ذخیره سازی انرژی در ساختمان با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده

حمیدرضا آرامی[۱]، مطهره مختاری یزدی[۲]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۲/۱/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۲/۲/۲۵

چکیده:

هدف نوشتار حاضر معرفی مواد تغییر فاز دهنده و کاربرد آن در ساختمان به منظور ذخیره سازی و مصرف بهینه انرژی می‌باشد. در دهه‌های اخیر، مواد مذکور و ویژگی‌های منحصر بفرد آن در کشورهای پیشرفته مورد توجه قرارگرفته و این در حالی است که در کشور ما وجوه تحقیق و کاربرد آن ناشناخته مانده است. شناخت و بکارگیری مناسب قابلیت‌ها و خواص فیزیکی این مواد می‌تواند به طور طبیعی چندین ساعت در انتقال حرارت به ساختمان در ساعات اوج مصرف انرژی تاخیر ایجاد نماید. این مواد بدون استفاده از تجهیزات مکانیکی، به صورت هوشمندانه، و تنها از طریق تمایل ذاتی به تغییر فاز، به طور طبیعی خود را به نوسانات دمایی محیط تطبیق داده و کاهش مصرف انرژی را به دنبال خواهد داشت.

کلمات کلیدی:
مواد تغییر فاز دهنده، ذخیره انرژی، ساختمان

۱) کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول) arami.hamid@yahoo.com
۲) دانشجوی دکتری مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان motaharehmokhtari@yahoo.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

مقدمه

(Phase Change Material) PCM به مواد تغییرفاز دهنده گفته می‌شود. این مواد ترکیبات آلی یا معدنی هستند که قابلیت جذب و ذخیره پنهان مقادیر زیادی از انرژی گرمایی را درون خود دارند. ذخیره انرژی گرمایی در این مواد، در طی فرآیند تغییر فاز (تغییر حالت از جامد به مایع یا بالعکس) اتفاق میفتد. 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. ماده تغییر فازدهنده قابلیت آن را دارد که این انرژی نهفته گرمایی را بدون هیچ‌گونه تغییری حتی پس از هزاران چرخه تغییر فاز، درون خود حفظ نماید [۹و ۸]. این مواد در صورت استفاده در ساختمان، از طریق چرخه‌های 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 در زمینه کاربرد این گونه 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 [۱۰]. طبق نتایج حاصل از بکارگیری این مواد در ساختمان، نوسانات دمای هوای داخل به میزان قابل توجهی کاهش می یابد و حفظ دمای محیط مناسب با دمای مطلوب بدن آسان می گردد. از طریق این سیستم می‌توان انرژی گرمایش و سرمایش را تا ۱۹ درصد کاهش داد [۱]. شایان ذکر است که استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در صنعت ساختمان یک علم نوظهور بوده و برای رسیدن به نتایج مطلوب از این فناوری، تحقیقات و تجربه‌های بیشتری مورد نیاز است.

در ادامه، پس از طرح اهمیت موضوع و ذکر پیشینه پژوهش، به معرفی مواد تغییرفازدهنده، چگونگی عملکرد آنها و روش‌های بکارگیری این مواد پرداخته شده است. ذکر مطالعات موردی انجام شده در این زمینه و جمع بندی نیز از موارد پایانی این نوشتار است.

طرح مسئله و بیان اهمیت موضوع

نوشتار حاضر با معرفی مواد تغییرفازدهنده به عنوان یک سیستم غیرفعال ذخیره انرژی درصدد پاسخگویی به دو مسئله ذیل است:

کاهش نوسانات دمایی در داخل ساختمان

اصلی‌ترین سیاست طراحی اقلیمی ساختمان، مقابله در برابر نوسانات شدید دمایی محیط پیرامون در فصول مختلف است. ساختمان اصولی از لحاظ اقلیمی بایستی دارای این قابلیت باشد که بتواند از نفوذ گرمای تابستان به داخل و از خروج گرمای داخل به خارج در فصل زمستان جلوگیری نماید. از این طریق، با کاهش نوسانات داخلی دما می‌توان آسایش نسبی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

را برای ساکنین ساختمان فراهم نمود. اولین هدف این مقاله، معرفی موادی است که بتواند به صورت هوشمندانه و بدون استفاده از تجهیزات مکانیکی از طریق همساز شدن با نوسانات دمایی محیط، از شدت این نوسانات کاسته و از این طریق دمای هوای متعادل‌تری را برای فضای داخل ساختمان ایجاد نماید. در صورت استفاده از چنین تکنیکی، می‌توان به طور قابل ملاحظه‌ای از کارکردن تجهیزات مکانیکی سرمایشی و گرمایشی در ساعات اوج مصرف کاست.

