AMNC
available online @ amnc.aut.ac.ir
نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته و پوشش‌های نوین- ۴۱(۱۴۰۱) ۳۱۳۳-۳۱۲۴

تولید الیاف پلی‌استر با خواص حرارتی بالا با استفاده از نانو ذره مسکوویت

مژگان صالح آبادی[۱]، محمد جواد عبقری[۱*]، احسان زرین آبادی[۲]

۱. یزد، دانشگاه یزد، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵

۲. یزد، موسسه آموزش عالی امام جواد (ع)، دانشکده هنر، گروه طراحی پارچه و لباس، صندوق پستی ۸۹۱۵۸۷۳۷۶۴

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۵/۰۸

چکیده

امروزه کوشش‌هایی مبنی بر بهبود بخشیدن به خواص مثبت و همچنین کاهش خواص منفی الیاف مختلف صورت گرفته است. در این میان الیاف پلی‌استر در برابر تمام برتری‌ها و خواص مطلوبی که دارند، مقاومت حرارتی پایین آن‌ها باعث محدودیت کاربردشان در صنایع مختلف شده است. چراکه مقاومت حرارتی یکی از مباحث بسیار مهم در علوم مهندسی است. در اغلب موارد لازم است این الیاف با روش‌هایی اصلاح گردند که موضوعی بسیار گسترده است و اصلاحات فیزیکی و شیمیایی پلیمر و الیاف را شامل می‌شود. از اینرو در این پژوهش سعی گردیده است، بهبود مقاومت حرارتی این الیاف مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور با فیلرزدن نانو ذره ماده معدنی مسکوویت در عملیات ذوب‌ریسی به چیپس پلی‌استر، بهبود خواص حرارتی الیاف مورد بررسی قرار گرفت. برای کاهش اندازه ذرات مسکوویت از اشعه ماوراء بنفش بهره گرفته شد و اثر این متغیرها شامل میزان ماده معدنی و مدت زمان اعمال اشعه ماوراء بنفش بر خواص حرارتی این الیاف ارزیابی گردید. با استفاده از روش طراحی آزمایشات و تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی و طیف سنج مادون قرمز به آنالیز نتایج پرداخته شد. نتایج نشان داد ذرات مسکوویت با ذرات پلی‌استر در حد کامل مخلوط شده و نانو ذرات مسکوویت در این پلیمر فیلر شده است و الیاف تولیدی از یکنواختی بالایی برخوردارند. همچنین نتایج حاصل از آزمون شعله بیانگر آن بود که حضور نانو ذرات مسکوویت در گرانول پلی‌استر تاثیر معنی‌داری بر بهبود مقاومت حرارتی الیاف حاصله دارد. نتایج آزمون کشش نیز نشان داد کاهش معنی‌داری درخواص مکانیکی الیاف اصلاح شده ایجاد نشده است.

واژگان کلیدی: الیاف پلی‌استر، مقاومت حرارتی، نانو ذرات مسکوویت، تولید الیاف

عهده دار مکاتبات: abghary@yazd.ac.ir

AMNC

Production of polyester fibers with high thermal properties using Muscovite nanoparticles

Mozhgan Salehabadi [1], Mohammad Javad Abghary[1*], Ehsan Zarinabadi [2]

1. Yazd, Yazd University, Department of Textile Engineering, PO Box: 741_89195
2. Yazd, Imam Javad University College, Department of Arts, Group of Textile and Clothing Design, PO Box 8915873764

Abstract Today, efforts have been made to improve the positive properties as well as reduce the negative properties of different fibers. Meanwhile, polyester fibers, against all their advantages and desirable properties, their low thermal resistance has limited their use in various industries. Because thermal resistance is one of the most important topics in engineering sciences. In most cases, these fibers need to be modified by methods that are very broad and involve the physical and chemical modifications of polymers and fibers. Therefore, in this study, it has been tried to evaluate the improvement of thermal resistance of these fibers. For this purpose, the thermal properties of fibers were investigated by filling Muscovite mineral nanoparticles in the smelting operation on polyester chips. Ultraviolet rays were used to reduce the particle size of Muscovite and the effect of these variables including the amount of mineral and the duration of ultraviolet rays on the thermal properties of these fibers was evaluated. The results were analyzed using the design of experiments and images of electron microscope and infrared spectrometer. The results showed that the muscovite particles were thoroughly mixed with the polyester particles and the Muscovite nanoparticles were fillered in this polymer and the produced fibers have high uniformity. The results of flame test also showed that the presence of Muscovite nanoparticles in polyester granules has a significant effect on improving the thermal resistance of fibers. Also, there was no significant decrease in the mechanical properties of the modified fibers based on the tensile test.

