JARC

تهیه میکروکپسول هگزادکان-ملامین فرمالدهید (HD@MF) به‌عنوان ماده تغییرفازدهنده و اعمال آن بر پارچه پنبه‌ای برای تولید لباس‌های خنک‌کننده

سعید پاکدامان[۱]، سید سلمان سیدافقهی[۲] و مهدی حسن‌زاده[۳و*]

۱- کارشناس ارشد مهندسی پلیمر، دانشکده پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۲- استادیار مرکز علم و فناوری مواد پیشرفته و نانوفناوری، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران
۳- استادیار دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

دریافت: آبان ۱۳۹۶، بازنگری: فروردین ۱۳۹۸، پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۸

چکیده: در این پژوهش، میکروکپسول هگزادکان-ملامین فرمالدهید (HD@MF) به‌عنوان ماده تغییر فازدهنده (PCM) با روش بسپارش درجا تهیه شد. ساختار شیمیایی میکروکپسول با طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) موردبررسی قرار گرفت. همچنین، از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به منظور بررسی اندازه و ریخت‌شناسی میکروکپسول‌ها استفاده شد. میکروکپسول‌های HD@MF با استفاده از رزین آکریلیک و با ضخامت ۱۲۰ میکرومتر بر پارچه پنبه‌ای چاپ شدند. در ادامه، به منظور بررسی تأثیر چرخه‌پذیری بر ویژگی شیمیایی و ساختار فیزیکی، نمونه چاپ‌شده بر پارچه پنبه‌ای ۸۰۰ بار در سیکل گرم و سردشدن قرار گرفت. سپس، با استفاده از آزمون طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه از سطح به روش ATR-FTIR و میکروسکوپ الکترونی روبشی به ترتیب ویژگی شیمیایی- عملکردی و ریخت‌شناسی آن موردبررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که این میکروکپسول‌ها با قرارگیری در چرخه گرم و سردشدن، تحت تأثیر قرارگرفته و دچار کاهش پایداری گرمایی و مکانیکی می‌شوند. درواقع پس از تکرار چرخه گرم و سردشدن به دفعه‌های زیاد (۸۰۰ بار)، پوسته میکروکپسول شکسته شده و هگزادکان خارج می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مواد تغییر فاز دهنده، میکروکپسول، پارچه پنبه‌ای، چرخه عمر

مقدمه

در سال‌های اخیر، ذخیره‌سازی انرژی و به‌کارگیری آن در زمان مناسب، موردبررسی بسیاری از پژوهشگران و صنعتگران قرارگرفته است. استفاده مفید و منطقی از منابع گرمایی مباحثی مانند ایجاد تأخیر زمانی در تولید و دریافت انرژی، افزایش ضریب اطمینان در تأمین گرما و همچنین، حفاظت از انرژی گرمایی اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از روش‌های ذخیره‌سازی انرژی گرمایی، ذخیره گرما با استفاده از مواد تغییر فازدهنده (PCM)[۱] است. به موادی که درنتیجه تغییرفاز، انرژی گرمایی در آن‌ها ذخیره می‌شود، مواد ذخیره‌ساز گرمای نهان یا مواد تغییرفازدهنده گفته می‌شود. ذخیره‌سازی انرژی گرمایی با مواد تغییرفازدهنده کاربردهای متفاوتی از جنبه حفاظت انرژی گرمایی دارد که برای مثال،

1. Phase Change Material

*عهده‌دار مکاتبات: m.hasanzadeh@yazd.ac.ir

می‌توان به استفاده در صنعت ساختمان برای عایق‌کاری اشاره کرد. یکی از کاربردهای مهم مواد تغییر فازدهنده، به‌کارگیری آن‌ها در تولید پوشاک به‌منظور حفاظت بدن اشخاص در مقابل تغییرات شدید دما در شرایط خاص و درنتیجه افزایش احساس راحتی است. از این‌رو، این مواد برای تولید لباس‌های ورزشی، صنعتی، کار در محل‌های غیرمتعارف کاربرد دارند که با روش‌های متفاوتی به الیاف و منسوجات اعمال می‌شوند [۱تا ۷].

تاکنون بسیاری از مواد آلی و معدنی به‌عنوان مواد تغییرفازدهنده به منظور ذخیره انرژی گرمایی، موردبررسی قرارگرفته‌اند. مواد تغییرفازدهنده شامل مواد آلی (پارافین، اسیدهای چرب و پلی‌اتیلن گلیکول‌ها)، مواد معدنی (هیدرات‌های نمک) و مواد ترکیبی هستند [۸]. پارافین‌ها از مزایایی مانند منجمدشدن بدون سردکردن بسیار، قابلیت ذوب، سازگاری با مواد، ویژگی شیمیایی ثابت، دمای جوش بالا، ایمنی زیاد، قابلیت بازیافت، قیمت مناسب و ویژگی خنک‌کنندگی بالا برخوردار هستند [۸ تا ۱۴]. این ترکیب‌ها شامل مخلوطی از n-آلکان‌های اشباع راست‌زنجیر CH_3-(CH_2)-CH_3 – هستند که با افزایش طول زنجیر، دمای ذوب و گرمای نهان ذوب آن‌ها افزایش می‌یابد. هگزادکان پارافینی با طول زنجیر ۱۶ کربن و دمای ذوب ۱۸ °C است. هگزادکان در شرایطی که حفظ شرایط در گستره دمای محیط مطلوب است، به‌کارگرفته می‌شود.

