



## بررسی خواص حرارتی و قابلیت ریسندگی الیاف کامپوزیت پلی آمید ۶ و هیدروکسید منیزیم

محمدعلی جعفری<sup>۱\*</sup>، محمد اسماعیل یزدانشناس<sup>۲</sup>، ابوسعید رشیدی<sup>۱</sup>، مسعود هزاری<sup>۳</sup>

### چکیده

امروزه تحقیقات بسیاری در زمینه ضد آتش نمودن مواد و بطور خاص منسوجات صورت می گیرد. اما با توجه به وسعت محصولات در صنعت نساجی و تفاوت آنها از لحاظ نوع ماده اولیه، روش ضد آتش نمودن و خصوصیات مدنظر برای محصول نهائی و دیگر موارد، حوزه انجام این تحقیقات بسیار گسترش پیدا نموده است. از جمله مواد اولیه مصرفی در این صنعت، مواد آلی پلیمری هستند که حاوی کربن و هیدروژن به عنوان عناصر اصلی بوده و تحت حرارت تخریب شده، و آتشگیری آنها با خطرات زیادی همراه می گردد. در تحقیق حاضر سعی شده است با استفاده از میکرو ذرات هیدروکسید منیزیم به عنوان ماده پُرکننده، مقاومت حرارتی PA6 که مصرف بالایی در صنعت نساجی نیز دارد، بهبود داده شود. نمونه هایی از کامپوزیت MDH/PA6 با درصد های ۱۵/۸۵ ، ۳۰/۷۰ و ۴۵/۵۵ تولید شد و خواص حرارتی، اشتعال پذیری، فیزیکی آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهند که با افزایش درصد هیدروکسید منیزیم در کامپوزیت، مقاومت حرارتی الیاف، دمای شیشه ای، دمای ذوب و درصد جرم باقیمانده کامپوزیت افزایش می یابد. علاوه بر آن تحقیقاتی بر امکان ریسندگی کامپوزیت تولیدی نیز صورت پذیرفته است.

**کلمات کلیدی:** ضد آتش ، کامپوزیت ، پلی آمید ۶ ، هیدروکسید منیزیم.

### Abstract

Many researches have been done in flame retardant chemicals specially in textiles. Due to variety of textile products and their differences in their materials, flame retardant processes and desired specifications in end-product, the researches have been grown in vast variety of fields. One of the materials that has been used in textile industry is organic polymer material which contains Carbon and Hydrogen as the main substances. Organic polymer materials decompose under heat and burn with trouble. This research tries to improve heat resistance of PA6 by utilizing MDH micro substance as filler. Therefore, samples of PA6 and MDH composite in 85/15%, 70/30% and 55/45% were analyzed and researched. Results show that by increasing the percentage of MDH in composite, heat treatment of yarns, Tg, melting point, and percentage of the weight of remained composite improve. Moreover, some researches have been done on spinnability of those built composites.

**Key Word:** Flame Retardant , Composite , Polyamide 6 , Magnesium Hydroxide .

۱. دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. مسئول مکاتبات: Ma.jafary@yahoo.com

۲. دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران.

۳. دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر، مازندران، ایران.

## ۱. مقدمه

هر ساله دهها هزار انسان درجهان در اثر ماندن در آتش جان خود را از دست داده و صدها هزار نفر آسیب می بینند. نزدیک به ۸ مورد از ۱۰ مورد مرگ در اثر آتش سوزی در خانه اتفاق می افتد. ادراجات آتش نشانی در سطح جهان به وضوح اظهار کرده اند که با گذشت سال ها تعداد آتش سوزی های منجر به مرگ به صورت قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. گازهای سمی ناشی از اشتعال بعنوان عاملی اصلی خفگی، جنبه‌ی غیر قابل اجتناب آتش سوزی است. بیشتر مواد ضد آتش مصرفی تا سال ۱۹۷۰ دارای قابلیت کاهش آتش پذیری و کاهش نرخ انتشار سطحی آتش بودند اما در سالهای اخیر توجه بیشتر بر نرخ گرمای آزاد شده، انتشار دود و گازهای سمی کشنده معطوف شده است. از این رو اغلب ضد آتش نمودن ها بر اساس اهداف ذیل صورت می پذیرد:

۱- پیشگیری از ایجاد آتش بواسطه حذف رادیکالهای آزاد و محدود نمودن منابع احتراق.

۲- حذف دودهای سمی بواسطه تغییر در ساختار پلیمری یا پراکندن آنها توسط گازهای بی خطر [۲و۱].