Keywords Polyester fibers, Thermal resistance, Muscovite nanoparticles, Fiber production

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، تحقیق برروی کاربرد الیاف مصنوعی به دلیل مزایای زیست محیطی، مقرون به‌صرفه بودن، و تنوع محصولات به موضوعی جذاب برای محققان تبدیل شده است [۱, ۲]. دراین میان الیاف پلی‌استر یکی از پرمصرف‌ترین الیاف مصنوعی در صنایع نساجی و پوشاک به‌شمار می‌آیند و از خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوبی نیز برخوردارند [۳]. این الیاف مستحکم، سبک و دارای خاصیت ضد چروک بوده و علاوه بر سهولت رنگ‌پذیری، دارای خواص بشور–بپوش[1] خیلی خوبی هستند. همچنین در مقابل نور خورشید، سایش، فرسایش، مواد سفیدکننده و مواد خشک‌شویی مقاومت خوبی دارند. از سوی دیگر می‌توان گفت این الیاف از فرایندپذیری فوق‌العاده‌ای برخوردارند که هم به شکل فیلامنت و هم به شکل الیاف منقطع، در طیف وسیعی از الیاف مخلوط و الیاف مصرفی برای پوشاک، منسوجات خانگی و نیز پارچه‌های تزئینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین از الیاف پلی‌استر در ساخت مبلمان، صنایع هوافضا و نظامی، تولید فرش، کمربند ایمنی، فیلترهای پارچه‌ای، چادر مسافرتی، بادبان کشتی و غیره نیز استفاده می‌شود [۴]. با توجه به خواص مطلوب پلی‌استر از لحاظ ساختاری و مکانیکی و ظرفیت بالای تولید آن، کوشش‌هایی مبنی بر کسب خواص جدید و بهبود خواص موجود در آن صورت گرفته است. الیاف پلی‌استر اصلاح شده بخش عمده‌ای از تولید کل پلی‌استر را تشکیل می‌دهند [۶,۵]. تاکنون محققان زیادی به بهبود خواص الیاف و منسوجات مبتنی بر پلی‌استر از جمله بهبود خواص رطوبتی، خواص جذب رنگ، خود تمیزشوندگی، افزایش مقاومت در برابر پرتو ماوراءبنفش، خاصیت ضدباکتری و ضدقارچ پرداخته‌اند [۷, ۸]. به‌طور مثال مسائلی و همکارانش [۹] به بررسی اثر پلاسمای سرد و کم فشار بر خواص رطوبتی پارچه پلی‌استر پرداختند. با این روش امکان تمیز کردن، واکنش‌پذیر کردن و طراحی یا تغییر سطح مواد پلاستیکی، فلزی و سرامیکی برای بهبود خواص پیوندپذیری یا به‌دست آوردن خواص سطحی جدید به‌طور کاملا کنترل‌شده وجود دارد. آن‌ها عمل‌آوری با پلاسما در شرایط متغیر شامل زمان، توان و نوع گاز پلاسما در کوره را بررسی نمودند. با توجه به نتایج به‌دست آمده و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، این محققان دریافتند که عمل‌آوری با پلاسما به دلیل ایجاد خلل و فرج در سطح الیاف باعث افزایش خواص آب‌دوستی پلی‌استر می‌شود و با افزایش مدت زمان عمل‌آوری و توان تخلیه الکتریکی، خواص آب‌دوستی الیاف نیز افزایش می‌یابد. همچنین برهانی و همکارانش [۱۰] ساختمان فیزیکی رشته‌های پلی‌استر نیمه جهت‌یافته و کاملا جهت‌یافته پس از قرار گرفتن در معرض گرمایش ریزموج را مورد بررسی قرار دادند. ساختار رشته‌های پلی‌استر پس از عمل‌آوری با ریز موج از راه اندازه گیری قطر، ظرافت، آرایش‌یافتگی، شاخص بلورینگی، استحکام کششی و ازدیاد طول تا حد پارگی، مشاهدات میکروسکوپ الکترونی، نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس و همچنین رفتار رشته‌ها در واکنش تجزیه شیمیایی با متیل‌آمین، بررسی گردید. نتایج نشان داد ساختار فیزیکی رشته‌های پلی‌استر نیمه جهت‌یافته[2] و کاملا جهت‌یافته[3] در اثر گرمایش ریز موج تغییر نمی‌کند، ولی در مورد رشته‌های نیمه جهت‌یافته به دلیل قرار گرفتن در آب جوش که لازمه گرمایش ریز موج است درجه بلورینگی افزایش و آرایش‌یافتگی کاهش می‌یابد. در بین ترکیبات مختلف مورد استفاده به منظور اصلاح خواص الیاف و منسوجات، ترکیبات معدنی به دلیل فراوانی، قیمت ارزان و همچنین سهولت اصلاح سطح، مورد توجه محققان قرار گرفته است. به‌طور مثال می‌توان به خاک رس و ذرات مسکوویت اشاره کرد. مسکوویت یک ماده معدنی از خانواده میکا و غنی از پتاسیم و آلومینیوم است. فرمول شیمیایی مسکوویت به‌صورت $(KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2)$ است که یون‌های دیگر با یک بار مثبت منفرد مانند سدیم، روبیدیم یا سزیم می‌توانند جایگزین پتاسیم شده و منیزیم، مس، لیتیوم، کروم یا وانادیم جایگزین آلومینیوم شوند. این ذرات معدنی می‌توانند برای ساختن مواد ضدشعله و عایق و همچنین تا حدودی روان‌کننده‌ها استفاده شوند. مواد معدنی خانواده میکا به‌عنوان بخش مهمی از مواد معدنی رسی محسوب می‌شوند که در خاک‌های مناطق مختلف ایران گزارش شده‌اند. ورقه‌های مسکوویت در صنعت الکترونیک و تهیه خازن‌ها و لامپ‌ها و همچنین به‌دلیل خاصیت دی‌الکتریک آن در ساخت لوازم عایق حرارتی و الکتریکی کاربرد دارد. بالا بودن توان مکانیکی، چگالی پایین، عایق بودن در برابر رطوبت و گرما باعث گردیده که از آن در ساختن مقاوم‌های الکتریکی استفاده نمایند[۱۱]. در همین راستا پرآسارن و همکارانش[۱۲] به بررسی مهار نمودن گرما و شعله از الیاف پلی‌پروپیلن شکل‌دار حاوی بنتونیت اصلاح‌شده پرداختند. ارگانوکلی اصلاح‌شده فسفونیوم تتراپنیل[4] با اصلاح بنتونیت غنی از مونت موریلونیت[5] از طریق تبادل یونی تهیه شد. نتایج تجزیه تحلیل حرارتی نشان داد که این ماده دارای پایداری حرارتی بالا می‌باشد و دمای تخریب این نانوکامپوزیت (°C ۴۱۰–۴۲۰) بیشتر از دمای تخریب پلی‌پروپیلن که (°C ۴۰۳) است. همچنین زرین‌آبادی