پژوهشگران برای استفاده از این ویژگی مواد تغییرفازدهنده و جلوگیری از هدر رفتن آن‌ها حین فرایند انجماد، ذوب و همچنین، افزایش سطح انتقال گرما، این مواد را در پوسته‌های بسپاری قرار می‌دهند و میکرو یا نانوکپسول می‌سازند]۱۵[. روش‌های متفاوتی برای تهیه میکرو یا نانوکپسول وجود دارد که برای مثال، می‌توان به روش‌های فیزیکی- مکانیکی و فیزیکی- شیمیایی اشاره کرد. روش‌هایی مانند خشک‌کردن افشانه‌ای، بستر سیال افشان، دیسک چرخان، پوشش‌دهی ماهی‌تابه‌ای و نازل ارتعاشی جزو روش‌های فیزیکی- مکانیکی بشمار می‌روند. روش‌های فیزیکی- شیمیایی نیز شامل توده‌ای شدن، تبخیر حلال، سل-ژل، کپسوله‌کردن بسپاری با انبساط سریعِ سیال فوق بحرانی است. بسپارش نامیزه[2]ای، تعلیقی، رسوبی و پراکنشی نیز از روش‌های بسپارش درجا به حساب می‌آیند و کپسول‌های تهیه‌شده با این روش، به‌طور معمول دارای پوسته مقاوم‌تر و طول عمر بیشتر هستند [۱۶]. بسپارش تراکمی-پراکنشیِ پیش‌بسپارهای اوره فرمالدهید و ملامین فرمالدهید به‌دلیل واکنش‌پذیری بالا در سامانه‌های بسپارش درجا و زمان کمِ واکنش، بسیار مورد توجه قرارگرفته است. در این میان میکروکپسول‌های ملامین فرمالدهید از ویژگی مکانیکی، گرمایی و همچنین، مقاومت شیمیایی بیشتری، در مقایسه با میکروکپسول‌های اوره فرمالدهید، برخوردارند [۱۶].

تاکنون بررسی‌های بسیاری بر تهیه مواد تغییرفازدهنده، بررسی نوع و مقدار مواد مورداستفاده شامل سطح‌فعال، هسته و پوسته با اهداف متفاوت انجام‌شده است [۱۷ تا۲۰]. برای مثال، خاکزاد و همکارانش [۱] به بهینه‌سازی شرایط تهیه میکروکپسول‌های ملامین فرمالدهید و بررسی ویژگی گرمایی آن‌ها پرداختند. در مطالعه‌ای دیگر، علی نژاد و همکارانش [۱۶]، به بررسی اثر مقدار و نوع سطح‌فعال در تهیه میکروکپسول‌های ملامین-فرمالدهید پرداختند. همچنین، مطالعه اثر مقدار ماده سطح‌فعال پایه استایرن مالئیک انیدرید، بر اندازه میکروکپسول‌های ملامین فرمالدهید، نشان‌دهنده کاهش اندازه میکروکپسول‌ها با افزایش مقدار سطح‌فعال از ۲ به ۵ درصد وزنی بوده است [۲۱]. درخصوص به‌کارگیری مواد تغییرفازدهنده بر منسوجات که یکی از موارد موردبحث این پژوهش است، پژوهشگران دو روش تزریق میکروکپسول ها به داخل الیاف و همچنین، چاپ بر پارچه را پیشنهاد داده‌اند[۲۲]. برای مثال، شین و همکارانش [۲۳] میکروکپسول‌های تغییرفازدهنده را با روش چاپ بر پارچه پلی‌استری اعمال کردند و اثر مقدار اعمال این ترکیبات را بر ویژگی گرمایی، مکانیکی و راحتی منسوج بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده حاکی از افزایش ظرفیت نگه داشت گرمایی با افزایش درصد میکروکپسول‌های تغییرفازدهنده بر پارچه است، به‌طوری‌که با اعمال ۲۳ ٪ میکروکپسول بر پارچه، میکروکپسول‌ها

1. Enhancement Factor 2. Emulsion

ذوب‌شده و پارچه قادر به جذب گرما به مقدار ۴٫۴۴ ژول بر گرم می‌شود.

