http://mme.modares.ac.ir

مجله علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

مرداد ۱۳۹۲، دوره ۱۳ شماره ۵ ص ص ۸۳-۹۰

مقاله پژوهشی کامل
تاریخ دریافت ۹۱/۵/۲۴
تاریخ پذیرش ۹۱/۹/۱۲
ارائه در سایت ۹۲/۲/۳۰

مقایسه خواص مکانیکی نانوکامپوزیتهای پلی‌پروپیلن/خاک رس و پلی‌اتیلین/خاک رس

ابوطالب فروغ فرد[۱]، علی پورکمالی انارکی[۲*]، اسماعیل قاسمی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
۲- استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
۳- دانشیار مهندسی پلیمر، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی، تهران
* تهران، صندوق پستی ۱۶۳-۱۶۷۸۸، ali_pourkamali@srttu.edu

چکیده- در این تحقیق، نانوکامپوزیتهای پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن محتوای نانوذرات خاک رس (۰ تا ۷ درصد وزنی) و سازگاردهنده‌های PP-g-MA و PE-g-MA (۳ درصد وزنی) با به‌کارگیری اکسترودر دوپیچه و قالب‌گیری تزریقی تولید شد. شکل‌شناسی نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی FESEM مطالعه شد. خواص مکانیکی نمونه‌های مختلف به‌وسیله تست‌های کشش و ضربه آیزود مطالعه شد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد افزودن نانوذرات خاک رس به PP و LLDPE باعث افزایش استحکام کششی، استحکام تسلیم، مدول کششی و کاهش استحکام ضربه و کرنش شکست ترکیبات نسبت به پلیمر خالص می‌شود. طراحی آزمایش‌ها، تحلیل آماری و بهینه‌سازی خواص مکانیکی به‌کمک نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶ و روش طراحی مخلوط انجام شد. نتایج نشان داد بین ترکیب‌های بر پایه پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن به‌ترتیب ترکیب شامل ۳/۹۶ و ۲/۱۲ درصد خاک رس بهترین خواص مکانیکی را داراست. ترکیب های شامل PP مدول کششی بهتر و ترکیب‌های شامل LLDPE استحکام ضربه بهتری دارند.

کلیدواژگان: خواص مکانیکی، پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، خاک رس، تحلیل آماری، نانوکامپوزیت

Comparison of mechanical properties of PP / NANOCLAY and LLDPE / NANOCLAY nanocomposites

A. Forughfard[1], A. Pourkamali Anaraki[2*], E. Ghasemi[3]

1- MSc. Student, Mech. Eng., Shahid Rajaee Teacher Training Univ., Tehran, Iran
2- Assist. Prof., Mech. Eng., Shahid Rajaee Teacher Training Univ., Tehran, Iran
3- Assoc. Prof., Polym. Eng., Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran
* P. O. B. 16788-163 Tehran, ali_pourkamali@srttu.edu

Abstract- In this study, nanocomposites based on polypropylene and polyethylene containing 0 to 7phr of nanoclay and 3phr of maleated polypropylene (PP-*g*-MA) and maleated polyethylene (PE-g-MA) as compatibilizer were prepared by melt compounding followed by injection molding. Morphology of the mixtures was carried out through Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM). Mechanical properties of different samples were examined empirically by tension and izod impact tests. Test results show that the addition of clay particles to the PP and LLDPE, increases the tensile strength, yield strength, tensile modulus and decreases impact strength and elongation at break compared to pure polymer. The mixture design method and Minitab16 software were utilized for designing the tests, statistical analyses, and optimization the mechanical properties of the mixtures. Results showed that the in compounds based on polypropylene and polyethylene, respectively, compounds includes 3.96 and 2.12percent clay has the best mechanical properties. Blends base on PP have better tensile modulus and LLDPE blends have better impact strength.

Keywords: Mechanical Properties, Polymer, Clay, Statistical Analysis, Nanocomposites.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.5.2.2]

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر نانوکامپوزیتهای پلیمر-خاک رس هم در صنعت و هم در تحقیقات مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند، زیرا وقتی که با میکرو و ماکرو-کامپوزیتهای معمولی و یا پلیمرهای خالص مقایسه می‌شوند، بهبود چشمگیری در خواص آن‌ها مشاهده می‌شود. پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن از دسته پلی‌اولفین‌ها، به‌واسطه قیمت پایین، وزن کم، فرایندپذیری و خصوصیات بازیافتی خوب، از جمله پرکاربردترین پلیمرها در تهیه نانوکامپوزیتهای پلیمر-خاک رس هستند[۱-۳].

نانو خاک رس صفحاتی با ضخامت ۱ نانومتر و عرض بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر هستند. مرسوم‌ترین خاک رس‌های مورد استفاده مونت موریلونیت، هکتوریت و ساپوینت هستند. مونت موریلونیت ساختاری کریستالی شامل یک اکتاهدرال آلومینا یا منگنز است که با دو لایه تترا هدرال سیلیکا احاطه شده است. از مزایای مونت موریلونیت می‌توان به قیمت پایین، نسبت مساحت به جرم بسیار بزرگ، نسبت منظر بالا و ویژگی متورق شدن خوب اشاره کرد. حضور این ذرات در نسبت‌های بسیار کم می‌تواند موجب بهبود قابل توجهی در پایداری حرارتی و خواص مکانیکی شود، به‌ویژه اگر به‌خوبی در ماتریس توزیع شده باشند[۴].

