

بررسی تأثیر نانورس اصلاح شده بر روی خواص مورفولوژیکی (ریخت شناختی)، رئولوژیکی (شارش شناختی) و مکانیکی آمیزه پی وی سی / آکریلونیتریل بوتادی ان استایرن پیوندی

مجتبی خمیس آبادی^۱، سعید طالبی^{۲*}، محمدرضا مهدی پور^۱

۱- کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی سهند

۲- استادیار مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی سهند

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۰۳

پیام نگار: talebi@sut.ac.ir

چکیده

علی رغم مزایای عمده پلی وینیل کلراید (PVC)، مانند محدوده وسیع کاربری آن از انواع نرم تا سخت، این بسیار دارای معایبی است که از جمله می توان مقاومت ضربه ای پائین آن را یاد کرد. افزایش جزء الاستومر به زمینه PVC می تواند باعث افزایش استحکام ضربه ای و در عین حال کاهش سفتی آن شود. بهره گیری همزمان از الاستومر و نانو پرکننده می تواند باعث بهبود خواص PVC شود. در این پژوهش آمیزه ای از PVC، نانورس و تریسپار آکریلونیتریل بوتادین استایرن پیوندی (g-ABS) با استفاده از مخلوط کن داخلی تهیه و استحکام کششی و مقاومت ضربه ای نمونه ها بررسی شد. بنابر نتایج بررسی های انجام شده، روش خوراک دهی (همزمان A) یا ترتیبی (B)، می تواند روی ریزساختار آمیزه تأثیر بگذارد. روش ترتیبی (B)، جایگیری مناسب نانورس در فاز زمینه PVC و نیز در فصل مشترک بین فازهای زمینه و پراکنده را نشان داد. به نظر می رسد که به منظور افزایش خواص مکانیکی آمیزه PVC/g-ABS/Nanoclay باید ترکیبی از عوامل ترکیب درصد اجزاء و روش خوراک دهی مورد نظر قرار گیرد.

کلیدواژه ها: پلی وینیل کلراید، الاستومر، نانوپرکننده، مقاومت ضربه ای.

۱. مقدمه

محدوده وسیع کاربری از انواع نرم تا انواع سخت آن است. معایب این ماده همچون مقاومت ضربه ای کم، ازدیاد طول کم تا نقطه شکست و محدودیت کاربرد به دلیل محدوده دمای نرم شدگی وایکات پائین سبب انجام تحقیقات به منظور بهبود خواص آن شده است [۳]. با مطالعه کارهای تحقیقاتی که برای تقویت خواص PVC از آنها بهره گرفته شده، دو شیوه عمده افزودن نانو پرکننده، و افزودن مواد بسپاری یا الاستومری به عنوان روش های تقویت خواص آن شناخته شده اند. به طوری که می توان به تالک و کلسیم کربنات به عنوان مهمترین ذرات معدنی که تا به حال در تقویت PVC به کار رفته اند اشاره کرد. با توجه به این که برای

تهیه آمیزه های بسپاری یکی از روشهای مناسب برای گسترش مواد بسپاری جدید به شمار می آید. به طوری که این امر باعث ترکیب خواص عالی چندین بسپار با یکدیگر می شود. در واقع، این روش معمولاً نسبت به گسترش تکپارهای جدید و نیز روش های بسپارش جدید نیاز به صرف هزینه کمتر و زمان کوتاهتری خواهد داشت [۱ و ۲]. پلی وینیل کلراید (PVC) یکی از پرمصرف ترین پلاستیک های حال حاضر در جهان است. مزیت عمده این ماده امکان اختلاط آن با انواع نرم کننده های روغنی و به دست آوردن

* تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی پلیمر، پژوهشکده مواد پلیمری

نقطه ضعفی می‌توان به‌طور همزمان از یک پرکننده و الاستومر استفاده کرد. این امر منجر به انجام مطالعات جدید جهت ساخت آمیزه‌های سه جزئی پرکننده/الاستومر/بسپار به منظور افزایش همزمان چقرمگی و سفتی شده‌است [۱۹ و ۴].

هدف از این پژوهش تهیه آمیزه سه جزئی PVC/g-ABS/Nanoclay با دو شیوه خوراک‌دهی متفاوت است، به‌طوری که از یک طرف تأثیر حضور همزمان نانو پرکننده و ماده بسپاری حاوی لاستیک، و از سوی دیگر تأثیر تغییر شیوه خوراک‌دهی بر روی خواص مکانیکی آمیزه‌های تهیه شده بررسی شود.

۲. روش تجربی

۲-۱ مواد شیمیایی

در این پژوهش از PVC سوسپانسیونی (PVC-S) با ارزش $K=65$ محصول شرکت پتروشیمی آبادان استفاده شده است. همچنین از اصلاح کننده ضربه g-ABS که یک محصول میانی تولید شده در شرکت پتروشیمی تبریز است، بهره گرفته شده است. نانورس به کار رفته در این تحقیق از نوع Cloisite 30B است که آلکیل نمک آمونیم چهار ظرفیتی بنتونیت و محصول شرکت Southern آمریکا است. با توجه به تخریب سریع PVC در دماهای بالا و حساسیت آن به تابش پرتوهای فرابنفش در حضور اکسیژن و نیز مقاومت پائین آن در برابر اکسایش، در فرایند این ماده از مواد افزودنی نظیر پایدار کننده‌های نوری و گرمایی و آنتی اکسیدانت (ضداکسیده)ها نیز استفاده شد.

