



## بررسی تاثیر مدت زمان اعمال فشار نگهداری بر پارامتر انقباض حجمی قطعه پلیمری جعبه فیوز خودرو پژو پارس بر پایه پلی‌آمید ۶.۶

علی رجبلو<sup>۱</sup>، نوید رمضانیان<sup>۲\*</sup>، سید ابودر فنایی<sup>۳</sup>

۱- دانشجو کارشناسی ارشد، شیمی پلیمر، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار، شیمی پلیمر، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند

ramezani@um.ac.ir

### چکیده

قالب‌گیری تزریقی با داشتن ویژگی‌های راندمان تولید بالا، دقت، اتوماسیون، استفاده از مواد و انعطاف‌پذیری مناسب در هندسه پیچیده، معمول‌ترین فناوری پردازش قطعات پلاستیکی بوده و به تولید اقلام پلاستیکی متفاوتی از نظر اندازه و کاربرد می‌پردازد. نرم‌افزار مولدفلو ابزاری است که به تجزیه و تحلیل قالب قطعات پلاستیکی می‌پردازد. در این مطالعه قطعه جعبه فیوز خودرو بر پایه ماده پلی‌آمید ۶.۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با استفاده از نرم‌افزار مولدفلو، بر اساس پارامتر مدت زمان اعمال فشار نگهداری، به بررسی تاثیر این پارامتر بر میزان انقباض حجمی قطعه جعبه فیوز خودرو پرداخته شد. بدین صورت که قطعه ابتدا مش‌بندی شد، سپس براساس آنالیزهای Molding window و Gate location به ترتیب شرایط بهینه تزریق و محل‌های تزریق مذاب مشخص شدند. در ادامه سیستم‌های راهگامی و خنک‌کاری طراحی شدند و در نهایت براساس آنالیز Cool+Fill+Pack زمان‌های مختلف اعمال فشار نگهداری مورد بررسی قرار گرفت و تاثیر این زمان‌ها بر میزان انقباض حجمی قطعه تحلیل و بررسی شد. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده شد که در اثر افزایش زمان اعمال فشار نگهداری، میزان انقباض حجمی مربوط به قطعه‌ی مورد مطالعه کاهش یافته، که این کاهش در میزان انقباض حجمی می‌تواند باعث افزایش کیفیت قطعه‌ی تولیدی شود.

**واژه‌های کلیدی:** قالب‌گیری تزریقی - مولدفلو - انقباض حجمی - فشار نگهداری

پلاستیکی را شبیه‌سازی کند، در نتیجه نقص احتمالی در طراحی محصول پیش‌بینی شده و عملکرد و کیفیت قطعات پلاستیکی تایید می‌شود [۳]. در همین زمینه مطالعه‌ای برای مقایسه طراحی‌های مختلف قالب برای نمونه آزمایشی لولای یکپارچه انجام شده که در آن ۶ طرح از طراحی قالب براساس سیستم تغذیه و راهگام‌ها شبیه‌سازی شد و براساس نتایج حاصل از آنالیزها، طرح با سازگاری بهتر، برای طراحی قالب انتخاب شد [۴]. همچنین در مطالعه دیگری، از نرم‌افزار مولدفلو برای بررسی توانایی فرآیند قالب‌گیری تزریقی چرخ‌دنده پلاستیکی با موادی همچون پلی‌آمید، پلی-فنیلن اتر (PPE) و ترکیبات پلی‌کربنات/آکریلونیتریل بوتادین استایرن (PC/ABS) استفاده شد و با تغییر پارامترهای فرآیند، اثرات شرایط فرآیند برای سه ماده پلیمری مختلف ارزیابی و مقایسه شد. در نهایت PPE میزان فرورفتگی و تاب خوردگی کمتری را در مقایسه با پلی‌آمید و PC/ABS نشان داد [۵].

قطعه‌ی مورد مطالعه در این پروژه که در نرم‌افزار مولدفلو مورد تحلیل و بررسی و آنالیز قرار می‌گیرد جعبه فیوز خودرو بر پایه ماده پلی‌آمید ۶.۶ می‌باشد که از این قطعه برای قرارگیری فیوزهای خودروها استفاده می‌شود، فیوزهایی که مربوط به برق بخش‌های مختلف خودرو (چراغ‌های داخل خودرو، چراغ‌های عقب و جلو) می‌باشند. جعبه فیوزهای خودروهای مختلف براساس نوع خودرو، شکل و ابعاد متفاوتی دارند که قطعه‌ی مورد مطالعه مربوط به خودروی پژو پارس می‌باشد.

### بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

شبیه‌سازی فرآیند تزریق پلاستیک توسط نرم‌افزار مولدفلو می‌تواند به ما کمک کند تا با انجام مش‌بندی مناسب، انتخاب محل صحیح تزریق مذاب و طراحی سیستم‌های راهگامی و خنک‌کاری متناسب با ساختار قطعه از طریق نرم‌افزار مولدفلو و انجام آنالیزهای مختلف به وسیله‌ی این نرم‌افزار، عملیات تزریق پلاستیک را بهینه‌سازی کرده و ضمن اصلاح فرآیند تزریق از طریق تغییر پارامترها، مشکلات این فرآیند (مانند ایجاد خط جوش بر روی قطعه، حبس هوا، اعوجاج و ...) را برطرف کرده و کوتاه‌ترین سیکل کاری را برای این فرآیند در نظر گرفت. در این مطالعه سعی بر این است تا بر اساس پارامتر مدت زمان اعمال فشار نگهداری، با استفاده از نرم‌افزار مولدفلو، به بررسی تاثیر این پارامتر بر میزان انقباض حجمی قطعه جعبه فیوز خودروی پژو پارس و به بهینه‌ترین شرایط دست پیدا کنیم.

### مقدمه

قالب‌گیری تزریقی با داشتن ویژگی‌های راندمان تولید بالا، دقت، اتوماسیون، استفاده از مواد و انعطاف‌پذیری مناسب در هندسه پیچیده، معمول‌ترین فناوری پردازش قطعات پلاستیکی است [۱]. قالب‌گیری تزریقی به تولید اقلام پلاستیکی متفاوتی از نظر اندازه و کاربرد می‌پردازد. از جمله مزیت‌های قالب‌گیری تزریق پلاستیک می‌توان به کوتاه بودن روند تولید محصولات با کیفیت بالا، خواص مکانیکی خوب با هزینه کم اشاره کرد. آزمون و خطا روش قدیمی مورد استفاده سازندگان قالب تزریق بود. این روش می‌تواند از طریق CAE با شبیه‌سازی الگوی جریان مذاب و پیش‌بینی عیوب کاهش یابد و می‌توان از آن با بهبود تعادل جریان جلوگیری کرد [۲]. نرم‌افزار مولدفلو به تجزیه و تحلیل قالب قطعات پلاستیکی می‌پردازد و می‌تواند فرآیند پر شدن و خنک‌کاری قطعات

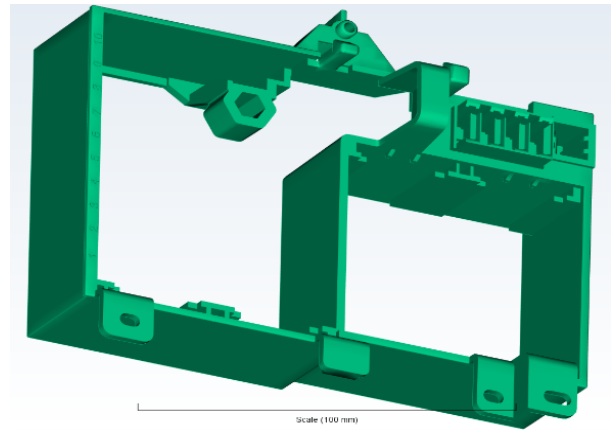


### روش تحقیق

این مقاله یک مطالعه‌ی علمی پژوهشی بوده که با استفاده از نرم‌افزار مولدفلو (محصول شرکت Autodesk) انجام گرفته است. از طریق این نرم-افزار فرآیند تزریق پلاستیک مربوط به قطعه جعبه فیوز خودرو شبیه‌سازی شده است تا بهترین شرایط تزریق بدست آید و براساس آن محصولات باکیفیتی تولید شود (کد پروژه: ۳/۵۶۹۷۵).

