

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

مهدی بزرگی^۱، طاهر ازدست^{۲*}، سید عبدالمحمد رضواند^۳

* نویسنده مسئول: t.azdast@urmia.ac.ir

واژه‌های کلیدی

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

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 به دنبال دارد.

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

۲- استادیار، دانشکده مهندسی دانشگاه ارومیه.

۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.

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 آورده است. در بسیاری از موارد لاستیک‌های مستعمل روی هم انباشته شده و به شکل کوهی از زباله مناظر نامطلوبی را به وجود می‌آورند و خطر آتش‌سوزی را به همراه 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 به وجود 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 تیر استفاده مجدد از آن در ساخت تیرهای جدید است که در ایران به صورت جدی مورد توجه نیست. گسترش روز افزون تولید و مصرف تیر 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 تیرهای فرسوده در کشور بازیافت می‌شوند در حالی که 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 به وجود آورده است. الاستومرهای ترموپلاستیک به دلیل 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 اکستروود شده و تزریقی تولید کرد.

خصوصیات مکانیکی این ترکیبات به عوامل 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. به طور 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 تیر بازیافتی بر خواص مکانیکی کاپلیمر پودر تیر بازیافتی و PET^2 به روش قالبگیری تزریقی پرداختند و مشخص کردند که افزایش درصد وزنی پودر تیر از استحکام کششی کاسته ولی مقاومت به ضربه را افزایش می‌دهد.

لروی و همکارانش [۶] به بررسی تأثیر اندازه دانه‌های پودر تیر، دمای مذاب و درصد وزنی مواد اولیه بر خواص مکانیکی کاپلیمر پلی اتیلن سبک و پودر تیر بازیافتی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با افزایش اندازه ذرات پودر تیر خاصیت ارتجاعی و مقاومت کششی کاپلیمر 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 کاپلیمر پودر تیر و ABS^4 طی فرایند تزریق انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که با ریزتر شدن اندازه ذرات پودر تیر 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 Density Polyethylene

4- Acrylonitrile-Butadiene-Styrene

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.

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

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/cm³) 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 به منظور ایجاد پیوند بهتر میان پلیمر و پودر لاستیک بازیافتی استفاده می‌شود، ماده شیمیایی مالئیک آنیدرید ساخت شرکت داخلی (تحت لیسانس Arkema فرانسه) بوده است. پودر تیر بازیافتی از لاستیک‌های فرسوده تهیه شده است که دارای مش ۱۰۰ 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 به صورت 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 بسیار انجام شد) سپس دانه‌های حاصل همراه

ذرات پودر تیر نسبت مستقیم دارد. وانگ و همکارانش به بررسی تأثیر نوع ماده پیونددهنده عرضی برای کوپلیمر پلی‌پروپیلن و پودر تیر بازیافتی بر خواص مکانیکی پرداختند و این نتیجه حاصل شد که تغییرات برای ماده P-HVA2 نسبت به DCP^۱ 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 تیر به روش قالبگیری تزریقی پرداخته و دریافتند که با افزایش درصد وزنی عامل پیونددهنده عرضی استحکام کششی افزایش و مقاومت به ضربه 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 تیر، 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.

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

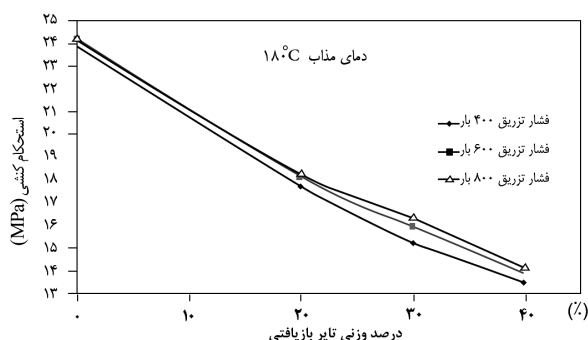
قطعات کوپلیمر تولیدی برای جنس PP خالص انجام شد. هر آزمایش برای اطمینان و حصول نتایج واقعی سه مرتبه تکرار شده است.

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

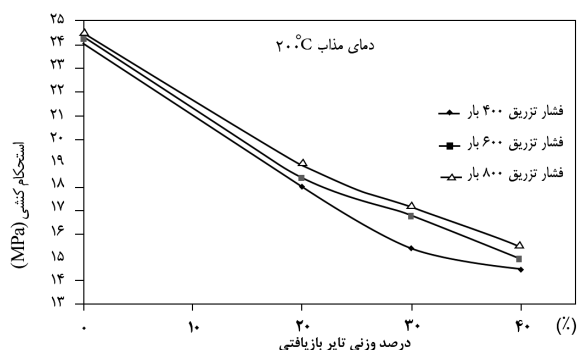
۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر درصد وزنی لاستیک بر استحکام کششی

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



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



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

با پودر تایلر باز یافتی 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 تایلر باز یافتی
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 دوماریچی غیرهمسوگرد مدل COLLIN ساخت کشور آلمان (مستقر در پژوهشگاه پلیمر پتروشیمی ایران) به‌صورت همگن ترکیب شد.