۲-۲ دستگاه‌ها

برای آمیزه‌سازی از دستگاه مخلوط‌کن داخلی مدل Plasti-Corder شرکت برابندر آلمان استفاده شد. برای انجام آزمون ضربه بر روی نمونه‌ها دستگاه آزمون ضربه CEAST مدل Resil Impact به کار رفت و آزمون ضربه در این تحقیق مطابق با شرایط استاندارد ISO 180 انجام گرفت. به منظور ارزیابی استحکام کششی نمونه‌ها از دستگاه آزمون کشش مدل Z 010 ساخت شرکت Zwick و مطابق با روش استاندارد ASTM D 638 استفاده شد. آزمون کششی در دمای محیط بر روی نمونه‌های دمبلی شکل با سرعت کشش 5mm/min انجام شد. برای انجام آزمون‌های شارش‌شناختی از

رسیدن به رفتار سفتی مناسب، مقدار بارگیری پدانه‌های از پرکننده‌های معدنی ضروری است، این مقدار زیاد پرکننده می‌تواند باعث فرایندپذیری ضعیف و شکل‌پذیری^۱ کمتر نمونه شود. از این‌رو، استفاده از پرکننده‌های معدنی در مقیاس نانو از جمله نانو کلسیم کربنات و نانورس (nanoclay) رواج یافته‌است [۴-۶]. نانورس‌ها مواد معدنی بلورین ریزدانه‌ای‌اند که در آنها یک لایه واحد ساختاری پایه نانورس‌هاست و این لایه‌ها به آرایش و مرتب‌کردن روی هم‌دیگر مانند صفحات کتاب گرایش دارند. لایه‌های مجزا از صفحات چهاروجهی و/یا هشت‌وجهی تشکیل شده‌اند و این آرایش صفحات نقش مهمی در تعیین و تمایز این مواد معدنی رسی دارند [۷ و ۸]. با استفاده از مقادیر کم نانو پرکننده‌ها می‌توان همزمان با بهبود خواص نامطلوب یادشده، سفتی و سختی مواد بسپاری را نیز تقویت کرد [۹]. از جمله بسپارهایی که در آمیزه‌سازی PVC به کار می‌روند، می‌توان به پلی متیل متاکریلات (PMMA)، پلی وینیل استات (PVAc)، پلی اتیلن هگزایل اکریلات (PEHA)، پلی بوتیل اکریلات (PBA)، پلی اتیلن کلرینه شده (CPE)، لاستیک نیتریل (NBR) و تریسپار آکریلونیتریل- بوتادی‌ان- استایرن (ABS) اشاره کرد [۱۰-۱۲ و ۱۴]. بسپارهای ABS شامل خانواده فراگیری از رزین‌هایی‌اند که از فرایندپذیری دامنه‌داری برخوردارند [۱۳] و برای تولید محصولات با چقرمگی عالی، پایداری ابعادی و مقاومت شیمیایی مطلوب به کار گرفته می‌شوند. ویژگی‌هایی از جمله شفافیت و عملکرد گرمایی دامنه‌دار در این محصولات، یافت می‌شود [۱۵]. در این پژوهش از اصلاح کننده ضربه آکریلونیتریل بوتادی‌ان استایرن پیوندی (g-ABS)، دارای ساختار هسته - پوسته است [۱۶ و ۱۷]، به‌عنوان فاز لاستیکی برای بهبود چقرمگی PVC استفاده شده است. ضخامت پوسته همبسپار استایرن - آکریلونیتریل (SAN) باید دارای مقدار بهینه‌ای باشد تا از طریق پراکنش مناسب g-ABS در زمینه آمیزه قابلیت افزایش استحکام ضربه آن را فراهم آورد. این ضخامت از طریق نسبت SAN به پلی‌بوتادی‌ان (PB) تعیین می‌شود [۱۸]. به‌طور کلی، اضافه‌شدن یک الاستومر در یک فاز زمینه برای افزایش چقرمگی، باعث کاهش مدول فاز زمینه خواهد شد. از سوی دیگر افزودن پرکننده‌های معدنی می‌تواند به بالا رفتن سفتی ماده انجامد که در این صورت امکان کاهش چقرمگی وجود خواهد داشت. برای غلبه بر چنین

روشهای یادشده، به منظور اختصار در گزارش نویسی مطابق جدول (۱) رمزگذاری شده‌اند.

