



بررسی تاثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده بر عملکرد سیستم سرمایش ساختمان در اقلیم زنجان

محمد رضا اسمعیلی*^۱، محمد نیکیان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

Esmaili7391@yahoo.com

چکیده:

درک چگونگی روند مصرف انرژی و ارائه روش‌های مختلف جهت کاهش و بهینه سازی آن تحت عنوان مدیریت مصرف انرژی در سالهای اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. انرژی‌های تجدید پذیر نقش مهمی در این زمینه ایفا می‌کنند. مواد تغییر فاز دهنده دارای این قابلیت می‌باشند که در هنگام دریافت انرژی، با تغییر فاز آن را به صورت انرژی نهان در خود ذخیره کرده و در زمان مورد نظر با بازگشت به فاز اولیه، انرژی ذخیره شده را در اختیار محیط پیرامونی خود قرار دهند. مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان‌ها به دو روش فعال و غیر فعال این فرآیند را انجام می‌دهند. پژوهش و تحلیل نرم افزاری این موضوع، با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در یک ساختمان واقع در شهر زنجان انجام شده و تاثیر کاربرد این مواد به شکل قسمتی از مصالح ساختمان بر روی بار سرمایشی آن مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژگان: مواد تغییر فاز دهنده، انرژی نهان، بار سرمایشی

Investigation effect of PCM using on cooling system at building in Zanjan climate

*Mohammad Reza Esmail*¹ Mohammad Nikian²*

1- MSc Student, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Takestan, Iran

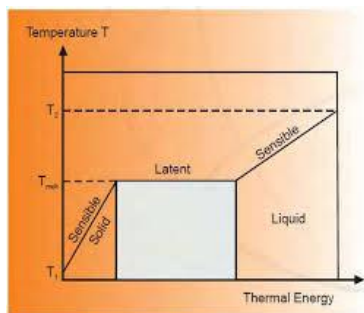
2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Takestan, Iran

†Corresponding Author Email: Esmaili7391@yahoo.com

Abstract:

Energy consumption tendency in buildings and to find out the methods to manage and optimize it as energy management methods are considered nowadays. Renewable energies can play an important role in this way. Phase change material are new substance that they have this ability to absorb energy as latent heat until transformation in their phase. When the absorbed heat is needed, heat is extracted and material change to the primary condition. PCM systems has been under taken through passive and active methods. The object of this paper consideration of PCM using effect in cooling load at building in Zanjan climate.

Key words : *PCM (phase change material, Latent Heat, cooling load).*

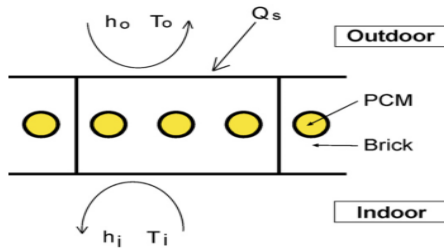


شکل (۱) - گرمای نهان بالای مواد تغییر فاز دهنده

به طور کلی مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان ها به دو روش فعال و غیر فعال مورد استفاده قرار می گیرند. در روش غیرفعال از برخی انرژی های تجدید پذیر مانند خورشید استفاده شده و انرژی حاصل از آن ذخیره می گردد. در روش دیگر که به روش فعال معروف است از منابع گرمایشی و سرمایشی موجود در ساختمانها جهت ذخیره انرژی استفاده می شود. در ادامه این دو روش توضیح داده شده است. در سیستم های غیر فعال، مواد تغییر فاز دهنده انرژی را به طور مستقیم از منبع گرمایی دریافت نموده و سپس با تغییر شرایط آب و هوایی بدون واسطه آن را به محیط پس می دهند. در این نوع سیستم ها مواد تغییر فاز دهنده بخش هایی از جداره های پوسته خارجی ساختمان را تشکیل می دهند. این مواد در طی روز انرژی تابشی ناشی از نور خورشید را جذب و در خود ذخیره می نمایند و در زمان مناسب با کاهش دما آن را به فضای داخل ساختمان منتقل می کنند. به طور کلی روش های مختلفی جهت ترکیب مواد تغییر فاز دهنده و مصالح ساختمانی وجود دارد. مخلوط کردن مستقیم یک نمونه از روشهای مهمی است که در آن مواد تغییر فاز دهنده به صورت مایع، پودر یا خمیر با مواد ساختمانی مانند گچ، آجر، سیمان و... مخلوط می گردد. روش دیگری که در ترکیب مواد تغییر فاز دهنده و مصالح ساختمانی استفاده می شود، غوطه ور سازی می باشد. در این روش مصالح ساختمانی مانند گچ، آجر سیمان و... در مواد تغییر فاز دهنده مذاب غوطه ور می شوند. مواد تغییر فاز دهنده درون حفره های داخلی مصالح جذب می گردند. در روش فعال دریافت انرژی از منابع موجود و ذخیره سازی آن در مواد تغییر فاز دهنده و انتقال آن به محیط به وسیله تجهیزات خارجی مناسبی (مانند پمپ، فن لوله و...) صورت می گیرد. سیستم های گوناگونی برای ذخیره سازی فعال وجود دارد که از آن جمله می توان پمپ گرمایی خورشیدی، گرمایش الکتریکی، کلکتور آبی، آب گرمکن خورشیدی و... را نام برد.

