

مروری بر آلیاژسازی پلیمری و اثر آن بر بهبود خواص مکانیکی پلیمرها

مزگان میرزاطاهری^{۱*}، معصومه فراهانی^۲، سماحه السادات سجادی^۱

۱ تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

۲ اراک، دانشگاه اراک، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

چکیده ...

آلیاژسازی پلیمری به دلیل امکان انتخاب گستره وسیعی از مواد و توانایی طراحی محصولی با خواص دلخواه و مقرون به صرفه، اهمیت ویژه‌ای دارد. بهبود خواص مکانیکی آمیزه نهایی به گونه‌ای که معایب پلیمرهای به کار رفته در آلیاژ مورد نظر بهبود یابد، از مهم‌ترین نتایج آلیاژسازی است. این مقاله به بررسی اجمالی خواص مکانیکی آلیاژهای متداول تهیه شده در شرایط گوناگون اختلاط همراه با سازگارکننده‌های مختلف می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی:

آلیاژ
آمیخته
سازگارکننده
خواص مکانیکی

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:

m.mirzataheri@ippi.ac.ir

در این مقاله به بخش اختصارات توجه شود

۱ مقدمه

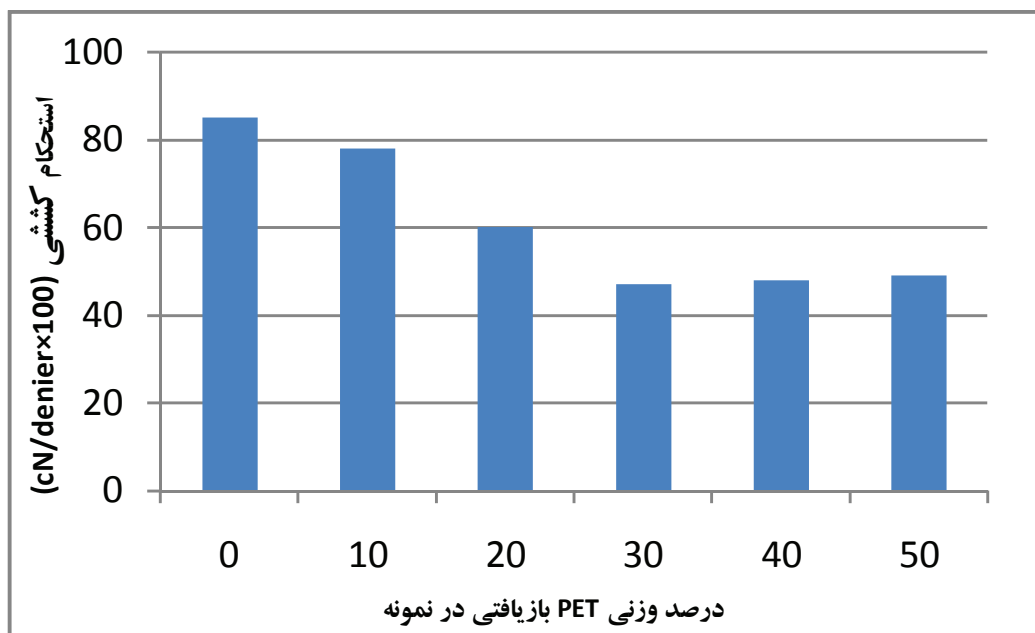
مهم ترین عوامل موثر بر خواص مکانیکی آلیاژهای پلیمری، شرایط اختلاط و نوع سازگارکننده به کار رفته است. در ادامه به معرفی مختصری از آلیاژهای پلیمری که طی سال‌های اخیر در شرایط اختلاط با سازگارکننده‌های متفاوت تولید شده‌اند می‌پردازیم [۱].

یکی از پلاستیک‌های صنعتی مفید و کاربردی، PET است ولی افزایش مصرف آن باعث وجود بیش از حد PET در ضایعات شهری شده است، از این رو به بازیافت و اختلاط آن با PP خالص برای تولید الیاف پیوسته اقدام شده است. نتایج مقایسه خواص مکانیکی اختلاط PET خالص و بازیافتی با PP نشان می‌دهد که خواص مکانیکی الیاف PP/PET به دلیل ناسازگاری اجزای آن‌ها در ترکیب ۳۰ درصد از PET و در هر دو گروه (گروه دارای PET خالص و گروه دارای PET بازیافتی) به حداقل می‌رسد. استحکام کششی آمیخته‌های PP/PET دارای PET بازیافتی به علت شکست زنجیره‌های PET حین فرایندهای گرمایی و مکانیکی، از استحکام کششی نمونه‌های PET خالص کمتر است، اما به دلیل گرانبروی کمتر PET بازیافتی نسبت به PET خالص، نمونه‌های دارای PET بازیافتی، از دید طول تا پارگی بیشتری نسبت به نمونه‌های با PET خالص دارند. نمونه با ۴۰ درصد وزنی PET بهترین نتایج کششی با حداکثر PET بازیافتی را نشان داده است.

آلیاژهای پلیمری ترکیب فیزیکی پلیمرهایی با ساختارهای گوناگون است که بدون برقراری پیوند شیمیایی با یکدیگر مخلوط می‌شوند. این مخلوط‌ها به دلیل ویژگی‌های مطلوب و قیمت مناسب، در صنایع گوناگون مانند صنایع بسته‌بندی، پزشکی، الکترونیک، سل‌های الکتروشیمیایی و خودروسازی مورد توجه قرار گرفته‌اند. گاهی برای افزایش سازگاری، جزء سومی به آلیاژها افزوده می‌شود که این جزء باید با اجزای دیگر امتزاج‌پذیر بوده و بر خواص آمیخته اثر منفی نداشته باشد. برای رسیدن به خواص فیزیکی، حرارتی و مکانیکی مورد نظر، انتخاب اجزا آمیخته باید به گونه‌ای باشد که مزایای هر کدام از پلیمرها، معایب پلیمر دیگر را جبران کند. یکی از عوامل توجه به آلیاژسازی پلیمری، امکان استفاده از پلیمرهای بازیافتی است. در ادامه به بررسی خواص مکانیکی آلیاژهای پلیمری متداول پرداخته می‌شود.

۲ خواص مکانیکی آلیاژهای پلیمری

دلیل اصلی توسعه و ظهور علم آلیاژ، تمایل به ایجاد پلیمرهایی با خواص مکانیکی بهبود یافته است. از جمله خواص مکانیکی می‌توان به استحکام کششی، مقاومت به ضربه، مدول، ازدیاد طول تا نقطه شکست و ... اشاره کرد.