ترکیب پلیمرهای پلی‌اولفینی غیرقطبی با لایه‌های باردار، قطبی و آب‌دوست سیلیکاتی آسان نیست، اما خواص فیزیکی-مکانیکی و فرایندپذیری آن‌ها استفاده از این بسترها را در صنعت رواج داده است. مخلوط فیزیکی لایه‌های سیلیکاتی و پلیمر توانایی تشکیل نانوکامپوزیت را ندارند، چرا که باعث به‌وجود آمدن فازهای پراکنده می‌شوند. برهم‌کنش فیزیکی بسیار جزئی بین اجزای آلی و غیرآلی در سیستم‌های امتزاج‌ناپذیر منجر به دستیابی خواص نه‌چندان مطلوب مکانیکی و حرارتی می‌شود. در مقابل، برهم‌کنش قوی بین لایه‌های سیلیکات و زمینه پلیمری در این نانوکامپوزیتها باعث می‌شود که فازهای آلی و غیرآلی به‌خوبی در مقیاس نانو در هم پخش شوند که درنتیجه خواص یکنواختی را از این سیستم‌ها در مقایسه با همتای میکرومتری و پلیمر خالص شاهد خواهیم بود. برای این منظور، در تهیه نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-خاک رس و پلی‌پروپیلن-خاک رس، برای سازگاری خاک رس با پلیمر غیرقطبی از خاک رس اصلاح‌شده با اصلاح‌کننده‌های آلی که در آن سطوح قطبی خاک رس با زنجیرهای بلند آلکیل پوشانده شده است، استفاده می‌شود[۵-۹]. علاوه بر این، برای افزایش سازگاری ذرات نانومتری با ماتریس پلیمری، از پلیمر گرافت‌شده با مالئیک انیدرید، که یک ترکیب قطبی است، نیز درون ترکیبات استفاده می‌شود تا زنجیرهای پلیمر بتوانند مابین لایه‌های خاک رس قرار گرفته و ساختار اکسفولیت یا ورقه‌ای‌شده تشکیل گردد. در این زمینه تحقیقات زیادی انجام شده است که نتایج نشان می‌دهد استفاده از PE-g-MA و PP-g-MA مناسب است[۹-۱۱].

به‌طور کلی در تهیه نانوکامپوزیت‌ها روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که تحقیقات پیشین نشان می‌دهد مناسب‌ترین روش اختلاط در حالت مذاب مستقیم پلیمر با خاک رس اصلاح شده است[۱۳،۱۲].

آراجو و همکارانش[۱۴] خواص مکانیکی و گرمایی نانو کامپوزیت حاصل از پلی‌اتیلن و ذرات خاک رس را بررسی کردند. در این مطالعه از مونت موریلونیت به‌عنوان تقویت‌کننده و از نمک‌های آمونیوم به‌عنوان سازگاردهنده استفاده شد. نتایج حاصل از آزمایش‌های کشش و ضربه نشان داد که مدول کششی نانوکامپوزیت نسبت به پلی‌اتیلن خالص افزایش پیدا می‌کند. در صورتی که استحکام تسلیم کاهش پیدا می‌کند. همچنین افزایش طول تا نقطه شکست و استحکام ضربه ایزود نیز کاهش پیدا می‌کند.

کیوجو و همکارانش[۱۵] خواص مکانیکی و مورفولوژی نانوکامپوزیت با پایه پلی‌اتیلن و نانوذرات MMT به‌عنوان تقویت‌کننده را بررسی کردند. نتایج حاصل از تست‌های کشش و ضربه نشان داد که با افزایش درصد وزنی ذرات خاک رس از ۰ تا ۵ درصد، استحکام کششی به‌سرعت افزایش می‌یابد و در درصدهای وزنی بین ۵ تا ۷ درصد این افزایش کمتر بوده است. این در حالی است که استحکام ضربه تقریبا ثابت بود.

سانتوز و همکارانش[۱۶] تحقیقی جهت بهینه‌سازی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت بر پایه پلی‌پروپیلن و نانوذرات خاک رس به‌عنوان تقویت‌کننده انجام دادند. در این تحقیق از C-15A و C-20A و ترکیب آن‌ها استفاده شده است. درضمن از PP-g-MA به‌عنوان سازگاردهنده استفاده شده است.

یانگ تانگ و همکارانش[۱۳] نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن و خاک رس را با روش اکستردور دوپیچه تهیه کردند. در این

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.5.2.2]

تحقیق، خاک رس با درصد وزنی ۱ تا ۱۰ درصد و پلی‌پروپیلن پیوند زده شده با مالئیک انیدرید (PP-g-MA) با نسبت وزنی ۱:۱ نسبت به خاک رس استفاده شد. در آنالیز SEM پراکندگی یکنواخت لایه‌های سیلیکات در مقدار ۳ تا ۵ درصد خاک رس مشاهده می‌شود. در مقادیر بالاتر خاک رس (۱۰ درصد) در نانوکامپوزیت کلوخه‌های لایه‌ها دیده می‌شود. با افزایش میزان خاک رس مدول کششی افزایش می‌یابد، ولی مقاومت ضربه کاهش می‌یابد.

