

بررسی خواص ساختاری و رئولوژیکی الیاف نانو کامپوزیت پلی پروپیلن/سیلیکا

فائزه سروری^۱، سیما حبیبی^{۲*}، شروین احمدی^۳، اعظم طالبیان^۱

^۱ دانشکده فنی مهندسی، گروه نساجی، واحد یادگار امام خمینی(ره) شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی، تهران، ایران

sima.habibi@gmail.com

چکیده

امروزه نانو کامپوزیت‌های پلیمری به ویژه نانو کامپوزیت های لیفی بسیار مورد توجه بسیار واقع شده اند. ترکیب نانوذرات سیلیکا و پلی پروپیلن به عنوان ماتریس اصلی برای تولید نانو کامپوزیت های لیفی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور پس از اصلاح سطح نانو سیلیکا و افزودن پلی پروپیلن مالئیک به عنوان سازگار کننده به ماتریس پلی پروپیلن، الیاف نانو کامپوزیتی با درصدهای مختلفی از نانو سیلیکا (۰/۵، ۱ و ۱/۵٪) دوبریسی شده و سپس خواص الیاف تهیه شده ارزیابی گردید. بررسی خواص رئولوژیکی و ویسکوالاستیک نشان داد در اثر افزایش نانو ذرات تا سطح ۰/۵٪ تاثیر خاصی بر رفتار رئولوژیکی و فرآیند ذوب ریزی نداشته است. نتایج حاصل از آزمون TGA نشان داد دمای شروع تخریب با افزایش در صد نانو سیلیکا، کاهش یافته است. تصاویر SEM نشان داد که توزیع ذرات در نانو کامپوزیت های حاوی مقادیر کمتر نانو سیلیکا یکنواخت و تقریباً فاقد تجمع ذرات بوده است، اما با افزایش نانو سیلیکا به مقدار ۱/۵٪، در نقاط مختلف تجمع ذرات وجود دارد. نوآوری این تحقیق پس از تهیه الیاف نانو کامپوزیتی پلی پروپیلن/نانو سیلیکا به روش ذوب ریزی، خواص رئولوژیکی آن به همراه خواص مورفولوژیکی بررسی شده که در تحقیق های مشابه انجام نشده است.

کلمات کلیدی: الیاف پلی پروپیلن، نانو کامپوزیت، نانو سیلیکا، ساختار، خواص رئولوژیکی

Investigation of the structural and rheological properties of polypropylene/silica nanocomposite fibers

Faezeh Sarvari¹, Sima Habibi^{2*}, Shervin Ahmadi³, Azam Talebian²

¹Department of Textile, Faculty of Engineering, University of Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e Ray Branch, Tehran, Iran

²Institute of Polymer and Petrochemical, Tehran, Iran

sima.habibi@gmail.com

Abstract

Nowadays, polymer nanocomposites, specially fiber nanocomposites have been very interested. Composition of silica nanoparticles and polypropylene has been used as main matrix to produce fiber nanocomposites. In this research, polypropylene/ nanosilica nanocomposite fibers were prepared to investigate their properties. For this purpose, after surface modification of nano-silica and adding polypropylene maleic as a compatibilizer to the polypropylene matrix of obtained nanocomposite fibers, they were melt-spun with different percentages of nanosilica. Investigation of rheological and viscoelastic properties showed that due to the increase of nanoparticles up to 0.5%, it had no significant effect on rheological behavior and melt spinning process. The results of TGA test showed that the onset temperature of degradation decreased with increasing percentage of nanosilica. SEM images showed that the particle distribution in nanocomposites containing lower amounts of nanosilica was uniform and almost free of particle aggregation, but with an increase of nanosilica by 1.5%, there was particle aggregation at different points. The main objective of this research is study of Rheological properties of nanocomposite along with of morphological behaviours.

Keywords: Polypropylene fiber, Nanocomposite, Nanosilica, Morphology, Rheological properties.

۱- مقدمه

در سالهای اخیر تحقیقات در حوزه های علوم نانو، نانو تکنولوژی و نانوکامپوزیتها با رشد فزاینده ای روبرو شده اند و اهمیت این حوزه ها در کاربردهای مختلف دو چندان شده است [۱]. نانو کامپوزیت ها به کامپوزیت هایی که حداقل یکی از ابعاد فاز پراکنده در آن در مقیاس نانو باشد، اطلاق می شود. افزودن ذرات معدنی، فلزی و یا برخی ذرات آلی در ابعاد نانو به ماده زمینه می تواند باعث بهبود خواص مکانیکی و فرایندپذیری شود. مزیت نانوذرات در مقایسه با تقویت کننده های پودری که به پلیمرها اضافه می شود بر هم کنش بهتر بین تقویت کننده و پلیمر می باشد [۲]. پلیمرهای تقویت شده کاربردهای گسترده ای در زمینه خودرو، هوافضا، صنایع الکترونیک مصرفی و غیره دارند [۳]. پلی پروپیلن به عنوان یک پلیمر ترموپلاستیک بخاطر خاصیت ریسندگی و فرآیندپذیری راحت، خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب، نقطه ذوب پایین، قیمت ارزان و مقاومت خوب در مقابل رطوبت و رنگ و مواد شیمیایی، یکی از پرمصرفترین پلیمرها در دنیا است. اما الیاف حاصل از این ماده دارای نقطه ذوب پایین (160°C) و مقاومت نسبتاً پایین در مقابل حرارت و اتوی داغ می باشد، همچنین تمایل به جذب رنگزا نداشته و به کمک مستریچ در حین ذوب ریزی، رنگریزی می گردد [۴-۷]. الیاف پلی پروپیلن به دلیل خواص مطلوب ذکر شده و فرایند راحت ذوب ریزی، بازیافت آسان و تأثیر منفی کم بر محیط زیست در تولید محصولاتی همچون فرش و دیگر منسوجات خانگی، وسایل اتومبیل،