ذخیره انرژی جمع آوری شده توسط سیستم‌های خورشیدی

یکی از نیازهای اساسی در سیستم‌های جمع آوری انرژی خورشیدی در ساختمان [1]، بحث ذخیره سازی انرژی جمع آوری شده در طول روز جهت استفاده در طول ساعات شب است [۲]. این موضوع از دیگر اهداف نگارنده مقاله است که به معرفی موادی بپردازد که به صورت طبیعی و غیر فعال، قابلیت ذخیره انرژی گرمای خورشید را چند ساعت افزایش دهد.

پیشینه پژوهش

مواد تغییرفازدهنده دارای قابلیت تغییر فاز (مثلا از جامد به مایع) در یک دامنه دمایی تقریباً ثابت هستند. ضمنا فرایند تغییر فاز در این گونه مواد معمولاً همراه با تبادل حجم بالایی از انرژی است که بدان گرمای نهان تغییر فاز اطلاق می‌شود. تبادل این حجم بالای گرما به صورت همساز با طبیعت و به طور خودکار و هوشمندانه، مطابق با تغییرات دمای محیط صورت می‌پذیرد. با توجه به ویژگی‌های عنوان شده، این مواد به یکی از ظرفیت‌های خاص ذخیره انرژی در مصارف گوناگون تبدیل شده‌اند. این مواد در سطح بسیار وسیعی در صنایع گوناگون شامل مخابرات، حمل ونقل، خودروها، ماهواره‌ها، پزشکی، نساجی، گلخانه ها و دیگر موارد به کار می‌روند. اولین گزارش‌ها مبنی بر کاربرد این مواد در ساختمان از ۱۹۴۰ به صورت نوظهور مطرح شد [۳ و ۲]. سپس استفاده از این مواد در ساختمان از دهه ۱۹۸۰ به صورت گسترده مورد مطالعه قرار گرفته و امروزه استفاده از آنها در صنعت ساختمان از جایگاه ویژه‌ای برخوردار شده است. این مواد را می‌توان در ساختمان و در اجزایی مجزا برای کاربردهای گرمایش و سرمایش به کار برد از جمله کرکره [۴]، دیوار رو به خورشید [۵]، تخته گچ [۶]، سیستم‌های گرمایش کف و تخته‌های سقفی [۷] و یا دیوار ترومب [۲] . طبق نتایج حاصل از یک مطالعه، استفاده از ماده تغییرفازدهنده منجر به افزایش دمای اتاق و ذخیر ه سازی حدود ۱۹ درصد انرژی می‌گردد. همچنین بکارگیری این ماده به سبب کاهش اندازه نوسانات دمای هوای داخل و باقی ماندن دمای هوای اتاق برای مدت زمان طولانی تر نزدیک به دمای مطلوب اتاق، باعث بهبود شرایط آسایش حرارتی نیز می‌شود[۱].

