DOR: 20.1001.1.24234931.1400.8.2.1.7
Archive of SID

مقاله ترویجی

سال هشتم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، ص ص ۱- ۱۰

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۹

بررسی انتخاب مواد تغییر فازدهنده در سرمایش غیرفعال برای بهبود تهویه طبیعی و آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک

سید حسین نشاط صفوی[۱]، سید رحمان اقبالی[۲*]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

۲-دانشیار،گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

* قزوین، صندوق پستی ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸ ، s.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir

چکیده

بخش سرمایش بیشترین سهم مصرف انرژی ساختمانی به‌ویژه در اقلیم های گرم و خشک را به خود اختصاص داده است. ازاین‌رو تأمین انرژی موردنیاز سیستم های سرمایشی و راهکارهای غیرفعال برای کاهش دمای محیط بسیار اهمیت می‌یابد. در این راستا به‌عنوان یک راهکار، مواد تغییر فاز دهنده با تغییر فاز خود، انرژی را ذخیره و به بهبود تهویه طبیعی و آسایش حرارتی ساکنین کمک می نمایند. این مواد بر اساس ساختار شیمیایی و نقطه ذوب خود، دارای انواع گوناگونی هستند. در این جهت، انتخاب PCM مناسب، بر اساس ویژگی‌ها و کاربرد آن جهت بهبود تهویه طبیعی و سرمایش در ساختمان‌ها بسیار قابل‌توجه است. این پژوهش به بررسی ویژگی ها و رفتار مواد تغییر فاز دهنده جهت استفاده در سیستم های سرمایش غیرفعال ساختمانی و تهویه طبیعی به کمک مرور و تحلیل مطالعات و اسناد معتبر می‌پردازد. درنهایت با توجه به نوع و کاربرد ماده تغییر فاز دهنده، PCM بهینه با نقطه ذوب مناسب جهت ایجاد شرایط آسایش حرارتی و تهویه طبیعی در محیط ارائه می‌شود. به‌عنوان یک نتیجه، استفاده از PCM با نقطه ذوب ۲۸ درجه سانتی گراد می تواند شرایط دمایی محیط را در محدوده آسایش حرارتی قرار دهد و نیز بهبود شرایط آسایش حرارتی و تهویه طبیعی را منجر گردد.

کلیدواژگان: تهویه طبیعی، مواد تغییر فاز دهنده(PCM)، ذخیره انرژی، سرمایش غیرفعال، آسایش حرارتی

Investigation of Phase Change Materials Selection in Passive Cooling to Improve Natural Ventilation and Thermal Comfort

Seyed Hossein Neshat Safavi[۱], Seyed Ragman Eghbali[۲*]

۱- MSc student, Architecture Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

۲- Associate professor, Architecture Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

* P.O.B. ۳٤۱٤۸۹٦۸۱۸, Qazvin, Iran, s.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir

Received: ۹ March ۲۰۲۰ Accepted: ۲۹ December ۲۰۲۰

Abstract

The cooling energy has covered most portion of building energy consumption in hot and arid climates. Accordingly, suppling of required energy for cooling systems as well as passive solutions to reduce air temperature are so noticeable. As an effective factor, Phase change materials through changing phase save energy and help to improve natural ventilation as well as thermal comfort. These materials have various types base on their chemical structure and melting point. In this way, optimal PCM selection base on their application and melting point is very important; so that, improve natural ventilation and cooling energy in buildings. This study investigates the properties and behavior of phase change materials for their implementation in building passive cooling systems as well as natural ventilation by reviewing and analyzing valid researches and documents in hot and dry climate of Yazd city. Finally, due to PCMs type, their application, and climate condition, optimal PCM has been found; so that, provide thermal comfort, energy consumption reduction, and natural ventilation. As a result, PCM with melting point of ۲۸ ° C can put the environmental temperature in the thermal comfort zone; besides, improve thermal comfort conditions and natural ventilation.

Keywords: Natural Ventilation, Phase Change Materials (PCM), Energy Storage, Passive Cooling, Thermal Comfort

www.SID.ir

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص ۴ کریتیو کامنز محفوظ است

Archive of SID

۱- مقدمه

بر اساس آمار آژانس بین‌المللی انرژی[۱]، در طی ۲۰ سال گذشته میزان تولید انرژی اولیه ۴۹ درصد و انتشار co۲ ۴۳ درصد افزایش داشته است[۱]. به‌علاوه ۳۰ تا ۴۰ درصد از مجموع انرژی مصرفی در کشورهای توسعه‌یافته مربوط به بخش ساختمان‌های مسکونی و اداری می‌شود. از طرف دیگر افزایش جمعیت، تعداد ساختمان‌های مسکونی و بالا رفتن تقاضای مصرف انرژی سبب افزایش اهمیت این موضوع شده است. چراکه تأمین انرژی موردنیاز کاربران حائز اهمیت است. در این راستا ذخیره انرژی حرارتی[۲] می‌تواند به‌عنوان یک راهکار، خلأ میان مصرف و تأمین انرژی را در بخش سرمایش پر کند[۲]. سیستم ذخیره انرژی حرارتی می‌تواند دمای نهان، دمای محسوس یا واکنش‌های شیمیایی را ذخیره کند. استفاده از سامانه‌های غیرفعال نیز یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها محسوب می‌شود. این سامانه‌ها بدون مصرف انرژی فسیلی با استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر همچون باد و تابش خورشید نیازهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان را برطرف می‌کنند. از طرفی تهویه طبیعی راهکاری غیرفعال است که با صرف هزینه‌ای کم بر اساس پتانسیل‌های دمایی و نرخ وزش باد منطقه برای بهبود آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخل ساختمان به‌ویژه در اقلیم‌های گرم استفاده می‌شود. امروزه به خاطر تغییرات آب و هوایی به وجود آمده، استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع برای تأمین آسایش حرارتی در حال افزایش است. ازاین‌رو تکنیک‌های سرمایش غیرفعال جایگزینی بسیار مناسب برای سیستم‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌ها می‌باشند[۳]. همچنین بهره‌مندی از تهویه طبیعی در سیستم های سرمایشی تابع دمای محیط است به‌طوری‌که افزایش این عامل سبب کاهش بهره‌مندی از این نوع سیستم‌ها به‌ویژه در طی ماه‌های گرم سال می‌شود. همین‌طور به‌کارگیری روش‌هایی همچون گرمای نهان از طریق مواد تغییر فاز دهنده (PCM) جهت ذخیره انرژی می‌تواند در افزایش کارایی این سیستم‌ها و بهبود تهویه طبیعی تأثیرگذار باشد. این مواد با جذب گرمای محیط اطراف خود در طول روز، بر اساس دمای نقطه ذوب خود، تغییر فاز داده و قابلیت مناسبی در بهبود دمای هوا محیط از خود نشان می‌دهند. همچنین با توجه به رفتار و ویژگی‌های مختلفشان در شرایط اقلیمی و محیطی مختلف می‌توانند رفتارهای متفاوتی را از خود نشان دهند. بنابراین انتخاب نوع مناسب PCM متناسب با کاربرد و اقلیم منطقه می‌تواند در دستیابی به اهداف موردنظر بسیار موردتوجه باشد.

