Archive of SID

زمستان ۱۳۹۰/ سال چهارم / شماره دوم

فصلنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک جامدات

www.jsme.ir

فصلنامه علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک جامدات

بررسی اثر پارامترهای مواد و فرایند بر استحکام کششی قطعات قالبگیری تزریقی تولیدشده از لاستیک بازیافتی و پلی‌پروپیلن

مهدی بزرگی[۱]، طاهر ازدست[۲،*]، سید عبدالمحمد رضاوند[۳]

* نویسنده مسئول: t.azdast@urmia.ac.ir

چکیده

در این مقاله به بررسی تأثیر درصد وزنی مواد اولیه، دمای مذاب و فشار تزریق بر استحکام کششی کوپلیمر پلی پروپیلن- پودر تایر بازیافتی در فرایند قالبگیری تزریق پرداخته شده است. عامل پیوند دهنده عرضی مالئیک آنیدرید به میزان ۵ درصد وزنی، درجه حرارت مذاب ۲۰۰، ۱۸۰ و ۲۲۰ درجه سانتیگراد و فشار تزریق ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ بار در نظر گرفته شده و هر آزمایش برای حصول اطمینان سه مرتبه تکرار شده است. خواص مکانیکی نمونه‌ها برای آزمایش کشش براساس استاندارد ASTM D638-02 بوده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار پودر تایر بازیافتی مقاومت کششی نمونه‌ها بطور چشمگیری کاهش می‌یابد. همچنین افزایش فشار تزریق و دمای مذاب، افزایش استحکام کششی را به‌دنبال دارد.

واژه‌های کلیدی

پودر تایر بازیافتی، خواص مکانیکی استحکام کششی، مالئیک آنیدرید، تزریق پلاستیک .

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ساخت وتولید، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی دانشگاه ارومیه.

۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

امروزه افزایش روزافزون ضایعات پلیمری یکی از مسائل مهم زیست محیطی دنیا است که توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. تنها ۸ تا ۱۲ درصد این ضایعات از نوع پلاستیک بوده و باقی آنها الاستومرها هستند. افزایش لاستیک‌های مستعمل مشکلات زیادی را در سطح جهان به وجود آورده‌است. در بسیاری از موارد لاستیک‌های مستعمل روی هم انباشته شده و به شکل کوهی از زباله مناظر نامطلوبی را به‌وجود می‌آورند و خطر آتش‌سوزی را به‌همراه دارد [۱-۲]. دوده‌های سیاه و مضر در اثر سوختن حتی یک حلقه لاستیک، مناطق بسیار وسیعی را آلوده کرده و محیط زیست را به خطر می‌اندازد. لذا معرفی روشهایی برای استفاده مجدد از لاستیکهای بازیافتی موجب حفظ محیط‌زیست خواهد شد.

اگر ضایعات لاستیک‌ها با آسفالت خیابان‌ها مخلوط شود، روکش با دوامی برای سطح جاده‌ها و باند فرودگاه‌ها به‌وجود می‌آید. روکش مخلوط شده از لاستیک‌های بازیافتی در آسفالت خیابان به سادگی ترک نمی‌خورد و موجب صرفه‌جویی مبالغ زیادی در بازسازی، لکه‌گیری و جلوگیری از آسفالت مجدد خیابان‌ها می‌شود [۱-۳]. رایج‌ترین شیوه بازیافت تایر استفاده مجدد از آن در ساخت تایرهای جدید است که در ایران به‌صورت جدی مورد توجه نیست. گسترش روز افزون تولید و مصرف تایر در ایران به تولید مقادیر قابل توجهی لاستیک‌های کهنه منجر شده که دفع این لاستیک‌ها با مشکلات اقتصادی و زیست محیطی همراه است [۴].

قابل ذکر است که در ایران تنها ۲ درصد از تایرهای فرسوده در کشور بازیافت می‌شوند در حالی‌که این رقم در ژاپن ۵۰ درصد است. در ضمن تولید سالیانه لاستیک در ایران بیش از ۲۰۰ هزار تن است.

امروزه تکنولوژی ترکیب لاستیک بازیافتی و ترموپلاستیک به‌عنوان ابزاری سودمند در پلیمرهای سفارشی برای برطرف کردن نیازهای استفاده‌کنندگان خاص به‌وجود آورده است. الاستومرهای ترموپلاستیک به‌دلیل داشتن خواص الاستومری و قابلیت تولید آسان و کم‌هزینه اهمیت زیادی دارند.