از آنجایی‌که استفاده طولانی مدت از مواد تغییرفازدهنده و قرارگیری در چرخه‌های سرد و گرم‌شدن متفاوت سبب تغییر ویژگی گرمایی و عملکردی این مواد می‌شود، بررسی چرخه عمر[1] این ترکیب‌ها بسیار حائز اهمیت است. با بررسی اثر چرخه عمر بر مواد تغییرفازدهنده برگشت‌پذیر، می‌توان از خطاهای احتمالی این مواد در صنعت جلوگیری کرد [۲۴]. باوجود بررسی‌های بسیار انجام‌شده بر تهیه مواد تغییرفازدهنده با روش میکروکپسول سازی، در هیچ‌یک از پژوهش‌های گزارش‌شده، اثر چرخه عمر این ترکیبات موردبررسی قرار نگرفته است. از این‌رو، در این پژوهش ابتدا میکروکپسول هگزادکان با پوسته ملامین فرمالدهید (HD@MF) به‌عنوان ماده تغییرفازدهنده با روش بسپارش درجا تهیه و سپس، با استفاده از رزین آکریلیک بر پارچه پنبه‌ای چاپ شدند. افزون‌بر بررسی ویژگی شیمیایی و ریخت‌شناسی، اثر چرخه عمر میکروکپسول‌های هگزادکان با پوسته ملامین فرمالدهید موردبررسی قرار گرفت.

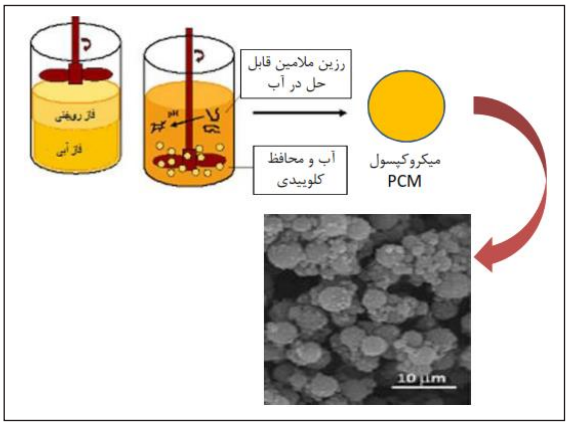
بخش تجربی

واکنشگرهای موردنیاز

ملامین‌فرمالدهید (MF) با ۶۰ درصد وزنی جامد (pH معادل ۱۰ و چگالی ۱٫۲۷۲ g/cm^3) از شرکت صنایع شیمیایی سامد خریداری شد. سدیم دودسیل‌سولفات (SDS)، پلی‌وینیل‌الکل (PVA) با وزن مولکولی ۱۴۵ kDa، آمونیم کلراید (NH_4Cl)، فرمیک اسید، هگزادکان (HD) و تری‌اتانول‌آمین (TEA) از شرکت مرک خریداری شدند. Triton X-100 از شرکت Panreac اسپانیا خریداری شد. رزین آکریلیک NS-220 از شرکت سیماب تهیه شد. همه مواد خریداری‌شده به صورت دریافت شده و بدون خالص‌سازی، مصرف شدند. در تمام واکنش‌ها آب یون‌زدوده به‌کارگرفته شد. به منظور به‌کارگیری میکروکپسول بر پارچه، از پارچه پنبه‌ای سفیدگیری شده تاری پودی استفاده شد.

تهیه میکروکپسول هگزادکان-ملامین فرمالدهید (HD@MF)

میکروکپسول کردن n-هگزادکان در پوسته ملامین فرمالدهید با بسپارش درجا انجام شد. روش کار شامل سه مرحله آماده‌سازی تعلیقه، تشکیل پوسته و به‌عمل‌آمدن فراورده نهایی است (شکل ۱). برای این منظور، ۱۲۰ گرم هگزادکان (HD) به عنوان ماده هسته، با مقدار از پیش تعیین‌شده مخلوط SDS و Triton X-100 به عنوان ماده سطحفعال با نسبت ۸۰:۲۰، همراه با محلول آبی PVA در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و با همزن مکانیکی با سرعت ۸۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه به‌عنوان پیش‌تعلیقه آماده شد. pH نامیزه به‌دست آمده با محلول آبی ۲۰ درصد وزنی فرمیک اسید به عدد ۵ رسانده شد. ۵۲ میلی‌لیتر محلول پیش‌بسپار ملامین فرمالدهید در آب با ۵۸ درصد وزنی ذره‌های جامد با مقدار ثابت ۵۰ میلی‌لیتر بر ساعت در داخل تعلیقه از پیش تهیه‌شده در یک واکنش گاه چهاردهانه در دمای ۷۰ °C قطره‌قطره افزوده شد.



شکل ۱ طرح‌واره فرایند تهیه میکروکپسول

در طول فرایند تزریق، ۰٫۶ گرم آمونیم کلراید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب به‌عنوان عامل بسپارش در سه فاصله زمانی ۳۰ دقیقه‌ای به سامانه افزوده شد. واکنش به مدت ۳ ساعت ادامه پیدا کرد و درنهایت pH با محلول آبی ۵۰ درصد وزنی تری‌اتانول‌آمین به ۸٫۵ رسانده شد تا واکنش پایان یابد. سپس میکروکپسول‌های به‌دست آمده جدا و با محلول ۵۰ ٪ آب و الکل برای از بین بردن مواد زائد

1. Life cycle

به‌طور کامل شسته شد. پودر مرطوب میکروکپسول‌ها در آون خلأ در دمای ۸۰ °C به مدت ۲۴ ساعت خشک شد.