مدیریت مصرف انرژی و تعیین راهکارهای کاهش تلفات به معنی بررسی انواع انرژی های مورد نیاز ساختمان (گرمایشی، سرمایشی و الکتریکی) و یافتن گلوگاه های مصرف و اتلاف آنها می باشد. مدیریت مصرف انرژی می تواند به عنوان یک روش، میزان انرژی واقعی مورد نیاز یک ساختمان را اندازه گیری نموده و سپس راهکارهایی جهت کاهش و کمینه کردن آن ارائه دهد. در این روش حیطه هایی که در آن انرژی به طور موثر استفاده شده یا هدر می رود، شناسایی می شوند. در حقیقت می توان مدیریت مصرف انرژی در ساختمان را چگونگی ارتباط اجزا سیستم با یکدیگر و نحوه اثر گذاری محیط خارجی بر ساختمان دانست. استفاده از روش های جدید و انرژی های تجدید پذیر در جهت مدیریت مصرف انرژی ساختمان، یک مساله مهمی می باشد که در سالهای اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. رشد جمعیت جهان، کاهش منابع انرژی و همچنین افزایش آلاینده های ناشی از سوخت های فسیلی جامعه جهانی را به سمت استفاده از انرژی های نو و تجدید پذیر سوق داده است. در کشورهای توسعه یافته ساختمان ها در حدود ۲۰ الی ۴۰ درصد کل انرژی را مصرف می کنند یکی از روش های جدید در بهینه سازی مصرف انرژی، ذخیره سازی انرژی برودتی (حرارتی) و سپس مصرف آن در زمان مورد نیاز می باشد. یکی از روش های جدید در ذخیره سازی انرژی استفاده از اجرام حرارتی با قابلیت بالا در ذخیره انرژی می باشد. اجرام حرارتی موادی هستند که توانایی جذب، نگهداری و آزاد سازی انرژی را در زمان مورد نیاز دارند. مواد تغییر فاز دهنده نسل جدیدی از این نوع اجرام حرارتی می باشند که در هنگام دریافت انرژی، با تغییر فاز آن را به صورت انرژی نهان در خود ذخیره کرده و در زمان مورد نظر با بازگشت به فاز اولیه، انرژی ذخیره شده را در اختیار محیط پیرامونی خود قرار می دهند. در این مواد هدف استفاده از گرمای نهان ذوب در طول تغییر فاز می باشد. شکل (۱-۱)، ظرفیت بالای انرژی حرارتی (برودتی) باعث شده است تا امکان ساخت ذخیره کننده های کوچک فراهم گردد و بتوان آنها را به صورت فشرده تولید کرد. این ویژگی باعث می شود که واحدهای ذخیره کننده انرژی در کاربردهای تجاری که معمولاً با محدودیت ابعادی مواجه هستند استفاده فراوانی داشته باشند.

الوادهی (۲۰۰۸) مدلی دو بعدی را برای ساختمان آجری با حفره‌های استوانه‌ای حاوی PCM، مورد تحلیل قرار داد. او یک مطالعه پارامتری برای بررسی اثر پارامترهای طراحی مختلف مانند مقدار، نوع و مکان PCM در آجر انجام داد و نشان داد که وقتی PCM به آجر اضافه می‌شود، افزایش گرما به طور قابل توجهی (در حدود ۱۷/۵ درصد از بیرون به داخل) کاهش می‌یابد.

