

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

## عملکرد مواد تغییر فاز دهنده (PCM) در ذخیره سازی انرژی حرارتی

سارا حمزه لو

دانش آموخته ی دکتری معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

Sara.hamzehloo@gmail.com

### چکیده

با توجه به افزایش روز افزون تقاضا برای مصرف انرژی و محدودیت سوختهای فسیلی به عنوان منابع رو به اتمام و افزایش آلاینده های زیست محیطی، مسئله ی ذخیره سازی انرژی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. استفاده از سیستم های ذخیره ی گرمای نهان با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده (PCM) راه موثری برای ذخیره انرژی است که در سال های اخیر بسیار مورد توجه بوده است. لذا پژوهش حاضر با استفاده از روش توصیفی- تحلیلی به معرفی مواد تغییر فاز دهنده و کاربرد آن ها به منظور ذخیره سازی انرژی حرارتی می پردازد. اهمیت کاربرد این مواد علاوه بر مسایل زیست محیطی و فنی در توجیه اقتصادی آن است. این مواد در حین تغییر فاز، انرژی حرارتی را ذخیره نموده و در موارد لزوم آزاد می کنند که بهره گیری مناسب از آنها کاهش قابل توجه مصرف انرژی را به دنبال خواهند داشت.

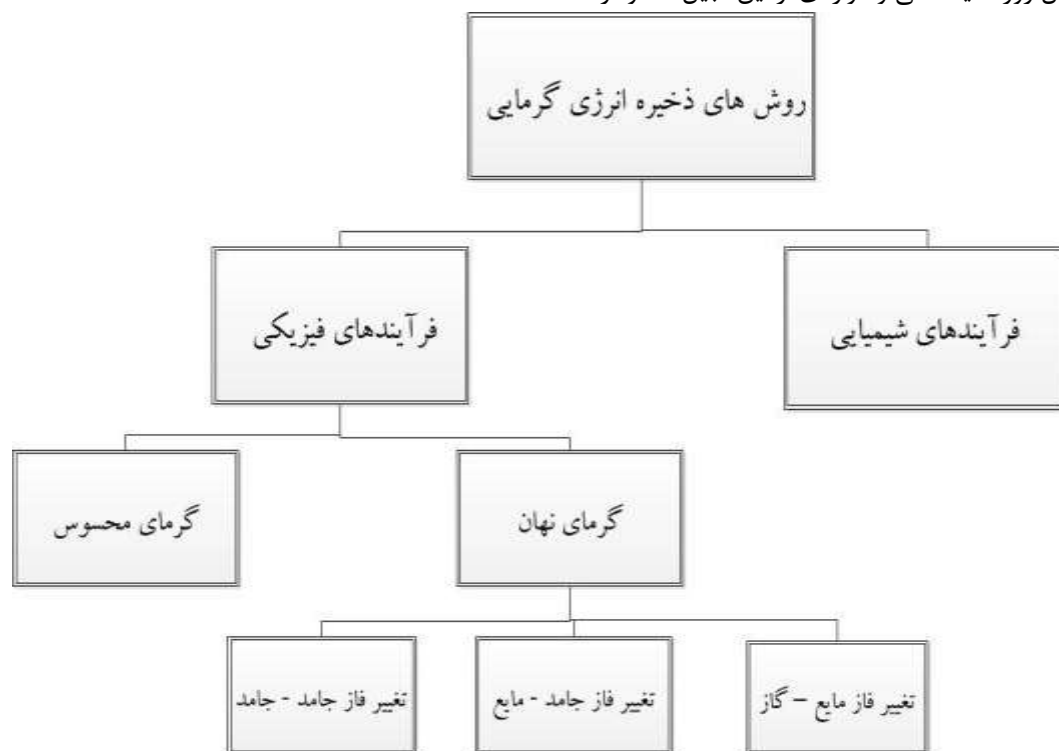
واژگان کلیدی: مواد تغییر فاز دهنده (PCM)، گرمای نهان، ذخیره سازی انرژی حرارتی

## مقدمه

امروزه مصرف جهانی انرژی در حدود  $1/4 \times 10^{20}$  ژول در سال است. با توجه به افزایش جمعیت و رشد اقتصاد، میزان تقاضا برای انرژی تا سال ۲۰۵۰ دو برابر مقدار کنونی خواهد شد (Liang et al, 2009). در حال حاضر یکی از چالش‌های کارشناسان، ذخیره انرژی در شکل مناسب است. این امر منجر به ذخیره انرژی مازاد و اقتصادی تر شدن سیستم از طریق کاهش اتلاف انرژی و هزینه سرمایه می‌شود (Sharma et al, 2009). اصول بنیادی علم به طور گسترده‌ای برای تولیدات نو و ابتکاری استفاده می‌شود. یکی از این اصول تغییر فاز است، تغییر فاز (انجماد، ذوب، تبخیر و ...) از جمله فرآیندهای فیزیکی است که در بسیاری از رخداد های طبیعی و عملیات های صنعتی مشاهده می‌شود. پدیده های طبیعی مثل ذوب شدن برف در هوای گرم، یخ زدن آب حوضچه ها در زمستان، سوختن شمع و همچنین عملیات های صنعتی مثل جوشکاری و ریخته گری از جمله فرآیندهای آشنایی هستند که همراه با تغییر فاز صورت می‌گیرند. از گروه های خاصی از مواد به دلیل داشتن خصوصیات مناسبی مانند گرمای نهان بالا، دمای تغییر فاز مناسب و تغییر حجم اندک حین تغییر فاز به منظور مدیریت حرارتی در برخی از فرآیندهای حرارتی استفاده می‌گردد. از این مواد اصطلاحاً به عنوان مواد تغییر فاز دهنده<sup>۱</sup> (PCM) نام برده می‌شود.