ژئوتکستایل، محصولات بهداشتی و درمانی، فیلترها، گونی و کیسه، کابل، طناب، توری، کشاورزی و پرورش گل و غیره استفاده می شود [۸]. طی دهه اخیر تحقیقات متعددی در زمینه ریسندگی الیاف نانو کامپوزیتی صورت پذیرفته است. زیرا الیاف نانو کامپوزیتی در مقایسه با پلیمرهای خالص و یا کامپوزیت های متداول، به واسطه حضور نانوذرات از خواص بی نظیری برخوردار هستند که از آن جمله می توان به مدول بالا، افزایش استحکام، بهبود مقاومت حرارتی، کاهش نفوذپذیری نسبت به گازها و کندسوز شونده با استفاده از مقادیر بسیار اندک نانو ذرات (کمتر از ۵ درصد) اشاره کرد [۹ و ۸]. نانوسیلیکا به عنوان عامل تقویت کننده برای ترموپلاستیک هایی همچون پلی پروپیلن، پلی بوتیلن ترفتالات، پلی آمید -۶۶، پلی استایرن و غیره شناخته می شود. علاوه بر این، نانوسیلیکا در تولید موارد مختلفی از جمله سنسورها، مواد نوری، بیوکاتالیست ها، الکتروشیمی و مواد مورد استفاده در علوم محیطی مورد توجه می باشد [۱۰ و ۱۱]. این نانو ذرات به دلیل خواص بسیار عالی از جمله مدول الاستیسیته بالا، مساحت سطح موثر بالا، پایداری حرارتی خوب و هزینه پایین توجه زیادی به خود جلب کرده است [۱۲-۱۴]. نانو ذرات سیلیکا با روش های گوناگونی از جمله روش شیمیایی ارائه شده توسط اشتوبر که در آن از آب استفاده می شود و روش تجاری استفاده از شعله، ساخته می شود. این نانو ذرات در زمینه های مهمی از جمله صنعت لاستیک، در کاتالیزور ها، اصلاح کردن و جلا دادن مکانیکی شیمیایی و تصفیه آب و... کاربرد دارند

هدف و نوآوری این تحقیق تهیه الیاف نانوکامپوزیتی پلی پروپیلن/نانوسیلیکا به روش ذوب ریسی و بررسی خواص حرارتی و خواص رئولوژیکی و ویسکوالاستیک نانوکامپوزیت بوده است در تحقیقات قبلی به آن پرداخته نشده است.

۲- تجربیات

۲-۱- مواد و روش ها

۲-۱-۱- مواد مصرفی

پلی پروپیلن و پلی پروپیلن مالٹیک با حداکثر میزان گرفتینگ ۱/۸٪، پایه هموپلیمر از پتروشیمی-پلیمر تبریز، نانوسیلیکا Aerosil200 با وزن مخصوص 200 g/m^2 از شرکت AKROCHEM در اوهایو، سلفین ۲۵ از شرکت Evonik، اتانول ۹۶٪ ساخت ایران - شرکت نصر، تولوئن و اسید فرمیک ۹۸٪ از شرکت مرک (Merck) آلمان خریداری شد.

۲-۱-۲- اصلاح نانوسیلیکا

ابتدا ۰/۲ گرم نانوسیلیکا را با ۳ ml تولوئن به کمک استیرر به مدت یک ساعت با دور ۳۰۰ rpm مخلوط کرده سپس در حمام التراسونیک (ساخت شرکت FALC مدل LBS2) قرار داده تا به خوبی پخش شود. سپس این محلول را با محلول حاوی ۰/۲ ml آب مقطر، ۰/۲ ml اتانول، ۰/۱ ml سلفین ۲۵ (اصلاح کننده سیلانی) و ۰/۴ ml اسید فرمیک در دمای ۵۰ درجه مخلوط شد. مخلوط سانتریفیوژ شده و پس از

[۱۰ و ۹]. در تحقیقی اصلاح نانو ذرات سیلیکا از طریق پلیمریزاسیون درجا مونومر فعال بوتیل اکریلات روی ذرات سیلیکا در حین ترکیب ماتریس پروپیلن مذاب با این نانوذرات جهت بررسی بهبود کارایی نانو کامپوزیت حاصل انجام شده است. نتایج حاکی از پیوند پلیمریزاسیون بوتیل اکریلات روی نانو سیلیکا در طی ترکیب مذاب با ماتریس پلی پروپیلن بوده است و این نانو کامپوزیت کارایی بالایی با خواص مکانیکی و حرارتی مناسب دارند [۱۵].