ترکیب لاستیک بازیافتی با ترموپلاستیک‌ها از نظر سهولت دفع ضایعات و همچنین کاهش هزینه‌های تولید بسیار با اهمیت است. بیشتر تحقیقات در این زمینه بر روی ترکیب کردن *GTR*[1] با ترموپلاستیک‌ها متمرکز شده است زیرا با ذوب مجدد آن می‌توان محصولات اکسترود شده و تزریقی تولید کرد.

خصوصیات مکانیکی این ترکیبات به‌عوامل زیادی از جمله: تراکم و مقدار *GRT*، نوع پلیمر زمینه ،چسبندگی بین ماتریس پلیمری و *GRT*، اندازه ذرات و اجزا و پراکندگی آنها، فعل و انفعال بین *GRT* و ماتریس بستگی دارد. به‌طور کلی چسبندگی بین *GRT* و ماتریس پلیمری و همچنین نسبت وزنی ذرات *GRT* دو عامل مهم برای کنترل خواص مکانیکی این قبیل کامپوزیت‌ها هستند.

فونگ و همکارانش [۵] به بررسی تأثیر درصد وزنی پودر تایر بازیافتی بر خواص مکانیکی کوپلیمر پودر تایر بازیافتی و PET[2] به‌روش قالبگیری تزریقی پرداختند و مشخص کردند که افزایش درصد وزنی پودر تایر از استحکام کششی کاسته ولی مقاومت به ضربه را افزایش می‌دهد.

لروی و همکارانش [۶] به بررسی تأثیر اندازه دانه‌های پودر تایر، دمای مذاب و درصد وزنی مواد اولیه بر خواص مکانیکی کوپلیمر پلی اتیلن سبک و پودر تایر بازیافتی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با افزایش اندازه ذرات پودر تایر خاصیت ارتجاعی و مقاومت کششی کوپلیمر کاهش ولی مقاوت به ضربه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش درجه حرارت مذاب و درصد وزنی LDPE[3]، درجه کریستالیتی کاهش می‌یابد. دونگ یانگ و همکارانش [۷] تحقیقی در زمینه تأثیر نسبت درصد وزنی مواد اولیه و اندازه دانه‌ها بر خواص مکانیکی کوپلیمر پودرتایر و ABS[4] طی فرایند تزریق انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که با ریزتر شدن اندازه ذرات پودر تایر و افزایش درصد وزنی ABS مقاومت کششی افزایش می‌یابد، اما مقدار سختی با اندازه

1- Ground Rubber Tire
2- Copolymer Waste Ground Rubber Tire-PET (WGRT-PET)
3- Low Densitye Polyethylene
4- Acrylonitrile-Butadine-Styrene

www.SID.ir

Archive of SID

ذرات پودر تایر نسبت مستقیم دارد. وانگ و همکارانش به‌بررسی تأثیر نوع ماده پیونددهنده عرضی برای کوپلیمر پلی‌پروپیلن و پودر تایر بازیافتی بر خواص مکانیکی پرداختند و این نتیجه حاصل شد که تغییرات برای ماده P-HVA2 نسبت به DCP[1] وضعیت بهتری دارد [۸]. سونیر و همکارانش [۹] به بررسی اثر درصد وزنی ماده پیونددهنده عرضی بر روی استحکام کششی و مقاومت به ضربه کوپلیمر پلی‌اتیلن سبک و پودر تایر به روش قالبگیری تزریقی پرداخته و دریافتند که با افزایش درصد وزنی عامل پیونددهنده عرضی استحکام کششی افزایش و مقاومت به‌ضربه کاهش می‌یابد. زانگ و همکارانش [۱۰] بروی تأثیر نوع عامل پیونددهنده عرضی بر خواص مکانیکی تحقیقی انجام دادند و دریافتند که تست‌های انجام شده برای ماده SEBS-g-Ma نتایج بهتری را نسبت به EPDM-g-Ma دارد. همچنین ویسکوزیته مذاب کوپلیمر با این ماده کمتر است.

خواص مکانیکی قطعات کوپلیمر متأثر از پارامترهای مواد و فرایندی مانند درجه حرارت مذاب، انواع مختلف مواد اولیه (ترموپلاستیک و لاستیک)، درصد وزنی مواد اولیه، درجه حرارت قالب، نوع و مقدار عامل پیوند دهنده است.