## ۱- روش های ذخیره ی انرژی حرارتی

ذخیره انرژی گرمایی که معمولاً ذخیره ی گرما و سرما نامیده می‌شود ذخیره ای از گرما یا سرما را برای استفاده در زمانی دیگر را در نظر می‌گیرد. به منظور بازپس گیری گرما یا سرما بعد از مدتی، روش ذخیره بایستی برگشت پذیر باشد. به طور کلی دو سیستم ذخیره سازی انرژی حرارتی وجود دارد: ۱- ذخیره سازی انرژی حرارتی محسوس<sup>۲</sup> - ذخیره سازی انرژی حرارتی نهان<sup>۳</sup>. انتخاب هرکدام از این سیستم های ذخیره سازی انرژی حرارتی بستگی به دوره ی ذخیره سازی مورد نیاز ما دارد (به عنوان مثال روزانه یا فصلی و مواردی از این قبیل). (نمودار ۱)



نمودار ۱: روش های ذخیره ی انرژی گرمایی

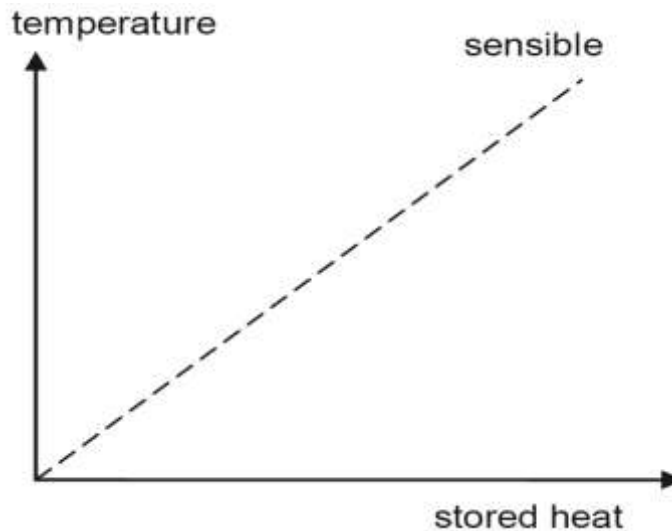
<sup>1</sup> Phase Change Material

<sup>2</sup> Sensible Thermal Energy Storage

<sup>3</sup> Latent Thermal Energy Storage

### ۱-۱- ذخیره سازی انرژی حرارتی محسوس

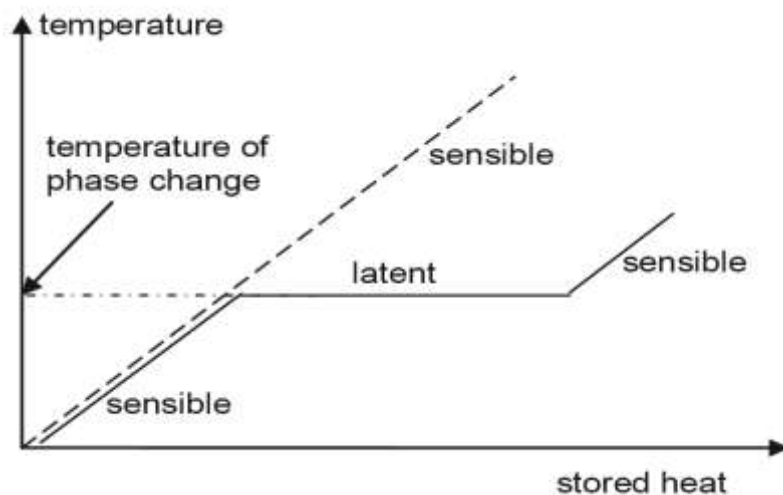
رایج ترین راه ذخیره ی انرژی گرمایی، ذخیره ی آن به صورت گرمای محسوس است. همان گونه که نمودار ۲ نشان می دهد گرما به محیط ذخیره کننده انتقال می یابد که منجر به یک افزایش دما در محیط ذخیره کننده می شود. یک سنسور می تواند این افزایش دما را اندازه گیری کرده و بنابراین گرمای ذخیره شده گرمای محسوس نامیده می شود. در واقع در ذخیره سازی انرژی حرارتی محسوس، انرژی به وسیله تغییرات دمای یک انبار واسطه از قبیل: آب، هوا، روغن، بسترهای صخره ای، آجر، شن یا خاک ذخیره سازی می شود. میزان انرژی ذخیره شده به وسیله دستگاه های حرارتی محسوس متناسب با تفاوت دمای اولیه و نهایی ذخیره سازی، جرم انبار واسطه به کار برده شده و ظرفیت گرمایی آن است.



