مجله مهندسی مکانیک و ارتعاشات، بهار ۱۴۰۰، دوره ۱۲، شماره ۱، ص‌ص ٤٤-۵۶

فصلنامه

مهندسی مکانیک و ارتعاشات

jvibme.semnaniau.ac.ir

مروری بر بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمانها توسط مواد تغییر فاز دهنده و سیستم مدیریت هوشمند

مهدی عبدوس[۱]، عبدالله خالصی دوست[۲*]، هادی کارگر شریف‌آباد[۲]

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی**، سمنان، ایران
۲- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی**، سمنان، ایران
* سمنان، صندوق پستی ۳۵۱۴۵-۱۷۹، ab.khalesi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

مقاله مروری
دریافت: ۵ اسفند ۱۳۹۹
پذیرش: ۳ اردیبهشت ۱۴۰۰
ارائه در سایت: ۲۰ خرداد ۱۴۰۰

کلیدواژگان

بهینه سازی مصرف انرژی
عایقکاری
تلفات حرارتی
مواد تغییر فاز دهنده
سیستم مدیریت هوشمند

چکیده

یکی از مسایل مورد توجه در جهان امروز صرفه جویی در مصرف انرژی است که در صنعت ساختمان سازی، عایقکاری حرارتی مناسب، از راهکار های جلوگیری از اتلاف انرژی میباشد. همچنین استفاده از مصالح نوین و مناسب عایق مارا در تحقق این امر یاری می رساند. بحران انرژی، گرمایش زمین و دیگر مسائل زیست محیطی همواره انگیزه اصلی محققان و مهندسان برای جستجوی راه های جدید کاهش مصارف انرژی ساختمان بوده است. اخیرا، استفاده از مواد تغییر فاز دهنده جهت افزایش جرم حرارتی ساختمان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مواد تغییر فاز دهنده ترکیبات آلی یا معدنی هستند که قابلیت جذب و ذخیره پنهان مقادیر زیادی از انرژی گرمایی را درون خود دارند. با توجه به این قابلیت منحصر به فرد، میتوان با استفاده از این مواد به طور طبیعی چندین ساعت در انتقال حرارت به ساختمان در ساعات اوج مصرف انرژی تاخیر ایجاد نموده و لذا به هدف بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان نزدیکتر شد. بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده در صنعت ساختمان به همراه استفاده مناسب از قابلیتها و خواص فیزیکی مصالح، چندین دهه قبل در دنیا مطرح شده و امروزه در کشورهای پیشرفته امری شناخته شده است و این در حالیست که در کشور ما وجوه تحقیق و کاربرد این مواد در صنعت ساختمان تقریبا ناشناخته مانده است. هدف این مقاله معرفی و ارائه پیشنهاداتی جهت بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده در جهت ذخیره سازی و کاهش مصرف انرژی در ساختمان میباشد.

A review of energy efficiency in buildings by phase change materials and intelligent management system

Mehdi Abdoos[1], Abdollah Khalesi Doost [2*], Hadi Kargar Sharifabad[2]

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran
2- Energy and Sustainable Development Research Center, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran
* P.O.B. 35145-179 Semnan, Iran, ab.khalesi@yahoo.com

Article Information

Review Paper
Received 23 February 2021
Accepted 23 April 2021
Available Online 10 June 2021

Keywords

Energy efficiency
Insulation
Heat loss
Phase change material

ABSTRACT

One of the most important issues in the world today is energy saving, which in the construction industry, proper thermal insulation is one of the solutions to prevent energy loss. Also, the use of new and suitable insulation materials helps us to achieve this. Energy crisis, global warming and other environmental issues have always been the main motivation for researchers and engineers to look for new ways to reduce building energy consumption. Recently, the use of phase change materials to increase the thermal mass of the building has received much attention. Phase changers are organic or

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Mehdi Abdoos, Abdollah Khalesi Doost, Hadi Kargar Sharifabad, A review of energy efficiency in buildings by phase change materials and intelligent management system, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 12, No. 1, pp. 44-56 2021 (In Persian)

inorganic compounds that have the ability to absorb and store large amounts of heat energy within themselves. Due to this unique feature, using these materials can naturally delay the transfer of heat to the building for several hours during peak hours of energy consumption and therefore closer to the goal of optimizing energy consumption in the building. The use of phase change materials in the construction industry along with the proper use of the capabilities and physical properties of materials, was introduced in the world several decades ago and is now known in developed countries, while in our country the research and application of these materials in the construction industry remains almost unknown. The purpose of this article is to introduce and provide suggestions for using phase change materials to store and reduce energy consumption in the building.

Intelligent management system

۱- مقدمه

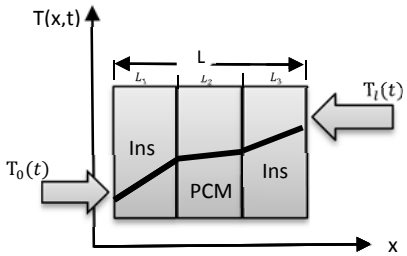
افزایش قیمت حامل های انرژی از طرفی و افزایش انتشار گازهای گلخانه ای از سویی دیگر از دلایل اصلی برای استفاده از سایر منابع انرژی میباشد .دانشمندان و مهندسین در سراسر جهان در تلاشند تا روشهایی برای کاهش مصرف سوخت، افزایش بازدهی سیستمهای انرژی و استفاده از منابع جدید و تجدیدپذیر انرژی و جایگزینی آنها با منابع محدود سوختهای فسیلی بیابند . یکی از روشهای افزایش بازدهی سیستم های انرژی، توسعه سیستم های ذخیره انرژی به منظور برطرف نمودن عدم تطابق بین ذخیره و مصرف میباشد .ذخیره گرمای نهان که بر اساس جذب (آزاد) کردن انرژی در هنگام تغییر فاز مواد از حالت جامد به مایع، مایع به گاز و برعکس میباشد، به علت فراهم آوردن میزان بالای انرژی و همچنین ذخیره سازی انرژی در دمای ثابت در دهه های اخیر مورد توجه قرار گرفته است .با توجه به بحران انرژی در چند دهه اخیر، استفاده از مواد تغییر فاز دهنده به منظور ذخیره سازی انرژی و کاهش بار سرمایی و گرمایی مورد نیاز برای تهویه در ساختمان ها بشدت مورد توجه محققین قرار گرفته است .با توجه به وجود آمدن بحران انرژی در دنیا، بهره گیری از مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان با در نظر گرفتن عملکرد گرمایی آنها، برای استفاده از سیستمهای گرمایش و سرمایش طبیعی مورد توجه قرار گرفته است. به کارگیری این مواد در ساختمان علاوه بر کم کردن اثر تغییرات شدید هوای بیرون روی هوای داخلی ساختمان، در جابجایی بار الکتریکی مورد نیاز از ساعات پیک به ساعات غیرپیک، نقش موثری ایفا میکنند که موجب میشود کاربرد این مواد از نظر اقتصادی نیز باصرفه بوده و هزینه های مصرف انرژی در ساختمان کاهش یابد.