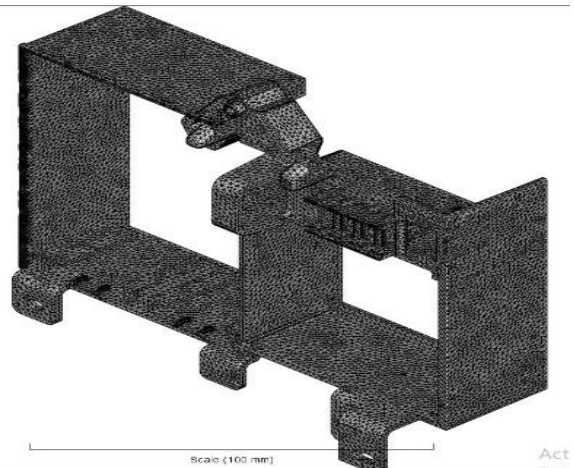
### ارائه نتایج و بحث

قطعه‌ی مورد مطالعه در این پروژه که در نرم‌افزار مولدفلو مورد تحلیل و بررسی و آنالیز قرار می‌گیرد جعبه فیوز خودرو می‌باشد. جعبه فیوزهای خودروهای مختلف براساس نوع خودرو، شکل و ابعاد متفاوتی دارند که قطعه‌ی مورد مطالعه مربوط به خودروی پژو پارس می‌باشد. این قطعه در نرم‌افزار کتیا طراحی و با فرمت STP به نرم‌افزار مولدفلو وارد شد. مدل سه بعدی قطعه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- مدل سه بعدی قطعه

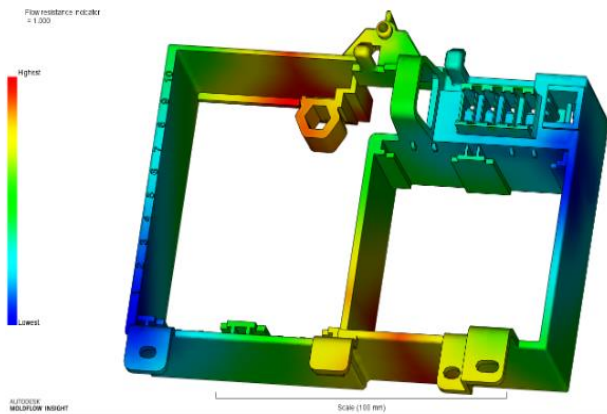
پس از آن مدل قطعه با عدد مش ۱ تحت مش بندی دو بعدی قرار گرفت، سپس با استفاده از قابلیت density و امکانات مربوط به مش بندی برخی ایرادات برطرف شد و اصلاح مش صورت گرفت، که به دنبال آن نسبت ابعادی از عدد ۱۵ به ۶.۷۹ تقلیل پیدا کرد و مدل برای انجام آنالیزهای مختلف آماده شد. شکل ۲ قطعه‌ی مش بندی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مدل مش بندی شده قطعه

در مرحله‌ی بعد آنالیز molding window برای دست یابی به شرایط بهینه‌ی تزریق انجام گرفت. هدف از انجام این آنالیز مشخص کردن مقادیر بهینه برای پارامترهایی همچون دمای قالب، دمای مذاب و زمان تزریق می‌باشد که این سه پارامتر برای ادامه کار و انجام آنالیزهای بیشتر بسیار موثر و با اهمیت می‌باشند. اگر این مقادیر به درستی در نظر گرفته نشوند آنالیزها دچار خطا شده و نتایج به درستی حاصل نمی‌شود. براساس نتایج این آنالیز، مقادیر ۰.۳۷۴۷ ثانیه برای زمان تزریق، ۹۷.۷۸ درجه سانتی‌گراد برای دمای قالب و ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد برای دمای مذاب پیشنهاد شد.

سپس براساس آنالیز Gate location بهترین مکان تزریق انتخاب شد. انتخاب محل تزریق مناسب به ما کمک می‌کند تا جریان مذاب به صورت یکنواخت همه نقاط قطعه را فرا گیرد. برای مشخص کردن نقطه یا نقاط تزریق مناسب، برخورداری از الگوی مش بندی مطلوب ضروری است. پس بر اساس آنالیز مکان یابی تزریق بهترین نقاط مشخص شد که شامل دو نقطه تزریق بود (شکل ۳).



