 [cm]

تأثير معدل تغير الهواء على حمل التبريد الكلي

يبين الشكل (5) تأثير معدل تغير هواء التهوية على حمل التبريد الكلي في فصل الصيف، حيث تم إجراء المحاكاة باستخدام المادة متغيرة الطور RT27 وأخذ قيمة ثابتة لمعدل تغير الهواء نهاراً تساوي [1/h] 0.5 وأخذ قيم متغيرة لمعدل تغير الهواء ليلاً تتراوح من [1/h]1 إلى [1/h]5. نلاحظ من الشكل (4) أن حمل التبريد الكلي للغرفة المزودة بمادة متغيرة الطور ينخفض بزيادة معدل تغير الهواء وتكون نسبة الانخفاض في الحمل الكلي عند استخدام المادة RT27 بمعدل تغير هواء قدره [1/h] 5 حوالى [%]2.54. هذا الانخفاض يعود إلى التبريد السريع للمادة متغيرة الطور وتحولها من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة ليلاً عن طريق زيادة معدل تغير الهواء وامتصاص الحرارة وتخزينها عن طريق تحولها إلى الحالة السائلة نهاراً، مما يزيد من فعالية المادة متغيرة الطور.



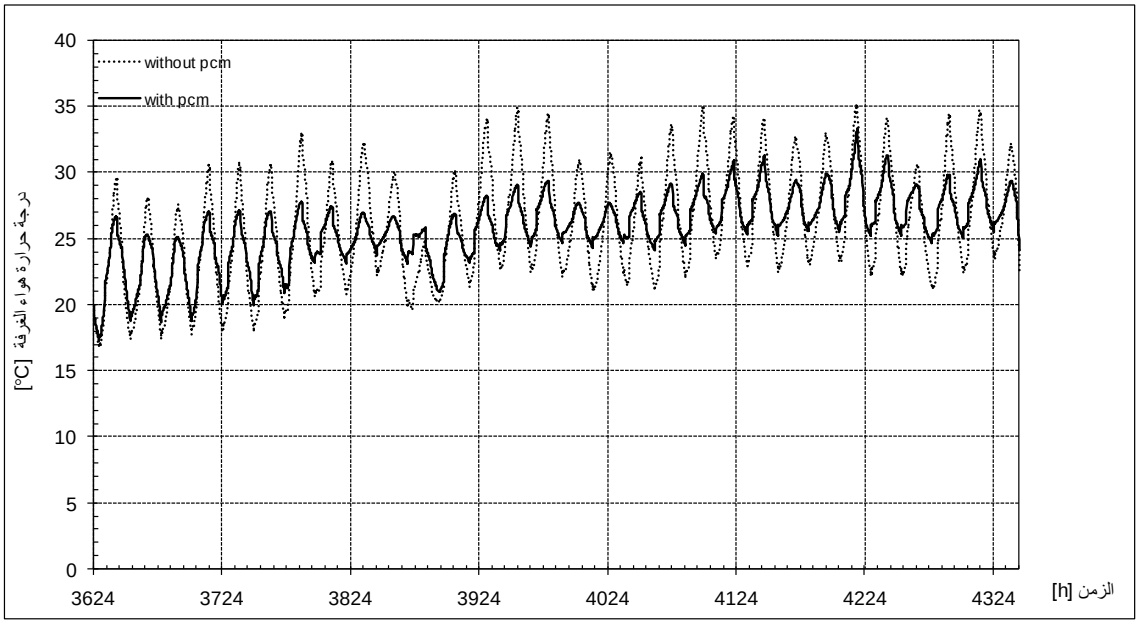
الشكل (5) تأثير معدل تغير الهواء على حمل التبريد الكلي

نستنتج من الشكلين (3) و(5) أن حمل التبريد الكلي للغرفة المزودة بمادة متغيرة الطور أقل منه للغرفة من دون مادة متغيرة الطور، وهذا ناتج عن زيادة السعة الحرارية لمكونات البناء نتيجة استخدام المادة متغيرة الطور وتخزين كمية أكبر من الحرارة في النهار عند استخدام المادة متغيرة الطور. لقد تم إجراء محاكاة للغرفتين من أجل الحصول على قيمة حمل التبريد الكلي نفسها في أشهر الصيف، فتبين أنه للحصول على حمل التبريد الكلي نفسه في الغرفة الثانية عند استخدام مادة متغيرة الطورRT27 بسماكة [cm]3 على جدران سماكتها [cm]20 نحتاج إلى جدران سماكتها [cm]65 من دون استخدام مادة متغيرة الطور.