در تحقیقی دیگر به منظور بررسی تأثیر نانو ذرات کروی سیلیکا و لایه های سیلیکای سنتز شده به روش سل ژل، بر رفتار مکانیکی و حرارتی نانو کامپوزیت تهیه شده از پلی پروپیلن و نانو سیلیکا، آن ها را در پلی پروپیلن مذاب به صورت مجزا مخلوط کردند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که ذرات کروی بخوبی در ماتریس پلیمر پخش شده اما لایه های سیلیکا تجمع کرده اند. طبق تجزیه و تحلیل حرارتی، تثبیت تخریب حرارتی بیشتر ماتریس پلیمر تحت شرایط اکسیداسیون نسبت به اتمسفر خنثی مشاهده شد [۱۶]. در مطالعه ای ماتریس پروپیلن با ۲٪ حجمی از دو نوع نانوذره سیلیکا آبدوست و آبگریز در شرایط مذاب ترکیب شد تا تاثیر زمان فرایند و خواص مکانیکی-حرارتی را بر ماده حاصله بررسی کنند. کاهش طول زنجیر بواسطه عملیات حرارتی باعث کاهش قابل توجه ویسکوزیته مذاب شد اما نانوذرات سیلیکا مانع اثر تخریب کنندگی آن شدند. با افزایش زمان ترکیب کردن، اندازه ذرات نانوسیلیکا تجمع یافته کاهش یافت [۱۷ و ۱۸].

شستشو با استون، محصول حاصل در دمای ۱۰۰ درجه در آون خشک شد.

۲-۱-۳- آماده سازی نمونه های نانوکامپوزیتی

مخلوط ۹۵٪ پلی پروپیلن و ۵٪ پلی پروپیلن مالئیک در دستگاه مخلوط کننده داخلی (Internal mixer) مستقر در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران مذاب شده و نانوسیلیکای اصلاح شده را با درصدهای ۰/۵ و ۱ و

۱/۵ درصد به مخلوط مذاب اضافه کرده و با دستگاه قالبگیری فشاری (مدل mini test press، ساخت شرکت Toyoseiki ژاپن) به صفحه تبدیل شده است. نمونه ها مطابق جدول ۱ نامگذاری شدند. که در تمامی نمونه ها PPM معرف ترکیب ۹۵٪ پلی پروپیلن خالص و ۵٪ پلی پروپیلن مالئیک، عدد میانی معرف درصد نانوسیلیکا و S معرف نانوسیلیکا می باشد.

جدول ۱- نسبت وزنی PPM و S

نام نمونه	PPM	PPM0.5S	PPM1S	PPM1.5S
PPM	100	99.5	99	98.5
S	0	0.5	1	1.5

به منظور تهیه الیاف از نمونه نانوکامپوزیتی تهیه شده، از یک دستگاه ذوب ریزی شامل اکسترودر تک پیچ (L/D=19) (ساخت شرکت Dynisco مدل LME) مجهز به یک رشته ساز استفاده شد. خروجی حاصل از دستگاه اختلاط پلی پروپیلن و نانو سیلیکا، در دستگاه ذوب ریزی در دمای ۱۹۰ °C با سرعت ۵۰ rpm به صورت لیف ریسیده شد.

۲-۲- بررسی خواص الیاف نانوکامپوزیتی

به منظور بررسی ریز ساختار و توزیع نانو ذرات از سطح نمونه ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل VEGA ساخت شرکت TESCAN) بعد از لایه نشانی با طلا تصویربرداری انجام شد.

به منظور بررسی خواص حرارتی نمونه ها از دستگاه آزمون وزن سنجی حرارتی (TGA) (ساخت Dupont مستقر در

شرکت کانساران بینالود) استفاده شد. نمونه های نانو کامپوزیتی به وزن تقریبی ۲ تا ۳ میلی گرم تحت گاز نیتروژن در محدوده دمایی ۲۵ °C تا ۷۰۰ °C با نرخ حرارتی ۲۰ °C/min حرارت داده و سپس سرد شد. رفتار ویسکو الاستیک مذاب نمونه های نانو کامپوزیت و پلیمر شاهد پلی پروپیلن به وسیله دستگاه رئومتریک- مکانیکال-اسپکترومتر (RMS) مجهز به صفحات موازی، ساخت شرکت Physica Anton Paar اندازه گیری و مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه ها بین دو صفحه موازی با دمای ۱۹۰ °C تحت میدان نوسانی با دامنه نوسان ثابت ۱٪ مورد آزمایش قرار گرفته و از این طریق ویسکوزیته کامپلکس (η^*)، مدول ذخیره (G') و مدول اتلافی (G'') هر یک به عنوان تابعی از فرکانس مورد ارزیابی قرار گرفتند.