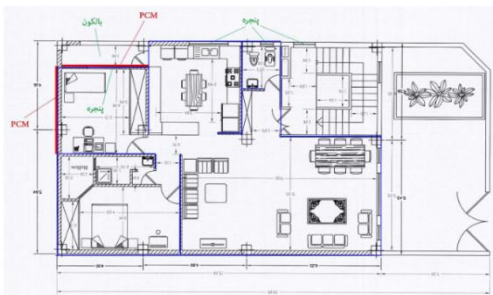


شکل (۴): قرار دادن مواد تغییر فاز دهنده به شکل استوانه در داخل آجر

همچنین ژبی و همکارانش (۲۰۱۸) برای کاهش مصرف انرژی یک ساختمان در شهر پکن چین از ۵ دیوار کامپوزیتی در سطح بیرونی ساختمان استفاده کردند. نتایج نشان داد که با استفاده از این دیوارها مصرف انرژی در ماه ژوئن ۱۰۳ کیلو ژول و در ماه دسامبر ۷۲ کیلو ژول کاهش می‌یابد.

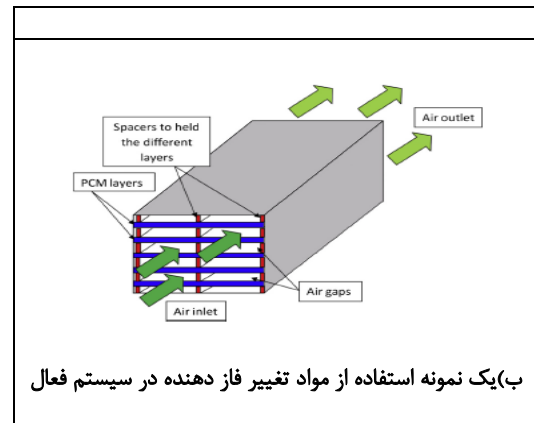
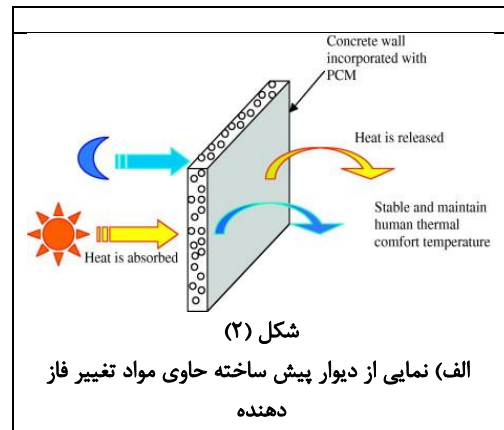
۲- روش اجرای مساله

در این پژوهش، یک اتاق از طبقه سوم یک ساختمان واقع در شهر زنجان یک بار با به کارگیری PCM در دیوارها و یک بار بدون آن برای روز ۱۵ جولای شبیه سازی می‌شود. هندسه مساله به صورت دو بعدی خواهد بود و به شکل زیر است:

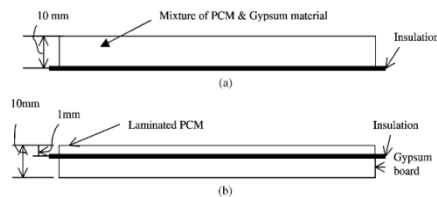


شکل (۵): هندسه ساختمان مورد بررسی

در این ساختمان فقط برای ۲ دیوار گوشه سمت چپ (قرمز رنگ بالا) از PCM استفاده می‌شود و این دیوارها چند لایه خواهند بود. این دیوار از یک لایه گچ، یک لایه PCM، یک لایه بتن و یک لایه آجر با ضخامت داده شده ساخته شده‌اند. همچنین تعدادی از دیوارها دارای پنجره هستند.



دارکوا و کیم (۲۰۰۴) دو پیکربندی مختلف دیوار PCM را برای انتقال حرارت بهتر بین فاز جامد و مایع در مرز متحرک مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که دیوار کامپوزیتی PCM دارای مزیت قابل توجهی در افزایش عملکرد حرارتی است که منجر به بهبود نرخ انتقال حرارت در یک محدوده دمایی کم می‌شود. با بررسی نتایج مربوط به دو حالت فوق الذکر مشخص می‌شود که استفاده از حالت ورقه‌ای مواد تغییر فاز دهنده موثرتر از حالت مخلوط مواد تغییر فاز دهنده با گچ می‌باشد.