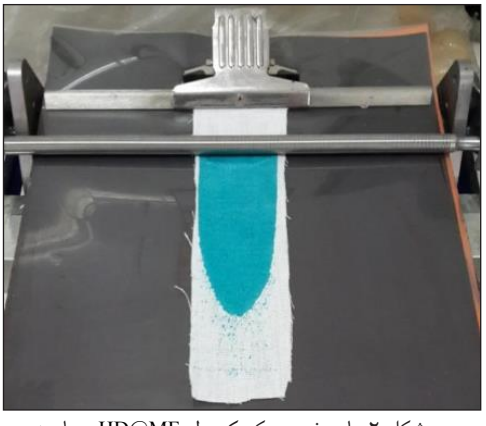
چاپ میکروکپسول HD@MF بر پارچه پنبه‌ای

مقدار واکنشگرها برای تهیه خمیر PCM پایه آبی، در جدول ۱ ارائه‌شده است.

جدول ۱ مقدار واکنشگرها برای تهیه خمیر PCM

واکنشگر	وزن (گرم)
رزین آکریلیک	۶٫۴
میکروکپسول	۱۲
آب مقطر	۳

برای تهیه فیلمِ خمیر، از دستگاه K-Control Coater با سرعت ۶ m/min استفاده شد. فیلمی از خمیر میکروکپسول HD@MF با دمای ذوب ۲۵ °C از ترکیب سه ماده، شامل میکروکپسول HD@MF، رزین آکریلیک (به‌عنوان بستر) و آب (به‌عنوان حلال و عامل شبکه‌ای‌شدن و پخت رزین آکریلیک) بر پارچه پنبه‌ای اعمال شد. شکل ۲ فیلم کشیده شده بر پارچه را نشان می‌دهد که به دلیل بی‌رنگ بودنِ ماده خنک‌کننده از ماده رنگ‌زای آبی استفاده شد تا مقدار چاپ بر پارچه به‌خوبی نشان داده شود. نمونه چاپ‌شده از ماده خنک‌کننده بر پارچه بدون استفاده از ماده رنگ‌زا و همچنین، بدون ماده توزیع‌کننده مقایسه شدند. ضخامت فیلم چاپ‌شده مشابه با چاپ اسکرین، ۱۰۰ میکرومتر است.



شکل ۲ چاپ خمیر میکروکپسول HD@MF بر پارچه

شناسایی نمونه‌ها

برای بررسی اندازه ذره‌های میکروکپسول HD@MF، از میکروسکوپ نوری مدل Leica-DMRX ساخت کشور آلمان، با بزرگ‌نمایی ۵۰۰ برابر استفاده شد. برای بررسی گروه‌های عاملی میکروکپسول تولیدشده با نقطه ذوب ۲۵ °C ازدستگاه طیف‌سنج فروسرخ تبدیل فوریه Bomem FTIR Spectrophotometer ساخت کشور کانادا استفاده شد. ریخت‌شناسی و ساختار میکروکپسول‌ها با به‌کارگیری میکروسکوپ الکترونی روبشی (TESCAN VEGA-II) ساخت کشور چک موردبررسی قرار گرفت. ثبات شستشوی پارچه پنبه‌ای چاپ‌شده با خمیر HD@MF، مطابی استاندارد ISO-C-01 و با دستگاه Launder-Ometer مدل B-5 ساخت کشور آمریکا انجام شد. به‌منظور بررسی مقدار تغییر رنگ در این آزمون معیار خاکستری[1] به‌کارگرفته شد. در ادامه، ثبات سایشی فیلم جوهر چاپ‌شده برپایه استاندارد ISO-X12 با دستگاه آزمون سایش Hand Crock Meter ساخت شرکت Shirley مدل SDL 238A بررسی شد.

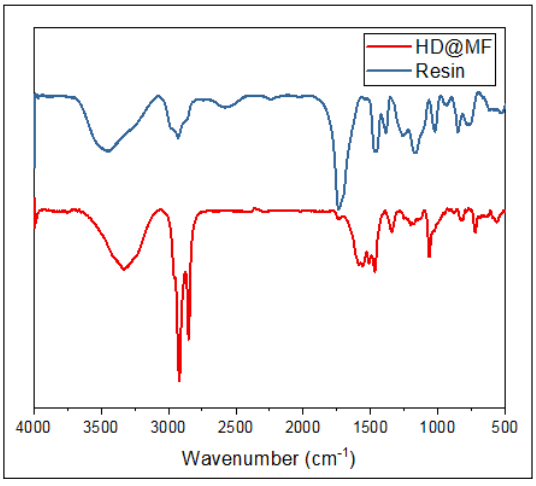
اثر چرخه عمر با یک دستگاه گرم و سردکننده شامل قطعه‌های ترموالکتریک، گرماگیر (Heat sink) و پره خنک‌کننده، بررسی شد. این دستگاه قادر است تا دمای ۱۵۰ °C گرم و تا دمای ۵+ °C سرد شود. زمانی که ترموالکتریک برای سردکردن نمونه به‌کارگرفته می‌شود، نمونه بر سطحی که سرد می‌شود، قرارگرفته و سطح دیگر که به گرماگیر متصل است، به‌شدت گرم می‌شود. گرما از ترموالکتریک به گرماگیر منتقل و گرمای آن با پره خنک‌کننده خارج می‌شود. به منظور بررسی اثر چرخه عمر بر ویژگی گرمایی و فیلم خمیر میکروکپسول HD@MF، نمونه‌های تهیه‌شده، ابتدا در پایین‌تر از دمای محیط (۲۳ °C) قرار گرفتند، سپس، دمای آن‌ها افزایش داده شد (۳۰ °C) و پس‌ازآن، دوباره دما به کمتر از دمای محیط رسانده شد. این روند ۸۰۰ بار تکرار شد. پس‌ازآن به منظور شناسایی پیوندهایی که ممکن است در طول فرایند گرم و سردشدنِ دوباره، از بین بروند یا به‌وجود آیند، طیف فروسرخ از سطح (ATR-FTIR) نمونه‌ها گرفته شد.