هدف این تحقیق، بهبود استحکام کششی قطعات کوپلیمر (پودر لاستیک بازیافتی- پلی‌پروپیلن) در فرایند قالبگیری تزریقی از طریق کنترل میزان عوامل درصد وزنی پودر تایر، فشار تزریق و درجه حرارت مذاب است.

با توجه به اهداف تعیین شده در این تحقیق و همچنین کثرت متغیرها و پارامترهای مؤثر در فرایند تزریق کوپلیمر مورد نظر، سه پارامتر که بیشترین تأثیر را بر خواص مکانیکی قطعات کوپلیمر را دارند طبق جدول (۱) تعیین شدند که دو پارامتر مربوط به فرایند و یک پارامتر مربوط به مواد است.

جدول (۱) پارامترهای متغیر تحقیق.

پارامترهای فرایند		پارامتر مواد
فشارتزریق (*Bar*)	درجه حرارت مذاب (°*C*)	درصد وزنی *PP*
۸۰۰، ۶۰۰، ۴۰۰	۲۲۰، ۲۰۰ ، ۱۸۰	٪۲۰، ٪۳۰، ٪۴۰

پارامترهای ثابت در این تحقیق طبق جدول (۲) تنظیم شده‌اند و بقیه پارامترها مانند جنس پلیمر و نوع عامل پیونددهنده عرضی و درصد وزنی آن، قطر نازل، قطر ماردون، زمان تزریق و سرعت تزریق بدون هرگونه تغییری انتخاب و در نظر گرفته شده‌اند.

جدول (۲) پارامترهای ثابت تحقیق.

پارامتر	مقدار
سرعت تزریق	۲۰ (*mm/s*)
نوع عامل پیوند دهنده عرضی	مالئیک آنیدرید
مقدار عامل پیوند دهنده عرضی	٪۵ وزنی پلیمر
زمان خنک کاری	۱۰ (*s*)
درجه حرارت قالب	۲۵ °*C*
زمان نگهداری فشار	۱۰ (*s*)
زمان تزریق	۱/۲ (*s*)

۲- آزمایش‌ها

پلیمر مورد استفاده در این تحقیق پلی‌پروپیلن (PP) به شکل دانه ساخت شرکت پتروشیمی تبریز با گرید I0800 ، شاخص جریان مذاب ($gr/10min$) ۱۱، چگالی (g/cm^3) ۰/۹۵۴ و دمای ذوب ۱۳۰ درجه سانتیگراد بوده است. دانه‌ها قبل از انجام آزمایش حداقل به مدت ۳ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، رطوبت‌زدایی شدند.

عامل پیوند دهنده عرضی، که به‌منظور ایجاد پیوند بهتر میان پلیمر و پودر لاستیک بازیافتی استفاده می‌شود، ماده شیمیایی مالئیک آنیدرید ساخت شرکت داخلی (تحت لیسانس Arkema فرانسه) بوده‌است. پودر تایر بازیافتی از لاستیک‌های فرسوده تهیه شده است که دارای مش۱۰۰ با کیفیت بالا و عاری از فیبر و سیم‌های فولادی است.

برای تزریق و تولید کوپلیمر پودر لاستیک بازیافتی و پلی پروپیلن ابتدا باید مواد اولیه را به‌صورت همگن ترکیب کرد و سپس توسط دستگاه تزریق معمولی و متداول فرایند قالبگیری را انجام داد. به همین منظور در این تحقیق ابتدا مالئیک آنیدرید را با ۵ درصد وزنی از پلی‌پروپیلن خالص در یک اکسترودر با هم مخلوط شده (این عملیات در شرکت کیکیا بسپار انجام شد) سپس دانه‌های حاصل همراه

1- Dicumyl Peroxide

www.SID.ir

Archive of SID

با پودر تایر بازیافتی و پلی پروپیلن خالص با نسبتهای وزنی مشخص طبق جدول (۳) به‌صورت دستی در یک طرف مخلوط شد.

جدول(۳) نسبت درصد وزنی مواد اولیه برای سه نوع کوپلیمر.

ردیف	مالئیک آنیدرید	پلی پروپیلن	پودر تایر بازیافتی
۱	٪۵	٪۷۵	٪۲۰
۲	٪۵	٪۶۵	٪۳۰
۳	٪۵	٪۵۵	٪۴۰

سپس هر یک از مخلوط‌های مورد نظر را به‌صورت جداگانه و به‌وسیله اکسترودر دومارپیچی غیرهمسوگرد مدل COLLIN ساخت کشور آلمان (مستقر در پژوهشگاه پلیمر پتروشیمی ایران) به‌صورت همگن ترکیب شد.