به طور کلی مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان ها به دو صورت مورد استفاده قرار می گیرند. ۱- استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در دیوار ها و اجزای سازنده ساختمان که از طرفی موجب افزایش ظرفیت حرارتی ساختمان شده و از سویی دیگر موجب کاهش بار سرمایی و گرمایی مورد نیاز ساختمان می شود. ۲- استفاده از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره سازی گرما و سرما تولید شده توسط تجهیزات در زمینه استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در دیوار ها و اجزای سازنده ساختمان کارهای تجربی و عددی انجام گرفته است. این امر اولین بار توسط تلکس در سال ۱۹۷۵ که به بررسی استفاده از این مواد در دیوارهای ساختمان پرداخت، پیشنهاد شد[۱]. ییپو و همکاران[۲] در سال ۱۹۹۱ به صورت تجربی اثر اضافه کردن لایهای از مواد تغییر فاز دهنده در دیوارها جهت گرمایش ساختمان را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند اضافه کردن این لایه تا ۱۵ درصد از هزینه های انرژی سالیانه می کاهد. استتیو و فوستل[۳] در سال ۱۹۹۸ با حل عددی به صورت یک بعدی به بررسی استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در دیوارهای ساختمان پرداختند و بیان کردند استفاده از این مواد تا ۲۸ درصد از بار سرمایی مورد نیاز ساختمان می کاهد. هیم وکلارک[۴] در سال ۲۰۰۴ اثر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در پوشش درونی اتاق را مورد بررسی قرار دادند. خواص فیزیکی ماده تغییر فاز دهنده که بصورت مخلوط شده با گچ به عنوان لایه داخلی دیواره استفاده شده، به صورت ترکیبی از خواص گچ و ماده تغییر فاز دهنده در نظر گرفته شده بود. با استفاده از روش آنتالپی و جایگزینی تغییر فاز ، مدل سازی عددی صورت گرفته است. نتایج این تحقیق کاهش ۹۰ درصد در بار حرارتی مورد نیاز به دلیل انرژی خورشیدی ذخیره شده در دیواره در شرایط آب و هوایی مورد مطالعه را نشان می دهد. دارکوا و کالاجین[۵] در سال ۲۰۰۵ به صورت عددی تحقیقاتی در زمینه تاثیر نوع قرار گیری ماده تغییر فاز دهنده در دیواره و همچنین ضخامت لایه حاوی ماده تغییر فاز انجام دادند. لین و همکاران[۶] نیز در سال ۲۰۰۵ نوع جدیدی از سیستم های گرمایش از کف را مطرح کردند که در آن لایهای از مواد تغییر فازدهنده در کف قرار

گرفته بود. نتایج این کار تجربی نشان داد افزودن این لایه علاوه بر اینکه موجب افزایش دمای اتاق می شود، باعث کاهش بار حـرارتی مـورد نیـاز ساخـتمان می شود. هالفورد و بوهم[۷] در سال ۲۰۰۷ به صورت عددی انتقال بار پیک سرمایی مورد نیاز ساختمان با استفاده از مواد تغییییر فاز دهنده که در بین دیوارها قرار داشت را مورد مطالعه قرار دادند. تحقیقات آنها نشان داد وجود این لایه موجب کاهش بار سرمایی به مقدار ۱۹ تا ۵۷ درصد در مقایسه با عدم وجود لایه میشود. زو و همکارانش[۸] در سال ۲۰۰۷ به صورت عددی کاربرد ماده تغییر فاز دهنده را در دیواره ی ساختمان مورد بررسی قرار دادند. بررسی ها برای ماده تغییر فاز دهنده مخلوط شده با گچ و استفاده از مواد تغییر فاز دهنده به صورت لایه ی مجزا انجام گرفته است. نتایج نشان دهنده عملکردحرارتی بهتر مواد تغییر فاز دهنده به صورت لایه ای است. هالاوا و همکاران[۹] در سال ۲۰۱۰ به بررسی عددی فرآیند تغییر فاز به صورت یک بعدی با شرایط مرزی انتقال حرارت جابجایی پرداختند. همچنین در سال ۲۰۱۱ تحقیقاتی در زمینه استفاده از مواد تغییر فار دهنده در دیواره خارجی ساختمان استفاده انجام داد. مدل سازی عددی با استفاده از معادله هدایت گذرا به صورت یک بعدی و تعریف ظرفیت حرارتی در حین فرآیند تغییر فاز ، صورت گرفته است. در این مقاله با استفاده از مدل عددی ساده سازی شده، عملکرد حرارتی این مواد در دیواره سه لایه با ساختار عایق، ذخیره ساز و عایق مورد مطالعه قرار گرفته است .خواص ترمو فیزیکی مواد تشکیل دهنده دیواره ثابت و مستقل از زمان فرض شده اند. اثر تغییر خواص حرارتی ماده تغییرفاز دهنده روی عملکرد آن در یک دیوار مرکب و نیز تاثیر موقعیت قرارگیری ماده تغییرفاز دهنده در دیوار مورد بررسی قرار گرفته است[۱۰].

۲- طرح و تشریح مسئله و معادلات حاکم

دیواره خارجی بررسی شده در این مقاله از ۳ لایه مجزا تشکیل شده است که طرح شماتیک آن مطابق شکل ۱ است. همانطور که دیده میشود ضخامت لایه داخلی دیواره با L1 ، ضخامت لایه میانی دیواره با L2 و ضخامت لایه بیرونی دیواره با L3 نشان داده شده است. L نیز معرف ضخامت کلی دیواره میباشد. لایه ۱ و ۳ از جنس فایبرگلاس و لایه میانی حاوی ماده تغییر فاز دهنده است. در ضمن ضخامت لایه حاوی ماده تغییر فاز دهنده ۴ میلیمتر و مجموع ضخامت لایه های فایبرگلاس ۱۶۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است .



شکل ۱ هندسه ومحورهای مختصات مسئله

ضخامت بی بعد عایق مطابق رابطه شماره (۱) تعریف میگردد:

$$L_{norm}=\frac{L_1}{L_{1+L_2}} \qquad (۱)$$

۲-۱ معادلات حاکم در وضعیت تک فازی

معادله هدایت گذرا در فرمول شماره (۲) حاکم بر تمامی لایه ها در حالت تک فاز میباشد. لازم به ذکر است که به دلیل عدم جریان یافتن ماده تغییر فاز دهنده و قرار گیری این مواد بین مواد دیگر که تغییر فاز نمی دهند، از انتقال حرارت جابجایی صرف نظر شده است.

$$K_n \frac{\delta^2 T}{\delta x^2} = \rho_n C_n \frac{\delta T}{\delta t} \qquad (۲)$$

شرایط مرزی مسئله نیز مطابق روابط (۳و۴) در نظر گرفته شده اند که T_l دمای محیط بیرون و T_0 دمای محیط داخل است.

$$T(0,t) = T_0 \qquad (۳)$$

$$T(L,t) = T_l(t) \qquad (۴)$$

در معادلات فوق K_n ،ρ_n ،C_n به ترتیب ضریب هدایت حرارتی، چگالی، ظرفیت حرارتی ویژه میباشند . با اعمال روش تفاضلات محدود بر معادله هدایت گذرا ، بسط مرکزی برای مکان و بسط پیشرو برای زمان در درون هر یک از لایه ها داریم:

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \frac{K_n \Delta t}{\rho_n C_n \Delta x^2} k_{pcm}\left(T_{i+1}^j - 2T_i^j + T_{i-1}^j\right) \qquad (۵)$$

برای فصل مشترک داخلی وخارجی نیز معادله هدایت گذرا به ترتیب مطابق روابط ۶و۷ جداسازی می شوند.

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \frac{2\Delta t}{[(\rho c)_{ins} + (\rho c)_{pcm}]\Delta x^2}[k_{ins}(T_{i+1}^j - T_i^j) + k_{pcm}(T_{i+1}^j - T_i^j)] \quad (۶)$$

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \frac{2\Delta t}{[(\rho c)_{ins} + (\rho c)_{pcm}]\Delta x^2}[k_{pcm}(T_{i-1}^j - T_i^j) + k_{ins}(T_{i+1}^j - T_i^j)] \quad (۷)$$

در معادلات ۶ و ۷ زیرنویس pcm برای ماده تغییرفاز دهنده و زیرنویس ins برای لایه عایق است.