جعفری‌نژاد و همکاران[۱۷] نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن-خاک رس را با استفاده از روش اختلاط مذاب مستقیم پلی‌پروپیلن و خاک رس اصلاح‌شده تهیه کردند. نتایج نشان داد مدول یانگ نانوکامپوزیتهای پلی‌پروپیلن-خاک رس با افزایش درصد وزنی خاک رس افزایش می‌یابد.

سرائیان و همکارانش[۱۸] مدول کششی و خمشی نانو کامپوزیت‌های پلیمر خاک رس را بررسی کردند و نشان دادند با افزایش درصد خاک رس مدول کششی و خمشی افزایش می‌یابد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این تحقیق، پلی‌پروپیلن PP-۰۸۰۰ محصول شرکت پتروشیمی بندر امام خمینی استفاده شد. بنا به گزارش کارخانه، این نوع پلی‌پروپیلن برای ساخت لوازم منزل، لوازم تحریر، وسایل بیمارستانی، اسباب‌بازی و محفظه‌های مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی به‌کار برده می‌شود. مشخصات فنی ارائه‌شده توسط کارخانه در جدول ۱ آمده است.

همچنین از LLDPE-۰۲۰۹ محصول شرکت پتروشیمی تبریز استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده است. این ماده کاربردهای متعددی در زمینه بسته‌بندی مواد غذایی، مواد شوینده، داروها، مخازن، انواع درپوش‌ها و کلاهک‌ها و لوله‌های تحت فشار گاز دارد.

از کلوزیت ۱۵A، که یک مونت موریلونیت طبیعی اصلاح شده با نمک آمونیوم است، استفاده شده است. این نانوذرات به‌منظور بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی به پلیمرها افزوده می‌شوند. خواص کلوزیت مورد استفاده در جدول ۳ آورده شده است. برای سازگاری نانوذرات خاک رس با زمینه پلیمری از PP-g-MA و PE-g-MA استفاده شد.

جدول ۱ مشخصات پلی‌پروپیلن

خواص	روش تست	مقدار	واحد
MFI230°C/2.16Kg	ASTMD-1238	۷-۱۰	gr/10min
استحکام کششی	ASTMD-638	۳۳۰	kg/cm^2
افزایش طول تا شکست	ASTMD-638	۵۰۰	%
استحکام ضربه آیزود	ASTMD-256	۲	kg.cm/cm

جدول ۲ مشخصات فنی پلی اتیلن LLDPE-0209

خواص	روش تست	مقدار	واحد
MFI	ASTMD-1238	۷-۱۰	gr/10min
چگالی	ASTM D-1505	۳۳۰	kg/cm^2
استحکام تسلیم	ASTM D-882	۵۰۰	MPa
افزایش طول تا شکست	ASTM D-882	۲	%

جدول ۳ خواص کلوزیت ۱۵ A

خواص	روش تست	مقدار	واحد
MFI	ASTMD-1238	۷-۱۰	gr/10min
چگالی	ASTM D-1505	۳۳۰	kg/cm^2
استحکام تسلیم	ASTM D-882	۵۰۰	MPa
افزایش طول تا شکست	ASTM D-882	۲	%

۲-۲- روش‌ها و دستگاه‌ها

برای ساخت کامپوزیت‌ها از دستگاه اکسترودر دوپیچه همسوگرد مدل P8.2E WLE ZSK25 ساخت کشور آلمان با مشخصات فنی D=۲۵ mm و L/D=۴۰ استفاده گردید. در حین ساخت محدوده دمایی اکسترودر با توجه به دمای ذوب پلیمر به‌ترتیب از قسمت ورود مواد ۱۹۰، ۱۸۰، ۱۷۵، ۱۷۰، ۱۶۵ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سرعت حرکت پیچه‌ها ۲۵۰rpm تنظیم گردید. ترکیب نمونه‌های ساخته شده مطابق جدول های ۴ و ۵ می‌باشد.

جدول ۴ ترکیب درصد نمونه‌های PE تهیه‌شده

نمونه	درصد وزنی LLDPE	درصد وزنی PE-g-MA	درصد وزنی کلوزیت 15A
PE1	۱۰۰	۰	۰
PE2	۹۵/۲۵	۳	۱/۷۵
PE3	۹۳/۵	۳	۳/۵
PE4	۹۱/۷۵	۳	۵/۲۵
PE5	۹۰	۳	۷
PE6	۹۶/۵	۰	۳/۵

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.5.2.2]

