همایش ملی انرژی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
آذر ۱۳۹۴

ذخیره‌سازی انرژی با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده و کاربرد آن در ساختمان

محمد رئیسی[۱]، فرشاد احمدی[۲]
* نویسنده مسئول: محمد رئیسی

چکیده

هدف از نوشتار حاضر معرفی مواد تغییر فاز دهنده و کاربرد آن در ساختمان به منظور ذخیره‌سازی و مصرف بهینه‌ی انرژی می‌باشد. در دهه‌های اخیر، مواد مذکور و ویژگی‌های منحصر به فرد آن در کشورهای پیشرفته مورد توجه قرار گرفته و این در حالی است که در کشور ما وجوه تحقیق و کاربرد آن ناشناخته مانده است. ذخیره‌ی انرژی گرمایی توسط جسم به صورت نهان به هنگام تغییر فاز از حالت جامد به مایع یا از مایع به گاز و یا از جامد به جامد صورت می‌گیرد. استفاده از این مواد می‌تواند دمای متعادلی را به وجود آورد و مزیت بسیار مهم آن‌ها این است که نوسانات دمای هوای داخل را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. لذا به خاطر همین مزیت، تحقیقات جامع‌تری در حال انجام بوده و انتظار می‌رود با توجه به مبحث انرژی و اهمیت آن در جوامع امروزی تقاضا برای استفاده از این مواد در ساختمان رو به افزایش باشد.

واژه‌های کلیدی

مواد تغییر فاز دهنده، انرژی، ساختمان، آجر، بهینه‌سازی

۱-استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

۱- مقدمه

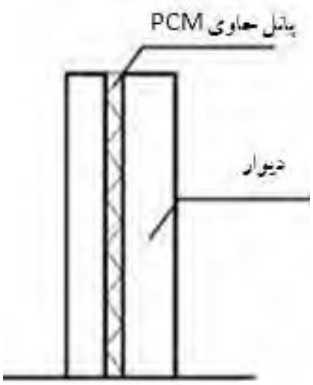
مواد تغییر فاز دهنده ترکیبات آلی یا معدنی هستند که قابلیت جذب و ذخیره‌ی پنهان مقادیر زیادی از انرژی گرمایی را درون خود دارند. ذخیره‌ی انرژی گرمایی در این مواد، در طی فرآیند تغییر فاز اتفاق می‌افتد. این مواد به هنگام تغییر فاز از جامد به مایع یا از مایع به جامد، این گرما را از محیط جذب نموده و یا به محیط پس می‌دهند. ماده‌ی تغییر فاز دهنده قابلیت آن را دارد که این انرژی نهفته‌ی گرمایی را بدون هیچ گونه تغییری حتی پس از هزاران چرخه تغییر فاز، درون خود حفظ نماید. این مواد در صورت استفاده در ساختمان، از طریق چرخه‌های متوالی ذوب و انجماد در تغییرات شدید دمای هوا، مقادیر زیادی گرما را با محیط تبادل نموده و از این طریق دمای هوای متعادل‌تری را برای فضای داخل ساختمان تامین می‌نماید. در مطالعات متعددی که در زمینه‌ی 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. نتایج بدست آمده از به کارگیری این مواد در ساختمان نشان داده است که با استفاده از این مواد، نوسانات دمای هوای داخل اتاق به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد و حفظ دمای محیط مناسب با دمای مطلوب بدن آسان می‌گردد. از طریق این سیستم می‌توان انرژی گرمایش و سرمایش را تا ۱۹ درصد کاهش داد. شایان ذکر است که استفاده از این مواد در صنعت ساختمان یک علم نوظهور و برای رسیدن به نتایج مطلوب از این فناوری، تحقیقات و تجربه‌های بیشتری مورد نیاز است.