۲-۲معادلات حاکم در وضعیت دو فازی

برای مواد تغییر فاز دهنده در حالت تغییر فاز، دما در مرز مشترک بین جامد و مایع ، برابر با دمای تغییر فاز ماده می باشد.

$$T = T_m \quad (۸)$$

$$T_i^{j+1} = T_i^j = T_m \quad (۹)$$

به منظور محاسبه میزان ذوب شدگی ماده تغییر فاز دهنده در حین فرایند تغییر فازکه به صورت $\lambda = \frac{m_l}{m_l + m_s}$ بیان می‌شود (m_l جرم ماده در حالت مایع و m_s جرم ماده در حالت جامد) داریم :

$$K_n \frac{\delta^2 T}{\delta x^2} = \rho \frac{\delta \lambda}{\delta t} \alpha \quad (۱۰)$$

که α بیانگر گرمای نهان ذوب است. با استفاده از روش تفاصلات محدود، بسط مرکزی برای مکان و بسط پیشرو برای زمان، رابطه ۱۰ برای نقاط داخلی لایه مطابق رابطه ۱۱ جداسازی می شود:

$$\lambda_i^{j+1} = \lambda_i^j + \frac{k_{pcm}\Delta t(T_{i+1}^j - 2T_m^j + T_{i-1}^j}{\rho_{pcm}\alpha(\Delta x^2)} \quad (۱۱)$$

برای فصل مشترک داخلی و خارجی ، معادله جداسازی شده به ترتیب مطابق معادلات ۱۲و۱۳ بیان می شوند:

$$\lambda_i^{j+1} = \lambda_i^j + \frac{2\Delta t(k_{pcm}(T_{i+1}^j - T_m^j) - k_{ins}(T_m^j - T_{i-1}^j)}{\rho_{pcm}\alpha(\Delta x^2)} \quad (۱۲)$$

$$\lambda_i^{j+1} = \lambda_i^j + \frac{2\Delta t(k_{ins}(T_{i+1}^j - T_m^j) - k_{pcm}(T_m^j - T_{i-1}^j)}{\rho_{pcm}\alpha(\Delta x^2)} \quad (۱۳)$$

که λ بین مقادیر صفر در حالت جامد و 1 در حالت مایع تغییر میکند $0 \le \lambda \le 1$

میزان ذوب شدگی کلی ماده تغییر فاز دهنده در هر مرحله زمانی نیز به صورت رابطه ۱۴ قابل محاسبه میباشد:

$$\gamma^j = \sum_{i=1}^{N} \frac{\Delta x}{L_2} \lambda_i^j \quad (۱۴)$$

که بین صفر برای فاز جامد و یک برای فاز مایع قابل تغییر است . دمای داخلی دیواره در دمای ثابت T0=302 قرار دارد. تغییرات دمای محیط به عنوان شرط مرزی بیرونی مسئله در نظر گرفته شده است که با یک تابع سینوسی با دمای میانگین ۳۱۰ درجه کلوین و دامنه نوسان ۸ درجه کلوین در نظر گرفته شده است. برای دوره تناوب ۲۴ ساعته داریم:

$$T_L(t) = 310 + 8\sin(2\pi t / 86400) \quad (۱۵)$$

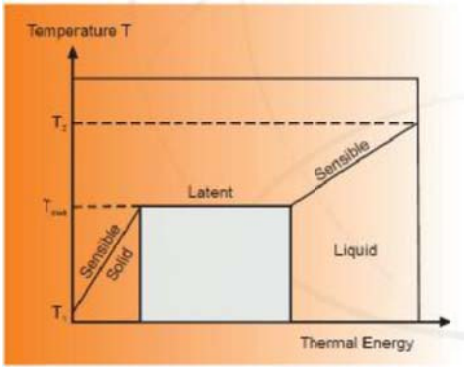
از توزیع دما حالت پایدار بین دمای میانگین فضای بیرونی و دمای ثابت داخلی به عنوان شرط اولیه حل استفاده شده است. فرض شده است در ابتدای حل، ماده تغییر فاز دهنده در فاز جامد قرار داشته باشد ($\lambda = 0$)

۳- معرفی مواد تغییر فاز دهنده

مواد تغییر فاز دهنده PCM[1] ترکیبات آلی یا معدنی هستند که قابلیت جذب و ذخیرهٔ مقادیر زیادی از گرما را درون خود بصورت پنهان دارند. ذخیره انرژی گرمایی در این مواد در طی پروسه تغییر فاز (تغییر حالت از جامد به مایع یا بالعکس) اتفاق میافتد. این مواد به هنگام تغییر فاز از جامد به مایع یا از مایع به جامد، این گرما را از محیط جذب نموده و یا به محیط پس میدهند و این قابلیت را دارند که این انرژی نهفتهٔ گرمایی را بدون هیچگونه تغییری حتی پس از هزاران چرخهٔ تغییر فاز درون خود حفظ نماید .مواد تغییر فازدهنده مورد استفاده در ساختمانها از طریق چرخه های متوالی ذوب و انجماد در تغییرات شدید دمای هوا (مثلا بین شب و روز)، مقادیر زیادی گرما را با محیط تبادل نموده و از این طریق دمای هوای متعادلتری را برای فضای داخل ساختمان تامین مینمایند. در مطالعات متعددی که درزمینه کاربرد اینگونه مواد در ساختمان صورت گرفته نتایج بسیار مطلوبی در ارتباط با کاهش انرژی مصرفی برای سرمایش و گرمایش و همچنین سهولت در تامین شرایط آسایش و راحتی ساکنین به دست آمده است. مواد تغییر فاز دهنده از مشتقات پارافین هستند مشکل اشتعال پذیری دارند و به همین دلیل استفاده از آنها در ساختمان های مسکونی ممکن نیست در سالهای اخیر BioPCM به عنوان نسل جدید مواد تغییر فاز دهنده که همه ویژگی های مواد قبلی را دارد ولی اشتعال پذیر نیست، معرفی شده است این مواد به صورت کپسول های بلوکی عرضه می شوند[۱۰].

۳-۱ چگونگی عملکرد مواد تغییر فاز دهنده

این مواد در طبیعت در سه فاز مایع، جامد و گاز وجود دارند. در صورتی که مادهای از یک فاز به فاز دیگر تغییر حالت دهد مقداری گرما را که گرمای نهان نامیده میشود جذب یا آزاد مینماید. بعنوان مثال یک ماده جامد پس از گرم شدن و رسیدن به نقطه ذوب خود، به جذب حجم بالایی از انرژی (که گرمای نهان ذوب نامیده میشود) پرداخته و حالت خود را از جامد به مایع تغییر میدهد. مواد تغییر فاز ها این خاصیت را دارند که حالت خود را در یک PCM دهنده یا دامنه دمایی مشخص تغییر دهند، به این مفهوم که در طی پروسه تغییر حالت، دمای خود را برای طول مدت تغییر حالت حفظ مینمایند. در واقع روش کار این مواد برای ذخیرهٔ انرژی گرمایی به اینصورت است که در طی فرآیند گرم شدن محیط، به صورت موازی با محیط گرم میشوند تا زمانیکه به دمای ذوب خود (تغییر فاز) برسند. پس از رسیدن به این دما علیرغم اینکه دمای محیط همچنان به روند افزایشی خود ادامه میدهد، دمای این مواد و البته محیط اطراف آن به دلیل اینکه در حال تغییر فاز است، ثابت مانده و در برابر افزایش مقاومت مینماید. در واقع در طی این بازهٔ زمانی که مقادیر زیادی از PCM معمولا چند ساعت نیز به طول میانجامد گرمای محیط را به خود جذب مینماید ولی آن را صرف افزایش دمای خود نمیکند؛ بلکه این گرمای جذب شده را صرف تغییر فاز خود از جامد به مایع نموده و در طی پروسهٔ تغییر فاز، دمای خود و محیط اطراف خود را ثابت نگه می دارد .این روند تغییرات دمایی و جذب انرژی گرمایی در شکل۲ بخوبی قابل مشاهده است. در منطقه مربع شکل سفید رنگ، پروسه تغییر فاز در حال شکل گرفتن بوده و در همین منطقه است که انرژی گرمایی جذب شده توسط ماده درون آن ذخیره میشود[۱۱].