جدول ۵ ترکیب درصد نمونه‌های PP تهیه‌شده

نمونه	درصد وزنی PP	درصد وزنی PP-g-MA	درصد وزنی کلوزیت 15A
PP1	۱۰۰	۰	۰
PP2	۹۵/۲۵	۳	۱/۷۵
PP3	۹۳/۵	۳	۳/۵
PP4	۹۱/۷۵	۳	۵/۲۵
PP5	۹۰	۳	۷
PP6	۹۶/۵	۰	۳/۵

نمونه‌های کشش مطابق استاندارد ASTM D638 و نمونه‌های ضربه آیزود شیاردار مطابق استاندارد ASTM D256 تهیه گردیدند. دست‌کم پنج نمونه استاندارد کشش و ضربه از دستگاه قالب‌ریزی تزریقی تهیه و برای انجام تست آماده شدند. میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی با نام هیتاچی مدل S-4160 ساخت ژاپن با ولتاژکاری ۱۵kV جهت بررسی ریزساختار نانوکامپوزیت‌ها، نحوه پراکندگی نانوذرات در زمینه، اندازه‌گیری ابعاد نانوذرات و گرفتن تصویر از مواد اولیه مورد استفاده قرارگرفت.

از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶[1] و روش طراحی مخلوط به‌منظور طراحی آزمایش، تحلیل آماری و بهینه‌سازی استفاده شد. درجه طراحی برابر ۲ و درصد وزنی خاک رس بین ۰-۷ درصد و درصد سازگاردهنده ثابت و به مقدار ۳ درصد درنظر گرفته شد.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- شکل‌شناسی

در شکل ۱ تصاویر FESEM ترکیبات PE۳ وPE۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که از تصاویر مشاهده می‌شود، اضافه کردن PE-g-MA و PP-g-MA قابلیت پخش خاک رس اصلاح‌شده در ماتریس پلیمری را بهبود می‌بخشد و ساختار همگنی به‌وجود می‌آورد، زیرا PE-g-MA و PP-g-MA به‌دلیل قطبیتشان در فضای بین‌لایه‌ای خاک رس اصلاح‌شده نفوذ کرده و فاصله بین لایه‌ای را افزایش می‌دهند. برعکس در غیاب سازگارکننده توزیع ذرات خاک رس اصلاح‌شده در ماتریس پلیمری کاهش‌یافته و لایه‌های خاک رس تجمع‌یافته و ساختار ناهمگنی به‌وجود می‌آورد.

1. Minitab16

۳-۲- خواص مکانیکی

خواص مکانیکی مختلف نانوکامپوزیت‌ها مانند استحکام کششی، استحکام تسلیم، مدول کششی، کرنش شکست و استحکام ضربه برحسب درصد خاک رس اصلاح‌شده اندازه‌گیری شده و در زیر آورده شده است. همان‌طور که از شکل ۲ مشاهده می‌شود، استحکام کششی، استحکام تسلیم و مدول کششی نانوکامپوزیتهای پلی‌پروپیلن-خاک رس و پلی‌اتیلن-خاک رس ابتدا با افزایش درصد خاک رس افزایش و سپس کاهش می‌یابد. عواملی که باعث افزایش خواص فوق می‌شوند عبارت‌اند از: ۱- افزایش مدول و استحکام کششی به‌سبب توانایی خاک رس در تحمل نیرو[۸]، ۲- به‌دلیل استفاده از سازگارکننده PP-g-MA و PE-g-MA، بین گروه‌های آمونیوم هسته‌دوست خاک رس اصلاح‌شده و گروه‌های MA سازگاردهنده، پیوند تشکیل می‌شود که باعث افزایش مدول یانگ، استحکام کششی و استحکام تسلیم می‌شود[۱۶]، ۳- حجمی از پلیمر که بین صفحات خاک رس محدود می‌شود منجر به افزایش مدول و استحکام کششی می‌شود[۱۴]، ۴- نانوذرات با ماتریس پلیمری وارد برهم‌کنش شده و نوع برهم‌کنش میزان مدول و استحکام کششی را تعیین می‌کند[۱۵]. البته درصدهای بالای خاک رس باعث کاهش استحکام کششی، استحکام تسلیم و مدول کششی می‌شود که نشان می‌دهد در درصدهای وزنی بالا، لایه‌های خاک رس روی هم انباشته شده و باعث چسبندگی ضعیف نانوذرات خاک رس و ماتریس پلیمری می‌شود که سبب گسسته‌شدن سریع‌تر ساختار تحت کشش می‌شود. همچنین، می‌توان گفت کلوخه‌شدن لایه‌های خاک رس باعث تمرکز تنش و کاهش خواص مکانیکی می‌شود. خواص کششی نانوکامپوزیت‌های با ماتریس PP در مقایسه با LLDPE بهتر است.

بررسی نتایج حاصل از تست کشش نشان داد افزودن نانوذرات خاک رس باعث کاهش چشمگیر کرنش شکست نانوکامپوزیت‌های حاصل نسبت به پلی‌پروپیلن خالص می‌شود، زیرا حجمی از پلیمر بین صفحات خاک رس محدود می‌شود و بدون کرنش شکسته می‌شود. هرچه درصد وزنی نانو ذرات خاک رس بیشتر باشد، کاهش کرنش شکست نیز بیشتر است.