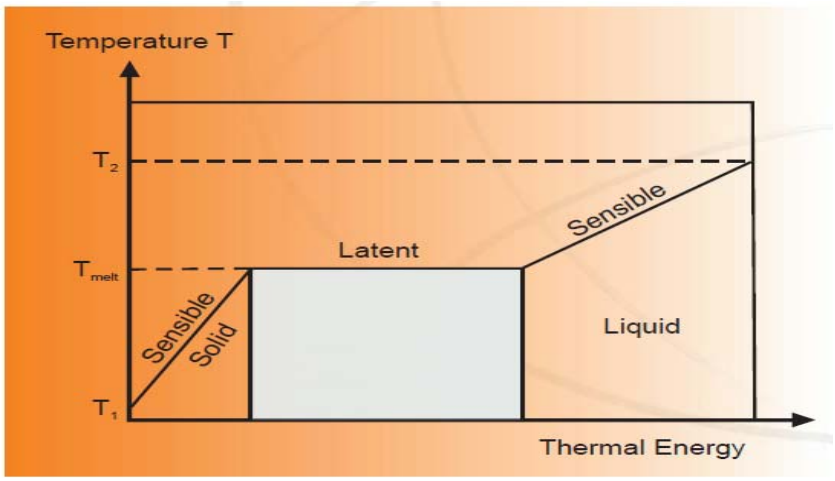
1) Solar energy colectors

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

تعاریف و مفاهیم

چگونگی عملکرد مواد تغییر فاز دهنده

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. به عنوان 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 دهنده این خاصیت را دارند که حالت خود را در یک دامنه دمایی مشخص تغییر دهند، به این مفهوم که طی فرایند تغییر حالت، دمای خود را برای طول مدت تغییر حالت حفظ می‌نمایند. در واقع، روش کار این مواد برای ذخیرهٔ انرژی گرمایی به این صورت است که طی فرایند گرم شدن محیط، به صورت 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 آن به دلیل اینکه در حال تغییر فاز است، ثابت مانده و در برابر افزایش مقاومت می‌نماید. در واقع، طی این بازه زمانی که معمولاً چند ساعت نیز به طول می‌انجامد، ماده تغییر فازدهنده 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 فرایند تغییر فاز، دمای خود و محیط اطراف خود را ثابت نگاه می‌دارد [۹]. این روند تغییرات دمایی و جذب انرژی گرمایی در شکل (۱) بخوبی قابل مشاهده است. در منطقه مربع شکل سفید رنگ، فرایند تغییر فاز در حال شکل گرفتن بوده و در همین منطقه است که انرژی گرمایی جذب شده توسط ماده درون آن ذخیره می‌شود.



شکل ۱) نمودار عملکرد ماده تغییر فازدهنده

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

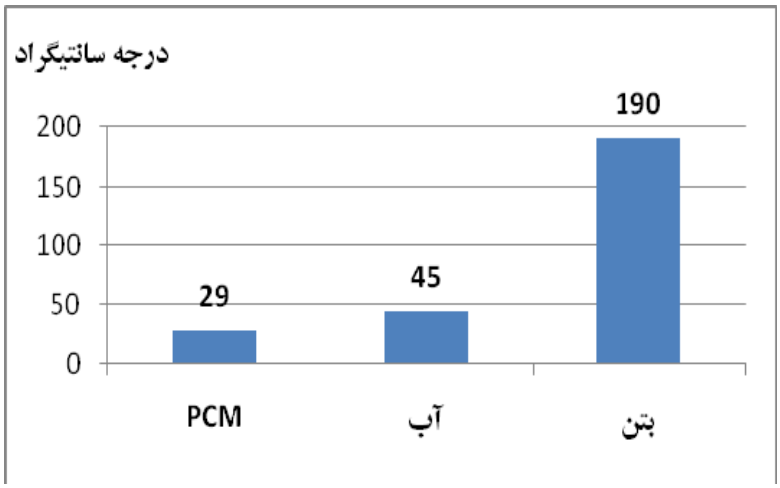
در مواد تغییر فازدهنده بکار رفته در جداره ساختمان، اگر ماده انتخاب شده دمای ذوبی در محدوده دمای همان منطقه در حوالی ظهر داشته باشد، فرایند تغییر فاز در طول روز در حدود ظهر که دمای محیط به حداکثر خود می‌رسد می‌تواند اتفاق بیفتد . بنابراین، پس از گرم شدن محیط و رسیدن آن به دمای حداکثر، ماده تغییر فازدهنده در جداره نیز گرم شده و به نطقه ذوب خود می‌رسد، اما از این زمان به بعد، ماده مذکور 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 می‌نماید. این روند تا زمانی ادامه می‌یابد که کل ماده تغییر فاز دهنده از حالت جامد به مایع تبدیل شود که معمولاً 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 گذشتن ساعات اوج گرمای روز، محیط هم روند گرمایشی خود را متوقف نموده است. بنابراین، با استفاده از این مواد در جداره ساختمان توانسته‌ایم به طریقی از بار گرمایی محیط در ساعات اوج گرمایی بکاهیم.

عکس این اتفاق طی فرایند تشکیل جامد صورت می‌پذیرد، به این معنی که علیرغم سرد شدن هوا در طی شب، ماده تغییر فاز دهنده پس از رسیدن به نقطه 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، 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 برای تغییر فاز، از مصرف انرژی سرمایش و گرمایش در ساعات اوج مصرف انرژی کاست که این امر از طریق کاهش نوسانات دمای ساختمان و تامین نمودن دمای هوای متعادل‌تری در ساعات اوج گرما یا اوج سرما میسر می‌شود.

از نکات مهم در استفاده از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره گرما، دانسیته بالای این مواد در ذخیره انرژی گرمایی نسبت به سایر روش‌های محسوس برای ذخیره انرژی گرمایی است. به عنوان مثال، نوعی از این مواد در نقطه ذوب خود ۱۹۰ کیلوژول 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 مقایسه تغییرات دمایی این سه ماده برای ذخیره میزان یکسانی از انرژی اشاره می‌کند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]



شکل ۲) مقایسه تغییرات دمایی در سه ماده مختلف برای ذخیره گرمایی یکسان

نقطه ذوب مواد تغییر فازدهنده مختلف دامنه دمایی پهناوری از ۳۰- تا ۹۰ درجه سانتیگراد را پوشش می‌دهد که مواد تغییر فاز دهنده‌ای که نقطه ذوبشان در بازه دمایی ۲۰ تا ۳۲ درجه سانتیگراد است، ظرفیت بهتری برای بکارگیری در ساختمان و تامین آسایش حرارتی دارند [۱]. علاوه بر آب، ۵۰۰ نوع طبیعی یا مصنوعی از مواد تغییر فاز دهنده 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 لذا صرفه‌جویی طبیعی درصدهای بالایی از انرژی مصرفی برای سرمایش و گرمایش استفاده نمود.