شکل ۱ استحکام کششی الیاف آمیخته دارای PET بازیافتی [۲]

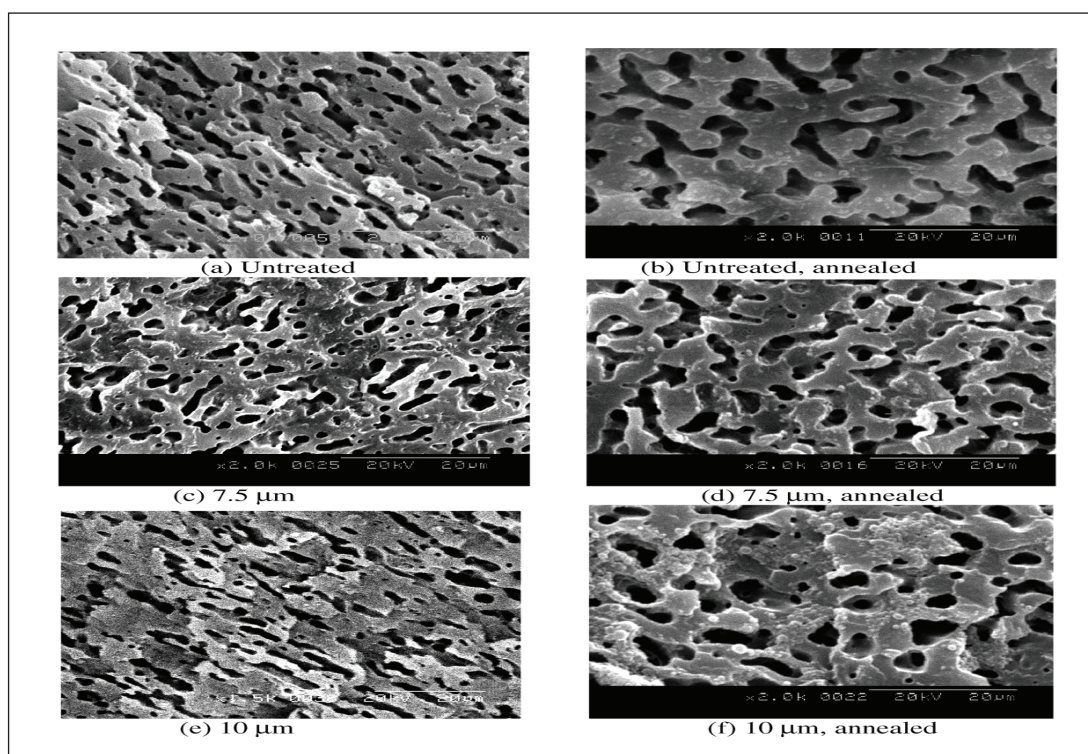
EPR به کار رفته است. در میان الاستومرها، EPDM به عنوان موثرترین اصلاح‌کننده ضربه برای PP تعیین شده است. بر اساس نتایج تحقیقی که در آن ترمو پلاستیک الاستومر PP/EPDM از طریق نوری و دینامیکی شبکه‌ای شده است، استحکام کششی، مدول الاستیسیته و ازدیاد طول در نقطه شکست بهبود پیدا کرده‌اند. به علاوه مقاومت در برابر ضربه به صورت مشهودی در مقایسه با مخلوط متناظر بدون اتصال عرضی، افزایش یافته است. با استفاده از SEM اصلی‌ترین سازوکار چقرمه‌سازی برای آمیزه PP/EPDM شبکه‌ای شده، حفره‌زایی ذرات EPDM، تعیین شده است. برای مخلوط‌های دارای اتصال عرضی، تسلیم برشی ماتریس، اصلی‌ترین سازوکار جذب انرژی است. جدول ۱ خواص کششی مخلوط را در دو حالت بدون اتصال عرضی و با اتصال عرضی نشان می‌دهد که با افزایش EPDM افزایش یافته است [۶]. در تحقیقی دیگر، PP و EPDM در مخلوط کن داخلی brabender مخلوط شده‌اند. با افزایش الاستومر در آمیزه، ازدیاد طول افزایش یافته است. اما مدول یانگ و تنش در حداکثر بارگذاری، کاهش و چقرمگی مواد افزایش پیدا کرده است. افزایش دمای مخلوط، کاهش خواص مکانیکی را در پی داشته که نشان‌دهنده افزایش تخریب به دلیل ترکیب دمای بالا و نیروهای برشی است. در مقابل، افزایش میزان PP در آمیزه، موجب کاهش چقرمگی و افزایش شاخص جریان مذاب (Melt Flow Index) MFI شده است که نشان‌دهنده افزایش سختی است [۷]. در تحقیق دیگری که آمیزه از طریق مخلوط‌سازی اولیه (Premixing) آماده شده، تحت امواج مافوق صوت قرار گرفته است، استحکام تسلیم، ازدیاد طول در نقطه شکست، استحکام کششی و چقرمگی در $7/5 \mu\text{m}$ در تمام ترکیب‌هایی که تحت امواج مافوق صوت قرار گرفته‌اند، بهبود یافته‌اند. شکل ۲ تصویر SEM مخلوط PP/EPDM ۵۰/۵۰ فرآوری نشده و فرآوری شده تحت امواج مافوق صوت را قبل و بعد از سرد کردن نشان می‌دهد. قبل از سرد شدن آهسته تفاوت زیادی میان مخلوط فرآوری شده و نشده وجود ندارد؛ اما پس از آن، هنوز ذرات کوچکی در مخلوط فرآوری شده وجود دارد و اندازه نواحی در مخلوط فرآوری شده سرد شده نسبت به فرآوری نشده کوچک‌تر است [۸].

به عنوان نمونه بهینه تعیین شده است (شکل ۱) [۲]. در تحقیق دیگری، آمیخته‌های PP/PET با مقادیر صفر تا ۱۵ درصد از سازگارکننده PP-g-MA بررسی شده‌اند. درصد بلورینگی PP با افزودن PET و سازگارکننده افزایش می‌یابد. این امر به دلیل هسته‌زایی ناهمگن است. بررسی خواص گرما مکانیکی ثابت کرده است که آمیخته‌ها، رفتاری مابین رفتار PP و PET نشان می‌دهند و با افزودن سازگارکننده به آن‌ها رفتارشان به رفتار PET نزدیک می‌شود. در دماهای نزدیک 80°C که دمای انتقال شیشه‌ای PET است، افت شدیدی در مدول ذخیره آمیخته‌های سازگار شده نسبت به PET خالص، مشاهده می‌شود. در حالی که مدول ذخیره آمیخته‌های سازگار شده، بین مدول ذخیره PET و PP است. همچنین با افزایش مقدار سازگارکننده، مدول ذخیره شده افزایش می‌یابد. این امر حاکی از سازگاری خوب PP و PET است که با استفاده از این سازگارکننده حاصل شده است [۳]. با سازگاری الیاف آمیزه PP/PET می‌توان به چگالی خطی پایین‌تری دست یافت که حاصل آن سبک شدن الیاف و انعطاف‌پذیری بیشتر آن‌ها است [۴]. در تحقیق دیگری، برای افزایش سازگاری، از PP-g-MAH در دو روش استفاده شده است. در روش اول آلیاژی از اختلاط PP-g-MAH و PET حاصل شده است (PP-g-MAH/PET). در صورتی که در روش دوم از PP-g-MAH به عنوان عامل سازگارکننده استفاده شده است (PP/PET/PP-g-MAH). با توجه به نتایج، میزان چسبندگی آلیاژ به دست آمده در روش اول بیشتر از روش دوم است. با افزایش سازگاری، میزان بلورینگی اجزای آلیاژها نسبت به آمیزه سازگار نشده کاهش می‌یابد، در حالی که مدول یانگ آلیاژها نسبت به آمیزه سازگار نشده افزایش پیدا می‌کند. در این میان آلیاژ PP-g-MAH/PET به دلیل چسبندگی بیشتر اجزا به هم، دارای مدول بالاتری است. اما چون میزان اختلاف میان آلیاژها قابل توجه نیست و استفاده از PP-g-MAH به عنوان عامل سازگارکننده اقتصادی‌تر است، بنابراین آمیزه PP/PET دارای ۲۰ درصد وزنی PET که به وسیله ۲۰ phr سازگار کننده PP-g-MAH سازگار شده است، به عنوان آمیزه بهینه معرفی شده است [۵].