شکل ۲ نمودار عملکردPCM

در PCM های بکار رفته در جداره ساختمان، اگر در PCM انتخاب شده شده دمای ذوبی در محدوده دمای همان منطقه در حوالی ظهر داشته باشد، پروسه تغییر فاز در طول روز در حدود ظهر که دمای محیط به حداکثر خود میرسد میتواند اتفاق بیافتد . بنابراین پس از موجود در PCM ، گرم شدن محیط و رسیدن آن به دمای حداکثر جداره نیز گرم شده و به نطقه ذوب خود میرسد. اما از این زمان به بعد PCM به جذب انرژی گرمایی محیط ادامه میدهد ولی در برابر افزایش دمای خود و محیط اطراف خود مقاومت نموده و دما را در همان نقطه ذوب حفظ می نماید. این روند تا زمانیکه کل ماده تغییر فاز دهنده از حالت جامد به مایع تبدیل شود ادامه مییابد که معمولا چند ساعت به طول خواهد انجامید. پس از ذوب شدن کامل مواد تغییر فاز دهنده، مقاومت آن نیز در برابر افزایش دما از بین خواهد رفت. اما این اتفاق زمانی خواهد افتاد که به دلیل گذشت ساعات اوج

[1] Phase Change Material (PCM)

گرمای روز، محیط هم روند گرمایشی خود را متوقف نموده است. بنابراین با استفاده از این مواد در جداره ساختمان توانسته ایم بطریقی از بار گرمایی محیط در ساعات پیک گرمایی بکاهیم. عکس این اتفاق حین پروسهٔ تشکیل جامد صورت می پذیرد. به این معنی که علیرغم سرد شدن هوا در طی شب، PCM پس از رسیدن به نقطهٔ انجماد خود به دلیل آزادسازی گرمای نهان و تبدیل حالت از مایع به جامد در برابر کاهش دما مقاومت مینماید. این ماده از طریق آزادسازی گرمای جذب شده در طول روز، از کاهش دمای خود و محیط اطراف خود جلوگیری نموده و از این طریق نیز بخشی از بار سرمایشی محیط در طول ساعات سرد شب را کاهش خواهد داد. بنابراین قابل مشاهده است که تنها با انتخاب هوشمندانه ماده تغییر فاز دهنده از نظر دمای تغییر فاز، و کاربرد آن در جداره ساختمان میتوان براحتی و بدون استفاده از تجهیزات مکانیکی اضافه و تنها با استفاده از قابلیت طبیعی این مواد برا ی تغییر فاز، از مصرف انرژی سرمایش و گرمایش در ساعات پیک مصرف انرژی کاست. که این امر از طریق کاهش نوسانات دمای ساختمان و تامین نمودن دمای هوای متعادل تری در ساعات اوج گرما یا اوج سرما میسر میشود. از نکات مهم در استفاده از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیرهٔ گرما، دانسیتهٔ بالای این مواد در ذخیره انرژی گرمایی نسبت به سایر روشهای محسوس برای ذخیره انرژی گرمایی است. بعنوان مثال در نقطهٔ ذوب خود ۱۹۰ کیلو ژول انرژی را ذخیره میکند. برای ذخیره همین مقدار انرژی با استفاده از آب باید آن را تا ۴۵ درجه سانتیگراد گرم کنیم و در صورت استفاده از بتن باید آن را تا ۱۹۰ درجه سانتیگراد گرم کنیم تا همین مقدار انرژی ذخیره گردد. نمودار شکل ۲ به سادگی به مقایسهٔ تغییرات دمایی این سه ماده برای ذخیره میزان یکسانی از انرژی اشاره میکند. نقطه ذوب PCM های مختلف رنج دمایی پهناوری از ۳۰- الی ۹۰ درجه سانتیگراد را پوشش میدهد که از این بین مواد تغییر فاز دهندهای که نقطه ذوبشان در بازه دمایی ۲۰ تا ۳۲ درجه سانتیگراد است پتانسیل بهتری برای بکارگیری در ساختمان و تامین آسایش حرارتی را دارند. علاوه بر آب ۵۰۰ نوع طبیعی یا مصنوعی از وجود دارد که تفاوت آنها در دمای تغییر فاز و همچنین میزان گرمای نهان آنهاست. با انتخاب نوع مناسب این مواد بر اساس نوع اقلیم منطقه و متناسب با فصل میتوان از این ماده جهت تعدیل هوای داخل ساختمان و بنابراین صرفه جویی طبیعی درصدهای بالایی از انرژی مصرفی برای سرمایش و گرمایش استفاده نمود.

۳-۲ روشهای بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان

با توجه به این مطلب که مواد تغییر فاز دهنده در طول دوره کاربرد خود در دو فاز مایع و جامد وجود دارند، لذا این مواد بایستی درون محفظه هایی قرار گرفته و مورد استفاده قرار گیرند تا از جاری شدن و هدر رفت آنها در فاز مایع جلوگیری شود. PCM های موجود در بازار برای مصرف ساختمان در سه حالت میکروکپسولهای حاوی این مواد، پاکتهای پلاستیکی و همچنین پانلهای سخت ساخته شده از وجود دارند. در ادامه به نکاتی اجرایی در چگونگی استفاده از بازدهی آن در ساختمان اشاره شده است.

۳-۲-۱ استفاده از PCM بصورت میکروکپسول[1]

با توجه به قابلیت جاری شدن مواد تغییر فاز دهنده در فاز مایع، نیاز به محفظه ای خواهد بود که در فاز مایع بعنوان ظرف حاوی این مواد عمل نماید. بنابراین PCM ها معمولا بصورت بسته های حاوی این مواد مورد استفاده قرار میگیرند .اغلب این مواد در بازار بصورت میکروکپسولهایی موجود هستند که در واقع کرههای بسیار ریزی با قطر بین ۱ تا ۳۰ میکرومتر میباشند . جنس میکروکپسولها جهت استفاده در مواد ساختمانی باید بگونهای انتخاب شود که در مقابل نیروهای مکانیکی، گرما و بسیاری از مواد شیمیایی مقاوم باشد. با توجه به سایز بسیار ریز میکروکپسولها میتوان این مواد را در انواع مواد ساختمانی دارای خلل و فرج در حین تولید ملات و بعنوان مواد افزودنی استفاده نمود. از جمله موارد کاربرد به این صورت میتوان به استفاده در بتن دیوارها و سقف و یا تخته های گچ حاوی این مواد اشاره نمود. از مزایای این روش سهولت استفاده و از جمله معایب آن هزینهٔ بالای تولید میکروکپسول ها است.

۳-۲-۲ استفاده از پاکتهای حاوی PCM

با توجه به هزینهٔ بالای تولید میکروکپسول ها و با هدف کم هزینه تر شدن PCM میتوان مواد تغییر فاز دهنده را بصورت پاکتها با ابعاد بزرگتر بکار برد. در صورت استفاده از PCM بصورت پاکتی و یا غیرمیکروکپسول، امکان استفاده از آنها در فضاهای کوچک همچون خلل و فرج مصالح از بین رفته و لذا به فضاهای بزرگتری برای جا دادن این مواد نیاز خواهیم داشت. از جمله موارد کاربرد بدین صورت میتوان به پانلهای مهارشده با

فرمهای فلزی بین جداره ها اشاره نمود. پانلهای سخت و یا انعطاف پذیر حاوی PCM امروزه در بازار نیز موجود بوده و بصورت تولید انبوه به شکل رول های بسته بندی شده و یا پانل های سخت قابل نصب به مشتریان عرضه میشود[۱۲].

۳-۲-۳ استفاده از PCM بعنوان عایق های شفاف

پنجره های شیشه ای ساختمان میتوانند نور روز را به داخل ساختمان هدایت نمایند ولی از طرف دیگر با توجه به هدایت حرارتی بالا اثر نامطلوب بر روی میزان مصرف انرژی در ساختمان میگذارند. از آنجاییکه مواد تغییر فاز دهندهٔ شفاف معمولا هدایت گرمایی پایینی دارند، میتوانند بعنوان عایق راه حلی برای این مسئله باشند[۱۳]. این مواد به دلیل دارا بودن هدایت حرارتی پایین، و البته قابلیت انتقال نوری بالا (در فاز مایع)، میتوانند بعنوان صفحات عایق شفاف مورد استفاده قرار گرفته و لذا گرما را درون خود محصور نمایند. بسیاری از PCM ها دارای شفافیت بسیار بالایی برای نور مرئی هستند و این در حالیست که قسمت مادون قرمز نور را جذب می نمایند و این خاصیت به آنها قابلیت استفاده در شیشه های ساختمان را میدهد. اخیرا دانشمندان سوئیسی موفق به ساخت نوعی از شیشه های دوجداره شده اند که علاوه براینکه نوع این شیشه ها خاص است، در فواصل بین دو پانل شیشه ای از مواد PCM نیز استفاده شده است[۱۴]. شیشه سمت بیرون در این پانل دوجداره مجهز به یک فیلتر منشوری درخشان است که اشعه های خورشید با زاویهٔ بالا را بازتاب نموده و اشعه های با زاویهٔ کوچک را از خود عبور میدهد. این فیلتر در واقع نوعی ابزار کنترلی است که سبب میشود اشعه های خورشید تابستان که زاویهٔ بالایی دارند در بیرون بمانند ولی اشعه های خورشید زمستان که زاویهٔ کمی دارند به داخل ساختمان راه بیابند. مواد تغییر فاز دهندهای که در بین فواصل این پانلهای شیشه ای بکار رفته است در حین تابش خورشید به یک مایع شفاف تبدیل میشود و زمانیکه تابش خورشید از بین میرود مجددا به حالت جامد برمیگردد. این پدیده به حفظ گرما و گرمتر ماندن درون ساختمان در حالت جامد است. PCM کمک میکند حتی در زمانهایی که باز هم مقادیری از نور به داخل راه می یابد سبب روشن تر شدن فضا گردد.