کرنش شکست نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن-خاک رس نسبت به LLDPE خالص کاهش می‌یابد. البته تغییرات کرنش شکست نانوکامپوزیتهای با ماتریس PP بیشتر از LLDPE است.

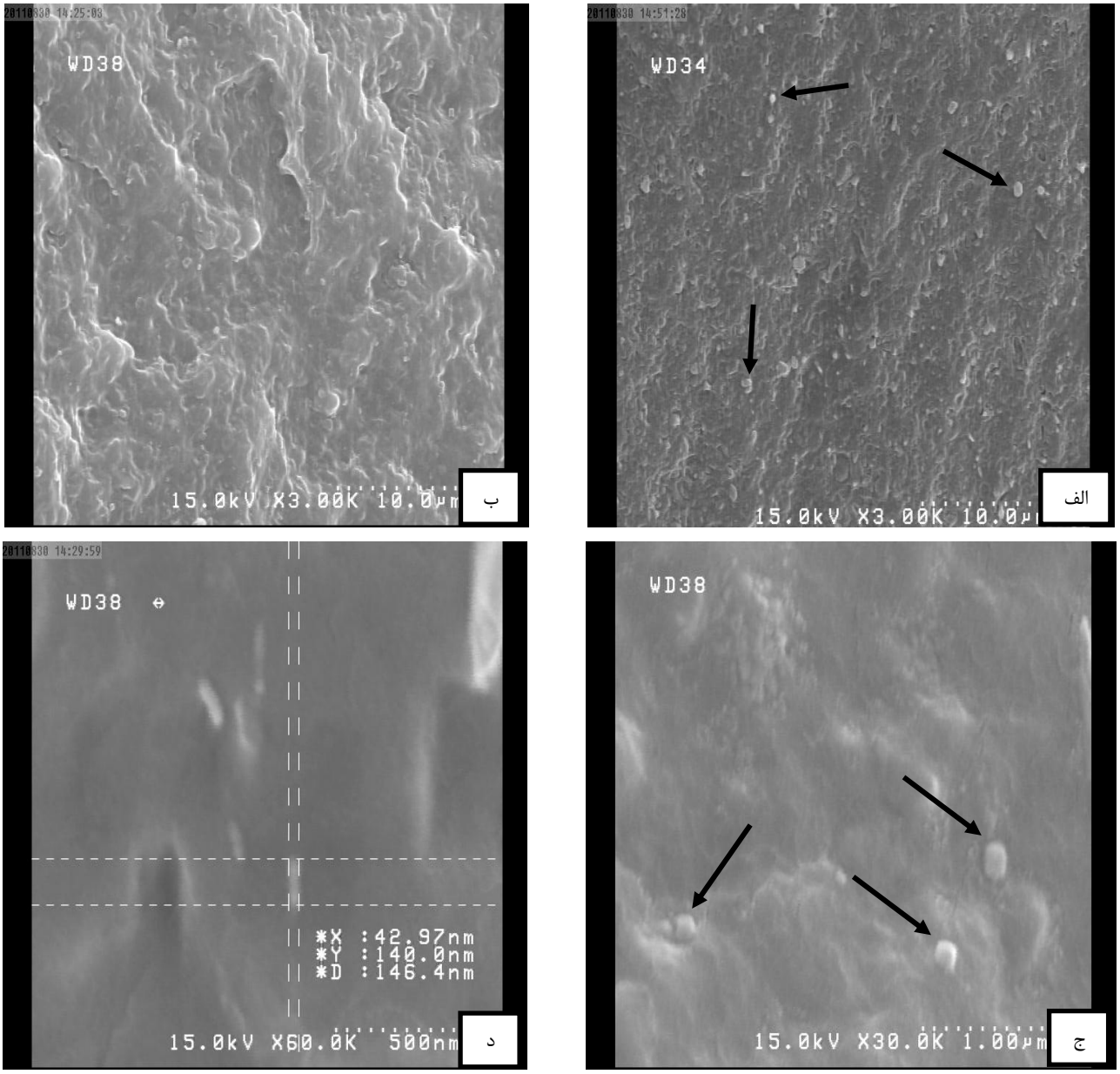
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.5.2.2]

نتایج حاصل از تست ضربه آیزود نشان داد افزودن نانوذرات خاک رس باعث کاهش استحکام ضربه نانوکامپوزیت‌های حاصل نسبت به پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن خالص می‌شود، به‌طوری که هرچه درصد وزنی خاک رس بیشتر باشد، این کاهش نیز بیشتر است. کاهش استحکام ضربه به‌دلیل تمرکز تنش در اطراف نانوذرات خاک رس است که باعث ضعیف‌شدن موضعی نمونه و شروع ترک می‌شود[۷]. البته کاهش استحکام ضربه در ترکیبات بر پایه پلی‌اتیلن بیشتر است. شکل ۴ گویای این مطلب است.