۲- پیشینه تحقیق

در بخش تهویه طبیعی می‌توان، مطالعات لیو و همکارانش در سال ۲۰۱۵ میلادی را ذکر کرد، که بابیان اهمیت تهویه طبیعی برای حفظ انرژی، کاهش انتشار آلاینده‌ها و بهبود سطح راحتی محیط و نیز ارائه روشی برای مطالعه موردی و بهینه‌سازی تهویه طبیعی ساختمان از طریق شبیه‌سازی سی اف دی CFD، از سه جنبه: برنامه‌ریزی سایت، شکل ساخت و پوسته ساختمان انجام‌شده است[۴]. تان و دِنگ نیز در سال ۲۰۱۷ میلادی به بررسی پتانسیل تهویه طبیعی ساختمان‌های مسکونی برای یک‌خانه معمولی در سه منطقه پرجمعیت آب و هوایی استرالیا پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که آسایش حرارتی داخل ساختمان در تمام طول سال تنها با استفاده از تهویه طبیعی، به‌جز دوره‌های غیراستاندارد تهویه در تابستانِ داروین و زمستانِ ملبورن، اتفاق می‌افتد. یافته‌های این مقاله می‌تواند برای بهبود درک پتانسیل تهویه طبیعی در آب‌وهوای مختلف و برای طراحی آگاهانه در شرایط آب و هوایی ساختمان‌های مسکونی استرالیا مفید واقع گردد[۵]. همچنین درزمینه مواد تغییر فاز دهنده نیز لیزانا و همکاران در پژوهشی به مطالعه سرمایش غیرفعال در ساختمان با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده پرداختند. این پژوهش با نرم‌افزار ترنسیس به‌صورت پارامتریک، معیارهای تأثیرگذار و مهم در اجرای بهینه مواد تغییر فاز دهنده به‌منظور کاهش انرژی سرمایشی ساختمان را شبیه‌سازی کرده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که استفاده از مواد تغییر فاز دهنده بدون استفاده از سیستم تهویه سبب کاهش ۶۵ درصد شرایط عدم آسایش حرارتی می‌شود[۶]. سان و همکاران در ارزیابی سرمایش سیستم غیرفعال به این نتیجه رسیدند که مواد تغییر فاز دهنده موجب کاهش ۵۰ تا ۶۷ درصد از مصرف انرژی می‌شود[۷]. براردی و همکاران در ارزیابی تجربی مواد تغییر فاز دهنده در استراتژی‌های غیرفعال با مصالح سبک‌وزن برای شرایط آب و هوایی تورنتو و ونکور باهدف کاهش بار سرمایشی ساختمان به این نتیجه رسیدند که با توجه به شرایط اقلیمی، استفاده از این مواد ۲۹/۲ تا ۵۹ درصد بار سرمایشی ساختمان را کاهش می‌یابد[۸]. هو و هیزلبرگ در سال ۲۰۱۸ میلادی به کاربرد این مواد جهت استفاده از خاصیت حرارتی آن‌ها در تهویه ساختمان‌ها پرداخته‌اند؛ به‌نحوی‌که در تابستان، در مد خنک‌سازی با تبدیل از حالت‌جامد به مایع حرارت را از محیط می‌گیرند و باعث خنک‌سازی هوای عبوری می‌شوند و در شب هم در مد عکس با تبدیل‌شدن از حالت‌جامد به مایع با گرفتن سرمای محیط باعث گرم شدن هوای عبوری می‌شوند[۹]. همچنین آکیبر و همکاران در سال ۲۰۱۶ میلادی بیان می‌کنند که راه‌حل‌های مختلف خنک‌کننده منفعل و نیز ذخیره انرژی حرارتی با استفاده از گرمای نهان، راهی کارآمد برای افزایش اینرسی حرارتی در ساختمان است، که می‌تواند نوسانات دما را کاهش داده و منجر به بهبود آسایش حرارتی اشخاص شود[۱۰]. ناوارو و همکاران نیز در سال ۲۰۱۳ بیان کردند که تهویه هوای شبانه با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده یک استراتژی بسیار قدرتمند برای کاهش تقاضای خنک‌کنندگی ساختمان‌ها است که باعث کاهش تقاضای بار سرمایشی در ساختمان می‌شود. همچنین به بررسی اشکالات استفاده از تهویه هوای شبانه به‌عنوان یک استراتژی قوی جهت کاهش بار سرمایشی ساختمان‌ها و ارائه راه‌حل‌های نوآورانه با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده برای غلبه بر شرایط مذکور پرداختند. در مقایسه با راه‌حل‌های موجود، راه‌حل‌های نوآورانه پیشنهادشده، سطح تماس مواد تغییر فاز دهنده و هوا را تقریباً ۳/۶ و همچنین ضریب انتقال حرارت را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهند [۱۱]. موحِد عیسی و همکارانش نیز در سال ۲۰۱۰ میلادی، عنوان کردند که نوآوری مواد تغییر فاز دهنده (PCM) برای ذخیره‌سازی حرارت، استراتژی منسجم و پایدار است که می‌تواند به طرح‌های ساختمانی متصل شود. این تحقیق در راستای بررسی و ارزیابی عملکرد مواد موجود با یکپارچه‌سازی مواد تغییر فاز دهنده و پیشنهاد استراتژی طراحی برای بهبود سیستم انجام شد و فوم مسی را به‌عنوان وسیله‌ای برای یکپارچه‌سازی با مواد تغییر فاز دهنده میکرو کپسول معرفی کرد[۱۲]. همچنین می‌توان به پژوهش سلگی و همکاران درزمینهٔ مطالعه پارامتریک مواد تغییر فاز دهنده در تهویه شبانه اشاره کرد. این مطالعه، رفتار مواد تغییر فاز دهنده را در شرایط آب و هوایی متفاوت مورد ارزیابی قرار داده است. پژوهش موردنظر رابطه میزان مواد تغییر فاز دهنده با انتقال حرارت، جریان تهویه شبانه، میزان تغییرات دما، عایق حرارتی و ذخیره انرژی را نشان می‌دهد. درواقع هدف

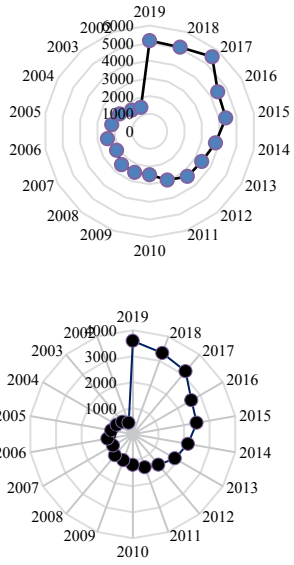
[۱] International Energy Agency (IEA)

[۲] Thermal energy storage (TES)

www.SID.ir

Archive of SID

این پژوهش بررسی تجربی مدل کالری متر در مقیاس واقعی و شبیه‌سازی عددی مواد تغییر فاز دهنده در سه شرایط اقلیمی متفاوت هست. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که استفاده از این مواد بر عملکرد تهویه شبانه اقلیم استوایی هیچ تأثیری نداشته است اما بااین‌وجود در اقلیم نیمه استوایی و گرم خشک، تغییر ست پوینت ترموستات سرمایشی، به‌خوبی عایق حرارتی نقش به سزایی در بهبود عملکرد تهویه شبانه دارد[۱۳]. بنابراین آنچه گفته شد، مرور ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که تاکنون در زمینه استفاده از مواد تغییر فاز دهنده به‌عنوان راه‌کاری غیرفعال جهت افزایش عملکرد تهویه طبیعی ساختمان‌ها پژوهش جامعی صورت نگرفته است. شکل ۱ نیز تحقیقات جامعی که تاکنون در زمینه تهویه طبیعی و مواد تغییر فاز دهنده انجام‌گرفته است را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است انجام مطالعه و پژوهش در زمینه تهویه طبیعی و PCM در ساختمان‌ها موضوعی مهم و روبه رشد می‌باشد. این امر به‌ویژه در جنبه‌های؛ گرمای نهان، ذخیره‌سازی انرژی، انواع سیستم‌ها و روش‌های تهویه طبیعی در ساختمان، تأثیر PCM ها بر میزان مصرف انرژی و غیره می‌باشد. در واقع در این پژوهش مباحث تهویه طبیعی، مواد تغیر فاز دهنده و ویژگی‌های فیزیکی این مواد در زمینه سرمایش و تهویه طبیعی ساختمان‌ها موردبررسی قرارگرفته است. نوآوری پژوهش نیز از جهت بررسی مواد تغییر فاز دهنده جهت استفاده در سیستم‌های سرمایش ساختمانی، افزایش تهویه طبیعی و انتخاب PCM با نقطه ذوب مناسب با توجه به شرایط دمایی محیط می‌باشد.