1. Gray scale

نتیجه‌ها و بحث

بررسی ابعاد و ریخت‌شناسی میکروکپسول HD@MF تهیه‌شده با میکروسکوپ نوری نشان‌دهنده میانگین اندازه ۸٫۰±۰٫۴ میکرون بود. شکل ۳ تصویر میکروسکوپ نوری و شکل ۴ طیف FTIR مربوط به این ترکیب‌ها را نشان می‌دهند.

شکل ۳ تصویر میکروسکوپ نوری میکروکپسول تهیه‌شده (HD@MF)



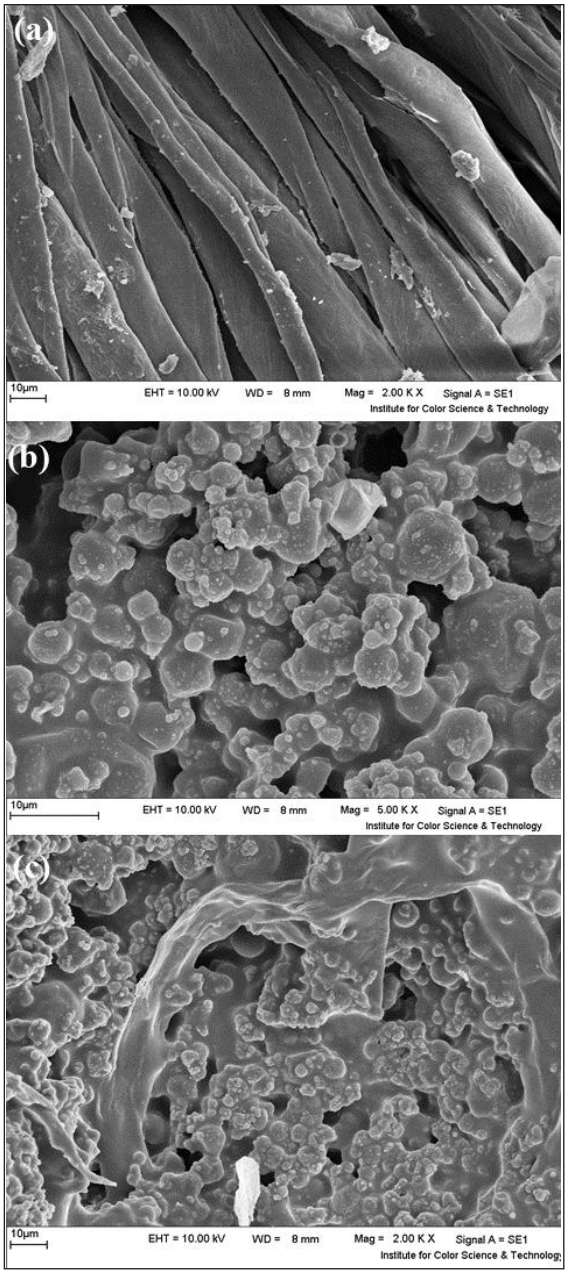
شکل ۴ طیف‌های FTIR مربوط به رزین و میکروکپسول HD@MF

پیوندهای شناسایی‌شده در این میکروکپسول شامل گروه‌های C-N و $(CH)_2$ N است که بیانگر این است که هسته میکروکپسول از نوع بلور ملامین فرمالدهید بوده و مواد هسته از نوع هیدروکربن خطی است. اساس عملکرد هسته بدین گونه است که در دمای پایین‌تر از نقطه ذوب، به صورت جامد بوده و در دماهای بالا، با جذب گرما در قالب گرمای نهان ذوب و ذخیره انرژی گرمایی، شروع به ذوبشدن می‌کند و به دنبال آن سبب کاهش دما و در حقیقت خنک‌شدن محیط اطراف می‌شود. با بررسی طیف‌های FTIR مربوط به میکروکپسول HD@MF و رزین آکریلیک، تأثیر رزین بر میکروکپسول بررسی و مشاهده شد که رزین بر میکروکپسول اثری نداشته است.