در چند دهه اخیر زمینه جدیدی از مواد در تشکیل کامپوزیتها وارد عرصه علم و فناوری شده است، به دلیل تغییر در ترکیب و ساختار مواد با ارائه خواص ویژه نسبت به مواد متداول، مورد توجه خاص قرار گرفت. مواد ضد آتش را می توان با استفاده از تغییر در ساختار پایه پلیمر، مواد افزودنی و یا پوشش های شیمیایی پس از تولید، بدست آورد. مقاومت در برابر آتش یکی از ویژگی های مقدماتی یک ماده برای منسوج محافظ است. منسوجات محافظ در برابر حرارت و آتش نباید تنها برای مقاومت در برابر آتش ارزیابی شوند، بلکه محافظت در برابر حرارت های مختلف حاصل شده از انتقال، تابش و منابع هادی بر اساس مصرف نهایی مشخص می شوند و در نهایت محافظت مورد نیاز در نظر گرفته شده ایجاد می گردد. منسوج نباید در طی حرارت دیدن جمع شود که در غیر اینصورت مستقیماً انرژی تابشی یا انتقالی را منتقل می کند. الیاف مصنوعی با بالاترین کیفیت در برابر حرارت و حتی شعله اندکی بسیار سریع جمع شده و بسختی به پوشنده می چسبند. محافظت ارائه شده بوسیله منسوجات در برابر حرارت و آتش بصورت گسترده به مصرف نهایی، حرارت اعمالی، جریان حرارت و بیشتر از همه به مقدار زمان در معرض حرارت بودن بستگی دارد [۳و۴و۵].

آزمونهای متعددی جهت ارزیابی خاصیت ضد آتشفها و فرآیند سوختن پلیمرهای حاوی ذرات ضد آتش وجود دارد.

خصوصیات مهمی که در آزمایشات مد نظر و مورد مطالعه قرار می گیرند عبارتند از:

- ❖ قابلیت سوختن، که نشان می دهد ماده در شرایط معین چه مقدار مستعد آتش گرفتن است.
- ❖ انتشار شعله، که مشخص می نماید به هنگام شعله ور شدن، سرعت انتشار شعله چقدر است.
- ❖ آزاد سازی حرارت، که می تواند پس از آنکه شعله خاموش گردید، موجب آتش سوزی مجدد گردد.

❖ ریزش قطره های مذاب در اثر سوختن، که باعث دور کردن حرارت و کاهش حرارت از نمونه آتش گرفته می شود،

ولی در صورتی که قطره ها خود شعله ور باشند می تواند موجب انتشار شعله گردد [۶].

کاربرد هیدروکسید منیزیم بعنوان ضد آتش کننده نایلون توسط V.S.T. Ciminelli و S.D.F. Rocha ارائه شده

است. البته در این تحقیقات از دو نوع هیدروکسید منیزیم استفاده شد:

- هیدروکسید منیزیم بروش هیدراته نمودن منیزیم MH-H

- هیدروکسید منیزیم ناشی از رسوب MH-P

بررسی ها نشان داد هیدروکسید منیزیم MH-H به علت داشتن سطح فعال بیشتر در واکنش ها، واکنش پذیری پائین با گروه های اسیدی، خلوص بالا و اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرومتر بهترین خواص را بعنوان ماده افزودنی ضد آتش در پلی آلفین ها دارد. تجزیه آن بصورت گرماگیر بوده و موجب جلوگیری از انتشار سریع شعله می شود و آب آزاد شده باعث دور نمودن گازهای برخاسته و از جمله اکسیژن می شود، که از عوامل ایجاد شعله می باشد. امروزه هیدروکسید منیزیم علاوه بر داشتن خواص ضد آتش، بعنوان یک ماده جلوگیری کننده از تشکیل دود نیز مورد استفاده قرار می گیرد [۷ و ۸].

## ۲. مواد

### ۱.۲. پلی آمید ۶

ماده پایه ای پلی آمید ۶ استفاده شده در این تحقیق از شرکت الیاف ایران با کد SB تهیه شده است، که برخی خواص

آن به شرح زیر است:

جدول ۱. مشخصات پلی آمید ۶ مصرفی

مقدار	واحد	آزمون
۱/۳۴	g/cm <sup>3</sup>	چگالی
۳۸	MPa	استحکام
۱	GPa	مدول انعطافی-خمیدگی
۴۰	%	درصد ازدیاد طول در زمان پارگی
۱/۵	%	درصد جذب آب

## ۲.۲. هیدروکسید منیزیم

ماده پرکننده هیدروکسید منیزیم مورد استفاده در این پروژه با نام "AMAG 403W" بوده که از شرکت "AMMAT TECHNOLOGY" کشور آمریکا تهیه شده است. این نوع از هیدروکسید منیزیم، نوعی اصلاح شده با خلوص بالاست که بوسیله عملیات پوشش دهی پلیمری بدست می آید. عملیات پوشش دهی پلیمری کمک می کند تا سازگاری میان پُرکننده و ماتریس پلیمر افزایش یافته و از این رو خواص مکانیکی کامپوزیت بهبود می یابد. هالوژن آزاد این ضد آتش بوسیله مقدار کمی دود خارج می گردد و در طی فرآیند تجزیه در اثر سوختن هیچ گاز سمی و یا فاسد کننده ای پخش نمی شود. شرکت سازنده این ماده را برای مصرف با پلی آمیدها، لاستیکها، پلی آلفین ها پیشنهاد داده است.

