DOR: 20.1001.1.24234931.1400.8.1.9.3
Archive of SID

مقاله

سال هشتم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۰، ص ص ۷۰ -۷۷

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

renemag.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۱۸

نگاهی به بهینه‌سازی انرژی در لباس‌های نسل جدید با استفاده از مواد تغییرفازدهنده

عزیز باباپور[۱*]، زهرا دهقان خواجه بلاغ[۲]، مینا گنج‌خانی[۲]، میثم پار[۳]

۱- دانشیار، مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۲- کارشناسی، مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

* اردبیل، ۱۷۹، Babapoor@uma.ac.ir

چکیده:

بخش اعظم انرژی مصرفی در جهان به وسیله سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. استفاده بی‌رویه از انرژی و منابع زیست محیطی جهت تولید و مصرف، باعث بروز مشکلات فراوانی در زمینه‌های محیط‌زیستی، آب و هوایی شده است. این سوخت‌ها دارای انواع آلاینده‌های سمّی و خطرناک هستند که از طرق مختلف به محیط‌زیست و در نهایت به زنجیره غذایی انسان وارد می‌شوند. استفاده جامعه بشری از سوخت‌های فسیلی و از طرفی تجدیدناپذیر بودن این سوخت، موجب ایجاد نگرانی‌هایی شده است، تا جامعه جهانی مفاهیمی همچون توسعه پایدار، انرژی‌های تجدیدپذیر، ذخیره انرژی، انرژی حرارتی و مواد تغییرفازدهنده را در چارچوب برنامه‌ریزی‌های نیرو و انرژی جای دهند. فناوری کاربرد مواد تغییرفازدهنده ایده‌ی نوینی جهت ذخیره انرژی تجدیدپذیر حرارتی است، که رو به گسترش می‌باشد. وجود انواع مواد تغییرفازدهنده موجب شده است تا امکان استفاده از این مواد، در صنایع مختلف همچون نساجی، پزشکی، لباس‌های هوشمند، عمران و صنایع الکترونیک فراهم شود. از طرفی فناوری استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، ذخیره و آزادسازی این انرژی‌ها به کمک مواد تغییرفازدهنده عامل مهمی برای پیشرفت در زمینه‌ی مدیریت انرژی خواهد بود. لذا در این پژوهش، سعی بر این است که نقش انواع مواد تغییرفازدهنده در لباس‌های هوشمند بررسی شود.

کلید واژگان: انرژی‌های تجدیدپذیر، مواد تغییرفازدهنده، لباس هوشمند، نانوالیاف، مدیریت حرارتی

An Insight into the Energy Optimization in New Generation Clothes Using Phase Change Materials

Aziz Babapoor[1], Zahra Dehghan Khaje Bolagh[2], Mina Ganjkhani[2], Meysam Paar[3]

1, 2, 3- Department of Chemical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* P.O.B. 179 Ardabil, Iran, Babapoor@uma.ac.ir

Received: 06 February 2020 Accepted: 07 June 2020

Abstract:

A majority portion of energy resources in the world is supplied by fossil fuels. Excessive consumptions of fossil energy resources have instigated many environmental issues such as climate change. Burning fossil fuels release toxic and dangerous pollutants that will affect the environment and finally the human food chain. Overconsumption of nonrenewable fossil fuels concerns the global community to develop concepts such as sustainable renewable energies, energy storage, thermal energy and phase change materials within the framework of energy management. The idea of using phase change materials for storage of renewable thermal energy is growing. Having variety types of phase– change materials with different characteristics has led to the possibility of using these materials in several industries such as textiles, medicine, smart clothes, civil and electronic industries. Additionally, storage and release of renewable energies are important factor in the development of energy management. Therefore, in this study, the role of phase change materials in smart clothing is investigated.

Keywords: Renewable energies; Phase change materials; Smart clothes; Nanofibers; Thermal management;

www.SID.ir

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

Archive of SID

۱- مقدمه

۱-۱- محیط‌زیست

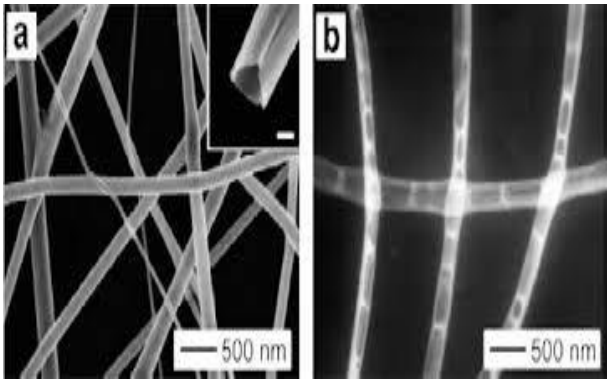
با آغاز انقلاب صنعتی و ورود جامعه بشری به عصر مدرن، زندگی فردی و جمعی دچار دگرگونی‌هایی بوده است. افزایش جمعیت باعث شد تا پیشرفت اقتصادی هم از عوامل این تغییرات باشد. از جمله این تغییرات، استفاده بی‌رویه از انرژی و منابع زیست‌محیطی جهت تولید و مصرف انبوه بوده است که این مصرف بی‌رویه در دهه‌های اخیر، جامعه بشری را با مشکلات عمده‌ای مواجه کرده است. سوخت‌های فسیلی از جمله مهم‌ترین منابع تامین انرژی مصرفی جهان می‌باشد. این سوخت‌ها دارای انواع آلاینده‌های سمّی و خطرناک هستند که به طرق مختلف به محیط‌زیست و در نهایت زنجیره‌ی غذایی انسان وارد می‌شوند [۱]. اثرات زیست‌محیطی استفاده از سوخت‌های فسیلی بر آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، خاک، هوا و پوشش گیاهی بی‌شمار است. اما انتشار گازهای گلخانه‌ای از اهمیت بیشتری برخوردار بوده که موجب افزایش دمای کره‌ی خاکی و تغییرات اقلیمی شده است. سوزاندن سوخت‌های فسیلی، یکی از عواملی است که باعث برهم زدن تعادل تابشی نور خورشید می‌شود و شرایط حضور گازهای پایدار مانند دی‌اکسیدکربن، فرئون، متان و اکسیدنیترید که ظرفیت بالایی در جذب حرارت دارند را فراهم می‌کند [۱، ۲]. از طرفی تخریب جنگل و استفاده از CFCها[۱] و مواردی از این قبیل مشکلات را دوچندان می‌کند. در این بین افزایش قیمت سوخت و انرژی و تجدیدناپذیر بودن انرژی بر نگرانی‌ها افزوده است.

در حال حاضر محیط‌زیست مفهوم متفاوتی پیدا کرده است و در معرفی آن صرفاً بر حیات‌وحش و آلودگی هوا بسنده نمی‌شود. محیط‌زیست دربرگیرنده‌ی جنبه‌های متفاوتی از زندگی بشر از جمله اقتصاد، فرهنگ و صنعت است. توسعه بدون انرژی امکان‌پذیر نیست. این چرخه نابه‌هنجار افزایش جمعیت، رشد اقتصادی، استفاده از انرژی در نهایت با مشکلات محیط‌زیستی پایان می‌یابد [۳].

حراست از انرژی و عناصر زیست‌محیطی علاوه‌بر مسئولیت، نیاز اساسی انسان برای بقا و ادامه‌ی حیات است و باید پیوسته برای حفظ آن تلاش کند، در مرحله اول با تغییر در مفهوم رشد و توسعه می‌توان این امکان را فراهم کرد. در برخی از کشورهای توسعه‌یافته حفظ محیط‌زیست در چارچوب برنامه‌ریزی کشور مطرح می‌شود [۴]. مفهوم توسعه‌پایدار در مرحله اول نیاز اساسی انسان به پیشرفت و انرژی و در مرحله بعدی ارتقای پیشرفت بدون آسیب زدن به محیط‌زیست را شامل می‌شود. استفاده از فناوری‌های نوین در عصر نو و تغییر در شیوه‌ی اجرایی سیستم‌ها روند رسیدن به مرحله دوم در تعریف توسعه پایدار را تسریع می‌بخشد [۵]. استفاده از انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان جایگزین سوخت‌های فسیلی در شرایط فعلی رو به افزایش است. انرژی حرارتی یکی از این جایگزین‌ها است که ذخیره‌سازی گرمایی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. این ذخیره‌سازی توسط PCMها[۲] صورت می‌پذیرد. مواد تغییرفازدهنده، موادی هستند که گرما را در صورت نیاز در خود ذخیره می‌کنند و در موقع لازم به محیط پس می‌دهند. کاربرد PCMها در مقیاس کوچک و بزرگ در سرد و گرم کردن روند رو به رشدی دارد. از یک دیدگاه، PCMها در دو دسته‌ی پارافینی و غیرپارافینی تقسیم‌بندی می‌شوند.

۲- مواد تغییرفازدهنده و ذخیره‌سازی انرژی حرارتی

یک راه مؤثر برای ذخیره‌سازی انرژی حرارتی استفاده از سیستم ذخیره‌سازی گرمای نهان با استفاده از مواد تغییرفازدهنده است. این روش دارای مزیت‌هایی مانند چگالی بالا و دمای ثابت در حین ذخیره‌سازی است. ذخیره انرژی حرارتی با گرمای نهان عاملی است که باعث کاربرد مواد تغییرفازدهنده در زمینه‌های مختلفی از جمله مهندسی خورشیدی، بازیافت تلفات گرمایی، سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها، پمپ‌های حرارتی و کاربردهای فضایی شوند [۶]. شکل ۱ وضعیت یک نانوالیاف تغییرفازدهنده قبل و بعد از ذخیره‌سازی گرمایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱ الف) نانوالیاف قبل از ذخیره‌سازی گرما ب) نانوالیاف بعد از ذخیره‌سازی

۲-۱- ذخیره‌سازی انرژی

ذخیره‌سازی انرژی حرارتی به دو روش ذخیره گرمای محسوس[۳] و گرمای نهان[۴] صورت می‌گیرد.

۲-۱-۱-ذخیره‌سازی محسوس

در ذخیره‌سازی محسوس، انرژی حرارتی متناسب با ظرفیت حرارتی ماده است و با افزایش انرژی گرمایی، دمای ماده افزایش پیدا می‌کند. ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی در این مواد متفاوت بوده و بستگی به خواص فیزیکی ماده ذخیره‌کننده دارد. ذخیره انرژی در روش ذخیره‌سازی به کمک گرمای نهان با فرآیند تغییر فاز انجام می‌شود. با توجه به اینکه ظرفیت حرارتی نهان هر ماده نسبت به ظرفیت حرارتی محسوس آن بالاتر است، برای ذخیره‌سازی انرژی در بسیاری از سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی از این روش استفاده می‌شود.

۲-۱-۲- ذخیره‌سازی گرمای نهان

ذخیره انرژی گرمایی به صورت نهان به هنگام تغییر فاز جسم از حالت جامد به مایع یا مایع به گاز و یا جامد به جامد صورت می‌گیرد. در این حالت، با افزایش انرژی گرمایی، دمای جسم ثابت مانده و انرژی گرفته شده سبب تغییرفاز ماده می‌شود. از این رو، هر سیستم ذخیره‌سازی گرمای نهان باید دارای اجزای زیر باشد:

۱- یک PCM مناسب با نقطه ذوب در محدوده دمایی مورد نیاز.

۲- یک سطح تبدیل حرارت مناسب.

۳- یک ظرف نگهدارنده مناسب که متناسب با خصوصیات PCM باشد [۷].

۱ Chlorofluorocarbons
۲ Phase-change material

3. Sensible heat storage
4. Latent heat storage

www.SID.ir

Archive of SID

۳- مواد تغییرفازدهنده (PCM)

مواد تغییرفازدهنده به موادی گفته می‌شود که می‌تواند در یک محدوده دمایی مشخص، تغییر فاز بدهد. این مواد به صورت کاملاً هوشمند و بدون استفاده از تجهیزات مکانیکی با توجه به خواص ذاتی تمایل به تغییر فاز داشته و به طور طبیعی خود را با نوسانات محیط وفق داده و کاهش مصرف انرژی را به همراه دارند. جهت این تغییر فاز، لازم است که انرژی از اطراف جذب یا به آن بازگردانده شود. این مواد انرژی لازم را از محیط به صورت حرارت جذب کرده و در اثر شکسته شدن پیوندهای ساختارشان، به آرامی ذوب می‌شوند. به دلیل اینکه این مواد دارای گرمای نهان ذوب بالا هستند در طول فرآیند ذوب شدن، دما ثابت می‌ماند و حرارت را به صورت گرمای نهان ذوب جذب می‌کنند. ذخیره انرژی گرمایی به صورت نهان به هنگام تغییر فاز جسم از حالت جامد به مایع یا مایع به گاز و یا جامد به جامد صورت می‌گیرد.

یکی از مزیت‌های اصلی این مواد این است که در دمای حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌توانند ۳ تا ۴ برابر انرژی بیشتری در واحد حجم نسبت به گرمای محسوس در جامدات و مایعات ذخیره نمایند. از یک دیدگاهی، مواد تغییرفازدهنده به دو گروه بزرگ تقسیم می‌شوند: مواد معدنی و مواد آلی [۸].

۳-۱- مواد تغییرفازدهنده آلی

این ترکیبات، در دو دسته پارافین‌ها و غیرپارافین‌ها توصیف شده‌اند. در این مواد ذوب و انجماد به طور مکرر و بدون تفکیک فاز انجام می‌شود و در نتیجه افت در گرمای ذوب و نهان و با مقدار دمای کمی فوق تبرید و یا حتی بدون آن متبلور می‌شوند. این گونه مواد معمولاً غیرخورنده می‌باشند [۹].

۳-۱-۱- پارافین‌ها

هیدروکربن‌های خطی آب‌گریز محصول فرعی پالایش نفت خام بوده که فرمول عمومی آن C_nH_{2n+2} می‌باشد. تبلور زنجیر $-(CH_3)$ مقدار زیادی گرمای نهان آزاد می‌کند. همچنین دمای محدوده ذوب و گرمای نهان ذوب با افزایش طول زنجیر افزایش می‌یابند [۱۰]. این مواد از لحاظ شیمیایی بی‌اثر بوده و در زیر دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد پایدار هستند، در هنگام ذوب، کمی تغییر حجم دارند و در حالت مایع، فشار بخار آنها پایین است. به دلیل وجود این خواص، سیستم‌های دارای پارافین، چرخه‌ی انجماد و ذوب بسیار طولانی دارند. این محصولات غیرسمّی، قابل اطمینان، قابل پیش‌بینی، ارزان و غیرخورنده بوده و دارای خاصیت هسته‌گذاری خود به خودی می‌باشند [۱۱].

۳-۱-۲- غیرپارافین‌ها

مواد آلی غیرپارافینی بیشترین مواد تغییرفازدهنده با خواص قابل تغییر به شمار می‌روند. تعداد زیادی از استرها، اسیدهای چرب، الکل‌ها و گلایکول‌ها برای ذخیره انرژی مناسب تشخیص داده شده‌اند. این مواد قابل احتراق بوده و نباید در معرض دماهای بالا، شعله و عوامل اکسیدکننده قرار بگیرند.

۳-۲- مواد تغییرفازدهنده معدنی

این مواد در دو دسته نمک‌های معدنی و فلزات طبقه‌بندی می‌شوند. این نوع مواد به درجه سرمای زیر نقطه انجماد نمی‌رسند و گرمای نفوذی آنها در چرخه کم نمی‌شود.

۳-۲-۱- نمک‌های غیرآلی هیدراته شده

نمک‌های غیرآلی هیدراته ترکیبات فلزی نمک‌های غیرآلی و یک جامد بلوری با فرمول عمومی $AB.nH_2O$ می‌باشند. نمک گالبر ($H_2O.Na_2SO_4$) نمونه آشنایی از این دسته مواد است. این مواد دارای محدوده جذب و آزادسازی دمای ۴۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند. تغییر شکل جامد- مایع نمک‌های هیدراته در واقع آب‌گیری از هیدراسیون نمک است، اگرچه این فرآیند به صورت ترمودینامیکی به ذوب یا انجماد شبیه است. یک نمک هیدراته در هنگام ذوب به یک نمک هیدراته دیگر با تعداد مول کمتر آب تبدیل می‌شود. نمک‌های هیدراته مهمترین گروه مواد تغییرفازدهنده هستند که به طورگسترده برای سیستم‌های ذخیره انرژی گرمایی نهان مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. مهمترین خصوصیات نمک-های هیدراته عبارتند از:

۱- گرمای نهان ذوب بالا به ازای واحد حجم (در حدود ۳۵۰ مگاژول بر مترمکعب)

۲- هدایت گرمایی نسبتاً بالا (تقریباً دو برابر پارافین‌ها و در حدود ۰/۵ وات بر متر درجه سانتیگراد)

۳- تغییر حجم کم در هنگام ذوب. این گونه نمک‌ها خورنده نبوده، با پلاستیک‌ها سازگار هستند و سمیت کمی دارند. به‌علاوه، بسیاری از نمک‌های هیدراته جهت استفاده در ذخیره‌سازی ارزان می‌باشند [۱۲].

۳-۲-۲- ترکیبات فلزی

این دسته شامل فلزات با نقطه ذوب پایین و اوتکتیک‌های فلزی است. این مواد فلزی به سبب وزنی که دارند، به طور جدی به عنوان مواد تغییرفازدهنده مورد توجه قرار نگرفته‌اند. اما هنگامی که حجم مدنظر قرار می‌گیرد، به واسطه داشتن گرمای ذوب به ازای واحد حجم بالا، برگزیدگان احتمالی می‌باشند. آنها همچنین هدایت گرمایی بالا دارند. تفاوت اصلی میان این مواد فلزی و سایر مواد تغییر فاز دهنده، هدایت گرمایی بالای آنها می‌باشد. تعدادی از این ترکیبات فلزی، ترکیبات گالیوم، ایندیوم، کادمیوم، بیسموت، سرب و قلع می‌باشند.

۳-۲-۳- اوتکتیک‌ها

یک اوتکتیک، ترکیبی از دو یا چند جزء می‌باشد که هر کدام از آنها به صورت متجانس ذوب و منجمد شده و مخلوطی از بلورهای اجزا را در طول تبلور تشکیل می‌دهند. اوتکتیک به واسطه آنکه با ترکیب مشخصی از بلورها منجمد شده و اجزا شانسی برای جدایی ندارند، تقریباً همواره بدون تفکیک، ذوب و منجمد می‌گردند.

www.SID.ir

Archive of SID

۴- کاربرد PCMها

PCMها با توجه به دمای تغییر فازشان، کاربردهای متنوعی پیدا کرده‌اند. باتوجه 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، گلخانه‌ها و دیگر موارد به کار می‌روند. این مواد را می‌توان در ساختمان و در اجزایی مجزا برای کاربردهای گرمایش و سرمایش به‌کار برد از جمله تخته‌گچ، سیستم‌های گرمایش کف، تخته‌های سقفی و یا دیوار ترومبی [۱۳].

۵- کاربرد PCM در منسوجات

در کاربردهای نساجی مواد تغییرفازدهنده‌ای که در دمایی کمتر یا بیشتر از دمای بدن تغییر فاز می‌دهند، مناسب می‌باشند. از آنجا که تغییر فاز یک فرآیند دینامیک است، بنابراین مواد، بسته به میـــزان فعالیت فیزیکی بدن و دمای بیرون، دائماً از حالتی به حالت دیگر تغییر می‌کنند. خاصیت تنظیم دما در الیاف بشر ساخت توســـط افزودن میکروکپسول‌های ماده تغییرفازدهنده درون محلول پلیمری قبل از اکستروژن لیف حاصل می‌شود. در این فرآیند میکروکپســـول‌های ماده تغییرفازدهنده درون لیف گنجانده می‌شوند. تکنیک‌های پوشش‌دهی[1]دو جزئی و ریخته‌گری تزریقی[2] برخی از فرآیندهای مناسب بوده که برای به کارگیری مواد تغییرفازدهنده درون ماتریکس منسوج استفاده می‌گردند [۱۴].

البسه گرم، به لباس‌هایی که در دمای پایین حرارت بدن را در اطراف خود نگه می‌دارد گفته می‌شود. کارکرد لباس به گونه‌ای است که مانع از سرد شدن بدن در دمای پایین می‌شود. در لباس معمولی به کمک لایه‌های هوایی عایق‌بندی بوجود می‌آید که کارایی البسه گرم را فراهم می‌کند اما در شرایطی که لباس در اثر باران یا حتی تعریق خیس شود یا وزش باد وجود داشته باشد این عایق هوایی از بین می‌رود، در این شرایط می‌توان به کمک مواد تغییرفازدهنده این امکان را فراهم کرد که حتی در شرایط نامتعادل گفته شده هم از ویژگی البسه گرم استفاده کرد.

تکنولوژی مواد تغییرفازدهنده در نساجی به این معنی است که میکروکپسول‌های PCM به ساختار لباس اضافه می‌شود. با این عمل خاصیت کارایی دمایی لباس افزایش می‌یابد. مکانیزم عملکرد مواد تغییرفازدهنده در نگهداری حرارت و یکنواخت‌سازی دما به این گونه است که این میکروکپسول‌ها می‌توانند با تغییر فاز از حالت جامد به مایع و بالعکس، انرژی مورد نیاز و همین طور انرژی اضافی را در خود ذخیره کند.

میکروکپسول کردن یک فرآیند پوشاندن است که طی آن یک جسم توسط جسمی دیگر احاطه می‌شود و در مقیاس بسیار کوچک در محدوده‌ی اندازه کوچکتر از یک میکرون تا چند میکرون است. میکروکپسول های تغییرفازدهنده در لباس‌های نظامی، تحولی بزرگی در صنعت نساجی ایجاد کرده است.

۶- لباس هوشمند

لباس هوشمند به معنای توانایی احساس محرک‌ها از محیط و واکنش نشان دادن به این محرک‌ها است. به عبارت دیگر به معنای سازگاری رفتار و شرایط نسبت به یکدیگر است [۱۵]. لباس هوشمند پدیده جدیدی نیست و حدود چهل سال از معرفی آن می‌گذرد، اما در سال‌های اخیر با توجه به نیاز روز افزون، این پژوهش رو به گسترش است. کاربرد اولیه این نوع منسوجات در راستای اهداف نظامی بوده، اما در حال حاضر در زمینه‌ی سرگرمی روزمره، پزشکی و ایمنی به خصوص پوشاک جایگاه خاصی یافته است. در ایده‌ی ایجاد فناوری لباس هوشمند علاوه بر خلاقیت و طراحی ظاهری، نیازمندی‌های کاربر در زمینه‌ی ارگونومی، روانی، زیست مکانیکی و فیزیولوژی با درصد بالاتری در نظر گرفته می‌شود [۱۶]. هدف نهایی در طراحی این نوع پوشاک، تولید محصولی است که در مرحله اول نیازمندی و محدودیت موجود در مسیر کاربر را رفع کند. ارتقاء سطح بهداشت، سهولت استفاده، محافظت در برابر نور خورشید، راحتی در کنار ظاهری زیبا و متناسب با مد از جمله نیازمندی‌های امروزه طرفداران این نوع پوشاک می‌باشد.

طراحی لباس هوشمند متأثر از چهار دسته کلی ذکر شده و در کنار آن نیازمندی اجتماعی، چالش‌ها و پیچیدگی‌هایی را نیز به همراه دارد که توسعه و پیشرفت عملی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. در طراحی لباس هوشمند موارد فرآیند طراحی، نیاز کارکردی، پذیرش کاربر و در مرحله آخر مواد و فناوری ساخت موردنظر است. لباس هوشمند باید قابلیت‌های لازم برای فناوری درنظرگرفته شده را دارا باشد. لباس هوشمند براساس درجه هوشمند به‌دسته‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

۱- منسوجات هوشمند غیرفعال (حسگرها)، تغییرات محیط اطراف را احساس می‌کنند.

۲- منسوجات هوشمند فعال که قدرت عکس‌العمل و راه‌اندازی مجدد در برابر تغییرات را دارند.

۳- منسوجات بسیار هوشمند که علاوه‌بر احساس و عکس‌العمل، قابلیت تطبیق رفتار و شرایط در این نوع لباس‌ها فراهم می‌کنند. در اغلب موارد لباس هوشمند برای درک نیازمندی‌های کاربر در زمینه‌های محیطی طراحی می‌شود و در شرایط نیاز خدمات مناسبی را ارائه می‌دهند [۱۷].

۴- منسوجات فوق‌العاده هوشمند که قادر به انجام وظیفه براساس یک طرح و برنامه‌ریزی از قبل تعیین شده است [۱۸].

برای یک لباس هوشمند ۵ واحد در نظر گرفته می‌شود که شامل موارد زیر است:

۱- سنسور: پارامتر مورد نیاز را از محیط اطراف یا بدن دریافت کرده و به کمک لباس که در تماس مستقیم با بدن قرار دارد تغییرات را اندازه‌گیری می‌کند.

۲- پردازشگر: این دسته از تجهیزات الکترونیکی به صورت بسته‌های ضدآب و انعطاف‌پذیر هستند. هر داده‌ی دریافتی نیز به پردازش، برای خروجی محصول دارد وجود این قطعات الکترونیکی به فرم مینیاتوری این امکان را فراهم می‌کند تا اطلاعات دریافتی از طریق سنسورها پردازش شوند.

۳- واحد عمل‌کننده: واحدی که در برابر کنش و تغییر ایجاد شده واکنشی را نشان دهد، مانند ایجاد صدا یا تغییر شکل. مواد تغییر شکل دهنده حافظه‌دار برای این واحد مناسب است، عملکرد این مواد به صورتی هست که با تغییرات حرارتی، تغییر شکل می‌دهند و در حالتی که محیط به

۱. Coating

2. Injection molding

www.SID.ir

Archive of SID

شرایط استاندارد تعریف شده بازگردد، دوباره به حالت قبلی تغییر شکل می‌دهد.

۴- انباره: نقش یک باتری را دارد که انرژی مصرفی مورد نیاز در طی فرآیند پردازش را در خود ذخیره می‌کند. این انرژی از طریق انرژی خورشیدی، حرارت و حرکات مکانیکی بدن تامین می‌شود.

۵- سیستم ارتباطی: به کمک الیاف نوری و الیاف رسانا ارتباط بین اجزا در لباس برقرار می‌شود.

در لباس هوشمند و تکنولوژی پوشیدنی، پارچه‌ها مواد اولیه هستند. اما اجزای منفعل در ساخت پوشاک نیستند. در ترکیب لباس، اجزای فناوری باید در پیکره‌ی پارچه قرار بگیرند.

۶-۱- نمونه‌هایی ازپارچه‌های هوشمند

گورتکس[۱] پارچه حاوی غشایی از جنس کربن است و مانع از انتشار بوی انسان که توسط حیوانات قابل درک است، می‌شود. این پارچه برای سیاحان و شکارچیان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

کول مکس[۲] پارچه‌هایی هستند که می‌توانند رطوبت بدن را اندازه بگیرند. این نوع پارچه در پوشاک دوندگان و کسانی که راهپیمایی می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پارچه، با استفاده از نانوذرات TiO_2 به روش رسوب‌نشانی لایه لایه، سطح آب دوستی لباس افزایش داده می‌شود. به کمک این نانوذرات، رطوبت موجود بر روی بدن را منتقل و اجازه می‌دهد که تبخیر شود. در این صورت، هیچ گونه احساس رطوبت در پارچه وجود نخواهد داشت.

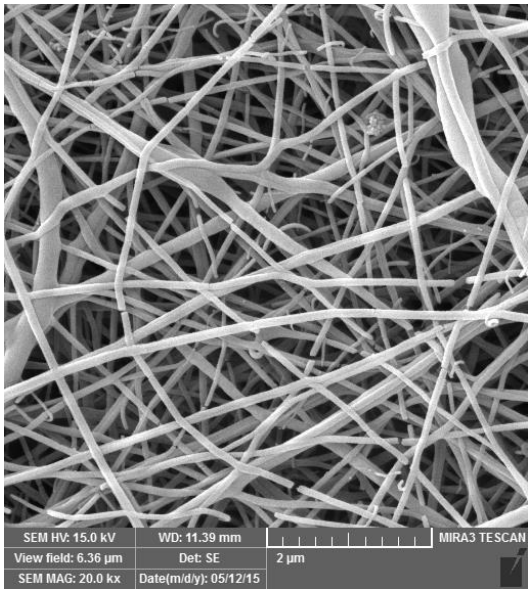
اینوا[۳] پارچه‌ای از جنس یک نوع پلی‌اولفین جدید است. این پارچه با انتقال عرق از روی پوست، منجر به تبخیر آن شده و در این حالت بدن در هنگام فعالیت بدنی، خنک نگه داشته می‌شود.

پارچه‌ها با فناوری جدید، ارزش خاصی به لباس می‌دهند که در پارچه-های سنتی این امکان وجود ندارد. ساختار اصلی در پارچه‌های هوشمند وجود الیاف و نانوالیاف ارتقاء یافته است. پارچه‌ی معمولی مانند پنبه و الیاف مصنوعی با فناوری نانو بهبود یافته و به پارچه‌هایی تبدیل می‌شوند که در کنار ویژگی‌های فیزیکی گذشته، ویژگی‌های ضدآب، ضدلک، ضدباکتری و ضدالکتریسیته ساکن را بدست می‌آورد.

۷- نانوالیاف

نانوالیاف، اصطلاحی است که برای رشته‌های کوتاه با قطری کمتر از ۵۰۰ نانومتر استفاده می‌شود. در زمینه‌های گوناگونی از جمله تولید لباس محافظ، پزشکی و منسوجات پزشکی، به‌عنوان تقویت‌کننده در کامپوزیت‌ها، مهندسی بافت، صنایع دفاعی و حسگرها کاربرد دارند [۱۸]. به طور کلی نانوساختارهای یک‌بعدی توخالی (مانند نانولوله‌ها) از اهمیت فراوانی در حوزه‌های مختلف مانند الکترونیک، نانوسیال‌ها، ذخیره انرژی و میکرو-کپسول‌ها برخوردار است.

نانوالیاف به سه دسته‌ی الیاف معمولی، الیاف میکرونی و نانوالیاف طبقه-بندی می‌شوند. خاصیت اصلی این مواد، نسبت طول به قطر بسیار بالا می-باشد. شکل ۲ نمونه‌ای از نانوالیاف سنتز شده توسط باباپور و همکارانش را به روش الکتروریسی نشان می‌دهد.



شکل ۲ نمونه‌ای از نانوالیاف سنتز شده

۷-۱- روش تولید

چندین روش برای تولید نانوالیاف وجود دارد از جمله این روش‌ها کشش، جداسازی الیاف چندجزئی، روش قالب، دمش، جدایش فازی، خودآرایی مولکول‌ها و الکتروریسی[۴] است.

۷-۲- روش الکتروریسی

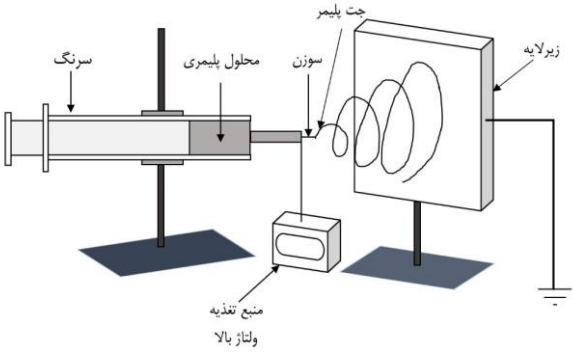
ریسندگی الکتریکی یا الکتروریسی یکی از روش‌ها برای تولید الیاف پلیمری است که از محلول مذاب و محلول پلیمری در آن استفاده می‌شود. این روش در میان روش‌های ذکر شده، بهتر و مناسب‌تر است. سادگی، تنوع، سرعت، مقرون به صرفه بودن و شرایط مناسب تجاری‌سازی، دلیل این برتری است [۱۸].

فرآیند به این صورت است که محلول مورد نظر به کمک سرنگ که به یک نازل متصل است، به سطح جمع کننده مواد تزریق می‌شود، وجود اختلاف پتانسیل بین نازل و سطح سبب باردار شدن محلول پلیمری و پلیمریزه کردن الیاف می‌شود و در نهایت نانوالیاف پلیمره از نازل خارج می-شود. مهم‌ترین کاربرد الکتروریسی در زمینه مهندسی نساجی و کاربردهای فیلترکننده می‌باشد. در این روش می‌توان از مواد دیگری جهت بهبود خواص نانوالیاف استفاده کرد. شکل ۳ فرآیند الکتروریسی را نشان می‌دهد.

۱ Gore Tex
۲ Coolmax
۳ Innova
۴ Electrospinning

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ نحوه‌ی الکتروریسی

در کنار تمامی خصوصیات و ویژگی‌های جدید که باعث ارتقاء نانوالیاف می‌شود، ذخیره انرژی گرمایی به کمک نانوالیاف در لباس هوشمند دستاوردی مؤثر در زمینه انرژی تجدیدپذیر و محیط‌زیست است.

PCM ها بر اساس شرایط و محیطی که نیاز به کاربردشان است انتخاب می‌شوند. PCM ها باید ویژگی‌های خاصی ازجمله دمای تغییر فاز مناسب، ضریب انتقال حرارت بالا و گرمای نهان بالا داشته باشند. بالا بودن میزان گرمای نهان شرایطی را فراهم می‌کند تا مقدار کم از ماده PCM انرژی بیشتری در خود ذخیره و در سیکل‌های بعدی رهاسازی کند. محدوده‌ی تغییر دمای ذوب و انجماد PCM مورد نظر باید متناسب با محدوده تغییرات گرمایش و سرمایش سیستم هدف باشد. عموماً مواد تغییرفازدهنده محدودیت‌هایی مانند پایین بودن ضریب هدایت حرارتی را دارند. ضریب هدایت حرارتی بالا در ذخیره‌سازی و رهاسازی انرژی مؤثر است. یوتکتیک اسیدهای چرب نمونه‌ای از PCMهایی هستند که ضریب هدایتی پایینی دارند. محققان در طی آزمایشات و تحقیقات انجام شده به این نتیجه رسیده‌اند که می‌توان با افزودن اکسیدهای فلزی مانند اکسید سیلیسیوم، اکسید روی و اکسید آلومینیوم به محلول تولید نانوالیاف، میزان ضریب هدایت حرارتی نانوالیاف تغییرفازدهنده تولید شده را افزایش داد. با افزودن نانوذرات اکسید فلزی ضریب هدایت حرارتی نانوالیاف تا حدود ۹۶٪ نسبت به کامپوزیت پلیمری پایه بهبود می‌یابد. این دسته از مواد تغییرفازدهنده با توجه به محدوده‌ی دمایی که دارند و نزدیک به دمای بدن انسان است، در صنعت نساجی کاربرد مؤثرتری دارند. مواد تغییرفازدهنده، تجدیدپذیر بوده و به دفعات در سیکلهای مختلف گرمایش و سرمایش قابل استفاده هستند. در برخی موارد ممکن تا ده هزار سیکل نیز خواص خود را حفظ کنند. این بستگی به نوع ماده، شرایط ذوب، شرایط انجماد، شرایط محیط عملیاتی و دارد. محدوده دمایی کاربرد این تکنیک نیز در مواد مختلف، فرق می‌کند. چون مواد تغییرفازدهنده، محدوده ذوب و محدوده انجماد مختلفی دارند که برحسب مکان و شرایط کاربرد مواد تغییرفازدهنده، باید ماده مناسب همراه با محدوده دمایی مناسب ذوب و انجماد انتخاب شود [۱۵، ۱۶].

۸- کاربردهای منسوجات حاوی مواد تغییرفازدهنده

برای استفاده از مواد تغییرفازدهنده در منسوجات از روش انتقال میکروکپسول‌ها استفاده می‌شود. میکروکپسول کردن یک فرآیند پوشاندن است که طی آن یک جسم توسط جسمی دیگر احاطه می‌شود و در مقیاس بسیار کوچک در محدوده‌ی اندازه کوچکتر از یک میکرون تا چند میکرون است [۱۹].

میکروکپسول‌های تغییرفازدهنده در لباس‌ها تحولی بزرگی در صنعت نساجی ایجاد کرده است. در مناطقی که در درجه حرارت بالا و یا در درجه حرارت پایین قرار دارند اختلاف دما بین روز و شب در طول سال بسیار زیاد است. بنابراین باید تأثیر درجه حرارت بالا و دمای پایین را در تجهیزات الکترونیکی در نظر گرفت [۲۰]. مواد نساجی پوشیده شده با PCM گرمای بیش از حد را در صورت رها شدن آن ذخیره می‌کنند و هنگامی‌که گرما لازم است دوباره آن را برمی‌گردانند. شکل ۴ چند نمونه از میکروکپسول را نشان می‌دهد.

شکل ۴ میکروکپسول تغییرفازدهنده

لباس هوشمند به عنوان یک سیستم نظارت نوآورانه بر سلامت و ترکیبی از تکنیک‌های تولید نساجی به منظور رفع نواقص لباس‌های پوشیدنی مرسوم، در این زمینه مواد تغییرفازدهنده برای انواع مختلف پارچه از جمله پوشاک، لباس زیر، جوراب، کفش، لوازم جانبی تختخواب و کیسه خواب بسیار کاربرد دارد. در ادامه، مختصری از کاربردهای مواد تغییرفاز دهنده در زمینه نساجی توضیح داده می‌شود.

۸-۱- فضانوردی

نخستین استفاده از تکنولوژی مواد تغییرفازدهنده، استفاده در دستکش‌ها و لباس‌های فضانوردی بود که از فضانوردان در برابر سرمای زیاد، محافظت می‌کرد.

۸-۲- البسه ورزشی

گرمای تولید شده درحین فعالیت ورزشی ورزشکاران اغلب به مقدار لازم به محیط اطراف انتقال داده نشده و این امر باعث بروز تنش حرارتی می‌شود. وجود ماده تغییرفازدهنده می‌تواند این گرمای اضافی را جذب نموده و در فرصت مناسب آن را آزاد کند. دستکش‌های اسنوبرد، لباس زیر و لباس کوهنوردی، لباس زیر برای دوچرخه‌سواری و دو، چکمه‌های اسکی، چکمه‌های کوهنوردی، چکمه‌های راننده‌های رالی، کاله و دستکش

www.SID.ir

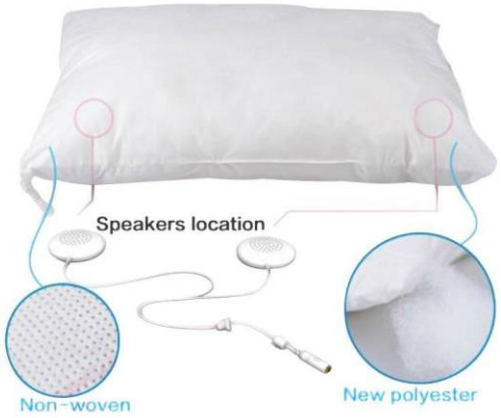
Archive of SID

موتورســـواری و کفش گلف، مثال‌هایی از کاربردهای مواد تغییرفازدهنده در البسه ورزشی می‌باشند. شکل ۵ نمونه‌ای از کاربرد مواد تغییرفازدهنده در البسه ورزشی را نشان می‌دهد [۲۰].

شکل ۵ لباس ورزشی هوشمند با ساختار مواد تغییرفازدهنده

۸-۳- لوازم خواب

میکروکپســـول‌های حاوی مواد تغییرفازدهنده تعبیه شـــده درون لحاف، بالش و تشک‌ها، کنترل فعال دما در رختخواب را امکان‌پذیر می‌سازند. هنگامی که بدن گرم می‌شود، گرمای اضافه جذب شـــده و بدن خنک می‌ماند و هنگامی که بدن سرد شود گرمای جذب شده آزاد شده و بدن همچنان گرم نگه داشته می‌شود. شکل ۶ نمونه‌ای از کاربرد مواد تغییرفازدهنده در لوازم خواب را نشان می‌دهد.



شکل ۶ لوازم خواب مجهز به فناوری هوشمند

۸-۴- کاربردهای پزشکی

پارچه‌های عمل شـــده با PEG در مصارف پزشکی و بهداشتی که انتقال مایعات و خواص ضدمیکروبی مورد انتظار را تأمین می‌نمایند (نظیر باندهای جراحی و پوشک)، قابل استفاده می‌باشند. همچنین منسوجات حاوی مواد تغییرفازدهنده که می‌توانند دمای پوست را در محدوده راحتی ثابت نگه دارند، در بانداژها کاربرد دارند.

۹- سایر کاربردها

مواد تغییرفازدهنده در منسوجات مربوط به خودرو، نظیر روکش صندلی‌ها نیز استفاده می‌شود. روکش داخلی سقف اتومبیل، کلاه‌های ایمنی آتش‌نشانان و کارگران، لباس آتش‌نشانان و غواصان نمونه‌های دیگری از کاربرد مواد تغییرفازدهنده در نساجی می‌باشند [۲۵-۲۱].

اگر چه میکروکپسول‌های PCM خاصیت تنظیم دما را می‌دهند ولی آن‌ها می‌توانند دیگر خواص مرتبط با راحتی را تحت تأثیر قرار دهند، به‌ویژه در مواقع کاربرد موضعی میکروکپسول‌ها، باعث تغییرات شدیدی در خصوصیات سطحی مواد می‌شوند. میزان تغییر در این مواد به میزان ظرفیت میکروکپسول‌های PCM بستگی دارد. از این رو لازم است پارچه‌های عمل شده با میکروکپسول‌های PCM قبل از کاربرد آن‌ها در لباس، خواص آن‌ها بررسی و اندازه‌گیری شود.

۱۰- منابع

[۱] علیرضا، حقیقی، عزیز، باباپور، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر راهی مؤثر جهت کاهش آلودگی محیط‌زیست، *فصلنامه علمی و ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو*، سال پنجم، شماره اول، بهار ۱۳۹۷.

[۲] الهام، غضنفری، عزیز، باباپور، نگاهی نو به انرژی تجدیدپذیر باد در ایران، *یازدهمین کنگره ملی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون*، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، شهریور ۱۳۹۷.

[۳] مهدیه، طهماسبی، فرشته، رحیم پور، پروا، رافضی، عزیز، باباپور، مروری بر نانومواد هوشمند در صنعت نساجی، *چهارمین همایش علمی مهندسی فرآیند*، شرکت هم‌اندیشان انرژی کیمیا، تهران، ایران، خرداد ۱۳۹۴.

[۴] عزیز، باباپور، میثم، کرمانشاهی، داوود، محمدی، مروری بر توسعه پایدار شهری با رویکرد زیست‌محیطی، *دومین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار*، همدان، ایران، خرداد ۱۳۹۴.

[۵] یونس، عباسی، میرحسین، مظلومی اصل شیخلار، امیر، بهروزی، بهرام، پناهی، عزیز، باباپور، مروری بر ارتباط آلودگی هوای صنایع نفت، گاز و پتروشیمی با توسعه پایدار، *دومین همایش ملی برنامه‌ریزی، حفاظت، حمایت از محیط‌زیست و توسعه پایدار*، دانشکده شهید مفتح، همدان، ایران، اسفند ۱۳۹۳.

[۶] محمدمهدی، عزیزی، عزیز باباپور، رضا، پیشکار آذری، مروری بر کاربرد مواد تغییر فازدهنده در کنترل دمایی انواع باتری، *اولین همایش ملی کاربرد علوم شیمی در صنایع دارویی، شیمیایی و محیط زیست*، دانشگاه آزاد واحد اهر، اسفند ۱۳۹۳.

[۷] مهدیه ریحان، مسعودی، عزیز، باباپور، مروری بر مواد تغییر فازدهنده به عنوان منبع ارزشمند انرژی، *ششمین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد*، تهران، آبان ۱۳۹۳.

www.SID.ir

Archive of SID

[۸] M. Sakkaki, F. Sadegh Moghanlou, S. Parvizi, H. Baghbanijavid, A. Babapoor, M. Shahedi Asl, Phase change materials as quenching media for heat treatment of 42CrMo4 steels, *Journal of Central South University* 27(2020), 752-761.

[۹] اعظم، نعمتی، مسائل طراحی در حوزه پوشاک کارکردی هوشمند، *علوم و فناوری پوشاک و نساجی*، دوره جدید، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶.

[۱۰] A. Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi, Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2009), 318–345.

[۱۱] روح الله، مهراقا، علی، خلیلی، نانوالیاف هوشمند کاربردها و سنتز آنها به روش الکتروریسی، *موسسه آموزش عالی جامی*، اسفند ۱۳۹۲.

[12] H. Liu, H. B. Awbi, Performance of phase change material boards under natural convection, *Building and Environment*, 44 (2009), 1788–1793.

[۱۳] علی، کاووسی‌نژاد، بهزاد، عبدالملکی، محسن پرور، مواد تغییرفازدهنده و ویژگی آنها، *دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک*، ۱۳۹۲.

[۱۴] N. Sarier, E. Onder, The manufacture of microencapsulated phase change materials suitable for the design of thermally enhanced fabrics, *Thermochimica Acta*, 452 (2007), 149–160.

[۱۵] A. Babapoor, G. Karimi, Thermal properties measurement and heat storage analysis of paraffin-nanoparticles composites phase change material: comparison and optimization, *Applied Thermal Engineering*, 90 (2015), 945-951.

[۱۶] F. Samimi, A. Babapoor, M. Azizi, G. Karimi, Thermal management analysis of a Li-ion battery cell using phase change material loaded with carbon fibers, *Energy*, 96 (2016), 355-371.

[۱۷] علی، رضایی، عزیز، باباپور، مهدی، احمدی، مروری بر بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان از دیدگاه مهندسی شیمی، *ششمین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد*، تهران، آبان ۱۳۹۳،

[۱۸] S. Mondal, Phase change materials for smart textiles-An overview, *Applied Thermal Engineering*, 28 (2008), 1536-1550.

[۱۹] عزیز، باباپور، فریبا، کریمیان، غلامرضا، کریمی، مدلسازی عددی کاربرد نانومواد تغییر فازدهنده، *کنفرانس ملی مهندسی مکانیک*، ملایر، ۱۳۹۲.

[۲۰] L. Jain, S.D. Sharma, Phase change materials for day lighting and glazed insulation in buildings, *Journal of Engineering Science and Technology*, 3 (2009), 322-327.

[۲۱] A. Babapoor, G. Karimi, S. Sabbaghi, Thermal characteristic of nanocomposite phase change materials during solidification process, *Journal of Energy Storage*, 7 (2016). 74-81.

[۲۲] A. Babapoor, G. Karimi, M. Khorram, Fabrication and characterization of nanofiber-nanoparticle-composites with phase change materials by electrospinning, *Applied Thermal Engineering*, 99(2016), 1225-1235.

[۲۳] G. Karimi, ; M. M Azizi, A. Babapoor, Experimental study of a cylindrical lithium ion battery thermal management using phase change material composites, *Journal of Energy Storage*, 8(2016), 168–174.

[۲۴] A. Babapoor; G. Karimi, S.I Golestaneh, M. Ahmadi Mezjin, Coaxial electro-spun PEG/PA6 composite fibers: fabrication and characterization, *Applied Thermal Engineering*, 118(2017), 398-407.

[۲۵] S.I Golestaneh, G. Karimi, A. Babapoor , F. Torabi, Thermal performance of co-electrospun fatty acid nanofiber composites in the presence of nanoparticles, *Applied Energy*, 212(2018), 552-564.

www.SID.ir