1-Wash-wear

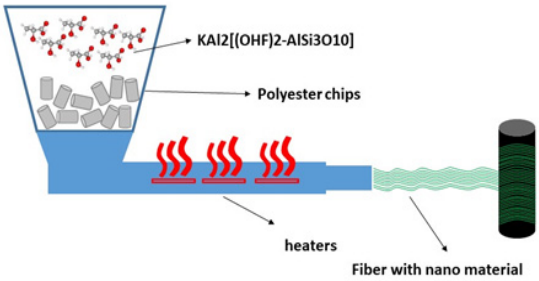
2-POY
3-FOY
4-Tetraphenyl phosphonium-modified organoclay
5-Montmorillonite-rich Thai bentonite

و همکارانش[۱۳] نانوکامپوزیت سه جزئی را از طریق ترکیب مواد معدنی، سنتز نموده و آن را به‌صورت عملیاتی بر روی پلی‌استر پوشش دادند. در این راستا، از طریق نرم‌افزار طراحی آزمایش رفتار پارچه و مواد را نیز بررسی نمودند. نتایج این محققان نشان داد که پارچه پلی‌استر آغشته‌شده دارای خاصیت مغناطیس اشباع بوده و از لحاظ خواص مغناطیسی بهبود یافته و عملکرد مناسبی داشته است. با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط محققان، به نظر می‌رسد تاکنون فعالیتی در راستای بهبود خواص حرارتی الیاف پلی‌استر با استفاده از ذرات معدنی مسکوویت صورت نگرفته است. لذا هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی امکان بهبود خواص حرارتی الیاف یکسره پلی‌استر است. برای انجام این کار سعی شده تا با افزودن ذرات معدنی مسکوویت مقاوم در برابر حرارت در حین عملیات ذوب‌ریسی الیاف پلی‌استر، به بررسی خواص ساختاری و عملکرد حرارتی الیاف کامپوزیتی تولید شده پرداخته شود.

۲- تجربی

۲-۱- مواد و روش‌ها

چیپس پلی‌استر با رنگ نیمه مات و استحکام مناسب جهت تولید انواع الیاف و نخ، با دمای ذوب ۲۵۵ °C از پتروشیمی شهید تندگویان ماهشهر تهیه گردید. همچنین ذرات مسکوویت از معادن استان یزد تهیه شد. برای تولید الیاف پلی‌استر ابتدا ماده معدنی مسکوویت به مدت ۲ ساعت توسط دستگاه آسیاب سیاره‌ای، آسیاب گردید. سپس چیپس پلی‌استر با درصدهای مختلف (۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) ذرات مسکوویت در دستگاه ذوب‌ریسی نیمه صنعتی (مدل Dynis-co، آلمان) تغذیه‌شده و الیاف کامپوزیتی پلی‌استر/مسکوویت تولید شدند. بررسی‌های به‌عمل آمده بر روی الیاف تولیدشده نشان داد که الیاف کامپوزیتی پلی‌استر/مسکوویت (۱ درصد وزنی) نسبت به سایر نمونه‌ها از میزان نپ کمتری برخوردار بوده‌اند. به‌منظور تولید الیاف عاری از عیوب ساختاری، اندازه ذرات مسکوویت آسیاب‌شده کاهش یافت. برای این منظور ابتدا مقدار مشخصی از پودر به‌دست آمده (۳ گرم) در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰ دور بر دقیقه هم زده شد [۱۴]. سپس محلول آماده‌شده، به مدت ۳۰ دقیقه در حمام مافوق صوت (شرکت Elma، مدل E300H، آلمان) قرار داده شد. در ادامه نمونه‌ها به مدت ۶۰ دقیقه در معرض پرتو فرابنفش قرار گرفتند. سپس ذرات مسکوویت در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس خشک‌شده و پس از آسیاب مجدد، به منظور تولید الیاف کامپوزیتی مورد استفاده قرار گرفتند. برای این منظور ابتدا ذرات مسکوویت (۱ درصد وزنی) با چیپس پلی‌استر در دستگاه خرد کن برقی آسیاب شدند. سپس به دستگاه ذوب ریسی در دمای ۲۶۰ °C و سرعت خروجی ۱۰ دور بر دقیقه و سرعت برداشت ۳۰ متر بر دقیقه، تغذیه شدند. در شکل ۱ شماتیک ترکیب و فرایند تولید الیاف پلی‌استر با ذرات مسکوویت مشاهده می‌شود.