شکل (۳): (a) لایه مخلوط از گچ و pcm، (b) لایه یکنواخت از pcm

کاهش حدود ۱۷ درصدی در زمان بازایی انتقال حرارت، افزایش ۲۰ الی ۵۰ درصدی در ماگزیمم رشد شار جریان و ۷ الی ۱۷ درصدی نرخ انتقال حرارت از موارد حاصل از استفاده از شرایط لایه‌ای مواد تغییر فاز دهنده می‌باشد.

۲-۱- شرایط مرزی و اولیه

شرایط اولیه برای این مسئله به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T(x, t) |_{t=0} = T_{int}$$

شرایط مرزی در بیرون از ساختمان به صورت زیر خواهد

بود:

$$q_{r,out} + h_{out}(T_{out} - T_{s,out}) = \lambda_{s,out} \frac{\partial T}{\partial x} |_{x=0}$$

و شرایط مرزی درون ساختمان نیز بدین شکل تعریف

می‌شود:

$$h_{in}(T_{in} - T_{s,in}) = \lambda_{s,in} \frac{\partial T}{\partial x} |_{x=\delta}$$

۲-۲- روابط شرایط مرزی مساله

که در آن T_{int} دمای اولیه، $q_{r,out}$ شار حرارت تشعشی

محیط بیرون، h_{out} ضریب انتقال حرارت همرفت برای سطح

بیرون، T_{out} دمای محیط بیرون، $T_{s,out}$ دمای سطح دیوار

بیرونی، $\lambda_{s,out}$ رسانش حرارتی محیط ماده بیرونی، h_{in}

ضریب انتقال حرارت همرفت برای سطح داخلی، T_{in} دمای

محیط داخل، $T_{s,in}$ دمای سطح دیوار درونی، $\lambda_{s,in}$

رسانش حرارتی محیط ماده درونی و δ ضخامت دیوار

می‌باشد. سطوح دیوارهای بیرونی تحت تأثیر تشعشع خورشید

و همرفت قرار دارند ولی سطوح دیوارهای داخلی تنها تحت

تأثیر همرفت قرار دارد و از تشعشع صرف نظر می‌شود.

همچنین ضریب انتقال حرارت متوسط برای سطوح درونی و

بیرونی به ترتیب برابر ۵ و ۲۰ ($W/m^2.K$) می‌باشد که با

استفاده از روابط ناسلت با در نظر گرفتن مقادیر سرعت

میانگین باد بدست آمده است و فرض شده است که این

مقادیر در طول روز ثابت است. دمای هوای آسایش داخل

ساختمان ۲۵ درجه سانتی گراد و دمای اولیه سیستم ۲۷

درجه سانتی گراد است. ضریب جذب (α) برابر ۰/۸ و ضریب

تشعشع سطح (ϵ) ۰/۸۶ می‌باشد.

۳- معادلات حاکم

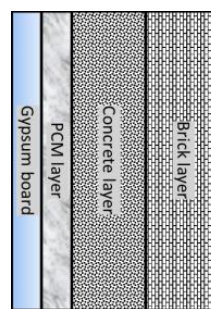
روش آنتالپی- پروژیتی تکنیکی است که برای شبیه سازی

ذوب/ انجماد در فلوننت استفاده می‌شود. در این روش؛ آنتالپی

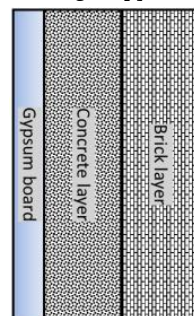
و دما هر دو باهم به عنوان یک تابع برای حل در نظر گرفته

می‌شوند و یک معادله انرژی واحد در کل منطقه موردنظر

بنابراین برای آنها فقط یک لایه شیشه در نظر گرفته می‌شود.



الف) دیوار شامل PCM

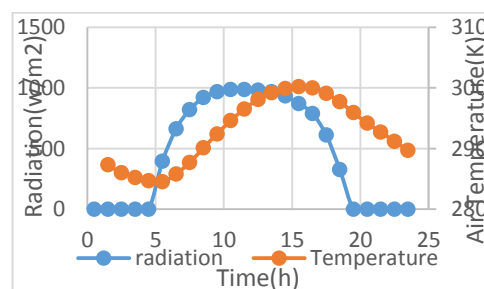


ب) دیوار فاقد PCM

شکل (۶): لایه بندی دیوار

تغییرات تابش و دمای هوا بر حسب زمان در طول روز در

نمودار (۱) رسم شده است.