جدول ۱. رمزگذاری آمیزه‌های تهیه شده

کد نمونه	شرایط آماده‌سازی و اختلاط ترکیب
P.g.A	خوراکی همزمان، phr Nanoclay (۰)
P.g.Nc.A	خوراکی همزمان، phr Nanoclay (۳)
P.g.B	خوراکی ترتیبی، ابتدا PVC و مواد افزودنی در مخلوط کن داخلی با هم آمیخته شدند و سپس g-ABS به مذاب یادشده اضافه شد. Phr Nanoclay (۰)
P.g.Nc.B	خوراکی ترتیبی، ابتدا PVC و مواد افزودنی در مخلوط کن داخلی با هم آمیخته شدند و سپس g-ABS به مذاب یادشده اضافه شد. phr Nanoclay (۳)

۳. نتایج و بحث

۳-۱ نتایج آزمون خواص مکانیکی

آزمون‌های استحکام کششی و استحکام ضربه به منظور ارزیابی تأثیر نانورس بر خواص مکانیکی آمیزه و نانوکامپوزیت‌های تهیه شده، انجام شد. مطابق شکل (۱)، در هر دو شیوه خوراکی‌دهی، افزایش نانورس سبب کاهش استحکام کششی شده است. بررسی داده‌های مطالعات قبلی [۹ و ۱۹] نشان می‌دهد که افزایش جزء نانو به آمیزه PVC/ABS می‌تواند دو تأثیر متقابل بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت بگذارد. اول این‌که از یک طرف به علت قطبیت جزء PVC و آکریلونیتریل، قطعه‌های^۱ زنجیره‌های بسپاری این دو جزء می‌توانند در بین صفحات نانورس جای گیرند و باعث نفوذ میان لایه‌های^۲ شوند. اما از سوی دیگر، ورقه‌ای شدن^۳ ناقص لایه‌های نانورس به افزایش مقدار نقص در نانوکامپوزیت منجر می‌شود که در نهایت می‌تواند به کاهش کیفیت خواص مکانیکی انجامد. از این رو با مقایسه افت استحکام کششی نمونه‌های نانوکامپوزیت نسبت به آمیزه‌های اولیه، به نظر می‌رسد که تأثیر نقص‌های حاصل از ورقه‌ای شدن نامناسب بیشتر بوده است.

1. Segment
2. Intercalation
3. Exfoliation

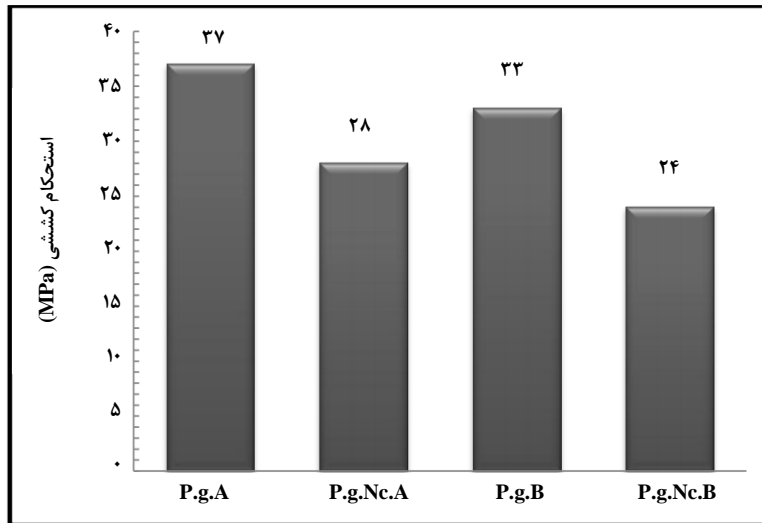
دستگاه شارش‌سنج Anton Paar مدل MCR 301 Physica بهره گرفته شد. نمونه‌های شارش‌شناختی به شیوه قالبگیری فشاری و به شکل قرصهای دایره‌ای شکل با قطر ۲ سانتی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر تهیه شد. شکل هندسی صفحات به کار رفته در آزمون شارش‌شناختی از نوع صفحه- موازی (parallel plate) انتخاب شد. برای بررسی سطح شکست نمونه‌ها از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Cam Scan MV2300 ساخت کشور جمهوری چک استفاده شد. برای بررسی نحوه پراکنش ذرات نانورس در درون آمیزه دو جزئی PVC/g-ABS از روش پراش پرتو ایکس استفاده شد. این آزمون به واسطه دستگاه پراش پرتو ایکس ساخت شرکت PHILIPS که ماده آند در آن مس (Cu) و طول پرتو حاصل از آن $\lambda=1/541$ آنگستروم است، در دمای محیط انجام شد.

۲-۳ روش تهیه نانوکامپوزیت

به منظور رطوبت‌زدایی از مواد اولیه، به هر سه جزء PVC، g-ABS و نانورس در آون حرارتی در دمای 80°C و به مدت ۱۲ ساعت تحت شرایط خلاء گرماده شده. تمامی اجزای آمیزه قبل از اختلاط در دمای 120°C نیز به صورت فیزیکی با یکدیگر پیش اختلاط یافتند. به آمیزه PVC/g-ABS با ترکیب درصد وزنی (۹۰/۱۰) مقدار ۳ phr نانورس افزوده شد. برای بررسی تأثیرات شیوه خوراکی‌دهی، اختلاط مذاب به دو شیوه زیر عمل شد:

شیوه A: در این شیوه PVC، g-ABS و نانورس، همزمان به داخل مخلوط‌کن داخلی، خوراکی‌دهی و عمل اختلاط به مدت ۷ دقیقه اجرا شد.