جدول ۲. مشخصات هیدروکسید منیزیم مصرفی

مقدار	واحد	مشخصات
$93 \leq$	%	میزان خلوص
340	$^{\circ}\text{C}$	مقاومت حرارتی
$0.3 >$	%	میزان رطوبت ( $105^{\circ}\text{C}$ )
$12 \geq$	$\text{m}^2/\text{g}$	مساحت سطح
$0.2-3/5$	$\mu\text{m}$	اندازه ذرات
$2/3$	$\text{g}/\text{cm}^3$	چگالی

## ۳. آزمایشات

## ۱.۳. تهیه کامپوزیت های PA6/MDH

در این تحقیق سه نوع نمونه با در صدهای متفاوت از ترکیب هیدروکسید منیزیم و پلی آمید ۶ برای بررسی خواص فیزیکی و حرارتی تهیه گردید، که بصورت زیر نامگذاری شدند:

جدول ۳. مشخصات نمونه های کامپوزیت تولیدی

نام نمونه کامپوزیت	درصد ترکیب کامپوزیت
PA100	۱۰۰٪ پلی آمید ۶
PA85	۸۵٪ پلی آمید ۶ - ۱۵٪ هیدروکسید منیزیم
PA70	۷۰٪ پلی آمید ۶ - ۳۰٪ هیدروکسید منیزیم
PA55	۵۵٪ پلی آمید ۶ - ۴۵٪ هیدروکسید منیزیم

برای تهیه نمونه های کامپوزیت از دستگاه میکسر دو بازویی استفاده شد که دمای آن ۲۷۰ درجه سانتیگراد و سرعت آن ۶۰ دور در دقیقه تنظیم گردید و ۷ دقیقه به مواد برای تشکیل کامپوزیت زمان داده شد.

### ۲،۳. تهیه الیاف کامپوزیت PA6/MDH

در این بخش از نمونه کامپوزیت های تولیدی و پلی آمید ۶، الیافی بمنظور بررسی امکان ریسندگی کامپوزیتها و همچنین بمنظور مقایسه خواص مکانیکی و حرارتی الیاف کامپوزیت با لیف پلی آمید ۶ تهیه گردید که بصورت زیر نامگذاری شدند:

جدول ۴. مشخصات نمونه الیاف تولیدی

نام نمونه لیف کامپوزیت	درصد ترکیب لیف کامپوزیت
F-PA100	۱۰۰٪ پلی آمید ۶
F-PA85	۸۵٪ پلی آمید ۶ - ۱۵٪ هیدروکسید منیزیم
F-PA70	۷۰٪ پلی آمید ۶ - ۳۰٪ هیدروکسید منیزیم
F-PA55	۵۵٪ پلی آمید ۶ - ۴۵٪ هیدروکسید منیزیم

برای ریسیدن الیاف از اکسترودر تک ماردون استفاده شد که از دو بخش اکسترودر و قسمت پیچش تشکیل شده است. بدین منظور ابتدا نمونه های کامپوزیت آسیاب شده در درون آون به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد تا رطوبت از آنها خارج گردد. ابتدا کامپوزیت ها در دهانه تغذیه اکسترودر کمی گرم و وارد بخش روتور می گردد. در اثر حرارت اعمالی این قسمت مواد خوب ذوب شده و در نتیجه حرکت ماردون مخلوط و از دهانه خروجی، خارج می گردند. مواد خروجی توسط یک میله برنجی به قسمت پیچش منتقل می شوند تا لیف تولیدی را تشکیل دهند. قسمت پیچش در فاصله استاندارد از قسمت اکسترودر قرار دارد تا در اثر کشش وارده لیف آرایش یافتگی مناسبی پیدا نماید و همچنین زمان کافی برای سرد شدن و تثبیت داشته باشد. دمای روتور و محل تغذیه اکسترودر ۲۶۰ درجه سانتیگراد و سرعت روتور ۱۰ دور در دقیقه قرار داده شد. در هنگام فرآیند ریسندگی سعی شد تا رطوبت محیط در حداقل ممکن حفظ شود و کلیه شرایط تولید کاملاً یکسان در نظر گرفته شود، تا تنها تأثیر میزان ذرات هیدروکسید منیزیم در کامپوزیت مشخص گردد.