روش‌های بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان

با توجه به اینکه مواد تغییر فاز دهنده در طول دوره کاربرد خود در دو فاز مایع و جامد وجود دارند، لذا این مواد بایستی درون محفظه‌هایی قرار گرفته و مورد استفاده قرار گیرند تا از جاری شدن و هدررفت آنها در فاز مایع جلوگیری شود. مواد تغییر فازدهنده موجود در بازار و برای مصرف ساختمان در سه حالت میکروکپسول‌های حاوی این مواد، پاکت‌های پلاستیکی و همچنین پانل‌های سخت ساخته شده از پلی اتیلن با دانسیته بالا (HDPE)وجود دارند. (شکل ۳)

در ادامه، به نکاتی اجرایی در چگونگی استفاده از مواد مذکور و افزایش بازدهی آن در ساختمان اشاره شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

شکل ۳) انواع مختلف مواد تغییر فاز دهنده موجود در بازار

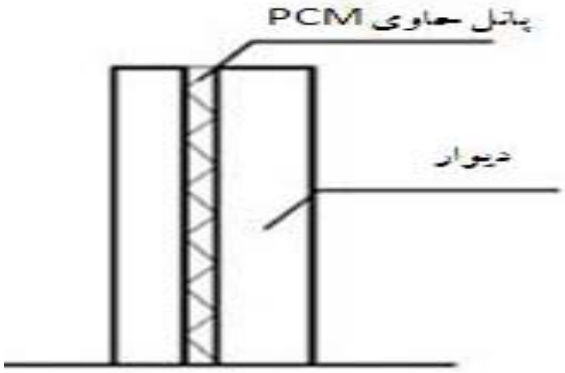
استفاده از مواد تغییر فازدهنده به صورت میکروکپسول

با توجه به قابلیت جاری شدن مواد تغییر فاز دهنده در فاز مایع، نیاز به محفظه‌ای 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 می‌گیرند. اغلب این مواد در بازار به صورت 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 به گونه‌ای انتخاب شود که در مقابل نیروهای مکانیکی، گرما و بسیاری از مواد شیمیایی مقاوم باشد. با توجه به اندازه بسیار ریز میکروکپسول‌ها، می‌توان این مواد را در انواع مواد ساختمانی دارای خلل و فرج در حین تولید ملات و به عنوان مواد افزودنی استفاده نمود. از جمله موارد کاربرد به این صورت، می‌توان به استفاده در بتن دیوارها و سقف و یا تخته‌های گچ حاوی این مواد اشاره نمود. از مزایای این روش، سهولت استفاده و از جمله معایب آن هزینه بالای تولید میکروکپسول‌هاست.

استفاده از پاکت‌های حاوی ماده تغییر فازدهنده

با توجه به هزینه بالای تولید میکروکپسول‌ها و با هدف کم‌هزینه‌تر 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 غیرمیکروکپسول، امکان استفاده از آنها در فضاهای کوچک همچون خلل و فرج مصالح از بین رفته و لذا به فضاهای بزرگتری برای جادادن این مواد نیاز خواهیم داشت. از جمله موارد کاربرد بدین صورت، می‌توان به پانل‌های مهارشده با فرم‌های فلزی بین جداره‌ها اشاره نمود(شکل ۴). پانل‌های سخت و یا انعطاف پذیر حاوی این مواد امروزه در بازار نیز موجود بوده و به صورت تولید انبوه به شکل رول‌های بسته بندی شده و یا پانل‌های سخت قابل نصب (شکل ۵) به مشتریان عرضه می‌شود [۴].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]



شکل ٤) قرارگیری پاکت‌های حاوی ماده تغییر فازدهنده در فواصل جداره‌ها

شکل ٥) رول‌های انعطاف پذیر حاوی ماده تغییر فازدهنده و پانل‌های سخت قابل نصب حاوی ماده تغییر فازدهنده