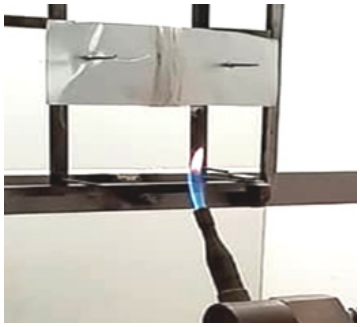


شکل ۱. شماتیک ترکیب و فرایند تولید الیاف پلی‌استر با ذرات مسکوویت

۲-۲- مشخصه‌یابی

به منظور مطالعه میکروسکوپی و بررسی مورفولوژی الیاف کامپوزیتی پلی‌استر/مسکوویت، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM مدل VEGA3) استفاده شد. پیش از تصویربرداری از نمونه‌ها جهت ممانعت از تجمع الکترون‌ها و ایجاد رسانایی در آن‌ها، کلیه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پوشش‌دهی کاتانداز (Sputter coater) با اتم‌های طلا پوشانیده شدند. تصاویر نمونه‌های مختلف در بزرگنمایی‌های مختلف تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین جهت بررسی برهمکنش بین ذرات مسکوویت و الیاف پلی‌استر، از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) (مدل MB300 ساخت کشور کانادا) استفاده شد.

به منظور ارزیابی مقاومت الیاف کامپوزیتی پلی‌استر/مسکوویت در برابر شعله، از دستگاه اشتعال‌پذیری ساخت شرکت شرلی با استاندارد ایزو ۲۰۰۹ استفاده گردید. برای این منظور ابتدا نمونه‌های الیاف پلی‌استر خام و الیاف کامپوزیتی پلی‌استر/مسکوویت تهیه‌شده با ضخامت‌های مشخص و یکسان بر روی یک صفحه نگهدارنده فلزی از جنس فولاد پیچیده شدند. هر یک از الیاف در محفظه آزمایش مطابق شکل ۲ به‌صورت عمودی پیچیده و محکم ثابت نگه داشته شد تا از جمع‌شدگی آن‌ها جلوگیری شود. نمونه‌ها توسط دستگاه تولید شعله با گاز متان تحت زاویه ۴۵ درجه و فاصله ۳ سانتی‌متری در معرض شعله مستقیم قرار گرفتند و زمان شروع تغییر حالت به ذوب الیاف اندازه‌گیری شد [۱۵].



شکل۲. نحوه قرار گیری نمونه در معرض شعله

۲-۳- طراحی آزمایشات

در این پژوهش به منظور بررسی پارامترهای فرایندی موثر بر تولید الیاف پلی‌استر نظیر میزان ذرات معدنی مسکوویت و زمان تابش پرتو فرابنفش، از طراحی آزمایش به روش سطح پاسخ (RSM) استفاده شد. برای این منظور از طرح مرکب مرکزی (CCD[1]) در قالب مرکز وجهی استفاده گردید. در حالت مرکز وجهی حدود بیشینه و کمینه با کد سطح‌های (+۱) و (−۱) مشخص می‌شوند که در واقع تنها اطلاعاتی است که با توجه به مطالعات و ایده پژوهش، برای سطوح هر متغیر باید در اختیار نرم‌افزار آماری قرار گیرد. به این ترتیب سطح سوم به‌عنوان سطح صفر یا مرکزی (۰)، مقداری بین کمینه و بیشینه است. مقادیر پارامترهای مورد بررسی براساس مطالعات اولیه و آزمایشات مقدماتی انتخاب شدند. بدین ترتیب میزان ذرات معدنی مسکوویت از ۲/۵ تا ۵/۵ گرم و زمان قرارگیری در معرض تابش ۵۰ تا ۱۲۰ دقیقه تعیین گردید. بر این اساس ۱۳ آزمایش طراحی شد که در جدول ۱ خلاصه شده است. همچنین نتایج اندازه گیری های مقاومت در برابر آتش نمونه های تولید شده مطابق متغیرهای اشاره شده در جدول ۱، در ستون پاسخ ارائه شده است.

1-Central Composite Design

۳- نتایج و بحث

۳-۱- طراحی آزمایشات

پس از تهیه نمونه براساس طراحی آزمایش، مقاومت در برابر

جدول۱. طراحی آزمایشات جهت بررسی تاثیر میزان ذرات معدنی مسکوویت و زمان قرارگیری در معرض پرتو فرابنفش برروی خواص حرارتی الیاف

آزمایش	فاکتور ۱	فاکتور ۲	پاسخ
	A: میزان ذرات مسکوویت (گرم)	B: زمان قرارگیری در معرض تابش (دقیقه)	مقاومت در برابر آتش (ثانیه)
۱	۴	۹۰	۶۶۸/۸
۲	۵	۶۰	۶۰۷/۸
۳	۴	۹۰	۶۶۸/۰
۴	۴	۹۰	۶۵۰/۰
۵	۵/۴	۹۰	۳۰۱/۸
۶	۳	۱۲۰	۲۸۷/۸
۷	۳	۶۰	۲۰۱/۳
۸	۴	۴۷	۵۲۸/۰
۹	۲/۵	۹۰	۲۳۰/۵
۱۰	۵	۱۲۰	۱۶۸/۵
۱۱	۴	۹۰	۶۴۰/۰
۱۲	۴	۱۳۲	۳۰۸/۰
۱۳	۴	۹۰	۶۹۷/۸

