بررسی تاثیر طول مسیر تزریق بر میزان فرورفتگی، انقباض حجمی و اعوجاج قطعه جعبه فیوز خودرو پژو پارس بر پایه پلی آمید ۶.۶

علی رجبلو[۱]، نوید رمضانیان[۲*]، سید ابوذر فنایی[۳]
۱- دانشجو کارشناسی ارشد، شیمی پلیمر، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استادیار، شیمی پلیمر، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند
ramezanian@um.ac.ir

چکیده
پلاستیک‌ها خواصی متفاوت از سایر مواد دارند که این باعث می‌شود آن‌ها را بعنوان علمی مجزا مورد مطالعه قرار دهند. یکی از مهم‌ترین روش‌های رایج برای شکل دادن پلاستیک‌ها فرآیند قالب‌گیری تزریقی می‌باشد که سرعت بالای تولید محصولات با اجزای پیچیده، دقت بالا و مقرون به صرفه بودن آن، این فرآیند را مورد توجه قرار داده است. مولدفلو یک نرم‌افزار شبیه‌سازی است که با صرفه‌جویی در زمان و هزینه به بررسی اثرات پارامترهای مختلف در طراحی قالب می‌پردازد. در این مطالعه براساس طراحی سیستم راهگاهی، با استفاده از نرم‌افزار مولدفلو، به بررسی تاثیر طول مسیر تزریق بر پارامترهای مهم فرآیند تزریق قطعه جعبه فیوز خودرو پژو پارس پرداخته شده است. بدین صورت که قطعه ابتدا مش‌بندی شد، سپس براساس آنالیزهای Molding window و Gate location به ترتیب شرایط بهینه و محل‌های تزریق مذاب مشخص شدند. در ادامه سیستم راهگاهی به دو حالت کوتاه و طویل با ابعاد یکسان از نظر طول و قطر بوش، طول و قطر گلویی و قطر راهگاه طراحی شد. سپس این سیستم‌ها تحت آنالیز Fill+Pack+Warp قرار گرفتند و نتایج آن باهم مقایسه شدند. درنهایت سیستم راهگاهی کوتاه از نظر میزان فرورفتگی، انقباض حجمی و اعوجاج نتایج بهتری را نسبت به سیستم راهگاهی طویل به ثبت رساند.

واژه های کلیدی: *مولدفلو – قالب گیری تزریقی – سیستم راهگاهی – فرورفتگی – انقباض حجمی*

مقدمه

پلاستیک‌ها خواصی متفاوت از سایر مواد دارند که این باعث می‌شود آن‌ها را به عنوان علمی مجزا مورد مطالعه قرار دهند. از جمله این خواص می‌توان به سختی، سبکی، انعطاف پذیری، رنگ پذیری، شفافیت، مقاوم بودن در مقابل خوردگی و شکل پذیری آسان اشاره کرد[۱]. یکی از مهم-ترین روش‌های رایج برای شکل دادن پلاستیک‌ها فرآیند قالب‌گیری تزریقی می‌باشد که سرعت بالای تولید محصولات با اجزای پیچیده، دقت بالا و مقرون به صرفه بودن آن، این فرآیند را مورد توجه قرار داده است. با رشد روزافزون تکنولوژی ابزارسازی، پیشرفت‌های زیادی در زمینه فرآیند تزریق مشاهده می شود که امروزه به ماشین‌های قالب‌گیری تزریق پلاستیک مدرن تبدیل شده است[۲و۳]. سازندگان قالب تزریق در روش های قدیمی از آزمون و خطا استفاده می‌کردند، اما امروزه از طریق مهندسی به کمک کامپیوتر الگوی جریان مذاب را شبیه سازی کرده و با پیش بینی عیوب باعث بهبود تعادل جریان در فرآیند تزریق می شوند[۴]. نرم‌افزار مولدفلو یک نرم‌افزار شبیه‌سازی است که با صرفه جویی در زمان و هزینه به تحلیل و بررسی اثرات پارامترهای مختلف موثر در طراحی قالب می‌پردازد. در صنایع مختلف از جمله تولید خودرو، تولید محصولات الکترونیکی و پزشکی این نرم‌افزار کاربرد وسیعی دارد. مولدفلو بر قطعات، پیشرفته‌ترین آنالیزها را انجام می‌دهد و دقیق‌ترین و باکیفیت‌ترین نتایج را در اختیار قرار می‌دهد[۵].