کوپلیمر اکسترود شده از مرحله قبل را به کمک آسیاب به دانه‌های ریز تبدیل شده و برای تزریق به درون قالب آماده شد. اگر سه جزء مالئیک آنیدرید، پلی پروپیلن و پودر تایر بازیافتی را به‌صورت فیزیکی مخلوط کرده و به کمک ماشین تزریق قالبگیری می‌شدند، به‌دلیل غیرهمگن بودن مخلوط، امکان تولید قطعه با پیوند ضعیف بین اجزای تشکیل دهنده بسیار زیاد است.

دانه‌های حاصل توسط دستگاه تزریق مدل FX88 که در شکل (۱) نیز مشاهده می‌شود، به درون حفره قالب تزریق شد.

شکل (۱) دستگاه تزریق مدل *HFX88* استفاده شده در آزمایش.

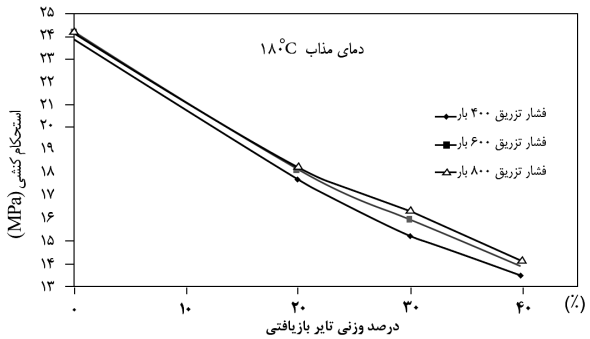
با توجه به تعداد پارامترهای متغیر در نظر گرفته شده، در مجموع ۲۷ آزمایش برای قطعات از جنس کوپلیمر طراحی شد. در ضمن برای مقایسه خواص مکانیکی قطعات تولیدی با نمونه PP خالص، تعداد ۹ آزمایش با شرایطی مشابه قطعات کوپلیمر تولیدی برای جنس *PP* خالص انجام شد. هر آزمایش برای اطمینان و حصول نتایج واقعی سه مرتبه تکرار شده است.

برای بررسی استحکام کششی طبق استاندارد ASTMD 638، نمونه‌های دمبلی شکل از قطعات تزریقی جدا شدند و از دستگاه کشش ساخت شرکت *GOTECH* مدل *AI-7000LA10* برای انجام آزمایش استفاده شد.

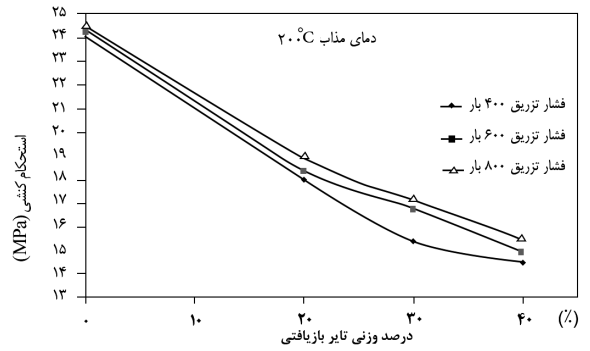
۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر درصد وزنی لاستیک بر استحکام کششی

در شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) تأثیر درصد وزنی پودر تایر بازیافتی بر استحکام کششی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد وزنی پودر تایر بازیافتی در دما مذاب و فشارهای تزریق مختلف، استحکام کششی کوپلیمر به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد.



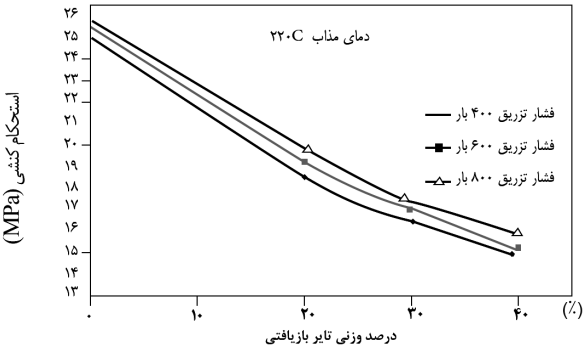
شکل(۲) تأثیر درصد وزنی پودر تایر بازیافتی بر روی استحکام کششی کوپلیمر با دمای مذاب ۱۸۰°C.