### ۳،۳. دستگاه وزن سنجی حرارتی TGA

آزمون های مربوط به گرماسنجی افتراقی بوسیله دستگاه TGA تحت استاندارد (ASTM - E 1131) انجام گرفته است. آنالیز حرارتی، تغییرات در وزن نمونه (از دست دادن وزن نمونه ای که در معرض یک برنامه حرارت دهی تحت کنترل

قرار دارد) بعنوان مبنای محاسبه ترموگراویمتری (TG) قرار می گیرد. در روش ترموگراویمتری دیفرانسیلی (TGA) بجای نسبت جرم به زمان یا دما، نسبت تغییرات جرم را به زمان یا دما خواهیم داشت. در اینجا جرم نمونه بطور مداوم بصورت تابعی از دما یا زمان ثبت می شود. توسط تکنیک ترموگراویمتری می توان به این مهم دست یافت که یک نمونه چند درصد از وزن خود را هنگامیکه تا دمای مشخصی حرارت می بیند از دست می دهد. همچنین با انجام این آزمون می توان دمای شیشه ای و دمای شروع ذوب و دمای پیک ذوب کامپوزیت ها را تعیین نمود. در شرایط آزمون، نرخ افزایش حرارت ۱۰ درجه سانتیگراد در دقیقه و رنج دمائی از شرایط محیط تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد می باشد.

#### ۴.۳. دستگاه تعیین میزان اشتعال پذیری LOI

آزمون های سنجش میزان اشتعال پذیری به وسیله دستگاه LOI، تحت استاندارد (ASTM - D 2863) انجام گرفته است. در این آزمون نمونه ها در یک اتمسفر کنترل شده حاوی اکسیژن و نیتروژن سوزانده می شوند. بر اساس روش ارائه شده طبق استاندارد فوق، نمونه ها در محفظه دستگاه به صورت عمودی قرار می گیرند و جریانی از مخلوط اکسیژن و نیتروژن، پس از عبور از لایه ای با دانه های شیشه ای به داخل محفظه وارد می شود. پس از حدود ۳۰ ثانیه نمونه ها مانند شمع از بالا آتش زده می شوند. در این هنگام حداقل میزان غلظت اکسیژن در مخلوط اکسیژن و نیتروژن که برای ادامه شعله ور نگه داشتن آتش به مدت ۳ دقیقه و یا سوختن ۵ سانتی متر از نمونه نیاز است، اندازه گیری می گردد. همچنین می توان اثر درصد ترکیب مواد پلیمری بر میزان اشتعال پذیری آنها را نیز مورد بررسی قرار داد.

#### ۵.۳. دستگاه تعیین شاخص مذاب MFI

آزمون مربوط به تعیین شاخص مذاب به وسیله دستگاه MFI تحت استاندارد (ASTM - D 1238) انجام گرفته است. MFI شاخصی برای جریان مذاب می باشد و نشان دهنده وزن مولکولی متوسط پلیمر بوده و با آن رابطه معکوس دارد. شاخص مذاب در این تحقیق برای نشان دادن ویژگی روانی پلیمر بعنوان معیاری از قابلیت اکستروژن شدن محاسبه شد. همچنین می توان گفت با افزایش شاخص مذاب، استحکام کششی، مقاومت پارگی، دمای نرم شدن و سختی کامپوزیت کاهش می یابد. دستگاه در دمای ثابت کار می کند و با اندازه گیری جرم خروجی از دستگاه می توان MFI مواد پلیمری را بدست آورد، که این نتایج به همراه شرایط آزمایش (دمای سیلندر و بار اعمالی روی مواد داخل سیلندر) گزارش می شود. در شرایط آزمون، دما ۲۰۰ درجه سانتیگراد و وزنه ۲/۱۶ کیلوگرمی قرار داده شد.

#### ۶.۳. بررسی قابلیت ریسندگی الیاف

یکی از روشهای تولید الیاف از پلیمرهایی با ویسکوزیته پائین در حالت مذاب که قابلیت پمپ نمودن را دارا باشند، روش ذوب ریسی است و می توان گفت قطر الیاف تولیدی بین ۰/۰۱ الی ۰/۰۸ میلیمتر متغیر می باشد. با توجه به تنظیمات و

شرایط ریسندگی ممکن است یک ماده پلیمری در یک شرایط معین قابلیت ریسندگی را دارا باشد، اما با تغییر شرایط دیگر قابلیت ریسندگی وجود نداشته باشد. از این رو این قابلیت برای مواد پلیمری حائز اهمیت بوده و به پارامترهای متفاوتی وابسته است که عبارتند از: خواص رئولوژیکی ماده پلیمری، اندازه و شکل دهنه خروجی اکسترودر، نرخ سرعت برداشت، استحکام لازم در زمان خروج از دهنه، نرخ انتقال حرارت و انتقال جرم سیال در داخل اکسترودر، نرخ خنک سازی در روش ذوب ریزی.