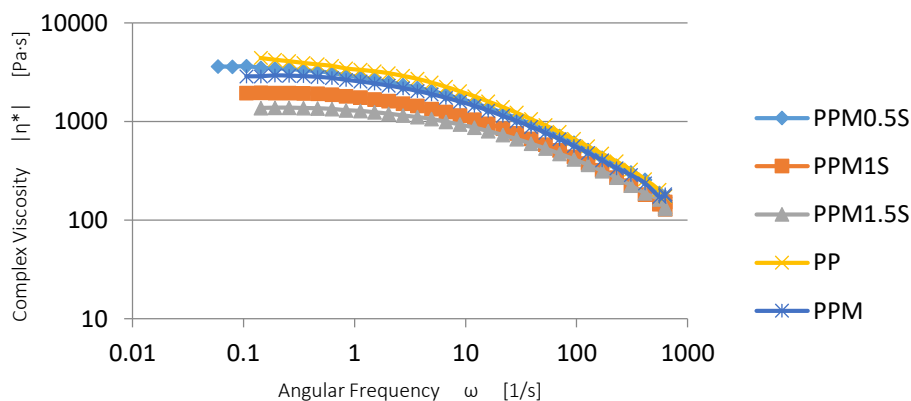
۳- تجزیه و تحلیل داده ها

۳-۱- رئومتر نوسانی و رفتار ویسکوالاستیک مذاب

از رئولوژی می توان به عنوان ابزاری توانمند در شناسایی غیر مستقیم ساختارهای ایجاد شده در آمیزه و به طبع آن بررسی کیفیت اختلاط در نانو کامپوزیت های پلی پروپیلن/ نانو سیلیکا استفاده کرد.

همانطور که در شکل ۱ مشخص است در اثر پیوند زنی عامل مالئیک انیدرید روی زنجیر اصلی اندکی از میزان ویسکوزیته در فرکانس های پایین کاسته می شود که این امر را می توان به کاهش جرم مولکولی طی فرآیند پیوند زنی گروه های مالئیک در حضور پراکسید ها نسبت داد

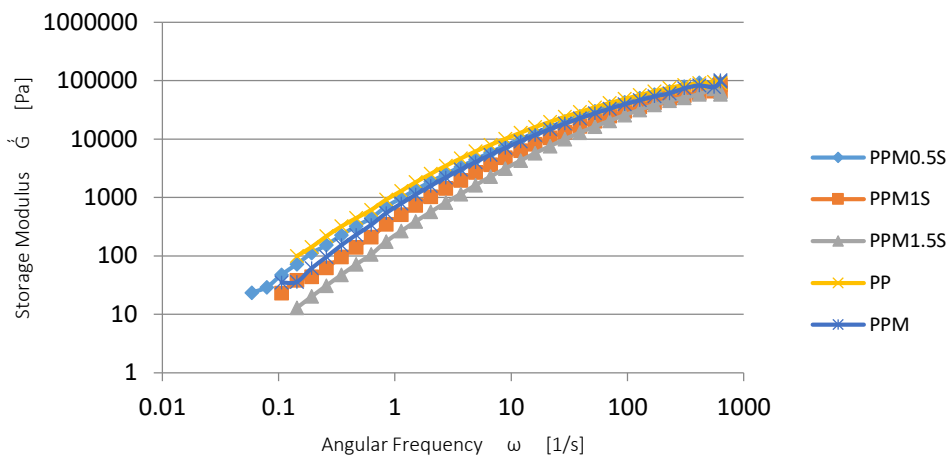
لیکن این روند در نمونه های حاوی نانو ذرات سیلیکا با ترکیب درصد های حاوی بیش از ۰/۵٪ نانو سیلیکا نیز دیده می شود که به نظر می رسد به علت اثر تخریبی عوامل اصلاح کننده سطح این نانو ذرات بر زنجیر های اصلی پلی پروپیلن باشد. از این نمودارها اینطور نتیجه گیری می شود که در اثر افزایش نانو ذرات تا سطح ۰/۵٪ تاثیر خاصی بر رفتار رئولوژیکی دیده نخواهد شد و با توجه به نیاز فرآیند ریسندگی مذاب به پلیمری با ویسکوزیته مذاب پایین تر استفاده از نانو ذرات تاثیری نامناسبی بر فرآیند پذیری نخواهد داشت.