استفاده از ماده تغییر فازدهنده به عنوان عایق‌های شفاف

پنجره‌های شیشه‌ای 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 آنجایی که مواد تغییرفازدهنده شفاف معمولاً هدایت گرمایی پایینی دارند، می‌توانند به عنوان عایق راه حلی برای این مسئله باشند [١١]. این مواد به دلیل دارا بودن هدایت حرارتی پایین و البته قابلیت انتقال نوری بالا (در فاز مایع)، می‌توانند به عنوان صفحات عایق شفاف مورد استفاده قرار گرفته و لذا گرما را درون خود محصور نمایند. بسیاری از مواد تغییر فازدهنده دارای شفافیت بسیار بالایی برای نور مرئی هستند و این در حالی است که قسمت مادون قرمز نور را جذب می‌نمایند [۶] و این خاصیت به آنها قابلیت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

استفاده در شیشه‌های ساختمان را می‌دهد.

اخیرا دانشمندان سوئیسی موفق به ساخت نوعی از شیشه‌های دوجداره شده‌اند که علاوه براینکه نوع این شیشه‌ها خاص است، در فواصل بین دوپانل شیشه‌ای از مواد تغییر فازدهنده نیز استفاده شده است [۱۲]. شیشه سمت بیرون در این پانل دوجداره مجهز به یک فیلتر منشوری درخشان است که اشعه‌های خورشید با زاویه بالا را بازتاب نموده و اشعه‌های با زاویه کوچک را از خود عبور می‌دهد. این فیلتر در واقع نوعی ابزار کنترلی است که سبب می‌شود اشعه‌های خورشید تابستان که زاویه بالایی دارند در بیرون ساختمان بمانند ولی اشعه‌های خورشید زمستان که زاویه کمی دارند به داخل ساختمان راه بیابند. مواد تغییرفازدهنده‌ای که در بین فواصل این صفحات شیشه‌ای به کار رفته است، در حین تابش خورشید به یک مایع شفاف تبدیل می‌شود و زمانی که تابش خورشید از بین می‌رود، مجددا به حالت جامد برمی‌گردد. این پدیده به حفظ گرما و گرمتر ماندن درون ساختمان کمک می‌کند. حتی در زمان‌هایی که این مواد در حالت جامد است، بازهم مقادیری از نور به داخل راه می‌یابد که سبب روشن‌تر شدن فضا می‌شود.[۱۲]

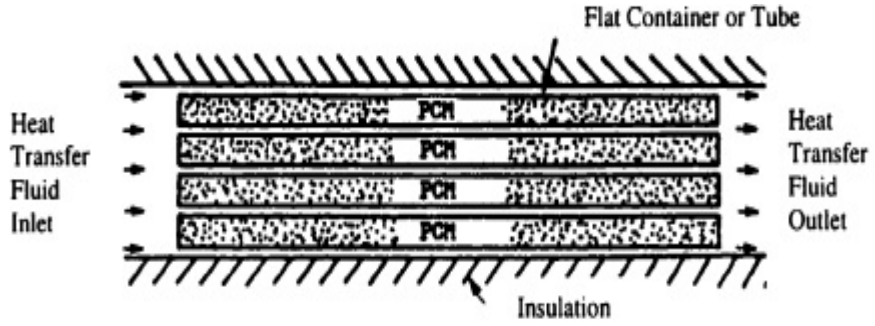
استفاده از ماده تغییر فازدهنده در سیستم‌های خورشیدی

یکی از ظرفیت‌های مواد تغییرفازدهنده برای ذخیره انرژی خورشیدی در ساختمان‌هایی است که قابلیت جمع‌آوری انرژی خورشیدی با استفاده از گردآورنده‌های خورشیدی را دارا هستند. در صورت استفاده از مواد تغییرفازدهنده در چنین سیستم‌هایی، می‌توان حجم بالایی از انرژی خورشیدی را در طول ساعات روز ذخیره نموده و در طول ساعات شب از همین انرژی برای گرمایش استفاده نمود [۱۳و ۱۴]. مواد تغییرفازدهنده در این سیستم‌ها معمولاً در محفظه‌های نازکی که با آرایش صفحه‌ای روی هم قرار گرفته‌اند، نگهداری می‌شوند (شکل ۶) و سپس سیال انتقال حرارت[1] از بین این صفحات و در تماس غیر مستقیم با این مواد حرکت می‌کند. روش کار در این سیستم‌ها بدین صورت است که انرژی جمع‌آوری شده توسط گردآورنده‌ها در روز موجب گرم شدن سیال انتقال حرارت (معمولاً آب) می‌شود. سپس آب گرم شده گرمای خود را به صفحات حاوی ماده تغییر فازدهنده تحویل می‌دهد و ماده مذکور این گرما را 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 می‌شود. مواد تغییر فاز دهنده نیز به دلیل کاهش دما، فرایند انتقال فاز خود را به صورت برعکس (از مایع به جامد) 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 [۲]. برای افزایش کارایی چنین سیستم‌هایی، نیاز به تکنیک‌هایی است که فرایند انتقال حرارت بین ماده تغییر فاز دهنده و سیال انتقال گرما را به حداکثر برساند و اکثر مطالعات نیز در همین زمینه صورت گرفته است.