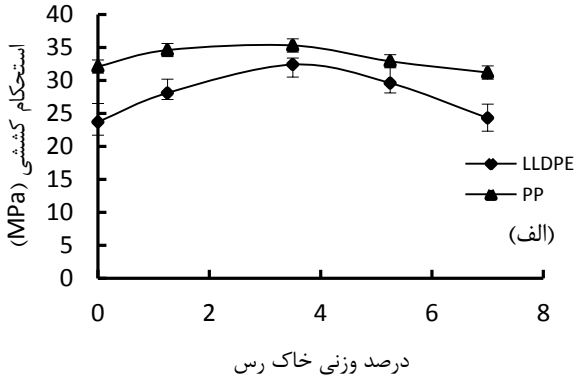
۳-۳- تحلیل آماری

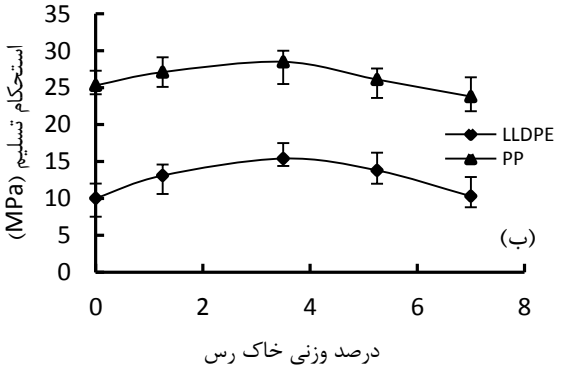
نتایج حاصل از تحلیل آماری با نرم‌افزار مینی‌تب در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. در این جدول‌ها ترکیب‌های بهینه با خواص مکانیکی ماکزیمم و درصد مواد تشکیل‌دهنده ترکیب‌های پیش‌بینی شده آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای ترکیب‌های با هر دو ماتریس PP و LLDPE، پلیمر خالص بیشترین استحکام ضربه را دارد. بیشترین استحکام کششی و استحکام تسلیم برای ترکیب‌های شامل PP و LLDPE به‌ترتیب شامل ۳/۱ و ۳/۶ درصد وزنی خاک رس است.

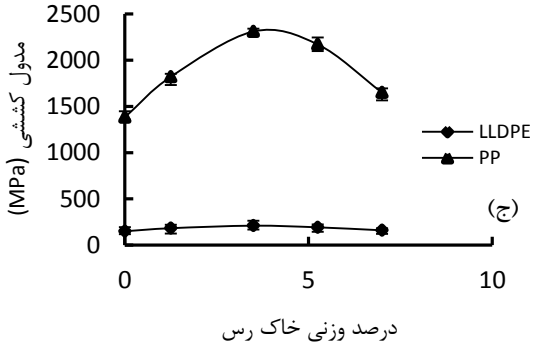


شکل ۱ تصاویر FESEM، (الف) PE۶، (ب) PE۳، (ج) PP۶، (د) PP۳

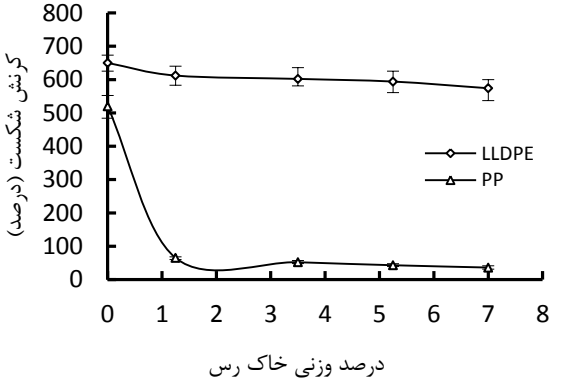
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.5.2.2]



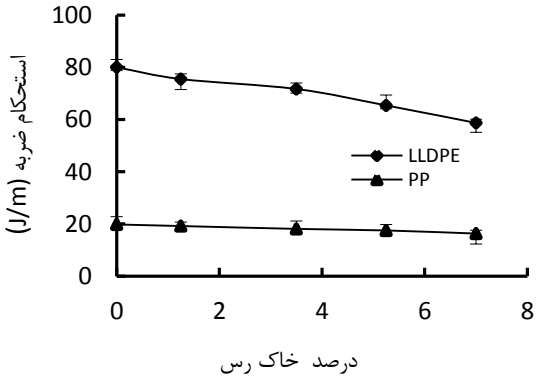




شکل ۲ خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌ها، (الف) استحکام کششی (ب) استحکام تسلیم (ج) مدول کششی



شکل ۳ کرنش شکست نانوکامپوزیت‌ها



شکل ۴ استحکام ضربه کامپوزیت‌ها

جدول ۶ ترکیب‌های بهینه با خواص مکانیکی ماکزیمم، نانو کامپوزیت‌های با ماتریس PP

خواص مکانیکی	ماکزیمم مقدار پیش‌بینی‌شده	درصد مواد ترکیب‌های بهینه		
		PP	15A	PP-g-MA
استحکام ضربه	۱۹/۸ (J/m)	۱۰۰	۰	۰
استحکام کششی	۳۴/۸۷ (MPa)	۹۳/۹	۳/۱	۳
مدول کششی	۲۲۳۹/۱(MPa)	۹۳/۰۴	۳/۹۶	۳
استحکام تسلیم	۲۷/۹ (MPa)	۹۳/۹	۳/۱	۳
مدول کششی	۲۲۳۹/۱(MPa)	۹۳/۰۴	۳/۹۶	۳
استحکام کششی	۳۴/۶۸(MPa)	۹۳/۰۴	۳/۹۶	۳
استحکام تسلیم	۲۷/۷(MPa)	۹۳/۰۴	۳/۹۶	۳
استحکام ضربه	۱۸/۰۶ (J/m)	۹۳/۰۴	۳/۹۶	۳