نمودار ۲: ذخیره گرمای محسوس که منجر به افزایش دمای ماده می شود (Mehling and Cabeza, 2008)

### ۱-۲- ذخیره سازی انرژی حرارتی نهان

انتقال حرارتی که در زمان تغییر حالت یک ماده از یک فاز به فاز دیگر صورت می گیرد گرمای نهان نامیده می شود. تغییر گرمای نهان معمولاً از تغییر گرمای محسوس در یک دمای معین بسیار بیشتر است که به گرمای ویژه ی آن بستگی دارد. به عنوان مثال زمانی که آب به فاز بخار تغییر حالت می دهد در صورتی که ماده ی مناسبی انتخاب گردد، تغییر فاز جامد-مایع یا ذوب و انجماد می تواند مقدار زیادی انرژی را در خود ذخیره کند. فرآیند ذوب معمولاً با تغییر کمتر از ۱۰ درصدی در حجم ماده صورت می گیرد. اگر محفظه ی فازی که حجم آن بیشتر است-معمولاً مایع-را در خود بگنجانند، فشار به میزان زیادی تغییر نمی یابد و در نتیجه فرآیند ذوب و انجماد ماده ی ذخیره کننده در دمایی ثابت صورت می گیرد. طی فرآیند ذوب، زمانی که گرما به ماده ی تغییر فاز دهنده انتقال می یابد، ماده دمای خود را در دمای ذوب نگه می دارد که به این دما، دمای تغییر فاز گفته می شود. (نمودار ۳) سیستم های ذخیره سازی حرارت نهان به وسیله مواد تغییر فاز دهنده انرژی را ذخیره می کنند که در ادامه به این مورد خواهیم پرداخت.



نمودار ۳: ذخیره ی گرمای نهان در تغییر فاز جامد-مایع (Mehling and Cabeza, 2008)

به طور کلی، عبارت گرمای نهان، گرمای تغییر فازهای جامد-جامد، جامد-مایع و مایع-گاز را توصیف می کند. در هر حال، عبارات ذخیره ی گرمای نهان و مواد تغییر فاز دهنده معمولاً برای موارد اول و دوم استفاده می شود نه برای تغییر فاز مایع-گاز. در یک تغییر فاز مایع-گاز، دمای تغییر فاز به شدت به شرایط مرزی بستگی دارد و بنابراین تغییر فاز صورت گرفته فقط برای ذخیره ی انرژی استفاده نمی شود. این موضوع معمولاً به تغییر فشار و دما بین فرآیندهای شارژ و دشارژ مربوط می شود. در واقع در تغییر حالت مایع-گاز به دلیل اینکه برای ذخیره ی گاز حجم یا فشار زیادی مورد نیاز است و گرمای نهان مایع-گاز نیز کمتر از تحول مایع-جامد است و در ضمن تغییر حالت جامد-جامد نیز بسیار کند بوده و انرژی حرارتی زیادی منتقل نمی شود از این رو گرمای نهان و مواد تغییر فاز دهنده معمولاً اشاره به تغییر فاز جامد-مایع دارند که طی فرآیند تغییر حالت از جامد به مایع انرژی را ذخیره می کنند. این مواد در واقع گرمای نهان را ذخیره می کنند و از پیوندهای شیمیایی برای ذخیره و آزادسازی انرژی حرارتی استفاده می کنند (Xiang et al, 2008).