شکل۱ نمایش فراوانی تحقیقات علمی معتبر جهانی طی سال‌های اخیر (۲۰۰۲-۲۰۲۰) در زمینه تهویه طبیعی(نمودار اول) و مواد تغییر فاز دهنده (نمودار دوم)(نگارنده)

۳-روش تحقیق

پژوهش حاصل بر اساس مطالعات و تحقیقات صورت گرفته، اسناد و منابع مکتوب و چاپ‌شده موجود در کتابخانه و سایر مراکز اطلاع‌رسانی علمی، تدوین و منتشر گردیده است. به‌نوعی می‌توان گفت که این مقاله از طریق گردآوری، جابه‌جایی، تلفیق، ترکیب و تحلیل دانش موجود تهیه‌شده است. در این راستا با بررسی پیشینه تحقیقات صورت گرفته درزمینه تهویه طبیعی، آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی به‌ویژه در اقلیم گرم و خشک شهر یزد، مطالعه و پژوهش تحلیل-توصیفی انجام گردیده است. تمرکز اصلی این تحقیق بر معرفی انواع روش‌های سرمایش غیرفعال، معرفی و دسته‌بندی انواع مواد تغییر فاز دهنده، عملکرد PCM ها و درنهایت پیشنهاد نوع PCM با دمای ذوب مناسب برای اقلیم شهر یزد می‌باشد. شایان‌ذکر است که این مقاله با تحلیل داده‌های اقلیمی شهر یزد، ویژگی‌ها و عملکرد انواع PCM ها به روشن‌سازی زوایای مساله موجود کمک نموده و اطلاعات و آگاهی‌های جامع خوبی پیرامون موضوع ارائه می‌کند. درزمینه دلایل انتخاب شهر یزد در تحقیق حاضر نیز می‌توان بیان کرد که بخش اعظمی از ایران را اقلیم گرم و خشک تشکیل داده است به‌طوری‌که با توجه جدول ۱ و داده‌های اقلیمی، در این نوع اقلیم نیاز سرمایشی در ساختمان‌ها نسبت به سایر بخش‌های مصرف انرژی غالب است. در این جهت با بهبود شرایط آسایش حرارتی و کاهش تقاضای بار سرمایشی، می‌توان میزان قابل‌توجهی در مصرف انرژی سرمایشی این نوع اقلیم‌ها صرفه‌جویی کرد. در این میان شهر یزد به‌عنوان شناخته‌شده‌ترین اقلیم گرم و خشک ایران و دارنده قدمت و پیشینه موردتوجه از کاربرد بادگیر و تهویه طبیعی به عنوان راهکاری غیرفعال موردمطالعه قرارگرفته است.

جدول۱ داده آب و هوایی میانگین ماهانه شهر یزد(۱۰۱۵-۱۰۲۰)(سازمان آب و هواشناسی یزد)

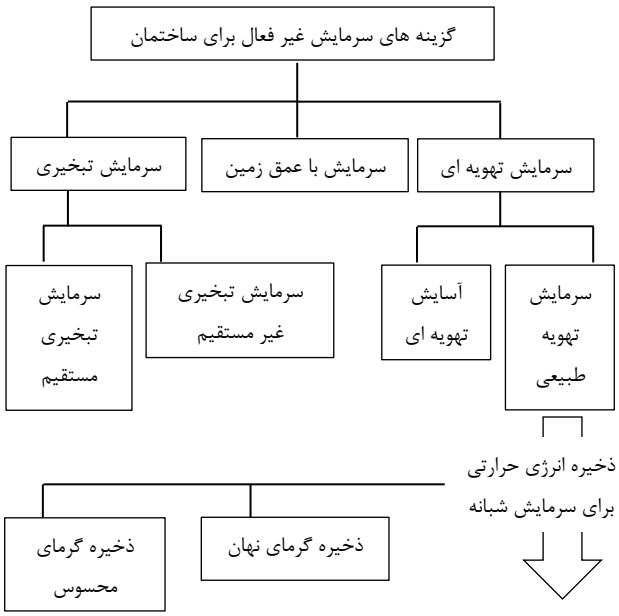
ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میانگین دمای شبانه	۳۱	۳۶	۴۰	۴۳	۴۰	۳۹
میانگین دمای روزانه	۱۲	۱۷	۲۰	۲۲	۱۸	۱۶
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
میانگین دمای شبانه	۳۱	۲۱	۱۸	۱۸	۱۹	۲۶
میانگین دمای روزانه	۱۰	۳	۲	۰	۰	۷

۴-سرمایش غیرفعال

سیستم های سرمایشی می‌توانند باهدف کاهش، تعادل و پراکندگی گرما در ساختمان‌ها استفاده شوند. همین‌طور که در شکل ۲ نیز مشخص است سرمایش تهویه‌ای یکی از سیستم‌های سرمایش در ساختمان است که با استفاده از جریان هوا و تهویه می‌تواند سرمایش را در ساختمان ایجاد کند. یکی از راه‌کارهای مورداستفاده در این سیستم نیز استفاده از تهویه شبانه، گرمای نهان و ذخیره آن است که این مهم می‌تواند با کمک فناوری‌های بروز همچون استفاده از مواد تغییر فاز دهنده (PCM) که در این زمینه نقش مؤثری را ایفا می‌کنند، دست یابد [۹]. در جدول ۲ انواع PCM های مورداستفاده در سرمایش ساختمانی آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲ طبقه‌بندی انواع تکنیک‌های سرمایش غیرفعال در کاربردهای ساختمانی[۱۴].

جدول۲ مشخصات انواع PCM مورداستفاده در سرمایش ساختمانی[۱۵].

مولفه	مواد تغییر فاز دهنده	نقطه ذوب(سانتی گراد)	دمای نهان(سانتی گراد)
$Na_2SO_4,10H_2O$	هیدرات نمک	۲۱	۱۹۸
RT_{25}		۲۴	۱۶۴
RT_{20}	پارافین	۲۲-۲۰	۱۷۲
FM_{30}	پارافین	۲۳-۲۰	۱۳۰
GM(granules)	۶۵ درصد مواد سرامیکی ۳۵ درصد مواد پارافینی	۲۳.۵-۲۴.۹	۴۱.۹
SP ۲۷ A ۸	ترکیب‌شده	۲۷	۱۸۰

۵-مواد تغییر فاز دهنده(PCM)

در سال‌های اخیر کاربرد PCM در صنایع مختلف همچون؛ صنعت فضانوردی[۱۶]، الکترونیک[۱۷]، سرمایش خورشیدی و نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی[۱۸]، خشک‌کن‌های خورشیدی در صنعت کشاورزی[۱۹] و انرژی فتوولتائیک رشد یافته است. الن تاور واترمن[۱] مواد تغییر فاز دهنده[۲] را در اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی زمانی که مشغول کار بر روی پروژه خود در دانشگاه یل[۳] بود کشف کرد. زمانی که در حال مطالعه درباره انتشار ترمومیونیک نمک داغ بود متوجه ویژگی هدایت حرارتی مولیبدنیت[۴] شد که می‌تواند به‌تدریج تغییر کند[۲۰]. همچنین این مواد در بهبود کارایی انرژی و آسایش حرارتی در ساختمان‌ها قابل‌استفاده هستند. بنابراین کاربرد PCM می‌تواند ابزاری قدرتمند در طراحی ساختمان‌های صفر انرژی باشند[۲۱]. از طرفی در تعریف این مواد می‌توان گفت؛ مواد تغییر فاز دهنده (PCM) ترکیبات آلی یا معدنی هستند که قابلیت جذب و ذخیره پنهان مقادیر زیادی از انرژی گرمایی را در خوددارند. ذخیره انرژی گرمایی در این مواد طی فرآیند تغییر فاز (تغییر حالت‌جامد به مایع یا بالعکس) اتفاق می‌افتد. این مواد هنگام تغییر فاز از جامد به مایع یا از مایع به جامد، گرما را از محیط جذب نموده و یا به محیط پس می‌دهند. همچنین قابلیت آن رادارند که انرژی نهفته را بدون هیچ‌گونه تغییری حتی پس از هزاران چرخه تغییر فاز درون خود حفظ نمایند [۲۲]. مواد تغییر فاز دهنده (PCM)، مواد ذخیره کننده حرارت هستند که در مقایسه با مواد ذخیره کننده حرارت محسوس دارای دانسیته ذخیره‌سازی انرژی حرارتی بالاتری می‌باشند و می‌توانند مقدار زیادی انرژی را در یک دمای ثابت جذب یا آزاد کنند. موادی که برای ذخیره‌سازی انرژی حرارتی حاصل از تغییر فاز به کار می‌روند لازم است گرمای نهان بالا داشته و نیز با توجه به کاربردشان دارای هدایت حرارتی خوبی باشند. طراحی و کاربرد گرمای نهان ذخیره‌شده به فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی مواد تغییر فاز دهنده مورداستفاده بستگی دارد.