شکل ۱- نمودار ویسکوزیته کمپلکس پلی پروپیلن خالص و نانو کامپوزیت های آن

که در شکل ۲ مشاهده می شود تنها نمونه حاوی ۰/۵ درصد نانو سیلیکا مدول ذخیره افزایش یافته است که به نظر می رسد ساختار شبکه ای بین نانو سیلیکا و ماتریس پلی پروپیلن ایجاد شده است. با افزایش میزان نانو سیلیکا تشکیل ساختار شبکه ای متوقف شده و به دلیل پارگی زنجیرها، شبکه مابین پلیمر و ذره از بین رفته است.

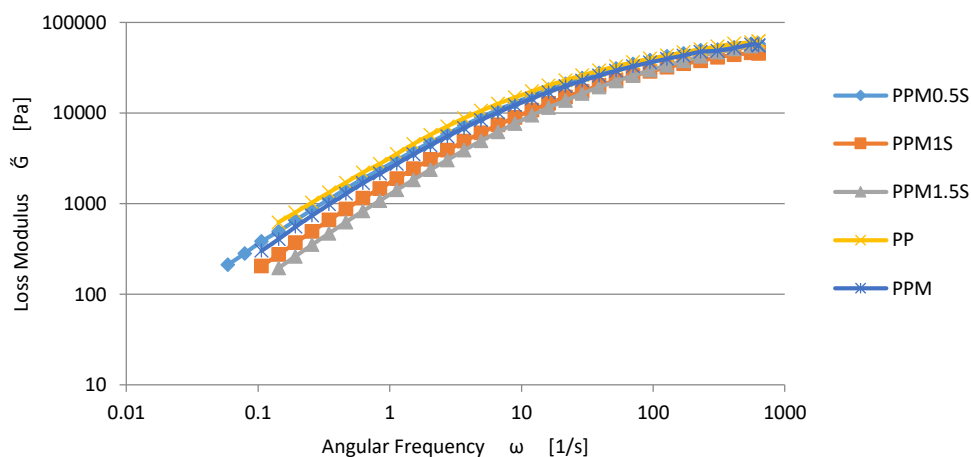
شکل ۲ رابطه میان مدول ذخیره (G') و فرکانس را نشان می دهد. مدول ذخیره معیاری برای ارزیابی میزان سختی یک نانو کامپوزیت است. به بیان ساده، هنگامیکه زنجیرهای پلیمری در شبکه سیالات لایه ای محبوس می شوند و به عبارت دیگر تشکیل شبکه می دهند، هر چقدر این شبکه قویتر باشد، تحرک زنجیرها کمتر در نتیجه زمان استراحت طولانی تر می شود در نتیجه (G') افزایش می یابد. همانطور



شکل ۲- نمودار مدول ذخیره پلی پروپیلن خالص و نانو کامپوزیت های آن

مابین زنجیره‌های پلیمری و ذرات نانو سیلیکا است. در نتیجه مدول اتلاف در این میزان سیلیکا افزایش یافته است. با افزایش میزان نانو سیلیکا و از بین رفتن درگیری مابین ذرات و زنجیره‌های پلیمری میزان اتلاف نیز کمتر شده است. با استناد به این نتایج بهترین و پایدار ترین شبکه در درصد پایین نانو سیلیکا می باشد.

شکل ۳ رابطه میان مدول اتلاف (G'') و فرکانس پلی پروپیلن خالص و نانو کامپوزیت‌های آن را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود میزان مدول اتلاف (G'') تنها در نانو کامپوزیت حاوی ۰/۵ درصد نانو سیلیکا بیش از نمونه خالص است. این به دلیل شکل گیری ساختار شبکه ای مابین نانو ذره و ماتریس پلی پروپیلن و درگیری و اصطکاک



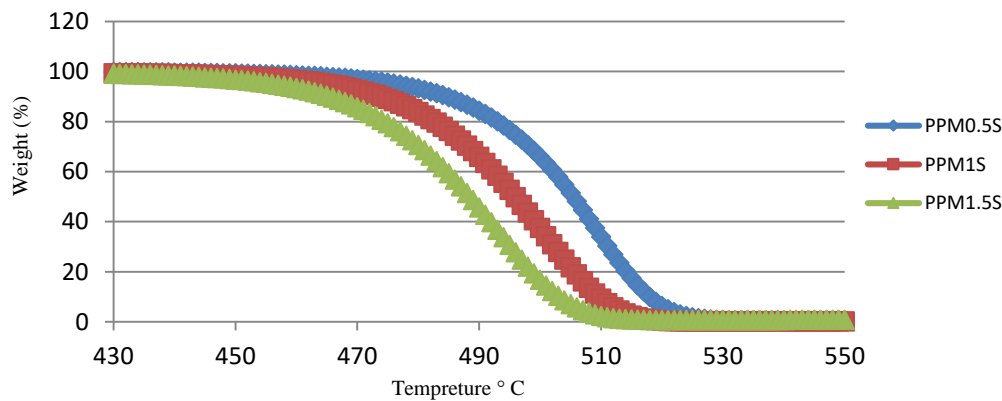
شکل ۳- نمودار مدول اتلاف پلی پروپیلن خالص و نانو کامپوزیت های آن