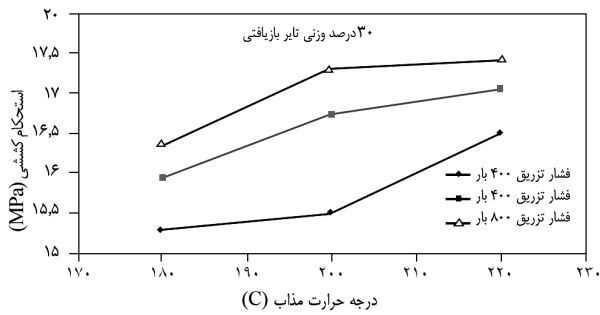
کوپلیمر اکسترودر شده از مرحله قبل را به کمک آسیاب به دانه‌های ریز تبدیل شده و برای تزریق به درون قالب آماده شد. اگر سه جزء مالئیک آنیدرید، پلی پروپیلن و پودر تایلر باز یافتی را به‌صورت فیزیکی مخلوط کرده و به کمک ماشین تزریق قالبگیری می‌شدند، به‌دلیل غیرهمگن بودن مخلوط، امکان تولید قطعه با پیوند ضعیف 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.

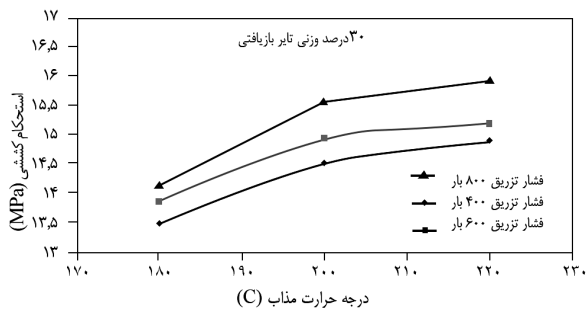


شکل (۱) دستگاه تزریق مدل HFX88 استفاده شده در آزمایش.

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



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

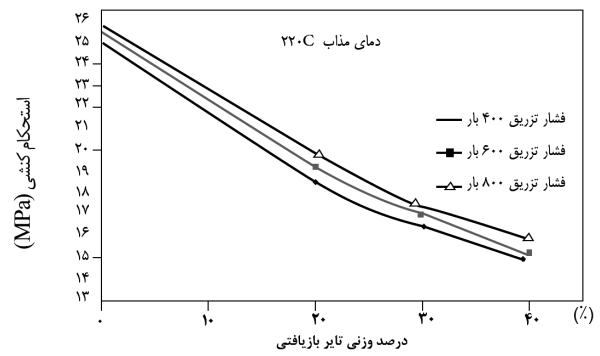


شکل (۷) تأثیر درجه حرارت مذاب و فشار تزریق بر روی استحکام کششی کوپلیمر با ۴۰٪ وزنی پودر تایر بازیافتی.

دلیل این امر را می توان این گونه بیان کرد که اولاً افزایش دما باعث می شود که ذرات لاستیک در ماتریس PP به همراه ماده پیوند دهنده عرضی به خوبی با هم آمیخته و در فصل مشترک مواد اولیه پیوند محکم تری 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 می شود.

۴- نتیجه گیری

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 آزمایش های زیادی انجام شد به شرح زیر است:

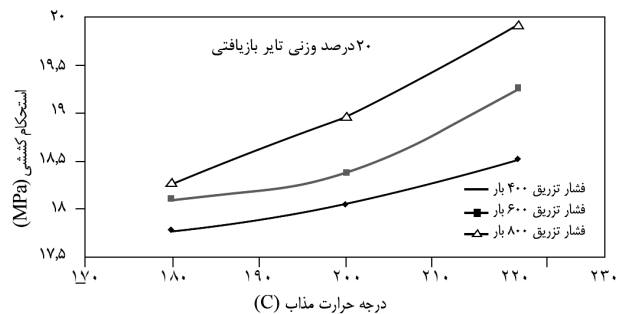


شکل (۴) تأثیر درصد وزنی پودر تایر بازیافتی بر روی استحکام کششی کوپلیمر با دمای مذاب ۲۲۰ °C.

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

۳-۲- تأثیر پارامترهای فرایند بر استحکام کششی

در شکل های (۵)، (۶) و (۷) تأثیر درجه حرارت مذاب و فشار تزریق بر استحکام کششی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش درجه حرارت مذاب و فشار تزریق در درصد های وزنی مختلف از پودر تایر بازیافتی استحکام کششی افزایش می یابد.



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

- [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'Alès, Centre des Matériaux 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 Matériaux 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.

استحکام کششی کوپلیمر در دما مذاب و فشار تزریق ثابت، با افزایش درصد وزنی ثابت از مواد اولیه به طور چشم گیری کاهش می یابد.

استحکام کششی کوپلیمر در حرارت مذاب و درصد وزنی ثابت از مواد اولیه، با افزایش فشار تزریق افزایش می یابد.

استحکام کششی کوپلیمر با افزایش درجه حرارت مذاب در فشار تزریق و درصد وزنی ثابت از مواد اولیه، به صورت جزئی افزایش می یابد.

در شرایطی که دما مذاب و فشار تزریق ثابت و تنها درصد وزنی پودر تاثیر افزایش می یابد، کاهش استحکام کششی کوپلیمر خیلی بیشتر از حالتی است که درصد وزنی پودر تاثیر ثابت بوده و دمای مذاب و فشار تزریق متغیر است.

۵- تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان این مقاله از جناب آقایان مهندس قلاعی و مهندس جلواریان به خاطر انجام تست های 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 کوکی، 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.