آتش نمونه‌های تولیدشده مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در جدول ۱ ارائه شد. با توجه به جدول ۱ بیشترین مقاومت حرارتی الیاف پلی‌استر برای آزمایش شماره ۱۳ بود که دارای ۴ گرم ذرات مسکوویت و زمان قرارگیری در معرض تابش ۹۰ دقیقه است. همچنین افزایش زمان قرارگیری در معرض تابش از ۹۰ دقیقه به ۱۳۲ دقیقه موجب کاهش مقاومت الیاف در برابر آتش گردید. تحلیل واریانس داده‌های به‌دست آمده با استفاده از جدول۲ (ANOVA) در سطح اطمینان ۹۵ درصد (سطح معنی‌داری ۰/۰۵) مورد بررسی قرار گرفت. براین اساس تفاوت معنی‌داری بین تاثیر متغیرها بر خاصیت مقاومت حرارتی وجود دارد. همچنین با توجه به اینکه آماره آزمون فیشر در تابش پرتو فرابنفش نسبت به ماده معدنی مسکوویت بیشتر است، لذا می‌توان نتیجه گرفت که این متغیر بیشترین تاثیر را در بهبود خاصیت حرارتی الیاف داشته است. با توجه به رابطه رگرسیون مورد استفاده در طراحی آزمایش، مدل سطح پاسخ مقاومت حرارتی الیاف پلی‌استر تقویت‌شده با ذرات مسکوویت به‌صورت زیر می‌باشد:

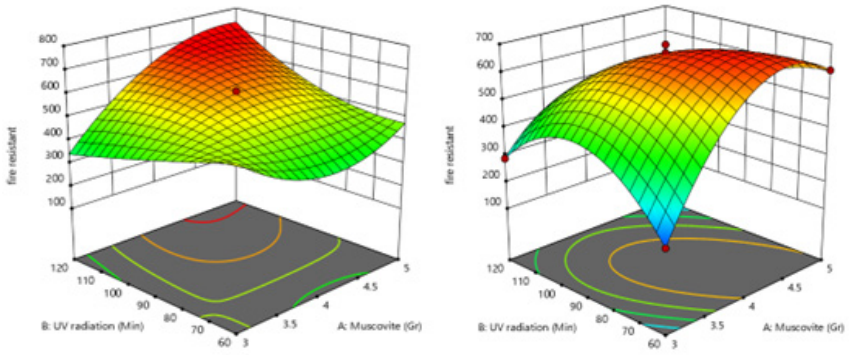
Fire resistance(muscovite): 665 + 25/1907 × [Muscovite] -77/7817 × [UV-radiation] -131/437 × [Muscovite] [UV-radiation] -199/438 × [Muscovite]^2 -123/5 × [UV-radiation]^2 + 0 × [Muscovite] ^{2}[UV-radiation] + 46/6218 × [Muscovite] [UV-radiation]^2 + 0 × [Muscovite] ^{3} + 0 × [UV-radiation]^3 + 0 × [Muscovite]^2 [UV-radiation]^2 + 0 × [Muscovite]^3 [UV-radiation] + 0 × [Muscovite] [UV-radiation]^3 + 0 ×[Muscovite] ^{4} + 0 ×[UV-radiation]^4

۳-۲- بررسی پارامترهای موثر بر مقاومت حرارتی الیاف

شکل۳ نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ مقاومت حرارتی الیاف را برحسب تغییرات هم‌زمان میزان ذرات مسکوویت و زمان قرارگیری در معرض تابش پرتو فرابنفش نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۳-الف مشخص است، با افزایش میزان ذرات مسکوویت از ۳ تا ۴ درصد بر میزان مقاومت حرارتی الیاف افزوده شده است. همچنین افزایش زمان قرارگیری در معرض پرتو فرابنفش سبب افزایش و در ادامه کاهش مقاومت حرارتی الیاف شده است. در شکل ۳-ب نیز با افزایش میزان مقدار مسکوویت و زمان قرارگیری در معرض تابش پرتو فرابنفش، مقاومت الیاف پلی‌استر در برابر حرارت نیز افزایش پیدا کرده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده و مدل رگرسیونی توسعه داده شده، شرایط بهینه تولید الیاف حاوی مسکوویت به‌منظور دستیابی به بیشینه مقاومت حرارتی الیاف، مطابق جدول ۳ می‌باشد.

جدول۲. آزمون ANOVA جهت ارزیابی خواص حرارتی الیاف پلی‌استر تقویت‌شده با ذرات مسکوویت

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره آزمون فیشر	سطح معنی‌داری آزمون
مدل	۵/۱۹۰ E +۰۵	۱	۶۴۸۶۹/۳۴	۱۳۴/۳۴	۰/۰۰۰۱
A-مسکوییت	۲۵۳۳۸/۲۸	۱	۲۵۳۸/۲۸	۵/۲۶	۰/۰۰۸۳
B-زمان قرارگیری در معرض پرتو	۲۴۲۰۰/۰۰	۱	۲۴۲۰۰/۰۰	۵۰/۱۳	۰/۰۰۲۱
AB	۶۹۱۰۳/۲۷	۱	۶۹۱۰۳/۲۷	۱۴۳/۱۵	۰/۰۰۰۳
A^2	۲/۲۷۳ E +۰۵	۱	۲/۲۷۳ E +۰۵	۴۷۰/۸۵	< ۰/۰۰۰۱
B^2	۸۷۱۵۵/۷۱	۱	۸۷۱۵۵/۷۱	۱۸۰/۵۵	۰/۰۰۰۲
A^2B	۲۱۶/۵۶	۱	۲۱۶/۵۶	۰/۴۴۸۶	۰/۵۳۹۷
AB^2	۴۳۴۷/۱۹	۱	۴۳۴۷/۱۹	۹/۰۱	۰/۰۳۹۹
A^2B^2	۱۳۳۲۶/۱۲	۱	۱۳۳۲۶/۱۲	۲/۷۵	۰/۱۷۲۸
Pure Error	۱۹۳۰/۸۷	۴	۴۸/۷۲		
Cor Total	۵/۲۱۹ E +۰۵	۱۲			