۳-۲-۴ استفاده از PCM در سیستمهای خورشیدی

یکی از پتانسیلهای مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره انرژی خورشیدی در ساختمانهایی است که قابلیت جمع آوری انرزی خورشیدی با استفاده از کلکتورهای خورشیدی را دارا هستند. در صورت استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در چنین سیستمهایی می توان حجم بالایی از انرژی خورشیدی را در طول ساعات روز ذخیره نموده و در طول ساعات شب از همین انرژی برای گرمایش استفاده نمود[۱۴و۱۵]. مواد تغییر فاز دهنده در این سیستمها معمولا در محفظه های نازکی که با آرایش صفحه ای روی هم قرار گرفته اند نگهداری میشوند و سپس سیال انتقال حرارت از بین این صفحات و در تماس غیر مستقیم با PCM حرکت میکند. روش کار در این سیستمها بدین صورت است که انرژی جمع آوری شده توسط کلکتورها در روز موجب گرم شدن سیال انتقال حرارت که معمولا آب است، میشود. سپس آب گرم شده گرمای خود را به صفحات حاوی PCM تحویل میدهد. PCM این گرما در قالب گرمای نهان. دریافت نموده و آن را صرف تغییر فاز خود از جامد به مایع مینماید. در طول ساعات شب آب سرد جایگزین آب گرم درون سیستم می شود. مواد تعییر فاز دهنده نیز به دلیل کاهش دما پروسهٔ انتقال فاز خود را بصورت برعکس (از مایع به جامد) طی میکند و بنابراین حجم گرمای دریافتی در طول روز را به آب سرد پس داده و سبب گرم شدن آب میشود. سپس از آب گرم حاصل جهت گرمایش ساختمان استفاده میشود. افزایش کارآیی چنین سیستم هایی نیاز به تکنیکهایی است که پروسه انتقال حرارت بین PCM و سیال انتقال گرما را به حداکثر برساند و اکثر مطالعات نیز در همین زمینه صورت گرفته است. بنابر نتایج شبیه سازی در یک پژوهش[۱۵] مقدار ۷۰ کیلوگرم از یک PCMخاص که در سیستم ذخیره انرژی خورشیدی بکار رفته باشد میتواند برای گرمایش یک ساختمان در شب کفایت نماید .این نکته بیانگر حجم کمتر مواد تغییر فاز دهنده مورد استفاده نسبت به سایر مواد مورد استفاده در سیستمهای قدیمی است که بدلیل دانسیتهٔ بالای جذب گرما در نقطه انتقال فاز PCM است .گزارش

شده که اگر از مواد تغییر فاز دهنده در این سیستمها استفاده شود، حجم مواد مورد نیاز تقریبا یک چهارم نسبت به وضعیت استفاده از بستر سنگلاخی[1] ، و یک دوم نسبت به حالت استفاده از آب خواهد بود.

۴- مطالعات موردی

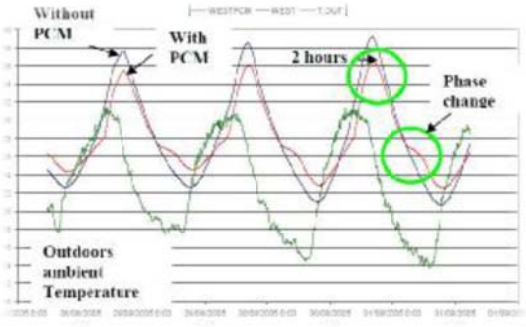
از زمان معرفی PCM بعنوان ابزاری مناسب برای جذب و ذخیرهٔ انرژی در ساختمان، مطالعات گستردهای جهت بررسی میزان تاثیرگذاری آن در تامین شرایط آسایش و کاهش مصرف

انرژی صورت گرفته است[۱۵] . پیپو[۱] و همکارانش در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که در صورت کاربرد مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان و با در نظر گرفتن نوع اقلیم، میتوان انتظار ۵ تا ۲۰ درصد ذخیرهٔ مستقیم انرژی را داشت[۱۶]. در ادامه به دو مورد از مطالعات موردی انجام شده در ارتباط با کاربرد مواد تغییر فاز دهنده در جداره ساختمان و مدلسازی عملکرد این مواد در کاهش مصرف انرژی اشاره خواهد شد.

۴ -۱ بهبود راحتی حرارتی با استفاده از PCM در جداره ساختمان

در تحقیقی که توسط کاستلان و همکارانش[۱۷] صورت گرفت جهت بررسی میزان اثرگذاری مواد تعییز فاز دهنده بر دمای داخلی ساختمان، دو اطاقک با دیوارهای سیمانی و با شرایط کاملا یکسان ساخته شده و یکی از این دو اطاقک در دیوارههای خود با کپسولهای حاوی PCM با دمای ذوب ۲۶ درجهٔ سانتیگراد و گرمای ذوب ۱۱۰ کیلوژول بر کیلوگرم تجهیز شد. (شکل۳) در نتایج حاصل از آزمایشات که طی چندین روز متوالی در تابستان و پاییز صورت گرفت، مشاهده گردید زمانیکه بیشینهٔ دمای بیرون از اطاق به ۳۲ درجهٔ سانتیگراد می رسد. دمای دیوار غربی اطاقک بدون PCM به ۳۹ درجه می رسد، رسد و این در حالی است که بیشینهٔ دمای بدست آمده در دیوار نهایتا به ۳۶ درجهٔ سانتیگراد میرسد. بیشینهٔ دمای کسب شده غربی اطاقک حاوی PCM که ۳ درجه نسبت به اطاقک بدون PCM کمتر است، با تاخیر دوساعته نسبت به اطاقک معمولی اتفاق افتاد. بنابراین با بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده میتوان علاوه بر کاهش دمای بیشینه، یک تاخیر دوساعته نیز در انتقال حرارت به داخل ایجاد نمود و بنابراین پیک مصرف انرژی تعدیل خواهد شد. شکل ۴ نمودار نوسانات دمای دیوار اطاقک معمولی ، اطاقک مجهز به PCM و دمای هوای بیرون را نشان می دهد. این نتایج با توجه به تاخیر دمایی و زمانی ایجاد شده، نشان دهندهٔ یک فرصت واقعی برای صرفه جویی انرژی مصرفی برای سرمایش هوا در فصل های گرم سال میباشد.

شکل ۳ نمایی از اطاقکهای سیمانی



شکل ۴ دمای هوای اطاقکهای سیمانی و دمای هوای بیرون

در تحقیق دیگری که به منظور تاثیر بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده در کاهش مصرف انرژی گرمایشی در فصل زمستان صورت گرفته است تغییرات دمای هوای اطاق حاوی PCM و حالت بدون آن در پنج شبانه روز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان میدهد که کمینهٔ دمای اطاق در حالتی که PCM در آن بکار رود حدود یک درجه سانتیگراد و میانگین دمای اطاق حدود ۰،۸ درجه افزایش می یابد. همچنین با بررسی نمودارهای با و بدون PCM می توان به این نتیجه رسید که کاربرد PCM بر روی دیوارهای شرقی، غربی، سقف و کف مناسب بوده و بر روی این سطوح موجب ذخیره سازی حداقل ۲۲ درصد انرژی میگردد[۱۸].

۴-۲ مدلسازی سیستمهای حاوی PCM

با توجه به تحقیقات گسترده صورت گرفته بر روی بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان طی دهه های اخیر، مدلسازی ریاضی اینگونه سیستمها نیز در موارد گوناگون انجام شده است. مدلسازی ریاضی سیستمهای ذخیره انرژی از طریق PCM

[۱] Peippo

با هدف انتخاب بهترین نوع PCM و طراحی بهینه سیستم صورت میگیرد. در یک مقاله مروری که توسط ورما[1] و همکارانش[۱۹] ارائه گردید، یک جمع بندی و مرور کلی بر روی روشهای شبیه سازی و مدلسازی سیستم های حاوی مواد تغییر فاز دهنده ارائه شده است.