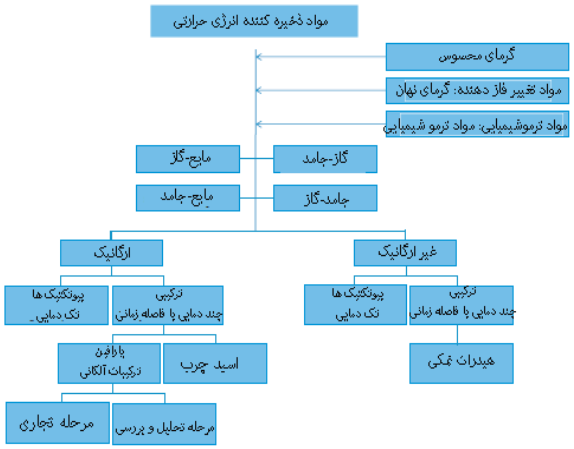
۵-۱- طبقه‌بندی مواد تغییر فاز دهنده

بحت و همکاران در پژوهشی به طبقه‌بندی مواد تغییر فاز دهنده پرداخته‌اند. این مواد به دلیل ویژگی‌های ترموفیزیکی و شیمیایی خود می‌توانند دمای نهان را در خود ذخیره کنند[۲۳]. در پژوهشی توسط Barreneche و همکاران نیز بیش از ۳۰۰ نوع از مواد تغییر فاز دهنده ازنظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی موردبررسی قرار داده‌شده است[۲۴]. همچنین طبق شکل ۳ تغییر فاز مواد می‌توان در ۴ دسته؛ جامد به جامد، جامد به مایع، گاز به جامد و گاز به مایع طبقه‌بندی شود. از میان این ۴ حالت تنها حالت‌جامد به مایع می‌تواند در سیستم سرمایشی و گرمایشی ساختمان مورداستفاده قرار گیرد. این امر به خاطر محدودیت تکنیکی سایر حالت‌ها می‌باشد. تنوع زیادی از انواع PCM ها با محدوده نقطه ذوب متفاوت وجود دارد. رایج‌ترین طبقه‌بندی برای PCM ها ؛ آلی، غیر آلی و ترکیبی(eutectic) می‌باشد[۲۵].

[۱] Alan Tower Waterman
[۲] Phase Change Material (PCM)
[۳] Yale University
[۴] Molybdenite (MoS_2).

www.SID.ir

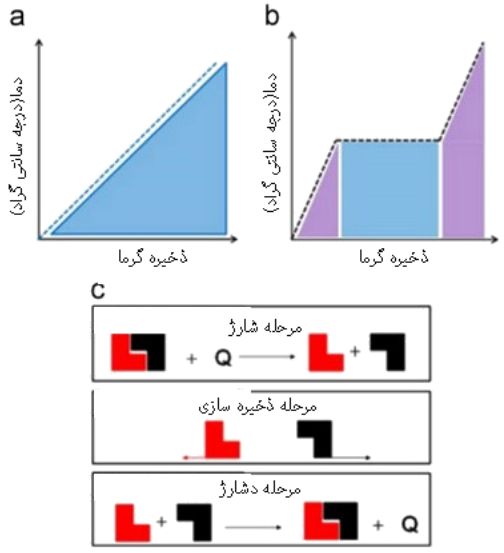
Archive of SID



شکل ۳ طبقه‌بندی مواد تغییر فاز دهنده به‌عنوان ماده ذخیره کننده انرژی حرارتی[۲۶].

۵-۱-۱- مواد تغییر فاز دهنده آلی

اگرچه PCM های آلی محدوده وسیعی را از آلکان ها، اسیدهای چرب و استر ها پوشش می‌دهند، شناخته‌شده‌ترین مواد برای ذخیره گرمای نهان هستند[۲۷]. این نوع از PCM ها به خاطر اضافه گرمای نهان، دمای تغییر فاز مناسب و کاراکترهای شیمیایی و فیزیکی‌شان بسیار موردتوجه و استفاده هستند. در شکل ۴ این ویژگی‌ها به‌خوبی نشان داده‌شده است.



شکل۴ مقایسه بین ذخیره گرما a) آشکار، b) نهان، c) ذخیره شیمیایی مواد تغییر فاز دهنده آلی[۲۸].

مواد تغییر فاز دهنده آلی نواقص و محدودیت‌هایی همچون؛ انتقال حرارت پایین(کمتر از ۲ وات بر مترمربع کلوین)، تنوع حجم بالا و چکیدن مایع در طول مدت تغییر فاز را در استفاده دارند. بااین‌حال نقطه ذوب و گرمای نهان برخی از این نوع PCM ها برای کاربرد در ساختمان‌ها مناسب است. همچنین این مواد در دو نوع پارافین و غیر پارافین طبقه‌بندی می‌شوند[۲۹].

۵-۱-۲-مواد تغییر فاز دهنده پارافینی

محدوده دمای ذوب برای این نوع از PCM ها ۱۲ تا ۷۱ درجه سانتی گراد است که می‌تواند ۱۲۸ تا ۱۹۸ کیلوژول بر کیلوگرم گرما را ذخیره کنند. این PCMها یکی از رایج‌ترین PCM های قابل‌استفاده هستند . PCM های پارافینی همه فاکتورهای مهم در کاربردهای ساختمانی همچون؛ ایمنی، قابل اعتماد بودن، هزینه پایین و گرمای نهان بالا را دارند. همین‌طور ازنظر شیمیایی PCM های پایداری هستند و در دماهای پایین‌تر از ۵۰۰ درجه سانتی گراد راکد می‌مانند و حجمشان به‌ویژه در زمان تغییر فاز تغییر نمیابد. باوجوداینکه ضریب هدایت حرارتی این نوع PCM ها عامل اصلی کاهش کاربرد گسترده آن‌ها است. این مواد در کنار ویژگی‌های مفید خود برخی ویژگی‌های منفی همچون؛ نسبتا قابل اشتعال و ناسازگار با پلاستیک را نیز دارند[۳۰].

۵-۱-۳- مواد تغییر فاز دهنده غیر پارافینی

این نوع از PCM ها برخلاف PCM های پارافینی رنج وسیعی از تنوع در ویژگی‌های متفاوت از هم رادارند. بنابراین آن‌ها به‌عنوان مناسب‌ترین PCM برای استفاده در ذخیره حرارتی در نظر گرفته می‌شوند. . آلکان ها، استر ها، گلیکول ها و اسید های چرب شناخته‌شده‌ترین PCM های غیر پارافینی هستند. در این طبقه‌بندی اسیدهای چرب به خاطر؛ گرمای نهان بالا، عدم جدایی فاز و دمای ذوب متفاوت بیشترین کاربرد را در سرمایش ساختمان‌ها دارند. همچنین آن‌ها برای اقلیم‌ها و شرایط متفاوت نیز مناسب خواهند بود. اما در مقایسه با PCM های پارافینی، گران‌تر و فاسد کننده نیز هستند[۳۱].

۵-۱-۴- مواد تغییر فاز دهنده غیر آلی

این نوع از PCM ها در مقایسه با PCM های ارگانیک، گرمای ترکیبی بالاتری در واحد جرم و قابلیت اشتعال و هزینه کمتری دارند. اگرچه آن‌ها از جدایی فاز، فقدان پایداری حرارتی، خوردگی و تجزیه رنج می‌برند، چیزی که مزیت‌هایشان را زیر سایه قرار می‌دهد. این PCM ها در انواع؛ هیدرات‌های نمک، محلول نمک و فلزها تقسیم می‌شوند. هیدرات‌های نمک شناخته‌شده‌ترین نوع از PCM های غیر آلی هستند که در شمار زیادی از تحقیقات برای کاربرد ذخیره حرارتی مورداستفاده قرارگرفته‌اند. در جدول ۲ خلاصه‌ای از گرمای نهان و نقطه ذوب چندین PCM غیر ارگانیک (هیدرات نمکی) را نشان می‌دهد. هیدرات‌های نمکی باهدف ذخیره گرما در ساختمان با توجه به گنجایش ذخیره حجمی مناسب، انتقال حرارت بالا و قیمت پایین در مقایسه با PCM های ارگانیک انتخاب می‌شود[۳۲]. در جدول ۳ برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های این نوع از pcm ها آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳ گرمای نهان و دمای ذوب برخی از pcm های هیدرات نمکی [۳۳]