در همین زمینه مطالعه ای برای بهینه‌سازی فرآیند تزریق قطعه پوشش بالایی یک آداپتور سوکت الکتریکی با استفاده از نرم‌افزار مولدفلو انجام شده که در آن بهینه‌سازی انقباض حجمی، به حداقل رساندن علائم فرورفتگی و کاهش تاب خوردگی قطعه صورت گرفت. در نهایت با بدست آوردن یک پروفیل نگهداری موثر، انقباض حجمی بهینه شد و علائم فرورفتگی و تاب خوردگی کاهش پیدا کرد[۶]. همچنین در مطالعه دیگری از نرم‌افزار آنالیز تزریق پلاستیک مولدفلو برای بهینه‌سازی تعادل راهگاه در پوشش بالایی و پایینی جعبه نوار اصلاحی استفاده شد که در نهایت با بهینه‌سازی حفره ترکیبی، عدم تعادل زمان و فشار جریان مذاب در حفره بهبود یافت، اختلاف فشار بین حفره بالایی و پایینی کاهش پیدا کرد و کیفیت محصول افزایش یافت[۷].

در این پروژه قطعه ی مورد مطالعه جعبه فیوز خودرو پژو پارس بر پایه پلی آمید ۶.۶ می باشد که در نرم افزار مولدفلو مورد تجزیه و تحلیل و آنالیز قرار می گیرد. از این قطعه به عنوان محل قرارگیری فیوزهای خودرو (فیوزهای مربوط به برق قسمت های مختلف خودرو مثل چراغ ها) استفاده می شود.

بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

نرم افزار مولدفلو از طریق شبیه سازی فرآیند تزریق پلاستیک به ما کمک می کند تا بتوان با استفاده از مش‌بندی متناسب با قطعه، انتخاب درست محل تزریق، طراحی مناسب سیستم های راهگاهی و خنک کاری و انجام آنالیزهای مختلف، فرآیند تزریق را بهینه سازی کرده و با شناسایی عیوب، آن ها را برطرف کرده و بهترین شرایط را برای تزریق پلاستیک در نظر گرفت. همچنین بوسیله این نرم افزار می توان کوتاه ترین سیکل تزریق را برای فرآیند موردنظر پیش بینی نمود. در این مطالعه سعی بر این است تا براساس طراحی سیستم راهگاهی، با استفاده از نرم افزار مولدفلو، به بررسی تاثیر طول مسیر تزریق بر پارامترهای مهم فرآیند تزریق (فرورفتگی،

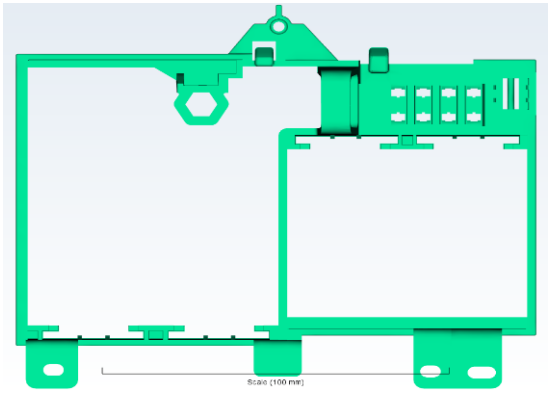
انقباض حجمی و اعوجاج) قطعه جعبه فیوز خودرو پژو پارس پرداخته شود و بهترین حالت آن انتخاب شود.

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).