## ۲- مواد تغییر فاز دهنده (PCM)

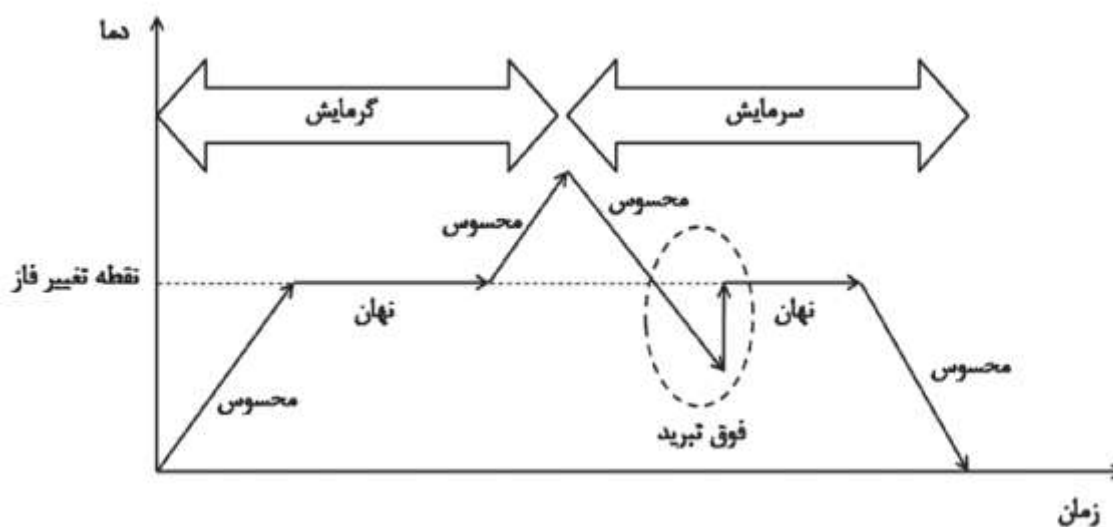
مواد تغییر فاز دهنده ترکیبات آلی یا معدنی هستند که قابلیت جذب و ذخیره پنهان مقادیر زیادی از انرژی گرمایی را درون خود دارند. ذخیره انرژی گرمایی در این مواد، در طی فرآیند تغییر فاز (تغییر حالت از جامد به مایع یا بالعکس) اتفاق می افتد. این مواد به هنگام تغییر فاز از جامد به مایع یا از مایع به جامد، این گرما را از محیط جذب نموده و یا به محیط پس می دهند. ماده تغییر فاز دهنده قابلیت آن را دارد که این انرژی نهفته گرمایی را بدون هیچگونه تغییری حتی پس از هزاران چرخه تغییر فاز، درون خود حفظ نماید (Demirbas, 2008). مواد تغییر فاز دهنده، مواد ذخیره کننده حرارت هستند که در مقایسه با مواد ذخیره کننده حرارت محسوس دارای دانسیته ذخیره سازی انرژی حرارتی بالاتری می باشند و می توانند مقدار زیادی انرژی را در یک دمای ثابت جذب یا آزاد کنند. موادی که برای ذخیره سازی انرژی حرارتی حاصل از تغییر فاز به کار می روند لازم است گرمای نهان بالا داشته و با توجه به کاربردشان دارای هدایت حرارتی خوب و یا کمی باشند. طراحی و کاربرد گرمای نهان ذخیره شده به فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی مواد تغییر فاز دهنده ی مورد استفاده بستگی دارد.

## ۳- خصوصیات مواد تغییر فاز دهنده

مواد تغییر فاز دهنده استفاده شده در طراحی سیستم های ذخیره حرارتی، باید دارای خصوصیات زیر باشند:

- الف. خواص حرارتی: دمای تغییر فاز مناسب، گرمای نهان تغییر فاز بالا، انتقال حرارت خوب
- ب. خواص فیزیکی: تعادل فاز مطلوب، چگالی بالا، تغییر حجم کم، فشار بخار پایین، تغییر فاز تجدید پذیر

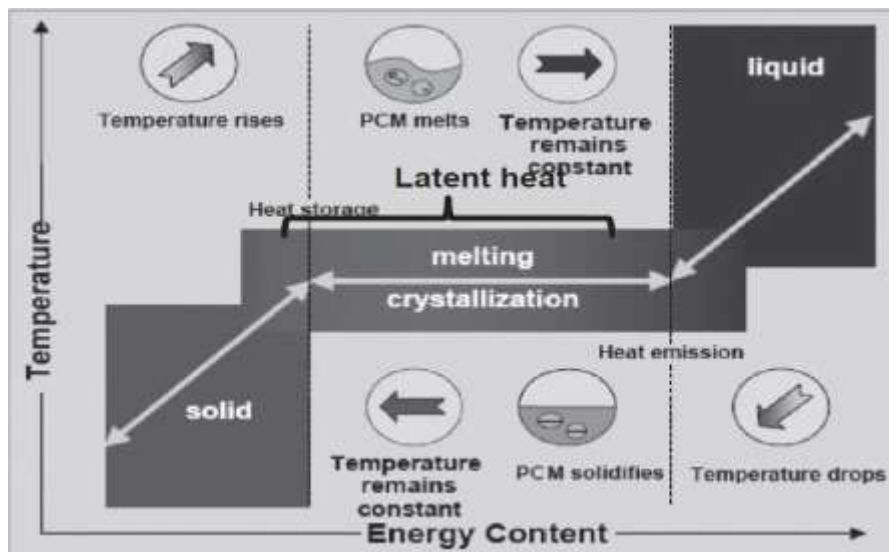
- ج. خواص سینتیکی: عدم فوق تبرید، نرخ تبلور کافی
- د. خواص شیمیایی: پایداری شیمیایی بلند مدت، سازگاری با مواد ساختاری سیستم، عدم سمیت، عدم خطر احتراق
- ه. خواص اقتصادی: در دسترس بودن، قیمت مناسب، قابلیت بازیافت
- یکی از مشکلات تغییر فاز تجدید پذیر، جدایی فاز است. جدایی فاز زمانی اتفاق می افتد که فازهای دارای ترکیب های گوناگون به صورت ماکروسکوپی از هم جدا شوند. فوق تبرید نیز اثری است که در آن دما به صورت قابل توجهی به زیر دمای ذوب می رسد تا زمانی که ماده شروع به انجماد و آزادسازی گرما کند (نمودار ۴). اگر به این دما نرسیم، ماده تغییر فاز منجمد نشده و تنها گرمای محسوس را ذخیره می کند (Wang et al, 2009).