1) Heat transfer fliud

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

بنابر نتایج شبیه سازی در یک پژوهش [١٣]، مقدار ٧٠ کیلوگرم از یک ماده تغییر فازدهنده خاص که در سیستم ذخیره انرژی خورشیدی به کار 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 به دلیل دانسیته بالای جذب گرما در نقطه انتقال فاز ماده تغییر فازدهنده است. گزارش شده که اگر از مواد تغییرفازدهنده در این سیستم‌ها استفاده شود، حجم مواد مورد نیاز تقریبا یک چهارم نسبت به وضعیت استفاده از انباره سنگی[1] و یک دوم نسبت به حالت استفاده از آب خواهد بود [٢]



شکل ٦) شماتیک قرارگیری مواد تغییر فاز دهنده در سیستم‌های خوشیدی [٢]

مطالعات موردی

از زمان معرفی ماده تغییر فازدهنده به عنوان ابزاری مناسب برای جذب و ذخیره انرژی در ساختمان، مطالعات گسترده‌ای جهت بررسی میزان تاثیرگذاری آن در تامین شرایط آسایش و کاهش مصرف انرژی صورت گرفته است [١٥، ٣، ١٦، ١٧]. پیپو[2] 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 ٥ تا ٢٠ درصد ذخیره مستقیم انرژی را داشت[١٧]. در ادامه، به دو مورد از مطالعات موردی انجام شده در ارتباط با کاربرد مواد تغییرفازدهنده در جداره ساختمان و مدل‌سازی عملکرد این مواد در کاهش مصرف انرژی اشاره خواهد شد.

بهبود آسایش حرارتی با استفاده از ماده تغییر فازدهنده در جداره ساختمان

در تحقیقی که توسط کاستلان[3] و همکارانش صورت گرفت [١٥]، جهت بررسی میزان اثرگذاری مواد تغییرفاز دهنده بر