نمودار (۱)- نمودار دمای هوا و مقدار تابش برای شهر زنجان در روز ۱۵ جولای

برای تعیین پاسخ حرارتی ذخیره سازی انرژی در لایه

PCM مهم است که دو فرآیند را تحلیل کنیم: الف) انتقال

گرما و انرژی بین لایه PCM و دیگر لایه های دیوار (ب)

انتقال گرما و انرژی درون لایه PCM. انتقال گرما و انرژی بین

PCM و دیگر مواد دیوار را می‌توان با ضریب انتقال گرما به

دست آمده توسط روابط مختلف ارزیابی کرد. در لایه PCM،

فرایندهای انجماد و ذوب در روز و شب اتفاق می‌افتد. در طول

شب هنگامی که هیچ تابش خورشید وجود ندارد و دمای

محیط کم است، لایه PCM منجمد شده و انرژی سرد ذخیره

می‌شود. در طول روز زمانی که تابش خورشید وجود دارد و

دمای محیط بالا است، لایه PCM ذوب می‌شود و انرژی سرد

ذخیره شده خود را در ساختمان منتشر می‌کند.

(۱) دمای محیط و شار حرارت خورشیدی، توابع زمان در طول روز هستند.

(۲) خواص مواد ثابت هستند.

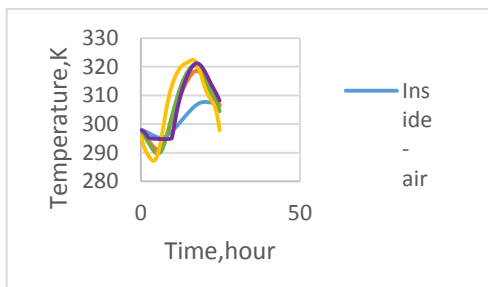
(۳) ضریب انتقال حرارت داخل و خارج ثابت است.

(۴) تبادل حرارت تابش در اتاق ناچیز است.

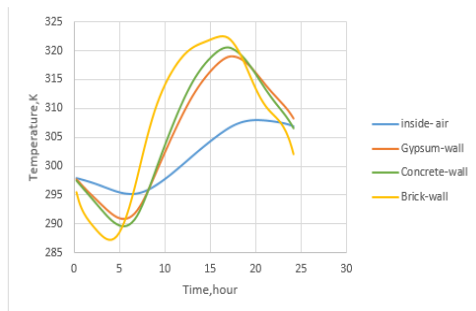
۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

۴-۱- تحلیل نمودارها

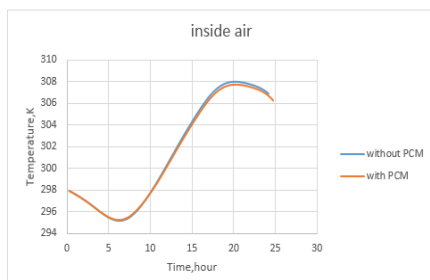
تحت تأثیر تغییرات دمای هوای بیرون ساختمان قرار می‌گیرند. بنابراین اگر در دیوارهای بیشتری از این ماده استفاده شود به طور حتم نوسانات دمایی در خانه بسیار کمتر می‌شود.



نمودار (۱-۳): تغییرات دمای میانگین هوای داخل ساختمان و دیوارها در حالتی که از pcm استفاده شود



نمودار (۲-۳): تغییرات دمای میانگین هوای داخل ساختمان و دیوارها در حالتی که از pcm استفاده نشود



نمودار (۳-۳) - مقایسه تغییرات دمای میانگین هوای داخل ساختمان در حالت دارای pcm و فاقد آن

ایجاد می‌شود که شامل فاز مایع و جامد و همچنین مرز فاز مایع / جامد است. معادلات کنترل این روش شامل:

الف) معادل پیوستگی

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0$$

ب) معادله ممنتوم

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} = \frac{1}{\rho} (-\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{V} + \rho \beta \bar{g} (T - T_{ref})) + \vec{S}$$

که \vec{V} بردار سرعت، P فشار، \bar{g} شتاب گرانش و H آنتالپی کل PCM است که می‌تواند به صورت مجموع آنتالپی گرمای محسوس (h) و آنتالپی گرمای نهان (ΔH) بیان شود:

$$h_{ref} \text{ و } h = h_{ref} + \int_{T_{ref}}^T c_p dT, \Delta H = \lambda L$$

آنتالپی مرجع در دمای مرجع T_{ref} ، c_p گرمای ویژه، ΔH گرمای نهان که می‌تواند بین صفر (در حالت جامد) و L (در حالت مایع) تغییر کند. L گرمای نهان PCM و λ جزء مایعی است که در طول تغییر فاز بین حالت جامد و مایع وقتی دما $T_l > T > T_s$ است رخ می‌دهد. جزء ذوب (λ) را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