نمودار ۴: تغییر دما طی فرآیند ذوب و انجماد

#### ۴- چگونگی عملکرد مواد تغییر فاز دهنده

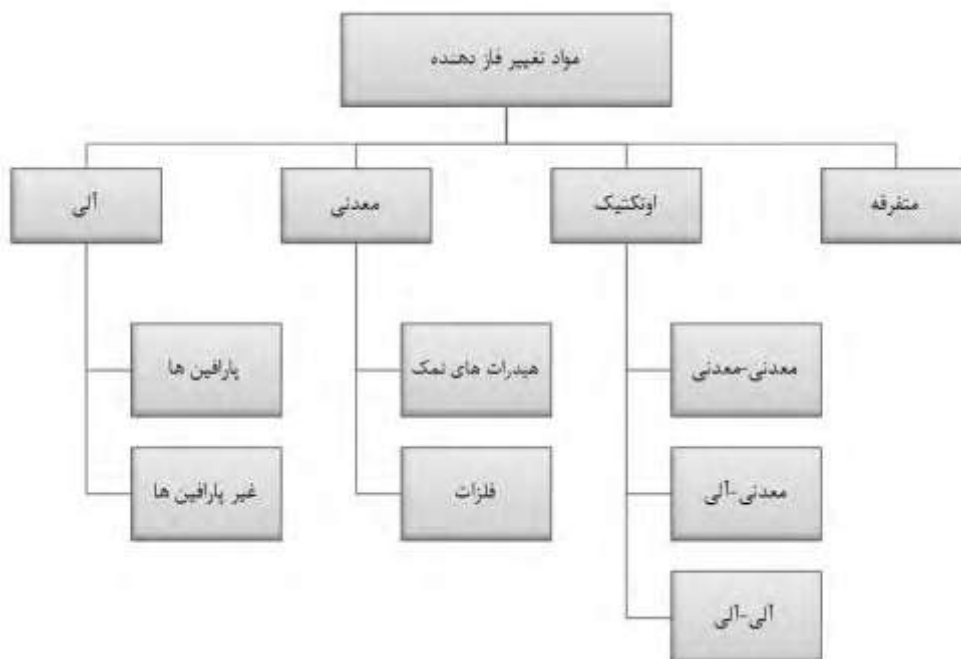
مواد تغییر فاز دهنده این خاصیت را دارند که حالت خود را در یک دامنه دمایی مشخص تغییر دهند، به این مفهوم که طی فرایند تغییر حالت، دمای خود را برای طول مدت تغییر حالت حفظ می نمایند. در واقع، روش کار این مواد برای ذخیره انرژی گرمایی به این صورت است که طی فرایند گرم شدن محیط، به صورت موازی با محیط گرم میشوند 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 می نماید. در واقع، طی این بازه زمانی که معمولاً چند ساعت نیز به طول می انجامد، ماده تغییر فاز دهنده مقادیر زیادی از گرمای محیط را به خود جذب می نماید، ولی آن را صرف افزایش دمای خود نمی کند، 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 می دارد (Mondal, 2008). این روند تغییرات دمایی و جذب انرژی گرمایی در نمودار ۵ به خوبی قابل مشاهده است. در منطقه مشخص شده در نمودار، فرایند تغییر فاز در حال شکل گرفتن بوده و در همین منطقه است که انرژی گرمایی جذب شده توسط ماده درون آن ذخیره می شود.



نمودار ۵: نمودار تغییر فاز ماده تغییر فاز دهنده (Minux website, 2012)

#### ۵- انواع مواد تغییر فاز دهنده (PCM)

مواد تغییر فاز دهنده ی آلی را می توان به گروه پارافین ها (ذخیره آلکان ها) و غیر پارافین ها مانند استرها، اسیدهای چرب، الکل ها و گلیکولیک اسیدها تقسیم بندی نمود (Xiang et al, 2008). دی هیدرات سولفات سدیم، هگزاهیدرات کلراید کلسیم و پارافین جزء مهمترین PCM ها هستند (Long, 2008). PCM ها را بر اساس دمای تغییر فاز، به سه دسته ی مهم می توان تقسیم نمود که عبارتند از: یوتکتیک، هیدرات نمک ها و مواد آلی. یوتکتیک ها نمک های محلول در آب هستند که دمای تغییر فاز آنها کمتر از صفر درجه سانتی گراد است و هیدرات نمک ها، نمک های خاصی هستند که دمای تغییر فاز آنها بالای صفر درجه است. مواد آلی نیز معمولاً از زنجیره های بلند کربن و هیدروژن تشکیل شده اند که دمای تغییر فاز آنها نیز بالای صفر درجه سانتی گراد است (Ruolang et al, 2009). (نمودار ۶)