### ۷.۳. آزمون استحکام-ازدیاد طول الیاف

در این آزمون نمونه ها در اندازه های ۲۰ میلیمتری برش خورده و در بین دو قطعه چسب کاغذی قرار داده شده تا از لغزش احتمالی بین فکهای دستگاه و نمونه لیف جلوگیری شود. از نمونه ها توسط دستگاه استحکام سنج Elima که با نرخ ثابت افزایش ازدیاد طول (CRE) کار می کند، تست استحکام-ازدیاد طول گرفته شد.

### ۴. تجزیه و تحلیل

#### ۱.۴. آزمون وزن سنجی حرارتی TGA

همانطور که در جدول ۵ قابل مشاهده می باشد، تخریب گرمی نمونه ها در دمای حدوداً مابین ۳۵۵ الی ۴۶۵ درجه سانتیگراد صورت گرفته است. با بالا رفتن درصد هیدروکسید منیزیم در کامپوزیت، در صد جرم باقیمانده مواد پس از اعمال حرارت افزایش قابل ملاحظه ای را نشان می دهد.

جدول ۵. نتایج وزن سنجی حرارتی نمونه های کامپوزیت

نمونه	دمای شروع تخریب °C	دمای انتهای تخریب °C	درصد جرم باقیمانده مواد
PA 100	۳۵۱	۴۶۳	۶/۱۳
PA 85	۳۵۴	۴۶۵	۷/۶۷
PA 70	۳۵۵	۴۶۷	۱۹/۶۴
PA 55	۳۶۰	۴۷۰	۳۱/۴۶

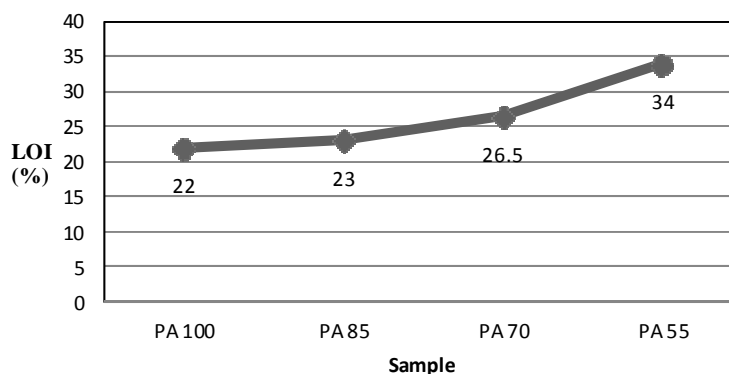
نتایج دیگر آزمون (جدول ۶) نشان می دهد، با افزایش درصد هیدروکسید منیزیم در کامپوزیت تولیدی، دمای شیشه ای و دمای ذوب افزایش پیدا کرده است. در این میان، دمای شیشه ای برای نمونه PA 55 نا مشخص می باشد که می توان آن را به علت میزان بالای هیدروکسید منیزیم در این نمونه کامپوزیت دانست.

جدول ۶. نتایج TGA نمونه های کامپوزیت

نمونه	دمای شیشه ای °C	دمای شروع ذوب °C	دمای پیک ذوب °C
PA 100	۷۱	۲۰۸	۲۱۵/۳۳
PA 85	۸۱	۲۰۸	۲۲۸/۷۲
PA 70	۹۵	۲۱۱	۲۲۹/۹۹
PA 55	نا مشخص	۲۱۲	۲۳۰/۰۹

#### ۲.۴. آزمون سنجش میزان اشتعال پذیری LOI

همانطور که در نمودار نتایج آزمون قابل مشاهده می باشد، با افزایش درصد هیدروکسید منیزیم، میزان حداقل اکسیژن لازم جهت اشتعال نمونه ها روندی صعودی دارد. میان مقدار LOI نمونه های PA 85 و PA 100 اختلاف کمی وجود دارد، که البته برای مقاوم بودن کامپوزیت در برابر آتش کافی می باشد. اما این اختلاف بین نمونه های PA 55 و PA 100 به حد ۵۴ درصد می رسد. علت این اختلاف بالا را می توان در ایجاد گازهای متساعد شده در هنگام سوختن دانست، از این رو کامپوزیت به در صد بیشتری اکسیژن در محیط برای ادامه سوختن نیاز دارد.



