

[www.kandoo.cn.com](http://www.kandoo.cn.com)

موضوع:

[www.kandoo.cn.com](http://www.kandoo.cn.com)

**توسعه تکنولوژی هوشمند**

**برای منسوجات و پوشاک**

[www.kandoo.cn.com](http://www.kandoo.cn.com)

[www.kandoo.cn.com](http://www.kandoo.cn.com)

## ۱- مقدمه

از قرن نوزدهم، تغییرات تحول گونه با سرعتی غیر قابل انتظار در بسیاری از حوزه های علم و تکنولوژی صورت گرفته است که اثرات عمیقی بر زندگی بشر گذاشته است. اختراع چیپ های الکترونیکی، رایانه ها، اینترنت، کشف و تکمیل نقشه ژنوم انسانی و بسیاری موارد دیگر کل جهان را تغییر داده است قرن گذشته پیشرفت های فوق العاده ای نیز در صنعت منسوجات و پوشاک بوجود آورده که دارای تاریخ چند هزار ساله است. شالوده های اساسی درک علوم طراحی شده است تا راهنمای کاربرد بهینه و پردازش تکنولوژی الیاف طبیعی و تولید الیاف سنتزی باشد. ما چیزهای زیادی از طبیعت آموخته ایم. رایون و یسکوز، نایلون، پلی استر و سایر الیاف سنتزی در ابتدا براساس تقلید از همتهای طبیعی آنها ابداع گردید. این تکنولوژی به گونه ای پیشرفت کرده است که الیاف سنتزی و محصولات آنها در بسیاری از جنبه ها از آنها فراتر رفته است.

روش های بیولوژیکی برای سنتز کردن پلیمرها یا منسوجات بیانگر یک روش دوستانه محیط زیستی و انعطاف پذیر برای بکارگیری منابع طبیعی است. طراحی و پردازش به کمک رایانه ها، اتوماسیون با کنترل راه دور متمرکز یا پراکنده و سیستم های مدیریت تأمین زنجیره ای متمرکز اینترنت محور بیش از پیش مشتری ها را به ابتدای زنجیره نزدیک می کند.

با نگاه به جلو درمی یابیم که در آینده این وضعیت بیشتر هم خواهد شد. در نتیجه توسعه های بعد ما باید انتظار چه ظرفیت های جدیدی را داشته باشیم؟ این ظرفیت ها حداقل باید شامل مقیاس نانو، پیچیدگی، شناخت و کل گرایی باشد. توانایی جدید مقیاس ترا سه درجه اهمیت را علاوه بر هدف کلی حاضر و توانایی های محاسباتی قابل دسترسی کلی به ما می دهد. در یک زمان کوتاه ما به میلیون ها سیستم و بیلیون ها اطلاعات موجود در اینترنت متصل خواهیم شد. تکنولوژی هایی که امکان بیش از یک تریلیون عمل در ثانیه را می دهند در دستور کار پژوهش است. تکنولوژی در مقیاس نانو سه درجه اهمیت پایین تر از اندازه بیشتر ابزار انسان ساخته امروزی را به ما می دهد. این تکنولوژی به ما امکان می دهد تا اتم ها و مولکول ها را به گونه ای کم هزینه و با بیشترین روشهای ممکن از نظر قوانین فیزیکی چینش کنیم. این تکنولوژی به ما اجازه می دهد تا ابررایانه هایی بسازیم که روی سر یک الیاف و دسته ای از نانوروبوت های پزشکی کوچکتر از یک سلول انسان قرار بگیرد تا سرطانها، عفونت ها، شریانهای مسدود شده و حتی سن پیری را درمان کند. تولید مولکولی دقیقاً مشخص می کند که چه چیزی باید ساخته شود و هیچ ماده آلوده کننده ای تولید نمی گردد.

ما در این دوره هیجان انگیز زندگی می کنیم و تأثیرات بزرگ تکنولوژی بر صنعت نساجی و پوشاک سنتی که دارای یک چنین تاریخ طولانی است حس می کنیم. به لحاظ سنتی بسیاری از حوزه های علم و مهندسی تفکیک و متمایز شده اند. اخیراً حرکت قابل توجه و

همگرایی بین این حوزه های تلاشگری صورت گرفته و نتایج آن خیره کننده بوده است. تکنولوژی اسمارت برای مواد اولیه و ساختارها یکی از این نتایج است.

ساختارها و مواد هوشمند چه هستند؟ در طبیعت مثال های زیادی از ساختارهای هوشمند وجود دارد. یک موجود زنده تک سلولی ساده میتواند مبانی موضوع را روشن کند.

همانگونه که در شکل ۱-۱ نشان داده شده شرایط متنوع زیست محیطی یا محرک ها روی لایه بیرونی عمل می کنند. این شرایط با محرک ها ممکن است به شکل نیرو، درجه حرارت، تشعشع، واکنش های شیمیایی و میدانهای مغناطیسی و الکتریکی باشد.

حسگرهای موجود در لایه بیرونی این اثرات شناسایی می کند و اطلاعات حاصله برای تفسیر و پردازش سیگنال به نقطه ای متصل می شود. که در آن سلول نسبت به این شرایط زیست محیطی یا محرک ها به روشهای متعددی مانند حرکت، تغییر ترکیب شیمیایی و کنش های باز تولیدی، واکنش نشان می دهد. طبیعت بیلیون ها سال و یک آزمایشگاه وسیع در اختیار داشته تا زندگی را توسعه دهد، در حالیکه نوع انسانی تازه شروع به خلق ساختارها و مواد هوشمند کرده است.

ساختارها و مواد هوشمند را میتوان به صورت مواد و ساختارهایی تعریف کرد که محرکها یا شرایط محیطی، مانند آنچه از منابع مکانیکی، گرمایی، شیمیایی، الکتریکی، مغناطیسی یا سایر منابع حاصل می شود، را حس کرده و نسبت به آن واکنش نشان می دهد. بر طبق حالت واکنش می توان آنها را به مواد هوشمند منفعل، هوشمند فعال و بسیار هوشمند تقسیم کرد.

مواد هوشمند منفعل فقط می توانند شرایط محیطی یا محرک ها را حس کنند؛ مواد خیلی هوشمند خودشان می توانند حس کرده، واکنش نشان دهند و سازگار شوند. حتی سطح بالاتری از هوش را میتوان از ساختارها و مواد هوشمند کسب کرد که قادرند پاسخ داده یا برای اجرای یک عمل در یک حالت دستی یا از پیش برنامه ریزی شده فعال شوند.

در اینگونه مواد سه جزء ممکن است وجود داشته باشد: حس گرها، محرک ها و واحدهای کنترل. حسگرها یک سیستم عصبی را برای شناسایی سیگنال ها تأمین می کنند. بنابراین در یک ماده هوشمند منفعل، وجود حسگرها ضروری است. محرک ها به طور مستقیم از یک واحد کنترل روی سیگنال های شناسایی شده کار می کنند. آنها نیز به همراه حسگرها عناصر ضروری برای مواد هوشمند فعال می باشند. حتی در سطوح بالاتر، همانند مواد هوشمند یا خیلی هوشمند، نوع دیگری از واحد ضروری است، که همانند مغز از طریق شناخت، استدلال و فعال سازی ظرفیت ها عمل می کند. اینگونه ساختارها و مواد منسوج در نتیجه ترکیب موفق تکنولوژی پوشاک و منسوجات سنتی با علم مواد، مکانیک های ساختاری، حسگرها و تکنولوژی محرک ها، تکنولوژی پردازش پیشرفته، ارتباطات، هوش مصنوعی، بیولوژی و غیره، در حال تبدیل شدن به یک امر ممکن است.

## ۲- توسعه تکنولوژی هوشمند برای منسوجات و پوشاک

ما همیشه تحریک شده ایم که به منظور خلق مواد پوشاک خود که دارای سطوح بالاتری از کارکرد هوشمندی باشند از طبیعت تقلید کنیم. توسعه میکروفیبرها (ریزالیاف ها) مثال خوبی است که ابتدا از مطالعه و تقلید ابریشم آغاز می گردد، سپس با ایجاد محصولات دقیق تر و از بسیاری جهات بهتر ادامه می یابد.

اما تا به حال بیشتر منسوجات و پوشاک بیجان بوده اند. این موضوع جالب است که پوشاکی مانند پوست خود داشته باشیم که یک لایه از ماده هوشمند است. پوست دارای حسگرهایی است که فشار، درد، دما و ... را شناسایی می کند. این پوست به همراه مغز ما می تواند به صورت هوشمند با محرکهای محیطی برخورد کند. پوست مقدار زیادی تعریق انجام می دهد تا بدن را هنگامی که داغ است خنک کند و هنگامیکه سرد است گردش خون را تحریک می نماید. پوست هنگامی که در معرض نور خورشید قرار گیرد (مدت زیاد)، رنگ خود را تغییر می دهد تا از بدن ما محافظت کند. پوست نفوذپذیر است و اجازه می دهد رطوبت به داخل نفوذ کند و در عین حال از ورود مواد ناخواسته جلوگیری می نماید. پوست می تواند پوست اندازی کرده و خود را بازسازی نماید. پس مطالعه در مورد ساخت یک ماده هوشمند مانند پوست یک مقوله بسیار چالش دار است.

در دهه قبل، پژوهش و بررسی درباره ساختارها و مواد هوشمند به ایجاد گستره وسیعی از محصولات هوشمند جدید در هوا فضا، حمل و نقل، ارتباطات راه دور، خانه ها، ساختمانها

و فوق ساختارها منجر شد. اگر چه این تکنولوژی بطور کلی جدید است اما بعضی عرصه ها به مرحله ای رسیده اند که کاربرد صنعتی برای منسوجات و پوشاک هم امکانپذیر است و هم ماندنی.

بسیاری از کاربردهای مهیج نمایش جهانی داشته است. پارچه ها و الیاف تولید کننده و نگهدارنده گرما که از برنامه فضایی توسعه یافت. اکنون در لباس اسکی، کفش، کلاههای محافظ ورزشی و ابزارهای عایق کاری مورد استفاده قرار گرفته است. از منسوجات و اجزای مرکب به همراه حسگرهای فیبر نوری برای نظارت بر سلامت پیل ها و ساختمانها مورد استفاده قرار می گیرد. اولین نسل مادربوردهای پوشیدنی تولید شده است که دارای حسگرهایی درون لباس بوده و قادر به شناسایی زخم و اطلاعات سلامت فرد می باشد و این اطلاعات را از راه دور به بیمارستان منتقل می کند. از پلیمرهای حافظه شکل برای منسوجات به شکل الیاف، فیلم و فوم استفاده شده است که نتیجه آن گستره ای از لباس ها و پارچه های دارای عملکرد بالا به ویژه لباسهای مربوط به دریا می باشد. حسگرهای الیاف که توانایی اندازه گیری دما، کشش و فشار، گاز، گونه های بیولوژیکی و بو را دارند، الیاف هوشمندی هستند که میتوان از آنها مستقیماً در منسوجات استفاده کرد. محرکهای پلیمر محور رسانا به سطوح خیلی بالایی از چگالی انرژی دست یافته اند. پوشاکی که خود دارای احساس و مغز باشد، مانند کفش ها و بارانی هایی که دارای سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) و تکنولوژی تلفن همراه هستند میتوانند موقعیت فرد را به او داده و جهت را برایش



مشخص کنند. ارگانها و بافتهای بیولوژیکی، مانند گوش و بینی را میتوان از کالبدهای منسوج که از الیاف زیست تجزیه پذیر ساخته شده، پرورش داد. منسوجات ترکیب شده با نانو مواد می تواند از ظرفیت جذب خیلی زیاد انرژی و دیگر تابع ها مانند آزمایش نمونه، مقاومت جذب، تابش نور و غیره بهره برد.

چالش هایی که پیش روی ما قرار دارد، مانند پژوهش و توسعه تکنولوژی هوشمند و سازگاری آن با صنایع وابسته بکار تیمی چند وجهی، که مرز انضباطهای سنتی در آن نامشخص می شود با چنان سرعت زیادی رخ می دهد که قبلا دیده نشده است. بعضی از عرصه های پژوهش را میتوان به صورت زیر گروه بندی کرد.

برای حسگرها / محرک ها

- مواد حساس به نور - غشاء / پوشش هوشمند

- الیاف نوری - پلیمرهای حساس به مواد شیمیایی

- پلیمرهای رسانا - مواد حساس به اعمال مکانیکی

- مواد حساس به گرما - میکرو کپسول ها

- مواد نانو و میکرو

برای انتقال، پردازش و کنترل سیگنال

- شبکه عصبی و سیستم های کنترلی

- نظریه شناخت و سیستم های آن



برای فرایندها و محصولات مجتمع

- مواد الکترونیک و فوتونیک قابل پوشیدن

- ساختارهای حساس و انطباقی

- بیومیمتیک ها (تقلید کننده های زیستی)

- پردازشگری زیستی

- مهندسی بافت

- رهاسازی دارو / مواد شیمیایی

فعالتهای مربوط به پژوهش و توسعه با گستره ای جهانی هم در مؤسسات پژوهشی

آکادمیک و هم در شرکتها صورت گرفته است. تیم های پژوهشی در آمریکای شمالی،

کشورهای اروپایی و آسیایی بطور فعال کار انجام داده اند که نتایج قابل توجهی به شکل

محصولات تجاری یا انتشارات پژوهشی به دست آمده است.

### ۳- رؤس مطالب

هدف این مجموعه ویرایش شده، که یک بازبینی و بررسی آخرین توسعه های تکنولوژی

هوشمند مربوط به منسوجات و پوشاک است. مخاطبین این؟؟ دانشگاهیان، پژوهشگران،

طراحان، مهندسان عرصه توسعه محصولات منسوج و پوشاک و فارغ التحصیلان و

دانشجویان کالج ها و دانشگاهها می باشند.

همچنین این مجموعه میتواند آخرین بینش های مربوط به توسعه تکنولوژیک را به مدیران شرکتهای منسوجات و پوشاک بدهد.

این مطالب با مشارکت هیئتی از کارشناسان بین المللی در این زمینه تهیه شده و بسیاری از جنبه های توسعه و پژوهش را پوشش می دهد. تحقیق متشکل از ۱۷ فصل می باشد که میتوان آن را به چهار بخش تقسیم کرد. بخش اول (فصل ۱) اطلاعات زمینه ای مربوط به تکنولوژی هوشمند برای منسوجات و پوشاک و خلاصه ای از مرور بر تولیدات و ساختار پروژه را به دست می دهد. بخش دوم شامل موضوعات مربوط به الیاف یا مواد است که از فصل ۲ تا ۳ می باشد. فصل ۲ به موضوعات مربوط به مواد پلیمری فعال شونده به وسیله برق و کاربردهای الاستومرها و ژل پلیمر غیر یونی برای ماهیچه های مصنوعی می پردازد. فصل ۳ و مربوط به پارچه ها و الیاف حساس به گرما است.

در بخش سوم تمرکز بر فرایندهای مجتمع سازی و ساختارهای مجتمع است و خود شامل فصلهای دیگر است. فصل ۴ مروری بر تولید و جریان های کلیدی ترکیبات هوشمند فیبر نوری است. فصل ۵ بیان کننده غشاءهای فیبرتوخالی برای جداسازی گاز است. فصل ۶ قلاب دوزی را به عنوان یک روش مجتمع سازی اجزاء تشکیل دهنده فیبر در ساختارهای منسوج توصیف می کند.

بخش چهارم روی کاربردهای زیست شناختی تمرکز دارد. فصل ۷ فرآیندهای زیست شناختی مختلف برای پوشاک و منسوجات هوشمند را توضیح می دهد. ما فقط بخش

کوچکی از تکنولوژی ظهور را از طریق پنجره این تحقیق دیده ایم . امکانپذیری های ارائه شده بوسیله این تکنولوژی هوشمند بسیار زیاد گسترده است. حتی در حالیکه کتاب در حال آماده شدن بود، بسیاری از پیشرفت های جدید از سراسر جهان جمع آوری گردیده است. ما امیدواریم که این تحقیق بتواند به پژوهشگران و طراحان پوشاک و منسوجات ایفای هوشمند در آینده جهت واقعیت بخشیدن به رؤیاهایشان ، کمک کننده باشد.

## ۱- مقدمه

تلاش های زیادی برای کاربردی کردن مواد پلیمری که مواد «هوشمند» نامیده میشوند صورت گرفته است (شکل ۱-۲). ماهیچه مصنوعی یا محرک هوشمند یکی از اهداف اینگونه تلاش ها است. از لحاظ تاریخی مواد محرک اساساً در ترکیبات غیر آلی مورد بررسی قرار گرفته است. بطور خاص، ماشه های بکار رفته برای تحریک، معمولاً در یک حوزه کاربردی الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته اند که علت آن سهولت کنترل می باشد. مواد پلیمری بررسی شده از این منظور خیلی محدود بوده و برای ایجاد کشش خیلی کوچکتر از مواد غیر آلی می باشد.

از سوی دیگر، مواد پلیمری مانند ژل های پلیمر معلوم شده که کشش های بسیار زیادی را ماشه های مختلف مانند تبدیل حلال، پرش PH، پرش دما و غیره ایجاد می کند، اگر چه که واکنش و دوام نسبتاً ضعیف تر هستند و از آنها در محرک های عملی استفاده نشده است.

در زمینه مهندسی مکانیک، توسعه فرایند براده برداری میکرو با نیازمندی های تکنولوژی های ساخت میکرو و مونتاژ ابزار میکرو مواجه است و انتظارات زیادی از ظهور مواد هوشمند می رود که بتواند فرایند ساخت و تولید میکرو را تا حد زیادی ساده کند.

تحت این شرایط، محرک ژل پلیمر بعنوان یکی از محتمل ترین کاندیدها بعنوان یک ماده ماهیچه مانند بیولوژیکی نرم با تغییر شکل زیاد علیرغم دوام کم آن است. پژوهشهای زیادی

روی مواد جامد سخت بعنوان محرک مانند پلی (وینیلیدن فلوراید) (PVDF) صورت گرفته که یک پلیمر پیزو الکتریک شناخته شده است و ساختارهای کریستال نقش بحرانی برای تحریک بازی می کند و کشش القایی در مقایسه با ماهیچه های مصنوعی ژل که در فصل بعد توضیح داده خواهد شد، بسیار کوچک است اگر چه PVDF، ساختار کریستال الکتریکی در آن نیاز دارد، موادی که در این قسمت مورد بحث قرار می گیرند به چنین محدودیت هایی نیاز ندارد.

تحریک القایی الکتریکی رسمی بیشتر روی ژل های پلیمری یونی صورت گرفته است. علت این است که گونه های یونی نسبت به میدان الکتریکی بسیار حساس می باشند. ژل های یونی اثبات شده که موادی فوق العاده محرک و الکترواکتیو هستند

اما ما تحریک الکتریکی ژل پلیمری غیر یونی یا الاستومتر را آزمایش کردیم چرا برای تحریک الکتریکی باید از ژل پلیمری غیر یونی استفاده شود؟ زیرا ژل پلیمری غیر یونی در صورتیکه بوسیله یک میدان الکتریکی تحریک شود نسبت به ژل پلیمری یونی به جهات متعدد برتر است. در مواد ژل الکتریکی، الکترولیز معمولاً روی الکترودها اجتناب ناپذیر است، و همراه با یک جریان الکتریکی زیاد و تولید گرما همراه است. بعبارت دیگر مصرف الکتروشیمیایی اجتناب ناپذیر است، اگر چه که این واقعیت در بیشتر مقالات مورد توجه قرار نگرفته است. در ژل های پلیمری غیر یونی هیچ فرایندی مانند این محسوب نشده است و این به دوام خوب مواد منجر می شود. علاوه بر این مزیت ها دامنه تغییر شکل و سرعت

واکنش نیز بسیار سریع تر  $10\text{ms}$  درجه و بزرگتر بیش از  $100\%$  از همین مواد برای ژل های پلی الکترولیت است.

مفهوم مکانیسم ساده است و میتوان از آن برای مواد پلیمری رسمی شامل موادی که بطور رایج در صنایع نساجی و الیاف بکار می رود، استفاده کرد. این مفهوم همچنین برای الاستومترهای غیر یونی که حاوی هیچ حلالی نیستند هم قابل استفاده است. روشی که ما بیان کردیم یک راه مطمئن برای تولید ماهیچه مصنوعی در آینده است. مفاهیم متعددی که بوسیله سایر پژوهشگران ارائه شده و بطور موفقیت آمیز برای ژل های محرک بکار رفته نیز در مقایسه با روش ما معرفی شده است.

## ۲- مواد پلیمری بعنوان محرک ها یا ماهیچه مصنوعی

ژل پلیمری یک ماده پلیمری الکترواکتیو است. انواع مختلف مواد پلیمری الکترواکتیو وجود دارد. همانگونه که در بخش بالا ذکر شد، پلی الکترولیت یکی از آنها است و بعنوان یک ژل الکترواکتیو بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است. ما در بخش بعد به تفصیل بیشتری در مورد این ماده بحث خواهیم کرد.

مواد پلیمر فروالکتریک مانند PVDF یا مشتقات آن ذکر شده اند، چون آنها نیز مانند مواد فروالکتریک رفتار می کنند (شکل ۲-۲). آنها دارای خاصیت کریستالی هستند و کریستال ها از طریق کنترل روش آمادگی پلی مورفیزم را نشان می دهند، کارهای بسیار بیشتری روی خواص پیروالکتریک و یا پیزوالکتریک صورت گرفته است که همراه با خواص آنها به

عنوان محرک های الکترواکتیو می باشد این مواد از مدتها قبل بعنوان پلیمرهای نوعی الکترواکتیو محسوب شده بودند. بوسیله این مواد میتوان نتیجه گرفت که کشش القایی به مواد پلیمر زیاد نیست. معلوم شده که ضریب الکترو استریکتیو برای پلیمرها کم است. اینها پلیمرهای غیر یونی هستند و کشش القایی از جهت گیری مجدد یا تغییر شکل کریستال های پلاریزه در مواد جامد نشأت می گیرد.

نوع دیگری از پلیمر اکتیو الکتریکی وجود دارد که به پلیمر الکتروکانداکتیو معروف است که در آن زنجیره های پلیمر شامل پیوندهای دو گانه بلند می باشد و این ساختار شیمیایی خواص الکتروکانداکتیو را به پلیمرها می افزاید. در این موارد، تغییر شکل القایی الکتریکی، فرض بر این است که از واکنش های الکتروشیمیایی مانند اکسیداسیون و کاهش زنجیره پلیمر نشأت گرفته است. برای تغییر شکل، بعضی افزودنی ها مانند افزوده هایی که برای تحریک مؤثر و ضروری هستند شناخته شده است. بنابراین تحریک الکتریکی این مواد در حضور آب مورد بررسی قرار گرفته است، مشابه مورد ژن های پلی الکترولیت. پلی پیرول و پلی آنیلین مثال های نوعی آن می باشند (شکل ۳-۲)

### ۳- مشخصه محرک ژل پلیمر

مسیر ژل های پلیمر از مواد پلیمر سخت جامد متفاوت است. زنجیره های پلیمر در ژل معمولاً از نظر فیزیکی و شیمیایی متقاطع محسوب شده و یک ساختار شبکه ای سه بعدی را تشکیل می دهند. برای مثال ژل پلیمر معمولاً موضوعی است که با حلال خوب آن مشخص



می شود و ویژگی های آن از یک حالت پلیمر تقریباً جامد به یک محلول با مقدار خیلی کم تبدیل شده است اما باز هم شکل خود را حفظ می کند. این تبدیل فوق العاده در خواص فیزیکی حوزه عملکرد ژل را گسترش می دهد.

از دیدگاه محرک، ژل همانند یک محرک جامد یا ماهیچه بیولوژیکی یا همانند یک آمیب بی شکل رفتار می کند. ژل همچنین دارای حالت های تحریک مختلف است، حجم متقارن با تورم و عدم تورم، رفتار تورمی متقارن، تغییر شکل متقارن و تغییر شکل نامتقارن تغییر می کند (شکل ۵-۲) کشش القا شده در ژل نیز می تواند فوق العاده زیاد باشد که این به ساختار متقاطع در ژل بستگی دارد.

#### ۴- محرک های لازم برای بکار انداختن ژل های پلیمر

همانگونه که از خواص فیزیکی متنوع ژل و تنوع گسترده حالت های انگیزی انتظار می رود، محرک های مختلفی برای تحریک ژل های پلیمری وجود دارد. محرک ها را میتوان به دو گروه تقسیم کرد، محرک های شیمیایی و محرک های فیزیکی (شکل ۶-۲). مبادله حلال بعنوان محرک های شیمیایی شامل جهش هایی در پلاریته حلال (مثلاً از حلال خوب به داخل حلال ضعیف)، در pH (مثلاً در ژل پلی الکترولیت ضعیف از یک شرایط گسسته به یک شرایط پیوسته) و در قدرت یونی استفاده از بدون نمک یا لخته شدن می باشد. این دو نوع به همراه تورم و تورم زدایی حلال و تغییر شکل تا زمانیکه ژل دارای یک ساختار همگن باشد، معمولاً متقارن است (شکل ۷-۲). جهش دما، که یک

محرك فیزیکی است، نیز میتواند در جایی که حلالیت دارای یک دمای گذرای بحرانی باشد، تغییر شکل متقارن را به ژل های پلیمری خاص القا کند. مثال های نوعی ژل های پلی (وینیل امیل اتر) و پلی (N-ایزو پروپیل اکریلامید) می باشند. این ژل ها دارای جذب آب بیشتر در دماهای پایین و تورم زدایی در دمای بحرانی ویژه حدود  $30-40^{\circ}\text{C}$  هستند (شکل ۲-۸). دمای گذرا را می توان به وسیله تغییر ساختار شیمیایی کنترل کرد. در مورد ژل نامتحرک پوریز، افزودن اوره که زیر مجموعه یوریز است، تورم و تورم زدایی به وسیله تغییر pH القایی توسط واکنش آنزیم صورت می گیرد (شکل ۲-۹).

یک محرك فیزیکی مانند تابش دهی نور برای تحریک یک ژل که در آن ایزومراسیون معکوس نور القایی صورت می گیرد و ایزومراسیون همراه با کشش فیزیکی مناسب است. در این حالت تغییر معمولاً نامتقارن است و ژل در جهت یا مخالف جهت تابش دهی منحرف می شود که این امر به واکنش فوتو القایی بستگی دارد. (شکل ۲-۱۰)

در حالت کاربرد میدان الکتریکی، ژل ها معمولاً منحرف می شوند. چون این میدان توزیع شارژ نامتقارن را القا می کند و باعث کشش نامتقارن در ژل می شود. توزیع شارژ نامتقارن را میتوان به آسانی در ژل های پلی الکترولیت القا نمود. و به همین دلیل است که ژل پلی الکترولیت اساساً به عنوان ماده پلیمر الکتروداکتیو مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۲-۱۱).

کاربرد میدان مغناطیسی نیز میتواند زمانیکه یک ساختار با گونه های حساس به میدان مغناطیسی در آنها وجود داشته باشد، یک کشش را در ژل القا کند. ما ابتدا ایده استفاده از

یک ابرسیال پارامغناطیس برای یک ژل را مطرح نمودیم. ما دریافتیم که ژل نسبت به زاویه میدان مغناطیسی حساس و نسبت به القای کشش بسیار حساس است، و تغییر ساختار در ژل مورد بررسی قرار گرفته بود (شکل ۱۲-۲). زرینی و همکارانش همین مواد را مورد بررسی قرار داده و با کنترل میدان مغناطیسی به تغییر شکل ناپیوسته ژل پی بردند.

## ۵- ژل های پلیمر الکترو- اکتیو بعنوان ماهیچه های مصنوعی

در میان مواد محرک پلیمری ذکر شده در بالا، ژل پلیمر دارای یک خاصیت مهم بعنوان یک ماده با کشش زیاد است. همانگونه که در بخش قبل بیان شد، میدان الکتریکی یکی از بهترین محرک ها برای تحریک عملی است. الکترواکتیو در ارتباط با ژل های پلی الکترولیت ذکر شده است، چون آنها حاوی گونه های یونی هستند. اما گونه های یونی نه تنها نسبت به میدان الکتریکی حساس اند بلکه معمولاً از نظر الکتروشیمیایی فعال و همراه با الکترولیز روی الکترودها می باشند. واکنش های الکتروشیمیایی اغلب باعث افزایش جریان و تولید گرما می شوند. این فرایندها فقط باعث اتلاف انرژی گردیده و در ایجاد کشش مشارکت نمی کنند. بنابراین، واکنش های الکتروشیمیایی در بیشتر موارد یک فرایند نامطلوب است. ژل های پلی الکترولیت و مواد مربوطه علیرغم مشکلات بسیار آنها برای محرک های عملی، باز هم در صدر مواد پلیمر الکترواکتیو قرار دارند.

برای غلبه بر مشکلات در پلی الکترولیت ها، مانند مصرف الکتروشیمیایی الکترودها، ما خواص الکترواکتیو ژل پلیمر غیر یونی را مورد بررسی قرار دادیم.

## ۱-۵- ژل های پلی الکترولیت الکترواکتیو

همانگونه که در بخش قبل اشاره شد ژل های پلی الکترولیت بعنوان مواد محرک الکترواکتیو مورد بررسی قرار گرفته اند. این مفهوم از وجود گونه های یونی الکترواکتیو در ژل ها است. گونه های یونی میتوانند جابجا شده و تشکیل توزیع محلی و یا واکنش های الکتروشیمیایی در ژل دهند که باعث تغییر شکل آن میشود.

### ۱-۱-۵- ژل پلی (اکریلیک اسید)

در میان ژل های پلی الکترولیت، ژل پلی آکریلیک اسید (PAA) اولین پلی الکترولیت بود که بعنوان یک ژل پلیمر الکترواکتیو مورد بررسی قرار گرفت. شیگا و همکاران دریافتند که ژل PAA را میتوان با استفاده از میدان الکتریکی DC و در حضور نمک تغییر شکل داد. یک میله ژل PAA در محلول آبی نمکی فرو برده شد (شکل ۱۴-۲). الکترودهای پلاتینوم از سطح ژل جدا شدند و از میدان DC در دو طرف ژل استفاده شد. شیگا و همکاران به یک انحراف کم در حرکت ژل پی بردند که دامنه انحراف به نمک و غلظت آن بستگی داشت. آنها همچنین به یک تغییر شکل نامتقارن در ژل پی بردند، زمانیکه از میدان جدا از دو سر میله ژل استفاده شده بود (شکل ۱۵-۲). در این حالت، یک سر ژل پژمرده شده و سر دیگر متورم میشود. این حرکت به وسیله رفتار تورمی نامتقارن در این میدان توصیف شده است. تغییر شکل به وسیله معادله زیر که به وسیله فلوری مشتق گیری شده توصیف گردیده است.

که در آن  $\pi$  فشار اسمزی کل است که برابر است با مجموع سه نوع فشار اسمزی  $\pi_1, \pi_2, \pi_3$  می باشد و از تعامل بین زنجیر پلیمر و حلال، از کشسانی لاستیکی ژل و از تفاوت های غلظت گونه های یونی که به ترتیب داخل و خارج از ژل قرار دارند، نشأت می گیرد. پارامترهای  $T, R, C_j, C_i, V_1, V_e, V_0, X, v$  به ترتیب عبارتند از کسر حجمی پلیمر، پارامتر تعامل بین پلیمر و حلال، حجم پلیمر خشک شده، شماره زنجیر مؤثر در شبکه، حجم مولی حلال، غلظت گونه های I در ژل، غلظت گونه های Z در محلول خارجی، ثابت گاز و درجه حرارت مطلق.

تصور این بود که این فرایند از یک وقفه فشار اسمزی القا شده به وسیله تمرکز گونه های یونی قدرت حلال پوششی متفاوت نشأت می گیرد. شیگا و همکاران روش آماده سازی را به منظور غلبه بر مشکل بهینه سازی کردند. آنها الکترودها را روی سطح ژل قرار دادند و ژل فینگر درون محلول آبی را با موفقیت نشان دادند (شکل ۱۶-۲).

۲-۱-۵- مشخص شد که ژل (۲-آکریلامیدو - ۲- متیل پروپان سولفونیک اسید)

(PAMPS) جنبدگی کرمی شکل را تحمل می کند (شکل ۱۷-۲). اساس این تغییر شکل

مبتنی بر یک واکنش مولکولی الکتروکینتیک مولکولهای مواد فعال در سطح هیدروژن

است که تعاملات الکترواستاتیک و هیدروفوبیک ایجاد شده و منجر به فشردگی

ناهمسانگرد برای انحراف به سمت آند می گردد. هنگامی که میدان معکوس شود،

ادمولکول های فعال در سطح روی سطح ژل جدا شده و به سمت آند می رود. در عوض

مولکولهای جدید فعال در سطح از طرف مقابل ژل نزدیک شده و تشکیل کمپلکس می دهند، بنابراین ژل منبسط می گردد. مواد فعال در سطح مانند N-؟ پیریدینیوم کلراید ( $Cl_2PYC_1$ ) مورد استفاده قرار گرفت که در مدت یک ثانیه جذب سطحی گردید و به سادگی محاسبه شد تا نسبت تشکیل کمپلکس کمتر از  $10^{-3} * 10$  را به دست دهد، این توضیح که انحراف سریع و زیاد در یک میدان مغناطیسی فقط به وسیله پیچیدگی و پژمردگی سطح ژل امکانپذیر است.

۳-۱-۵- ژل یونومر پرفلورو سولفونات

یک هیدروژن فیلم یونومر پرفلورو سولفونات (Nafion of Dupont) با ضخامت  $Ca 0.2mm$  مشخص شد که یک ماده الکترواکتیو مؤثر است (شکل ۱۸-۲). این ماده را میتوان به وسیله یک میدان DC با ولتاژ کم مثلاً ۳ ولت تحریک کرد. موفقیت به وسیله توسعه رسوبگیری شیمیایی الکتروود روی سطح غشاء بدست آمد. اصل مکانیسم تغییر شکل تا حدی شبیه حالت سایر ژل های پلی الکتروولیت است یعنی غشاء نیاز به وجود آب و نمک دارد و مواجهه با مصرف الکتروشیمیایی اجتناب ناپذیر است. اما زمان پاسخ و دوام آن بسیار بیشتر از سایر مواد ژل است. علاوه بر این، فرایند تحریک تحت تأثیر جدی واکنش های الکتروشیمیایی قرار ندارد و شرایط کاری بطور مناسب تحت کنترل می باشد. بهبود بازده میتوان تصور کرد که از ساختار شیمیایی غشاء و حضور همزمان آبگریزی قوی و آبدوستی قوی در یک زنجیره پلیمر نشأت می گیرد.



## ۲-۵- ژل های پلیمر غیر یونی الکترواکتیو

با مرور مواد ذکر شده در بالا مشخص می شود که یکی از نقایص جدی ژل های پلی الکترولیت مصرف الکتروشیمیایی روی الکتروود در یک میدان الکتریکی است. مصرف الکتروشیمیایی باعث دوام ضعیف ژل های پلی الکترولیت شده و میدانهای کاربردی آنها را محدود می سازد.

بنابراین، مؤلف تلاش کرده تا از ژل های پلیمری غیر یونی بعنوان مواد تحریک کننده با تغییر شکل زیاد استفاده کند. نتایج نشان می دهد که این ایده در حالتی پربازده تر از حد انتظار عمل می کند اما این مکانیسم تغییر کرده و آنچه در ابتدا انتظار می رفت نخواهد بود. این ویژگی با تفصیل بیشتری در زیر توصیف گردیده است.

### ۱-۲-۵- کشش در جهت میدان

ژل پلی (وینیل الکل) DMSO بوسیله ترکیب کردن ارتباط متقاطع فیزیکی و ارتباط متقاطع شیمیایی با گلو تارالدهید (GA) تهیه گردید. پس از ارتباط متقاطع شیمیایی، ارتباط متقاطع فیزیکی بوسیله تبدیل حلال به DMSO خالص حذف گردید. بنابراین ژل متقاطع از نظر شیمیایی حاصله دارای یک ساختار همگن از نظر الکترونیکی است. بنابراین ژل PVA-DMSO دارای هیچ پلاریزاسیون درونی در ساختار خودش نیست، و ایجاد کشش الکتروستیکتیو با استفاده از یک میدان الکتریکی DC مورد انتظار است. نتایج با این انتظار موافق است و این کشش متناسب با توان دوم میدان است (شکل ۱۹-۲). کشش مشاهده شده



در جهت میدان به بیش از ۷٪ می‌رسد. زمان پاسخ بسیار سریع است، کشش بزرگ در مدت ۰/۱s حاصل می‌شود و شکل ژل بطور لحظه ای با خاموش شدن میدان ذخیره می‌گردد. جریان مشاهده شده حدود ۱ mA در ۲۵۰ V/mm است که بسیار کوچکتر از ژل های پلی الکترولیت می‌باشد. این جریان را میتوان با خالص سازی بیشتر پلیمر و حلال پایین آورد. با تقویت کشش به اندازه ۳۰۰ درجه می‌توانیم کشش سریع الکترو اکتیو را در حرکت نوسانی نشان دهیم. پیشنهاد شده که حرکت نوسانی تا ۱۰ Hz شتاب داده شود، اگر چه که نمایش در ۲ Hz صورت گرفت (شکل ۲۰-۲).

#### ۲-۲-۵- جهت گیری الکتریکی حلال

کشش القا شده در جهت میدان را نمی‌توان با نیروی جاذب الکترواستاتیک بین الکترودها توضیح داد. تأثیر میدان الکترواستاتیک انتظار می‌رفت که کمتر از ۲۵٪ کشش مشاهده شده تحت شرایط آزمایش باشد. بنابراین ما باید توضیح دیگری برای ایجاد کشش در ژل پیدا کنیم در ابتدا، ما انتظار داریم جهت گیری مولکول حلال در یک میدان الکتریکی کشش ایجاد شده در ژل را از میان تغییرات تعاملات بین حلال و پلیمر، که شبکه ژل را تشکیل می‌دهند، هدایت کند.

به منظور مشاهده اثرات میدان الکتریکی بر جهت گیری حلال، DMSO از طیف نمایی رامان استفاده شد. این مولکول دارای یک گشتاور دوقطبی قوی است و میتوان انتظار داشت که در امتداد جهت میدان قرار گیرد (شکل ۳۱-۲). این جهت گیری بسیار کارآمد است

حتی در میدان های الکتریکی نسبتاً پایین، اما این جهت گیری در حداکثر شدت میدان کاهش می یابد (شکل ۲۲-۲). تغییر شکل ژل در ناحیه دارای میدان بالاتر نسبت به جهت گیری حداکثر بیشتر است و بیانگر آن است که جهت گیری حلال با تغییر شکل ژل ارتباط مستقیم ندارد.

۳-۲-۵- انحراف و حرکت خزیده همراه با کشش بسیار زیاد

در مشاهده انقباض در امتداد جهت یک میدان الکتریکی، از صفحات برنجی بعنوان الکترودها استفاده شد. کشش در جهت عمود بر میدان نیز قابل مشاهده بود. در این اندازه گیری ها، از تغییر شکل خمش ژل ها جلوگیری شده یا بطور کامل فشرده می گردد.

هنگامیکه ما بطور دقیق تغییر شکل ژل را مشاهده کردیم، جریان حلال و چند تغییر شکل نامتقارن درون ژل مطرح گردید. اما الکترودهای متداول یا یک ورقه فلزی نازک با ضخامت  $10 \mu\text{m}$  منجر به هیچگونه تغییر شکل موثری نگردید. ما از الکترودهای طلایی بسیار نازک با ضخامت  $0.1 \mu\text{m}$  استفاده نمودیم و هر دو سطح ژل را با ورقه های نازک پوشاندیم. ورقه فلزی به اندازه کافی نرم است و حتی اختلال در تغییر شکل کوچکی از ژل هم ایجاد نمی کند.

با استفاده از یک میدان الکتریکی DC برای ژل، ژل به سرعت خمیده شده و تا زمانیکه میدان برقرار باشد تغییر شکل را حفظ می کند (شکل ۲۳-۲). خمش در مدت  $60 \text{ms}$  کامل شد و زاویه خمش به بیش از  $90^\circ$  درجه رسید. با خاموش کردن میدان، کشش فوراً رها شد و

ژل شکل قبلی خود را گرفت (شکل ۲۴-۲). خمیدگی از بین رفت تا متناسب با مربع میدان باشد (شکل ۲۵-۲).

با محسوب کردن اندازه ژل (طول ۱cm ، عرض ۵mm ، ضخامت ۲mm) و فرض اینکه حجم ژل در تغییر شکل تغییر نمی کند، می توان تخمین زد که طول کشش ژل بیش از ۱۴۰٪ است. جریان الکتریکی مشاهده شده در این حرکت کمتر از  $30 \mu A$  کمتر از میدان  $V/mm$  ۵۰۰ است.

این پاسخ و کشش زیاد حاصله در ژل PVA-DMSO بزرگترین مقدار در میان مواد ژل پلیمر الکترواکتیو است که تاکنون گزارش شده. جریان کم بیانگر آن است که در این حرکت در مقایسه با ژل های پلی الکترولیت متداول اتلاف انرژی بسیار کمتر است. اتلاف انرژی همانند گرما بسیار کمتر از مورد غشاء flemion یا Nafion بود، بنابراین وقتی اندازه ژل (ضخامت و مساحت) مد نظر قرار گیرد این اتلاف انرژی بسیار کم است.

ژل نیز میتواند تغییر شکل نوع خزنده را نشان دهد. این یک نوع جدید از حرکت است. حرکت خزنده زمانی مشاهده میشود که یک ژل بدون پوشش روی یک ردیف نوار الکتروود قرار گیرد. این حرکت در  $Ca$  ۱ ثانیه کامل میشود.

۴-۲-۵- منشأ توزیع فشار نامتقارن در ژل

یک چنین خمش یا خزش سریع یک ژل پلیمر غیر یونی را نمی توان با گریان شیب فشار اسمزی که معمولاً علت خمش القایی الکتریکی در ژل پلی الکترولیت محسوب

می شود، توضیح داد. همانگونه که در بخش قبل اشاره شد، جریان حلال در ژل مطرح

گردید ما تأثیر یک میدان الکتریکی را بر خاصیت جریانی آن مورد بررسی قرار دادیم.

یک جفت الکتروود شانه مانند در یک سینی مدور پر از DMSO شناور گردید (شکل ۲۷-)

(۲). وقتی از یک میدان DC استفاده شد، حلال شروع به جریان یافتن از آند به کاتد کرد.

سرعت جریان بوسیله پودر پلی استرین شناور روی حلال بعنوان یک ردیاب، اندازه گیری

شد. شدت جریان متناسب با مربع میدان افزایش می یابد (شکل ۲۸-۲). این نتیجه بیانگر آن

است که گرادیان شیب فشار بین الکتروودها تولید شده است.

به منظور تثبیت یک محاسبه کمی از گرادیان شیب فشار یک آزمایش تئوری با برخی از

فرضیه ها که در زیر نشان داده شده صورت گرفت:

۱- فقط یک مقدار از تحرک یون برای یک نوع یون نشان داده می شود.

۲- از آشفتگی در ژل می توان برای محاسبات ساخت فشار صرف نظر کرد.

۳- یونیزه کردن و شتاب دادن الکتروودها با ساخت فشار تداخل نمی کند.

۴- اگر چه فقط یک جریان برآیند خیلی کوچک وجود دارد اما برای تعیین توزیع میدان

کافی است.

۵- انواع مختلف یونها در ساخت فشار با یکدیگر تداخل نمی کنند.

۶- شارژهای سطحی روی حدود حلال دارای یک تأثیر قابل اغماض بر جریان یون و توزیع

میدان است.

معادله زیر از توزیع فشار در یک ژل استنباط شده است:

که در آن  $d, V_0, V, \varepsilon, P(x) - P(0)$  به ترتیب عبارتند از وقفه فشار بین دو موقعیت (روی سطح ژل) و  $X$  (در نقطه  $x$  داخل ژل از سطح ژل) در جهت میدان، ثابت دی الکتریک، ولتاژهای روی سطح ژل و در  $x$  داخل ژل، و ضخامت ژل.

این معادله بیانگر آن است که گرادیان فشار درون ژل با ثابت دی الکتریک ژل و مربع یک میدان الکتریکی متناسب است. به علت آنکه محتوی حلال ژل در سیستم آزمایش ما ۹۸٪ Ca است، ثابت دی الکتریک را میتوان فرض کرد که مساوی ثابت دی الکتریک حلال باشد. با داشتن مقدار کشسانی خمش ژل و فشار تخمینی ما می توانیم توافق فوق العاده ای بین داده های آزمایشی مان و تخمین تئوری ایجاد کنیم (شکل ۲۹-۲).

به منظور مشاهده تأثیر پلیمر بر تغییر شکل القایی الکتریکی نوع دیگری از آزمایش انجام شد. یک جفت الکتروود بلیت در حلال فرو برده شد و از میدان DC بین الکتروودها استفاده شد. حلال بین الکتروودها به طرف بالا کشیده شد (شکل ۳۰-۲) ارتفاع از نظر تئوری با

معادله زیر محاسبه گردید:

(۲-۶)

که در آن  $g, p, d, v, \varepsilon_0, \varepsilon, h$  عبارتند از ارتفاع سطح مایع، ثابت دی الکتریک ژل ثابت دی الکتریک مکش، ولتاژ بکار رفته. فاصله بین الکتروودها، چگالی ژل و ثابت گرانشی. منحنی شکل ۳۰-۲ بصورت تکی محاسبه شد و توافق خوبی با داده های آزمایش

دارد. اما زمانیکه ما از یک محلول DMSO، PVA استفاده کنیم ارتفاع خیلی کمتر از آنچه در حلال مشاهده شده می باشد و علاوه بر این روی هر دو الکتروود فوق العاده نامتقارن بود (شکل ۳۱-۲). محلول بالا آمده و به سطح کاتدی می رسد اما به آند نمی رسد که این بیانگر آنست که معادله فوق دیگر برای محلول پلیمر قابل استفاده نیست.

این پدیده ها دلالت بر آن دارند که محلول پلیمر تمایل به سمت تعویق فرایند تخلیه دارد. تعویق تخلیه باعث انباشت شارژ روی کاتد ژل می شود و وقفه فشار بین طرف کاتد و طرف آند ژل را افزایش می دهد. بنابراین، وجود شبکه پلیمر نیز نقش مهمی در تغییر شکل خمش مؤثر دارد. برای تحلیل مفصل تر باید بررسی کمی بیشتری صورت بگیرد.

۵-۲-۵ کاربرد پذیری روش واکنش حلال تزریق شارژی برای پلیمرهای متداول

مفهوم ارائه شده در بخش قبل را میتوان به صورت روش کشش حلال تزریق شارژی. برتری این روش کاربرد پذیری گسترده آن برای مواد ژل مانند پلیمری غیر یونی متداول است. ما در حال کار کردن روی چند ماده غیر یونی برای ماهیچه های نرم مصنوعی بودیم که بتوان آنها را در هوا تحریک کرد. در اینجا حالت پلی (وینیل کلراید) PVC به طور خلاصه نشان داده خواهد شد. در مورد PVC ما از نرم کننده ها بعنوان حلال استفاده کردیم. اگر چه تتراهیدروفوران یک حلال خوب برای PVC است اما نقطه جوش آن برای آماده سازی ژل پایدار در دمای محیط در هوا، بسیار پایین است.

در مثال نشان داده شده مشخص شد که ژل PVC که با دی اکتیل فتالات (DOP)



با خاموش و روشن کردن میدان الکتریکی مانند یک آمیب خزیدن بر گشت پذیر دارد  
(شکل ۲-۳۲).

تغییر شکل القا شده الکتریکی توزیع نامتقارن شارژ تزریقی است. این مکانیسم تا حدی مشابه مکانیسم ژل پلیمر غیر یونی است (اما نه یکسان) چون جریان حلال در PVC نرم شده تأیید نشده است.

۲-۶- از ژل پلیمر الکترو-اکتیو تا الاستومر (کشپار) الکترو-اکتیو با تغییر شکل زیاد ژل پلیمر غیر یونی متورم شده با حلال دی الکتریک. با تغییر شکل فوق العاده نشان داده شده است، چون پلیمر غیر یونی با نرم کننده غیر یونی نرم شده است.

مکانیسم مطرح شده برای تحریک ژل «کشش حلال شارژ تزریقی» بود و مکانیسم مربوط به پلیمر نرم شده «توزیع شارژ نامتقارن شارژ تزریقی بود»

از مکانیسم دوم می توان برای الاستومرهای غیر یونی استفاده کرد که در آن حرکت زنجیره پلیمر نسبتاً آزادانه است و بنابراین مهاجرت شارژهای تزریقی است. مهاجرت شارژ تزریقی و تعادل سرعت های شارژ و تخلیه باید یک فاکتور بحرانی باشد تا تغییر شکل ایجاد شده در تبادل الکترواستاتیک یک فاکتور عمده در تحریک باشد.

نتایج تجربی الاستومرهای پلی اورتان مفهوم ت و صیف شده در بالا را تأیید می کند. علاوه بر انتظارات ما برخی از ویژگیهای جدید حرکت به طور مفصل روشن شده است مانند تأثیر حافظه، کنترل جهت خمش و غیره (شکل ۲-۳۳).



## ۷- نتیجه گیری ها

در این فصل، انواع مختلف پلیمرهای الکترواکتیو معرفی گردیدند. بعضی از آنها دارای یک تاریخ طولانی به عنوان مواد الکترواکتیو هستند. اما به تازگی ژل های پلیمر و یا الاستومرها، که دارای هیچ پلاریزاسیون ذاتی در ساختار خود نیستند و هیچگونه یونی را نیز شامل نمی شوند، کشش خیلی زیادی را با استفاده از میدان های الکتریکی دارای یک جریان الکتریکی پایین نشان می دهند. اتلاف انرژی در صورتی رخ می دهد که گرما خیلی کمتر از مواد پلی الکترولیت متداول باشد. مفاهیم «کشش حلال شارژ تزریقی» و «توزیع شارژ نامتقارن شارژ تزریقی» به عنوان یک مکانیسم ممکن از تغییر شکل عظیم مطرح شده است. از این مفاهیم میتوان برای پلیمرهای متداول غیریونی گوناگون استفاده کرد. مؤلف قویاً انتظار دارد که مفاهیم حوزه محرک را تا حد ماهیچه مصنوعی گسترش دهد و در آینده در تولید میکروماشین ها یا نانوماشین ها مشارکت داشته باشد.

## ۱- مقدمه تولید

### ۱-۱- مقدمه

بدن انسان خود یک ارگانیسم تنظیم دمایی خود کار است. بدن انسان دائماً در حال تولید گرما،  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  بوسیله متابولیسم غذا و فعالیت ماهیچه ای است. بدن انسان سرعت رهاسازی گرما از طریق انبساط رگهای خونی یا انقباض آنها، فعالیت غدد تعریق و ماهیچه ای و غیره را کنترل می کند و سپس دمای بدن را تنظیم می نماید.

نشان داده شده که راحتترین دمای پوست  $33/4^\circ\text{C}$  است. هنگامیکه دمای هر بخش از پوست بین  $1/5^\circ\text{C}$  تا  $3^\circ\text{C}$  از این دمای ایده آل اختلاف پیدا می کند، بدن انسان از سردی یا گرمی ناآگاه است. اگر این اختلاف بیش از  $4/5^\circ\text{C} \pm$  باشد، بدن انسان احساس ناراحتی می کند. علاوه بر این، یک دمای هسته بدن به میزان  $36/5^\circ\text{C}$  لازم است و افزایش یا کاهش  $1/5^\circ\text{C}$  میتواند مهلک باشد. تعادل بین سرعت اتلاف گرما و گرمای تولید شده باید حفظ شود. زمانیکه مقاومت گرمایی از پوشاک آنها ناکافی باشد و یک فرد به مدت طولانی در یک شرایط دمایی نسبتاً پایین قرار بگیرد، دمای بدن افت می کند. بدن انسان باید با خوردن غذای بیشتر یا افزایش تمرین گرمای بیشتری تولید کند. همچنین بدن با منقبض کردن مویرگ های خونی درون پوست با اتلاف گرما تطبیق داده می شود. اگر دمای هسته کمتر از  $35^\circ\text{C}$  باشد هیپوترمیا می تواند رخ دهد. برعکس در یک محیط داغ بدن باید خودش را خنک کند. بدن گرما تولید می کند و گرمای جذب شده بوسیله پوست از محیط باید

پراکنده شود. در این شرایط بدن مویرگ های خونی را گشاد می کند که باعث تبخیر آب پخش شده از بدن می گردد و در نتیجه اثر خنک کنندگی را افزایش می دهد. این عمل به تعریق تدریجی معروف است. اگر دمای محیط افزایش بیشتری پیدا کند، بدن غدد تعریق را فعال نموده و آب مایع را تبخیر می کند تا خنک سازی افزایش یابد که به تعریق نمایان معروف است. در بعضی محیطهای خاص در اثر دمای زیاد یا مقاومت گرمایی زیاد لباس، در صورتی که بدن نتواند گرمای کافی را دفع کند ممکن است هایپرترمیا رخ بدهد.

مداد سنتی عایق گرما مانند لباس های نخی، کنف، ابریشم، پشم و پولیستر، پلی آمید و الیاف پلی اکریل و غیره درجه ای از مقاومت در مقابل اتلاف گرمای بدن ایجاد می کند که بوسیله تعدادی از بسته های هوای موجود در لباس تعیین شده است. منسوجات جذب کننده گزینش اشعه خورشید که از اواخر ۱۹۸۰ تولید شده اند می توانند اشعه مادون قرمز خورشید را جذب و آنرا به گرما تبدیل کنند، بنابراین باعث افزایش دمای داخلی پوشاک می گردد. منسوجات مادون قرمز دور که از اواخر ۱۹۸۰ تولید شده اند می توانند اشعه مادون قرمز دور تابش از بدن را جذب نموده به گرما تبدیل کنند و باعث افزایش مقاومت گرمایی شوند.

لباس های جذب نور فرابنفش و خنک کننده که از ابتدای ۱۹۹۰ تولید صنعتی شده اند میتوانند نور فرابنفش را جذب و اشعه های نزدیک به فروسرخ از خورشید را بازتاب دهند و باعث پایین آمدن دمای داخلی پوشاک شوند. تمام این منسوجات جدید اصلی مواد عایق گرما و تنظیم کننده دمای یک سویه هستند.

برای حفظ دمای پوست در فاصله  $30/4$  تا  $36/4^{\circ}\text{C}$  ما باید لباس خود را بر طبق دمای بیرونی پوشیده یا بیرون آوریم. اگر لباس بتواند بطور خودکار مقاومت گرمایی خود را بر طبق دما تغییر دهد، میتواند سرعت رهاسازی گرما را کنترل نموده و سپس دمای داخلی را تنظیم نماید. ما لازم نیست که خیلی وقتها لباس را پوشیده یا آنرا بیرون آوریم و دمای داخلی مناسب نه تنها راحتی بدن را افزایش می دهد بلکه تخریب ها را کاهش می دهد.

## ۲-۱- تاریخ تولید و گسترش

پوشاک و منسوجات ذخیره کننده گرما و تنظیم کننده دما مفاهیمی جدیدتر هستند. اینها محصولات جدید تنظیم کننده دما و دو طرفه هستند و به مدت بیش از ۳۰ سال مورد مطالعه قرار گرفته اند. تاریخ تولید پوشاک و منسوجات ذخیره کننده گرما و تنظیم کننده دما در جدول ۱-۳ آورده شده است. دانشمندان به گونه ای فزاینده فرایند تولید و ویژگیهای پوشاک و منسوجات ذخیره کننده گرما و تنظیم کننده دما را به مدت چند دهه مورد مطالعه قرار داده اند. گزارش های بیشتری درباره مقاومت گرمایی فعال و اساسی و کاربردهای آن در آینده ای نزدیک ارائه خواهد شد.

## ۲- اساس مواد ذخیره کننده گرما (گرماگیر)

سه نوع ذخیره کننده گرما وجود دارد: گرماگیرهای آشکار، پنهان و واکنش شیمیایی. گرماگیرهای پنهان مهمترین راه ذخیره سازی گرما است و گرماگیر تغییر فاز نیز نامیده می

شود. مواد گرماگیر پنهان بطور گسترده در طول حدود ۴۰ سال مورد استفاده قرار گرفته است.

اداره ملی هوا فضا آمریکا (NASA) پژوهش کاربردی درباره مواد گرماگیر پنهان را برای آزمایشگاه فضایی در سال ۱۹۶۰ شدت بخشید. از این مواد برای بهبود حفاظت ابزار و فضانوردان در مقابل نوسانات بسیار زیاد دما در فضا استفاده می شد. از مواد گرماگیر پنهان در وسائل نقلیه قمری و پروژه آزمایشگاهی آسمان برای مأموریت آپولو ۱۵ در سال ۱۹۸۰ استفاده شد.

#### ۱-۲- مواد گرماگیر آشکار

یک تغییر دمای آشکار در طول فرآیند جذب و رهاسازی دمای مواد گرماگیر آشکار وجود دارد. آب، فولاد و سنگ بطور گسترده بعنوان مواد گرماگیر آشکار مورد استفاده قرار گرفته اند. آب ارزان ترین و مفیدترین ماده گرماگیر آشکار در فواصل دمایی از  $1^{\circ}\text{C}$  تا  $99^{\circ}\text{C}$  در ۱ اتمسفر استاندارد است. میزان جذب گرمای آب برای  $1^{\circ}\text{C}$  برابر با  $4/18\text{ J/g}$  است.

#### ۲-۲- مواد گرماگیر پنهان

مواد گرماگیر پنهان مواد تغییر فاز (PCM) نیز نامیده می شوند. PCM می تواند با اندکی تغییر دما حرارت را جذب یا رها سازد. PCM میتواند بطور مکرر بین فازهای جامد و مایع تبادل شود تا از گرمای پنهان گذر آنها برای جذب، ذخیره سازی و رهاسازی گرما یا سرما

در طول تبدیل آن فاز استفاده کند. گرماهای نهان گداز بیش از ظرفیت های محسوس گرمای مواد می باشند.

مواد در حالت عادی دارای سه حالت هستند. زمانیکه یک ماده از یک حالت به حالتی دیگر تبدیل می شود این فرایند تغییر فاز نامیده می شود. چهار نوع تغییر فاز وجود دارد. ۱- جامد به مایع ۲- مایع به گاز ۳- جامد به گاز ۴- جامد به جامد

گرما در طول فرایند تغییر فاز جذب یا رها می شود. میزان گرمای جذب شده یا رها شده گرمای نهان نامیده میشود. PCM، که میتواند از حالت جامد به مایع یا مایع به جامد تبدیل شود، پرمصرف ترین ماده گرماگیر در تولید پوشاک و منسوجات تنظیم کننده دما و گرماگیر است. فرجه دمایی ذوب شدن و جذب گرما از ۲۰ تا ۴۰<sup>o</sup>C است و فرجه دمایی کریستالی شدن و رهاسازی گرما از ۳۰ تا ۱۰<sup>o</sup>C می باشد دمای تغییر فاز نمک های غیرآلی هیدراته، محلول آب - الکل پلی هیدریک، گلیکول پلی اتیلن (PEG)، گلیکول پلی تترا متالین (PTMG)، پلی استر آلیفاتیک، هیدروکربن زنجیره خطی، هیدروکربن الکل، هیدروکربن اسید و غیره در این فرجه قرار دارد.

نمک غیر آلی هیدراته یک کریستال نمک غیرآلی با n مولکول آب است. نمک غیرآلی هیدراته که بتوان از آن در تولید پوشاک و منسوجات گرماگیر و تنظیم کننده دما استفاده کرد معمولاً دارای فرجه دمایی حدود ۲۰ تا ۴۰<sup>o</sup>C برای جذب و رهاسازی دماست. بعضی از نمک های غیرآلی هیدراته در جدول ۲-۳ فهرست شده اند. مشاهده شده که ذوب ناهم



نهشت و خنک سازی فوق العاده بیشتر نمک های غیر آلی که در الیاف بکار رفته اند بعد از چرخه های متعدد حرارت دهی و خنک سازی صورت می گیرد. لینیم نیتريت تری هیدرات ۲۵ چرخه، کلسیم کلراید هگزا هیدرات فقط تعداد کمی چرخه و سدیم سولفات و کاهیدرات فقط یک چرخه را پشت سر می گذارند.

۲-۲-۲- پلی هیدریک الکل

۲-۲-۲- دی متیل ۳ و ۱ پروپان دیول (DMP) ۲- هیدروکسی متیل ۲-۱ متیل ۳ و ۱-

روپان دیول (HMP) و ۲- بیس (هیدروکسیل متیل) ۳ و ۱- پروپان دیول اغلب بعنوان PCM

مورد استفاده قرار گرفته اند. آنها در دماهای خیلی پایین تر از نقطه ذوب ماده دارای اثرات

اندوترمیک اگزوترمیک هستند بدون آنکه تغییر حالت بدهند؛ گرمای جذب شده یا رها

شده اینگونه مواد گرمای گذرا نامیده می شود اما آنها برای تولید پوشاک و منسوجات

گرمایگیر و تنظیم کننده دما مناسب نیستند چون دمای تغییر فاز آنها بیش از  $40^{\circ}\text{C}$  است. اما

در صورتی که دو پلی هیدریک الکل با هم ترکیب شوند. دمای تغییر فاز میتواند در

گستره ای از  $24^{\circ}\text{C}$  تا  $40^{\circ}\text{C}$  قرار بگیرد.

۲-۲-۳- PEG و PTMG

پلی اتیلن گلیکول یکی از مهمترین PCM ها است. دمای ذوب PEG متناسب با وزن

مولکولی است زمانیکه وزن مولکولی کمتر از  $20000$  باشد. نقطه ذوب PEG که دارای

یک میانگین وزن مولکولی بالاتر از  $20000$  می باشد تقریباً یکسان است. PEG های دارای



وزن مولکولی کمتر از ۲۰۰۰۰ در جدول ۳-۳ فهرست شده اند. PEG های دارای وزن مولکولی از ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ نقطه ذوبی در حدود  $33^{\circ}\text{C}$  دارند.

نقطه ذوب حداکثر PTMG برابر  $43^{\circ}\text{C}$  است. از PTMG بعنوان PCM در بعضی ثبت ها استفاده شده است. نقطه ذوب PTMG با وزن مولکولی ۳۰۰۰ برابر  $33^{\circ}\text{C}$  است و گرمای ذوب شدن برابر  $150\text{ J/g}$  است. اما نقطه تبلور فوق تبرید است چون تبادل بین زنجیره مولکولی PTMG ضعیف است. این امر کاربرد آنرا محدود می سازد.

#### ۴-۲-۲- همبسیار بلوک PET – PEG

هنگامیکه میانگین وزن مولکولی PEG بکار رفته در سنتز همبسیار بلوک بیشتر از ۱۵۴۰ باشد، و محتوای وزنی PEG در همبسیار بلوک بیش از ۵۰٪ باشد، بخش PEG میتواند به تنهایی متبلور شود. نقطه ذوب اندازه گیری شده بوسیله DSC از بخش PEG برابر با  $6/86^{\circ}\text{C}$  است. وقتی وزن مولکولی متوسط PEG برابر ۴۰۰۰ باشد و محتوای وزنی ۵۰٪ باشد، نقطه ذوب بخش PEG برابر  $33/05^{\circ}\text{C}$  خواهد بود و گرماگیری برابر  $30/56\text{ J/g}$  می باشد. همبسیار بلوک PET-PEG میتواند ذوب تابیده به الیاف باشد.

#### ۵-۲-۲- هیدروکربن زنجیره ای خطی

هیدروکربن زنجیره ای خطی یک محصول جانبی پالایش نفت است. فرمول آن است. نقاط ذوب و تبلور هیدروکربن ها با  $n = 16 \sim 21$  در گستره دمایی ۱۰ تا  $40^{\circ}\text{C}$  است (جدول ۴-۳) هیدروکربن زنجیره ای خطی مصرفی معمولاً ترکیبی از  $n \pm 1$  یا  $n \pm 2$  است.

هیدروکربن های زنجیره ای خطی یک منبع غیر سمی، ارزان و گسترده از مواد خام است که برای مصارف مختلف مناسب است. آنها مهمترین PCM ها در تولید پوشاک و منسوجات گرماگیر و تنظیم کننده دما هستند.

۶-۲-۲- سایر

اسید آلی، الکل و اتر، مثلاً دیکانومیک اسید، ۱- تتراد کانول و فنیل اتر در دمای مناسب تغییر فاز نیز میتواند بعنوان PCM مورد استفاده قرار گیرد.

### ۳- تولید پوشاک و منسوجات گرماگیر و تنظیم کننده دما

۱-۳- مواد تغییر فاز یا پلاستیک پر شده از بلور یا الیاف تلقیح شده

۱-۱-۳- الیاف تلقیح شده یا پر شده از نمک غیرالی هیدراته

ویگو و فراست الیاف رایون توخالی را با  $L_i\text{No}_3 \cdot 3t_2\text{O}$ ،  $Z_n(\text{No}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  و  $6\text{H}_2\text{O} / \text{Srcl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

$\text{Na}_2\text{So}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} / \text{NaB}_4\text{O}_7 / \text{NaB}_6\text{O}_7 / \text{NaB}_6\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}^3$  و  $6\text{H}_2\text{O} / \text{srcl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

پر کردند. هنگامی که محتوای لیتیوم نترات تری هیدرات درون ریون برابر ۹/۵ گرم در هر گرم فیبر، اندوترم گرمایی به ترتیب برابر ۳۰۲/۶۳، ۳۱۲/۲۴ و ۱۵۶/۳۲ J/g، واگزوترم گرمایی به ترتیب برابر ۲۲۱/۹۵، ۱۷۶/۳۹ و ۴۰/۹۶ J/g در فرجه دمایی  $^{\circ}\text{C}$  ۶۰-۴۰-، پس از یک، ده و ۵۰ چرخه گرما - سرما است. کاملاً بدیهی است که کاهش ظرفیت گرمایی فیبر پس از چرخه های بیشتر گرما - سرما بیشتر است.

### ۲-۱-۳- الیاف تلقیح شده یا پر شده با PEG

اگر چه بسیاری از هیدرات های نمک غیر آلی درون الیاف توخالی در ابتدا برای سهم دادن ویژگیهای جذب گرما و آزادسازی گرما برای الیاف توخالی موثر است، اما در مورد چرخه های تکراری گرما - سرما رفتار گرمای ضعیف و غیر قابل اعتمادی از خود نشان دادند. در سال ۱۹۸۳ و یگو و فراست الیاف را با محلول آبی ۵۷٪ (wt. / wt) PEG پر کردند که وزن مولکولی متوسط آن (میانگین MW) برابر ۴۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۳۳۵۰ بود. الیاف توخالی بوسیله مکش با محلول آبی دارای وزن مولکولی متوسط گوناگون در دمای اتاق یا بالاتر از آن از طریق دسته ای الیاف که محکم درون یک رینگ O شکل قرار گرفته اند پر میشود تا زمانی که مشاهده بصری نشان دهد الیاف کاملا پر شده است. سپس الیاف پر شده به صورت افقی قرار داده می شوند و در دمای  $15^{\circ}\text{C}$  - یا کمتر خشک می گردند. رطوبت اضافی الیاف اصلاح شده با خشک کردن آنها دفع می شود تا یک وزن ثابت در حضور آنهیدروز  $\text{CaSO}_4(a)$  در یک دیسکاتور به مدت ۲۴ ساعت نتایج اندازه گیری شده DSC نشان میدهد که ظرفیت جذب و رهاسازی گرمای فیبر پلی پروپیلن پر شده  $1/2$  تا  $2/5$  برابر فیبر اصلاح نشده است و در مورد ریون توخالی پر شده  $2/2$  تا  $4/4$  برابر ریون اصلاح نشده است.

### ۳-۱-۳- فیبر تلقیح شده یا پر شده با الکل پلی هیدریک

یگو و فراست ریون توخالی و فیبر پلی پروپیلن توخالی را با ۲ و ۲- دی متیل و ۳ و ۱- پروپاندیول (DMP). و ریون غیر توخالی تلقیح شده را با DMP پر کردند. ظرفیت جذب

گرمایی فیبر پلی پروپیلن توخالی اصلاح شده برابر با  $136/68 \text{ J/g}$  در گستره دمایی  $102^{\circ}\text{C}$  -  $72$  بود و ظرفیت رهاسازی گرمایی فیبر پلی پروپیلن توخالی برابر با  $120/38 \text{ J/g}$  در گستره دمایی  $77$  تا  $47^{\circ}\text{C}$  بود. این امر کمتر واضح است که ظرفیت گرمایی فیبر پس از  $50$  چرخه گرما - سرما کاهش می یابد. این فیبر برای پوشاک و منسوجات مناسب نیست که به علت دمای زیاد تغییر فاز آن می باشد.

## ۲-۳- پارچه پوشیده

### ۱-۲-۳- پارچه های پوشیده شده با PEG

اگر چه PEG و الکل های پلی هیدریک بعنوان عامل های ذخیره کننده و رها کننده گرما در الیاف و پارچه ها مفید بودند. اما فقط در مواردی کاربرد داشتند که پارچه نیاز به شستن نداشت چون آنها باز هم در آب حل می شوند. ویگو و فراست پارچه های پوشیده شده با PEG متقاطع در سال ۱۹۸۵ مورد مطالعه قرار دارند. میانگین MW of PEG از  $600$  تا  $8000$  بود. پارچه ها با محلول آبی حاوی عوامل متقاطع زیر مورد آزمایش قرار گرفتند. دی متیلول دی هیدروکسی - اتیلنورا جامد  $40\%$  (DMDHEU)، دی متیلول اتیلنورا جامد  $40\%$  (DMEU)، دی متیلول ایزوپروپیل کاربامات جامد  $50\%$  و تری متیلول ملامین جامد  $80\%$ . کاتالیست های اسیدی بکار رفته عبارت بودند از  $\text{MgCl}_2 \cdot \text{GH}_2\text{O} / \text{Critic}$  اسید در یک مدل به نسبت  $20$  به  $1$   $\text{NaHSO}_4$  و PEG.  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  نیز در حمام پا وجود داشت. پارچه های PET، نخی و پشمی، که دارای فعالیت گرمایی هستند با استفاده از محلول های

آبی ۵۰٪ PEG-۶۰۰ یا PEG-۱۰۰۰ حاوی ۱۲-۸٪ DMDHEU و ۳/۶-۲/۴٪ کاتالیست های ترکیبی (Mgcl<sub>۲</sub>.۶H<sub>۲</sub>O / critic acid) تولید شدند. تمام پارچه ها با پیکاپ مرطوب حدود ۱۰۰٪ عرق گیری، خشک و خیسانده شدند و سپس با ماشین شسته و خشک شدند. PET محلول آبی ۵۰٪ PEG-۶۰۰ آغشته گردیده در دمای ۶۰<sup>o</sup>C به مدت ۷ دقیقه خشک شد و در دمای ۱۶۰<sup>o</sup>C به مدت ۳ دقیقه خیسانده شد. وزن به دست آمده ۴۲/۹٪ بود و ظرفیت گرمای جذب شده برابر ۵۳/۹۲J/g بود که بوسیله کالری سنجی پویش تشخیصی (DSC) اندازه گیری شده بود. ظرفیت گرمایی پس از ده چرخه گرما-سرما برابر با J/g ۵۳/۰۸ بود. هیچ کاهش واضحی در ظرفیت گرمایی فیبر بوجود نیامده بود. ظرفیت جذب گرمایی پارچه پولیستر غیر آغشته ۴۲/۲۱J/g و ۴۰/۱۲J/g بود.

اگر وزن به دست آمده از پارچه کمتر از ۲۰٪ باشد. فقط عملکرد غیرایستایی پارچه بهبود می یابد و فعالیت گرمایی واضح نبود. پارچه های آغشته به PEG-۶۰۰ DMDHEU و یک اسید مناسب کاتالیست دارای وزن ۴۷-۲۷٪ بودند و در مقایسه با کنترل های متقاطع و غیر آغشته از نظر گرمایی فعال بودند هنگامی که غلظت کمتر از ۸٪ DMDHEU در عملیات با PEG-۶۰۰ مورد استفاده قرار گیرد، وزن به دست آمده برای انجام فعالیت گرمایی روی پارچه ناکافی است، برعکس، زمانیکه از غلظت های بالاتراز (DMDHEU) استفاده شود (۱۲٪ >) یا زمانیکه از کاتالیست های نیترات روی در هر غلظتی از DMDHEU استفاده شود، اتصا عرضی گسترده صورت می گیرد و پارچه از نظر گرمایی غیرفعال می شود.

زمانیکه DMDHEU و کاتالیست اسیدی ترکیبی با PEG بالاتر از وزن مولکولی ( $3350 >$ ) مورد استفاده قرار گرفت، واکنش کمی به وجود آمد و در نتیجه افزایش پایین بود. چگالی اولیه اتصال عرضی و داده اهی آنالیز گرمایی نشان می دهد که PEG بر الیاف انحلال ناپذیر است و فقط زمانی فعالیت گرمایی را نشان می دهد که PEG دارای تبلور کم باشد و بتواند با عامل اتصال عرضی چند منظوره واکنش دهد. آزمایش های بیشتر نشان داد که یک گستره وسیع از شرایط پرورش تک مرحله ای (با دمای پایین در حد  $80^{\circ}\text{C}$ ) را میتوان بکار گرفت تا پلیمر روی مواد فیروز انحلال ناپذیر باشد و خواص رهاسازی و ذخیره سازی گرمایی بالاتری نسبت به فرایندهای دمرحله ای (خشک/آغشته سازی) که در دماهای بالا بکار می رود، داشته باشد.

اما، DMEHEV یا DMEU را میتوان به تدریج تجزیه کرد تا توکسیک فورمالدهید آزاد کند. یک سیستم بدون نرمالدهید دارای اتصال عرضی با استفاده از مقدار استوکیومتریک سولفونیک اسید و گلیوکسال کشف شد تا با همان پولیول ها تشکیل پلی استال بدهد. این پلی استال ها خواص چند منظوره یکسانی را نشان می دهند و در مقابل شستشو پایدار هستند.

۲-۲-۳- پارچه های پوشیده شده با الکل های پلی هیدریک

الکل های پلی هیدریک گذارهای گرمایی جامد به جامد (SST) را تحمل می کنند. کریستال های پلاستیک که اغلب از آنها استفاده می شود  $126^{\circ}\text{C}$  DMP Consetmp DSC و ۲- هیدروکسی متیل ۲- متیل ۳ و ۱- پروپان دیول  $181\text{ g}$  HMP , DSC omsetmp



می‌باشند. محلول های آبی ۵۰٪ (wt / wt) کریستال های پلاستیک برای کاربردهای کاربردهای بعدی پارچه ها تهیه شده بودند.

صرفنظر از نوع الیاف، تمام پارچه ها، که در محلول آبی ۵۰٪ DMP فرو برده شدند و تا یکبار حدود ۱۰۰٪ فشرده شده و سپس در دمای ۱۰۰°C خشک شدند، پس از تهیه وزن بسیار کمی به آنها اضافه شده بود. احتمالاً فشار بخار زیاد DMP مانع خشک شدن پارچه ها در دمای متداول یا افزایش یافته می گردید.

HMP بر خلاف سایر مواد پلاستیک کریستال DMP، هنگام خشک شدن در دمای متداول یا افزایش یافته جهت دفع آب اضافی از پارچه تبخیر نمی گردید. پارچه های اصلاح شده دارای محتوای گرمایی ۱۰۴/۵ J/g - ۸۷/۷۸ برای گرم سازی و ۹۶/۱۴ J/g - ۷۹/۴۲ برای خنک سازی. پس از ۱۰ چرخه گرمایی بودند. محتوای گرمایی پارچه های آغشته به HMP ۱/۷ تا ۲/۵ برابر پارچه های آغشته نشده بود. این پارچه ها برای منسوجات؟؟ مناسب نیست چون دمای تغییر فاز آنها زیاد است.

۳-۲-۳- پارچه های پوشیده شده با یک لایه حاوی زیر کپسول ها

برائیت یک پوشش را جهت استفاده در یک زیر لایه مانند یک پارچه به منظور افزایش ویژگیهای گرمایی وابسته به آن تهیه کرد. این پوشش شامل یک لایه پلیمر بود که در آن میکروکپسول های کامل پراکنده و ضد تراوش با PCM یا کریستال های پلاستیکی، که دارای خواص گرمایی ویژه در دماهای از پیش تعیین شده هستند، پر شده بود.

زاگرمین یک ترکیب پوششی برای پارچه ها ابداع کرد که شامل ریزکپسول های مرطوب حاوی PCM پراکنده در کل یک لایه پلیمری ، یک سورفاکتانت ، یک ویسپرسافت ، یک عامل آنتی فوم و یک غلیظ کننده بود. بهترین نسبت اجزاء پوششی این ابداع عبارت بودند از : ۷۰ به ۳۰۰ قسمت بوسیله وزن خشک ریزکپسول ها برای هر ۱۰۰ قسمت بر وزن خشک لاتکس پلیمر آلریلیک ، ۱/۰۱٪ به ۱٪ وزن خشک هر سورفاکتانت و دیسپرسانت به وزن خشک میکروکپسول ها ، آب کلی ۴۰٪ به ۶۰٪ ترکیب پوششی مرطوب نهایی و عامل آنتی فوم از ۱/۰۱٪ تا ۰/۵٪ وزن خشک به کل وزن ترکیب پوشش نهایی.

ریزکپسول های حاوی  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$  بعنوان PCM نیز برای پوشش پارچه مورد استفاده قرار گرفتند. آمیل یک پلیستر بافته شده را با مخلوطی از ریزکپسول ها و لایه پلیمر پوشانیده بود. این لایه پوششی متشکل از ترکیب ۱-۳ : ۱ (نسبت وزنی) حاوی PEG با میانگین  $MW 300-400$  و یک لایه پلی آکریلیک بود. پارچه پوشیده شده گرما را در دمای  $7-11^{\circ}C$  دفع کرده و در دمای  $28-31^{\circ}C$  دما را جذب می کند. آمیل فکر کرد که این پارچه ها برای لباس کارگرانی که در واحدهای سرد و کوهستانی کار می کنند مناسب است.

۴-۲-۳- سایر پارچه های پوشش دار

ماموس یک عامل پوششی ابداع کرد که حاوی  $n$ -اکتاگان  $80$  ،  $n$ -هگزاگان  $20$  ، ترموپلاستیک الاستومتر کراتون  $G1650$  ، پلی اتیلن خطی  $20$  ،  $ZrC$   $10$  و یک قسمت

آنتی اکسیدانت ۰/۲ بود. این ترکیب ذوب شده و مخلوط گردید تا یک جامد بدون رنگ پس دهی با گرمای  $129/48 \text{ J/g}$  و خواص خوب شکل گیری به دست آید. این مخلوط در دمای  $140^{\circ}\text{C}$  ذوب و ریخته گری شد و برای یک لباس نایلونی مورد استفاده قرار گرفت تا یک منسوج دارای خواص خوب حفظ گرما و مفید برای اسکی بازان به دست آید.

### ۳-۳- ریسندگی الیاف

منسوجات گرماگیر و تنظیم کننده گرما را میتوان با پر کردن الیاف توخالی یا تلقیح الیاف غیر توخالی با PCM و بلورهای پلاستیک تولید نمود با سطوح پارچه را با PEG، بلورهای پلاستیک با ریزکپسول ها پوشش داد. فرایند ریسندگی الیاف از سال ۱۹۹۰ توسعه سریعی یافته است.

#### ۱-۳-۳- ریسندگی الیاف مرکب

هم بسپارهای اسید دو ظرفیتی مانند گلو تاریک اسید، هگز ندیوئیک اسید و دکان دیونیک اسید، با دیول ها مانند ۳ و ۱- پروپیلن گلیکول، ۴ و ۱- بوتان دیول و ۶ و ۱- هگزاندیول دارای خواص جذب و دفع گرما هستند. نقاط ذوب بعضی از پولیسترهای آلیفاتیک در گستره دمایی  $20-40^{\circ}\text{C}$  قرار دارد اما نقاط تبلور آنها معمولاً فراتر از گستره دمایی  $10^{\circ}\text{C}$  - ۳۰ است. واتاناب از مخلوط دو پولیستر آلیفاتیک بعنوان جزء هسته PET جزء پوششی و مدت ذوب برای تولید الیاف مزدوج سنتزی جاذب گرما و دافع گرما برای پوشاکهای عایق گرما استفاده نمود. از PTMG بعنوان یک جزء هسته در فرایند ریسندگی الیاف مرکب

استفاده شد. یک لیف مرکب که از PTMG بعنوان هسته و PET بعنوان غلاف استفاده می کرد طراحی شده بود.

## ۲-۳-۳- لیف ریسیده با یک مخلوط

هنگامیکه از پلی استر یا پلی اتر به تنهایی به عنوان جزء هسته یا جزیره ای در فرایند ریسندگی الیاف مرکب استفاده شود کنترل فرایند ریسندگی بسیار سخت خواهد بود، چون ویسکوزیته ذوب آن بسیار پایین است. اگر پلی اتر یا پلی استر آلیفاتیک با هم بسیار اتیلن آمیخته شود، ویسکوزیته نقطه ذوب مخلوط میتواند برای فرایند ریسندگی الیاف به اندازه کافی بالا باشد.

زانگ و همکاران، قابلیت ریسندگی ذوب PEG را به تنهایی، و PEG مخلوط با اتیلن - وینیل استات بعنوان جزء هسته، و پلی پروپیلن غلاف، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که PEG فقط زمانی میتواند به تنهایی ریسیده شود که میانگین MW بیشتر از ۲۰۰۰۰ باشد. زمانی که میانگین MW بیش از ۱۰۰۰ باشد، می تواند بخوبی برای PEG و اتیلن - وینیل استات (مخلوط ۱:۱ درصد وزنی) ذوب گردد. اختراع سیلر نشان داد که درصدهای وزنی مرجح حدود ۵۵٪ PCM، حدود ۵۵٪ PCM، حدود ۲۱-۱۵٪ پلی الفین، حدود ۱۱-۷٪ اتیل کوپلیمر، حدود ۱۵-۷٪ ذرات سیلیکا و حدود ۷/۵٪ افزودنی های جاذب مایکروویو است.

مخلوط پارافین و پلی اتیلن مستقیماً به الیاف تبدیل می گردید. سطح الیاف با رزین اپوکسی پوشیده شده بود تا از نشت پارافین جلوگیری شود.

### ۳-۳-۳- الیاف دارای ریزکپسول های کامل

تعبیه مستقیم ریزکپسول ها در الیاف باعث افزایش دوام آن میشود چرا که PCM به وسیله یک دیواره دوگانه حفظ میشود. اولین دیواره، جداره ریزکپسول ها و دومین دیواره، جداره محاط کننده خود کپسول است. بنابراین، PCM احتمال نشت آن از الیاف در طول فاز مایع کمتر است، بنابراین عمر آن افزایش یافته و تکرارپذیری واکنش گرمایی بیشتر میشود.

برائیت و کالوین یک الیاف دارای ریزکپسول های کامل حاوی PCM یا بلورهای پلاستیک تولید کردند. این الیاف خواص گرمایی را در دماهای از پیش تعیین شده افزایش داده است. اندازه ریزکپسول ها میتواند از حدود ۱ تا حدود ۱۰ میکرون باشد. در ساختن این الیاف، PCM های ریزکپسول دار شده به پلیمر مایع، محلول پلیمر یا ماده اصلی افزوده میشود و سپس بر طبق روشهای متداول مانند ریسندگی خشک یا مرطوب محلول های پلیمر و روزن رانی ذوب پلیمر گسترش می یابد. بر طبق این گزارش، حداکثر میزان PCM در لیف پلی آکرلیک حدود ۱۰٪ است. و حداقل رشته ها ۲/۲dex می باشد.

#### ۴-۳- پوشاکهای گرماگیر و سازگار با گرما

##### ۱-۴-۳- پوشاک های گردش آب

از این نوع پوشاک معمولاً بعنوان پوشاک محافظ برای محیط های فوق العاده گرم یا سرد استفاده می شود. این پوشاک از آب معمولی به عنوان یک ماده محسوس گرماگیر استفاده می کند. در زمستان آب گرم و در تابستان آب خنک در داخل لوله هایی که در داخل بدنه لباس یا زیرپوش گردش می کند. یک پمپ باطری دار آب را در داخل لوله با فشار مناسب گردش می دهد. این لباس چند دهه است که تجارتي شده است.

##### ۲-۴-۳- کیسه های PCM چسبیده به لباس

این جامدها به وسیله مادلیوس و دزی، زانگ، کالوین و ایماناری و یا ناتوری طراحی شده است. آنها به جای آب از PCM بعنوان مواد گرماگیر استفاده کرده اند. از این لباس ها در محیطهای دارای دماهای فوق العاده زیاد یا کم برای خنک کردن یا گرم کردن بدن استفاده می شود.

##### ۳-۴-۳- پوشاک منسوج گرماگیر و سازگار با گرما

با پیشرفته تر شدن تکنولوژی تولید منسوجات و الیاف گرماگیر و سازگار با گرما، انواع جدید پوشاک به بازار عرضه می گردد. پارچه های با پوشش PEG که بوسیله شرکت میتسوی تولید شده بعنوان لباس اسکی مورد استفاده قرار می گیرد.



مؤسسه اولت لست و مؤسسه فریسبای تکنولوژی تنظیم گرما را در سال ۱۹۹۱ تحت لیسانس شرکت توسعه و تحقیق برانیت اخذ کردند. از آن زمان به بعد، دانشمندان در اولت لیست و فریس بای با تلاش زیاد کوشیده اند تا مواد تنظیم کننده گرما را برای استفاده در بسیاری از محصولات خلق کند. ریزکپسول ها یا روی سطح یک پارچه را پوشانده بودند یا مستقیماً در تولید الیاف پلی اکریلیک به کار می رفتند سایر محصولات منسوج تنظیم کننده گرما مانند پتو، کیسه خواب، زیرپوش، ژاکت، لباس های ورزشی، جوراب، چکمه اسکی، کلاه و غیره از سال ۱۹۹۷ به بازار عرضه شده اند. خروجی در سه سال آخر به تدریج افزایش یافته است.

#### ۴- ویژگیهای پوشاک و منسوجات گرماگیر و تنظیم کننده گرما

##### ۱-۴- مقاومت گرمایی

##### ۱-۱-۴-۳- مقاومت گرمایی سنتی

مقاومت گرمایی سنتی بوسیله روش های استاندارد ایستا اندازه گیری می شود (برای مثال روشهایی که شامل استفاده از یک ابزار صفحه ای داغ محافظ است). اما از نظر پائوس، هیچکدام از این روشها برای تعیین مواد دارای PCM مناسب نیست، زیرا یک استرس گرمایی پیوسته طولانی می تواند تغییر فاز را فعال کند که منتهی به اندازه گیری هایی می شود که از آنچه باید به دست آید انحراف زیادی پیدا می کند. بعضی آزمایش ها هنوز به منظور توانایی تصمیم گیری ما درباره صحت آن، ضروری است. مقاومت گرمایی پارچه

های پوشش دار یا بدون ریز کپسول ها بوسیله زا کرمن و همکاران اندازه گیری شد. مقاومت گرمایی پارچه های پوشش دار با ریز کپسول ها بیشتر از پارچه های آغشته نشده است؛ این نتایج در جدول ۳-۵ و ۳-۶ فهرست شده اند. علت این امر اساساً عمل ماده چسبنده است که سوراخ های پارچه را مسدود می کند.

#### ۲-۱-۴- مقاومت گرمایی دینامیک

مواد تغییر فازی روی سطح لیف یا درون لیف قرار دارند، بنابراین پارچه یا لیف در گستره دمایی  $20^{\circ}\text{C}$  -  $40^{\circ}\text{C}$  می خواهد گرما را جذب و در گستره  $10^{\circ}\text{C}$  -  $30^{\circ}\text{C}$  گرما را دفع کند. ویگو و فراست رفتار اندوترم و اگزوترم پارچه ها و الیاف را بوسیله DSC مورد مطالعه قرار دادند. پلات اندازه گیری DSC در شکل ۳-۱ و ۳-۲ نشان داده شده است. اما نتایج اندازه گیری DSC به مقاومت گرمایی منسوج تبدیل نشده است.

زمانی که شرکت نوتراترم یک آزمایش پوشیدن با ۵۰ موضوع انسانی با ریزپوش گرمایی نخی حاوی PEG را مورد مطالعه قرار داد، مقاومت افزایش یافته؟؟ خاصیتی بود که بالاترین درصد رضایت از پوشاک را به دست آورده بود.

پاوس به منظور اندازه گیری مقاومت گرمایی اساسی و دینامیک یک روش اندازه گیری را طراحی کرد؛ چیش اساسی ابزارهای اندازه گیری در جدول ۳-۶ نشان داده شده است. مقدار کل عایق بندی گرمایی حاصله برای پارچه های پوشش دار با ریز کپسول های حاوی

زنجیره خطی هیدروکربن در مقایسه با عایق بندی گرمایی مواد فاقد ریزکپسول ها در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.

پاوس اثرات عایق بندی گرمایی یک لایه (ضخامت ۲۴ میلیمتر) از الیاف پلی استر، پارچه بیرونی (۰/۲mm) و پارچه آستر (۰/۱mm) را با یک لایه (ضخامت ۱۲mm) از الیاف آکرلیک با PCM ترکیبی، پارچه بیرونی (۰/۲mm) و پارچه آستر با پوشش PCM را مقایسه کرد.

نتایج این آزمایش نشان میدهد که عایق بندی گرمایی اساسی زیر لایه منسوج زمانی که یک لایه الیاف آکرلیک با PCM ترکیبی (فقط ۱۲mm ضخامت) جایگزین لایه ضخیم الیاف پلی استر شده باشد، تقریباً ۳۰٪ کاهش می یابد. اما تأثیر عایق بندی گرمایی دینامیک حاصل از گرمای ساعت شده از PCM درون لایه پوشش دار مواد آستر و همچنین درون الیاف لایه بیش از دو برابر اثر عایق بندی گرمایی ترکیب لباس جدید است. اثر عایق بندی گرمایی کلی لباس جدید بیش از اثر عایق بندی گرمایی کلی لباس قبلی و به اندازه تقریبی ۶۰٪ است.

مقاومت گرمایی دینامیکی هر پارچه گرماگیر ثابت نیست. مقاومت گرمایی دینامیکی پارچه با مدت زمان فرایند اندازه گیری متغیر است: توزیع آن باید به شکل گوسی باشد درست مانند پلات DSC. اما در شکل ۳-۴ شبیه یک مستطیل است. گزارش پاوس تنها گزارشی

است که در مورت مقاومت گرمایی دینامیکی می باشد. مشکل اصلی در طراحی ابزار جدید آزمایش است.

## ۲-۴- خواص تنظیم کنندگی گرما

هیچ روش استاندارد برای اندازه گیری خواص تنظیم کنندگی گرمای منسوجات و پوشاک گرماگیر وجود ندارد. هنوز کارهای زیادی باید انجام شود.

واتاناب و همکاران پارچه ساده حاوی پلی استر آلفاتیك و پارچه ساده حاوی PET را روی یک صفحه ذوب چسبانیدند. دمای صفحه تا  $40^{\circ}\text{C}$  از دمای اتاق بالاتر رفت، چند دقیقه ثابت ماند و سپس از  $40^{\circ}\text{C}$  به  $5^{\circ}\text{C}$  کاهش یافت دماهای سطح پارچه ها بوسیله یک دوربین مادون قرمز ثبت گردید. اختلاف بین دماهای سطحی این دو پارچه ساده را میتوان از روی عکس مادون قرمز محاسبه کرد. دمای سطحی پارچه ای که با الیاف تولید شده بوسیله پلی (گلو تاریک ۶ و ۱- هگزان دیول) بعنوان هسته و PET بعنوان غلاف بافته شده است.  $45^{\circ}\text{C}$  پایین تر از پارچه PET در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  است و  $3/2^{\circ}\text{C}$  بیشتر از پارچه PET در دمای  $5^{\circ}\text{C}$  است.

آزمایشهای اولیه ویگو و برونو با استفاده از گرماسنج مادون قرمز نشان داد که پارچه های حاوی پلیول های اتصال عرضی دارای یک اختلاف دمای سطحی به اندازه  $15^{\circ}\text{C}$  کمتر از یک پارچه غیر آغشته است که در معرض یک منبع گرما قرار گرفته باشد.

زیرپوشش گرمایی نخ‌آغشته به TM نوتراترم (براساس فرایند ویگو) در طول اسکی بازی و شرایط مشابه اسکی ارزیابی گردید و استفاده کنندگان، آن را ۷۵٪ یا بیشتر بالاتر از زیر پوشش گرمایی نخ‌آغشته می‌دانستند که این با توجه به گرمای بیش از حد و سردکنندگی ناشی از باد یا هوای سرد بود.

یک فیبر فعال گرمایی با استفاده از PEG (میانگین ۱۰۰۰ MW) بعنوان هسته و PP بعنوان غلاف تولید شده زانگ و همکاران یک پارچه غیر بافته را با استفاده از این فیبر تولید کردند.

دمای یک یخچال در  $0^{\circ}\text{C}$  ثابت نگه داشته شد. الیاف بافته نشده فعال گرمایی و الیاف بافته نشده PR نرمال با چگالی سطح یکسان روی یک صفحه فلزی نازک چسبانیده شد. دمای داخلی این دو الیاف بافته نشده در طول فرجه دمایی بالا از  $0^{\circ}\text{C}$  تا  $50^{\circ}\text{C}$  و پایین از  $50^{\circ}\text{C}$  تا  $0^{\circ}\text{C}$  بوسیله ترموکوبل ترمومتر اندازه‌گیری شد. حداکثر اختلاف دمای داخلی الیاف بافته نشده فعال گرمایی و بافته نشده PP نرمال در یک دوره که دما در حال افزایش برابر  $3/3^{\circ}\text{C}$  و در دوره ای که دما در حالت افت است برابر  $6/1^{\circ}\text{C}$  است.

لباس حاوی PCM در محیط اقلیمی در دماهای مختلف مورد آزمایش قرار گرفت تا تأثیر تنظیم گرمایی از جذب گرما و رهاسازی گرمای PCM تعیین شود. در این آزمایش، نمونه‌های لباس به یک ابزار پوستی شبیه‌سازی شده، که دمای آن در طول زمان در دماهای مختلف و میزان گرماهای متابولیک در آنها دمای پوست می‌توانست در یک گستره دمایی

مطلوب تثبیت شود. نتایج این آزمایش برای دولباس در دماهای از  $20^{\circ}\text{C}$  و  $20^{\circ}\text{C}+$  در شکل ۳-۵ خلاصه شده است.

نتایج نشان می دهد که در دماهای هر دو محیط، دمای پوست شبیه سازی شده در قسمت پشت لباس جدید در گستره دمایی راحتی بین  $31^{\circ}\text{C}$  و  $35^{\circ}\text{C}$  تثبیت شده است. از نظر پائوس، این امر بدان معنی است که جذب و دفع گرمای PCM یک تأثیر تنظیم گرمایی ایجاد کرده است که باعث دمای راحت میکروکلیمات در کل آزمایش میشود. از سوی دیگر، در آزمایش لباس قبلی دمای پوست در نواحی دمایی نامناسب به اندازه  $29^{\circ}\text{C}$  و  $38^{\circ}\text{C}$  می باشد.

در گزارش های دیگر، آزمایشهای اب و هوای سرد یک قطره طبیعی با دمای  $3^{\circ}\text{C}$  در دمای پوست برای کنترل و فقط دمای  $38^{\circ}\text{C}$  برای لباس گرماگیر را نشان داد.

### ۳-۴- خواص آنتی باکتریال

پارچه های دارای پوشش PEG نه تنها دارای خواص جذب و دفع گرما است بلکه خواص آنتی باکتریال نیز دارد. پارچه PEG دار میتواند از رشد S.aureus گرم مثبت و E.coli و P.aeruginosa گرم منفی جلوگیری کند.

مکانیسمی که بوسیله آن پارچه های PEG دار از رشد باکتریال جلوگیری می کنند بوسیله دیگر مورد بررسی قرار گرفته است. این امر از سه فاکتور حاصل می شود. یک رشد کند فرمالدهید از رزین اتصال عرض DMDHEU میتواند دارای اثر آنتی باکتریال داشته باشد،



همانگونه که نرمالدهید میتواند بعنوان یک عامل ضد عفونی کننده مورد استفاده قرار گیرد. PEG میتواند شکلی از رفتار سورفاکتانت را نشان دهد که باز هم رشد باکتریال را کاهش می دهد. توضیح سوم مربوط به خواص جذب و دفاع گرمایی نهایی است. این دما ممکن است از گستره رشد میکروارگانیسم ها نیز فراتر رود و آنگونه ها را بکشد.

یک الیاف بافته نشده فعال گرمایی بوسیله اسپون پروپیلن PEG دار ۱۰۰٪ با ذوب تضمینی تولید شده بود. الیاف بافته نشده PEG دار از رشد باکتریال جلوگیری می کرد. محتمل ترین اثراتی که از رشد میکروبیال جلوگیری می کند را میتوان به خواص سورفاکتانت مانند بوند PEG نسبت داد که غشاهای سلول را در اثر ویژگیهای دوگانه هیدروفیلیک و هیدروفوبیک PEG پاره می کند. این رخداد در اثر جدید ویگو و لئون گزارش شده بود.

#### ۴-۴- خواص دیگر

PEG اتصال عرضی خواص پارچه که مربوط به پارچه های فاقد آن است را تغییر می دهد. خواص بیان شده شامل جذب و دفع گرما، فعالیت آنتی باکتریال، حالت ارتجاعی، ضد چروک، پوشش زبری، جذب پذیری و عدم جذب پذیری مایعات، مقاومت مناسب در مقابل ساییدگی، کاهش گرایش ایستا و افزایش دفع جامد روغنی است.

## ۵- کاربرد

کاربردهای ممکن پوشاک و منسوجات گرماگیر و تنظیم کنندگی گرما در حال توسعه است. کاربردهای ممکن بسیار زیادی از این منسوجات وجود دارد.

### ۱-۵- پوشاک موقت

منسوجات گرماگیر را میتوان بعنوان یک پوشاک موقت استفاده کرد مانند پارچه روکش، پارچه آستر. باتینگ و غیره. زیرپوش های گرمایی، ژاکت ها، لباس های ورزشی و اسکی اکنون به بازار آمده است.

### ۲-۵- پوشاک حرفه ای

مثالهای آن یونیفرم آتش نشانان، جلیقه های ضد گلوله، کاور غواصی، لباس های فضانوردی، لباس های نیروی هوایی. یونیفرمهای فیلد، لباس های ملوانی و غیره است. دستکشهای ویژه برای دماهای فوق العاده زیاد یا کم مورد مطالعه قرار گرفته است. کارکنان پشتیبان عملیات نیروی هوایی اکنون دستکش های گرماگیر پرواز را به دست می کنند.

۳-۵-۳- منسوجات مربوط به دکوراسیون داخلی، لوازم رختخواب و کیسه های خواب

منسوجات گرماگیر و تنظیم کننده گرما را میتوان در پرده ها، لحاف ها، آسترهای لحاف یا باتینگ در حال حاضر از آنها بعنوان کیسه های خواب استفاده شده است.

#### ۴-۵- تودوزی کفش

منسوجات گرماگیر می توانند گرما را جذب ، ذخیره ، توزیع مجدد و دفع کنند تا از تغییرات شدید پوشش سر، بدن، دست ها و پاها جلوگیری شود. در مورد چکمه های اسکی ، PCM ، وقتی پا گرمای اضافی تولید کند آنرا جذب کرده و به نقاط سرد باز می گردند در صورتیکه پا خنک شود این کار باعث راحتی پا میشود. چکمه های اسکی، پوشش های پا و کفشهای گلف در حال ورود به بازار هستند.

#### ۵-۵- کاربرد پزشکی

پارچه PEG دار میتواند در امور پزشکی و بهداشتی مفید باشد، جایی که هم انتقال مایع و هم خواص آنتی باکتریال مطلوب باشند، مانند گاز جراحی، لوازم پرزدار و محصولات ناخود دارد. منسوجات گرماگیر میتوانند دمای پوست را در گستره مناسب حفظ کنند. بنابراین از آنها میتوان به عنوان بانداژ و برای درمان سوختگی و گرما / سرما استفاده نمود.

#### ۶-۵- مواد ساختمانی

از اینگونه منسوجات میتوان در ساختارهای معماری حاوی بتن در سقف ها و دیگر مواد ساختمانی استفاده کرد.

#### ۷-۵- سایر کاربردها

از آنها میتوان بعنوان داخل خودرو و گرماسازهای باتری دار استفاده نمود. آنها همچنین میتوان در کشاورزی و ژئوتکستایل استفاده کرد.

## ۶- روندهای توسعه

تولید، ویژگیها و کاربردهای منسوجات گرماگیر از سال ۱۹۸۰ بطور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است، اما توسعه آینده آنها هنوز کاملاً واضح نیست. انتظار میرود که اهمیت مشابهی برای بهبود راحتی به پوشنده داده شود، همانگونه که در توسعه غشاهای قابل تنفس دیده شده است (Gore - tex sympatex) این منسوجات بعنوان یکی از ۲۱ اختراع شکل دهنده قرن ۲۱ بوسیله هیئت تحریریه Newsday برگزیده شد.

منسوجات سنتی عایق گرما که با به دام انداختن گرما در فضاهاى بدون هوای مواد کار می کنند، به معنی نگه داشتن گرما به اندازه ای که از لحاظ بازده امکان پذیر است می باشد. منسوج گرماگیر و تنظیم کننده گرما یک منسوج سنتی یا یک منسوج تکاملی تدریجی با توانایی عایق بندی گرمایی بیشتر نیست. منسوج گرماگیر و تنظیم کننده گرما زمانی که هوا سرد است شما را گرم نگه می دارد و زمانی که هوا گرم است شما را خنک می کند. این محصولی است که در طول تغییرات بسیار زیاد دمایی به راحتی بیشتر شما کمک می کند. بنابراین، این یک منسوج هوشمند است. هنگامی که دما تغییرات بسیار شدید دارد، دمای داخلی پوشاک گرماگیر در گستره دمایی مناسب بین  $31^{\circ}\text{C}$  و  $35^{\circ}\text{C}$  تثبیت میشود.

خواص تنظیم گرمایی این پوشاک که در مقابل گرما یا سرمای زیاد ارائه شده فقط برای یک دوره محدود است اما به ساختار پوشاک و دمای محیط بستگی دارد. بنابراین در محیطی که دما در آن به سرعت تغییر می کند نسبت به یک محیط با دمای یکنواخت این

لباس مفید تر است. اما اگر گرمای رها شده به سرعت جذب نشود یا گرما جذب شده رهاسازی نشود، منسوج کارکرد تنظیم گرمایی خود را از دست می دهد. برای بهبود دوام آن هنوز کارهای زیادی باید انجام شود.

### ۱-۶- افزایش میزان گرما

حداکثر بار PCM در الیاف پلی اکریلیک گرماگیر برابر با ۱۰٪ است. بعبارت دیگر حداکثر گرمای الیاف ۲۵ J/g است. تابع گرماگیر ارائه شده در مقابل گرما و سرمای فوق العاده در کاربرد انحصاری پیش از ۴۰ J/g و میزان گرما در تکنولوژی بیش از ۵۰ J/g است. هر چه میزان PCM در منسوج بیشتر باشد مدت هم ارزشسازی دما طولانیتر خواهد بود.

### ۲-۶- ترکیب کردن منسوجات گرماگیر و تنظیم کننده گرما با مواد هواگیر

نتایج آزمایش نشان می دهد که یک منسوج تنظیم کننده گرما که میتواند دمای داخلی را بطور مؤثر تنظیم کند باید دارای مقاومت گرمایی کافی باشد. چگونگی ترکیب تکنولوژی جذب و دفع گرما با تکنولوژی هواگیر یک عرصه برای پژوهش آتی می باشد.

### ۳-۶- ترکیب با دیگر تکنولوژی های تبدیل انرژی

کامپاند کربن فلز گذار گروه VI میتواند نزدیک اشعه های مادون قرمز به گرما تبدیل شود. اگر ذرات ZTC به منسوج گرماگیر و تنظیم کننده گرما افزوده شود، آنها میتوانند اشعه های نزدیک مادون قرمز خورشید را در روز جذب نموده و آنها را به گرما تبدیل کنند که باعث تغییر فاز PCM درون منسوج از جامد به مایع است. منسوج گرمای خود را رها می کند تا

درجه حرارت خود را نسبتاً ثابت نگه دارد، زمانیکه دمای درونی پایین تر از نقطه تبلور PCM باشد.

بعضی از هم بسپارهای پلی آکریلیک اسید یا پلی اکریل به نیتریل میتوانند رطوبت را از هوا جدا بسازد و گرما را رها سازند. آنها را میتوان به پارچه هایی تبدیل کرد که بتوانند دما و رطوبت داخلی را تنظیم کنند، اما اینگونه پارچه ها برای توانایی جذب محدود رطوبت مناسب نیستند. اگر پارچه های جاذب رطوبت با پارچه های گرماگیر روکش دار شوند، پارچه های مرکب میتوانند رطوبت یا گرما را جذب نموده و از تغییرات شدید در دمای داخلی جلوگیری کنند. این نوع پارچه برای اسکی و لباس های ورزشی مفید است.