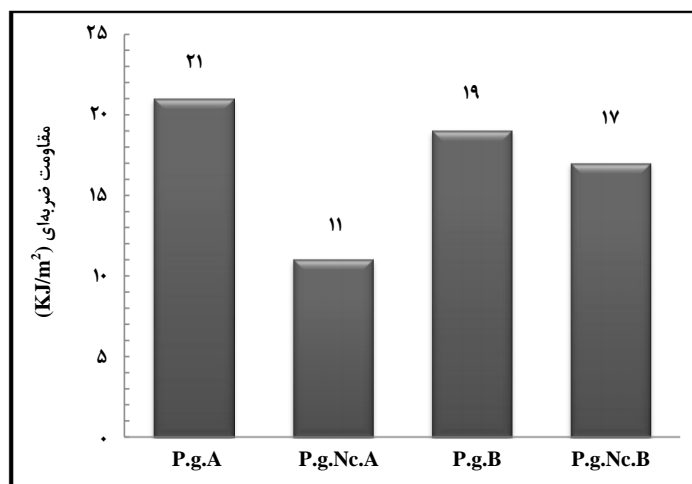
شیوه B: در این شیوه در مرحله اول PVC و مواد افزودنی به همراه نانورس به داخل مخلوط‌کن داخلی ریخته و مدت ۳ دقیقه عمل اختلاط انجام شد. سپس g-ABS به مخلوط مذاب اضافه شد و ۴ دقیقه دیگر اختلاط ادامه یافت. شرایط فرایندی اعم از دمای فرایند 155°C ، تعداد دور چرخش ۶۰ rpm و زمان اختلاط ۷ دقیقه، بر اساس کارهای قبلی انجام شده در این پژوهشکده [۲۰] برای هر دو شیوه خوراکی‌دهی، به طور یکسان در نظر گرفته شد. در هر دو شیوه خوراکی‌دهی، دو نمونه فاقد نانورس با همان شرایط فرایندی به عنوان نمونه مرجع به منظور مقایسه تأثیر حضور و فقدان نانورس بر خواص نهایی آمیزه تهیه شد. نمونه‌های تهیه شده با



شکل ۱. مقایسه استحکام کششی نمونه‌های آمیزه‌های مختلف.

در مقایسه با شیوه خوراک‌دهی A بهتر است. در واقع، افزودن انتخابی نانورس به فاز PVC به دو دلیل سبب حفظ مقاومت ضربه آمیزه P.g.Nc.B و افت کمتر آن نسبت به P.g.Nc.A شده است. اول این‌که با توزیع انتخابی نانورس در شیوه B از تجمع آن در فاز لاستیکی، حتی‌الامکان جلوگیری شده‌است. از سوی دیگر، وجود لایه‌های نانورس با ریخت‌شناسی پخش شده در فاز بین سطحی PVC/g-ABS می‌تواند به افزایش چسبندگی بین دو فاز منجر و باعث بهبود چقرمگی شود. باید گفت که در کارهای مشابهی که قبلاً در این زمینه انجام شده، نتایج متناقضی از افزودن نانورس به آمیزه PVC/ABS گزارش شده است [۱۹ و ۹].

نتایج آزمون آیزود در شکل (۲) مشاهده می‌شوند. مطابق این شکل، افزودن نانورس به آمیزه PVC/g-ABS با هر دو شیوه خوراک‌دهی A و B باعث افت مقدار متوسط مقاومت ضربه‌ای آمیزه سه جزئی PVC/g-ABS/Nanoclay نسبت به آمیزه دو جزئی PVC/g-ABS شده‌است. به طوری که شیوه خوراک‌دهی A باعث افت بیشتری در مقدار مقاومت ضربه شده‌است. از جمله دلایل این کاهش شدید متوسط مقاومت ضربه با افزایش نانورس با ترتیب خوراک‌دهی همزمان را می‌توان به تجمع لایه‌های رس در فاز لاستیکی g-ABS و کاهش انعطاف‌پذیری و به تبع آن قدرت اتلاف انرژی در فاز لاستیکی دانست. از مقایسه مقادیر مقاومت ضربه‌ای نمونه‌های P.g.Nc.A و P.g.Nc.B پی می‌بریم که کارایی شیوه خوراک‌دهی B



شکل ۲. مقایسه مقدار متوسط مقاومت ضربه‌ای نمونه‌های آمیزه‌های مختلف.