(ب) (الف)

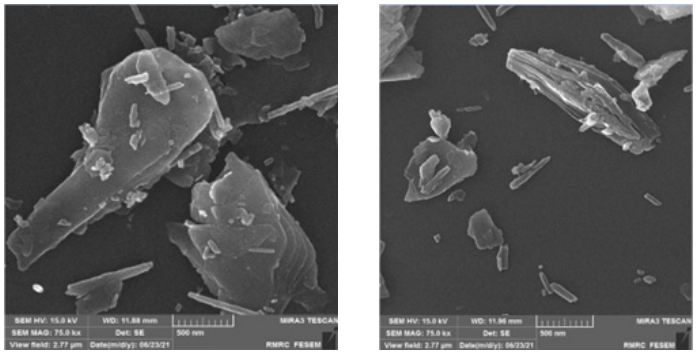
شکل۳. نمودار سه بعدی سطح پاسخ مقاومت حرارتی الیاف پلی‌استر بر حسب تغییرات: (الف) ذره مسکوویت و زمان تابش فرابنفش. (ب) مسکوویت در نانو ذره دو جزئی و تابش نورفرابنفش بر مقاومت حرارتی

جدول۳. شرایط بهینه تولید الیاف حاوی ذرات مسکوویت

مسکوویت (گرم)	زمان قرارگیری در معرض پرتو فرابنفش	مقاومت در برابر آتش (ثانیه)	میزان بهبود مقاومت حرارتی
٤/٣	٧٥	۶۸۶/۳	%۹۸

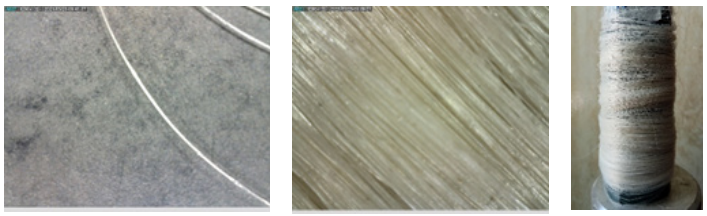
۳-۳- ریخت‌شناسی الیاف تولیدشده در شرایط بهینه

شکل۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ذرات مسکوویت مورد استفاده در این تحقیق پس از آسیاب را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۵ تصویر الیاف تولیدشده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، الیافی یکنواخت و با ظاهر و قطر یکنواخت تولید شده است.



(ب) (الف)

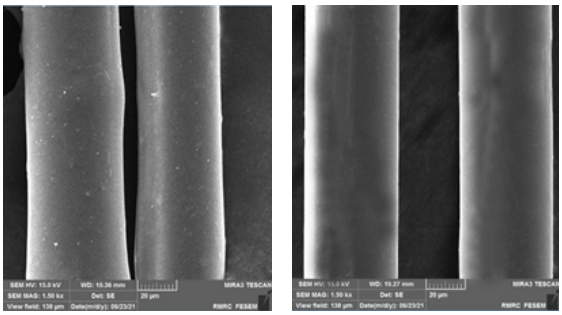
شکل٤. تصاویر میکروسکوپی FESEM مسکوویت: (الف) پودر سرندشده پس از آسیاب سیاره‌ای ، (ب) پودر بهینه



(ج) (ب) (الف)

شکل۵. تصاویر الیاف تولیده شده از ذرات مسکوویت: (الف) الیاف تولید شده، (ب) نمای الیاف با بزرگنمایی ۶۰ X (ج) نمای الیاف با بزرگنمایی۲۰۰ X

بررسی میکروسکوپی الیاف پلی‌استر تقویت‌شده با ذرات مسکوویت به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی (شکل۶)، نشان‌دهنده تولید الیاف پلی‌استر با ظاهری یکنواخت می‌باشد که ذرات مسکوویت در طول آن به‌خوبی توزیع یافته‌اند. همانطور که در تصویر مشخص است ذرات مسکوویت در مرحله ذوب‌ریسی به شکل ذرات کاملا مجزا در درون ساختار الیاف توزیع شده‌اند.

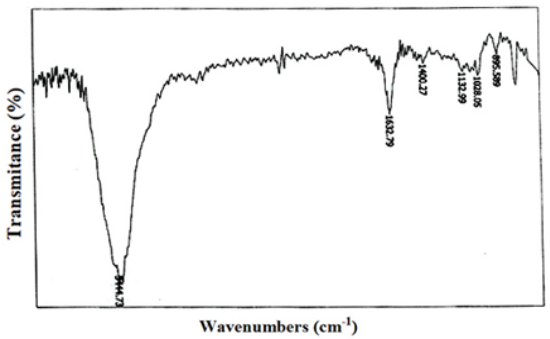


(ب) (الف)