دمای نهان و نقطه ذوب تعدادی مواد تغییر فاز دهنده هیدرات نمکی			
شماره	ماده	دمای نهان(KJ/Kg)	نقطه ذوب(درجه سانتی گراد)
۱	KF.٤H٢O	٢٣١	١٨/٥
٢	K٢HPO٤,٤H٢O	٢٣١	١٨/٥
٣	FeBr٣,٦H٢O	١٠٥	٢١
۴	Mn(NO٣)٢,٦H٢O	١۴٨	٢٥/٥
۵	LiBO٢,٨H٢O	٢٨٩	٢٥/٧
۶	FeBr٣,٦H٢O	١٠٥	٢٧
٧	CaCL٢,٦H٢O	١٩١	٢٩
٨	CaCL٢,١٢H٢O	١٧۴	٢٩/٨
٩	LiNo٣,٢H٢O	٢٩۶	٣٠
١٠	LiNo٣,٣H٢O	١٨٩	٣٠

۵-۱-۵-مواد تغییر فاز دهنده ترکیبی

این نوع از PCM ها شامل ترکیبی از حداقل دو نوع PCM دیگر می‌باشند. این ترکیب می‌تواند به‌صورت؛ آلی با آلی، آلی با غیر آلی و غیر آلی با غیر آلی باشد. در طول فرایند خنک‌سازی، آن‌ها یک کریستال خمیده را شکل می‌دهند[۳۴]. در جدول ۴ انواع مختلف PCM، ویژگی‌ها و منابعشان مقایسه شده است.

جدول۴ مقایسه انواع مختلف مواد تغییر فاز دهنده[۳۵].

نوع	مواد آلی(ارگانیک)		مواد غیرآلی(غیر ارگانیک)		ترکیبی
	پارافین	بدون پارافین	هیدرات نمک	فلزی	
ویژگی های دمای نهان نقطه ذوب	۱۲- تا ۷۱ در جه سانتی گراد ۱۹۰-۲۶۰ کیلو ژول در کیلوگرم ۱. د مای نهان و نق طه ذوب با ا ضافه کردن کربن افزایش می‌یابد	۷/۸ تا ۱۸۷ درجه سانتی گراد ۱۳۰- ۲۵۰ کیلو ژول در کیلو گرم ۱. دامنه وسیع نقطه ذوب ۲. دامنه وسیع در دمای نهان ذوب	۱۱ تا ۱۲۰ سانتی گراد ۱۰۰ – ۲۰۰ کیلو ژول در کیلو گرم ۱.علاقه محققان به مطالعات گسترده بر ویژگی‌های این ماده	۳۰ تا ۹۶ سانتی گراد ۲۵- ۹۰ کیلو ژول در کیلو گرم عدم مطالعات گسترده به دلیل چگالی، هرینه بالا و	۴ – ۹۳ سانتی گراد ۱۰۰- ۲۳۰ کیلو ژول در کیلو گرم شامل دو یا بیش از دو PCM

	۲. PCM پر بکارد		۲.این ماده محلول آب و نمک های معدنی است	محدودیت‌های تکنیکی	
هزینه	نسبتا گران	دو تا سه برابر گران تر از پارافین است	هزینه مناسب و به صرفه	پر هزینه	پرهزینه
فواید	۱. غیرقابل تفکیک و سرمایشی ۲. پایداری شیمیایی ۳. دمای نهان زیاد ٤. سازگاری بالا با همه ظروف فلزی ٥. امن و غیر واکنشی	٦. قابلیت انتقال فاز بالا	۱. در دسترس ۲.نقطه ذوب بالا ۳.هدایت حرارتی مناسب ٤.تغییرات حجمی کم ٥.چگالی مناسب	۱. نقطه ذوب بالا در واحد حجم ۲. هدایت حرارتی زیاد	۱. دمای نهان بسیار زیاد در واحد حجم ۲. هدایت حرارتی بسیار زیاد
معایب	۱. هدایت حرارتی کم ۲. ن ق طه ذوب بالایی ندارد ۳. قابل اشتعال ٤. تغییر حجم قابل توجه	۱. تا حدی خورنده ۲. قابل اشتعال، نباید در معرض دمای زیاد، شعله و عوامل اکسیدزا قرار گیرد.	۱. سرد شونده ۲.خوردگی ۳.به دلیل چگالی بالا، نمک در کف محفظه تهنشین می شود و فعال بودن ماده به نسبت حجم آن کاهش می‌یابد.	دمای پایین در وزن و گرمای ویژه کم	دمای ذوب کم در واحد وزن

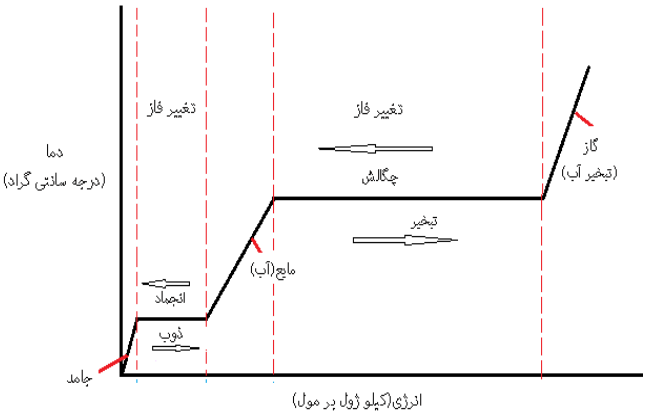
۶-عملکرد مواد تغییر فاز دهنده (PCM)

طبق شکل 5 مواد تغییر فاز دهنده این خاصیت را دارند که حالت خود را در یک دامنه دمایی مشخص تغییر دهند، به این مفهوم که طی فرآیند تغییر حالت، دمای خود را برای طول مدت تغییر حالت حفظ می‌نمایند. درواقع، روش کار این مواد برای ذخیره انرژی گرمایی به این صورت است که طی فرآیند گرم شدن محیط، به‌صورت موازی با محیط گرم می‌شوند تا زمانی که 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 آن‌ها به دلیل اینکه در حال تغییر فاز است، ثابت مانده و در برابر افزایش دما مقاومت می‌نماید. درواقع، طی این بازه زمانی که معمولاً چند ساعت نیز به طول می‌انجامد، ماده تغییر فاز دهنده مقدار زیادی از گرمای محیط را به خود جذب می‌نمایند، ولی آن را صرف افزایش دمای خود نمی‌کنند، بلکه این گرمای جذب‌شده را صرف تغییر فاز خود از جامد به مایع نموده و طی فرایند تغییر فاز، دمای خود و محیط اطراف خود را ثابت نگاه می‌دارند[۳۶]. در منطقه مشخص‌شده، فرآیند تغییر فاز در حال شکل گرفتن بوده و در همین منطقه است که انرژی گرمایی جذب‌شده توسط ماده درون آن ذخیره می‌شود.

www.SID.ir

www.jrenew.ir..... /..... info@jrenew.ir

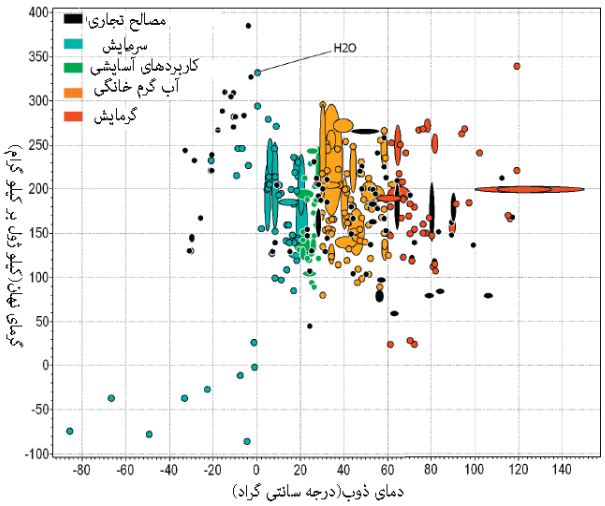
Archive of SID



شکل ۵ نمودار تغییر فاز ماده تغییر فاز دهنده [۳۶].