جدول ۷ ترکیب‌های بهینه با خواص مکانیکی ماکزیمم، نانو کامپوزیت‌های با ماتریس LLDPE

خواص مکانیکی	ماکزیمم مقدار پیش‌بینی‌شده	درصد مواد ترکیب‌های بهینه		
		LLDPE	15A	PE-g-MA
استحکام ضربه	۷۹/۸۵(J/m)	۱۰۰	۰	۰
استحکام کششی	۳۱/۴۵(MPa)	۹۳/۴	۳/۶	۳
مدول کششی	۲۰۴/۶۸(MPa)	۹۳/۲۵	۳/۷۵	۳
استحکام تسلیم	۱۴/۹۷ (MPa)	۹۳/۴	۳/۶	۳
مدول کششی	۱۹۴/۳۲(MPa)	۹۴/۸۸	۲/۱۲	۳
استحکام کششی	۳۰(MPa)	۹۴/۸۸	۲/۱۲	۳
استحکام تسلیم	۱۴/۱(MPa)	۹۴/۸۸	۲/۱۲	۳
استحکام ضربه	۷۵/۰۸ (J/m)	۹۴/۸۸	۲/۱۲	۳

ترکیب‌های شامل ۳/۹۶ و ۳/۷۵ درصد وزنی خاک رس به‌ترتیب برای ترکیب‌های با ماتریس PP و LLDPE بیشترین مدول کششی را دارند. برای هر دو ماتریس، مدول کششی ماکزیمم نسبت به بقیه خواص مکانیکی در درصدهای بیشتر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.5.2.2]

خاک رس حاصل می‌شود. ترکیب با خواص مکانیکی بهینه برای ترکیب‌های با ماتریس PP و LLDPE به‌ترتیب شامل ۳/۹۶ و ۲/۱۲ درصد وزنی خاک رس است. استحکام ضربه ترکیب بهینه با ماتریس LLDPE نسبت به ترکیب با ماتریس PP بسیار بیشتر است، در حالی که مدول کششی ترکیب بهینه به ماتریس PP نسبت به ترکیب با ماتریس LLDPE بیشتر است.

برای پیش‌بینی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌ها با درصدهای دلخواه خاک رس در محدوده ۰-۷، برای هریک از خواص مکانیکی مورد بحث براساس درصد وزنی مواد تشکیل‌دهنده ترکیب، ضرایبی به‌دست آمد که نتایج در جدول ۸ نشان داده شده است (ضرایب معادله خطی رگرسیون برای خواص مکانیکی).

۴- نتیجه‌گیری

در تهیه نانوکامپوزیت‌های با ماتریس PP و LLDPE به‌ترتیب استفاده از سازگاردهنده‌های PP-g-MA و PE-g-MA مناسب است. افزودن نانوذرات خاک رس به هر دو ماتریس PP و LLDPE باعث بهبود استحکام کششی، استحکام تسلیم، مدول کششی و کاهش استحکام ضربه‌ای ترکیب‌های حاصل نسبت به پلیمر خالص می‌شود. البته افزایش مدول کششی ترکیب‌های با ماتریس PP نسبت به ترکیب‌های با ماتریس LLDPE بیشتر است. کرنش شکست نانوکامپوزیت‌های با هر دو ماترس نسبت به حالت خالص پلیمرها کاهش می‌یابد، البته کاهش کرنش شکست ترکیب‌های با ماتریس PP بیشتر است.

جدول ۸ ضرایب معادلات رگرسیون برای خواص مکانیکی

خواص مکانیکی	عامل	ضریب	عامل	ضریب
	LLDPE	۰/۲۳۸۶۴۰	PP	۰/۳۳۳۴۳۴
استحکام کششی	C15A	-۵۶/۱۳۶۷	pp×15A	-۲۲/۸۴۰۱
	LLDPE×C15A	۰/۶۲۸۲۹۲	15A	۰/۲۵۵۱۶۰
	LLDPE	۰/۱۰۲۷۰۲	PP	۰/۲۶۰۲۷۰
استحکام تسلیم	C15A	-۳۵/۹۲۸	pp×15A	-۲۵/۰۲۴۸
	LLDPE×C15A	۰/۳۹۱۶۹۷	15A	۰/۲۷۸۴۳۷
	LLDPE	۱/۵۳۳۸۸	PP	۱۴/۲۱۷۸
مدول کششی	C15A	-۳۶۱/۵۱۸	pp×15A	-۴۴۷۱/۳۳
	LLDPE×C15A	۴/۰۵۳۱۸	15A	۰/۱۵۹۸۵
	LLDPE	۰/۸۲۳۲۰۳	PP	۰/۲۰۳۸۲۳
استحکام ضربه	C15A	-۱۶/۳۵۹۱	pp×15A	-۲/۰۳۷۹۳
	LLDPE×C15A	۰/۱۵۷۳۴۱	15A	۰/۰۱۹۴۵۱۹

ترکیب‌های با ماتریس PP مدول کششی بیشتر و ترکیب‌های با ماتریس LLDPE استحکام ضربه بیشتر دارند. ترکیب بهینه برای نانوکامپوزیت‌های با ماتریس‌های PP و LLDPE به‌ترتیب شامل ۳/۹۶ و ۲/۱۲ درصد وزنی خاک رس است.