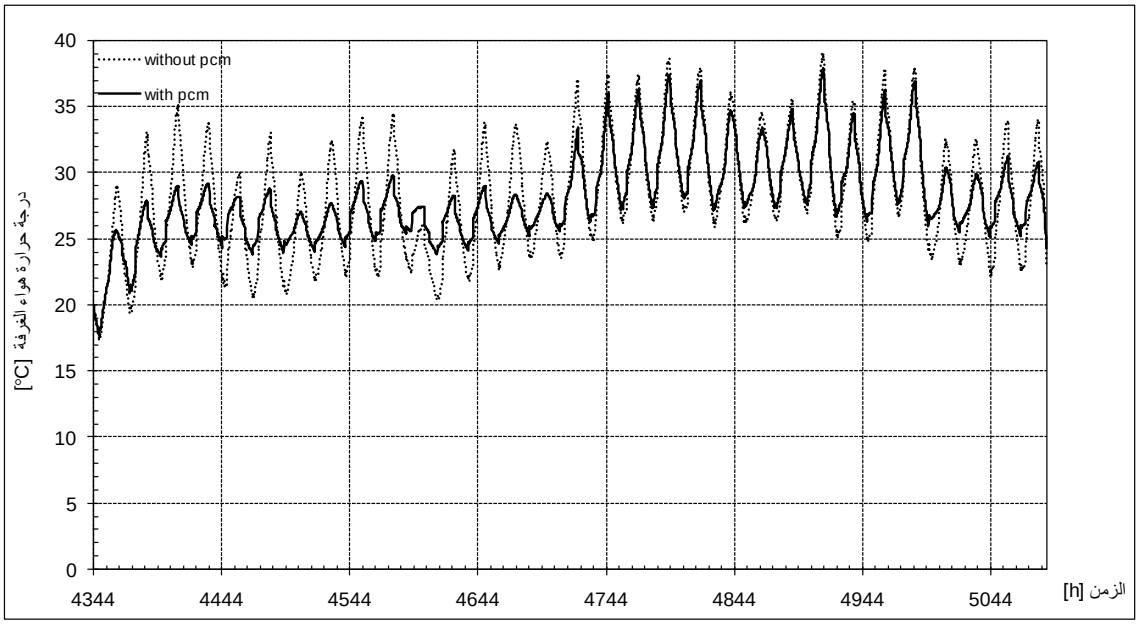
تأثير المادة متغيرة الطور على درجة حرارة الهواء الداخلية

تبين الأشكال من (6) إلى (9) تأثير المادة متغيرة الطور RT27 على درجة حرارة هواء الغرفة المدروسة خلال أشهر فصل الصيف. نلاحظ من الأشكال السابقة انخفاض درجة حرارة هواء الغرفة المزودة بالمادة متغيرة الطور نهاراً نتيجة دور المادة متغيرة الطور في امتصاص وتخزين الحرارة نهاراً حيث تتحول إلى الحالة السائلة ويصل أعظم فرق في انخفاض درجة الحرارة نهاراً مقارنة بالغرفة دون مادة متغيرة إلى القيمة [°C]6.18 في اليوم السابع من آب. كما نلاحظ ارتفاع درجة حرارة هواء الغرفة ليلاً نتيجة طرح المادة متغيرة الطور للحرارة المخزنة فيها ليلاً وبالتالي تحولها إلى الحالة الصلبة ويصل أعظم فرق في ارتفاع درجة الحرارة ليلاً مقارنة بالغرفة دون مادة متغيرة إلى القيمة [°C]5.17 في الأول من حزيران. إن انخفاض درجة حرارة الهواء نهاراً وارتفاعها ليلاً عند استخدام المادة متغيرة الطور يؤدي إلى انخفاض في التأرجح في درجات الحرارة ما بين الليل والنهار، وهذا ما يضمن الشعور بالراحة الحرارية للقاطنين داخل البناء.