بعنوان مثال از مدل سازی های انجام شده بر روی سیستم های حاوی PCM می توان به تحقیقی که توسط هالفورد و بوهم[2] [۲۰] با هدف بررسی اثرگذاری مواد تغییر فاز دهنده بر روی بار سرمایشی ساختمان انجام دادند اشاره نمود. در این مطالعه کامپوزیتی از مواد تغییر فاز دهنده در ماتریس پرلیت به ضخامت ۴ میلیمتر، مابین دو صفحه عایق پشم شیشه قرار داده شده و سپس با استفاده از شبیه سازی این ساختار سه لایه بعنوان جدارۀ ساختمان، توان آن در کاهش مصرف انرژی سرمایشی طی ساعات پیک مصرف در طول تابستان مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، اثر فاکتورهایی همچون دمای محیط و ضخامت لایه های عایق در عملکرد سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت .توزیع دما در این مدل برای n امین لایه از دیوار بر اساس معادله انتشار یک بعدی ذیل در نظر گرفته شده است[۲۰].

$$K_n \frac{\delta^2 T}{\delta x^2} = \rho_n C_n \frac{\delta T}{\delta t} \qquad (۱۶)$$

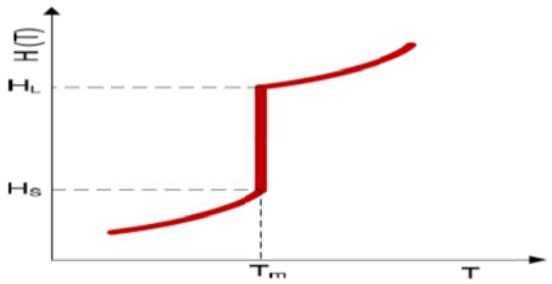
که در آن T دما ، X ضخامت دیواره ، t زمان ، k ضریب هدایتی و C ظرفیت گرمایی است. سپس مدل بر اساس شرایط مرزی در نظر گرفته شده، از طریق حل عددی صریح به حل معادلات پرداخته است. نتایج این مدل سازیها حاکی از آن است که در صورتیکه از لایه PCM در بین دولایه عایق استفاده شده و دمای محیط طوری باشد که به نقطه ذوب خود برسد، کاهش ۱۹ درصدی بار سرمایشی نسبت به حالتی خواهیم داشت که از لایه PCM استفاده نشود در صورتیکه از لایه PCM استفاده شده ولی پدیده تغییر فاز در آن محقق نشود، کاهش بار سرمایشی ساختمان در ساعات پیک مصرف به ۹ درصد خواهد رسید.

در این بخش از معرفی مواد تغییر فاز دهنده و چگونگی عملکرد آنها، به نکاتی در ارتباط با چگونگی کاربرد آن در ساختمان و نتایج موثر آن در کاهش مصرف انرژی سرمایش و گرمایش ساختمان پرداخته شده است . با توجه به هزینه بالای تولید میکروکپسول های میتوان این مواد را بصورت پاکتهای بزرگتر و یا ، PCMحاوی پانلهای حاوی این مواد ، در فواصل بین جدارهها و یا بین شیشه های بر اساس PCM دوجداره بکار بردر صورت انتخاب نوع صحیح اقلیم منطقه، تغییرات دمایی منطقه و متناسب با فصل، میتوان بدون استفاده از تجهیزات مکانیکی و تنها با استفاده از قابلیتهای فیزیکی این مواد، کاهشی ۲۰ درصدی در انرژی مصرفی ساختمان داشت.

جهت محاسبه انرژی در ساختمانها، نرم افزارهای متعددی وجود داشته که در ذیل با یکی از این نرم افزارها آشنا خواهیم شد.

۵- انرژی پلاس

انرژی پلاس[3] نرم افزاری برای محاسبه مصارف انرژی ساختمان است که توسط دپارتمان انرژی ایالات متحده آمریکا تولید و توسعه داده شده است این نرم افزار به صورت متن بازبوده و از طریق وب سایت این دپارتمان قابل دسترسی میباشد. ابزار کارامد و هوشمندی را در اختیار مهندسان و محققان قرار می دهد تا بتوانند با محاسبه مصرف انرژی، ساختمان را در زمینه مصارف انرژی و آب و تولید آلاینده ها بهینه سازی کنند. در ویرایش های جدید این نرم افزار، با اضافه شدن مدل شبیه سازی انتقال حرارت مواد تغییر فاز دهنده و به طور کلی تر موادی که خواصشان با دمای آنها تغییر می کند با یک طرح تفاضل محدود ضمنی که با تابع آنتالپی – دما کوپل شده است، شکل ۵ تابع آنتالپی دمای مواد را نشان می دهد.



شکل ۵ منحنی آنتالپی – دما (مواد پی سی ام)

[1] Verma

[2] C.K.Halford, R.F.Boehm

[3] Energyplus

۶- بررسی نقش سیستم مدیریت هوشمند در بهینه سازی مصرف انرژی درساختمان

سیستم مدیریت هوشمند ساختمان[۱] با بکارگیری از آخرین تکنولوژی ها در صدد آن است که شرایطی ایده آل همراه با مصرف بهینه انرژی در ساختمان ها پدید آورد. از آن جایی که محدود بودن منابع انرژی همواره یکی از مشکلات بزرگ بشر بوده است و شهر سازی درنقاط مختلف کشور از جمله عوامل مهمی می باشد که در اتلاف انرژی در ساختمان دارای اهمیت بسیار می باشد . در نتیجه ایجاد یک سری تغییرات در ساختمان قادر به جلوگیری از هدر رفت منابع مختلف مورد استفـاده در بخـش های گرمـایشی – سـرمایشی و غیره می باشد. با طراحی سیستم های مختلف هوشمند که مقدار مصرف انرژی در ساختمان را به طور درست مدیریت کرده و یا از انرژی های پاک مثل خورشید و باد و غیره استفاده می کند میزان، مصـرف انـرژی را به حـداقل می رسانیم. در این مقاله ، نمونه هایی از طراحی و نصب سیستم مدیریت هوشمند در کشور مورد بررسی قرار گرفته و ضمن مقایسه تطبیقی به ارائه پیشنهاداتی در جهت بهبود اشاره شده است. با توجه به وضعیت مصرف انرژی در ایران که برابر آمار های ارائه شده توسط بانک مرکزی و شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران طی سال‌های ۱۳۵۰ تا پایان سال ۱۳۸۶ ، میزان مصرف ۱۲,۷ و میزان تولید ۲,۹ برابر شده است و از سوی دیگر علت اصلی اتلاف انرژی در ساختمان های کشور، طراحی نادرست در سبک شهر سازی می باشد علاوه بر طراحی اجزای داخلی یک ساختمان نحوه قرار گیری بناها در کنار هم نیز در جلوگیری از اتلاف انرژی بسیار مهم می باشد. در نتیجه میتوان با اجرای برخی راهکارهای ساده به ویژه در ساختمان های در حال ساخت همچون استفاده ازعایق حرارتی درپوسته خارجی ساختمان، سمت قرارگرفتن پنجره ها، استفاده ازسقف کاذب از اتلاف مقدار قابل توجهی انرژی درواحد های مسکونی جلوگیری کرد. علاوه بر مواردی که در بالا ذکر شد می توان با بکار گیری سیستم هایی ساختمان را به یک ساختمان هوشمند تبدیل کرد که ساختمان هوشمند ، ساختمانی است که کلیه اجزای داخلی آن به واسطه سیستمی یکپارچه و ایجاد منطقی سازگار با محیط در تعامل با یکدیگرند. هوشمندی بدان معنی است که سیستم بر اساس حالتهای پیش آمده و منطق های تعریف شده اقدام به تصمیم گیری مناسب کند. که این سیستم ها به طور کلی به سه دسته ۱- سیستم های سرمایشی ۲- سیستم های گرمایشی ۳- سیستم های الکتریکی و روشنایی تقسیم میشود . جهت جمع آوری اطلاعات در این مقاله از مطالعات پیمایشی از طریق بررسی سایت های اینترنتی مرتبط، مراجعه به سازمانها و ارگان های مسئول همچون شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کشور و استخراج مطالب قابل استفاده از مقالات، پایان نامه های مختلف استفاده شده است. لازم بذکر است روش بررسی انجام مقایسه تطبیقی در نمونه های موردی اجرا شده در کشور بوده و در نهایت به ذکر پیشنهاداتی در بهبود و بومی نمودن این شیوه جهت بهینه سازی مصرف انرژی اشاره شده است. جهت بررسی وضعیت هوشمند نمودن سیستم انرزی در یک ساختمان دو مطالعه موردی در کشور بررسی گردیده است. در نتیجه در این بخش طراحی و استقرار سیستم مدیریت هوشمند در بیمارستان مرکزی شرکت نفت و نیز در مجتمع مسکونی ولیعصر در شمال کشور مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. همچنین نتایج حاصل از کاربرد شیوه های مختلف در بهینه سازی مصرف انرژی در قالب جداول مقایسه ای ارائه شده است.