نمودار ۶: تقسیم بندی مواد تغییر فاز دهنده

هر یک از مواد عنوان شده در نمودار ۶ از مزایا و معایب خاصی برخوردارند. بعد از گرمای نهان بالا و دمای تغییر فاز مناسب، مهمترین پارامتر در انتخاب یک ماده تغییر فاز دهنده مناسب در سیستم های ذخیره کننده انرژی داشتن ضریب هدایت حرارتی بالاست. استفاده از موادی با ضریب هدایت حرارتی پایین برای ذخیره سازی انرژی در حین فرآیند تغییر فاز موجب کاهش نرخ انتقال حرارت می شود. کم بودن نرخ آزاد و ذخیره سازی انرژی حرارتی با این روش موجب افت راندمان در واحدهای ذخیره سازی انرژی مربوطه می گردد.

اکثر مواد تغییر فاز دهنده رایج در صنعت از ضریب هدایت حرارتی پایینی برخوردارند. این امر موجب کاهش کارایی در برخی از سیستم های ذخیره کننده انرژی حرارتی که از این مواد برای ذخیره سازی انرژی استفاده می کنند می شود و در نتیجه آن چنین سیستم های با عدم توجه اقتصادی مناسب رو به رو می باشند.

به منظور ارتقای کارایی چنین سیستم های ذخیره ساز انرژی، تکنیکهای متنوع و گوناگونی مورد استفاده قرار می گیرد. این تکنیک ها عبارتند از:

✓ استفاده از سطوح گسترش یافته (نصب فین<sup>۴</sup>)

✓ استفاده از شبکه ای از مواد تغییر فاز دهنده ها (چند مواد تغییر فاز دهنده )

✓ میکروکپسوله کردن مواد تغییر فاز دهنده.

✓ افزایش هدایت حرارتی مواد تغییر فاز دهنده: هدایت گرمایی مواد تغییر فاز دهنده می تواند توسط استفاده از پرکننده فلزی، فیلتر های الیاف یا نانوالیاف کربن و غیره، تقویت شود. الیاف کربن مقاومت بالایی در برابر خوردگی و حملات شیمیایی داشته که این امر سبب سازگاری با اغلب مواد تغییر فاز دهنده می گردد. هدایت گرمایی نانوالیاف کربن به طور قابل توجهی بالاست و چگالی آنها کمتر از ۲۲۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده که کمتر از فلزاتی است که معمولاً به عنوان افزودنی استفاده می شوند. بنابراین از الیاف یا نانوالیاف کربن به عنوان تقویت کننده هدایت گرمایی مواد تغییر فاز دهنده در کاربردهای نساجی استفاده می گردد. نانوالیاف کربن توسط روش های ذوب و اختلاط برشی می توانند به مواد تغییر فاز دهنده وارد شوند. افزایش نرخ انتقال حرارت در اثر زیاد شدن سطح جانبی، یک اصل شناخته شده می باشد. در سیستم های گرمایشی و سرمایشی نیز برای دستیابی به انتقال حرارت مناسب، اختلاف دما بین دمای هوا و نقطه ذوب ماده تغییر فاز دهنده بایستی بین ۵-۳ درجه سانتیگراد باشد (Butala and Stritih, 2009). خواص حرارتی ماده تغییر فاز دهنده اصلاح شده از طریق دیسپرس کردن نانوالیاف کربن درون آن، بهبود می یابد. در اثر این اصلاح، نرخ سرمایش در طول فرآیند انجماد نانوکامپوزیت جدید با افزایش نسبت جرمی نانوالیاف کربن افزایش می یابد

(Wang et al, 2009).

#### ۶- روشهای کاربرد مواد تغییر فاز دهنده

مواد تغییر فاز دهنده در سه فرم ماده خام<sup>۵</sup>، میکرو<sup>۶</sup> و ماکرو<sup>۷</sup> می توانند مورد استفاده قرار گیرند. اما از آنجا که کاربرد این مواد به صورت خام با توجه به نوع ماده تغییر فاز دهنده می تواند معایبی در پی داشته باشد و نیز با توجه به قابلیت جاری