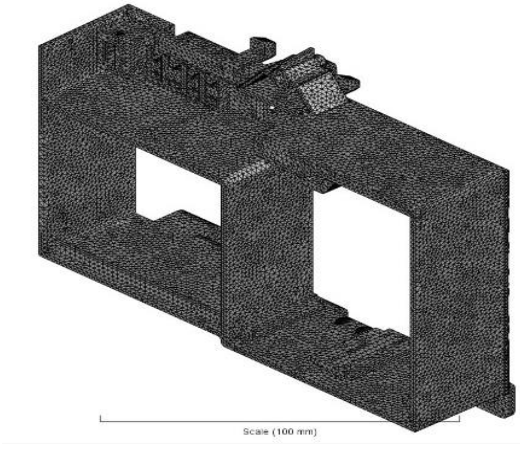
ارائه نتایج و بحث

قطعه جعبه فیوز خودرو پژو پارس که در این پروژه مورد مطالعه قرار می گیرد، ابتدا توسط نرم افزار کتیا طراحی شد و مدل سه بعدی آن که در شکل ۱ آورده شده است، با فرمت STP ذخیره شد. سپس این مدل به نرم افزار شبیه سازی مولدفلو وارد شد.



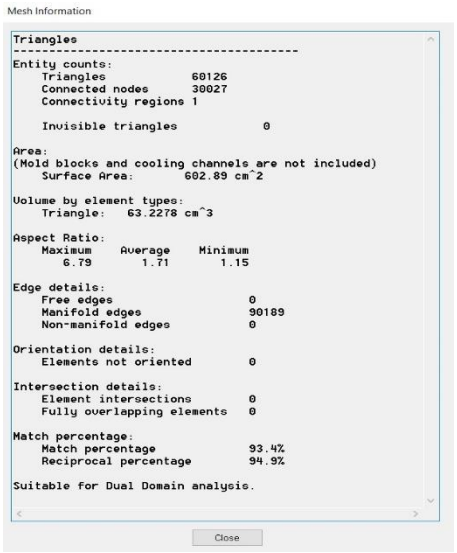
شکل ۱- مدل سه بعدی قطعه

پس از وارد کردن قطعه به نرم افزار مولدفلو، اولین مرحله انتخاب نوع مش بندی و مش بندی کردن قطعه می باشد. برای این کار ابتدا مدل مش بندی دو بعدی انتخاب و سپس با استفاده از قابلیت density برای مش بندی، عدد مش ۱ برای مش بندی عمومی قطعه و عدد مش ۰.۷۵ برای مش بندی اختصاصی قسمت های بحرانی درنظر گرفته شد. قطعه ی مش بندی شده در شکل ۲ نشان داده شده است.



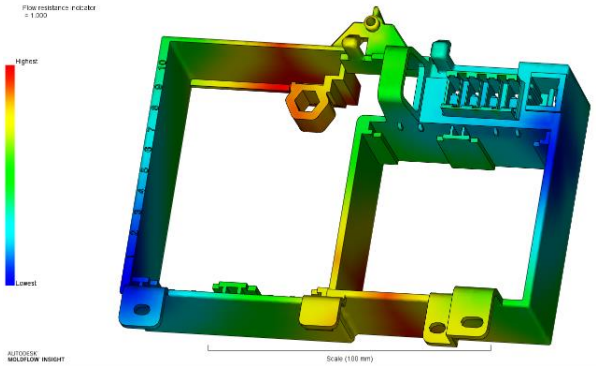
شکل ۲- مدل مش بندی شده قطعه

در ادامه برای جلوگیری از ایجاد خطا در آنالیزهای مختلف اصلاح مش بندی صورت گرفت، به طوری که نسبت ابعادی با استفاده از امکانات قسمت Mesh نرم افزار مولدفلو اصلاح شد و از عدد ۱۵ به ۶/۷۹ که مقدار مطلوبی است کاهش پیدا کرد، درصد تطابق مقدار ۹۳/۴ درصد را به ثبت رساند و هیچ موردی برای لبه آزاد، جهت گیری، تداخل و روی هم افتادگی المان ها مشاهده نشد. شکل ۳ نتایج حاصل از اصلاح مش بندی را نشان می دهد که این نتایج برای انجام آنالیزها مناسب می باشند.