۶- ۱- بیمارستان مرکزی شرکت نفت

پروژه مذکور دارای سه طبقه به مساحت حدود ۴۵۰۰ متر مربع می باشد که در طبقات همکف و اول تختهای بستری و اتاقهای ایزوله به همراه بخش کلینیک قلب ، دیالیز و مراقبتهای ویژه قرار گرفته است . علاوه بر فضاهای یاد شده،فضاهای پشتیبانی از جمله اتاق پزشکان ، انبار تجهیزات و اتاقهای تمیز و کثیف و آبدارخانه را شامل می شود . اقدامات صورت گرفته در بهینه سازی مصرف انرژی در بیمارستان شرکت نفت شامل تجهیزات مکانیک ، رادیاتور با شیرهای ترموستاتیک ، هواساز مرکزی با سیستم بازیافت انرژی موتورخانه ، مبدل های صفحه ای ، شیرهای برقی و موتوری ، پمپهای خطی با موتور دور متغیر و ترموستاتیک تجهیزات برقی و کنترل می باشد [۲۱]. بر طبق محاسبات انجام گرفته در مدت ۴ ماه کارکرد بیمارستان میزان کاهش مصرف انرژی مطابق جدول (۱) می باشد. برای محاسبه میزان کاهش مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی بصورت عملی باید داده های یک سال در فصول مختلف سال را جمع کرده و در پایان سال تحلیل نمود. نرم افزار قدرتمند مرکزی تمام اطلاعات را در مدت یکسال گزارش کرده و پس از آن به راحتی می توان میزان بازگشت

[۱] EBMS

سرمایه را بصورت عملی محاسبه نمود [۲۲]. بر طبق گزارش تحلیل اقتصادی تئوری میزان بازگشت سرمایه در این پروژه حدود ۶,۵ سال می باشد ولی میزان بازگشت سرمایه واقعی در انتهای سال اول محاسبه می گردد .

جدول ۱ حداقل درصد صرفه جویی در مصرف انرژی در مدت ۴ ماه

بخش	شرح عملیات بهینه سازی	حداقل درصد صرفه جویی در مصرف انرژی
ابنیه	استفاده از عایق پلی استایرن با ضخامت ۱۰ سانتی متر در دیوار های خارجی و پوشش سقف	۲۰ درصد
	استفاده از پنجره های ترمال بریک با جنس PVC با شیشه دو جداره	
تأسیسات برقی	نرم افزار و سخت افزار محاسباتی جهت تطبیق شرایط داخلی با هوای خارج ساختمان	۲۰درصد
	کنتور انرژی جهت سرمایش و گرمایش	
تأسیسات مکانیکی	به کار گیری شیرهای ترموستاتیک در رادیاتورهای با راندمان بالا	۲۰درصد
	استفاده از واحدهای سرمایش سقفی بدون فن	
	شیرهای کنترل جریان دو راهه و سه راهه - پمپهای دور متغیر	

۶- ۲- شهرک مسکونی ولی عصر کارخانه چوب و کاغذ ایران(چوکا)

شهرک ولی عصر(عج) چوکا در سال ۱۳۵۴ به تدریج و همزمان با احداث کارخانه چوب و کاغذ ایران، جهت اسکان کارکنان کارخانه چوب و کاغذ ایران در ضلع شمالی در ۷۵ کیلومتری شمال غربی رشت، احداث شده است. این شهرک با ۱۳۰۰ واحد مسکونی بصورت ویلایی، آپارتمانهای ۳ و ۴ و ۶ طبقه، واحدهای پیش ساخته و کمپ و اماکن عمومی دیگر جهت رفاه حال کارکنان و ایجاد تسهیلات بیشتر با جمعیت حدود ۷۵۰۰ نفر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اقدامات مورد نیاز در شهرک ولیعصر جهت همگونی با مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان دیوارهای جانبی به عایقکاری نیازدارد ، دو جداره نمودن پنجره ، درز بندی درها ، عایقکاری کف متصل به زمین و کف در مجاورت هوا و بستن فضای زیر بلوک است. اقدامات صورت گرفته در بهینه سازی مصرف انرژی در شهرک مسکونی ولی عصر (عج) عایقکاری دیواره‌های جانبی ، عایق‌کاری حرارتی کف ، صرفه‌جویی انرژی در پنجره‌ها ، کاهش تلافات نفوذ و درزگیری درها و پنجره‌ها ، بهینه سازی مصرف انرژی در موتورخانه های شهرک ، بهینه سازی مصرف آب در شهرک ولیعصر ، بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش برق می باشد. لازم بذکر است نصب دزدگیر حدود ۵۰ درصد کاهش اتلاف انرژی ، نصب فنر به درهای ورودی ۸۰ درصد از کاهش اتلاف انرژی و نصب کنتور و اندازه‌گیری میزان آب مصرفی در حدود ۲۰درصد در مصرف آب صرفه داشته است. در این بخش نتایج حاصل از کاربرد سیستم مدیریت هوشمند در ساختمان هایی با کاربری مختلف ارائه گردیده است. بهره گیری از عناصر استاندارد و مناسب جهت تشکیل یک ساختمان با بهره گیری حداقل مصرف ذخایر سوختهای فسیلی در واقع نیاز به یک تفکر باز و منطق پذیر دارد چرا که بسیاری از سیستم های استفاده شده در این پروژه دارای تکنولوژی پیچیده ای نبوده و تقریباً در دسترس همگان می باشند. در این رابطه جسارت مدیران محترم سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور جهت نوآوری و تعریف افق های جدید طراحی و اجرا پروژه ها با راهبرد بهینه سازی مصرف سوخت کشور شایسته تقدیر میباشند. این تجربه می تواند در ساختمانهایی با کاربری های ساده تر مجدداً استفاده گردد تا به مرور تبدیل به یک منطق طراحی در راستای صرفه جویی مصرف سوخت گردد.یکی از نتایج بزرگ این پروژه مقایسه استانداردهای اسکاندیناوی و آمریکا و برتری استانداردهای اسکاندیناوی در راستای بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان می باشد[۲۳]. انتظار می رود مصرف انرژی ساختمان بخشهای ۷و۸ بیمارستان مرکزی شرکت نفت تهران حداقل ۵۰٪ کمتر از ساختمانهای مشابه (تاسیسات سنتی) باشد که این مهم لزوم توجه طراحان سیستمهای تاسیسات از منطق طراحی در جهت استفاده در پروژه های ساختمانی در ابعاد بزرگ (بیمارستان ، مراکز تجاری ، برجها ، ...) و در ابعاد کوچک را می طلبد. با توجه به ناپایداری و کمبود منابع و وضعیت مصرف انرژی در ایران و اینکه درصد زیادی از این انرژی در ساختمان به دلیل طراحی نادرست درسبک شهرسازی و همچنین طراحی بنا اتلاف می شود. ابتدا باید یک بازنگری کلی در ساخت و