<sup>4</sup> fin

<sup>5</sup> Raw PCM

<sup>6</sup> Micro PCM

<sup>7</sup> Macro PCM



شدن مواد تغییر فاز دهنده در فاز مایع، نیاز به محفظه‌هایی خواهد بود که در فاز مایع به عنوان ظرف حاوی این مواد عمل نمایند، لذا معمولاً این مواد به صورت بسته‌هایی از دو نوع میکرو و ماکرو در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهت تهیه هر دو نوع میکرو و ماکرو، مواد تغییر فاز دهنده درون محفظه‌هایی تعبیه شده و اصطلاحاً کپسوله می‌شوند. به این ترتیب تفاوت عمده میان دو روش میکروکپسول و ماکروکپسول<sup>۸</sup> در اندازه محفظه‌ها یا کپسولهای مورد استفاده است. در روش میکروکپسول مواد در کره‌های بسیار ریزی با قطر بین ۱ تا ۳۰ میکرومتر تعبیه می‌شوند. در روش ماکروکپسول مواد در محفظه‌های بزرگتری به صورت پاکت یا ظروف از جنسهای مختلف جاسازی می‌شوند. عمده این محفظه‌ها از جنس پاکت‌های پلاستیکی و نیز پانلهای سخت ساخته شده از پلی اتیلن با دانسیته بالا هستند. شکل ۱ نمونه‌ای از مواد تغییر فاز دهنده را به صورت میکروکپسول و شکل ۲ نمونه مواد به صورت ماکروکپسول را نشان می‌دهد (Farid and Chen, 1999).



شکل ۱: مواد تغییر فاز دهنده به صورت میکروکپسول



شکل ۲: مواد تغییر فاز دهنده در پاکتهای پلاستیکی و پانلهای سخت ساخته شده از پلی اتیلن با دانسیته بالا به صورت ماکروکپسول

## ۷- توان کاربری مواد تغییر فاز دهنده

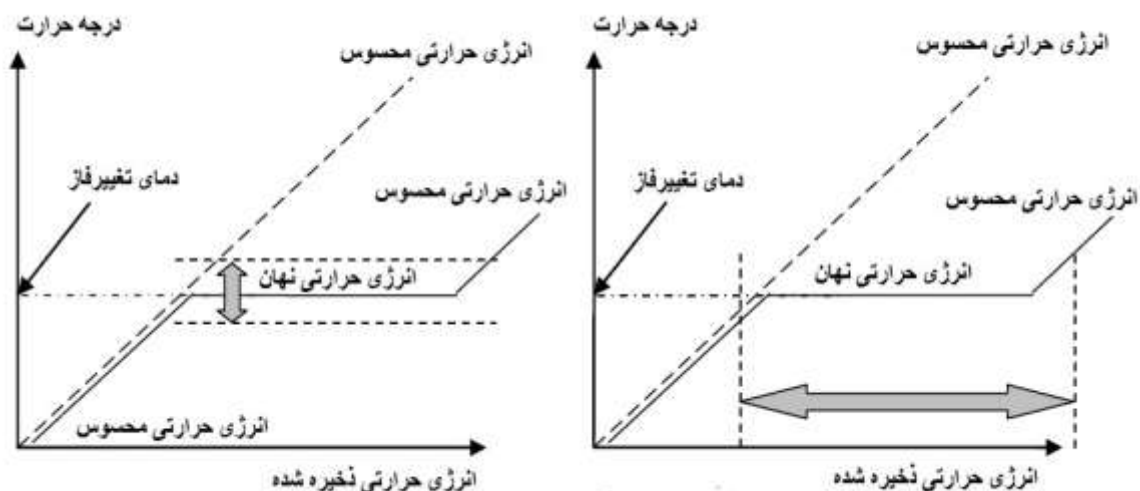
مواد تغییر فاز دهنده دارای پتانسیل‌های کاربردی گوناگونی در صنایع مختلف می‌باشند. این توانایی‌های را می‌توان به دو گروه اصلی طبقه‌بندی نمود: ۱- کنترل حرارتی<sup>۹</sup> و یا لختی حرارتی<sup>۱۰</sup> - توانایی این مواد در ذخیره‌سازی انرژی حرارتی<sup>۱۱</sup> قابلیت‌های کاربردی مواد تغییر فاز دهنده آشکارا در تفاوت‌های اساسی ذخیره‌سازی انرژی حرارتی نهان و محسوس قابل مشاهده است که در نمودار ۷ نشان داده شده است.

<sup>۸</sup> Micro and Macro Encapsulation Methods

<sup>۹</sup> Thermal Control

<sup>۱۰</sup> Thermal Inertia

<sup>۱۱</sup> Thermal Energy Storage



نمودار ۷: توان کاربردی مواد تغییر فاز دهنده: کنترل حرارتی (چپ)، ذخیره سازی حرارتی (راست) (سبیطی، ۱۳۹۰)

تفاوت های اصلی در این دو زمینه کاربردی مربوط به ضریب حرارتی ماده تغییر فاز دهنده است. در برخی از کاربردهای این مواد در زمینه ی کنترل حرارتی، مطلوب تر است که از ماده ای با ضریب هدایت حرارتی پایین استفاده شود. در حالی که در سیستم های ذخیره سازی انرژی حرارتی که از مواد تغییر فاز دهنده استفاده می کنند ضریب هدایت حرارتی پایین یک مشکل اساسی محسوب می شود، زیرا این مساله به شدت بر روی نرخ ذخیره یا آزاد سازی انرژی حرارتی تاثیر گذاشته و با کم شدن این نرخ موجب کاهش کارایی این سیستم ها و عدم توجه اقتصادی آنها می گردد (سبیطی، ۱۳۹۰).