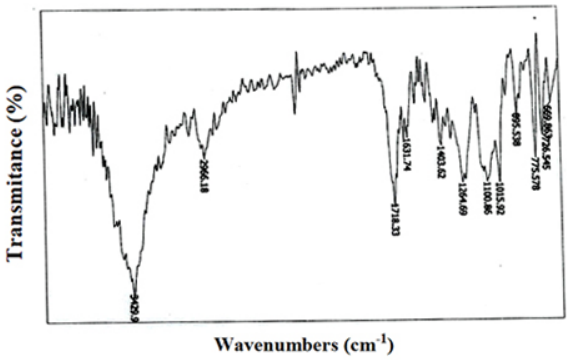
شکل۶. تصاویر FESEM (الف): الیاف پلی‌استرخالص با بزرگنمایی ۲۰ µm و (ب): الیاف پلی‌استر تقویت‌شده با ذرات مسکوویت با بزرگنمایی ۲۰ µm

۳-٤- خواص ساختاری الیاف تولیدشده در شرایط بهینه

در شکل ۷ طیف مادون قرمز الیاف پلی‌استر خام ارائه شده‌است. حضور گروه‌های C=O به انضمام دو پیک شدید دیگر در ۱۱۳۲ و ۱۰۲۸ cm^{-1} مرتبط با گروه‌های استری نشان داده شده است. علاوه‌براین یک باند کوچک ۱۶۳۲ cm^{-1} یافت شد که مربوط به گروه های CH_2 است. علاوه بر آن، باند ۳۴۲۹ cm^{-1} مربوط به ارتعاش‌های کششی گروه های هیدروکسیل (OH) است. در شکل۸ طیف مادون قرمز الیاف تولیدشده با مسکوویت نشان‌داده شده است. همانطور که مشاهده می شود پس از بکارگیری ذرات مسکوویت، پیک های جذبی جدیدی در طیف مادون قرمز الیاف بوجود آمده است که به حضور گروه های شیمیایی مسکویت اشاره دارد. در این تحلیل، به‌خوبی مشاهده می‌شود که ذرات مسکوویت با ذرات پلی‌استر در حد کامل مخلوط‌شده و از نظر شیمیایی با یکدیگر به‌خوبی برهمکنش دارند.



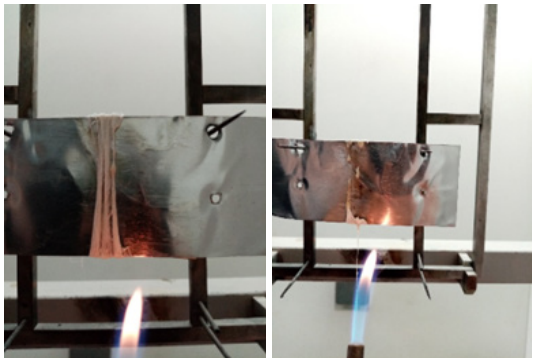
شکل۷. طیف مادون قرمز الیاف پلی‌استر خام



شکل۸. طیف مادون قرمز الیاف پلی‌استر تقویت‌شده با ذرات مسکوویت

۳-۵- آزمون شعله

جهت بررسی تاثیر افزودن ذرات مسکوویت در گرانول پلی‌استر بر مقاومت حرارتی الیاف کامپوزیتی، از آزمون شعله استفاده شد و نتایج مربوط به نمونه‌های بهینه به شرح ذیل حاصل گردید. (۱) نمونه پلی‌استر خام به‌طور متوسط در ۵ ثانیه، شروع به ذوب‌شدن نموده و به‌صورت قطره درآمده و کاملا دچار گسستگی گردید، شکل(۹-الف). (۲) نمونه الیاف بهینه حاوی ذرات مسکوویت در مدت۶۰ ثانیه شروع به تغییر شکل داده ولی کاملا ذوب نشد و تقریبا خشک گردید، شکل(۹-ب).



(ب) (الف)

شکل۹. تصاویر تست شعله: (الف) پلی‌استر خام، (ب) پلی‌استر فیلر زده‌شده با مسکوویت

۳-٦- نتایج آزمون استحکام

به منظور ارزیابی ثبات خواص مکانیکی الیاف بهبود یافته، ابتدا استحکام نمونه شاهد اندازه‌گیری شد و سپس از الیاف بهینه تولیدشده به تعداد ۵ بار آزمون استحکام گرفته شد. میانگین استحکام آن‌ها طبق جدول ۴ قابل مشاهده است. استحکام نمونه پلی‌استر فیلر زده‌شده با مسکوویت به مقدار کمی با کاهش همراه بوده است ولی اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت. لذا اضافه‌شدن نانو ذرات طبق جدول ۴ تاثیر چندانی بر کاهش استحکام لیف نداشته است.

جدول٤. نتایج حاصل از آزمون استحکام الیاف

آزمایش	الیاف	مسکوویت گرم	UV دقیقه	استحکام گرم بر دنیر	انحراف معیار
۱	نمونه شاهد پلی‌استر خام	--	--	۳/۳۴	۲/۰۱
۲	پلی‌استر بهینه فیلر زده‌شده با مسکوویت	۴/۳	۷۵	۳/۲۸	۱/۴۲

در اثر ازدیاد طول در نمونه پلی‌استر خام در محل پارگی، قطر الیاف کاهش یافته و همچنین الیاف پس از پارگی به‌صورت مارپیچ در می‌آیند. اما درمورد نمونه‌های پلی‌استر فیلر زده‌شده با مسکوویت به‌دلیل وجود ماده معدنی، ساختاری سخت پیدا می‌کنند. از این رو در محل پارگی شاهد شکستگی لیف هستیم و پس از پارگی، الیاف حالت مارپیچ به خود نمی‌گیرند.