۳-۲- نتایج آزمون وزن سنجی حرارتی (TGA) در

نانو کامپوزیت ها

با توجه به داده های استخراج شده از شکل (۴) مشاهده می شود، تغییرات محسوسی در خواص تخریب حرارتی نانو کامپوزیت های پلی پروپیلن/نانو سیلیکا نسبت به یکدیگر مشاهده می شود. دمای شروع تخریب (T_{onset}) با افزایش در صد نانو سیلیکا، کاهش یافته است. با استناد به نتایج

RMS و کاهش ویسکوزیته در اثر افزایش میزان نانوذره (پاره شدن زنجیرها در فرآیندهای قبلی) می توان کاهش دمای شروع تخریب را توضیح داد. به این ترتیب که درگیری مابین ذرات نانوسیلیکا و زنجیرهای پلی پروپیلن و همچنین تشکیل شبکه، در نمونه ای که بیشترین درصد نانو سیلیکا را دارا می باشد کمتر از دیگر نمونه های نانو کامپوزیتی بوده است، که این امر کاهش دمای تخریب در این نمونه را تایید می کند.



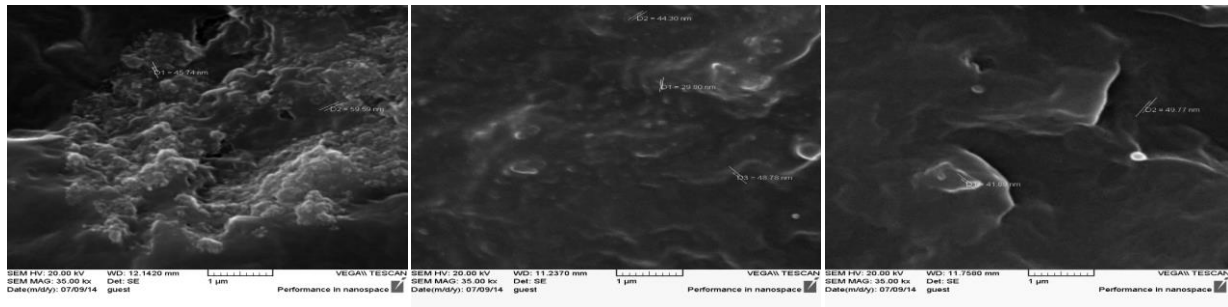
شکل ۴- نمودار TGA نانو کامپوزیت ها با ۰.۵ و ۱ و ۱.۵ درصد نانو سیلیکا

۳-۳- بررسی مورفولوژی نانو کامپوزیت ها با

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

شکل ۵ تصاویر SEM از سطح مقطع برش عرضی خورده الیاف (نمونه های PPM0.5S، PPM1S و PPM1.5S) می باشد. با توجه به آنکه سطح نمایش داده شده در تصاویر

SEM از سطح مقطع عرضی الیاف می باشد می توان به نحوه پراکندگی و تجمع نانو ذرات سیلیکا و اندازه آنها در داخل لیف پی برد. همانگونه که مشاهده می شود به ترتیب میانگین اندازه نانوذرات در بستر پلیمر ۴۵/۸۲، ۴۰/۶۴ و ۵۲/۶۶ نانومتر می باشد.



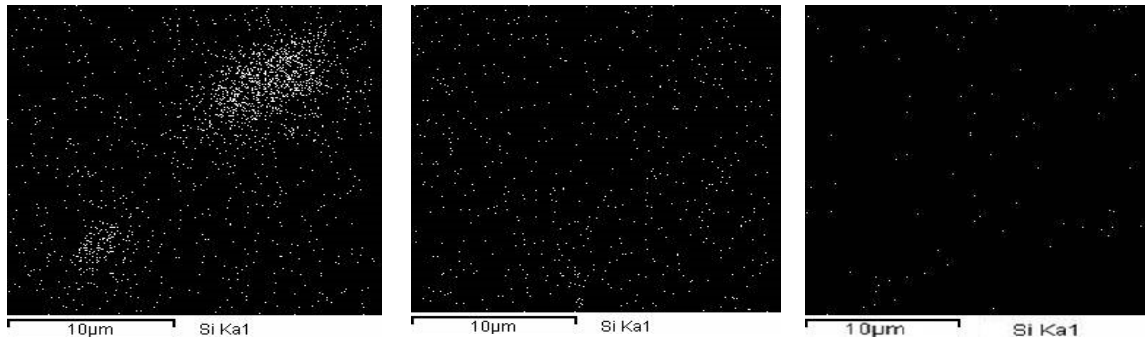
شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM از نانو کامپوزیت PPM0.5S و PPM1S و PPM1.5S با بزرگنمایی ۳۵۰۰۰ برابر (به ترتیب از راست به چپ)