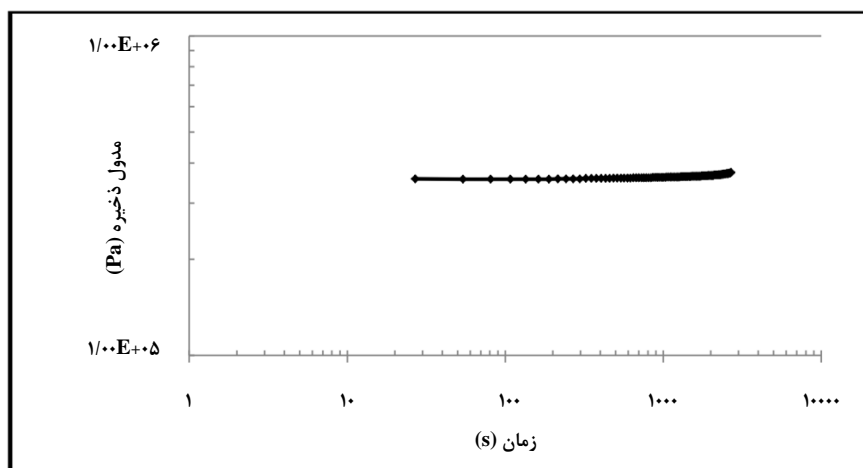
۲-۳ نتایج آزمون شارش سنجی

با توجه به تأثیر عمده ساختارهای نانو مقیاس در رفتار ویسکوالاستیک نانوکامپوزیت‌ها، بررسی رفتار ویسکوالاستیک می‌تواند در حکم شیوه‌ای مفید برای مطالعه پراکنش ذرات نانورس در هر دو فاز بسیاری به‌کار رود. از این‌رو رفتار مدول کشسان به‌عنوان معیاری از توزیع نانو ذرات به‌کار رفت. برای حصول اطمینان از عدم تخریب و سوختگی نمونه‌ها در خلال آزمون شارش‌سنجی، چندین بار آزمون شارش‌سنجی با جاروب زمانی در دماهای مختلف بر روی نمونه‌ها انجام شد. مطابق شکل (۳)، نمونه آمیزه P.g.Nc.A در دمای 170°C و به مدت ۴۵ دقیقه پایداری حرارتی قابل قبولی بروز می‌دهد.

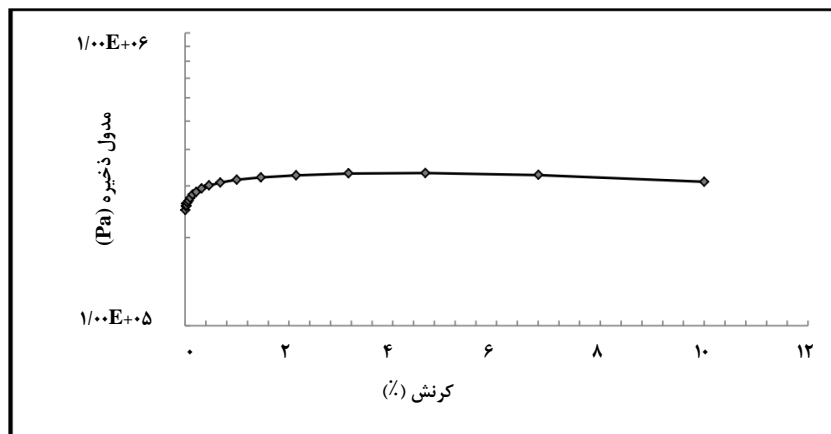
علاوه بر این، برای تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی، نمونه آمیزه P.g.Nc.A تحت آزمون شارش‌سنجی با جاروب کرنشی قرار گرفت. مطابق شکل (۴)، کرنش ۱٪ مطمئناً در محدوده

ویسکوالاستیک خطی قرار خواهد داشت. بر این اساس، کرنش ۱٪ و دمای 170°C به عنوان شرایط انجام آزمون شارش‌سنجی با جاروب بسامدی اتخاذ شد.

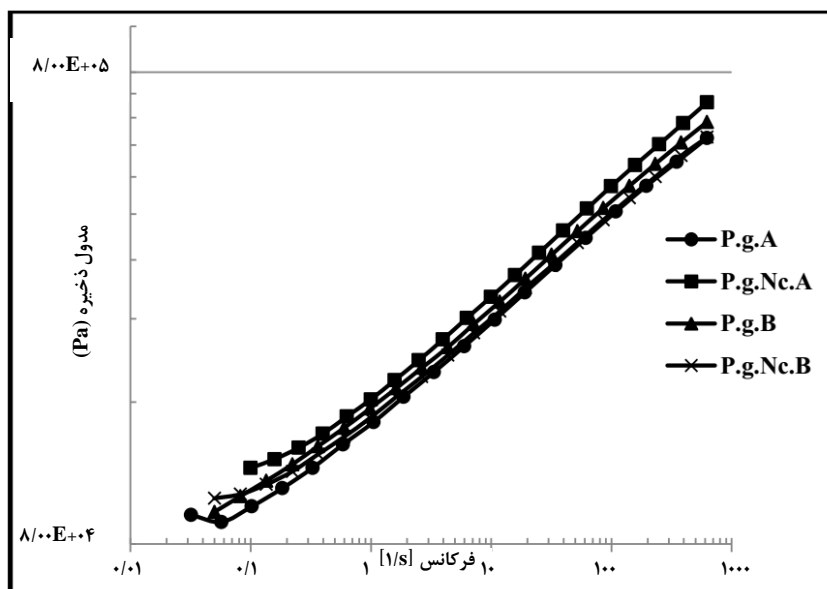
نتایج حاصل از آزمون جاروب بسامدی بر روی چهار نمونه تهیه شده به‌صورت نمودار مدول ذخیره را در شکل (۵) مشاهده می‌کنید. چنانچه از این شکل برمی‌آید، افزایش نانورس در شیوه خوراک‌دهی A در تمامی بسامدهای اعمال شده و در مورد شیوه خوراک‌دهی B در بسامدهای پایین، سبب افزایش مدول ذخیره در هر دو نمونه P.g.Nc.A و P.g.Nc.B شده است. وقوع این امر را می‌توان به ایجاد شبکه جامد شبه کشسان به‌واسطه ذرات نانورس مرتبط دانست. با توجه به زمان آسودگی بسیارها که نسبتاً بالاست، تشکیل این شبکه‌های جامد شبه‌کشسان در بسامدهای پایین (که متناظر با زمان طولانی است) می‌تواند معیاری از ایجاد نفوذ میان لایه‌ای نانو ذرات در فاز زمینه بسیاری باشد.