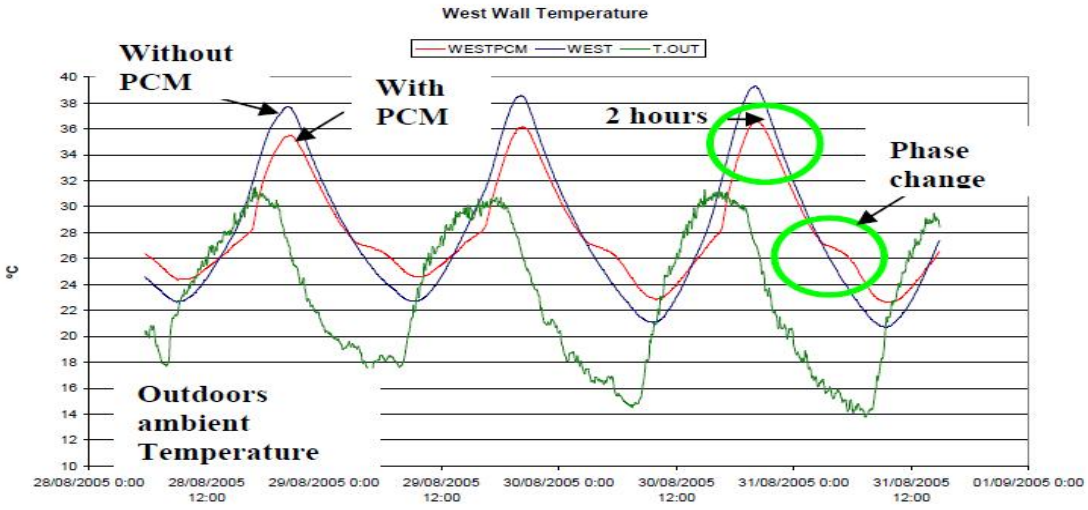
1) Pebble bed
2) Peippo
3) C. Castellon

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

دمای داخلی ساختمان، دو اتاقک با دیوارهای سیمانی و با شرایط کاملا یکسان ساخته شده و یکی از این دو اتاقک در دیواره‌های خود با کپسول‌های حاوی ماده تغییر فازدهنده با دمای ذوب ۲۶ درجه سانتیگراد و گرمای ذوب KJ/Kg ۱۱۰ تجهیز شد (شکل ۷). در نتایج حاصل از آزمایش‌های چندین روز متوالی در تابستان و پاییز مشاهده گردید زمانی که بیشینه دمای بیرون از اتاق به ۳۲ درجه سانتیگراد می‌رسد، دمای دیوار غربی اتاقک بدون ماده تغییر فازدهنده به ۳۹ درجه می‌رسد و این در حالی است که بیشینه دمای بدست آمده در دیوار غربی اتاقک حاوی ماده مذکور نهایتاً به ۳۶ درجه سانتیگراد می‌رسد. بیشینه دمای کسب شده در اتاقک حاوی ماده تغییر فازدهنده که ۳ درجه نسبت به اتاقک بدون ماده مذکور کمتر است، با تاخیر دوساعته نسبت به اتاقک معمولی اتفاق افتاد. بنابراین، با بکارگیری مواد تغییرفازدهنده می‌توان علاوه بر کاهش دمای بیشینه، یک تاخیر دوساعته نیز در انتقال حرارت به داخل ایجاد نمود و بنابراین، اوج مصرف انرژی تعدیل خواهد شد. شکل (۸) نمودار نوسانات دمای دیوار اتاقک معمولی، اتاقک مجهز به ماده تغییرفازدهنده و دمای هوای بیرون را نشان می‌دهد. این نتایج با توجه به تاخیر دمایی و زمانی ایجاد شده، نشان دهنده یک فرصت واقعی برای صرفه‌جویی انرژی مصرفی برای سرمایش هوا در فصل‌های گرم سال می‌باشد.

شکل ۷) نمایی از اتاقک‌های سیمانی [۱۵]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]



شکل ۸) نمودار دمای هوای اتاقک‌های سیمانی و دمای هوای بیرون [۱۵]

در تحقیق دیگری که به منظور تاثیر بکارگیری مواد تغییرفازدهنده در کاهش مصرف انرژی گرمایشی در فصل زمستان صورت گرفته است، تغییرات دمای هوای اتاق حاوی ماده تغییرفازدهنده و حالت بدون آن در پنج شبانه‌روز مورد بررسی قرار گرفته است [۱۰] . نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کمینه دمای اتاق در حالت بکارگیری از ماده تغییر فازدهنده در آن حدود ۱ درجه سانتیگراد و میانگین دمای اتاق حدود ۰٫۸ درجه افزایش می‌یابد. همچنین با بررسی نمودارهای هر دو مورد با و بدون ماده تغییرفازدهنده، می‌توان به این نتیجه رسید که کاربرد ماده مذکور بر روی دیوارهای شرقی، غربی، سقف و کف مناسب بوده و بر روی این سطوح موجب ذخیره‌سازی حداقل ۲۲ درصد انرژی می‌گردد.

مدل‌سازی سیستم‌های حاوی ماده تغییر فازدهنده

با توجه به تحقیقات گسترده صورت گرفته بر روی بکارگیری مواد تغییرفازدهنده در ساختمان طی دهه‌های اخیر، مدل‌سازی ریاضی این گونه سیستم‌ها نیز در موارد گوناگون انجام شده است. مدل‌سازی ریاضی سیستم‌های ذخیره انرژی از طریق ماده تغییر فازدهنده با هدف انتخاب بهترین نوع ماده مذکور و طراحی بهینه سیستم صورت می‌گیرد. در یک مقاله مروری که توسط ورما[1] و همکارانش ارائه گردید، یک جمع بندی و مرور کلی بر روی روش‌های شبیه‌سازی و مدل‌سازی سیستم‌های حاوی مواد تغییر فاز دهنده ارائه شده است [۱۸].

به عنوان مثال، از مدل‌سازی‌های انجام شده بر روی سیستم‌های حاوی ماده تغییر فازدهنده می‌توان به تحقیقی اشاره نموده که توسط هالفورد و بوهم[2] با هدف بررسی اثرگذاری مواد تغییرفازدهنده بر روی بار سرمایشی ساختمان انجام شده

1) P. Verma
2) C.K.Halford, R.F. Boehm

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

است [۱۹]. در این مطالعه، کامپوزیتی از مواد تغییرفازدهنده در ماتریس پرلیت (perlite) به ضخامت ۴ میلیمتر، مابین دو صفحه عایق پشم شیشه قرار داده شده و سپس با استفاده از شبیه‌سازی این ساختار سه لایه به عنوان جداره ساختمان، توان آن در کاهش مصرف انرژی سرمایشی طی ساعات اوج مصرف در طول تابستان مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، اثر عواملی همچون دمای محیط و ضخامت لایه‌های عایق در عملکرد سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. توزیع دما در این مدل برای nامین لایه از دیوار بر اساس معادله انتشار یک بعدی ذیل در نظر گرفته شده [۱۹]

$$k_n \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \rho_n c_n \frac{\partial T}{\partial t}$$

که در آن T دما، X ضخامت دیواره، t زمان، k ضریب هدایتی و C طرفیت گرمایی است. سپس مدل بر اساس شرایط مرزی در نظر گرفته شده، از طریق حل عددی صریح[1] به حل معادلات پرداخته است.