داخلی و قبل از ریسندگی تهیه گردید. همانطور که در تصاویر SEM EDAX (شکل ۶) مشاهده می شود، توزیع ذرات در این نقشه برداری نقطه ای، در نانوکامپوزیتهای PPM1S و PPM0.5S مناسب بوده و تجمع ذرات بسیار کم می باشد. اما در نانوکامپوزیت PPM1.5S، در نقاط مختلف تجمع ذرات وجود دارد. همانطور که در تصاویر SEM از بستر پلیمر نیز این تجمع مشاهده شد. پیوند دهنده های سیلانی طبیعت آبدوستی سطح اکسید معدنی را اصلاح کرده و قابلیت پخش ذرات را بهبود می بخشند و همانطور که مشاهده می شود در نانوکامپوزیت های PPM0.5S و PPM1S توزیع بسیار مناسب است و پخش ذرات بهبود یافته است. می توان علت تجمع ذرات در نانو کامپوزیت PPM1.5S را به مخلوط کردن نامناسب در دستگاه مخلوط کننده داخلی و درصدوزنی نامناسب در نانو کامپوزیت نسبت داد. در شکل ۷ پراکندگی نانوذرات بصورت نقشه برداری نقطه ای در داخل بستر پلیمر نشان داده شده است.

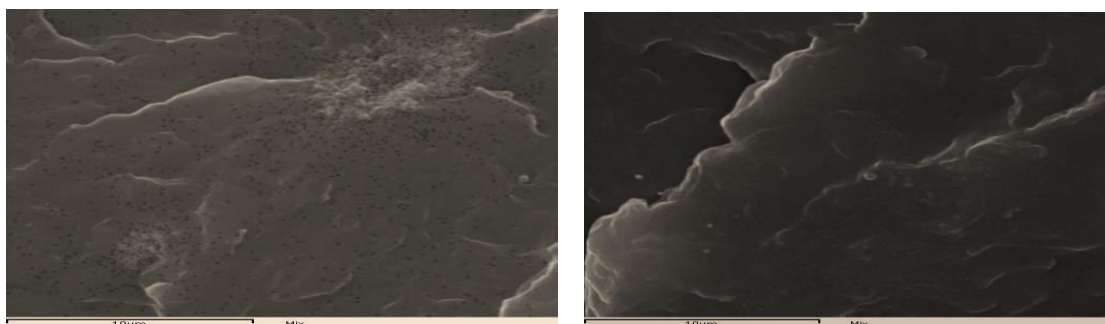
در مقایسه نانو کامپوزیت ها با ترکیب درصد های مختلف نانو ذرات سیلیکا، همانطور که در تصاویر SEM مشاهده می شود، با توجه به متوسط اندازه ذرات سیلیکا در نانو کامپوزیت و همچنین اندازه اولیه ذرات که ۱۲ نانومتر است، این اندازه ذرات نشان دهنده پراکندگی خوب ذرات سیلیکا در درصدهای پایین مصرفی و در نتیجه عامل دار شدن مناسب ذرات می باشد. ماتریس پلیمری به تنهایی قادر به جلوگیری از تجمع و توده ای شدن ذرات نخواهد بود. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود هنگامیکه تجمع رخ می دهد، ماتریس پلیمری نمی تواند به داخل این تجمع نفوذ کند. در نتیجه با افزایش میزان نانو سیلیکا، یکنواختی توزیع ذرات در بستر ماتریس تضعیف می گردد.

۳-۴- نتایج SEM EDAX نانو کامپوزیت ها

برای مشاهده دقیق تر پراکندگی نانوذرات، تصاویر SEM EDAX از نانو کامپوزیت پس از دستگاه مخلوط کننده



شکل ۶- تصویر نقشه برداری نقطه ای میکروسکوپ الکترونی SEM EDAX از نانو کامپوزیت PPM0.5S و PPM1S و PPM1.5S با بزرگنمایی ۳۵۰۰۰ برابر (به ترتیب از راست به چپ)



شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM EDAX از پراکندگی نانو ذرات در داخل کامپوزیت PPM1S و PPM1.5S با بزرگنمایی ۳۵۰۰۰ برابر (به ترتیب از راست به چپ)

۴- نتیجه گیری

به منظور افزایش سازگاری مابین پلی پروپیلن و نانو سیلیکا، سطح این ذرات با استفاده از ترکیبات سیلان دار اصلاح شد و سپس به روش ذوب ریسی الیاف نانو کامپوزیتی تهیه گردید. همچنین به منظور درک بهتر رفتار نانوسیلیکا در بستر پلی پروپیلن رئولوژی کامپوزیت نهایی به عنوان نوآوری این تحقیق بررسی شد. نتایج آزمون رئومتری نشان داد که از میزان ویسکوزیته نانو کامپوزیتها در فرکانس های پایین کاسته شده است. و افزایش نانو ذرات تا سطح ۰/۵٪ تاثیر خاصی بر رفتار رئولوژیکی و فرآیند ذوب ریسی نداشته است. همچنین مدول ذخیره و مدول اتلاف تنها در نمونه

حاوی ۰/۵ درصد نانو سیلیکا افزایش یافته است. که این نشان می دهد بهترین و پایدار ترین شبکه در درصد پایین نانو سیلیکا می باشد. نتایج حاصل از آزمون TGA نشان داد دمای شروع تخریب با افزایش در صد نانو سیلیکا، کاهش یافته است. تصاویر SEM و SEM EDAX نشان داد که توزیع ذرات در نانو کامپوزیت های حاوی مقادیر کمتر نانوسیلیکا یکنواخت و تقریباً فاقد تجمع ذرات بوده است، اما با افزایش نانوسیلیکا به مقدار ۱/۵٪، در نقاط مختلف تجمع ذرات وجود دارد.