شکل ۳. آزمون شارش‌سنجی بر روی نمونه آمیزه P.g.Nc.A با جاروب زمانی در دمای 170°C .



شکل ۴. آزمون شارش‌سنجی نمونه آمیزه P.g.Nc.A با جاروب کرنشی به‌منظور تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی در دمای 170°C .



شکل ۵. تغییرات مدول ذخیره بر حسب بسامد در دمای 170°C و کرنش ۱٪.

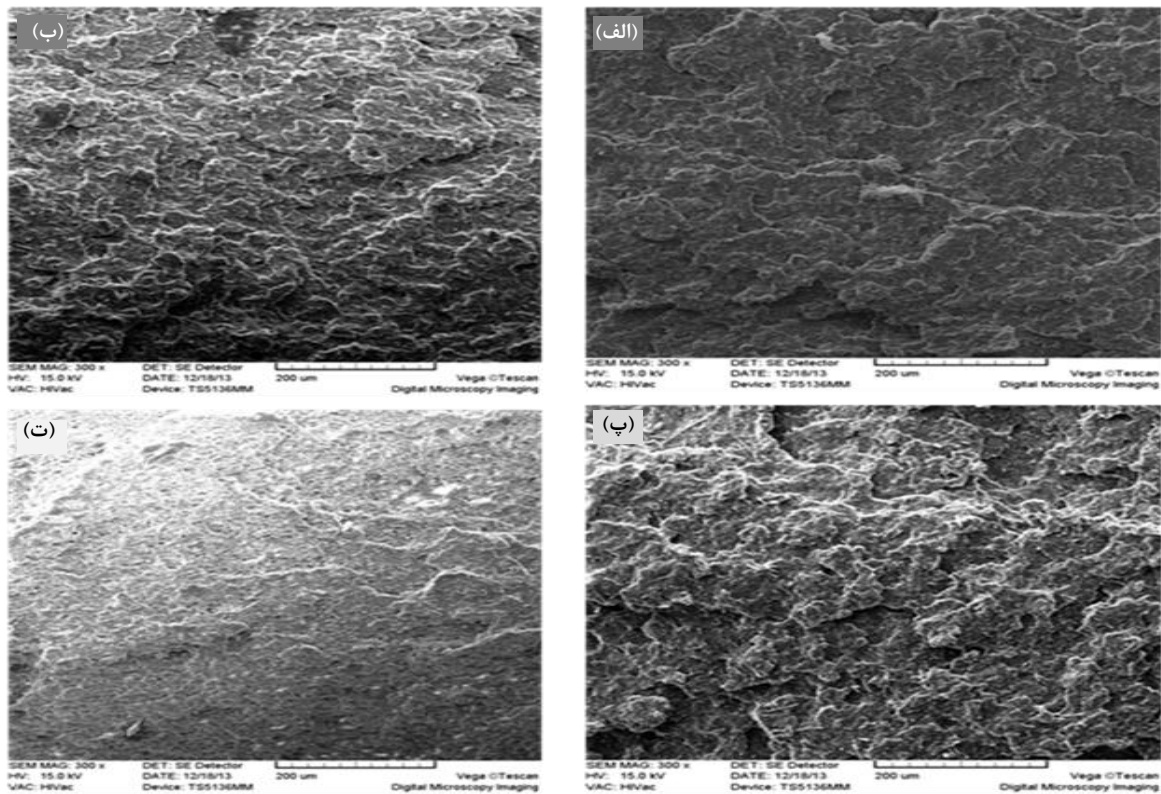
یکسان شده و در نتیجه رفتار نرم برای هر دو نمونه انتظار می‌رود. این موضوع نیز با نتایج آزمون آیزود مطابقت دارد. نتایج عددی آزمون مقاومت ضربه‌ای دو آمیزه P.g.A و P.g.B به هم نزدیک‌اند. در حالت کلی اثر افزودن نانورس بر تغییر رفتار سطح شکست از حالت نرم به ترد در هر دو نمونه آمیزه P.g.Nc.A و P.g.Nc.B به وضوح قابل مشاهده است.