شکل ۳- نتیجه آنالیز Gate location

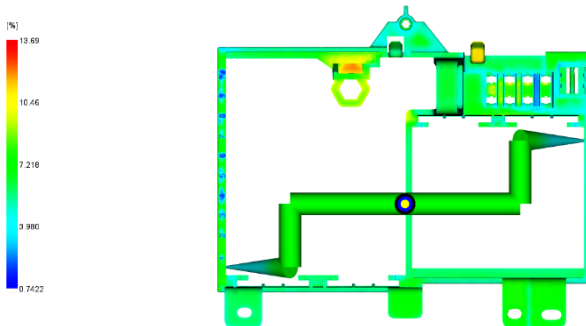
نتایج این آنالیز نشان می‌دهد که قسمت‌های آبی رنگ برای انتخاب به عنوان محل تزریق مناسب بوده ولی قسمت‌های قرمز رنگ برای تزریق مناسب نیستند. بر این اساس نقاط تزریق در قسمت‌های آبی رنگ مشخص شدند و پس از آن سیستم راهگامی برطبق این نقاط طراحی شدند.

برای طراحی سیستم راهگامی ابعاد مختلفی برای بوش تزریق، راهگاه و گلوبی مورد آنالیز قرار گرفت تا ابعاد بهینه بدست آید که بر این اساس طول و قطر ابتدایی بوش تزریق به ترتیب ۹۳.۴ و ۶ میلی‌متر، قطر راهگاه ۹ میلی‌متر و قطر ابتدایی گلوبی ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شدند (شکل ۴).



| زمان            | ۲۰ ثانیه | ۳۰ ثانیه | ۶۰ ثانیه |
|-----------------|----------|----------|----------|
| انقباض حجمی (%) | ۱۳.۹۴    | ۱۳.۸۷    | ۱۳.۶۹    |

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که در اثر افزایش مدت زمان اعمال فشار نگهداری از ۵ ثانیه به ۶۰ ثانیه، میزان انقباض حجمی مربوط به قطعه از ۱۴/۳۶ درصد به ۱۳/۶۹ درصد کاهش پیدا کرده است. شکل زیر نتیجه آنالیز انقباض حجمی را برای مدت زمان اعمال فشار نگهداری ۶۰ ثانیه نشان می‌دهند.

Volumetric shrinkage  
Time = 60.41(s)

شکل ۶- انقباض حجمی قطعه

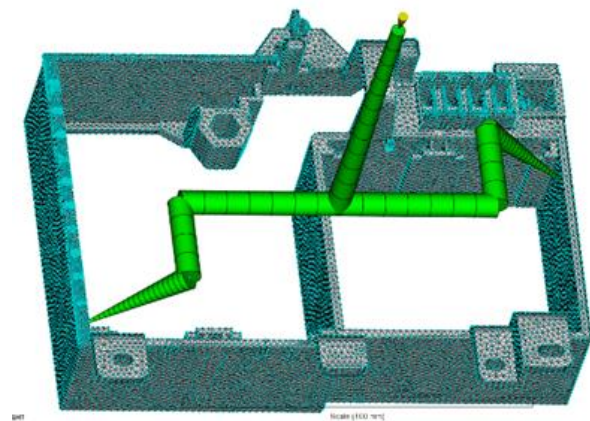
همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود قسمت‌های قرمز رنگ مربوط به مواضع با انقباض حجمی بالا و قسمت‌های آبی رنگ مربوط به مواضع با انقباض حجمی پایین می‌باشد. هرچه زمان اعمال فشار نگهداری افزایش یابد میزان انقباض در قسمت‌های قرمز رنگ کاهش می‌یابد و این مواضع از حالت بحرانی خارج می‌شوند. از دیگر عوامل موثر بر کاهش میزان انقباض حجمی، می‌توان به افزایش میزان فشار نگهداری، دمای قالب و دمای مذاب اشاره کرد.

#### نتیجه‌گیری

مطالعه صورت گرفته تاثیر پارامتر مدت زمان اعمال فشار نگهداری بر میزان انقباض حجمی قطعه جعبه فیوز خودرو را با استفاده از نرم افزار مولدفلو مورد بررسی قرار داد. طبق آنالیزهای انجام شده مشاهده شد در اثر افزایش مدت زمان اعمال فشار نگهداری از ۵ ثانیه به ۶۰ ثانیه، میزان انقباض حجمی مربوط به قطعه از ۱۴/۳۶ درصد به ۱۳/۶۹ درصد کاهش پیدا کرده است. پس بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که در اثر افزایش زمان اعمال فشار نگهداری، میزان انقباض حجمی کاهش می‌یابد که این کاهش در میزان انقباض حجمی می‌تواند باعث افزایش کیفیت قطعه‌ی تولیدی شود.