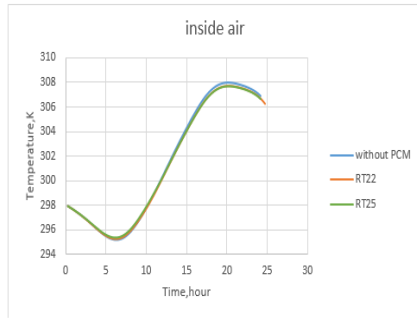
$$\lambda = \begin{cases} \frac{\Delta H}{L} = 0 & \text{if } T < T_s \\ \frac{\Delta H}{L} = \frac{T - T_s}{T_l - T_s} & \text{if } T_s < T < T_l \\ \frac{\Delta H}{L} = 1 & \text{if } T > T_l \end{cases}$$

در این معادلات S ترم مربوط به نوسانات قانون داری است که در معادله حرکت با توجه به اثرات تغییر فاز در انتقال حرارت همرفتی در نظر گرفته می‌شود:

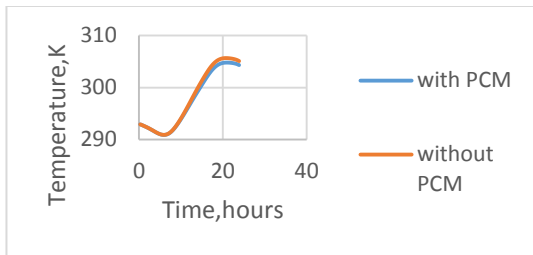
$$\vec{S} = \frac{(1 - \lambda)^2}{\lambda^3 + \varepsilon} A_{mush} \vec{V}$$

۳-۱- معادله داری

ضریب A_{mush} ثابت منطقه خمیری است. این ثابت نشان‌دهنده هندسه جبهه ذوب است؛ که توضیح می‌دهد چگونه هنگامی که ذرات مواد جامد می‌شوند، سرعت به شدت به صفر می‌رسد. این ثابت بین $10^4 - 10^7$ تغییر می‌کند. با توجه به اینکه ε عدد کوچکی است به منظور جلوگیری از تقسیم شدن به صفر، نرم‌افزار فلونت مقدار کمتر از 10^{-4} را برای آن پیشنهاد می‌دهد. برای مطالعه سیستم، فرضیه‌های زیر برای تحلیل مورد بررسی قرار گرفتند:



نمودار (۳-۶) - مقایسه تغییرات دمای میانگین هوای داخل ساختمان برای دو نمونه مواد pcm و حالت بدون آنها



نمودار (۳-۷) - تغییرات کسر مایع مواد تغییر فاز دهنده بر حسب زمان (دمای اولیه ۲۰ درجه)

۵- محاسبه بار سرمایشی:

الف) در شرایطی که ماده تغییر فاز دهنده PCM مورد استفاده قرار نگرفته است:

انتقال حرارت دیوار غربی

$$Q = 1.1 * (27 - 24) = 37 \text{ وات}$$

$$Q_{AU\Delta T} = (4 * 2.8)$$

انتقال حرارت دیوار شمالی: (بر حسب وات)

$$2 * (1.2 * 2.8) * 1.1 * (27 - 24) + (1.2 * 1.5) * 1.1 * (27 - 24) = T\Delta AU = 28.1$$

انتقال حرارت هدایتی پنجره: (بر حسب وات)

$$Q_3 = AU\Delta T = (1.6 * 1.5) * 5.8 * (27 - 24) = 41.8$$

مجموع بار سرمایشی در حالت بدون PCM:

(بر حسب وات)

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 106.9$$

ب) در شرایطی که ماده PCM در دیواره ها قرار داده

شود:

گرمای ورودی قبلا حساب شده است، نقطه ذوب PCM، ۲۲ درجه سانتیگراد می باشد قسمتی از گرمای ورودی صرف ذوب ماده تغییر فاز دهنده می شود که آن را باید از کل گرما کم کرد. این محاسبات برای لحظه پیک گرما می باشد.