PP پلیمر پر مصرف دیگری است. برای بهبود چقرمگی ضربه PP، الاستومرهای گوناگونی مانند SBS، EPDM و

جدول ۱ خواص کششی آمیزه PP/EPDM [۶]

E_b	E_y	$TS_{100\%}$	TS_y	TS_b	TS	کد نمونه	سامانه آلیاژ
550 ± 22	763 ± 33	27.9 ± 1.1	27.2 ± 1.0	31.3 ± 1.3	28.9 ± 1.2	P_9, V_1	آلیاژ شبکه‌ای نشده
440 ± 20	668 ± 28	20.7 ± 0.7	20.0 ± 0.9	21.2 ± 1.0	20.7 ± 0.9	P_8, V_1	
400 ± 17	363 ± 16	16.9 ± 0.5	16.0 ± 0.7	16.9 ± 0.8	17.3 ± 0.7	P_7, V_1	
320 ± 14	243 ± 11	12.4 ± 0.3	11.3 ± 0.4	12.0 ± 0.5	12.4 ± 0.4	P_6, V_1	
230 ± 9	154 ± 6	8.9 ± 0.3	8.2 ± 0.5	8.6 ± 0.4	8.9 ± 0.5	P_5, V_1	
760 ± 31	1070 ± 42	34.2 ± 1.4	27.1 ± 1.2	33.1 ± 1.4	34.2 ± 1.4	$P_9, V_{1.1}$	آلیاژ شبکه‌ای شده نوری
930 ± 40	709 ± 31	26.0 ± 1.1	18.9 ± 1.0	22.1 ± 1.2	26.0 ± 1.2	$P_8, V_{1.1}$	
640 ± 28	631 ± 26	20.2 ± 0.9	17.5 ± 0.8	18.8 ± 1.0	21.2 ± 0.8	$P_7, V_{1.1}$	
500 ± 22	473 ± 17	18.2 ± 0.5	15.7 ± 0.8	17.3 ± 0.7	18.2 ± 0.6	$P_6, V_{1.1}$	
330 ± 13	276 ± 11	16.0 ± 0.6	14.6 ± 0.4	15.5 ± 0.7	16.3 ± 0.7	$P_5, V_{1.1}$	
400 ± 17	363 ± 16	16.9 ± 0.5	16.4 ± 0.7	16.9 ± 0.8	17.3 ± 0.7	P_7, V_1	PP/EPDM
520 ± 22	413 ± 19	17.7 ± 0.7	16.2 ± 0.5	17.3 ± 0.6	17.7 ± 0.8	$P_7, V_{1.0}$	
580 ± 20	545 ± 23	18.9 ± 0.9	16.6 ± 0.3	17.9 ± 0.8	19.9 ± 1.0	$P_7, V_{1.3}$	
640 ± 28	631 ± 26	20.2 ± 0.9	17.5 ± 0.8	18.8 ± 1.0	21.2 ± 0.8	$P_7, V_{1.1}$	
270 ± 13	359 ± 16	17.3 ± 0.6	16.6 ± 0.7	17.0 ± 1.0	17.3 ± 0.7	$P_7, V_{1.2}$	

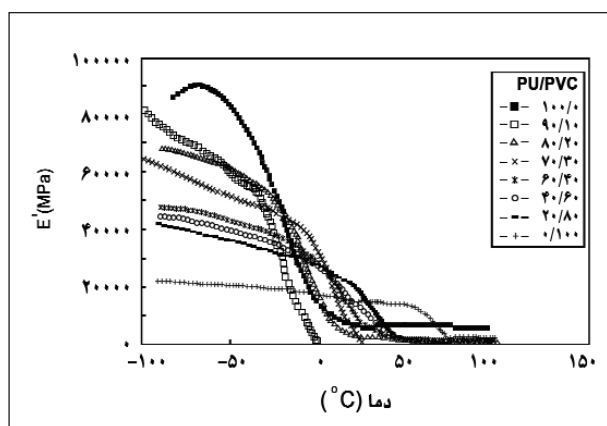


شکل ۲ تصاویر SEM نمونه‌های قالب‌گیری فشرده شده از مخلوط فراوری شده و نشده PP/EPDM

با فاصله ذرات ۴ mm و شدت جریان گرادیان بر ثانیه (g/s) ۰/۶۳ [۸]

می‌یابد. آزمایش تعیین مقاومت ضربه، افزایش مقاومت ضربه‌ی آن‌ها را نشان می‌دهد. در آلیاژهای حاوی ۴۰ تا ۵۰ درصد PU، این افزایش قابل توجه بوده به حدود ۶ برابر مقاومت ضربه PS خالص می‌رسد. از طرفی در آلیاژهای حاوی ۳۰ درصد PU، مقدار کرنش شکست آلیاژها نسبت به PS خالص تغییر زیادی ندارد ولی در آلیاژهایی با درصد PU بالاتر، پدیده تسلیم (Yielding) اتفاق می‌افتد و کرنش شکست آلیاژها نسبت به پلی‌یورتان در آلیاژها به شدت افزایش می‌یابد، به طوری که در آلیاژ حاوی ۵۰ درصد پلی‌یورتان به حدود ۱۴ برابر PS خالص می‌رسد [۱۳].

ویژگی‌های پلی‌یورتان‌ها از مواد گرماسخت تا الاستومر نرم، بسته به تفاوت در ماهیت شیمیایی، وزن مولکولی و ترکیب درصد اجزای مختلف آنها متغیر است. یکی از آمیخته‌های پلی‌یورتانی، پایه پلی (کاپرولاکتون) با PVC است که به منظور بررسی اثر حافظه شکلی تولید می‌شود.



شکل ۳ نمودار E' بر حسب دما برای آمیخته‌های PU در PVC [۱۴]

یک پله کاهش مدول در نمودار E' ، بیانگر سازگار بودن آمیخته‌ها (شکل ۳) است و ناحیه سطح لاستیکی در نمودار E' ، وجود اتصالات عرضی و تشکیل شبکه‌ی کشسان را نشان می‌دهد. افزایش PVC، باعث کاهش ازدیاد طول تا پارگی آمیخته‌ها شده است که این اثر را می‌توان به کم شدن اثر PU به عنوان ماده‌ی الاستیک نسبت داد. به بیان دیگر با ورود PVC به فاز زمینه PU می‌توان آمیخته را تقویت کرد و اثری مشابه به اثر پرکننده ایجاد کرد. برعکس با ورود PU به فاز زمینه PVC، می‌توان خواصی چون شکنندگی و مدول زیاد PVC را کم‌تر کرد [۱۴].

خواص آلیاژهای پلیمری عمدتاً به ساختار فازی آن‌ها به ویژه ساختار ریخت‌شناسی سطحی بین ماتریس و فاز پراکنده تحت شرایط اندازه‌گیری وابسته است. ریخت‌شناسی آمیخته لاستیکی PP نیز رابطه نزدیکی با سازگاری میان فاز پیوسته و فاز پراکنده دارد. به طور کلی، در کنار خواص ماتریس، سازوکار چقرمه کردن آمیزه به شدت به چسبندگی سطحی میان فازهای پراکنده و ماتریس وابسته است. بر این اساس آلیاژهای PP/EPR درون راکتور با تعادلی خوب میان چقرمگی و سختی، با استفاده از کاتالیست کرومی زیگلر-ناتا تشکیل شده‌اند. بهبود همزمان مقاومت به ضربه و مدول خمشی آلیاژ می‌تواند به تغییرات ریخت‌شناسی فازی که نتیجه انتقال (جریان) بین پلیمر شدن همگن و کوپلیمر شدن است، نسبت داده شود [۹]. بیشتر مخلوط‌های پلیمری ناسازگار، چسبندگی درون فازی ضعیفی نشان می‌دهند که باعث ایجاد خواص فیزیکی و مکانیکی نامناسب می‌شود [۱۰].

یکی دیگر از نمونه‌های معمول مخلوط‌های پلیمری ناسازگار، مخلوط PP و PS است که در آن PP فاز بلوری و PS فاز آمورف است. Hlavata و همکارانش نشان دادند که SBS می‌تواند از قطر ذرات PS کاسته و چسبندگی سطحی بین فاز PP و PS را بهبود ببخشد. افزودن ۵ تا ۱۰ درصد وزنی خاک رس اصلاح شده (OMMT) به آمیزه PS/PP باعث کاهش اندازه ذرات PS می‌شود. می‌توان گفت میزان سازگارسازی OMMT در آمیزه‌ی PP/PS خوب است [۱۱]. PS مانند پلاستیکی شکننده عمل می‌کند. به همین دلیل اختلاط آن با PB که رفتار الاستومرهای بدون اتصال عرضی را دارد طبیعت آن را به کلی دگرگون می‌کند. با افزایش PS، کرنش، کاهش و تنش افزایش می‌یابد. میزان بسیار کم کرنش در شکست زمانی صورت می‌گیرد که PS، فاز پیوسته را تشکیل دهد. با افزایش PS، مدول به تدریج افزایش می‌یابد. مدول، معیار استحکام مواد در کرنش‌های پایین است. استحکام پارگی انحراف منفی نشان می‌دهد، که به دلیل کشش سطحی و چسبندگی سطحی بین فازها است [۱۲]. یکی دیگر از ویژگی‌های PS، غیر قطبی بودن آن است که آلیاژ کردن آن را با پلیمر قطبی نظیر PU مشکل می‌کند. با افزایش درصد پلی‌یورتان در آلیاژ، دمای انتقال شیشه‌ای دو فاز به یکدیگر نزدیک می‌شود، یعنی سازگاری اجزا با یکدیگر افزایش می‌یابد. با افزایش PU، مدول الاستیک کاهش

جدول ۲ خواص مکانیکی آمیخته های NBR/PVC در دماهای مختلف و دور ثابت [۱۵]

۱۵۰°C, ۵۰ rpm				۱۶۰°C, ۵۰ rpm				۱۷۰°C, ۵۰ rpm				خواص
۳۰/۷۰ N	۷۰/۳۰ N	۳۰/۷۰ P	۷۰/۳۰ P	۳۰/۷۰ N	۷۰/۳۰ N	۳۰/۷۰ P	۷۰/۳۰ P	۳۰/۷۰ N	۷۰/۳۰ N	۳۰/۷۰ P	۷۰/۳۰ P*	
۳.۵	۸.۴	۳.۱	۹	۳	۸	۲.۸	۸.۸	۲.۹	۷.۸	۲.۴	۸.۳	استحکام کششی (MPa)
۵۵۰	۴۲۰	۵۹۰	۴۰۰	۵۹۰	۴۴۰	۶۲۰	۴۲۵	۶۲۰	۴۷۰	۶۴۰	۴۲۰	ازدیاد طول (%)
۰.۷۱	۳.۵	۰.۶۶	۳.۵	۰.۸	۳.۱۵	۰.۷۷	۳.۵	۰.۸۳	۳.۳	۰.۷۶	۳.۴	مدول ۱۰۰ درصد (MPa)
۱.۷	۶.۷	۱.۶۶	۶.۹	۱.۷	۷.۱	۱.۶۵	۷.۱	۱.۷	۵.۳	۱.۶۴	۵.۸	مدول ۳۰۰ درصد (MPa)
۴۰	۶۷	۳۹	۶۸	۳۹	۶۶	۴۰	۶۷	۴۱	۶۷	۴۱	۶۶	سختی (A)

*N و P به ترتیب به مفهوم ورود NBR و PVC در زمان صفر به محفظه اختلاط است.

آمیخته، استحکام کششی، مدول و سختی زیاد شده ولی جهندگی و انعطاف پذیری آمیخته‌ها کاهش یافته است (جدول ۲). همچنین به دلیل سفت و سخت شدن آمیخته، مقدار تورم کاهش می‌یابد [۱۵].

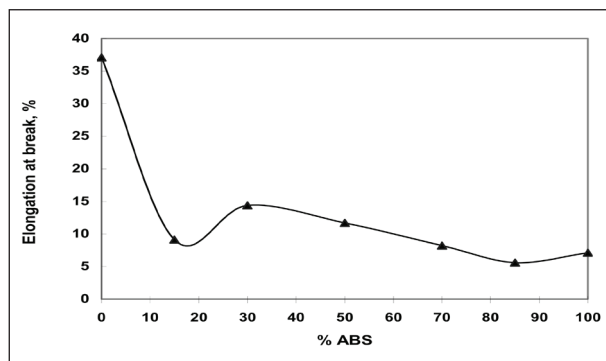
نو و ضایعاتی پس از آمیخته‌سازی با NBR پرداخته است. PVC ضایعاتی به کار رفته در بسیاری از موارد نظیر سختی، استحکام پارگی، جهندگی و درصد مانایی فشار، خواص مشابه PVC صنعتی از خود نشان می‌دهد و تنها تفاوت محسوس آن با PVC نو، در خواص کششی است. بنابراین می‌توان از PVC ضایعاتی بدون احتیاج به تقویت کردن استفاده کرد [۱۷]. از دیگر آمیخته‌های PVC به مخلوط آن با PMMA می‌توان اشاره کرد. با توجه به هدایت یونی خوب، حتی در دمای اتاق و پایداری مکانیکی بالا در سامانه‌ای نظیر

آمیخته‌سازی PVC با اصلاح‌کننده‌های پلیمری، ساده‌ترین روش برای بهبود خواص و مقرون به صرفه کردن آن است. مثلاً اختلاط آن با NBR، امتزاج پذیری خوبی را نشان می‌دهد که با افزایش درصد این در تحقیق دیگری، با ورود لاستیک SBR در آمیخته PVC/NBR، مقادیر خواص کششی کاهش یافته که این امر ناشی از عدم سازگاری فاز SBR با ماتریس PVC است. با افزایش SBR، ناسازگاری زیاد شده، خواص افت می‌کنند، اما با جایگزینی ۷ درصد NBR با SBR در آمیخته با وجود کاهش اندک در مقادیر خواص کششی، با تأثیر بر نحوه رشد ترک، استحکام پارگی و مدول یانگ آمیخته، افزایش چشمگیری نشان داده است [۱۶].

ناصریان [۱۷] در پایان‌نامه‌ی خود به بررسی خواص PVC

کمتر هستند [۲۱].

تحقیقات نشان داده‌اند که ازدیاد طول با میزان ABS رابطه‌ای غیرخطی دارد. آمیزه ABS/PC مقادیر ازدیاد طول کمتری در مقایسه با PC خالص دارد (شکل ۵).

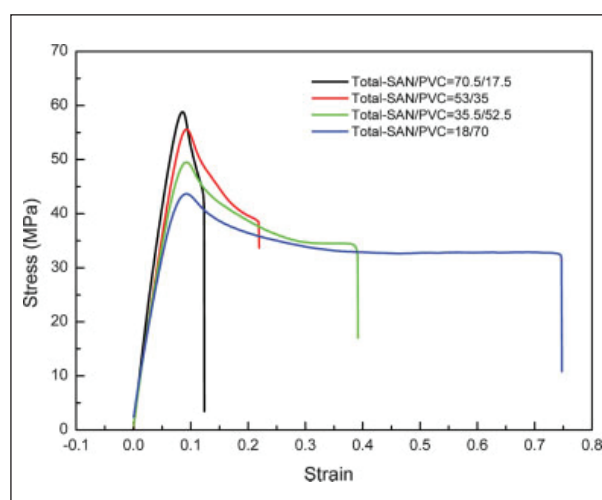


شکل ۵ تاثیر میزان ABS بر ازدیاد طول در نقطه شکست [۲۱]

آمیزه ABS و PC ناشی از ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، خواص جالبی را نشان می‌دهد. اگرچه در قیاس با مواد خالص، کاهش مقادیر مربوط به خواص مکانیکی دیده می‌شود، اما این نکته باعث محدودیت استفاده از آن‌ها به عنوان پلاستیک‌های مهندسی نمی‌شود. در راستای بهبود همگن شدن مخلوط با افزایش تعامل اجزا در سطح، استفاده از مقادیر کم نانو ذرات اصلاح شده نتایج خوبی را نشان داده است. زیرا آن‌ها به عنوان سازگارکننده، تعادل فازی را بهبود می‌بخشند [۲۲]. افزودن SIS که طبیعت الاستومری بیشتری نسبت به دو پلیمر دیگر دارد سبب نرم شدن آمیزه پلیمری و افزایش مقاومت به ضربه و ازدیاد طول می‌شود. اما سختی، استحکام تسلیم، استحکام کششی و مدول یانگ کاهش می‌یابد [۲۳]. گاهی نیز آمیزه ABS با موادی چون نایلون ۶ (Nylon 6) همراه با پرکننده نانولوله‌های کربنی به کار می‌رود که چقرمگی بسیار بالاتری نسبت به آمیزه پر شده با کربن سیاه، نشان می‌دهد [۱۷]. نایلون ۶، خواص خوبی مانند استحکام بالا، درجه حرارت تغییر شکل بالا، مقاومت سایشی خوب، و ... دارد؛ اما استحکام ضربه‌ای پایینی دارد که برای رفع این نقیصه آن را با پلیمرهای دیگر آلیاژ می‌کنند. با اختلاط نایلون ۶ و PP، محدوده گسترده‌ای از خواص مثل مقاومت شیمیایی خوب، جذب آب کم، مقاومت در برابر ضربه، پایداری ابعادی، نفوذپذیری کم و خواص مکانیکی و گرمایی مناسب و فرایندپذیری بهتر ایجاد می‌شود [۲۴، ۲۵].

در تحقیقی، ABS/Nylon6 با نسبت ۴۵/۴۵، با سازگار

LIBF_۴/PVC(۵)/PEMA(۶۰)/PC(۶۷) این چشم‌انداز وجود دارد که سامانه بتواند به عنوان الکترولیت در باتری‌های لیتیومی و سایر دستگاه‌های الکتروشیمیایی مورد استفاده قرار گیرد [۱۸]. آمیزه ABS/PVC نیز با اختلاط SAN، PVC و PB-g-SAN تهیه شده است. همزمان با افزایش PVC در مخلوط، استحکام کششی و مدول الاستیک کاهش و ازدیاد طول در شکست افزایش می‌یابد. از طرفی آزمون ضربه نشان داده است که با افزایش PVC در آمیزه، چقرمگی آن افزایش می‌یابد. شکل ۴ نمودار تنش کرنش آمیزه PVC/ABS را در ترکیب‌های متفاوت نشان می‌دهد [۱۹].



شکل ۴ نمودار تنش-کرنش آمیزه ABS/PVC در مقادیر ثابت ۱۲٪ وزنی با نسبت متفاوت SAN و ABS [۱۹]

لاستیک NBR می‌تواند خواص بهتری به آمیزه ABS/PVC ببخشد و مقاومت آن را در برابر ضربه افزایش دهد. از آن جایی که نرم‌کنندگی DOP و NBR با یکدیگر متفاوت است، می‌توان NBR را جایگزین قسمتی از DOP کرد که به این ترتیب از مهاجرت DOP به سطح جلوگیری می‌شود و مقاومت قطعه کاربردی افزایش می‌یابد. همچنین افزودن NBR به آلیاژ، سبب کاهش استحکام کششی، افزایش ازدیاد طول نهایی و کاهش مدول می‌شود [۲۰].

آمیزه‌های ABS با PC، دارای با مقاومت بالا به ضربه در عین حال انعطاف‌پذیری خوب، دوام و ثبات ابعادی بالا هستند. نتایج آزمون کشش و ضربه نشان می‌دهد، فرایندپذیری PC از طریق افزودن ABS بهبود می‌یابد و استحکام کششی آمیزه با افزایش ABS، کاهش می‌یابد. مقاومت ضربه و ازدیاد طول در شکست آمیزه PC از این قانون تبعیت نمی‌کنند و در مقایسه با PC خالص بسیار

شده است. دلیل این امر سازگاری بالای دو پلیمر است. همچنین چقرمگی به نحو موثری افزایش یافته است [۳۱]. برای اصلاح چقرمگی، پلی استال (POM) باید با ماده‌ای با مدول الاستیک خیلی پایین‌تر از خود آلیاژ شود، تا این جزء به خوبی درون POM پراکنده شود و در هنگام اعمال ضربه به عنوان متمرکز کننده تنش عمل کرده، انرژی را جذب کند و مانع از رشد ترک شود. سازگاری با PU باعث کاهش استحکام کششی و مدول یانگ می‌شود و از طرف دیگر، ازدیاد طول تا پارگی تا ۳۰ درصد وزنی از TPU بیشتر می‌شود و افزایش بیش از ۳۰ درصد وزنی، ازدیاد طول تا پارگی را کاهش می‌دهد [۳۲]. در تحقیق دیگر برای سازگاری پلیمرهای سخت و بلوری استال و نرم و بی شکل لاستیک نیتریل از MA استفاده شده، بهبود زیادی در خواص آمیزه حاصل شده است. نتایج نشان می‌دهد که استحکام کششی سامانه سازگار شده افزایش و ولکاش (پخت) دینامیکی، مدول کششی و برگشت پذیری الاستیک آمیزه‌ها بهبود یافته است. اما افزودن سازگار ساز باعث کاهش ازدیاد طول تا پارگی شده است [۳۳].

۳ سایر آلیاژهای پلیمری

طی سال‌های گذشته، گسترش آلیاژهای TPS از دانه‌های نشاسته و نرم‌کننده با دیگر پلیمرهای زیست تخریب پذیر، موادی جدیدی مانند آلیاژ TPS و PCL را با قیمت مناسب معرفی کرده است [۳۴].

آلیاژ سلولز استات و پلی اتیلن با چگالی بالا نیز از دیگر مثال‌های آلیاژهای پایه زیستی است که توسط Besson تهیه و ریخت‌شناسی و خواص مکانیکی آن‌ها با نسبت‌های مختلف بررسی شده است [۳۵]. آلیاژ زیست تخریب پذیر PLA-PHB از مخلوط مذاب PLA, PHB و نرم‌کننده جدید Lapol ۱۰۸ تهیه شده است. نتایج آزمایش‌های مختلف بر روی این آلیاژ نشان داده‌اند که ویژگی‌های تخریب حرارتی آلیاژها تحت تأثیر Lapol ۱۰۸ نبوده است. همچنین مدول یانگ آلیاژ در مقایسه با PLA یا PHB خالص کاهش پیدا کرده است. PHB تا حدی زیست تخریب پذیر است. درحالی که نمونه‌های حاوی PLA در طول بازه زمانی زیست تخریب پذیری نشان نداده‌اند [۳۶].

آلیاژ پلیمری Poly Benzoxazine و BMI با عملکرد بالا به دلیل داشتن خواص خوب مکانیکی و حرارتی می‌تواند نماینده خوبی برای رزین ماتریس در مواد پیشرفته کامپوزیتی و نیز به عنوان مدارهای سخت چاپی باشد [۳۷].

کننده‌های اکریلیکی (Imidized Acrylic) که شامل مقادیر مختلفی از اسید هستند، مخلوط شدند تا ماده‌ای فوق‌العاده چقرمه در دمای اتاق تولید شود [۲۶]. در تحقیق میرزاظاهری و همکارانش [۱۷]، آزمون‌های ضربه و کشش در آلیاژسازی پلی استایرن با پلی اتیلن نتایج خوبی به دست داده است. بر اساس نتایج تحقیقات آن‌ها، با افزایش درصد پلی استایرن به ۴۰٪ وزنی، نیروی پارگی به دلیل اثرات فازی افزایش چشمگیری پیدا کرده است.

از دیگر سازگارکننده‌هایی که بدین منظور به کار می‌رود، SMA است. استری شدن این کوپلیمر، ضمن بهبود سازگاری با PE، خواص تخریب پذیری بهتری را در آن ایجاد می‌کند. هر چند استحکام کششی و مقدار کشش تا شکست در آمیخته‌ها با افزایش ESMA کاهش یافته اما مقادیر کاهش، در مقایسه با سامانه‌های پلی اتیلن نشاسته به ویژه در درصد‌های بیشتر ناچیز است. از این رو می‌توان از ESMA به عنوان ماده افزودنی مناسب و سازگار با PE برای بهبود خواص تخریبی نام برد [۲۸].

به دلیل خواص مکانیکی و فرایندپذیری مناسب PE، از آن به عنوان بوش در مفاصل مصنوعی استفاده می‌شود به طوری که آلیاژ PE/PMPC ماده نویدبخش جایگزین PVC است. PE همچنین می‌تواند به صورت LDPE، از طریق اکستروژن واکنشی با GMA پیوند زده شده و به عنوان سازگارکننده عمل کند. به طور مثال در آمیزه PPS/PPT و Glass Fiber/PPS/Nylon ۶، نتایج نشان می‌دهد که استحکام ضربه‌ای بدون شکاف در مخلوط دارای PE-g-GMA، بالاتر از مخلوط عاری از PE-g-GMA است که نشان‌دهنده توانایی PE-g-GMA در بهبود خواص مکانیکی آلیاژ علاوه بر نقش سازگاری است. [۲۹].

PPS خواص مکانیکی و حرارتی، مقاومت شیمیایی و تأخیراندازی بسیار خوب شعله دارد که خواص مکملی پلیمرهای دیگر بوجود می‌آورد. به عنوان مثال PPE که پلیمری آمورف و پایدار در برابر حرارت است و ساختار شیمیایی مشابه PPS دارد آلیاژی بسیار سازگار با پراکندگی بالای ذرات PPE در ماتریس PPS فراهم می‌کند. سازگار کننده TSG تنش سطحی بین فاز PPS و PPE را کاهش می‌دهد. در نتیجه آلیاژ PPS/SG/PPE خواص مکانیکی بالاتری نسبت به PPS در دمای بالا نشان می‌دهد و نیز توانایی قالب‌گیری دقیق‌تری نسبت به PPS دارد [۳۰]. پراکندگی مناسب الاستومرها در آلیاژهای پلیمری PPS/SEBS که دارای SEBS اصلاح شده با MA است، تأیید

پیشرفت‌های دستگامی در مطالعه خواص مکانیکی و ریخت‌شناسی آلیاژهای پلیمری، باعث رشد هر چه بیشتر این زمینه تحقیقاتی شده است [۴۳].