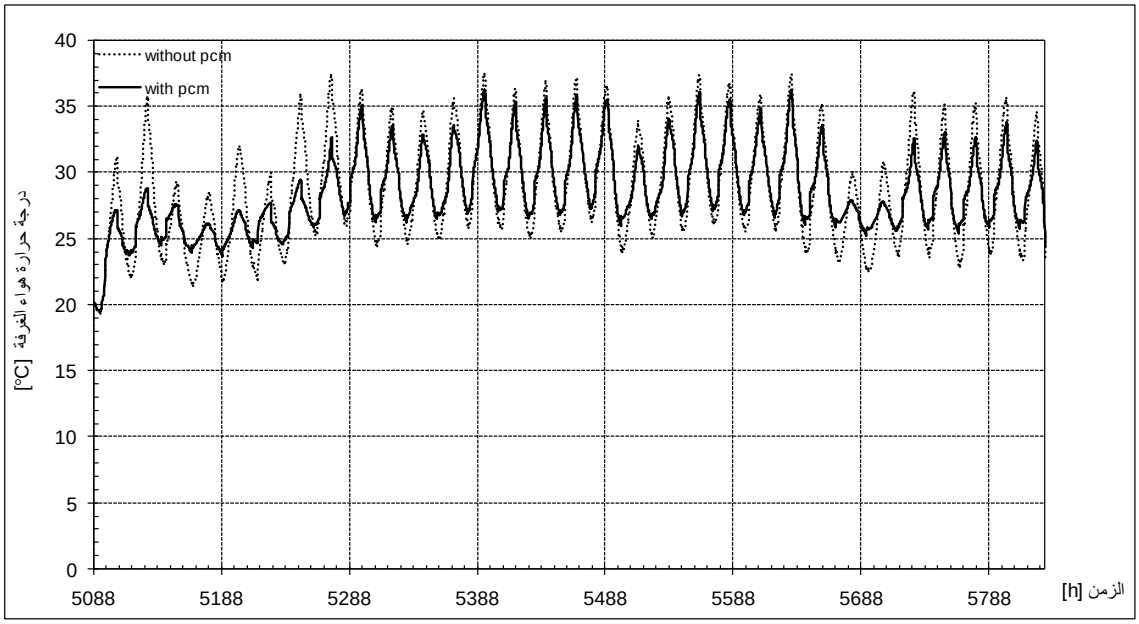
نلاحظ من الأشكال السابقة أن تأثير المادة متغيرة الطور على درجات الحرارة يكون أكبر في شهري حزيران وأيلول منها مقارنة مع شهري تموز وآب، حيث تكون درجة حرارة الغرفة أكبر بكثير من درجة انصهار المادة متغيرة الطور وينخفض دورها كمادة متغيرة الطور.



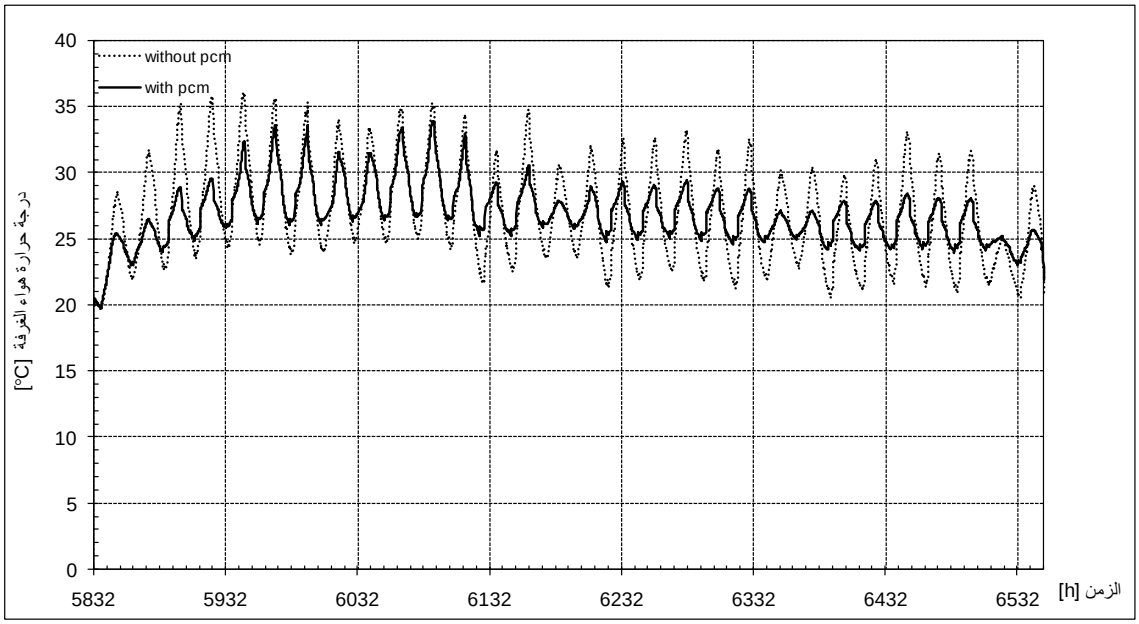
الشكل (6) تغير درجة حرارة هواء الغرفتين من دون ومع مادة متغيرة الطور (RT27) سماكتها [3[cm]
وعامل تغير الهواء [n=5[1/h خلال شهر حزيران