شکل (۳) تأثیر درصد وزنی پودر تایر بازیافتی بر روی استحکام کششی کوپلیمر با دمای مذاب ۲۰۰°C.

www.SID.ir

Archive of SID

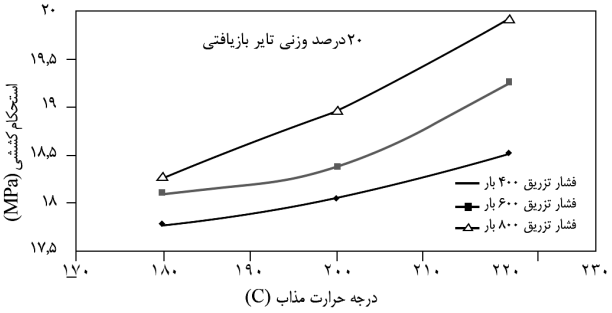


شکل(۴) تأثیر درصد وزنی پودر تایر بازیافتی بر روی استحکام کششی کوپلیمر با دمای مذاب C° ۲۲۰.

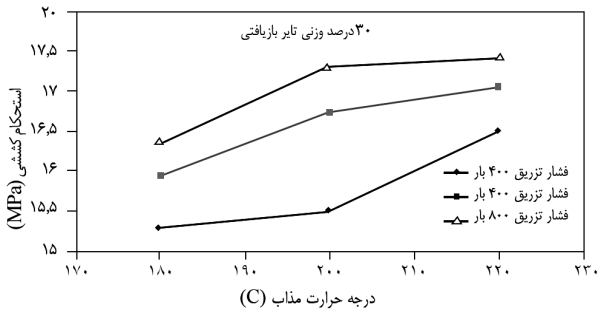
دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان کرد که با افزایش پودر تایر در ماتریس PP، میزان سطحی از ماتریس که وظیفه تحمل نیروی کششی انجام می‌دهد،کاهش یافته و در نتیجه کوپلیمر با نیروی کشش کمتری از هم گسیخته می‌شود. به بیان دیگر، ماتریس PP بین ذرات، با افزایش مقدار پودرتایر دارای طول پیوند و پیوستگی کمتری بوده و با نیروی کشش کمتری ماتریس گسیخته می‌شود.

۳-۲- تأثیر پارامترهای فرایند بر استحکام کششی

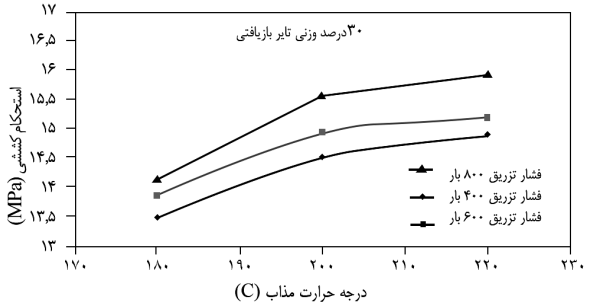
در شکل‌های (۵)،(۶) و(۷) تأثیر درجه حرارت مذاب و فشار تزریق بر استحکام کششی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش درجه حرارت مذاب و فشار تزریق در درصدهای وزنی مختلف از پودر تایر بازیافتی استحکام کششی افزایش می‌یابد.



شکل(۵) تأثیر درجه حرارت مذاب و فشار تزریق بر روی استحکام کششی کوپلیمر با ۲۰٪ وزنی پودر تایر بازیافتی.



شکل(۶) تأثیر درجه حرارت مذاب و فشار تزریق بر روی استحکام کششی کوپلیمر با ۳۰٪ وزنی پودر تایر بازیافتی.



شکل(۷) تأثیر درجه حرارت مذاب و فشار تزریق بر روی استحکام کششی کوپلیمر با ۴۰٪ وزنی پودر تایر بازیافتی.

دلیل این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که اولاً افزایش دما باعث می‌شود که ذرات لاستیک در ماتریس PP به‌همراه ماده پیوند دهنده عرضی به‌خوبی با هم آمیخته و در فصل مشترک مواد اولیه پیوند محکم‌تری برقرار شود در نتیجه استحکام کششی افزایش یابد. ثانیاً افزایش فشار در دما و درصد وزنی ثابت نیز باعث فشردگی بیشتر ماتریس و ذرات تایر و استحکام فصل مشترک بین آنها می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی اثر پارامترهای نسبت درصد وزنی مواد اولیه، فشار تزریق و درجه حرارت مذاب در فرایند تزریق کوپلیمر پودر تایر- ترموپلاستیک پرداخته شده و اثر این پارامترها بر روی استحکام کششی قطعات تولید شده مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. برای دستیابی به نتایج مطلوب و قابل قبول آزمایش‌های زیادی انجام شد به شرح زیر است:

www.SID.ir

Archive of SID

۱- استحکام کششی کوپلیمر در دما مذاب و فشار تزیق ثابت، با افزایش درصد وزنی ثابت از مواد اولیه به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد.