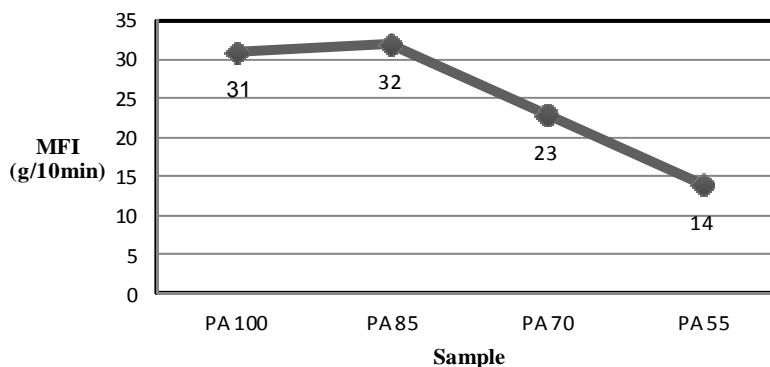
شکل ۱. نمودار نتایج آزمون LOI

#### ۳.۴. آزمون شاخص مذاب MFI

مطابق نمودار نتایج MFI با افزایش میزان هیدروکسید منیزیم در کامپوزیت ها، ابتدا شاخص مذاب افزایش کمی پیدا کرده و سپس کاهش زیادی می یابد. از آنجایی که نکته حائز اهمیت بررسی قابلیت ریسندگی نمونه ها می باشد و نوع پلی آمید مصرفی، مخصوص فرآیند ریسندگی بوده، میتوان گفت که از نظر ویژگی شاخص مذاب، نمونه PA 85 مناسب جهت



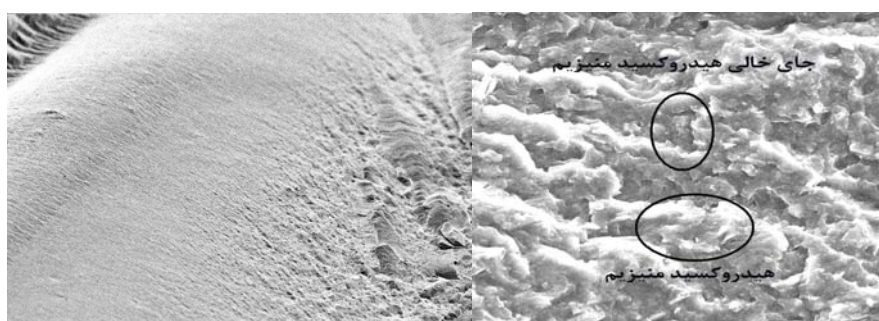
ریسندگی می باشد. نمونه های دیگر به علت پائین بودن شاخص مذابشان، ویسکوزیته را کاهش داده و موجب می گردند که مواد به سختی از اکسترودر خارج شوند و تولید یک رشته ممتد دشوار گردد.



شکل ۲. نمودار نتایج آزمون MFI

#### ۴.۴. میکروسکوپ الکترونی SEM

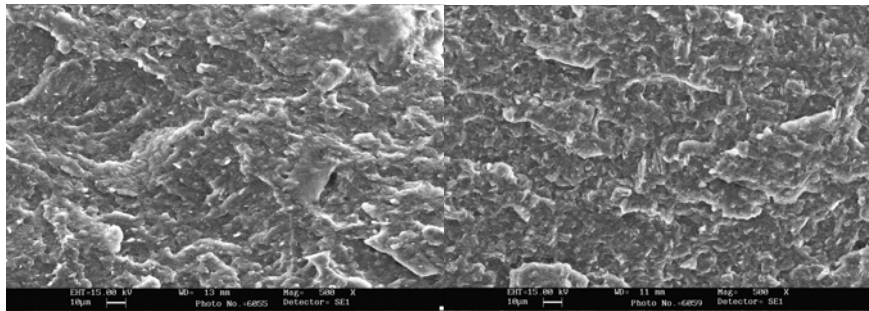
تصاویر میکرو گرافهای حاصل از میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۵۰۰، توزیع میکرو ذرات هیدروکسید منیزیم را در نمونه های کامپوزیت نشان می دهند. با توجه به شکل ۳ ساختار سطحی پلی آمید ۶، سطحی صاف و یکنواخت را نشان می دهد. اما ساختار سطحی کامپوزیت ها دارای برآمدگی ها و تورفتگی هایی می باشد که نشان دهنده حضور هیدروکسید منیزیم است. تصاویر میکروگرافهای حاصل از میکروسکوپ الکترونی، توزیع میکرو ذرات هیدروکسید منیزیم را بصورت نامنظم نشان می دهد.