الشكل (7) تغير درجة حرارة هواء الغرفتين من دون ومع مادة متغيرة الطور (RT27)
سماكتها [3[cm وعامل تغير الهواء [n=5[1/h خلال شهر تموز



الشكل (8) تغير درجة حرارة هواء الغرفتين من دون ومع مادة متغيرة الطور (RT27)
سماكتها 3[cm] وعامل تغير الهواء n=5[1/h] خلال شهر آب



الشكل (9) تغير درجة حرارة هواء الغرفتين من دون ومع مادة متغيرة الطور (RT27)
سماكتها 3[cm] وعامل تغير الهواء n=5[1/h] خلال شهر أيلول

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد إجراء المحاكاة على غرفتين لدراسة تأثير استخدام المواد متغيرة الطور (PCM) باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS نستنتج ما يأتي:

1. ينخفض حمل التبريد الكلي في فصل الصيف باستخدام المواد متغيرة الطور على السطح الداخلي للجدران نتيجة زيادة السعة الحرارية للجدران، حيث نجد أنه عند استخدام المادة متغيرة الطور RT27 بسماكة [cm]3 تنخفض سماكة الجدران من [cm]65 إلى [cm]20 للحصول على حمل التبريد الكلي نفسه.

2. ينخفض حمل التبريد الكلي مع زيادة سماكة المادة متغيرة الطور، حيث عند استخدام المادة متغيرة الطور RT27 بسماكة [cm]3 ينخفض الحمل الكلي بمقدار [%]28.5.

3. ينخفض حمل التبريد الكلي مع زيادة معدل تغير الهواء فعند استخدام المادة RT27 بمعدل تغير هواء قدره [1/h] 5 تكون نسبة انخفاض الحمل حوالى [%]2.54.

4. تنخفض درجة حرارة الهواء الداخلية نهاراً وترتفع ليلاً عند استخدام المواد متغيرة الطور، فعند استخدام المادة RT27 بسماكة [cm]3 يصل أكبر انخفاض في درجة الحرارة العظمى نهاراً إلى القيمة [°C]6.18 ، ويصل أكبر ارتفاع في درجة الحرارة ليلاً إلى القيمة [°C]5.17.

5. عند استخدام المواد متغيرة الطور ينخفض التأرجح في درجات الحرارة بين النهار والليل، مما يحسن الشعور بالراحة الحرارية للقاطنين في البناء.

6. متابعة البحث في دراسة تأثير بعض الخواص الحرارية للمواد متغيرة الطور من أجل تحسينها والحصول على مادة متغيرة الطور مناسبة.

المراجع:

[1]. ARKAR, C.; MEDVED, S. *Free cooling of a building using PCM heat storage integrated into the ventilation system*. Solar Energy, Vol. 81, 2007, 1078-1087.

[2]. MEDVED, S.; ARKAR, C. *Correlation between the local climate and the free-cooling potential of latent heat storage.* Energy and Buildings, Vol. 40, 2008, 429-437.

[3]. YANBING, K.; YI, J.; YINPING, Z. *Modeling and experimental study on an innovative passive cooling system-NVP system.* Energy and Buildings, Vol. 35, 2003, 417-425.

[4]. ARKAR, C.; VIDRIH, B.; MEDVED, S. *Efficiency of free cooling using latent heat storage integrated into the ventilation system of a low building*. International Journal of Refrigeration, Vol. 30, 2007, 134-143.

[5]. ALAWADHI, M. E. *Thermal analysis of a building brick containing phase change material*. Energy and Buildings, Vol. 40, 2008, 351-357.

[6]. Chao Chen, Haifeng Guo, Yuning Liu, Hailin Yue, Chendong Wang. *Anew kind of phase change material (PCM) for energy-storing wallboard*. Energy and Buildings, Vol. 40, 2008, 882-890.

[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]. HEIM, D.; CLARKE, C, A. *Numerical modeling and thermal simulation of PCM-gypsum composites with ESP-r*. Energy and Buildings, Vol. 36, 2004, 795-805.
[9]. 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.
[10]. SHILEI, L.; NENG, Z.; GUOHUI, F. *Impact of phase change wall room on indoor thermal environment in winter* Energy and Buildings, Vol. 38, 2006, 18-24.
[11]. CABEZA, F. L.; CASTELLON, C.; NOGUES, M.; MEDRANO, M. *Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings*. Energy and Buildings, Vol. 39, 2007, 113-119.
[12]. FANG, X.; ZHANG, Z. *A novel montmorillonite-based composite phase change material and its applications in thermal storage building materials*. Energy and Buildings, Vol. 38, 2006, 377-380.
[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]. METEONORM, 4.00, Global Meteorological Database for Solar Energy Applied Meteorology. Nov 1999.