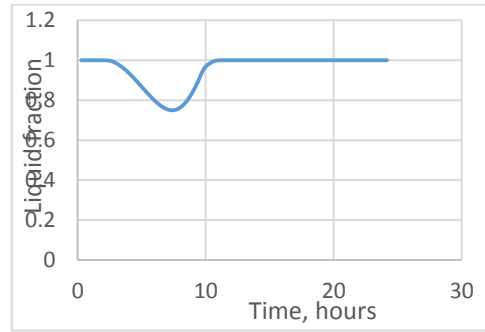
$$Q = M$$

$$Q = 190 * 450 = 85500000$$

ژول

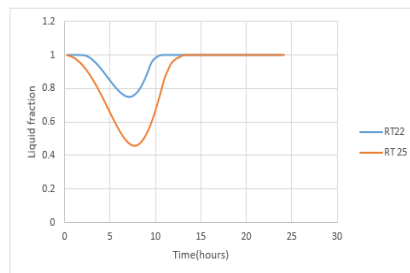
با توجه به اینکه حدود ۲۰ درصد ماده تغییر فاز دهنده

ذوب و منجمد می شود.



نمودار (۳-۴) - تغییرات جزء مایع مواد تغییر فاز دهنده بر حسب زمان

برای بررسی تأثیر نوع ماده و تغییر ماده بر روی نوسانات دمای ساختمان بار دیگر شبیه سازی را با PCM که دمای ذوب ۲۵ درجه سانتی گراد دارد تکرار می کنیم. نمودار (۴-۳) تغییرات کسر مایع را بر حسب زمان در لایه PCM نشان می دهد مشخص است که با توجه به دمای ذوب جزء بیشتری از ماده تغییر فاز دهنده مذکور ذوب شده و در نتیجه زمان مورد نیاز برای منجمد شدن PCM کمی بیشتر خواهد بود. پس در این مدت به مقدار کمی حداقل دمای داخل ساختمان نسبت به حالت قبل افزایش می یابد که در نمودار (۴-۶) این نتیجه نشان داده شده است. حال اگر دمای اولیه برای شبیه سازی ۲۰ درجه سانتی گراد باشد آنگاه تغییرات دمای متوسط داخل ساختمان برای دو حالت مورد نظر به صورت نمودار (۴-۷) خواهد بود مشاهده می شود که در این حالت ماکزیمم دمای داخل ساختمان نسبت به حالتی که از لایه PCM در دیوار استفاده می شود اختلاف بیشتری با حالت بدون PCM خواهد داشت و تأثیر استفاده از PCM مشهودتر خواهد بود. همچنین تغییرات کسر مایع با زمان در این حالت در نمودار (۴-۸) نمایش داده شده است. از آنجا که دمای اولیه (۲۰ درجه) از دمای ذوب پایین تر است، بنابراین در طول شب PCM در فاز جامد خواهد بود و با افزایش دما در صبح و با دریافت حرارت شروع به ذوب شدن می کند. در واقع مدت زمان مورد نیاز برای ذوب کامل در این حالت نسبت به حالت قبل بیشتر است و همین سبب پایین تر آمدن دمای بیشینه در داخل ساختمان می شود.



نمودار (۳-۵) - تغییرات کسر مایع بر حسب

زمان برای دو ماده تغییر فاز دهنده مختلف

کاهش میزان هزینه‌های انرژی الکتریکی در موضوع سرمایش و یا گرمایش ساختمان باشیم. البته لازمه این موضوع ایجاد زمینه مناسب در خصوص تولید یا تهیه مواد تغییر فاز دهنده به میزان انبوه و با قیمت مناسب می باشد. در این مورد انجام حمایت های لازم از سوی سازمان‌های انرژی و نیز بخش مسکن ضروری می باشد.

۷- منابع

[1] K. Darkwa and J. S. Kim, "Heat transfer in neuron composite laminated phase-change drywall," Proc. Inst. Mech. Eng. Part A J. Power Energy, vol. 218, no. 2, pp. 83–87, Jan. 2004.

[2] E. M. Alawadhi, "Thermal analysis of a building brick containing phase change material," Energy Build., vol. 40, no. 3, pp. 351–357, Jan. 2008.

[3] A. M. Thiele, A. Jamet, G. Sant, and L. Pilon, "Annual energy analysis of concrete containing phase change materials for building envelopes," Energy Convers. Manag., vol. 103, pp. 374–386, Oct. 2015.

[4] S. D. Zwanzig, Y. Lian, and E. G. Brehob, "Numerical simulation of phase change material composite wallboard in a multi-layered building envelope," Energy Convers. Manag., vol. 69, pp. 27–40, May 2013.