شکل ۳- نتایج حاصل از اصلاح مش بندی

در مرحله ی بعد انتخاب محل تزریق و بهینه سازی آن صورت گرفت. انتخاب محل تزریق مناسب باعث می شود تا جریان مذاب به شکل یکنواخت به همه بخش های قطعه برسد. برای تعیین محل تزریق مناسب باید بعد از دستیابی به الگوی مش بندی مطلوب، آنالیز مکان یابی تزریق را برای قطعه انجام داد. ابتدا برای بهینه سازی تعداد محل تزریق، محل های تزریق از ۱ نقطه تا ۶ نقطه انتخاب شدند و مورد آنالیز قرار گرفتند ولی به علت طولانی شدن فرآیند تزریق در حالت ۱ نقطه ای و همچنین افزایش میزان خط جوش و تله های هوایی برای حالت های ۳ نقطه ای و بیشتر از آن، حالت ۲ نقطه ی تزریق به عنوان تعداد بهینه ی مکان تزریق انتخاب شد. در شکل ۴ نتیجه آنالیز مکان یابی تزریق (از نظر مقاومت جریان) را برای حالت ۲ نقطه ای می توان مشاهده کرد، که در این شکل قسمت های آبی رنگ برای محل تزریق مناسب می باشند.



شکل۴- نتیجه آنالیز مکان یابی تزریق (از نظر مقاومت جریان مذاب)

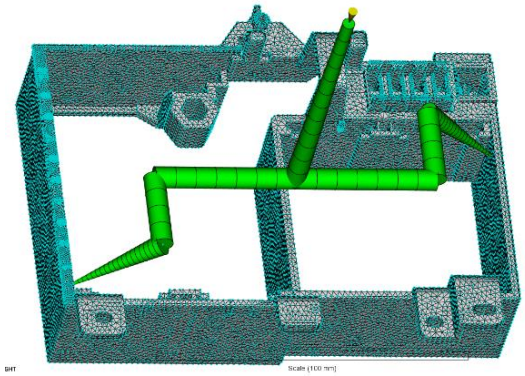
پس از تعیین محل تزریق، از قسمت مربوط به آنالیزها در نرم افزار، آنالیز Molding Window برای مشخص کردن مقادیر بهینه پارامترهایی همچون دمای قالب، دمای مذاب و زمان تزریق انتخاب شد و قطعه موردنظر تحت این آنالیز مورد بررسی قرار گرفت. این پارامترها برای انجام آنالیزهای بعدی بسیار اهمیت دارند و اگر به درستی درنظر گرفته نشوند، باعث ایجاد خطا در آنالیزها شده و نتایج اشتباه بدست می آید. جدول ۱ نتیجه این آنالیز و مقادیر بهینه برای پارامترهای ذکر شده را نشان می دهد.

جدول ۱- پارامترهای تزریق حاصل از آنالیز Molding Window

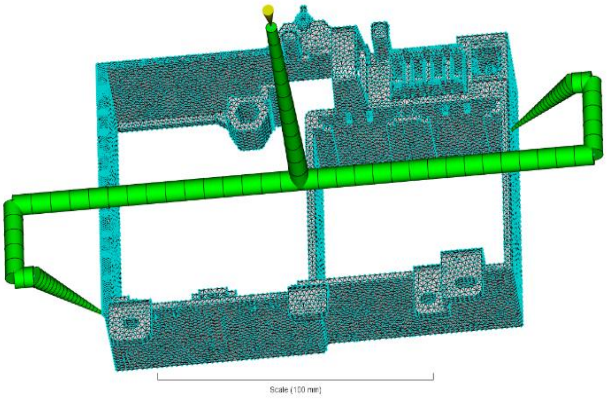
زمان تزریق	دمای قالب	دمای مذاب
۰/۳۷۴۷ s	۹۷/۷۸ °C	۲۹۰ °C

نتایج این جدول در ادامه کار و برای انجام آنالیزهای بعدی مورد استفاده قرار می گیرند. در واقع تنظیمات آنالیزهای بعدی با این مقادیر انجام می شود و آنالیزها با توجه به این نتایج صورت می گیرد.

در ادامه با توجه به نتایج آنالیزهای مکان‌یابی تزریق و Molding Window، سیستم راهگاهی به دو حالت کوتاه و طویل با ابعاد یکسان از نظر طول و قطر بوش تزریق، طول و قطر گلویی و قطر راهگاه طراحی شد. شکل ۵ سیستم راهگاهی کوتاه و شکل ۶ سیستم راهگاهی طویل را نشان می دهند.