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به تولید الیاف پلی‌استر با خواص حرارتی بالا با استفاده از ذرات مسکوویت پرداخته شد. با تعیین اندازه بهینه ذرات با روش طراحی آزمایشات و آزمون‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی به‌منظور آنالیز مورفولوژی پودر مسکوویت و الیاف و همچنین استفاده از طیف مادون قرمز، نمونه‌های تولیدشده بررسی و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد ذرات مسکوویت با پلی‌استر در حد کامل مخلوط‌شده و آمیزه‌ای یکنواخت از پلی‌استر و مسکوویت تهیه شده است. همچنین نتایج حاصل از آنالیز آزمون شعله نشان داد که نمونه پلی‌استر خام به‌طور متوسط در ۵ ثانیه، شروع به ذوب‌شدن نموده و به‌صورت قطره درآمده و متلاشی می‌گردد، این درحالیست که نمونه بهینه تقویت‌شده با مسکوویت در مدت ۶۰ ثانیه شروع به تغییر شکل و جمع می‌شود ولی کاملا ذوب نمی‌گردد. این امر نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار ذرات مسکوویت بر بهبود مقاومت حرارتی این الیاف می‌باشد و به این صورت می‌توان مشکل عمده این الیاف که آتش‌پذیری و شره‌کردن در حین سوختن است را مرتفع نمود. لذا حضور نانو ذرات مسکوویت در گرانول پلی‌استر، تا حدود ۱۲ برابر می‌تواند بر بهبود مقاومت حرارتی الیاف حاصله تاثیرگذار باشد. از سوی دیگر به منظور اطمینان از عدم افت دیگر خواص این الیاف اصلاح شده، استحکام کششی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان‌داد با بهبود خواص حرارتی، تنها کمتر از ۲ درصد از استحکام آن‌ها کاسته‌شده است که در حد قابل قبولی می‌باشد.

٥- مراجع

[1] A. Tomar, T. Sharma, A review study on strength properties of different soils treated with different materials including nanomaterials. International Journal of Management Technology and Engineering. 9(2019), 1769-1774.

[2] M. Kazemi, Investing in the Polyester Industry, an Opportunity for Textile Development, sixth year, 266(2007), 10-13.

[3] J.E. Macintyre, (translated by R, Semnani Leader), Synthetic fibers: polyamide, polyester, acrylic, polyalfin. University Jahad (Amirkabir University of Technology). Iran.2009,450.

[4] M. Jaffe, A.J. Easts, X. Feng, Polyester fibers. In Thermal Analysis of Textiles and Fibers. Woodhead Publishing. 2020,133-149.

[5] R. Yanfei, G. Jixian, F. Ranran, L. Zheng, Y. Zhicai, L. Jiangfei, W. Fubang, Dyeing and functional properties of polyester fabric dyed with prodigiosins nanomicelles produced by microbial fermentation. Journal of Cleaner Production. 148(2017), 375-385.

[6] L. Yuanwei, H. Wei, W. Yuting, J. Weining, M. Chongfang, G. Hang, Performance study on compressed air refrigeration system based on single screw expander. Express Polymer Letters. 55(2013), 762-768.

[7] R. Latif, S. Wakeel, N. Zaman Khan, A. Noor Siddiquee, S. Lal Verma, Z. Akhtar Khan, Surface treatments of plant fibers and their effects on mechanical properties of fiber-reinforced composites: A review. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 38(2019), 15-30.

[8] T.J. Chung, J.W. Park, H.J. Lee, H.J. Kwon, H.J. Kim, Y.K. Lee, W.T.Y. Tze, The improvement of mechanical properties, thermal stability, and water absorption resistance of an eco-friendly PLA/kenaf biocomposite using acetylation. Applied Sciences. 8(2018), 376.

[9] A. Masaeli, S. Borhani, Study of Pressure Cold Plasma on Moisture Properties of Polyester Fabric. Journal of Polymer Science and Technology. 20(2007), 155-163.
[10] S. Borhani, M. Yosefi, M. Morshed, j. Borhani, Effect of Microwave Heating on the Fine Structure of Polyester Filaments. Journal of Polymer Science and Technology. 15(2002), 267-274.
[11] S. Rasouli, F. Oshani, S. Abdolahi, Use of organic and inorganic Pigment for Preparation of Colored Mika. Institute for Color Science and Technology. 4(2010), 9-15.
[12] C. Prahsarn, N. roungpaisan, W. Klinsukhon, N. Suwannamek, S. Padee, Thermal and Flame Retardant Properties of Shaped Polypropylene Fibers Containing Modified-Thai Bentonite. Autex Research Journal. 18(2018), 13-19.
[13] E. Zarinabadi, R. Abghari, A. Nazari, M. Mirjalili, Modeling and optimization of electromagnetic and saturated magnetic properties of polyester fabrics coated with Ag/kaolin/silica nanocomposites. Bulgarian Chemical Communications. 50(2018), 154-167.
[14] E. Zarinabadi, R. Abghari, A. Nazari, M. Mirjalili, Environmental effects of enhancement of mechanical and hydrophobic properties of polyester fabrics using silica/kaolinite/silver nanocomposite: a facile technique for synthesis and RSM optimization. EurAsian Journal of BioSciences. 12(2018), 437-450.
[15] Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles, ASTM Standard, D6413/D6413M-15,2015.