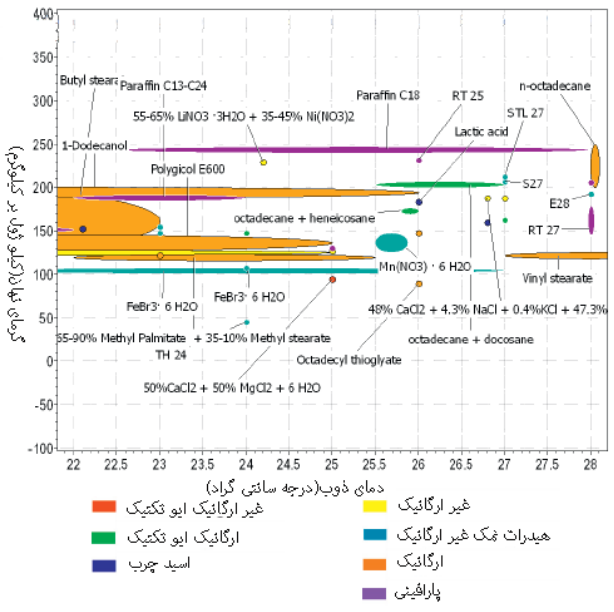
۶-۱- انتخاب مواد تغییر فاز دهنده برای کاربردهای مختلف

مطابق مطالب گفته‌شده PCM ها در کاربردهای مختلفی استفاده می‌شوند. در شکل ۶ طبقه‌بندی مواد تغییر فاز دهنده مورداستفاده در سیستم‌های فعال و غیرفعال ساختمان نشان داده‌شده است. این نمودار بر اساس دو کمیت دمای نهان نقطه ذوب و نقطه ذوب مواد تغییر فاز دهنده ترسیم‌شده است. رنگ‌های متفاوت نشان‌دهنده گروه‌های مختلف این مواد ازجمله، ایوتکتیک، ارگانیک، اسید چرب، پارافین و غیرآلی است. هریک از این مواد نقطه ذوب و دمای نهان متفاوتی دارند که کاربرد هرکدام بر اساس دمای محیط، ساختمان و نوع استفاده متفاوت است. رنگ‌های متفاوت نشان‌دهنده دماهای متفاوت مواد است. در این نمودار دامنه گسترده‌ای از نقطه ذوب و دمای نهان ذوب مشاهده می‌شود. همان‌طور که مشخص است مواد تغییر فاز دهنده کاربرد ذخیره حرارت ازجمله ذخیره سرما با دامنه دمایی نقطه ذوب (۹۰_۲۱-) درجه سانتی گراد، محدود متوسط آسایش حرارتی (۳۴_۱۸) درجه سانتی گراد، محدوده ذخیره حرارت آب گرم بهداشتی (۶۴_۳۰) درجه سانتی گراد، ذخیره حرارت سیستم گرمایش (۱۵۰_۵۴) درجه سانتی گراد و محدوده صنعتی و تجاری (۱۰۸_۳۴-) درجه سانتی گراد را دارا هستند. بنابراین با توجه به نوع کاربرد مواد موردنظر می‌توان PCM با نقطه ذوب مناسب را انتخاب کرد. در اینجا برای استفاده سرمایشی و آسایشی نیز PCM مناسب با نقطه ذوب بین (۳۴_۱۸) را می‌توان لحاظ نمود[۲۶].



شکل ۶ رابطه بین دمای ذوب و گرمای نهان مواد تغییر فاز دهنده در کاربردهای مختلف[۲۶].

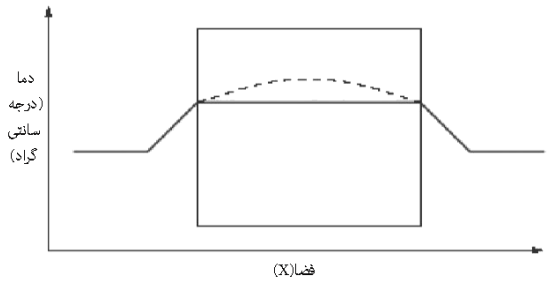
همچنین طبق شکل ۷ دسته‌ای از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره انرژی حرارتی به‌منظور بهبود دمای آسایش هوای داخل ساختمان مورداستفاده قرار می‌گیرند تا دمای هوای داخل ساختمان در محدوده آسایش دمایی باشد. محدوده دمایی نقطه ذوب این مواد تغییر فاز دهنده بین ۱۸ تا ۳۴ درجه سانتی گراد است. این دسته از مواد تغییر فاز دهنده به‌طور رایج در سیستم‌های غیرفعال مورداستفاده قرار می‌گیرند. دمای ذوب مواد تغییر فاز دهنده با توجه به شرایط دمایی هر اقلیم انتخاب می‌شود. مواد تغییر فاز دهنده ارگانیک فراوانی بیشتری در طبقه‌بندی PCM ها دارند. به این صورت که در ابتدا استفاده از مواد تغییر فاز دهنده ارگانیک برای ایجاد آسایش حرارتی در سیستم‌های غیرفعال و سپس مواد تغییر فاز دهنده با ترکیبات پارافینی بیشترین فراوانی را در این دسته‌بندی دارند. همچنین مواد تغییر فاز دهنده غیر ارگانیک هیدرات نمک نیز پس از دو نمونه دیگر در این طبقه‌بندی پرکاربردترین است. انتخاب مواد تغییر فاز دهنده مناسب از این طبقه‌بندی برای ایجاد آسایش حرارتی در سیستم‌های غیرفعال ساختمان به عوامل دیگری مانند محیط و شرایط سیستم مورداستفاده، دسترسی به تولیدکننده، هزینه تهیه و نگهداری این مواد ارتباط دارد. دامنه نقطه ذوب مواد تغییر فاز دهنده برای هریک از مواد بارنگ‌های متمایز مشخص‌شده است. نقطه ذوب مواد تغییر فاز دهنده پارافینی بین ۲۲/۵ تا ۲۸ درجه سانتی گراد است و نقطه ذوب مواد تغییر فاز دهنده غیر ارگانیک هیدرات نمک بین ۲۰ تا ۲۷ درجه سانتی گراد است و نقطه ذوب مواد تغییر فاز دهنده ارگانیک بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. انتخاب مواد تغییر فاز دهنده مناسب به رابطه نقطه ذوب مواد تغییر فاز دهنده و دمای محیط مورداستفاده بستگی دارد. بنابراین عامل دما با انتخاب مواد تغییر فاز دهنده مناسب ارتباط مستقیم دارد. به‌علاوه در انتخاب این مواد باید به ویژگی‌های ترموفیزیکی و شیمیایی که بر عملکرد مناسب آن‌ها مؤثر است نیز توجه داشت. بر همین اساس PCM های مورداستفاده برای تهویه طبیعی در ساختمان از گروه PCM هایی با کاربرد آسایش حرارتی انتخاب می‌شوند.



شکل ۷ انواع مواد تغییر فاز دهنده برای ایجاد شرایط آسایش حرارتی در محیط[۲۶].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۸ عملکرد مواد تغییر فاز دهنده در سرمایش ساختمانی[۳۷]

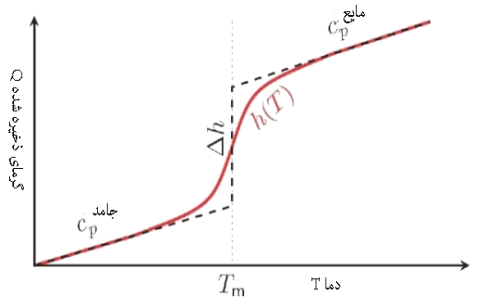
طبق شکل ۸ نیز مواد تغییر فاز دهنده در طی شب به دلیل کاهش قابل‌توجه دما در اقلیم گرم و خشک با تغییر فاز، شارژ می‌شوند و انرژی حرارتی را در خود ذخیره می‌کنند، در طی روزهای گرم نیز این ذخیره انرژی به کاهش دمای محیط و بهبود کارایی تهویه طبیعی در سیستم سرمایش غیرفعال کمک می‌نماید.

۷- انتخاب PCM با نقطه ذوب مناسب برای تهویه طبیعی در اقلیم گرم و خشک یزد

با توجه به کاربرد PCM ها در ایجاد شرایط آسایش حرارتی، می‌توان از PCM هایی که دارای نقطه ذوب متناسب با دمای اقلیم شهرها، که در محدوده بین ۱۸ تا ۳۴ درجه سانتی گراد هستند را استفاده نمود. از این رو مواد تغییر فاز دهنده می‌توانند برای بهبود پتانسیل تهویه طبیعی سیستم‌های سرمایش غیرفعال به‌ویژه در اقلیم گرم و خشک استفاده شوند البته زمانی مواد تغییر فاز دهنده حداکثر بازدهی خود را دارند که نقطه ذوب این مواد متناسب با دمای آسایش در گرم‌ترین ماه سال آن منطقه باشد[۳۷]. در تحقیقی نیز بیان‌شده که PCM با نقطه ذوب ۲۸درجه سانتی گراد، دمای اتاق را از ۳۸/۵ درجه سانتی گراد به ۳۷/۲ کاهش داده است[۳۸]. بیشترین ویژگی PCM ها برای بهبود آسایش حرارتی در ساختمان؛ دمای ذوب، محدوده دمای انتقال و گرمای نهان است. طبق جدول ۱ همان‌طور که محدوده میانگین دمای روزانه شهر یزد ۱۸ تا ۴۳ درجه سانتی گراد می‌باشد. همچنین میانگین دمای روز گرم‌ترین ماه سال در این اقلیم ۴۳ درجه سانتی گراد می‌باشد و نیز بر اساس مبحث ۱۹ مقررات ملی محدوده آسایش شهر یزد بین ۲۱ تا ۲۸ درجه سانتی گراد است. بنابراین با توجه به محدوده آسایش حرارتی و نیز میانگین دمایی، در شهر یزد استفاده PCM ها با دمای ذوب ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد برای بهبود سیستم‌های سرمایش غیرفعال مورداستفاده قرار می‌گیرند. به این صورت که در زمان افزایش و پیک دمای محیط، گرما را از محیط گرفته و در زمان‌های کاهش دما، آن را به محیط پس می‌دهند.[۳۷]. همچنین با توجه به اینکه مرز دمایی آسایش حرارتی گرم‌ترین ماه سال در یزد ۲۸ درجه سانتی گراد است؛ بنابراین استفاده از PCM ۲۸ می‌تواند دما را در محدوده آسایش حرارتی قرار دهد. هزینه‌های اجرا و نگه‌داری نیز با کاربرد PCM ها در سیستم‌های سرمایش غیرفعال به میزان قابل‌توجهی کاهش میابد. به‌طوری‌که استفاده از PCM ها در سیستم‌های سرمایش فعال ساختمانی می‌تواند تا ۹ درصد انرژی الکتریکی کمتری را مصرف کند اما هزینه سرمایه‌گذاری و نگه‌داری آن ۱۰ درصد بیشتر و با دوره برگشت سرمایه ۳-۴ می‌باشد. همچنین کربن دی‌اکسید کمتری را نیز منتشر می‌کند[۳۹]. از طرفی ویژگی اصلی PCM ها دمای آنتالپی آن‌ها است که ظرفیت ذخیره‌سازی گرمای آن‌ها را نشان می‌دهد. درواقع توانایی ذخیره‌سازی PCM ها با منحنی آنتالپی نشان داده می‌شود. شیب اضافه این نمودار h(T) توانایی بالای ذخیره‌سازی PCM را بیان می‌کند. شکل ۹ منحنی آنتالپی یک PCM ایده آل و واقعی را نشان می‌دهد. یک PCM ایده آل با مشخصاتی مثل؛ گرمای ویژه فاز جامد و مایع، آنتالپی تغییر فاز Δh ، دمای ذوب T_m و یک PCM واقعی با عملکرد یا شیب آن h(T) بیان می‌شود. همه PCMها یک محدوده ذوب دارند که تغییر فاز نیز در آن محدوده اتفاق می‌افتد[۴۰]. فرمول (۱) و (۲) رابطه میان پارامترهای ذکرشده را تعریف می‌کند.

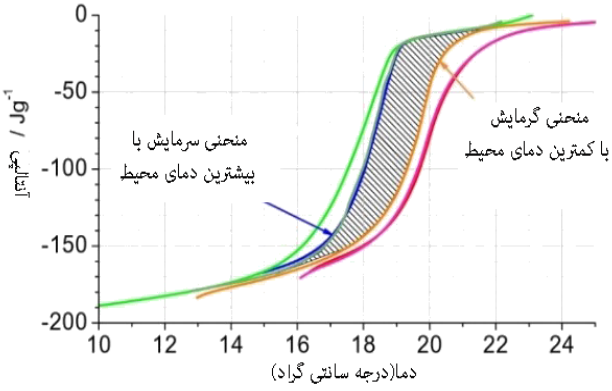
$$\text{Heat storage}=Q(T) \qquad (۱)$$

$$Q(T)= h(T)+h. \qquad (۲)$$



شکل۹ منحنی آنتالپی pcm ایده آل و واقعی[۴۰].

در شکل ۱۰ نیز منحنی سرمایش با حداکثر دمای محیط و منحنی گرمایش با حداقل دمای محیط، محدوده منحنی آنتالپی را در شرایط ایزو ترمال محدود می‌کند.

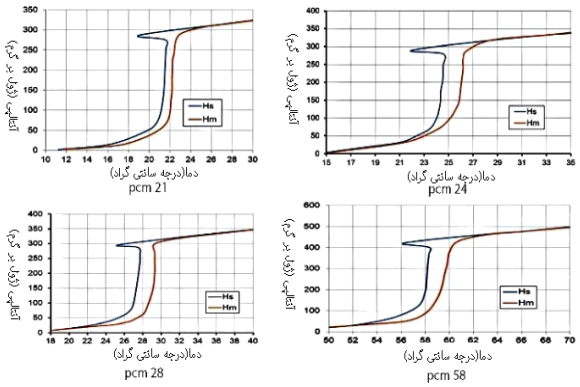


شکل۱۰ محدوده دما سرمایش و گرمایش در نمودار آنتالپی[۴۰]

حال با مقایسه نمودار آنتالپی PCM های مختلف با توجه به شکل ۱۱ و مقایسه آن با شکل ۹ و ۱۰ می‌توان فهمید که کدام PCM برای استفاده در ایجاد شرایط آسایش و تهویه طبیعی محیط به‌ویژه در اقلیم گرم و خشک شهر یزد مناسب‌تر می‌باشد[۴۱]. ازآنجاکه PCM های غیر ارگانیک هیدرات نمکی نسبت به سایر PCM ها ازلحاظ هزینه و دسترسی در ایران مناسب‌تر می‌باشند. بنابراین در این مقایسه ۴ نوع از این PCM ها با نقاط ذوب مختلف مقایسه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۱ نمودار آنتالپی برای pcm ها با نقطه ذوب؛ ۲۱، ۲۴، ۲۸ و ۵۸ درجه سانتی گراد(نگارنده)

همان‌طور که مشخص است PCM با دمای ذوب ۲۸ درجه سانتی گراد که ازلحاظ تئوری گزینه مناسب‌تری برای ایجاد شرایط آسایش و تهویه طبیعی می‌باشد، با بررسی رفتار و منحنی آنتالپی آن ازنظر عملی نیز این نتیجه تائید شده است. درواقع رفتار این نوع از PCM به PCM ایده آل نزدیک‌تر می‌باشد. به‌طوری‌که در دمای بالاتر از ۲۸ درجه سانتی گراد تغییر فاز داده و گرمای اضافه را در خود ذخیره کرده و درزمانی که دما از ۲۱ درجه سانتی گراد پایین‌تر باشد، آن را به محیط پس می‌دهد. به این شکل دمای محیط را در محدوده آسایش حرارتی در روزهای گرم سال نگه می‌دارد و به بهبود تهویه طبیعی نیز کمک می‌نماید.