مواد تغییر فاز دهنده موجود در بازار جهت استفاده در ساختمان همان طور که در شکل‌های ۱ تا ۳ نمایش داده شده است در سه حالت میکروکپسول‌های حاوی این مواد، پاکت‌های پلاستیکی و همچنین پانل‌های سخت شده از پلی‌اتیلن با دانسیته‌ی بالا وجود دارند. در صورتی که از این مواد به صورت میکروکپسول استفاده شود، با توجه به قابلیت جاری شدن مواد تغییر فازدهنده در فاز مایع، نیاز به محفظه‌هایی خواهد بود که در فاز مایع به عنوان ظرف حاوی این مواد عمل نماید، لذا معمولاً به صورت بسته‌های حاوی این مواد مورد استفاده قرار قرار می‌گیرند. اغلب این مواد در بازار به صورت میکروکپسول‌هایی موجود هستند و در واقع کره‌های بسیار ریزی با قطر بین ۱ تا ۳۰ میکرومتر می‌باشند. جنس میکروکپسول‌ها جهت استفاده در مواد ساختمانی باید به گونه‌ای انتخاب شود که در مقابل نیروهای مکانیکی، گرما و بسیاری از مواد شیمیایی مقاوم باشد. با توجه به اندازه‌ی بسیار ریز میکروکپسول‌ها، می‌توان این مواد را در انواع مواد ساختمانی دارای خلل و فرج در حین تولید ملات و به عنوان ماده مضاف استفاده نمود. از جمله موارد کاربرد به این صورت، می‌توان به استفاده در آجرهای بتنی دیوارها و سقف و یا تخته‌های گچ حاوی این مواد اشاره کرد. از مزایای این مدل، سهولت استفاده و از جمله معایب آن هزینه بالای تولید میکروکپسول‌ها است. روش دیگر کاربرد این مواد استفاده از آن‌ها به صورت پاکت‌های محتوی مواد تغییر فاز دهنده می‌باشد. با توجه به هزینه‌ی بالای تولید میکروکپسول‌ها و با هدف کم هزینه‌تر شدن، می‌توان مواد تغییر فاز دهنده را به صورت پاکت‌های با ابعاد بزرگ‌تر به کار برد. در صورت استفاده از این مواد به صورت پاکتی و یا غیر میکروکپسول، 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 به این نحو، می‌توان به پانل‌های مهار شده با فرم‌های فلزی بین جداره‌ها اشاره نمود. پانل‌های سخت و یا انعطاف‌پذیر حاوی این مواد امروزه در

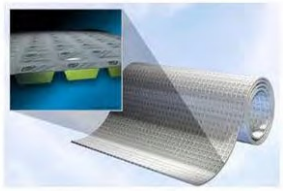
بازار نیز موجود بوده و به صورت تولید انبوه به شکل رول‌های بسته‌بندی شده و یا پانل‌های سخت قابل نصب به مشتریان عرضه می‌شود. اصولاً از مواد تغییر فاز دهنده زمانی استفاده می‌شود که بین زمان وجود انرژی و زمان نیاز به آن اختلاف وجود داشته باشد. از آن جا که مواد تغییر فاز دهنده در طیف مختلفی از نقاط ذوب وجود دارند، مهم‌ترین ویژگی تعیین کننده‌ی کاربرد این مواد نقطه‌ی ذوب آن‌ها است. در شکل ۴ نقاط ذوب تعداد زیادی از مواد تغییر فاز دهنده نشان داده شده است. موادی که زیر ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد ذوب می‌شوند، برای خنک کردن و تهویه‌ی هوای اتاق قابلیت استفاده دارند. موادی که بالای ۹۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شوند، برای کاهش دما در جاهایی که دما ممکن است به طور ناگهانی بالا رود به عنوان عامل ممانعت از حریق کاربرد دارند. سایر مواد تغییر فاز دهنده که دمای ذوبشان بین این دو مقدار است برای ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی کاربرد دارند. مواد تغییر فاز دهنده برای سرمایش و گرمایش در مقیاس کوچک نیز کاربرد ویژه‌ای دارند؛ به عنوان مثال می‌توان به اجاق‌های گرم کننده‌ی غذا با استفاده از یک لایه از مواد تغییر فاز دهنده و یا تری‌هیدرات استات سدیم برای گرم کننده‌های دست در زمستان اشاره کرد.

شکل(۱) انواع مختلف مواد تغییر فاز دهنده موجود در بازار

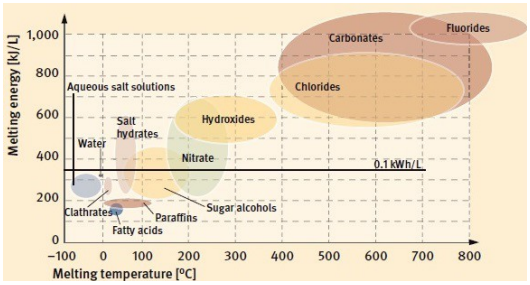
در ادامه به برخی از تحقیقات صورت گرفته در ارتباط با مواد تغییر فاز دهنده و کاربردهای آن‌ها در ساختمان و همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این مواد اشاره می‌گردد.