[5] V. V. Tyagi, D. Buddhi, R. Kothari, and S. K. Tyagi, "Phase change material (PCM) based thermal management system for cool energy storage application in building: An experimental study," Energy Build., vol. 51, pp. 248–254, Aug. 2012.

[6] X. Mi, R. Liu, H. Cui, S. A. Memon, F. Xing, and Y. Lo, "Energy and economic analysis of building integrated with PCM in different cities of China," Appl. Energy, vol. 175, pp. 324–336, Aug. 2016.

[7] W. I. W. M. Nazi, Y. Wang, H. Chen, X. Zhang, and A. Paul Roskilly, "Passive Cooling Using Phase Change Material and Insulation for High-rise Office Building in Tropical Climate," Energy Procedia, vol. 142, pp. 2295–2302, Dec. 2017.

[8] J. Xie, W. Wang, J. Liu, and S. Pan, "Thermal performance analysis of PCM wallboards for building application based on numerical simulation," Sol. Energy, vol. 162, pp. 533–540, Mar. 2018.

[9] K.S. Reddy and Vijay Mudgal and Tapas K. Mallick, "Thermal Performance Analysis of Analysis of Multi-Phase Change Material Layer-Integrated Building Roofs for Energy Efficiency

ژول $0.2 \times 85500 = 17100000$
با توجه به اینکه PCM خود نیز رسانش حرارتی 0.2 دارد، به عنوان عایق نیز عمل کرده و مجموع بار حرارتی در این مرحله متفاوت از حالت قبل می باشد. یعنی مقدار $AU\Delta T$ ماده PCM از $\sum Q$ کم می گردد :

کیلوژول $-\sum Q = 106.9$
 $[(4 \times 2.8) + 2(1.2 \times 2.8) + (1.2 \times 1.5)] \times 0.2 \times 3 = 95.1$
از آنجاییکه مطابق نمودار پیک گرما حدود یک ساعت طول می کشد حرارت ورودی $\sum Q$ در ساعت پیک برابر است با: ژول $118.7 \times 3600 = 427320$ پس $\sum Q < \sum Q$ پس حرارت ورودی بسیار کمتر از مقاومت PCM بوده و هیچگونه حرارتی عبور نمی کند.

با محاسبه درصد اختلاف بار حرارتی در حالت استفاده از مواد تغییر فاز دهنده و بدون آن، مشاهده می شود که حدود $11/8\%$ کاهش مصرف انرژی وجود دارد. بر این اساس استفاده از مواد تغییر فاز دهنده می تواند در میزان مصرف انرژی صرفه جویی به وجود آورد.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری :

با توجه به اینکه کلیه تلاشهای بشر در بحث تهویه مطبوع در جهت ایجاد شرایط مطلوب برای انسان در محیط زندگی می باشد، این تلاشها با صرف هزینه‌های هنگفت و مصرف قابل توجه انرژی‌های تجدید پذیر و سوخت‌های فسیلی همراه می باشد و این مساله سبب کاهش منابع انرژی و آلودگی‌های زیست محیطی می گردد یکی از این روش‌های کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی مدیریت مصرف انرژی در ساختمان می باشد. مواد تغییر فاز دهنده و سیستم‌های ذخیره کننده انرژی در این سالها نقش مهمی در مدیریت مصرف انرژی پیدا کرده‌اند. با مطالعه نتایج حاصل از تحلیل نرم افزاری و نیز محاسبه بار سرمایشی اتاق این تحقیق، مشاهده می شود که استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در شرایط اقلیمی منطقه زنجان با در نظر داشتن شرایط آب و هوایی سرد و نیمه خشک و نوع مصالح مورد استفاده در ساختمان در کاهش حدود 12% درصد از میزان بار سرمایشی ساختمان موثر می باشد.

۶-۲- پیشنهادات :

در صورت فراهم شدن شرایط مطلوب برای تهیه و استفاده از مواد تغییر فاز دهنده به عنوان قسمتی از مصالح مصرفی در حین ساخت مسکن و یا واحدهای تجاری می توانیم شاهد

in Built-Environment, energies journal ,pp. 1-15
,Sep.2017

[۱۰] منصوری شبنم، پیرکندی جاماسب، افشاری ابراهیم،
بررسی نقش مواد تغییر فاز دهنده در مدیریت مصرف انرژی
ساختمان‌ها. فصل نامه علمی- ترویجی انرژی‌های تجدید پذیر
و نو ، سال دوم، شماره دوم ، زمستان ۱۳۹۴