PCM ها با توجه به دمای تغییر حالتشان کاربردهای متنوعی پیدا کرده اند. موادی که زیر  $15^{\circ}\text{C}$  ذوب می شوند برای خنک کردن و تهویه هوای اتاق قابلیت استفاده دارند. موادی که بالای  $90^{\circ}\text{C}$  ذوب می شوند برای کاهش دما در جاهایی که دما ممکن است به طور ناگهانی بالا رود کاربرد دارند و مانع آتش سوزی می شوند. سایر PCM ها که دمای ذوبشان بین این دو مقدار است برای ذخیره سازی انرژی خورشیدی کاربرد دارند (Elgafy and , Lafdi , 2005). PCM ها برای سرد و گرم کردن در مقیاس کوچک نیز کاربرد های ویژه ای دارند، به عنوان مثال تری هیدرات استات سدیم برای گرم کننده های دست در زمستان یا اجاق های گرم کننده ی غذا که در آن یک لایه PCM به کار رفته است را نام برد (United States Patent , 2005).

به طور کلی مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان ها به سه صورت مورد استفاده قرار می گیرند. ۱- استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در دیوار ها ۲- استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در سایر اجزای سازنده ساختمان به جزء دیواره ها که از طرفی موجب افزایش ظرفیت حرارتی ساختمان شده و از سویی دیگر موجب کاهش بار سرمایی و گرمایی مورد نیاز ساختمان می شوند. ۳- استفاده از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره سازی گرما و سرمای تولید شده توسط تجهیزات در مخازن ذخیره کننده ی سرد یا گرم.

### نتیجه گیری

یکی از روش های ذخیره ی انرژی حرارتی استفاده از مواد تغییر فاز دهنده است که در اثر تغییر فاز، انرژی را جذب نموده و در سیکل بعدی با تغییر فاز معکوس انرژی را آزاد می نماید. فرآیند تغییر فاز در این گونه مواد معمولاً همراه با تبادل حجم بالایی از انرژی است که بدان گرمای نهان تغییر فاز اطلاق می شود. تبادل این حجم بالای گرما به صورت همساز با طبیعت و به طور خودکار و هوشمندانه، مطابق با تغییرات دمای محیط صورت می پذیرد. با توجه به ویژگی های عنوان شده، این مواد به

یکی از ظرفیت های خاص ذخیره انرژی در مصارف گوناگون تبدیل شده اند. این در حالی است که کمبود پژوهش پیرامون این مواد و نحوه کاربرد آنها به صورت ترکیبی با مصالح دیگر و متناسب با شرایط اقلیمی منطقه ای ایران بسیار محسوس است.

## منابع

- سبیلی، سهند، ۱۳۹۰، بررسی عددی تاثیر افزودن ذرات نانو در مواد تغییر فاز دهنده در شرایط تغییر فاز دمای ثابت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه،
- Butala V. , Stritih U. (2009). Experimental investigation of PCM cold storage , *Energy and Buildings*, 41, 354–359.
- Demirbas M. Fatih.( 2006). "Thermal Energy Storage and Phase change Materials: an Overview", *Energy Sources*, part B, 1:85-95.
- ] Elgafy A, Lafdi K. (2005). *Carbon*, Vol.43.
- Farid MM, Chen XD.( 1999). Domestic Electric Space Heating with Heat Storage. *Proc Instn Mech Engrs*;213: pp 83–92.
- Liang, C ,Lingling X, Hongbo S, Zhibin Z .( 2009).Microencapsulation of butyl stearate as a phase change material by interfacial polycondensation in a polyurea system, *Energy Conversion and Management* , 50, 723–729.
- Long J. (2008). *Solar Energy*, Vol.82, No. 11 977.
- Mehling, Harald, Cabeza, Luisa F.( 2008). Heat and cold storage with PCM: an up to date introduction into basic applications., edited by D. Mewes, F. Mayinger; chapter: Basic thermodynamics of thermal energy storage.
- Minux website. (2012). <http://www.minux.es/materiales-de-cambio-de-fase-pcm/> (San Juan de Ortega 16, 09007 Burgos, Spain, Phone 947 24 30 80, [comercial@minux.es](mailto:comercial@minux.es))
- Mondal S.( 2008). Phase change materials for smart textiles – an overview, *Applied Thermal Engineering*, V.28, N. 11-12, P. 1536-1550.
- Ruolang Z, Xin W, Binjiao C, Yinping Z. (2009). *Applied Energy*, Vol.86 No.12 2661.
- Sharma ATyagi, V.V., Chen C.R., Buddhi D.( 2009).Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 13,318–345.
- United States Patent. (2005). No. US 6414278 B1.
- Wang W., Yang X., Fang Y., Ding J., Yan J. (2009). Enhanced thermal conductivity and thermal performance of form-stable composite phase change materials by using  $\beta$ -Aluminum nitride , *Applied Energy*, 86, 1196–1200
- Xiang W, Christopher Y, Arun M.( 2008). *International Journal of Thermal Sciences*, Vol.47 No.5.

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله