

# بررسی و بهینه‌سازی خواص مکانیکی و شکل‌شناسی آمیخته سه جزئی PP/PU/EVA بر اساس طراحی آزمایش با روش تاگوچی

## Investigation and Optimization of Mechanical and Morphological Properties of a Three-component PP/PU/EVA Blend Using Taguchi Experimental Design

سید محمد علی مرتضوی، نادره گلشن ابراهیمی\*، شادی حسن آجیلی

تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی شیمی، گروه مهندسی پلیمر، صندوق پستی ۱۴۱۱۵/۱۴۳

دریافت: ۸۳/۹/۱۷، پذیرش: ۸۴/۷/۲۶

### چکیده

در این پژوهش، رفتار مکانیکی و شکل‌شناسی آمیخته سه جزئی PP/PU/EVA بررسی شده است. پژوهش‌های انجام شده روی آمیخته PP/PU نشان‌دهنده امتزاج ناپذیری این دو ماده با یکدیگر بوده، تنها در محدوده ۷۰ تا ۸۰ درصد از پلی‌یورتان، بهترین حالت از یکنواختی توزیع فاز پراکنده PP در فاز پیوسته PU ایجاد می‌شود. در این مطالعه برای ایجاد امتزاج‌پذیری بیشتر، کوپلیمر EVA به این آمیخته دوجزئی افزوده شد و از طراحی آزمایش به روش تاگوچی به کمک نرم‌افزار ۴-Qualitek برای دستیابی به خواص مکانیکی بهینه استفاده شد. با بررسی شکل‌شناسی تصاویر SEM از سطح مقطع شکست و همچنین تحلیل نتایج آزمون کشش، درصد بهینه ۲۰/۸۰/۵ برای آمیخته سه جزئی PP/PU/EVA انتخاب شد.

### واژه‌های کلیدی

پلی‌یورتان، پلی‌پروپیلن،  
اتیلن - وینیل استات، آمیخته،  
روش تاگوچی

### مقدمه

گاهی در آمیخته‌ها جزء سوم به عنوان سازگارکننده به ترکیب آمیخته اضافه می‌شود. این جزء باید با اجزای دیگر امتزاج‌پذیر بوده، بر خواص آمیخته اثر زیادی نداشته باشد. روش‌های مختلفی برای آمیخته‌سازی وجود

آمیخته‌سازی روشی با صرفه و مناسب برای دستیابی به مواد جدید با خواص بهینه است. انتخاب ترکیب آمیخته باید طوری باشد که مزایای یک پلیمر، نقاط ضعف پلیمر دیگر را جبران کند، تا خواص مورد نظر حاصل شود.

### Key Words

polyurethane, polypropylene,  
ethylene-vinyl acetate, blend,  
Taguchi method

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: ebrahimn@modares.ac.ir

عواملی نظیر درجه آزادی (f)، جمع مجذور داده‌ها (S) و میانگین مجذور داده‌ها شناخته می‌شود.

## تجربی

### مواد

در این پژوهش، از پلی پروپیلن محصول شرکت پتروشیمی اراک با نام تجاری ۷۳۰GA، نوع پزشکی و شاخص جریان مذاب برابر  $16 \text{ g}/10 \text{ min}$  و پلی اترپورتان (LARIPUR ۹۰۶۰) نوع پزشکی، دارای سختی ۸۶ شور A، دمای انتقال شیشه‌ای (T<sub>g</sub>) برابر  $45^\circ\text{C}$  - و شاخص جریان مذاب  $70-45 \text{ g}/10 \text{ min}$  استفاده شد. ساختار پلی یورتان از متیلن دی‌ایزوسیانات و پلی تترا متیلن گلیکول تشکیل شده و زنجیرافزای آن ۴،۱- بوتان دیول است.

همچنین، از دو نوع کوپلیمر اتیلن - وینیل استات (EVA) محصول شرکت هیوندای کره جنوبی، با درصد‌های مختلف از اتیلن شامل اتیلن - وینیل استات ۱۸ درصد با نام تجاری VS۴۳۰، چگالی  $0.939 \text{ g}/\text{cm}^3$  و شاخص جریان مذاب  $77 \text{ g}/10 \text{ min}$  و اتیلن - وینیل استات ۲۸ درصد با نام تجاری VA۹۱۰، چگالی  $0.950 \text{ g}/\text{cm}^3$  و شاخص جریان مذاب  $150 \text{ g}/10 \text{ min}$  استفاده شد.

### دستگاهها

از آنجا که پلی یورتانها معمولاً به مقدار زیادی رطوبت جذب می‌کند و اگر در زمان انجام فرایند، رطوبت این مواد حذف نشود، حبابهای ریزی در نمونه تشکیل می‌شود. بنابراین، باید قبل از استفاده از پلی یورتان حتماً آن را در گرمخانه خلأ قرار داد [۴]. گرمخانه خلأ مورد استفاده از نوع NAPCO ۵۸۵۱ با سامانه گرمایی در محدوده دمای  $30^\circ\text{C}$  تا  $200^\circ\text{C}$  و قدرت ایجاد خلأ نسبی از صفر تا  $30 \text{ inHg}$  - است.

برای ساخت آمیخته‌ها به روش اختلاط مذاب، مخلوط کن داخلی Brabender با ظرفیت  $55 \text{ cm}^3$  در هر مرتبه اختلاط، مجهز به منبع گرمایش از نوع المانهای گرمایی و تیغه بنبوری بکار گرفته شد. با استفاده از روش قالبگیری فشاری در دمای  $190^\circ\text{C}$  و فشار  $100 \text{ bar}$ ، فیلمهایی به ضخامتهای مورد نظر تهیه شد. برای بررسی خواص مکانیکی، آزمون کشش با دستگاه ZMCK ۴۷۷۵۱۴ و برای مطالعه شکل‌شناسی آمیخته‌ها از دستگاه میکروسکوپ الکترون پویشی Philips مدل XL۳۰ استفاده شد.

دارد که عبارتند از: اختلاط مکانیکی، آمیخته‌سازی در محلول، آمیخته‌سازی به شکل شیرابه، اختلاط پودر و شبکه‌های درهم فرورونده [۱]. در این پژوهش، از اختلاط مکانیکی به وسیله برابندر استفاده شده است. این روش معمولاً منجر به تولید آمیخته با پراکنش درشت می‌شود و خواص آمیخته به شدت تحت تأثیر سرعت و دمای اختلاط است. در مطالعه قبلی [۲] که بررسی درصد بهینه اختلاط در آمیخته دو جزئی پلی یورتان و پلی پروپیلن به عنوان آمیخته زیست‌سازگار هدف مطالعه بوده است، در میان آمیخته‌ها با ترکیب درصد‌های ۰/۱۰۰، ۲۰/۸۰، ۳۰/۷۰ و ۱۰/۹۰ از پلی یورتان و پلی پروپیلن (PP/PU) آمیخته ۲۰/۸۰ بهترین خواص را نشان داد. به علت قطبی بودن پلی یورتان و عدم قطبیت پلی پروپیلن، اختلاط مکانیکی آنها با یکدیگر منجر به تهیه آمیخته‌ای امتزاج ناپذیر می‌شود. یکی از روشهای بهبود امتزاج پذیری استفاده از ماده‌ای است که بتواند در سطح تماس دو پلیمر قرار گرفته، کشش سطحی بین آنها را کاهش دهد. به این منظور از کوپلیمر اتیلن - وینیل استات که در ساختار آن گروههای قطبی و غیرقطبی وجود دارد، استفاده شد. نتایج مطالعه بیانگر بهبود خاصیت امتزاج پذیری آمیخته سه جزئی (۲۰/۸۰/۵) PP/PU/EVA نسبت به آمیخته دو جزئی (۲۰/۸۰) PP/PU است [۲]. در ادامه این پژوهش درصد‌های مختلفی از این آمیخته سه جزئی بررسی شد.

در این بررسی، برای بدست آوردن درصد بهینه آمیخته سه جزئی PP/PU/EVA از روش طراحی آزمایش استفاده شده است. طراحی آزمایشها یکی از بنیادی‌ترین روشهای تجزیه و تحلیل علمی و ابزاری قوی برای افزایش کیفیت تولیدات صنعتی و بدست آوردن شرایط بهینه تولید است. اصولاً روشهای متعدد آماری برای پژوهش و توسعه در صنایع، کنترل کیفیت و مطالعه آماری مطرح و استفاده می‌شوند که هر کدام مزایا و معایبی دارند. از میان آنها روش تاگوچی وضعیت خاص و متفاوتی نسبت به بقیه روشها دارد و این شرایط موجب شده که در دنیا اهمیت ویژه‌ای داشته باشد.

روش تاگوچی این قابلیت را دارد که در سامانه‌هایی که مطالعه عوامل با سطوح مختلف مورد نظر است و انجام تعداد زیادی آزمایش برای تعیین شرایط بهینه فرایند نیاز است، با اطمینان زیاد، تعداد آزمون (نمونه‌ها)، زمان انجام، هزینه اجرا و احتمال خطا در دستیابی به پاسخ مطلوب را تا چند برابر (گاهی تا بیش از صدها و حتی هزاران برابر) کاهش داده، پاسخ سامانه را حتی در حالت بهینه آن که هنوز در آن شرایط، آزمایشی انجام نشده، پیشگویی کند [۳].

در این روش برای انجام تجزیه و تحلیل آماری و تعیین سطوح بهینه عوامل، از محاسبات تحلیل واریانس استفاده شد. تحلیل واریانس با

## روشها

## طراحی با نرم افزار ۴- Qualitek

در انجام آزمایشها از روش طراحی آزمایش تاگوچی استفاده شده است. در این بررسی با استفاده از نرم افزار ۴- Qualitek، برای چهار عامل که سه عامل آن سه سطحی (درصدهای PU، PP، EVA) و یک عامل آن دو سطحی (نوع EVA) است (جدول ۱)، آرایه L<sub>۹</sub> بدست آمد که سطوح مختلف و همچنین طراحی آن در جدولهای ۱ و ۲ آمده است). نتایج این آزمایشها با مقدار بهینه (۲۰/۸۰) آمیخته دوجزئی PP/PU [۲، ۵]، پلی اتریورتان خالص و پلی پروپیلن خالص مقایسه شد.

## آمیخته سازی

در این بخش، آمیخته هایی با نسبتهای وزنی مختلف از PU، PP و EVA بر اساس طراحی آزمایش به روش تاگوچی، به کمک مخلوط کن داخلی مجهز به تیغه بنوری در دمای ۱۹۰°C و دور ۶۰ rpm تهیه شدند. ترکیب درصد وزنی آمیخته های تهیه شده در جدول ۳ آورده شده است. در این جدول EVA نوع ۱۸ درصد با شماره ۱ و EVA نوع ۲۸ درصد با شماره ۲ نمایش داده شده است. همچنین، به منظور مقایسه نتایج آزمایشهای انجام شده روی آمیخته ها، نمونه های PP، PU خالص و آمیخته F<sub>۱۰</sub> (۲۰/۸۰) PP/PU نیز با همان شرایط تهیه شدند.

نحوه اختلاط به این شکل بود که ابتدا پلی یورتان داخل دستگاه ریخته شد، بعد از ذوب ماده و ثابت شدن منحنی گشتاور، PP و EVA به طور همزمان اضافه شد. پس از ذوب کامل و ثابت شدن گشتاور، بعد از ۲ min اختلاط کامل شد. سپس، دستگاه خاموش و مواد خارج شدند. با توجه به اینکه پلی یورتان جاذب رطوبت است، بنابراین باید قبل از استفاده آن را به مدت ۳ تا ۴ h در گرمخانه خلأ در دمای ۹۰ تا ۱۰۰°C و خلأ نسبی ۲۰ inHg - نگهداری کرد، تا رطوبت آن حذف شود.

جدول ۲ آرایه L<sub>۹</sub> برای طراحی آزمایش تاگوچی با توجه به جدول ۱.

نوع EVA	EVA	PU	PP	آزمایش
۱۸	۵	۸۰	۱۵	۱
۲۸	۱۵	۶۵	۱۵	۲
۱۸	۲۵	۵۰	۱۵	۳
۱۸	۱۵	۸۰	۲۰	۴
۱۸	۲۵	۶۵	۲۰	۵
۲۸	۵	۵۰	۲۰	۶
۲۸	۲۵	۸۰	۲۵	۷
۱۸	۵	۶۵	۲۵	۸
۱۸	۱۵	۵۰	۲۵	۹

## تهیه ورقه ها برای انجام آزمایشها

با استفاده از روش قالبگیری فشاری در دمای ۱۹۰°C و فشار ۱۰۰ bar، ورقه هایی با ضخامت ۷۳ mm برای آزمون کشش و ۰/۵ mm برای آزمایش شکل شناسی تهیه شدند.

برای تهیه ورقه ها، پس از گرم کردن وزن مشخصی از هر نمونه به مدت ۵ min در قالب تا دمای ۱۹۰°C، آن را برای ۵ min دیگر در فشار ۱۰۰ bar در همان دما قرار داده، سپس با استفاده از سامانه خنک کننده آب سرد با سرعت سرمایش ۵°C/min فیلم شکل گرفته، سرد شد. شایان ذکر است که به دلیل چسبندگی زیاد پلی یورتان به سطح، از قالبهایی با روکش تفلون استفاده شد. همچنین، نمونه ها به علت داشتن پلی یورتان، قبل از استفاده در شرایط ذکر شده در گرمخانه خلأ نگهداری شدند.

## نتایج و بحث

## شکل شناسی

برای بررسی شکل شناسی نمونه ها، تصاویر میکروسکوپ الکترون پویشی از مقاطع شکست ورقه های پلی پروپیلن و پلی یورتان خالص و آمیخته های آنها و نیز اتیلن - وینیل استات (بر اساس جدول ۳) در نیتروژن مایع برداشت شد.

این تصاویر که در بزرگنماییهای مختلف برداشت شده است، برای تجزیه و تحلیل مقدار امتزاج پذیری سه جزء آمیخته با یکدیگر استفاده می شود (شکل ۱). این تصاویر، جدایی در نواحی مرزی دو فاز پیوسته و پراکنده را نشان می دهد که مبین امتزاج ناپذیری PP و PU و چسبندگی ضعیف آنها به یکدیگر است. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود،

جدول ۱ مشخصات عوامل و سطوح انتخاب شده برای طراحی آزمایش به روش تاگوچی.

ردیف	عامل	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
۱	PP	۱۵	۲۰	۲۵
۲	PU	۸۰	۶۵	۵۰
۳	EVA	۵	۱۵	۲۵
۴	نوع EVA	۱۸ درصد	۲۸ درصد	-

جدول ۳ آمیخته‌های مختلف تهیه شده از PP/PU/EVA و نتایج بدست آمده از آزمایشهای مختلف.

PP	PU	F <sub>۱۰</sub>	F <sub>۹</sub>	F <sub>۸</sub>	F <sub>۷</sub>	F <sub>۶</sub>	F <sub>۵</sub>	F <sub>۴</sub>	F <sub>۳</sub>	F <sub>۲</sub>	F <sub>۱</sub>	آمیخته
۰	۱۰۰	۸۰	۵۶	۶۸	۶۲	۶۷	۵۹	۷۰	۵۶	۶۸	۸۰	درصد PU
۱۰۰	۰	۲۰	۲۸	۲۶	۱۹	۲۷	۱۸	۱۷	۱۷	۱۶	۱۵	درصد PP
۰	۰	۰	۱۷(۱)	۵(۱)	۱۹(۲)	۷(۲)	۲۳(۱)	۱۳(۱)	۲۸(۱)	۱۶(۲)	۵(۱)	درصد EVA
۴۱۴/۲۱	۲۹/۶۰	۷۶/۱۲	۱۰۶/۹۳	۷۶/۶۳	۴۴/۶۶	۵۲/۲۵	۷۰/۳۵	۶۲/۱۰	۶۷/۲۳	۳۵/۷۳	۵۹/۱۵	مدول کششی (N/mm <sup>۲</sup> )
۷/۵۷	۶۴۵/۴۶	۴۶۵/۷۸	۳۳/۹۸	۴۴۸/۷۷	۲۹۹/۵۰	۳۸۶/۹۷	۴۰۷/۱۸	۵۴۰/۷۰	۱۵۹/۸۱	۲۷۷/۳۴	۵۵۲/۳۹	کرنش کششی تا پارگی (%)
۲۹/۹	۴۶/۹۱	۱۵/۵۰	۵/۸۸	۱۷/۸۶	۵/۴۹	۹/۳۹	۱۰/۸۱	۱۴/۶۴	۵/۹۴	۶/۲۳	۱۹/۸۲	استحکام کششی تا پارگی (N/mm <sup>۲</sup> )

### خواص مکانیکی

به منظور ارزیابی خواص مکانیکی آمیخته‌ها، از آزمون کشش استفاده شد. در این آزمون قطعات دمبلی شکل مطابق استاندارد ASTM D-۴۱۲ (از هر نمونه سه عدد) به ضخامت ۱/۳ mm تهیه شد و با سرعت ۵۰ mm/min تحت کشش قرار گرفت. در جدول ۳ نتایج آزمون برای نمونه‌های مختلف آمده است. در آزمون کشش، سه عامل مدول کششی، استحکام کششی تا پارگی و کرنش کششی تا پارگی بررسی و مقایسه شد.

### مدول کششی

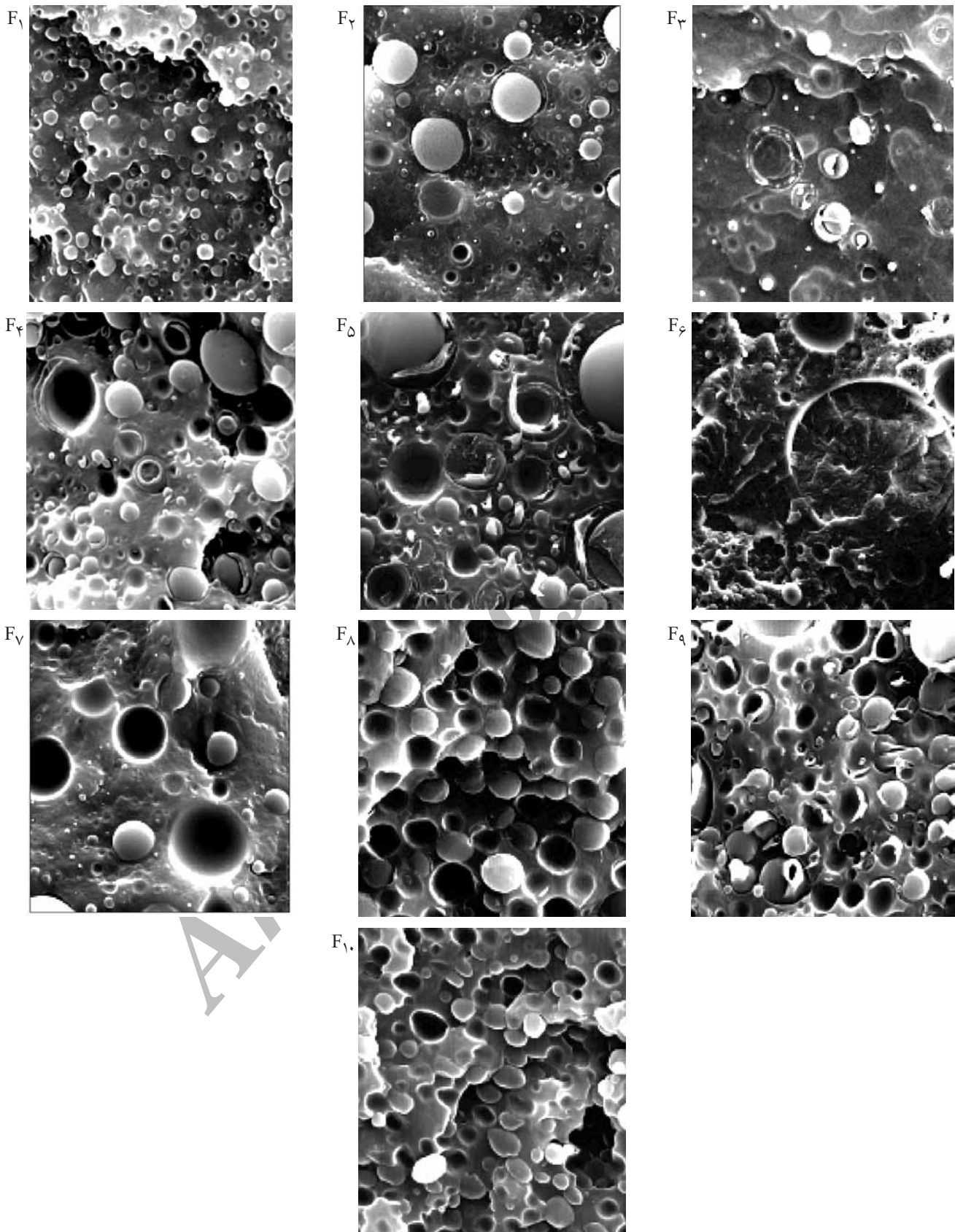
در شکل ۲ نتایج تحلیل آزمون کشش با نرم افزار (مدول کششی) برای ۹ آمیخته نشان داده شده است. چهار نمودار رسم شده در این شکل، اثر چهار عامل مختلف مقادیر PP، PU، EVA و نوع EVA (TEVA) را در سطوح منتخب ذکر شده (محور افقی) روی مدول (محور عمودی) نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با کاهش درصد PU مدول افزایش یافته است. این رفتار به واسطه بیشتر بودن مدول PP، پدیده‌ای قابل انتظار است که در مقالات نیز به آنها اشاره شده است، [۸]. ملاحظه می‌شود که هرچه مقدار PP افزایش و مقدار PU کاهش یابد، مدول بیشتر می‌شود. اگر چه EVA نوع ۲۸ درصد نسبت به نوع ۱۸ درصد مدول کمتری دارد، اما در مورد درصد وزنی EVA روند خاصی وجود ندارد. از مقایسه مدول آمیخته‌هایی که از EVA نوع ۱۸ درصد ساخته شده‌اند، مشاهده می‌شود که با افزایش درصد PP مدول افزایش می‌یابد (جدول ۳). این مسأله در مورد EVA نوع ۲۸ درصد نیز صادق است. مقدار سطوح بهینه برای داشتن حداکثر مقدار مدول در جدول ۴ آمده است.

### استحکام کششی تا پارگی

طبق نتایج بدست آمده در جدول ۳، استحکام کششی تا پارگی آمیخته‌های سه جزئی نسبت به پلیمرهای خالص PP و PU کاهش یافته

در نمونه‌های F<sub>۱</sub>، F<sub>۸</sub> و F<sub>۱۰</sub> توزیع ریزتر و یکنواخت‌تری در ماتریس PU دارد. در تصاویر ارائه شده، پلی‌پورتان به علت درصد بیشتر (بیش از ۵۰ درصد) فاز پیوسته را تشکیل داده و ذرات PP (فاز پراکنده) را به شکل دانه‌های کروی در خود جای داده است. معمولاً این نوع شکل‌شناسی، یعنی تشکیل ذرات کروی در آمیخته‌های امتزاج ناپذیر مشاهده می‌شود که ناشی از زیاد بودن کشش بین سطحی دو فاز است. در تصاویر میکروسکوپ الکترونی آمیخته‌های ساخته شده، به وضوح ملاحظه می‌شود که EVA به عنوان حد واسط دو پلیمر، اطراف PP را احاطه کرده و با کاهش کشش بین سطحی دو پلیمر، توزیع یکنواخت‌تری از فاز PP در ماتریس PU ایجاد کرده است. این کوپلیمر با کنترل پدیده به هم پیوستگی، منجر به همگن‌تر شدن آمیخته شده است [۶]. لازم به ذکر است که مقدار کمتر EVA (۵ درصد وزنی) که در نمونه‌های F<sub>۱</sub> و F<sub>۸</sub> مشاهده می‌شود باعث بهبود شکل‌شناسی آمیخته شده است. این موضوع را می‌توان در مقایسه دو آمیخته F<sub>۱</sub> و F<sub>۱۰</sub> مشاهده کرد. در آمیخته F<sub>۱</sub> با افزودن ۵ درصد EVA به جای PP، اندازه ذرات PP کوچکتر و نحوه توزیع آنها یکنواخت‌تر و باعث بهبود خواص مکانیکی آن شده است. همان‌طور که از تصاویر مشخص است EVA با مقدار وزنی حدود ۵ درصد، به عنوان حد واسط بین دو پلیمر، با کاهش کشش بین سطحی پلیمرها توزیع یکنواخت‌تری از PP در ماتریس PU ایجاد کرده است. بنظر می‌رسد که افزایش درصد بیشتر EVA، روی شکل‌شناسی اثر منفی گذاشته است و از نمونه‌های دارای EVA تنها نمونه‌های F<sub>۱</sub> و F<sub>۸</sub> جالب توجه هستند.

هرچه درصد PP بیشتر شود، اندازه ذرات کروی بزرگتر می‌شود که بیانگر بیشتر بودن گرانروی آن در مقایسه با PU است و باعث تشکیل شکل‌شناسی درشت دانه می‌شود. همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌شود، توزیع اندازه ذرات PP در ماتریس PU یکسان نیست. این امر ناشی از اثر پدیده مهم به هم پیوستگی ذرات PP حین آماده‌سازی و شکل‌دهی مواد است که با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت دارد [۷].



شکل ۱ تصاویر میکروسکوپ الکترون پویشی از سطح مقطع آمیخته‌های مختلف تهیه شده از PP/PU/EVA با بزرگنمایی ۲۰۰۰ (نمونه F<sub>۳</sub> و F<sub>۶</sub> به ترتیب با بزرگنمایی ۴۰۰۰ و ۲۵۰).

جدول ۴ سطوح بهینه عوامل در آزمایشهای مختلف.

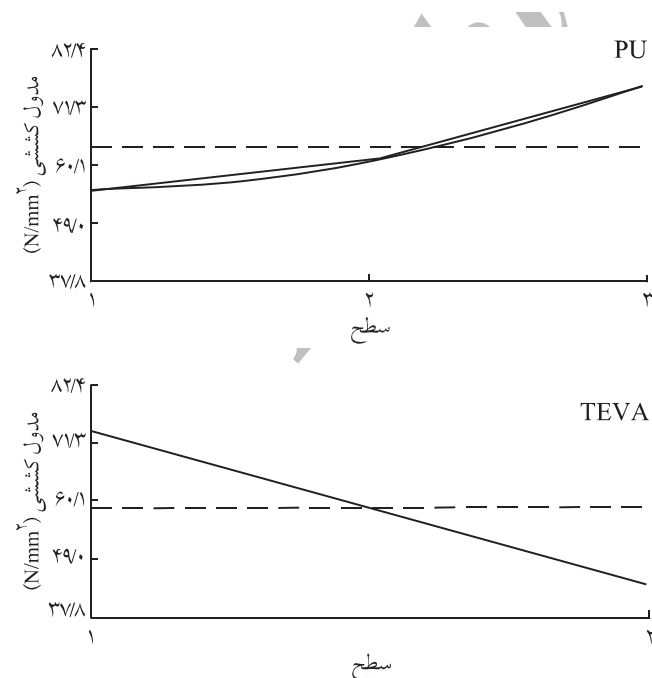
نمونه	مدول	استحکام	کرنش	بهترین حالت
PP	۳	۲	۲	۲
PU	۳	۱	۱	۱
EVA	۲	۱	۱	۱
TEVA	۱	۱	۱	۱

سطوح در استحکام کششی است.

با مقایسه نمونه‌های  $F_6$  و  $F_8$  و نمونه‌های  $F_5$  و  $F_7$  مشاهده می‌شود که استفاده از EVA نوع ۲۸ درصد، باعث کاهش کرنش کششی تا پارگی آمیخته‌ها می‌شود. در مجموع با توجه به داده‌ها مشاهده می‌شود که با کاهش درصد PU در آمیخته‌ها، خواص مکانیکی (غیر از مدول) کاهش می‌یابد. مقدار سطوح بهینه برای داشتن حداکثر مقدار کرنش تا پارگی در جدول ۴ آمده است.

#### محاسبه شرایط بهینه نهایی

تاکنون نتایج آزمونهای مختلف و بدست آوردن شرایط بهینه برای هر کدام از آنها به طور جداگانه انجام شده است. در این بخش شرایط بهینه با در نظر گرفتن کلیه آزمایشهای انجام شده محاسبه می‌شود. برای انجام این تحلیل، از نرم افزار کمک گرفته و از معیار ارزیابی کلی آن، بر اساس معادله (۱) استفاده شد [۳]:



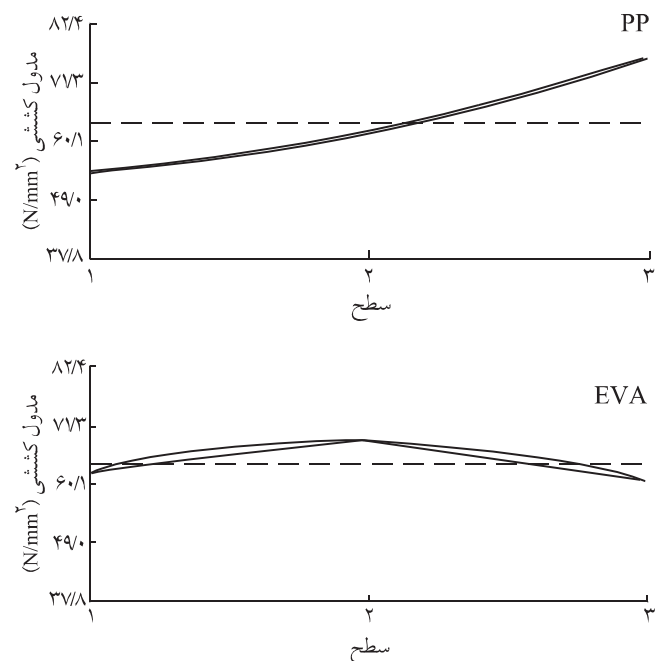
است که این پدیده را باید به امتزاج ناپذیری پلیمرها در آمیخته نسبت داد [۷]. در این حالت، نواحی بین سطحی دو فاز به دلیل عدم چسبندگی PP و PU به یکدیگر به عنوان نقاط ضعف عمل کرده، به طوری که تمرکز تنش در این مناطق باعث کاهش استحکام می‌شود.

شکل ۳ نتایج تحلیل آزمون کشش با نرم افزار را (استحکام کششی تا پارگی) برای ۹ آمیخته نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش درصد PU و کاهش درصد EVA استحکام کششی بیشتر می‌شود. از مقایسه آمیخته  $F_1$  و  $F_{10}$  می‌توان نتیجه گرفت اگرچه افزودن EVA باعث افزایش استحکام کششی و کرنش پارگی شده ولی این موضوع برای درصدهای زیاد EVA صادق نیست. به طوری که در مقایسه آمیخته  $F_5$  و  $F_3$  با افزایش مقدار EVA از ۲۳ به ۲۸ درصد، کاهش شدید استحکام کششی و کرنش تا پارگی مشاهده می‌شود. مقدار سطوح بهینه برای داشتن حداکثر مقدار استحکام در جدول ۴ آمده است.

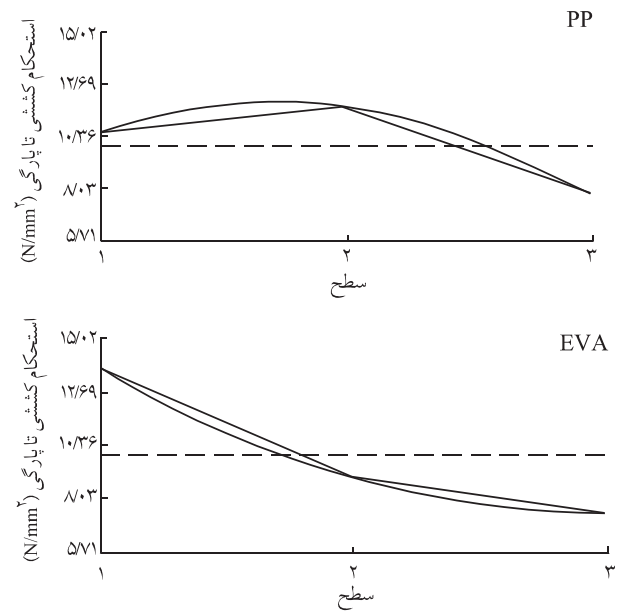
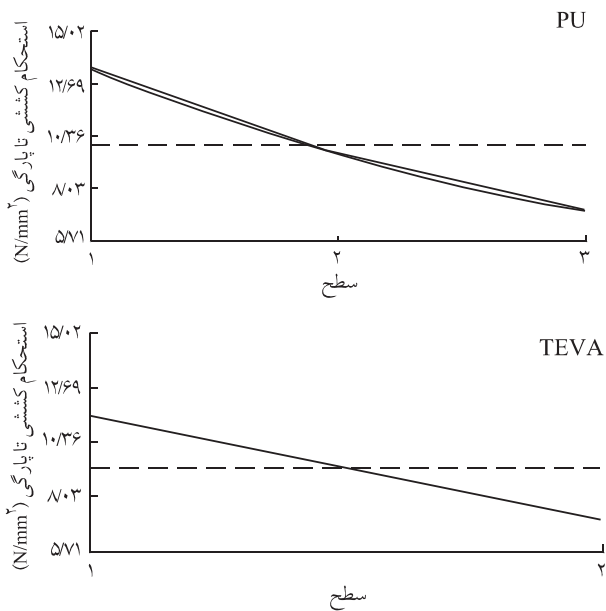
#### کرنش کششی تا پارگی

در جدول ۳ مقادیر کرنش کششی تا پارگی آورده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که همه آمیخته‌ها در مقایسه با PP خالص کرنش کششی تا پارگی بیشتری دارند.

در شکل ۴ نتایج تحلیل آزمون کشش با نرم افزار (کرنش کششی تا پارگی) برای ۹ آمیخته نشان داده شده است. روند طی شده در داده‌ها برای نمونه‌ها، همان روند داده‌های استحکام کششی است، مقدار سطوح بهینه بدست آمده در تحلیل داده‌ها به وسیله نرم افزار برابر همان



شکل ۲ نمودار تغییرات مدول کششی بر حسب سطوح.



شکل ۳ نمودار تغییرات استحکام کششی تا پارگی بر حسب سطوح.

عبارتند از:

$$OEC = (y_1/y_{1max}) \times w_1 + (y_2/y_{2max}) \times w_2 + \dots \quad (1)$$

$$y_{1max} = 10693$$

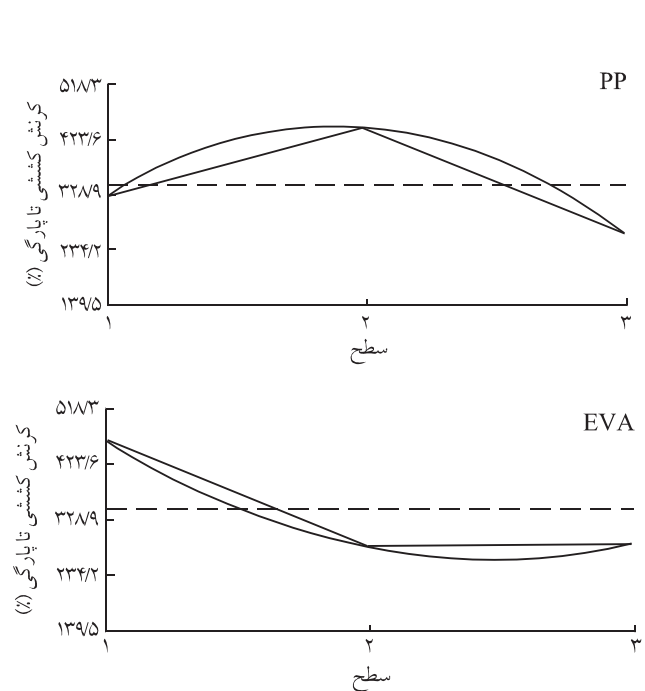
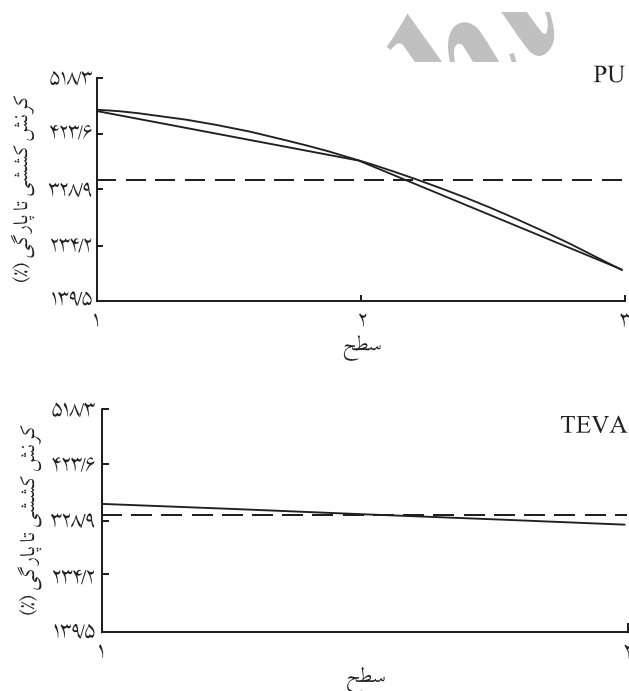
$$y_{2max} = 1982$$

$$y_{3max} = 55239$$

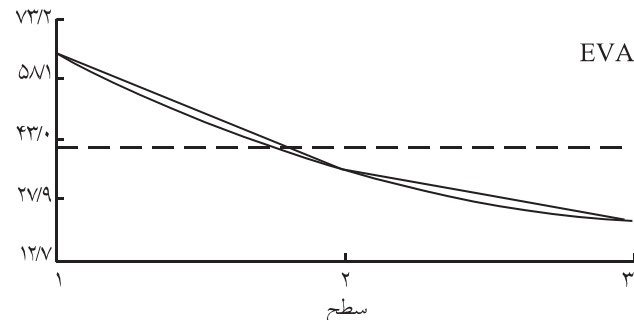
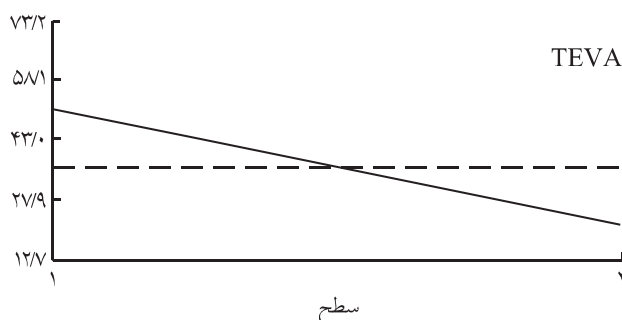
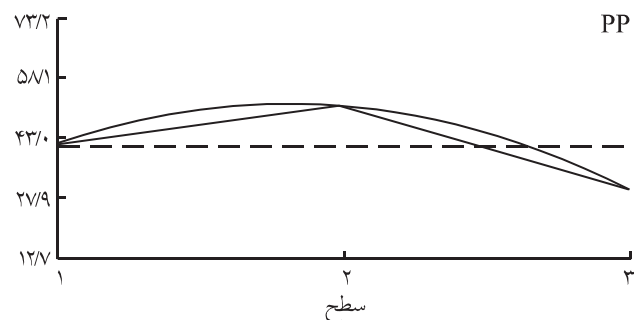
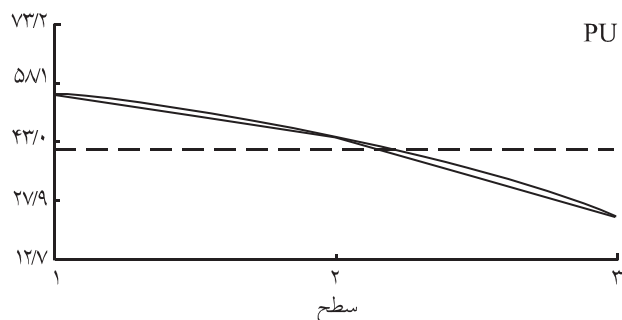
$$y_{4max} = 10$$

در این حالت برای خواص مختلف اندازه‌گیری شده در آزمایشها،

که در این معادله  $y_i$  مقدار عوامل مورد بررسی شامل مدول ( $y_1$ )، استحکام کششی ( $y_2$ )، کشش تا پارگی ( $y_3$ ) و شکل‌شناسی ( $y_4$ )،  $w_i$  وزن عوامل (میزان اهمیت عوامل) و  $y_{i max}$  حداکثر مقدار عوامل مختلف که در آزمایشها رخ داده، هستند.  $y_{i max}$  با توجه به جداول ۳ و ۵



شکل ۴ نمودار تغییرات کرنش کششی تا پارگی بر حسب سطوح.



شکل ۵ نمودار مقایسه چهار عامل مختلف در سطوح متفاوت در حالت کلی.

در نمودارهای شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد PU و کاهش درصد EVA، خواص مکانیکی زیاد می‌شود. همچنین با تغییر نوع EVA از ۱۸ به ۲۸ درصد، خواص مکانیکی به شدت کاهش می‌یابد. با توجه به نکات گفته شده و با در نظر گرفتن تمام عوامل مورد نظر، بهترین حالت برای داشتن شرایط بهینه، آمیخته PP/PU/EVA با ترکیب درصد ۲۰/۸۰/۵ است.

### نتیجه‌گیری

خواص فیزیکی، مکانیکی و شکل‌شناسی آمیخته سه جزئی PP/PU/EVA در نسبت‌های مختلف وزنی و با دو نوع EVA بررسی و نتایج زیر حاصل شد:  
- برای اصلاح خواص آمیخته PP/PU می‌توان از کوپلیمر EVA به عنوان حد واسط دو پلیمر استفاده کرد.

- افزودن حدود ۵ درصد EVA به آمیخته باعث بهبود خواص مکانیکی و شکل‌شناسی می‌شود. به وضوح ملاحظه می‌شود که EVA به اطراف PP را احاطه کرده و با کاهش کشش بین سطحی دو پلیمر، توزیع یکنواخت تری را از فاز PP در ماتریس PU ایجاد می‌کند. علت این پدیده به ساختار کوپلیمر EVA نسبت داده شده است. این کوپلیمر از دو بخش قطبی و غیر قطبی تشکیل شده است که در میان دو پلیمر قطبی PU و پلیمر غیر قطبی PP قرار

باید بر اساس مقدار اهمیت آن خاصیت یا آزمایش، وزن دهی شود. در این تحلیل برای استحکام کششی به دلیل اهمیت بیشتر آن، وزن معادل ۴۰ و برای هر یک از مدول کششی و کشش تا پارگی، وزن معادل ۱۰ اختصاص داده شد. برای آزمایش شکل‌شناسی روی سطح مقطع شکست، وزن ۴۰ در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که باید جمع این وزن‌ها برابر ۱۰۰ شود.

نکته حائز اهمیت این است که برای آزمایش‌هایی که نتایج آنها غیر عددی و کیفی هستند (مانند تصاویر گرفته شده با SEM برای بررسی شکل‌شناسی)، باید معادل عددی نسبی استفاده کرد. برای این کار می‌توان از عدد ۱ تا ۱۰ را به ترتیب ریزتر بودن فاز پراکنده PP در ماتریس PU شماره‌گذاری کرد. به این نحو که هر چه ریزی ذرات بیشتر باشد، عدد نسبت داده شده را باید بزرگتر در نظر گرفت. معادل عددی آزمایش شکل‌شناسی، در جدول ۵ مشاهده می‌شود. شایان ذکر است که اعداد انتخاب شده در جدول با در نظر گرفتن دو تصویر موجود در بزرگنمایی‌های مختلف برای هر نمونه است.

جدول ۵ تبدیل عوامل کیفی شکل‌شناسی به عامل کمی.

آمیخته	F <sub>۱۰</sub>	F <sub>۹</sub>	F <sub>۸</sub>	F <sub>۷</sub>	F <sub>۶</sub>	F <sub>۵</sub>	F <sub>۴</sub>	F <sub>۳</sub>	F <sub>۲</sub>	F <sub>۱</sub>
شکل‌شناسی	۱۰	۴	۲	۷	۶	۵	۱	۸	۳	۹



حالت آمیخته برای داشتن بیشترین خواص مکانیکی، آمیخته سه جزی PP/PU/EVA با ترکیب درصد ۲۰/۸۰/۵ و EVA نوع ۱۸ درصد است.

#### قدردانی

از آقای مهندس رضایی مدیر محترم فروش شرکت بهرادکاران به دلیل مساعدت در تهیه پلی اتریورتان تشکر و قدردانی می شود.

#### مراجع

1. Utracki L.A., *Polymer Alloys and Blends*, Hanser, New York, Chap. 1, 1990.
2. Hassan Ajili S., Golshan Ebrahimi N. and Khorasani M. T., Studies on TPU/PP Blend and Comparing it with PVC Used as Blood Bag, *Iran. Polym. J.*, **12**, 179-184, 2003.
3. Roy R.K., *A Primer on the Taguchi Method*, Van Nostrand Reinhold, 1990.
4. Lamba N.M.K., Woodhouse K.A. and Cooper S.L., *Polyurethanes in Biomedical Applications*, CRC, USA, Chap. 5, 1998.
5. Wallheinke K. and Postchke P., Coalescence in Blends of Thermoplastic Polyurethane and Polyolefins, *Polym. Eng. Sci.*, **39**, 1022-1034, 1997.
6. Wallheinke K., Potschke P. and Stutz H., Influence of Compatibilizer Addition on Particle Size and Coalescence in TPU/PP Blends, *J. Appl. Polym. Sci.*, **65**, 2217-2226, 1997.
7. Postchke P., Wallheinke K., Fritsche H. and Stutz H., Morphology and Properties of Blends with Different Thermoplastic Polyurethanes and Polyolefins, *J. Appl. Polym. Sci.*, **64**, 749-762, 1997.
8. Poole-Warren L.A., Martin D.J., Schindhelm K. and Meijs G.F., Polymeric Biomaterials, *Mater. Forum*, **21**, 241-256, 1997.

می گیرد.

- افزایش بیش از ۵ درصد EVA به آمیخته موجب کاهش خواص مکانیکی آمیخته می شود. این پدیده به ضعیف بودن خواص مکانیکی EVA و عملکرد آن به عنوان جزء سوم آمیخته و نه به عنوان حد واسط مربوط است.

- با استفاده از روش آماری تاگوچی (نرم افزار ۴-Qualitek)، بهترین

Archive