۴ نتیجه‌گیری

ساخت آلیاژهای پلیمری، روش مفیدی برای تولید مواد جدید با خواص بهبود یافته است. ایجاد طیف وسیعی از خواص مکانیکی و فیزیکی در آلیاژها، موجب گسترده شدن کاربرد این ترکیبات در صنایع مختلف شده است. یکی از عوامل موثر در خواص آلیاژهای پلیمری، ریخت‌شناسی آن است. ریخت‌شناسی نامناسب نه تنها موجب بهبود خواص نمی‌شود، بلکه افت خواص را نیز به دنبال دارد. بنابراین با بهبود ریخت‌شناسی می‌توان مجموعه‌ای از خواص را ارتقا داد. با در نظر گرفتن خواص نهایی مورد نظر، انتخاب مواد مناسب برای تأمین این خواص، به کار بردن شرایط اختلاط مناسب و نیز استفاده از سازگارکننده مناسب می‌تواند به محصولی با خواص برتر دست پیدا کرد که دارای صرفه اقتصادی نیز باشد.

قدردانی

در تهیه این مقاله، از کتاب ارزنده آلیاژهای پلیمری، تألیف آقای دکتر عارف‌آذر و خانم دکتر شکوهی بهره‌مند شدیم که به این وسیله قدردانی می‌شود.

غشای آلیاژی SPU/MPC با خواص مکانیکی بالا تولید شده است. این غشا در سامانه انتشار انسولین بسیار مفید است و در مرحله کاشت در بافت زیر پوستی مورد استفاده قرار گرفته است [۳۸]. غشای PEFC بر پایه آلیاژ پلیمری PTFE/FEP است که در لوازم الکتریکی تلفن همراه و رایانه کاربرد دارد [۳۹]. آلیاژهای TPU/PBT نیز تهیه و اثر میزان TPU بر ویژگی‌های آنها بررسی شده است. نتایج نشان داده‌اند که سازگاری خوبی بین این دو پلیمر وجود دارد. با افزودن TPU، دمای انتقال شیشه‌ای PBT اندکی کاهش یافته، بهبود چشمگیری در مقاومت ضربه‌ای مشاهده شده است. اما مقاومت خمشی و کششی اندکی کاهش یافته‌اند [۴۰]. آلیاژهای پلیمری HDPE/COC با ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد COC با خواص مکانیکی بهینه نیز گزارش شده است. این اثر به دلیل ریخت‌شناسی لیفی جزء COC و چسبندگی بین سطحی، بسیار زیاد است [۴۱]. اخیراً، سازگارسازی آلیاژ LLDPE-PA6 با استفاده از فرایند وساطت شده با باریکه الکترونی و بررسی اثر آن بر ریخت‌شناسی و خواص مکانیکی آلیاژ صورت گرفته است. نتایج نشان داده‌اند که با دوزهای تابش، قطر ذرات توزیع شده کاهش یافته و چسبندگی بین سطحی افزایش می‌یابد. با افزایش دوز تابش، افزایش طول تا نقطه شکست آلیاژها مشاهده شده است. درحالی که استحکام کششی و مدول‌ها به طور غیر خطی افزایش یافته‌اند [۴۲].

اختصارات

ABS: acrylonitrile butadiene styrene	PEMA: poly ethyl methacrylate
BMI: bismaleimide	PET: poly ethylene terphthalate
COC: cycloolefin copolymer	PHB: poly(3-hydroxybutyrate)
DOP: di octile phetalate	PLC: poly caprolactone
EPDM: ethylene-prppylene diene	POM: poly acetal
EPR: ethylen-co-propylene rubber	PP: poly propylene
ESMA: e-strified styrene maleic anhydride	PS: poly styrene
FEP: tetrafluoro ethylene-co-hexafluoro propylene	PTFE: poly tetrafluoro ethylene
GMA: glycidyl methacrylate	PU: poly urethane
HDPE: High-density polyethylene	PVC: poly vinyl chloride
LLDPE: linear low density polyethylene	SAN: styrene acrylonitrile
MA-g-PP: maleic anhydride grafted PP	SBS: styrene-butadiene-styrene
MFI: melt flow index	SEM: scanning electron microscopy
NBR: acrylonitrile-butadiene rubber	SEM: styrene maleic anhydride
PB: poly butadiene	SG: styrene-co-glycidyl methacrylate
PBT: poly (butylene terephthalate)	SIS: Styrene-Icopren-Styrene
PC: poly carbonat	TPS: thermoplastic starch
PEFC: polymer electrolyte fuel cell	TPU: Thermoplastic polyurethane

مراجع

1. ArefAzar A., Shokuhi Sh., Polymer Blends, Amirkabir University of Technology, Tehran, 1-10, **2010**.
2. Shafae Sh. And Ebrahimi N.G., Polymer Fibers Production from Blend of Recycled PET Bottles and PP, *J. Polym. Sci. Technol*, 49-58, **2007**.
3. Ebadi H., Yusefi A., Orumie'ee A., Morphology and Rheological, Thermal and Thermomechanical Properties of PP/PET Blends, *J. Polym. Sci. Technol*, 381-390, **2003**.
4. Dehkordi M.R., Golshan Ebrahimi N., Kokabi M., Compatibility Study of PP/PET Blend Fibers by PP-g-MA Compatibilizer, *J. Polym. Sci. Technol*, 121-130, **2002**.
5. Ebrahimian F., Golshan Ebrahimi N., Mehrabzade M., Preparation and Properties of PP/Pet Blend, *J. Polym. Sci. Technol*, 167-175, **1999**.
6. Tang L., Qu B. Shen B., Mechanical Properties, Morphological Structure, and Thermal Behavior of Dynamically PhotoCrosslinked PP/EPDM Blends, *Journal of Applied Polymer Science*, 3371–3380, **2004**.
7. Nazarethda S. A.L. and Coutinho F., Material Properties, Some Properties of Polymer Blends Based on EPDM/PP, *Polymer Testing*, 45-52, **1996**.
8. Feng W., Isayev A.I., In Situ Compatibilization of PP/EPDM Blends During Ultrasound Aided Extrusion, *Polymer*, 45, 1207–1216, **2004**.
9. Fishr I., Sieigma A., The Effect of Interface Characteristics on the Morphology, Rheology and Thermal Behavior of Three-Component Polymer Alloys, *Polymer Composites*, 34-48, **2002**.
10. Dong Q., Wang X., Zhisheng Fu., Junting Xu., Zhiqiang Fan., Regulation of Morphology and Mechanical Properties of Polypropylene/Poly (Ethylene-co-Propylene) in-reactor Alloys by Multi-stage Sequential Polymerization, *Polymer*, 48, 5905-5916, **2007**.
11. Wang Y. and Zhang Q. and Fu Q., Compatibilization of Immiscible Poly (propylene)/Polystyrene Blends Using Clay, *Macromol. Rapid Commun*, 231–235, **2003**.
12. Joseph S. and Thomas S., Morphology, Morphology Development and Mechanical Properties of Poly styrene/Polybutadiene Blends, *European Polymer Journal*, 115–125, **2002**.
13. Javadi A., Investigation on the Properties of PS and PU Thermo Plastic Urethane, Iran, *Polymer and Petrochemical Institute*, **1997**.
14. Rashidi B., Golshan Shafae N., Investigation of Compatibility and Properties of Polyvinyl Chloride/Ester- based Polyurethane Blends, *J. Polym. Sci. Technol*, 41-48, **2007**.
15. Bakhshande Gh., Shokri A., Dareštani Farahani T., Effect of Mixing Procedures and Conditions on Mechanical and Rheometrical Properties of NBR/PVC Blends, *J. Polym. Sci. Technol*, 185-194, **2006**.
16. Mirali M., and Kokabi M., Ahmadi A., Hemati M., PVC/NBR-SBR Blend and Its Desirable Tear Strength, *J. Polym. Sci. Technol*, 71-77, **2004**.
17. Nasseryan S., Investigation of NBR/PVC Thermo Plastic Elastomers using Virgin and Recycled PVC, *Iran Polymer and Petrochemical Institute*, **1994**.
18. Rajendran S., Ramesh Prabhu M., Usha R. M., Ionic Conduction in Poly(vinyl chloride)/Poly(ethyl methacrylate)-based Polymer Blend Electrolytes Complexed with Different Lithium Salts, *Journal of Power Sources*, 880–883, **2008**.
19. Zhou C., Bao X. Y., Tan Z. Y., Sun S. L., Ao Y.H., Yang H.D., Zhang H.X., Transition from Crazing to Shear Deformation in ABS/PVC Blends, *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, 687–695, **2006**.
20. Honarkar H., Mehrabzade M., Production of PVC/ABS/NBR Blend and the Study of Its Physical and Mechanical Properties, Thermal Behaviour and its Morphology, *J. Polym. Sci. Technol*, 149-157, **2001**.
21. Khan M.M.K., Liang R.F., Gupta R.K., Agarwal S., Rheological and Mechanical Properties of ABS/PC Blends, *Korea-Australia Rheology Journal*, 1-7, **2005**.