۳-۴- نتایج آزمون XRD

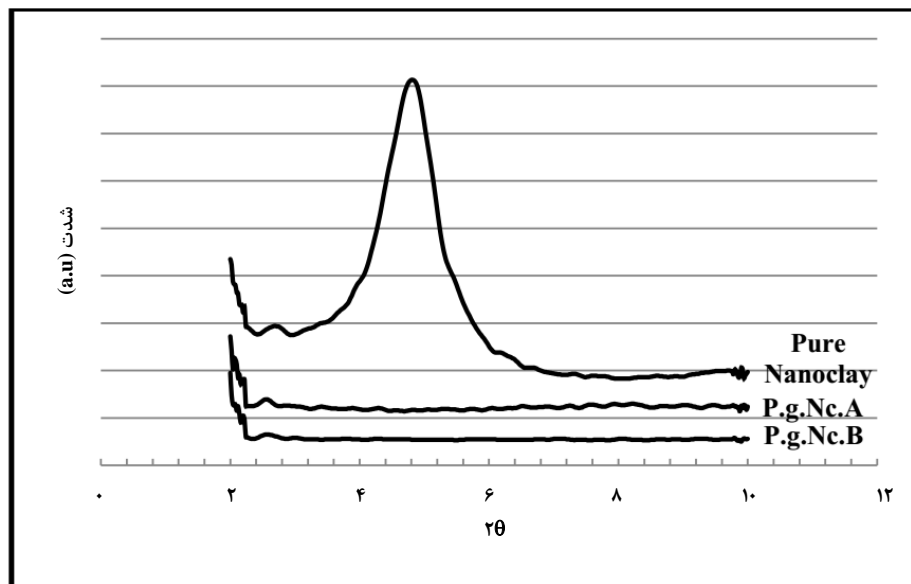
در شکل (۷) نمودارهای XRD دو نمونه آمیزه P.g.Nc.B و P.g.Nc.A مشاهده می‌شود. از بررسی شکل (۷) شاید بتوان گفت که هر دو شیوه خوراک‌دهی به کار رفته در این تحقیق سبب از بین رفتن نظم ساختاری صفحات نانورس و در نتیجه به ورقه‌ای شدن انجامیده است. البته اظهار نظر دقیق‌تر در این زمینه نیازمند بررسی تصاویر حاصل از میکروسکوپ روبشی (TEM) است [۱۹ و ۹].

۳-۳ تصاویر SEM از سطح شکست آیزود آمیزه‌ها

افزودن ذرات نانورس به آمیزه دو جزئی PVC/g-ABS به تغییر رفتار شکست آمیزه از نرم به ترد منجر می‌شود. برای بررسی تأثیر حضور نانورس و نیز آثار مربوط به تغییر شیوه خوراک‌دهی بر رفتار شکست آمیزه‌های تهیه شده، از سطح شکست نمونه‌های آیزود با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر، تصویر برداری شد. از بررسی تصاویر (الف و ب) شکل (۶) که از سطح شکست آزمون آیزود دو نمونه آمیزه با رمزهای P.g.Nc.A و P.g.A تهیه شده، آشکار شد که نواحی ابری شکل که مشخصه‌ای از رفتار شکست نرم‌اند، در نمونه فاقد نانورس (تصویر الف)) بزرگ‌ترند. این امر با نتایج حاصل از آزمون آیزود این نمونه که مقدار مقاومت ضربه‌ای بالاتری را نسبت به نمونه حاوی نانورس نشان داد، مطابقت می‌کند. از مقایسه تصاویر به‌دست آمده از آمیزه‌های فاقد نانورس حاصل از دو شیوه خوراک‌دهی A و B نیز، نتیجه می‌شود که هر دو شیوه خوراک‌دهی در نمونه‌های فاقد نانورس سبب ایجاد نواحی ابری شکل تقریباً



شکل ۶. تصاویر سطح شکست با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر مربوط به آمیزه‌های (الف) P.g.A، (ب) P.g.Nc.A، (پ) P.g.B، (ت) P.g.Nc.B.



شکل ۷. نمودار پیک (قله) مشخصه نانورس خالص و دو نانوکامپوزیت تهیه شده به دو شیوه خوراکدهی A و B.

۴. نتیجه گیری کلی

نتایج حاصل از آزمون ضربه آیزود نشان داد که آمیزه تهیه شده به شیوه خوراک‌دهی B به علت اضافه شدن g-ABS در مرحله دوم به مذاب PVC/Nanoclay و در نتیجه، قرارگیری کمتر ذرات نانورس در فاز لاستیکی پلی‌بوتادی‌ان، دارای مقاومت ضربه‌ای بالاتری نسبت به شیوه خوراک‌دهی A است. در روش خوراک‌دهی B، جایگیری مناسب ذرات نانورس در فاز زمینه PVC و نیز در سطح مشترک بین فاز زمینه و فاز پراکنده باعث می‌شود که به‌طور همزمان، مقاومت ضربه‌ای و استحکام کششی آمیزه در حد مطلوبی باشد. از این‌رو، شیوه خوراک‌دهی B به‌عنوان شیوه خوراک‌دهی مناسب برای آمیزه‌سازی نانوکامپوزیت سه جزئی پیشنهاد می‌شود. به نظر می‌رسد که برای افزایش همزمان خواص مکانیکی آمیزه‌های سه جزئی PVC/g-ABS/Nanoclay باید ترکیبی از عوامل ترکیب درصد اجزاء و روش‌های فرایندی در نظر گرفته شود.

۵. سپاسگزاری

مؤلفان این مقاله مراتب سپاس خود را از واحد تحقیق و توسعه مجتمع پتروشیمی تبریز، بابت حمایت‌های آزمایشگاهی از این تحقیق، بیان می‌دارند.