نتایج این مدل‌سازی‌ها حاکی از آن است که در صورتی که از لایه PCM در بین دولایه عایق استفاده شده و دمای محیط به گونه‌ای باشد که ماده تغییرفازدهنده به نقطه ذوب خود برسد، کاهش ۱۹ درصدی بار سرمایشی نسبت به حالتی خواهیم داشت که از لایه ماده مذکور استفاده نشود. در صورتی که از لایه ماده تغییرفازدهنده استفاده شده، ولی پدیده تغییر فاز در آن محقق نشود، کاهش بار سرمایشی ساختمان در ساعات اوج مصرف به ۹ درصد خواهد رسید.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، پس از معرفی مواد تغییرفازدهنده 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 میکروکپسول‌های حاوی این گونه مواد، می‌توان مواد مذکور را به صورت پاکت‌های بزرگتر و یا پانل‌های حاوی این مواد ، در فواصل بین جداره‌ها و یا بین شیشه‌های دوجداره به کار برد. در صورت انتخاب نوع صحیح این ماده براساس 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.

منابع

[۱] بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان جهت صرفه جویی در انرژی گرمایشی، م. معرفت، س. کیان، مهندسی مکانیک، شماره ۶۸، سال هجدهم، ۱۳۸۸.

[2] Zalba B., Marin J. M., Cabeza L. F., Mehling H.; Review on thermal energy storage with phase change materials, heat transfer analysis and applications, Applied Thermal Engineering, 23, (2003) pp. 251 -283.

1) Explicit numerical solution

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

[3] Latent heat storage in building materials, D.W. Hawes, Energy and buildings, V. 20, Issue 1, 1993.

[4] M ehling, Harald, "Innovative PCMTechnology", 8th Expert Meeting and Work Shop, Kizkalesi, Turkey, (2004).

[5] E iamworawutthikul, C., Strohbehn, J., and Harman, C., "Investigation of Phase Change Thermal Storage in Passive Solar Design for Light-Construction Building in the Southeastern Climate Region. http://intraweb.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/FINAL_PAPERS/14B- 1.pdf.

[6] Feldman, D., Khan, MA., and Banu, D., "Energy Storage Composite with an Organic Phase Change Material", Solar Energy Mater, No.18., pp.333–341, (1989).

[7] Benard, C., Gobin, D., and Gutierrez, M., "Experimental Results of a Latent Heat Solar Roof used for Breeding Chickens", Solar Energy, No. 6, pp. 347–354, (1981).

[8] M. Fatih Demirbas, "Thermal Energy Storage and Phase change Materials: an Overview", Energy Sources, part B, 1:85-95, 2006.

[9] S. Mondal, "Phase change materials for smart textiles – an overview", Applied Thermal Engineering, V.28 (2008), N. 11-12, P. 1536-1550.

[۱۰] س. کیان پرور، 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، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۸).

[11] L. Jain, S.D. Sharma, "Phase change materials for day lighting and glazed insulation in buildings", Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 4, No. 3 (2009), 322-327.

[12] www.glassx.ch.

[13] K.C.W. Ip, "Solar thermal storage with phase change materials in domestic buildings".

[14] Farid M. M., Khudhair A. M., Razack S. A. K., Al-Hallaj S.; A review on phase change energy storage: materials and applications, Energy Conversion and Management, 45, (2004) pp. 1597-1615.

[15] Improve thermal comfort in concrete buildings by using phase change materials, Proceeding of the energy sustainability conference 2007, P. 457-463.

[16] Phase Change Material as a Thermal Energy Storage Material For Cooling of Building, Journal of Theoretical and Applied Information Technology.

[17] Pieppo K., "A multi component PCM wall optimized for passive solar heating", Energy Building, 1991, V.17, p. 259-270.

[18] P. Verma, Varune, S.K. Signal, "Review of mathematical modeling on latent heat thermal energy storage systems using phase change materials", Renewable and sustainable energy reviews, 12 (2008), 999-1031.

[19] C.K, Halford, R.F. Boehm, "modeling of phase change material peak load shifting", Energy and buildings, 39(2007), 298-305.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]