شکل(۲) قرارگیری پاکت‌های حاوی ماده تغییر فاز دهنده در جداره‌ها



شکل(۳) رول‌های انعطاف‌پذیر و پانل‌های سخت قابل نصب حاوی ماده تغییر فاز دهنده



شکل(۴) طیف گسترده‌ی نقاط ذوب مربوط به انواع مواد تغییر فاز دهنده

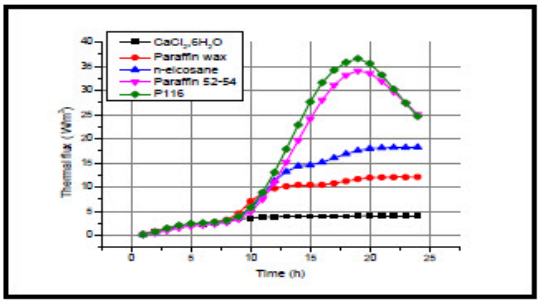
۲-کاربرد مواد تغییر فاز دهنده در آجر بتنی سبک

Zhang و همکاران در سال ۲۰۱۲ تأثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در آجرهای بتنی را مورد بررسی قرار دادند [۱]. در شاخه‌ی مهندسی از مواد تغییر فاز دهنده جهت به کارگیری و ذخیره‌ی انرژی استفاده می‌شود و استفاده از آن‌ها می‌تواند دمای متعادلی را به وجود آورد. جهت ایجاد تعادل دمایی به ویژه در مناطق سردسیر، استفاده از مواد تغییر فاز دهنده توصیه می‌شود و چون بتن ظرفیت گرمایی بالایی

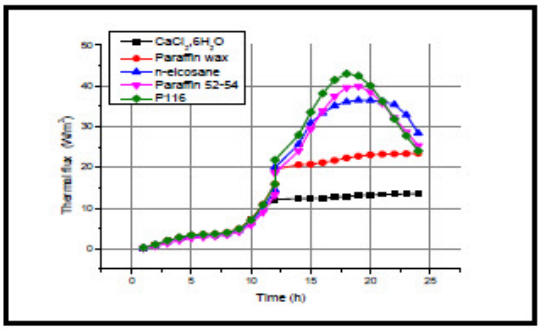
دارد، می‌تواند در روز انرژی گرما را از خورشید دریافت کرده و در هنگام شب به ساختمان بدهد؛ البته موضوع مواد تغییر فاز دهنده در مطالعات بهینه‌سازی و الگوریتم ژنتیک نیز توسط محققین فوق مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در دیوارهای ساختمان

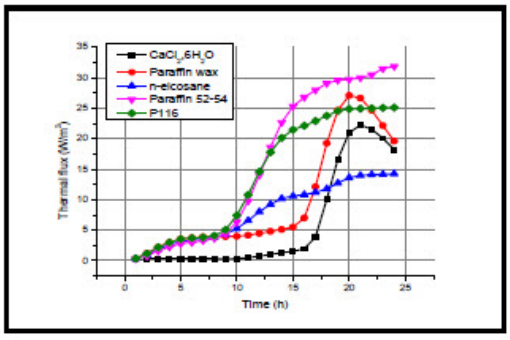
Hichem و همکاران در سال ۲۰۱۳ تأثیر و کاربرد مواد تغییر فاز دهنده را در قسمت‌های مختلف دیوارهای ساختمانی بررسی کردند [۲]. استفاده از لایه‌های مواد تغییر فاز دهنده در لایه‌های خارجی دیوار ساختمان موجب کاهش نوسانات دما در دیوار می‌گردد. انواع مختلف مواد تغییر فاز دهنده، محل قرارگیری آن‌ها در دیوار و میزان آن در این تحقیق بررسی شده است که نتایج محاسبات عددی، مؤید این است که با نتایج آزمایشگاهی مطابقت دارد. این مدل مطرح شده، شامل آجرهای متداول به همراه حفراتی است که به عنوان مصالح ساختمانی در الجزایر در بناهای مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد که تعدادی از این حفرات چهارگوش توسط مواد تغییر فاز دهنده پر می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که موادی که به صورت چهارگوش در حفرات به کار برده می‌شوند به طور قابل ملاحظه‌ای وضعیت دما را بهبود می‌بخشد. همچنین ترکیب انواع مواد تغییر فاز دهنده، موقعیت قرارگیری آن‌ها در دیوار و مقدار آن‌ها بسیار مهم است چرا که در کاهش میزان نوسانات و دامنه‌ی تغییرات حرارت مؤثر است. در این مطالعه مواد تغییر فاز دهنده در ۳ موقعیت مختلف قرار داده شده و مورد آزمایش قرار گرفته است. این قسمت‌ها شامل نواحی خارجی، میانی و داخلی دیوار است. نتایج نشان داده که بهترین موقعیت برای قرار دادن مواد تغییر فاز دهنده ناحیه‌ی میانی دیوار می‌باشد که شکل (۵) به خوبی این موضوع را بیان می‌نماید. کاهش جریانات حرارتی در ۲۴ ساعت نسبت به آجر بدون این مواد بیش از ۸۲/۱ درصد تخمین زده شده است. کاهش حرارت خورشیدی به توانا ساختن و مهیا کردن یک اتاق با دمای ثابت که باید همراه با کاهش نوسان دما باشد، کمک می‌کند و در نهایت ثابت شد که استفاده از این مواد، حرارت دیوارهای داخلی اتاق را تا ۳/۸ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد.