شکل ۳. تصویر SEM مربوط به PA 6 و کامپوزیت MDH/PA6

مناطق از تصاویر که بصورت برآمده و روشن دیده می شوند، مربوط به ذرات هیدروکسید منیزیم است و مناطقی که بصورت حفره و تاریک دیده می شوند، مربوط به جای خالی ذرات هیدروکسید منیزیم است، که در زمان شکسته شدن از

مقطع در قسمت دیگر باقی مانده اند. در مقایسه تصاویر حاصل از ساختار سطحی نمونه های کامپوزیت تهیه شده، با افزایش درصد هیدروکسید منیزیم، اندازه خلل و فرج ها کوچکتر شده و همچنین مقدار آنها در سطحی یکسان، بیشتر می گردد. همچنین می توان گفت توزیع هیدروکسید منیزیم در پلی آمید ۶ با پراکندگی بهتری صورت می گیرد.



شکل ۴. تصویر SEM مربوط به نمونه های PA 55 و PA 85 با بزرگنمایی ۵۰۰

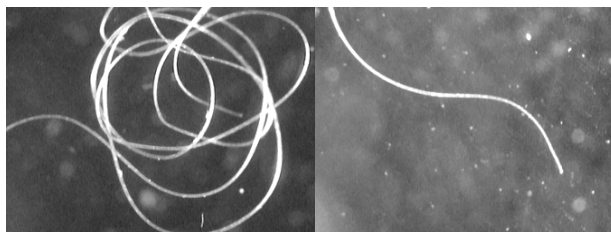
#### ۵.۴. آزمون استحکام - ازدیاد طول الیاف

نتایج مربوط به آزمون استحکام - ازدیاد طول نمونه الیاف تولید شده در جدول ۷ بیان شده است. همانطور که قابل مشاهده می باشد، با افزایش مقدار هیدروکسید منیزیم در الیاف، نیروی پارگی ماکزیمم می شود، و مدول کاهش می یابد. این کاهش مقادیر برای دو نمونه F-PA 70 و F-PA 55 چشمگیر تر بوده که بدلیل وجود درصد بالای هیدروکسید منیزیم در این دو نمونه که موجب سخت تر شدن الیاف و در نتیجه کاهش مقاومت آنها در برابر افزایش طول می گردد، است. اما از سویی دیگر با افزایش هیدروکسید منیزیم در الیاف، ازدیاد طول ماکزیمم، برای نمونه F-PA 85 افزایش یافته و سپس برای نمونه های دیگر کاهش می یابد.

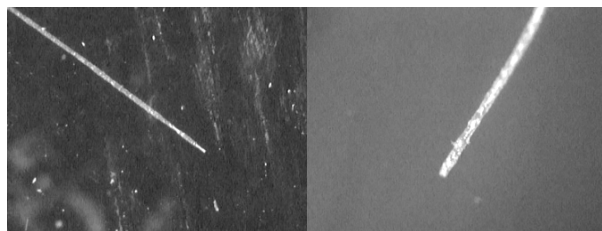
جدول ۷. نتایج حاصل از آزمون استحکام و ازدیاد طول

نمونه	نیروی ماکزیمم (N)	ازدیاد طول ماکزیمم (mm)	مدول (CN/Tex)
F-PA 100	۰/۳۹۵	۱۱۷/۸	۸۶/۷۶
F-PA 85	۰/۳۱۲	۱۲۲/۴	۸۴/۲۳
F-PA 70	۰/۲۶۵	۳۵/۱۵	۸۰/۰۳
F-PA 55	۰/۱۶۳	۲۳/۰۷	۷۸/۳۴

نمونه های الیاف F-PA 100 و F-PA 85 با ازدیاد نیرو، ابتدا ازدیاد طول کمی از خود نشان می دهند، اما با افزایش نیرو ازدیاد طول آنها به پنج برابر طول اولیه می رسد. در مورد الیاف نمونه های F-PA 70 و F-PA 55، ازدیاد طول کمتری از خود نشان می دهند و سریعتر در برابر افزایش طول، پاره می شوند. پس از انجام آزمون از سطح پارگی الیاف توسط میکروسکوپ نوری عکس برداری شد، که در اشکال ۵ و ۶ قابل مشاهده می باشند. با توجه به تصاویر سطوح پارگی، برای نمونه های F-PA 100، F-PA 85 در محل پارگی شاهد کاهش قطر الیاف بوده و همچنین الیاف پس از پارگی بصورت مارپیچ در می آیند. اما برای نمونه های F-PA 70 و F-PA 55، الیاف بدلیل وجود درصد بالای هیدروکسید منیزیم ساختاری سخت پیدا می کنند. از این رو در محل پارگی شاهد شکستگی لیف بوده و پس از پارگی الیاف حالت مارپیچ به خود نمی گیرند.