مراجع

- [5] Paul, D. R., Robeson, L. M., "Polymer Nanotechnology: Nanocomposites, Polymer", Vol. 49, No. 15, p. 3187-3204, (2008).
- [6] Nass, L. I., Heiberger, C. A., "Encyclopedia of PVC", 2th Ed., CRC Press., New York, p. 332-341, (1998).
- [7] Pavlidou, S., Papaspyrides, C. D., "A Review on polymer-Layered Silicate Nanocomposites", Prog. Polym. Sci., Vol. 33, p. 1119-1198, (2008)
- [8] Krishnamoorti, R., Yurekli, K., "Rheology of Polymer Layered Silicate Nanocomposites", Current Opinion in Colloid & Interface Sci., Vol. 6, p. 464-470, (2001).
- [9] Hemmati, M., Fereidoon, A., Shariatpanahi, H., Ahangari, M. G., Narimani, A., "Effects of Nanoclay on Morphology, Rheological and Mechanical Properties of Polyvinyl Chloride/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene", Polymer-Plastics Technol. and Eng., Vol. 51, No. 4, p. 413-418, (2012).
- [۱۰] هنرکار، ه.، محراب‌زاده، م.، "ساخت آلیاژ PVC/ABS/NBR و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی، رفتار گرمایی و مورفولوژی آن"، مجله علوم و تکنولوژی بسپار، سال چهاردهم، شماره سوم، صفحه ۱۵۶-۱۴۹، (۱۳۸۰).
- [11] Belhaneche-Bensemra, N., Bedda, A., "Study of the Properties of PVC /ABS Blends", Macromol. Symp., Vol. 176, p. 145-153, (2001).
- [12] Zhou, L., Wang, X., Lin, Y., Yang, J., Wu, Q., "Comparison of the toughening mechanisms of poly(vinyl chloride)/chlorinated polyethylene and poly(vinyl chloride)/acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer blends", J. Appl. Polym. Sci., Vol. 90, No.4, p. 916 - 924, (2003).
- [۱۳] اعلائی، ج.، خوش‌نیت، ع.، رحمت‌پور، ع.، خانابائی، ق.، "مطالعه خواص فیزیکی، مکانیکی و اشتعال‌پذیری آلیاژ ABS/PVC"، مجله پژوهش نفت، سال هجدهم، شماره ۵۷، صفحه ۶۱-۵۲، (۱۳۸۷).
- [14] Breuer, H., Haff, F., Stabenow, J., "Stress Whitening and Yielding Mechanism of Rubber-Modified PVC", J. Macromol. Sci, Part B: Physics, Vol. 14, No. 3, p. 387-417, (1977).
- [15] Herman, F. M., "Encyclopedia of Polymer Science and Technology", 4th Ed., John Wiley and Sons Inc, New Jersey, p. 174-203, (2014).
- [16] Xu, X. F., Wang, R., Tan, Z. Y., Yang, H. D., Zhang, M. Y., Zhang, H. X., "Effects of polybutadiene-g-SAN impact modifiers on the morphology and mechanical behaviors of ABS blends", Europ. Polym. J., Vol. 41, No. 8, p. 1919-1926, (2005).
- [1] Koning, C., Van Duin, M., Pagnoulle, C., Jerome, R., "Strategies for compatibilization of polymer blends", Prog. Polym. Sci., Vol. 23, No. 4, p. 707-757, (1998).
- [2] Gawade, A. R., Lodha, A. V., Joshi, P. S., "PVC/ABS Blends: Thermal and Morphological Studies", J. Macromol. Sci, Part B: Physics, Vol. 47, p. 201-210, (2008).
- [3] Mehdipour, M. R., Talebi, S., Razavi Aghjeh, M. K., "Effect of Unplasticized Poly Vinyl Chloride (UPVC) Molecular Weight and Graft-Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (g-ABS) Content on Compatibility and Izod Impact Strength of UPVC/g-ABS Blends", J. Macromol. Sci, Part B: physics, Vol. 56, No. 9, p. 644-654, (2017).
- [4] Chen, N., Wan, C., Zhang, Y., Zhang, Y., "Effect of Nano - CaCO₃ on Mechanical Properties of PVC and PVC / BELENDEX Blend", Polymer Testing, Vol. 23, No. 2, p. 169 - 174, (2004).

- [19] Qin, S., Zhang, M., Lei, J., He, M., Yu, J., "The Effect of OMMT on The Morphology and Mechanical Properties of PVC/ABS Blends", J. Macromol. Sci., Part B: physics, Vol. 48, No. 5, p. 910-918, (2009).
- [۲۰] مهدی‌پور، م. ر.، "تهیه آلیاژ PVC/g-ABS و بررسی استحکام ضربه‌ای آن"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند، ایران، (۱۳۹۱).
- [۱۷] رنجیر، ح.، سید نجفی، ف.، سالاری، د.، اولاد، ع.، "تأثیر پارامترهای فرایندی در بازده و درجه پیوند زنی پلی‌استایرن-کو-آکریلونیتریل بر لاتکس پلی‌بوتادی‌ان (g-ABS) به روش بسپاریزاسیون امولسیون دانه‌ای"، مجله پژوهش نفت، سال نوزدهم، شماره ۵۹، صفحه ۶۶-۶۱، (۱۳۸۸).
- [18] Wu, G., Zhao, J., Shi, H., Zhang, H., "The influence of core-shell structured modifiers on the toughness of poly (vinyl chloride)", Europ. Polym. J., Vol. 40, No. 11, p. 2451-2456, (2004).