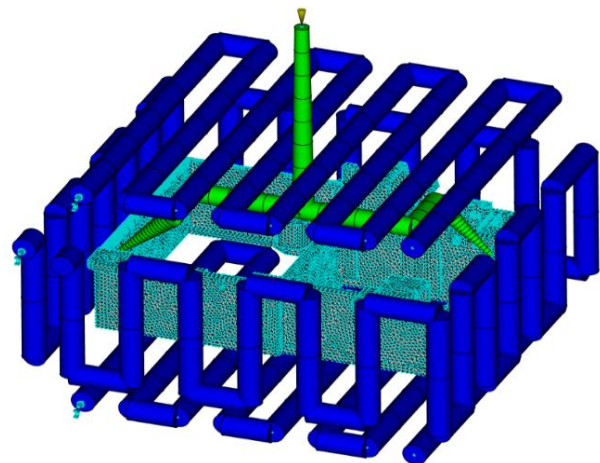
#### قدردانی

این پژوهش با حمایت معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد (کد پروژه: ۳/۵۶۹۷۵) در زیرگروه تخصصی شیمی پلیمر، گروه شیمی، دانشکده علوم انجام شده است.



شکل ۴- سیستم راهگاهی طراحی شده

سیس سیستم خنک کاری معمولی (U شکل) مطابق شکل ۵ طراحی شد. سیستم خنک کاری شامل کانال‌هایی است که در آن‌ها سیال خنک کننده جریان می‌یابد و باعث سرد شدن و منجمد شدن مذاب می‌شود. برای طراحی این سیستم کانال با قطر ۸ میلی‌متر و دمای سیال خنک کننده ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد.



شکل ۵- سیستم خنک کاری طراحی شده

پس از طراحی سیستم راهگاهی و سیستم خنک کاری، قطعه با اعمال ۸۰ درصد فشار نگهداری (۸۰ درصد از حداکثر فشار تزریق) تحت آنالیز Cool+Fill+Pack قرار گرفت و طی این آنالیز زمان‌های مختلف اعمال فشار نگهداری مورد بررسی قرار گرفت و تاثیر این زمان‌ها بر میزان انقباض حجمی قطعه تحلیل و بررسی شد. نتایج این آنالیزها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج آنالیزها

| زمان            | ۵ ثانیه | ۱۰ ثانیه | ۱۵ ثانیه |
|-----------------|---------|----------|----------|
| انقباض حجمی (%) | ۱۴.۳۶   | ۱۴.۰۹    | ۱۳.۹۴    |



#### مراجع

- [۱] Wang, X., Zhao, G. and Wang, G., ۲۰۱۳. Research on the reduction of sink mark and warpage of the molded part in rapid heat cycle molding process, *Materials & Design*, ۴۷, pp.۷۷۹-۷۹۲.
- [۲] Razak, Z., Sulong, A.B., Muhamad, N., Radzi, M.K.F.M., Farhani, N., Ismail, D.T. and Tharazi, I., ۲۰۱۸. Numerical Simulation Analysis of Wood/PP Composites for Injection-Moulded Car Battery Trays, *International Journal of Engineering & Technology*, ۷(۳,۱۷), pp.۱۵-۲۰.
- [۳] Yang, J.K., ۲۰۱۳, Analysis and optimization of Plastic parts moldflow based on Mold Flow. In *Advanced Materials Research* (Vol. ۷۰۹, pp. ۲۶۲-۲۶۵). Trans Tech Publications Ltd.
- [۴] Othman, M.H. and Nidzuwan, M., ۲۰۲۱, The Comparison on Mold Design for Injected Molded Integral Hinges Test Sample Via Autodesk MoldFlow Adviser ۲۰۱۹, *Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering*, 2(۱), pp.۱۸۷-۱۹۶.
- [۵] Mohammad, A.Z. and Rafai, N.H., ۲۰۲۲. Simulation Study and Analysis of Different Polymer Material in Injection Mould Process of Plastic Gear by Using Moldflow Adviser Software and Taguchi Method. *Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering*, 3(۱), pp.۴۶۵-۴۷۵.