شکل ۵. تصاویر سطح پارگی نمونه F-PA 85



شکل ۶. تصاویر سطح پارگی به ترتیب نمونه های F-PA 70 و F-PA 55

با تمام این تفصیلات، امکان تولید الیافی با درصدهایی بالا از هیدروکسید منیزیم که بتوان چنین آزمون هایی را بروی آنها انجام داد، دور از ذهن و بسیار حائز اهمیت می بود که در این پروژه صورت گرفت. همچنین می توان گفت با توجه به ساختار شکننده و درصد ازدیاد طول پائین الیاف F-PA 70 و F-PA 55، نمی توان از این الیاف در صنعت استفاده نمود. زیرا پس از ذوب ریسی و تولید فیلامنت به منظور رسیدن به استحکام، شفافیت و نمره مناسب، به فیلامنت ها کشش و تاب مجدد اعمال می شود. اما لیف F-PA 85 که درصد ازدیاد طول مناسبی دارد، قابلیت استفاده در صنعت را دارا می باشد.

#### ۶.۴. مشاهدات حاصل از سوختن الیاف

از مشاهده قرار دادن رشته ای از نمونه الیاف کامپوزیت در معرض شعله یک چراغ الکلی می توان گفت در تمامی نمونه ها جمع شدگی رخ داده و مواد بصورت مذاب چکه نموده و همینطور در اثر شعله ور شدن دود بسیار کمی تشکیل می شود. نمونه F-PA 85 در برابر شعله، پس از مشتعل شدن در طی چند دهم ثانیه خاموش می گردد و نمونه های F-PA 70 و F-PA 55 در برابر شعله، مشتعل نشده و مذاب آنها سریع تر چکه می کند، که می توان گفت به علت سنگین تر شدن کامپوزیت می باشد. چون چکه های مذاب شعله ای بهمراه ندارند، موجب گسترش آتش در دیگر نقاط نمی شوند. بلکه موجب دور شدن مواد قابل اشتعال و در نتیجه کاهش سوخت می گردند.

#### ۵. نتیجه گیری

با توجه به اهمیت و مصرف بالای پلی آمید ۶ در ساختارهای صنعتی و بویژه صنعت نساجی، در این پروژه سعی شد تا مقاومت پلی آمید ۶ در برابر آتش با استفاده از پودر هیدروکسید منیزیم بعنوان ماده افزودنی افزایش داده شود. بر اساس نتایج بدست آمده مقاومت پلیمر در برابر آتش بهبود پیدا کرد و میزان چکه نمودن مذاب افزایش یافت. بر اساس نتایج آزمون TGA با افزایش میکرو ذرات هیدروکسید منیزیم در کامپوزیت، درصد جرم باقیمانده مواد، دمای شیشه ای، دمای ذوب افزایش یافت، که تصاویر SEM توزیع آن را به صورت نامنظم تأیید کرد. همچنین نتایج آزمون LOI نشان داد که کامپوزیت ها به مقاومت مناسبی در برابر آتش دست پیدا کرده، دیگر مشتعل نمی شوند و دود حاصل از فرآیند سوختن کاهش پیدا کرده است. در پایان می توان اظهار نمود که نمونه کامپوزیت با ۱۵٪ هیدروکسید منیزیم و ۸۵٪ پلی آمید ۶، نتایج مطلوبی را از نظر مقاوم بودن در برابر آتش، خواص حرارتی و فیزیکی نشان می دهد. همچنین الیاف تولیدی از این نمونه، قابلیت ریسنندگی و خواص مکانیکی مناسبی را جهت استفاده در صنعت نساجی برخوردار می باشند.

#### ۶. منابع

- [1] M. Lebras., "Fire Retardancy of Polymers: New Applications of Mineral Fillers"., Royal Society of Chemistry., 2005.
- [2] J. Green., Journal of Fire Sciences., vol 15., pp:52-67., 1997.
- [3] C.A Wilkie., "Fire and Polymers: Materials and Concepts for Hazard Prevention" ., American Chemical Society., 2005.
- [4] L. Benisek, G.K. Edmondson, W.A. Phillips., Textile Research Journal., vol 49., pp:212-221., 1979.

- [5] E.D. Weil, S. Levchik., Journal of Fire Sciences., vol **26**., pp:243-281., 2008.
- [6] d.F. Laouti, L. Bonnaud., Materials Science and Engineering., vol **63**., pp:100-125., 2008.
- [7] S.D.F Rocha, V.S.T Ciminelli., Polimeros., vol **11**., pp:86-94., 2001.
- [8] E.D Weil, S. Levchik., Journal of Fire Sciences., vol **22**., pp:154-166., 2004.