22. Balart R., Lo'pez J., Garcí'a D. Salvador M.D., Recycling of ABS and PC From Electrical and Electronic Waste. Effect of Miscibility and Previous Degradation on Final Performance of Industrial Blends. *European Polymer Journal*, 2150–2160, **2005**.
23. Fishr I., Siegma A., The Effect of Interface Characteristics on the Static and Dynamic Mechanical Properties of Three-Component Polymer Alloys, *Polymer Composites*, **2002**.
24. Dezhen W., Xiaodong W., Riguang J., Toughening of Poly (2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide)/Nylon 6 Alloys with Functionalized Elastomers via Reactive Compatibilization: Morphology, Mechanical Properties, and Rheology, *European Polymer Journal*, 1223–1232, **2004**.
25. Afshari M., Haghighat Kish M., Nazokdašt H. Orumie'ee A., Effect of Mixing Ratio and Compatibilizer on Rheological, Morphological and Thermal Properties of PP/Nylon6 Alloy, *J. Polym. Sci. Technol*, 201-211, **2001**.
26. Majumdar B., Keskkula H., Paul D. R., Mechanical Properties and Morphology of Nylon6/ABS Blends Compatibilized with Imidized Acrylic *Polymer*, 35, 5453-5467, **1994**.
27. Mirzataheri M., Hakimzadeh F., Khalkhali T., Blending of PS/PE, Bachelor degree Thesis, Amirkabir University of Technology., **1988**.
28. Semsarzadeh M.A., Mahin Hassanabadi H., Preparation of Esterified Styrene-maleic Anhydride Copolymer and Investigation of Physical and Mechanical Properties of Its Blends with LLDPE, *J. Polym. Sci. Technol*, 119-1235, **2008**.
29. Chen C. M., Hsieh T. E., Liu M. O., Preparation of Epoxy-Modified Polyethylene by Graft Extrusion and its Applications to Polyphenylene Sulfide Alloys as a Compatibilizer, *Reactive & Functional Polymers*, 1307–1313, **2008**.
30. Kubo K., Masamoto J., Microdispersion of Polyphenylene Ether in PolyphenyleneSulfide/ Polyphenylene Ether Alloy Compatibilized by Styrene-co-Glycidyl Methacrylate, *Journal of Applied Polymer Science*, 3030–3034, **2002**.
31. Hisamatsu T. and Nakanoa S., Adachib T., Ishikawab M., Iwakurab M., The Effect of Compatibility on Toughness of PPS/SEBS Polymer Alloy, *Polymer*, 4803–4809, **2000**.
32. MehrabZade M., and Rezaee D., Study on Physical and Mechanical Properties, Thermal Behavior and Morphology of Polyacetal and Polyurethane Thermoplastic Elastomer Blend, *J. Polym. Sci. Technol*, 139-147, **2000**.
33. Mortezaee M., Navid Family H., MehrabZade M., On the Compatibilization and Dynamic Vulcanization of POM/NBR Blends, *J. Polym. Sci. Technol*, 159-164, **2001**.
34. Shin B. Y., Lee S., Shin Y. S., Balakrishnan S., Narayan R., Rheological, Mechanical and Biodegradation Studies on Blends of Thermoplastic Starch and Polycaprolactone, *Polymer Engineering and Science*, 1429-1438, **2004**.
35. Besson F., and Budtova T., Cellulose Ester-Polyolefine Binary Blend: Morphological, Rheological and Mechanical Properties, *European Polymer Journal*, 981–989, **2012**.
36. Abdelwahab M. A., Flynn A., Chiou B. S., Imam S., Orts W. and Chiellini E., Thermal, Mechanical and Morphological Characterization of Plasticized PLA-PHB Blends, *Polymer Degradation and Stability*, 1822-1828, **2012**.
37. Takeichi T., Saito Y., Agag T., Muto H., Kawachi T., High-Performance Polymer Alloys of Polybenzoxazine and Bismaleimide, *Polymer*, 1173-1179, **2008**.
38. Uchiyama T., Watanabe J., Ishihara K., Biocompatible Polymer alloy Membrane for Implantable Artificial Pancreas, *Journal of Membrane Science*, 39–48, **2008**.
39. Asano S., Mutou F., Ichizuri S., Li J., Miura T., Oshima A., Katsumura Y., Washio M., Fabrication of PEFC Membrane Based on PTFE/FEP Polymer-Alloy Using Radiation-Grafting, *Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res.* 437–442, **2005**.
40. Huang J., Lu X., Zhang G., Qu J., Study on the Rheological, Thermal and Mechanical Properties of Thermoplastic Polyurethane/Poly (Butylene Terephthalate), *Blends Polymer Testing* 69–74, **2014**.
41. Vackova T., Slouf M., Nevoralova M., Kapra-

lkova L., HDPE/COC Blends with Fibrous Morphology and Their Properties, *European Polymer Journal*, 2031–2039, **2012**.

42. Young Shin B. and HungHan D., Morphological and Mechanical Properties of Polyamide 6/linear Low Density Polyethylene Blend Compatibilized by Electron-Beam Initiated Mediation Process, *Ra-*

diation Physics and Chemistry, 198–207, **2014**.

43. Kramer G., M Griepentrog M., Bonaccorso E., Cappella B., Study of Morphology and Mechanical Properties of Polystyrene–Polybutadiene Blends with Nanometer Resolution Using AFM and Force–Distance Curves, *European Polymer Journal*, 123–134, **2014**.