۵- مراجع

۱. جمدی، الف، خدای، الف، صدر ارحامی، ز، اصلاح سطح الیاف پلیپروپیلن با استفاده از تابش پرتوهای ریزموج و فرابنفش، علوم و فناوری نساجی، ۵ (۴)، ۲۲۲-۲۱۷، ۱۳۹۱.
۲. صفایی، ب، یوسفی، م، خواص مکانیکی الیاف کامپوزیتی پلیپروپیلن و نانولوله کربنی چنددیواره، علوم و فناوری نساجی، ۳ (۴)، ۱۵۰-۱۴۳، ۱۳۹۱.
3. Rasana, N. and Jayanarayanan, K., Polypropylene/short glass fiber/nanosilica hybrid composites: evaluation of morphology, mechanical, thermal, and transport properties. *Polymer Bulletin*, 75(6), 2587-2605, 2018.
4. Raji, Marya, et al. ,Morphology control of poly (lactic) acid/polypropylene blend composite by using silanized cellulose fibers extracted from coir fibers. *Cellulose* 29 (12), 6759-6782,2022.
5. Kausar, A. . Polyamide/nanosilica nanocomposite: a chronicle of design and high-tech progressions. *Materials Research Innovations*, 26(1), 52-63,2022.
6. A.Awad,S M.Khalaf, E.,Investigation of improvement of properties of polypropylene modified with nanosilica composite, *Composite communications* , 12,59-63,2020.
۷. حیدری، م، ولی پور، پ، باقری، ح، بررسی تاثیر استفاده از ذرات نانورس بر مورفولوژی الیاف نانوکامپوزتی بر پایه پلی پروپیلن/ پلی آمید ۶ و خواص رنگپذیری آنها. فصلنامه علوم و فناوری نساجی و پوشاک، ۲ (۱)، ۲۶-۲۱، ۱۳۹۰.
8. Awad, S.A. and Khalaf, E.M., Investigation of improvement of properties of polypropylene modified by nano silica composites. *Composites Communications*, 12, pp.59-63, 2019.
۹. حبیبی، س، و نیلفروش زاده، ح، و قربانی شبستری، س، بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر روی استحکام و مقاومت حرارتی بتن. فناوری نساجی (علوم و تکنولوژی نساجی)، ۲ (۴)، ۶۱-۵۳، ۱۳۸۸.
10. Moncrieff.R.W,"Man Made Fibers",. Butterworth's Co., England, 1982.
۱۱. حبیبی، س، هاشمی، ح، نانوفناوری در نساجی. چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر. تهران، ۱۳۹۲.
۱۲. اجایان.ش.براون.علوم و فناوری نانو کامپوزیت.چاپ اول.انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۹.
13. Zhang, Y., Deng, B., Liu, Q. and Chang, G., Nonisothermal crystallization kinetics of poly (lactic acid)/nanosilica composites. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 52(2), 334-343, 2013.
۱۴. باقری، م، و آشنای قاسمی، ف، و قاسمی، ا، تحلیل خواص کششی نانو کامپوزیت هیبریدی پایه رزین اپوکسی/الیاف شیشه/ نانو ذرات سیلیکا. مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، ۴۹ (۴) (پیاپی ۸۹)، ۲۵-۱۹، ۱۳۹۸.
۱۵. رحیمی شعرفاف، ح، و رحیمی، غ، و لیاقت، غ، بررسی تجربی رفتار لوله های کامپوزیتی لاینردار رشته پیچی شده با الیاف شیشه و ذرات نانو سیلیکا تحت بار ضربه محلی. علوم و فناوری کامپوزیت، ۳ (۴)، ۳۱۹-۳۱۱، ۱۳۹۵.
16. Zhi Zhou.T, Hong Ruan.W, Lin Wang.Y, Liang MaiMin.Y., Performance Improvement of Nano-silica/Polypropylene Composites through in-situ Graft Modification of Nanoparticles during Melt Compounding. *Polymers*, 058, 1618-7229, 2007.
18. Palza.H , Vergara.R, Zapata.P., Composites of polypropylene melt blended with synthesized silica nanoparticles. *Composites Science and Technology*, 71, 535-540, 2011.
17. Dorigato. A., Pegoretti, A., Reprocessing effects on polypropylene/silica nanocomposite, *Journal of Applied Polymer Science*, 131(10), 2014, DOI: 10.1002/APP.40242.