سازها به وجود آورد سپس به وسیله سیستم مدیریت هوشمند ، مصرف انرژی در ساختمان ها را به حد اقل ممکن برسانیم و ساختمان ها به وسیله مدیریت صحیح و استفاده از تجهیزات هوشمند به بناهایی با حد اکثر کارایی، راحتی و ماندگار تبدیل کنیم. در این خصوص لازم به ذکر است از آنجاییکه کشور ما ایران از دیدگاه کاربرد منابع انرژی تجدید پذیر بویژه خورشید بسیار مناسب و مستعد می باشد لذا کاربرد این منبع در سبد انرژی مصرفی منازل در نواحی مسکونی به دلیل دارا بودن سقف صاف و امکانپذیر بودن نصب سیستم های مذکور بسیار مفید می باشد . از سوی دیگر کاربرد این منبع به صورت آبگرمکن خورشیدی و تزریق آبگرم تولیدی در سیستم نصبی موجود کمک بسیاری به کاهش انرژی مصرفی جهت گرمایش آب در موتور خانه می نماید . همچنین کاربرد سیستم های هوشمند تامین انرژی روشنایی در ساختمان های مسکونی و اداری که در مواقع فاقد نور به صورت هوشمند روشن گردند از دیگر مواردی است که نقش موثری در کاربرد مصرف انرژی دارد از سوی دیگر تنظیم خودکار دما در سیستم تامین و گرمایش آب منازل با تنظیم دما در فصول مختلف و نصب سنسورهای مناسب روش موثر دیگر در اتلاف منابع انرژی می باشد که در مجموع به صورت کاربرد سیستم های خودکار و هوشمند تامین انرژی معرفی گردیده و قابلیت کاربرد بسیار در نواحی شهری دارد. بر طبق بررسی های بعمل آمده میزان کاهش انرژی با کاربرد سیستم مدیریت هوشمند مطابق جدول (۲) می باشد.

جدول ۲ میزان کاهش انرژی با کاربرد سیستم مدیریت هوشمند

نوع	صرفه جویی در انرژی	بازگشت سرمایه (سال)
عایقکاری دیواره های جانبی	۵۴۷,۸ کیلو کالری	۱۲,۵ سال
دوجداره کردن پنجره ها	۲۵,۵۶ کیلو کالری	بالاتر از ۵۰
بهینه سازی مصرف انرژی در موتورخانه	مازوت ۱۱۵۰۰۰ لیتر و گازوئیل ۸۰۰۰ لیتر	۵ سال
بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش برق	۲۵۰۰ کیلو وات	۳ سال

۷- نتیجه گیری

مدلسازی و بررسی تاثیر بکاربردن ماده تغییرفازدهنده pcm ، در یک دیوار مرکب انجام شده است. مدلسازی خواص ترموفیزیکی ماده تغییرفازدهنده نشان داده است که تغییرات ضریب هدایت حرارتی، بیشترین تاثیر را بر رفتار حرارتی دیواره دارد و تغییرات سایر خواص اثر چندانی بر انرژی خروجی از دیواره ندارند .همچنین نتایج حل عددی نشان میدهد با توجه به شرایط مرزی اعمالی و موقعیت قرارگیری ماده تغییرفازدهنده در دیواره، استفاده از این مواد موجب کاهش انرژی خروجی از دیواره در ساعات اوج مصرف میشود. با توجه به شرایط مرزی داخلی و بیرونی و با قرارگیری ماده تغییر فاز دهنده در سیکلهای ذوب و انجماد نامحدود ، میتوان تا حداقل ۸ درصد از شار ورودی در جداره داخلی و در ساعات اوج مصرف را کاهش داد[۲۴].

۸- فهرست علائم

نماد	شرح	واحد
K_n	ضریب هدایت حرارتی	وات بر متر درجه کلوین
ρ_n	چگالی	کیلوگرم بر مترمکعب
C_n	ظرفیت حرارتی ویژه	ژول بر کیلوگرم درجه کلوین
α	گرمای نهان ذوب	ژول بر کیلوگرم
T	دما	درجه سانتیگراد
X	ضخامت دیواره	متر
t	زمان	ثانیه

۹- تقدیر و تشکر

در انتها وظیفه خود میدانیم از زحمات استاد راهنمای این مقاله جناب آقای دکتر نادر رهبر و همچنین همکار و دوست گرامی آقای مهندس سید اسماعیل ساداتی که در انجام مشاوره های لازم ما را یاری نمودند ، تقدیر و تشکر نماییم.

۱۰- مراجع

[1] M.Telkes, 1975, "Thermal storage for solar heating and cooling", Proceedings of the Workshop on Solar Energy StorageSubsystems for the Heating and Cooling of Buildings, Charlottesville Virginia, USA.

[2] K.Peippo, P.Kauranen and P.D.Lund, 1991, "A multicomponent PCM wall optimized for passive solar heating", EnergyBuild, 17, 259–70.

[3] C.Stetiu and H.Feustel,1998, "Phase change wallboard and mechanical night ventilation in commercial buildings", Lawrence Berkeley National laboratory.

[4] Dariusz Heim, Joe A. Clarke,2004, "Numerical modelling and thermal simulation of PCM– gypsumcomposites with ESP-r", Energy and Buildings 36 ,795–805.
[5]K.Darkwa, P.W. OCallaghan,2005, "Simulation of phase change drywalls in a passive solar building", Applied Thermal Engineering 26 , 853–858.
[6] K.Lin, Y.Zhang, X.Xu, D.Hongfa, Rui Yang and P.Qin,2005, "Experimental study of underfloor electric heating system with shape-stabilized PCM plates", Energy Build, 37, 215.
[7] C.K.Halford and R.F.Boehm, 2007, "Modeling of phase change material peak load shifting", Energy Build, 39, 298–305 .
[8] Guobing Zhou, Yinping Zhang, Xin Wang, Kunping Lin, Wei Xiao,2007," An assessment of mixed type PCM-gypsum and shape-stabilized PCM plates in a building for passive solar heating", Solar Energy 81, 1351–1360.
[9] E. Halawa, W. Saman and F. Bruno,2010, "A phase change processor method for solving a onedimensional phase change problem with convection boundary", Renewable Energy, 35, 1688–1695.
[10] A.L.S.Chan, 2011, "Energy and environmental performance of building fac, ades integrated with phase change material in subtropical Hong Kong", Energy and Buildings 43 , 2947–2955.
[11] S. Mondal, 2008, "Phase change materials for smart textiles – an overview", Applied Thermal Engineering, V.28 , N. 11-12, P. 1536-1550
[12] www.phasechangepcm.com
[13] L. Jain, S.D. Sharma, 2009, "Phase change materials for day lighting and glazed insulation in buildings", Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 4, No. 3 , 322-327
[14] www.glassx.ch
[15] K.C.W. Ip, "Solar thermal storage with phase change materials in domestic buildings"
[16] Pieppo K., 1991, "A multi component PCM wall optimized for passive solar heating", Energy Building, V.17, p. 259-270
[17] C. Castellon, et al., 2007, "Improve thermal comfort in concrete buildings by using phase change materials", Proceeding of the energy sustainability conference, P. 457-463
[۱۸] تحلیل کاربرد مواد تغییر فاز دهنده در دیوار اطاق و برآورد میزان تاثیر آن بر کاهش مصرف انرژی گرمایشی در فصل زمستان، پایان نامه کارشناسی ارشد، س .کیان پرور، دانشگاه تربیت مدرس سال ۱۳۸۸
[19] P. Verma, Varune, S.K. Signal, 2008, "Review of mathematical modeling on latent heat thermal energy storage systems using phase change materials", Renewable and sustainable energy reviews, 12, 999-1031
[20] C.K, Halford, R.F. Boehm, 2007, "modeling of phase change material peak load shifting", Energy and buildings, 39, 298-305
[۲۱] اسکویی مهندس رضا اتفاقی , خبازی مهندس غلامرضا , ۱۳۸۳ , طراحی و ساخت تابلوی کنترل و فرمان اتوماتیک تجهیزات موتورخانه بمنظور کاهش مصرف انرژی در تاسیسات حرارتی و برودتی ساختمان
[۲۲] اعظمی احدا... , کاظم پور عباس , ۱۳۸۳, معماری خورشیدی هوشمند در ساختمانهای هماهنگ با فتوولتاییک
[۲۳] برجی زاده جلال، بعنونی سالم ، ۱۳۸۳، ممیزی انرژی در شهرک مسکونی ولی عصر کارخانه چوب و کاغذ ایران
[۲۴] مقاله آقایان مجید سبزپوشانی، قنبرعلی شیخزاده، مجتبی یگانه " تاثیر بکارگیری ماده تغییرفازدهنده در یک دیواره مرکب بر بهینه نمودن انتقال و ذخیره انرژی "