۸- نتیجه‌گیری

در جهان حاضر استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر با سرعت فراوانی در حال پیشرفت می‌باشد. روش‌های مختلفی برای ذخیره‌سازی این انرژی وجود دارد. از میان آن‌ها ذخیره انرژی گرمای نهان به دلیل قابلیت ایجاد چگالی بالای ذخیره انرژی و خاصیت ذخیره انرژی در دمای ثابت از اهمیت بیشتری برخوردار است. مواد تغییر فاز دهنده نیز به این روش انرژی را در خود ذخیره نگه می‌دارند. بنابراین کاربرد این مواد جهت ذخیره‌سازی انرژی به‌ویژه در بخش سرمایش و تهویه طبیعی ساختمان‌ها می‌تواند بسیار موردتوجه باشد. پژوهش حاضر نیز کمک می‌کند تا از میان طیف گسترده مواد تغییر فاز دهنده، با توجه به محدوده دمایی داخل ساختمان، شرایط اقلیمی و محیطی شهر یزد، PCM مناسب جهت استفاده سیستم‌های سرمایشی غیرفعال و بهبود تهویه طبیعی محیط انتخاب شود. با بررسی‌های انجام‌شده از طریق مطالعات و منابع معتبر صورت گرفته درنهایت چگونگی کاربرد PCM مناسب با توجه به نوع کاربرد و اقلیم منطقه به‌دست‌آمده است. به این صورت که چه نوع از مواد تغییر فاز دهنده در کاربردهای مختلف؛ سرمایش، سیستم‌های غیرفعال، آب گرم، تجاری و نیز آسایشی استفاده می‌شوند. همچنین برای هر نوع کاربرد، PCM مناسب با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و نیز رفتار PCM باید انتخاب گردد. به‌طوری‌که با توجه به محدوده آسایش حرارتی در هر اقلیم و نیز میانگین دمایی آن، PCM مناسب انتخاب و بکار می‌رود. بنابراین برای اقلیم گرم و خشک شهر یزد باوجود دمای آسایش ۲۱ تا ۲۸ و نیز میانگین دمایی ۵ تا ۳۲ درجه سانتی گراد استفاده از PCM با دمای ذوب ۲۸ درجه سانتی گراد برای سرمایش غیرفعال، تهویه طبیعی و ایجاد شرایط آسایش حرارتی محیط مناسب می‌باشد. چنین پژوهشی به کاربرد هر چه‌بهتر و مناسب‌تر مواد تغییر فاز دهنده برای بهبود عملکرد تهویه طبیعی کمک می‌کند و سبب کاهش تقاضای بار سرمایشی، مصرف انرژی، انتشار کربن دی‌اکسید شده و نیز در فراهم آوردن آسایش حرارتی ساکنین کمک شایانی می‌نماید.

۹- فهرست علائم

$Q(T)$	ذخیره گرمایی
$h(T)$	منحنی آنتالپی
T_m	دمای ذوب
Δh	آنتالپی تغییر فاز

زیرنویس‌ها

PCM	مواد تغییر فاز دهنده
Thermal energy storage (TES)	ذخیره انرژی حرارتی
International Energy Agency (IEA)	آژانس بین‌المللی انرژی
Alan Tower Waterman	الن تاور واترمن
Yale University	دانشگاه یل
Molybdenite (MoS_2)	ماده مولیبدنیت

۱۰- مراجع

[۱] Technology Roadmap. Solar Heating and Cooling. International energy Agency (IEA). Available from, ۱۰-۳۰-۲۰۱۲

[۲] Farid MM, Khudhair AM, Razack SAK, Al-Hallaj S. A review on phase change energy storage: *materials and applications Energ Covers Manage* ,٤٥،١٥٩٧–٦١٥, ٢٠٠٤.

[۳] Energy Technology Perspectives (ETP), *International Energy Agency*, ۲۰۱۲.

[٤] Guo, W., Liu, X. & Yuan, X .Study on natural ventilation design optimization based on CFD simulation for green buildings. *Procedia Engineering*, ۱۲۱, ٥٧٣-٥٨١, ۲۰۱۳.

[٥] Tan, Z. & Deng, X. Assessment of natural ventilation potential for residential buildings across different climate zones in Australia. *Atmosphere*, ۸, ۱۷۷, ۲۰۱۷.

[٦] Lizan, J., DE-BORJA-TORREJON, M., BARRIOS-PADURA, A., AUER, T. & CHACARTEGUI, R. Passive cooling through phase Change
materials in buildings. A critical study of implementation alternatives. *Applied Energy*, ٢٥٤, ١١٣٦٥٨, ٢٠١٩.

[٧] Sun, X., Zhang, Q., Medina, M. A. & Liao, S. Performance of A free-
air cooling system for telecommunications base stations using phase change
materials (PCMs): in-situ tests. *Applied energy*, ١٤٧, ٣٢٥-٣٣٤, ٢٠١٥.

[٨] Berardi, U. & Manca, M. The energy saving and indoor comfort improvements with latent thermal energy storage in building retrofits in Canada. *Energy Procedia*, ١١١, ٤٦٢-٤٧١, ٢٠١٧.

[٩] Hu, Y. & Heiselberg, P. K. A new ventilated window with PCM Heat exchanger—Performance analysis and design optimization. *Energy And Buildings*, ١٦٩, ١٨٥-١٩٤, ٢٠١٨.

www.SID.ir

Archive of SID

[۱۰] Akeiber, H., Nejat, P., Majid, M. Z. A., Wahid, M. A., Jomehzadeh, F., Famileh, I. Z., Calutit, J. K., Hughes, B. R. B. R. & Zaki, S. A. A review on phase change material (PCM) for sustainable passive cooling in building envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* ٦٠, ١٤٧٠-١٤٩٧, ٢٠١٦.

[۱۱] Zaki, S. A. A review on phase change material (PCM) for sustainable
passive cooling in building envelopes. Renewable and Sustainable .*Energy Reviews*, ٦٠, ١٤٧٠-١٤٩٧, ٢٠١٦.

[۱۲] De grasia, A., Navarro, L., Castell, A., Ruiz-pardo, Á. alvarez, S. & cabeza, L. F. Thermal analysis of a ventilated facade with PCM for cooling applications. *Energy and Buildings*, ٦٥, ٥٠٨-٥١٥, ٢٠١٣.

[۱۳] Isa, M. H. M., Zhao, X. & Yoshino, H. Preliminary study of passive cooling strategy using a combination of PCM and copper foam to increase thermal heat storage in building facade. *Sustainability*, ٢, ٢٣٦٥-٢٣٨١, ٢٠١٠.

[۱٤] Solgi, E., Hamedani, Z., Fernando, R., Kari, B. M. & Skates, H. A parametric study of phase change material behaviour when used with night ventilation in different climatic zones. *Building and Environment*, ١٤٧, ٣٢٧-٣٣٦, ٢٠١٩.

[۱٥] Givoni, B. Passive low energy cooling of buildings, *John Wiley & Sons*. ١٩٩٤.

[۱٦] Waqas, A. & Din, Z. U. Phase change material (PCM) storage for Free cooling of buildings—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, ١٨, ٦٠٧-٦٢٥, ٢٠١٣.

[۱۷] Zhou, Z., Zhang, Z., Zuo, J., Hung, K. & Zhang, L. Phase change materials for solar thermal energy storage in residential buildings in cold climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ٤٨,٧٠٣-٦٩٢ , ٢٠١٥.

[۱۸] Dhadian, N. S. & Khodadadi, J. Melting and convection of Phase change materials in different shape containers: *A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ٤٣, ٤٤٩-٤٧.٧, ٢٠١٥.

[۱۹] Aydin, D., Casey, S. P. & Riffat, S. The latest advancements on thermochemical heat storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ٤١, ٣٥٦-٣٦٧, ٢٠١٥.

[۲۰] Shalaby, S., Bek, M. & El-Sebaii, A. Solar dryers with PCM as energy storage medium :A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* ٣٣, ١١٠-١١٦, ٢٠١٤.

[۲۱] Waterman, A. T. Xxi. On the positive ionization from certain hot salts,together with some observations on the electrical properties of molybdenite at high temperatures. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, ٣٣, ٢٢٥-٢٤٧, ١٩١٧.

[۲۲] Bastani, A., Haghighat, F. & Kozinski, J. Designing Building envelope with PCM wallboards: design tool development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ٣١, ٥٥٤-٥٦٢, ٢٠١٤.

[۲۳] Demirbas, M. F. Thermal energy storage and phase change materials:an overview. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, ١, ٨٥-٩٥, ٢٠٠٦.

[۲٤] Abhat A. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. *Sol Energy*, ;٣٠:٣١٣–٣٢, ١٩٨٣.

[۲٥] Anisur, M., Mahfuz, M., Kibria, M., Saidor, R ,.Metsellar, I.& Mahlia, T. Curbing global warming with phase change Materials for energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ١٨, ٢٣-٣٠, ٢٠١٣.

[۲٦] Cabeza LF, Castel A, Barreneche C, de Gracia A, Fernández AI. Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: *a review. Renew Sust Energy Rev*, ١٥:١٦٧٥–٩٥, ٢٠١١.

www.SID.ir