شکل(۵- الف) مواد تغییر فازدهنده زمانی که در ناحیه ی میانی قرار گیرد



شکل(۵- ب) مواد تغییر فازدهنده زمانی که نزدیک دیوار داخلی قرار گیرد



شکل(۵- ج) مواد تغییر فازدهنده زمانی که نزدیک دیوار خارجی قرار گیرد

۴-خصوصیات و طبقه بندی مواد تغییر فاز دهنده

Tyagi و Buddhi در سال ۲۰۰۷ خواص مواد تغییر فاز دهنده و طبقه‌بندی و مزیت کاربرد آن‌ها را در ساختمان مورد بررسی قرار دادند [۳]. تحقیق گسترده‌ای بر روی روش‌های مختلف در موضوع حرارت و دمای ساختمان در این مطالعه صورت گرفته و ثابت شد که همه‌ی سیستم‌ها از جمله کاربرد مواد تغییر فاز دهنده در دیوار، پوشش‌های موسوم به این مواد، استفاده از آن‌ها در بلوک‌های ساختمانی و تخته‌های پوشش سقف قابلیت خوبی برای گرمادهی و سرمادهی به سازه دارند که سیستم‌های تغییر فاز دهنده موجب کاهش مصرف انرژی و تقاضای آن می‌شود. این مواد به صورت نهان، انرژی مصالح را در خود ذخیره می‌نماید. مواد تغییر فازدهنده نقطه‌ی ذوب در محدوده‌ی ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد دارد. این مواد در ۴ دسته طبقه بندی شده که شامل پارافین و اسیدهای چرب، مواد معدنی (هیدرات‌های نمکی)، مواد ترکیبی و مواد جاذب رطوبت می‌باشد. مزایای پارافین‌ها منجمد شدن بدون سرد کردن بسیار، قابلیت ذوب، سازگاری با مواد ساخت و ساز، دارای خواص شیمیایی ثابت و داشتن دمای جوش بالا بوده و از معایب آن‌ها تغییر حجم زیاد است. مواد ترکیبی محاسنی مثل نقطه‌ی ذوب بالا و چگالی ذخیره‌سازی حجمی بالاتر از ترکیبات آلی دارد و از معایب آن‌ها این است که آمار کمی در مورد خواص ترمودینامیکی آن موجود است. از جمله برخی از ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی مواد تغییر فاز دهنده عبارتست از:

۱-دمای ذوب مناسب

۲-گرمای ویژه بالا

۳-حرارت نهان بالای ذوب

۴-تغییرات کم در تبادلات فازی

۵-فشار بخار کم در عملکرد دمایی

۶- قابلیت هدایت دمایی بالا در حالات جامد و مایع

۷-داشتن تمایل به افزایش ذخیره‌سازی حرارت ده برابر بیشتر از آب، سنگ و زمین

همچنین برخی از ویژگی‌های شیمیایی مواد تغییر فاز دهنده عبارتست از:

۱-دارای سیکل کامل برگشت‌پذیری یخزدن و آب شدن

۲- عدم از هم پاشیدگی و تخریب پس از تکرار سیکل یخزدن و آب‌شدن

۳-عدم خوردندگی مصالح ساختمانی

۴- غیر سمی، غیر قابل اشتعال و غیر قابل احتراق

۵-پایدار از نظر شیمیایی

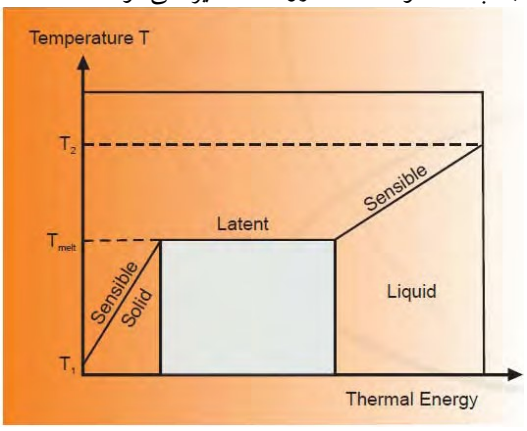
۶- قابل بازیافت

۵- عملکرد مواد تغییر فاز دهنده و کاربرد آن‌ها در سلول‌های خورشیدی

آرامی و مختاری یزدی در سال ۱۳۹۲ تحقیقی در زمینه‌ی مواد تغییر فاز دهنده انجام دادند و عملکرد این مواد و کاربرد آن‌ها را در سلول‌های خورشیدی مورد بررسی قرار دادند [۴]. در زیر به چگونگی عملکرد مواد تغییر فاز دهنده اشاره می‌شود:

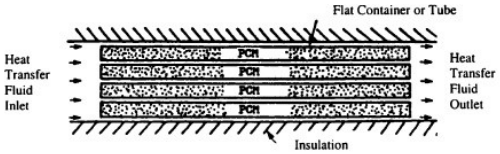
مواد در طبیعت در سه فاز جامد، مایع و گاز وجود دارند. در صورتی که ماده‌ای از یک فاز به فاز دیگر تغییر حالت دهد، مقداری گرما را که گرمای نهان نامیده می‌شود، جذب یا آزاد می‌نماید. به عنوان نمونه یک ماده‌ی جامد پس از گرم شدن و رسیدن به نقطه ذوب خود، به جذب حجم بالایی از انرژی که گرمای نهان ذوب نامیده می‌شود پرداخته و حالت خود را از جامد به مایع تغییر می‌دهد. مواد تغییر فاز 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 می‌نماید. در واقع، روش کار این مواد برای ذخیره انرژی گرمایی به این صورت است که طی فرآیند

گرم شدن محیط، به صورت موازی با محیط گرم می‌شوند تا زمانی که به دمای ذوب خود برسند. پس از رسیدن به این دما علیرغم این که دمای محیط همچنان به روند افزایشی خود ادامه می‌دهد، دمای این مواد و البته محیط اطراف آن به دلیل این که در حال تغییر فاز است، ثابت مانده و در برابر افزایش مقاومت می‌نماید. در واقع، طی این بازه‌ی زمانی که معمولاً چند ساعت نیز به طول می‌انجامد، ماده تغییر فاز دهنده مقادیر زیادی از 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 طی فرآیند تغییر فاز، دمای خود و محیط اطراف خود را ثابت نگاه می‌دارد. این روند تغییرات دمایی و جذب انرژی گرمایی در شکل (۶) به خوبی قابل مشاهده است. در منطقه مربع سفید رنگ، فرآیند تغییر فاز در حال شکل گرفتن بوده و در همین منطقه است که انرژی گرمایی جذب شده توسط ماده درون آن ذخیره می‌شود.