ریخت‌شناسی سطح و ساختار میکروکپسول‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) انجام شد. شکل ۵ تصویر پارچه پنبه‌ای خام و میکروکپسول‌های HD@MF و میکروکپسول‌های اعمال‌شده بر پارچه پنبه‌ای را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۵–b) مشاهده می‌شود، میکروکپسول‌های تهیه‌شده دارای شکل کروی، اندازه به‌نسبت یکسان و بدون پدیده کلوخه‌ای شدن هستند. همان‌گونه که در شکل (۵–c) مشاهده می‌شود، سطح پارچه به‌خوبی با میکروکپسول‌ها آغشته شده و ماده تغییر فاز با توزیع به‌نسبت یکنواختی بر سطح الیاف توزیع‌شده است.

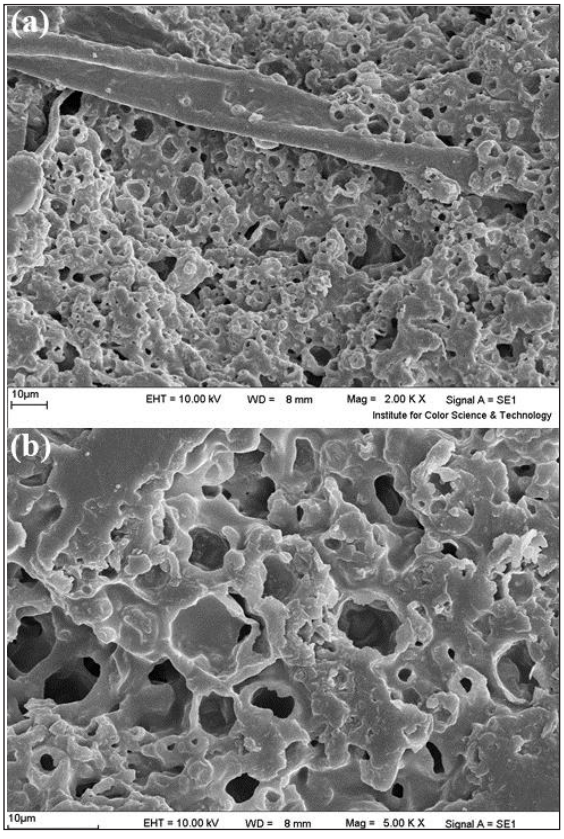
پس از ۸۰۰ بار چرخه گرم و سرد شدن دوباره از فیلم چاپ‌شده تصویر میکروسکوپی تهیه شد. در شکل ۶ مشاهده می‌شود که پوسته میکروکپسول‌ها ویژگی منعطف خود را از دست داده و تخریب‌شده است. ماده درون میکروکپسول خارج‌شده که درنتیجه آن ویژگی خنک‌کنندگی فیلم چاپ‌شده بر پارچه کاهش‌یافته است. این نتیجه می‌تواند به دلیل نوع فرموله‌شدن و درصد ترکیب اجزای سازنده میکروکپسول‌ها و همچنین، نوع ماده سطح‌فعال یا نوع توزیع‌کننده باشد که منجر به نازک‌شدن پوسته میکروکپسول شده است. در بررسی‌های بعدی با پژوهش و انتخاب رزین مناسب‌تر می‌توان به فرموله‌شدن بهینه دست یافت.

برپایه تصاویر SEM، پس از ۸۰۰ بار تکرار گرم و سردشدن در رفتار گرمایی فیلم اعمال‌شده تغییر رخداده است. با بررسی طیف‌های فروسرخ از سطح به روش ATR-FTIR، ساختار خمیر چاپ پیش از شروع چرخه تکرار و پس از پایان چرخه



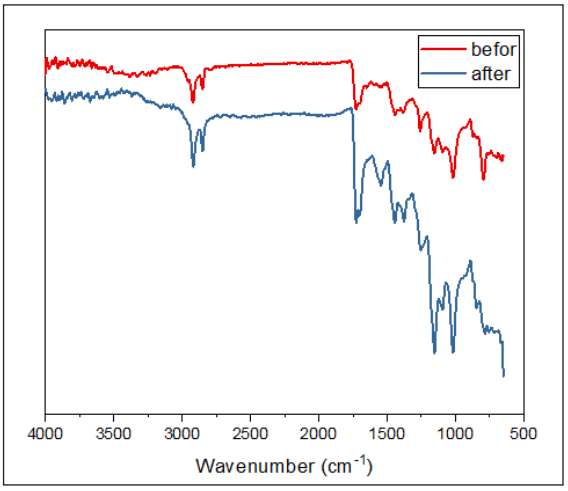
شکل ۵ تصویر SEM پارچه پنبه‌ای خام (a)، میکروکپسول‌های سنتز شده (b) و پارچه چاپ‌شده با خمیر میکروکپسول HD@MF (c)

تکرار موردبررسی قرار گرفت تا مشخص شود چه تغییری در ساختار میکروکپسول رخ‌داده است که منجر به این تغییر



شکل ۶ تصویر SEM میکروکپسول‌های اعمال‌شده بر پارچه پس از ۸۰۰ بار تکرار چرخه گرم و سردشدن

رفتار شده است. نتایج این آزمون در شکل ۷ (پیش از شروع تکرار و پس از پایان تکرار) نشان داده‌شده است. در طیف‌های فروسرخ از سطح به روش ATR-FTIR مشاهده شد که در ساختار میکروکپسول و همچنین، ساختار ماده تغییرفازدهنده تغییری رخ نداده است. ولی به خوبی مشاهده می‌شود که پیش از شروع تکرار یک نوار جذبی در cm^{-1} ۱۱۵۳٫۶ وجود دارد که پس از ۸۰۰ بار تکرار، این نوار جذبی حذف‌شده است. همچنین، در cm^{-1} ۱۷۲۵ نیز مقدار جذب کاهش‌یافته است. این امر نشان‌دهنده عدم حضور هگزادکان در داخل میکروکپسول‌ها به دلیل تخریب پوسته و به عبارت دیگر، خروج هگزادکان از درون میکروکپسول‌ها است.



شکل ۷ طیف ATR-FTIR پیش از شروع و پس از پایان چرخه تکرار گرم و سردشدن پارچه

با انجام آزمون ثبات سایشی از نمونه‌ها مشخص شد که فیلم ماده تغییرفازدهنده چاپ‌شده از ثبات سایشی خوبی در ۱۰ دور دستگاه برخوردار است. همچنین، در آزمون ثبات شستشویی و لکه‌گذاری نیز، پارچه‌های چاپ‌شده با ماده تغییرفازدهنده در برابر شستشو مقاومت بسیار خوبی را نشان دادند. نتایج مربوط به آزمون ثبات سایشی و شستشویی نمونه‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ نتایج آزمون ثبات سایشی و ثبات شستشویی

ثبات سایشی	ثبات شستشویی		
آزمون‌تر و خشک	لکه‌گذاری		تغییر رنگ
تغییر رنگ	پنبه	پشم	۴-۵
۴-۵	۴	۵	

در شرایط کاری اثر چرخه عمر بر کاهش ویژگی ماده تغییر فاز امری اجتناب‌ناپذیر است، ولی می‌توان با تغییر نوع مواد توزیع‌کننده، مواد سطح‌فعال، نوع رزین و همچنین، تغییر در مقدار درصد ترکیب آن‌ها با افزایش ویژگی مکانیکی پوسته میکروکپسول، اثر چرخه عمر را کاهش داد. می‌توان این امکان را فراهم کرد تا میکروکپسول‌ها دوام و پایداری بیشتری از خود نشان داده و در برابر دفعات بیشتر گرم و سردشدن مقاوم بوده و تخریب نشوند. در پژوهش‌های آتی، با افزایش مقاومت در برابر چرخه عمر می‌توان از هزینه‌های اضافیِ تعویضِ پوششِ مواد تغییرفازدهنده و چاپ دوباره آن جلوگیری کرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، میکروکپسول‌های ملامین فرمالدهید حاوی هگزادکان (HD@MF) با به‌کارگیری روش بسپارش درجا تهیه شدند. این روش شامل تهیه تعلیقه هگزادکان در فاز آبی با ماده سطحفعال و پایدارکننده و تزریق ملامین فرمالدهید، پخت و میکروکپسوله‌کردن آن بود. مرحله تعلیقه‌سازی تحت تأثیر عامل‌هایی مانند سرعت همگن‌سازی، زمان همگن‌سازی، نوع و مقدار ماده سطح‌فعال بود. این عامل‌ها کشش سطحی، گرانروی و درنتیجه پایداری و اندازه ذره‌های تعلیقه را کنترل می‌کنند. درخصوص میکروکپسول‌های ملامین فرمالدهید، ماده سطح‌فعال افزون‌بر کنترل پایداری و اندازه ذره‌ها، سرعت و مقدار قرارگرفتن ملامین فرمالدهید بر سطح قطره‌های هگزادکان را نیز کنترل می‌کند. به دلیل تشکیل تعلیقه روغن در آب در مرحله نخست و نیز کنترل رسوب پیش‌بسپار در سطح قطره‌ها و تشکیل پوسته، از یک ماده سطح‌فعال یونی به همراه نوع غیریونی به‌کارگرفته شد. پس از چاپ خمیر میکروکپسول HD@MF بر پارچه پنبه‌ای و قرارگیری آن در چرخه گرم و سردشدن و انجام آزمون‌های میکروسکوپی و طیف‌سنجی فروسرخ مشاهده شد که این مواد تحت تأثیر چرخه عمر قرارگرفته و پس از تکرار گرم و سردشدن به دفعه‌های زیاد، پوسته میکروکپسول شکسته شده و از بین می‌رود. بررسی‌های انجام‌شده نشان‌دهنده طول عمر مناسب پوشش تغییر فاز اعمال‌شده بر سطح پارچه پنبه‌ای بود.

مراجع

[1] Khakzad, F.; Colloid and Polymer Science 292, 2014, 355-368.

[2] Paksoy, Ho.; “Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption: Funda-

mentals, Case Studies and Design", Springer Science & Business Media, 2007.

[3] Sharma, A.; Tyagi, V.; Chen, CR.; Buddh, I.D.; Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 318-345, 2009.

[4] Zhu, N.; Ma, Z.; Wang, S.; Energy Conversion and Management 50, 69–81, 2009.

[5] Su, J.; Ren, L.; Wang, L.; Colloid and Polymer Science 284, 224–228, 2005.

[6] Rao, Y.; Lin, G.; Luo, Y.; Chen, S.; Wang, L.; Heat Transfer-Asian Research 36, 28-37, 2007.

[7] Hu, J.; Chen, H.Q.; Zhang, Z.; Materials Chemistry and Physics 118, 63-70, 2009.

[8] Sarier, N.; Onder, E.; Thermochimca Acta 452, 149-160, 2007.

[9] Qingwen, S.; Yi, L.; Jianwei, X.; Hu, J.Y.; Yuen, M.; Polymer 48, 3317-3323, 2007.

[10] Yong, H.; YiMin, X.; Qiang, L.; JianFei, C.; Chinese Science Bulletin 54, 318-323, 2009.

[11] Zhang, X.X.; Tao, X.M.; Yick, K.L.; Wang, X.C.; Colloid and Polymer Science 282, 330-336, 2004.

[12] Abadi, A.R.; Alinejad, Z.; Khakzad, F.; Ghasemi, M.; Mahdavian, A.R.; 10th International Seminar on Polymer Science and Technology (ISPST2012), Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 21-25 October 2012.

[13] Shirin-Abadi, A.R.; Mahdavian, A.R.; Khoee, S.; Macromolecules 44, 7405-7414, 2011.

[14] Fallahi, E.; Barmar, M.; Haghighat, Kish M.; Iranian Polymer Journal 19, 277-286, 2010.

[15] Cebeza, LF.; Castell, A.; Barrenche, C.; Fernandez, A.I.; Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 1675-1695, 2011.

[16] Alinejad, Z.; Khakzad, F.; Shirin-Abadi, A.R.; Ghasemi, M; Mahdavian, A.R.; Science and Technology 26, 33-44, 2013.

[17] Rezvanpour, M.; Hasanzadeh, M.; Azizi, D.; Rezvanpour, A; Alizadeh, M.; Materials Chemistry and Physics 215, 299-304, 2018.

[18] Konuklu, Y.; Erzin, F.; International Journal of Energy Research 45, 1-5, 2019.

[19] Mao, Y.; Gong, J.; Zhu, M.; Ito, H.; Polymer 150, 267-274, 2018.

[20] De la Paz Miguel, M.; Vallo, C.I.; Progress in Organic Coatings 129, 236-246, 2019.

[21] Lee, S.H.; Yoon, S.J.; Kim, Y.G.; Choi, Y.C.; Kim, J.H.; Lee, J.G.; Korean Journal of Chemical Engineering 24(2), 332-335, 2007.

[22] Nelson, G.; International journal of pharmaceutics 242(1-2), 55-62, 2002.

[23] Shin, Y.; Yoo, D.I.; Son, K.; Journal of Applied Polymer Science 97(3), 910-915, 2005.

[24] Farid, M.M.; Khudhair, A.M.; Razack, S.A.K.; Al-Hallaj S.; Energy conversion and management 45, 1597-1615, 2004.

JARC

Synthesis of hexadecane-melamine formaldehyde microcapsule (HD@MF) as phase change material and applying it to cotton fabric to produce cool clothes

Saeid Pakdaman[1], Seyed Salman Seyed Afghahi[2], Mahdi Hasanzadeh[3,*]

1. M.Sc. of Polymer Engineering, Faculty of Polymer and Color Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
2. Assistant Prof. in Advanced Materials and Nanotechnology Research Center, Imam Hossein University, Tehran, Iran
3. Assistant Prof. in Department of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

Recieved: November 2017, Revised: April 2019, Accepted: May 2019

Abstract: In this study, hexadecane-melamine formaldehyde microcapsule (HD@MF) was synthesized as a phase change material (PCM) using in-situ polymerization technique. The chemical structure of microcapsule was investigated by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). Optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM) were also used to study the size and morphology of microcapsules. HD@MF microcapsules were printed on cotton fabric with a thickness of 120 μm using acrylic resin. In order to investigate the effect of life cycle on chemical properties and physical structure, the printed cotton fabric was subjected to warm-up and cooling down cycle 800 times, and its chemical-functional properties as well as morphology were evaluated using ATR-FTIR spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM), respectively. The obtained results showed that these microcapsules were affected by the warm-up and cooling down cycle, and lose their properties. In fact, after repeating the heating cycle and cooling frequently (800 times), the microcapsule's shell is broken and hexadecane is released.

Keywords: Phase change material, Microcapsule, Cotton fabric, Life cycle

*Corresponding author Email: m.hasanzadeh@yazd.ac.ir