۲- استحکام کششی کوپلیمر در حرارت مذاب و درصد وزنی ثابت از مواد اولیه، با افزایش فشار تزریق افزایش می‌یابد.

۳- استحکام کششی کوپلیمر با افزایش درجه حرارت مذاب در فشار تزریق و درصد وزنی ثابت از مواد اولیه، به‌صورت جزیی افزایش می‌یابد.

۴- در شرایطی که دما مذاب و فشار تزریق ثابت و تنها درصد وزنی پودرتایر افزایش می‌یابد، کاهش استحکام کششی کوپلیمر خیلی بیشتر از حالتی است که درصد وزنی پودر تایر ثابت بوده و دمای مذاب و فشار تزریق متغیر است.

۵- تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از جناب آقایان مهندس قلاعی و مهندس جلوداریان به خاطر انجام تست‌های مکانیکی در پتروشیمی بندر امام، از جناب آقای مهندس بهروزنیا به خاطر همکاری جهت تزریق مواد در دانشگاه آزاد دزفول، از آقایان مهندس بغلانی، مسلم کاکولکی، پیام بزرگی و مجید بزرگی بخاطر همکاری در تمامی مراحل این تحقیق، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

[۱] کرافورد، رابرت جیمز،مهندسی پلاستیک، ترجمه کوکبی، مهرداد، مرکز نشر آثار علمی؛ ۱۳۷۷، صص ۳۰-۸.

[2] Park C.B., The Role Of Polymer/Gas Solutions In Continuous Processing Of microcellular Polymers, Ph.D. thesis, Mech. Eng. Department, MIT, 1993.

[3] Phadke A.A; Bhattacharya, A.K.; Chakraborty, S.K; De S.K. *Rubber Chemistry and Technology*, 1983, Vol. 56, p. 726.

[4] Avarami. Isayam , Recycling of rubbers , Institute of Polymer Engineering, The University of Akron , Akron, Ohio, 2010.

[5] K.L. Fung, Robert K.Y. Li, A study on the fracture characteristics of rubber toughened poly(ethylene terephthalate) blends , Department of Physics and Materials Science, City University of Hong Kong, Polymer Tasting , Vol. 24, 2005, pp. 863-872.

[6] R. Sonnier, E. Leroy, L. Clerc, A. Bergeret, J.M. Lopez-Cuesta, Polyethylene/ground tyre rubber blends: Influence of particle morphology and oxidation on mechanical properties, Ecole des Mines d'Ale`s, Centre des Mate´riaux de Grande Diffusion, *Polymer Tasting*, Vol. 26, 2007, pp. 274-281.

[7] D. Y. Wu , S. Bateman, M. Partlett, Ground rubber / acrylonitrile – butadiene – styrene composites, CSIRO Manufacturing and Infrastructure Technology, Melbourne, *Composites Science and Technology*, Vol. 67, 2007, pp. 1909-1919.

[8] M. Awang, H. Ismail , Preparation and characterization of polypropylene/waste tyre dust blends with addition of DCP and HVA-2 (PP/WTDP-HVA2), Universiti Sains Malaysia , Polymer Tasting, Vol. 27 ,2008, pp. 321-329.

[9] R. Sonnier, E. Leroy, L. Clerc, A. Bergeret, J.-M. Lopez-Cuesta, A.-S. Bretelle, P. Ienny, Compatibilizing thermoplastic/ground tyre rubber powder blends: Efficiency and limits , Centre des Mate´riaux de Grande Diffusion , Polymer Tasting, Vol. 27, 2008, pp. 901-907.

[10] S. L. Zhang, Z. X. Xin, Z. X. Zhang, J. K. Kim, Study of microcellular injection-molded polypropylene/waste ground rubber tire powder blend , Qingdao University of Science and Technology, Materials and Design, Vol. 31, 2010, pp. 589-593.

[11] B.Adhikari, D. De, S. Maiti, Reclamation and recycling of waste rubber,*Prog.*, Polym. Sci, Vol. 25, 2000, pp. 909-948.

www.SID.ir