شکل(۶) نمودار عملکرد ماده تغییر فاز دهنده

یکی کاربردهای مهم مواد تغییر فاز دهنده استفاده در سیستم‌های خورشیدی است. این مواد قابلیت جمع‌آوری انرژی خورشیدی با استفاده از گردآورنده‌های خورشیدی را دارد. در صورت استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در چنین سیستم‌هایی، می‌توان حجم بالایی از انرژی خورشیدی را در طول ساعات روز ذخیره نموده و در طول شب از همین انرژی برای گرمایش استفاده نمود. مواد تغییر فاز دهنده در این سیستم همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است معمولاً در محفظه‌های نازکی که با آرایش صفحه‌ای روی هم قرار گرفته‌اند، نگهداری می‌شوند و سپس سیال انتقال حرارت از بین این صفحات و در تماس غیر مستقیم با این مواد حرکت می‌کنند. روش کار در این سیستم بدین صورت است که انرژی جمع‌آوری شده توسط گردآورنده‌ها در روز موجب گرم شدن سیال انتقال حرارت می‌شود. سپس آب گرم شده گرمای خود را به صفحات محتوی ماده تغییر فاز دهنده تحویل می‌دهد و ماده‌ی مذکور این گرما را در قالب گرمای نهان دریافت نموده و آن را صرف تغییر فاز خود از حالت جامد به مایع می‌نماید. در طول ساعات شب، آب سرد جایگزین آب گرم درون سیستم می‌شود. مواد تغییر فاز دهنده نیز به دلیل کاهش دما، فرآیند انتقال فاز خود را به صورت برعکس طی می‌کند و لذا 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. برای افزایش کارایی چنین سیستم‌هایی، نیاز به تکنیک‌هایی است که فرآیند انتقال حرارت بین ماده تغییر فاز دهنده و سیال انتقال گرما را به حداکثر برساند.



شکل(۷) شماتیک قرارگیری مواد تغییر فاز دهنده در سیستم-های خورشیدی

۶- کاربرد مواد تغییر فاز دهنده در یک دیوار مرکب و اثر آن بر بهینه نمودن انرژی

سبزپوشانی و همکاران در سال ۱۳۹۰ تأثیر به کارگیری مواد تغییر فاز دهنده در یک دیوار مرکب بر بهینه کردن

انتقال و ذخیره‌ی انرژی را بررسی کردند [۵]. در این تحقیق عملکرد گرمایی دیوار مرکب متشکل از مواد تغییر فاز دهنده به صورت عددی مطالعه شده است. جای گذاری این مواد در دیواره‌ها و سقف‌ها در به تأخیر انداختن بار حرارتی از ساعات اوج مصرف به دیگر ساعات نقش به سزایی دارد. دما در سمت داخلی دیواره ثابت و در سمت خارجی جداره، با توجه به تشعشع خورشیدی برخوردی و انتقال حرارت جابجایی ناشی از تغییرات دمای محیط اطراف تعیین شده است. مدل‌سازی خواص ترموفیزیکی ماده تغییر فاز دهنده در حین تغییر فاز نشان داده است که تغییرات ضریب حرارتی، بیشترین تأثیر 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 ماده‌ی تغییر فاز دهنده در دیواره، استفاده از این مواد موجب کاهش انرژی خروجی از دیواره در ساعات اوج مصرف می‌شود. در نهایت محققین به این نتیجه رسیدند که با توجه به شرایط مرزی داخلی و خارجی و با قرارگیری ماده‌ی تغییر فاز دهنده در سیکل‌های ذوب و انجماد نامحدود، می‌توان تا حداقل ۸ درصد از شار ورودی در جداره‌ی داخلی و در ساعات اوج مصرف کاست.

۷- کاربرد مواد تغییرات فاز دهنده با توجه به شرایط اقلیمی ایران

میزان کاهش بار حرارتی بستگی به نوع ماده‌ی تغییر فاز دهنده، دمای ذوب، میزان مواد تغییر فاز دهنده در ترکیب با مصالح متداول، اقلیم، طراحی و جهت‌گیری ساختمان دارد. بنابراین بهینه‌سازی چگونگی عملکرد این عوامل در کنار هم نیازمند پژوهش‌های اقلیمی و منطقه‌ای در زمینه‌ی مشکلاتی چون خنک شدن بیش از حد، تفکیک اجزای مواد تغییر فاز دهنده و سازگاری این مواد با سایر مصالح دارد. در ایران بنا به دلایلی نظیر پایین بودن ارزش انرژی و عدم وجود امکانات آزمایشگاهی برای بررسی نحوه‌ی ترکیب این مواد، کاربرد آن‌ها در صنعت ساختمان مورد توجه و پژوهش قرار نگرفته است. لذا کمبود پژوهش پیرامون این مواد و نحوه‌ی کاربرد آن به صورت ترکیبی با مصالح دیگر و متناسب با شرایط اقلیمی و منطقه‌ای ایران بسیار چشمگیر است. با معرفی این مواد و جزییات کاربردی نحوه‌ی استفاده از آن‌ها در مباحث مقررات ملی ساختمان نظیر مبحث پنجم و نوزدهم می‌توان تمامی فعالین در صنعت ساخت و ساز را با این مصالح آشنا نمود و گامی مثبت در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان برداشت. در پایان این بخش به نتیجه تحقیقات یک گروه پژوهشگر در کشورمان که در این مبحث آزمایشاتی انجام داده‌اند، اشاره می‌گردد. نتایج این سری تحقیقات مؤید این است که استفاده از این مواد موجب کاهش ۴۰ درصدی مصرف انرژی در ساختمان می‌شود. این مواد هوشمند در مدیریت انرژی ساختمان و ایجاد دمای مطلوب کاربردهای فراوانی به صورتی که بیان شده، دارند. به نظر می‌رسد که برای استفاده از این مواد در طراحی و ساخت ساختمان‌ها راه زیادی پیش رو باشد؛ چرا که پارامترهای مختلف زیادی در سازه و مصالح ساختمانی باید مد نظر قرار گیرد. البته به این موضوع نیز اشاره شده که در طراحی هر سیستم ذخیره‌سازی انرژی که بر مبنای مواد تغییر فاز دهنده عمل می‌کند، بایستی حداقل سه مورد زیر در نظر گرفته شود:

۱-ماده‌ی تغییر فاز دهنده مناسب با دمای ذوب مورد نظر

۲-مبدل حرارتی با سطح تبادل حرارتی مناسب

۳-محفظه‌ی نگهدارنده‌ی مواد تغییر فاز دهنده قابلیت جذب تغییرات حجم مواد تغییر فاز دهنده به هنگام تغییر فاز را داشته باشد و سازگار با آن نیز باشد.

۸- نتیجه‌گیری

در این نوشتار سعی شد که با معرفی مواد تغییر فاز دهنده و چگونگی عملکرد آن‌ها به نکاتی در ارتباط با کاربرد این مواد در ساختمان و نتایج مؤثر آن در کاهش مصرف انرژی سرمایش و گرمایش ساختمان پرداخته شود. با توجه به هزینه‌ی بالای میکروکپسول‌های حاوی این مواد، می‌توان مواد مذکور را به صورت پاکت‌های بزرگ‌تر و یا پانل‌های حاوی این مواد، در فواصل بین جداره‌ها و یا بین شیشه‌های دو جداره به کار برد. همچنین در مورد موقعیت قرارگیر ی این مواد پس از آزمایشات مختلف این نتیجه حاصل شده است که بهترین موقعیت برای قرار دادن مواد تغییر فاز دهنده، در ناحیه‌ی میانی دیوار می‌باشد زیرا این امر در کاهش نوسانات و دامنه‌ی تغییرات دمای فضای داخل تاثیرگذار است. با کاربرد این مواد در دیواره‌ها می‌توان تا حداقل ۸ درصد از شار ورودی در جداره‌ی داخلی و در ساعات اوج مصرف کاست.یکی از کاربردهای مهم این مواد استفاده از آن‌ها در آجرها است. در آجر محتوی مواد تغییر فاز دهنده کاهش جریانات حرارتی در ۲۴ ساعت نسبت به آجر بدون این مواد بیش از ۸۲/۱ درصد می‌باشد. تحقیقات همچنین داده است که استفاده از این مواد باعث کاهش ۴۰ درصدی مصرف انرژی می‌شود.

مراجع:

[1] Rui chen, Michal Pomianoski, Xin Wang, Per Heiselberg, Yinping Zhang , A new method to determine thermophysical properties of PCM-concrete brick, 2012, pp. 988.998.

[2] Hichem N, Noureddine S, Nadia S, Djamila D, Experimental and numerical study of a usual brick filled with PCM to improve the thermal inertia of buildings, 2013, pp. 766.775.

[3] Tyagi V, Buddhi D , PCM thermal storage in buildings:A state of art, 2005, pp. 1146.1166.

[۴] آرامی ح، مختاری یزدی م، ذخیره‌سازی انرژی در ساختمان با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده، نشریه‌ی انرژی ایران، ۱۳۹۲

[۵] سبز پوشانی م، شیخزاده ق، یگانه م، تأثیر به کارگیری ماده‌ی تغییر فاز دهنده در یک دیوار مرکب بر بهینه نمودن انتقال و ذخیره‌ی انرژی، *دومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی*، ۱۳۹۰

[۶] سومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی (با رویکرد توسعه‌ی پایدار)