۵- مراجع

[1] Biswas M., Ray S. S., "Recent Progress in Synthesis and Evaluation of Polymer-Montmorillonite Nanocomposites", *AdvPolym Sci*., No. 155, 2001, pp. 167-221.

[2] Kato M., Okamoto H., Hasegawa N., Tsukigase A., Usuki A., "Preparation and Properties of Polyethylene-Clay Hybrids", *Polym. Eng. Sci.*, No. 43, 2003, pp. 1312-1316.

[3] Hasegawa N., Okamoto H., Kato M., Tsukigase A., Usuki A., "Polyolefin-Clay Hybrids Based on Modified Polyolefins and Organophilic Clay", *Macromol Mater Eng*., No. 280, 2000, pp. 76-79.

[4] Vermogen A., Masenelli-Varlot K., Seguela R., Duchet-Rumeau J., Boucard J., Prele P., "Evaluation of the Structure and Dispersion in Polymer-Layered Silicate Nanocomposites", *Macromolecules*, No. 38, 2005, pp. 9661-9669.

[5] Alexandre M., Dubois P., Sun T., Garces J. M., Jerome R., "Polyethylene-Layered Silicate Nanocomposites Prepared by the Polymerization-Filling Technique: Synthesis and Mechanical Properties", *Polymer*, No. 43, 2002, pp. 2123-32.

[6] Gopakumar T. G., Lee J. A., Kontopoulou M., Parent J. S., "Influence of Clay Exfoliation on the Physical Properties of Montmorillonite/ Polyethylene Composites", *Polymer*, No. 43, 2002, pp. 5483-5491.

[7] Lin J. C., "Investigation of Impact Behavior of Various Silica-Reinforced Polymeric Matrix Nanocomposites", *Compos*, No. 84, 2008, pp. 125-131.

[8] Ding C., Jia D., He H., Guo B., Hong H., "Howorgano-montmorillonite truly Affects Thestructure and Properties of Polypropylene", *Polym Test*, No. 24, 2005, pp. 94-100.

[9] Yehwang Feng B., "Melt Processing of Polypropylene/Clay Nanocomposites Modified with Maleated Polypropylene Compatibilizers", *Composites Part B*., 2004, pp. 111-124.

[10] Wang K. H., Choi M. H., Koo C. M., Choi Y. S., Chung I. J., "Synthesis and Characterization of Maleated Polyethylene/Clay Nanocomposites", *Polymer*, No. 42, 2001, pp. 9819-9826.

[11] Liang G., Xu J., Bao S., Xu W., "Polyethylene/maleic Anhydride Grafted Polyethylene/Organic Montmorillonite", *European Polymer Journal*, No. 41, 2005, pp. 1115-1122.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.5.2.2]

[12] Zhang J., Wilkie C. A., "Preparation and Flammability Properties of Polyethylene Clay Nanocomposites", *PolymDegrad Stab*, No. 80, 2003, pp.163-169.
[13] Yang T., Yuan H., Shaofeng W., Zhou G., "Preparation of Polypropylene/Clay Nanocomposites by melt 90 Ntercalation from Pristine Montmorillonite", *Polym. Adv. Technol*, No. 14, 2003, pp.733-737.
[14] Araujo E. M., Renata B., Ahmanda D., "Thermal and Mechanical Properties of PE/ORGANOCLAY Nanocomposites", *Thermal Analysis and Calorimetry*", No. 87, 2007, pp. 811-814.
[15] Chungui Zh., Huaili Q., Fangling G., Shimin Zh., "Mechanical, Thermal and Flammability Properties of Polyethylene/Clay Nanocomposites", *Polymer Degradation and Stability*, No. 87, 2005, pp. 183-189.
[16] Mittal V., "Polypropylene-Layered Silicate Nanocomposites: Filler Matrix Interactions and Mechanical Properties", *J Thermoplast Compos Mater*, No. 20, 2007, pp. 575-599.
[17] Jafarinejad S., Ahmadi S. J., "Thermal Stability, Mechanical Properties and Solvent Resistance of PP/Clay Nanocomposites", *Applied Siences*, No. 7, 2007, pp. 2480-2484.
[18] Saraeian P., Golzar M., Jafari Amanabad S. H., "Experimental Study of the Effect of Nanoclay Modifier on Tensile and Bending Module of Polyamide/Nano Clay Nanocomposite", *Mechanics Modares*, No. 3, 2008, pp. 85-94.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.5.2.2]