شکل ۵- سیستم راهگاهی کوتاه



شکل ۶- سیستم راهگاهی طویل

در هر دو سیستم طول بوش تزریق ۹۳/۴ میلی متر، قطر ابتدایی بوش تزریق ۴ میلی متر، قطر راهگاه ۷ میلی متر و قطر انتهایی گلویی ۰/۷ میلی متر در نظر گرفته شدند. سپس این سیستم ها تحت آنالیز Fill+Pack+Warp قرار گرفتند و نتایج حاصل از این آنالیز از نظر میزان فرورفتگی، انقباض حجمی و اعوجاج مورد بررسی قرار گرفت و دو سیستم راهگاهی از این لحاظ مقایسه شدند. جدول ۲ نتیجه حاصل از این آنالیز را نشان می دهد.

جدول ۲- نتیجه آنالیز دو سیستم راهگاهی

	سیستم راهگاهی کوتاه	سیستم راهگاهی طویل
فرورفتگی (٪)	۰/۲۵۶۴	۰/۲۷۲۷
انقباض حجمی (٪)	۱۴/۵	۱۵/۸۱
اعوجاج (mm)	۱/۶۷۷	۱/۷۱۶

همانطور که در جدول بالا مشاهده می شود، سیستم راهگاهی کوتاه از نظر میزان فرورفتگی، انقباض حجمی و اعوجاج نتایج بهتری را نسبت به سیستم راهگاهی طویل به ثبت رسانده است. در واقع با کوتاه شدن مسیر تزریق فرورفتگی از ۰/۲۷۲۷ درصد به ۰/۲۵۶۴ درصد، انقباض حجمی از ۱۵/۸۱ درصد به ۱۴/۵ درصد و اعوجاج از ۱/۷۱۶ میلی متر به ۱/۶۷۷ میلی متر کاهش پیدا کرده است.

نتیجه‌گیری

مطالعه صورت گرفته تاثیر طول مسیر تزریق بر میزان فرورفتگی، انقباض حجمی و اعوجاج قطعه جعبه فیوز خودرو پژو پارس بر پایه پلی آمید ۶.۶ را با استفاده از نرم افزار مولدفلو مورد بررسی قرار داد. بر اساس آنالیزهای انجام شده مشاهده شد که سیستم راهگاهی کوتاه از نظر میزان فرورفتگی، انقباض حجمی و اعوجاج نتایج بهتری را نسبت به سیستم راهگاهی طویل به ثبت رساند. پس بر این اساس می توان نتیجه گرفت که هر چه طول مسیر تزریق کوتاه تر باشد، شرایط برای انجام فرآیند تزریق بهتر خواهد بود و محصول باکیفیت تری تولید خواهد شد.

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.

مراجع

[۱] Lokensgard, E., ۲۰۱۶. Industrial plastics: theory and applications. Cengage Learning.
[۲] József Karger-Kocsis and Tamás Bárány, ۲۰۱۹. Polypropylene Handbook Morphology, Blends and Composites. Cham Springer International Publishing.
[۳] Kugunavar, S. and Sannamani, L., ۲۰۲۰. Mould Flow Analysis of a Plastic Injection Moulding Component Using Software Tool to Obtain a Quality Output.
[٤] 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.

[۵] علی پناه، ر، ۱۳۸۶. "راهنمای نرم افزار MOLDFLOW PLASTICS INSIGHT (MPI)"، چاپ اول. تهران: نشر طراح.

[٦] Aigbogun, O.P. and Akindapo, J.O., ۲۰۲۲. Effect of Packing Profile on Optimisation of Plastic Injection Moulding Process. *International Journal of Mechanical Engineering*, *7*.

[۷] Wang, H. and Sun, C., ۲۰۲۰. Optimization Analysis of Correction Tape Box Compounding Cavity Runner Balance Based on Moldflow. *World Journal of Engineering and Technology*, *8*(۰۱), p.٤۲.