بررسی و مقایسه قالب آلومینیوم و فولاد ابزار بر نتایج اعوجاج و انقباض حجمی با شبیه‌سازی تزریق پلاستیک با استفاده از نرم‌افزار Moldflow در تولید رولر بر پایه پلی‌اتیلن‌وینیل‌استات

زهرا ابوالحسنی فر[۱]، نوید رمضانیان[۲*]، سید ابوذر فنایی[۳]، نگار اخلیان[۴]
۱- دانشجو کارشناسی ارشد شیمی پلیمر، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- عضو هیئت علمی و استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- عضو هیئت علمی و دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند
۴-فارغ التحصیل کارشناسی ارشد شیمی پلیمر، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
ramezanian@um.ac.ir

چکیده

فرآیند قالب‌گیری تزریقی از مهم‌ترین روش‌های تولید قطعات پلاستیکی با راندمان بالا و هزینه کم می‌باشد. قطعات پلاستیکی در طیف وسیعی از کاربردها استفاده می‌شوند، اما مفیدترین کاربرد محصولات پلاستیکی در بیمارستان‌ها و سیستم‌های بهداشتی و درمانی است. سیستم قالب در قالب-گیری تزریقی مجموعه‌ای است از صفحات قالب‌گیری که معمولاً از فولاد ابزار ساخته می‌شود. سیستم قالب به پلاستیک‌های داخل حفره قالب شکل داده و قطعه شکل می‌گیرد. در این پژوهش قطعه با استفاده از نرم‌افزار سالیدورکس طراحی و با نرم‌افزار مولدفلو، قالب‌گیری تزریقی قطعه‌ی غلتکی فیزیوتراپی شبیه‌سازی شد و سپس مقایسه و بررسی بین نتایج آنالیزهای اعوجاج، خنک‌کاری، پرشدن و فشرده‌سازی در دو جنس قالب فولاد ابزار p-20 (Tool steel p-20) و قالب آلومینیوم A1 (Aluminum A1) با رسانایی حرارتی متفاوت، انجام‌گرفت که با مقایسه دو قالب و مجموع نتایج آنالیزها، نتایج قالب آلومینیوم شامل میزان فرورفتگی ۱/۴۴۶ میلی‌متر با ۰/۲۵۳ میلی‌متر کمتر از طراحی با قالب فولاد ابزار، دمای سیال خنک‌کاری ۲۶/۱۹ درجه سانتی‌گراد که با ۴/۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد کمتر از طراحی با قالب فولاد ابزار و اعوجاج ۲/۰۶۶ میلی‌متر که با ۰/۲۰۵ میلی‌متر اعوجاج کمتر نسبت به طراحی با قالب فولاد ابزار بدست آمد. با توجه به مجموع نتایج قالب آلومینیوم مناسبتر از قالب فولاد ابزار برای طراحی این قطعه می‌باشد.

کلمات کلیدی : قالب‌گیری تزریقی –شبیه‌سازی- مولدفلو

مقدمه

اصل قالب‌گیری تزریقی بسیار ساده است. مواد پلاستیکی تا زمانی که به مذاب چسبناک تبدیل شود حرارت داده می‌شود. سپس به یک قالب بسته که شکل محصول مورد نظر را مشخص می‌کند، وارد می‌شود. در آنجا مواد خنک می‌شوند تا به حالت جامد برگردند، سپس قالب باز شده و قطعه سرد شده خارج می‌شود [۱].

شبیه‌سازی قالب به طراحان کمک می‌کند تا بدون نیاز به انجام فرآیند قالب‌گیری تزریقی، متوجه شوند که طراحی‌های قطعات پس از فرآیند قالب‌گیری تزریقی چه نتیجه‌ای می‌دهد [۲].

قالب در اصل یک مبدل حرارتی است که در آن مذاب گرمانرم به شکل دلخواه و جزئیات ابعادی که توسط حفره قالب ایجاد شده است، جامد می‌شود [۳].

بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

در این پژوهش نوآوری در طراحی قطعه مورد استفاده در فیزیوتراپی با استفاده از نرم‌افزار سالیدورکس انجام گرفت و سپس شبیه‌سازی قالب‌گیری تزریقی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی مولدفلو و طراحی کانال خنک‌کاری ساده صورت گرفته است، هدف از انجام این پروژه مقایسه، بررسی و پیش-بینی تاثیر دو جنس قالب بر نتایج پارامترهای اعوجاج، انقباض حجمی و فرورفتگی در قالب‌گیری تزریقی قطعه می‌باشد.

روش تحقیق

در ابتدا قطعه‌ی حاضر که توسط نرم‌افزار سالیدورکس طراحی شده است وارد نرم‌افزار مولدفلو شده و مش‌بندی سه بعدی برای قطعه صورت گرفت (شکل ۱).

شکل ۱ - مدل مش بندی شده قطعه

جنس قطعه از پلی‌اتیلن‌وینیل‌استات با نام تجاری تشکیل شده است که مشخصات آن در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات ماده

خواص ماده	مقدار
دانسیته مذاب (g/cm^3)	۰/۷۸۶۹۷
دانسیته جامد (g/cm^3)	۰/۹۲۶۰۴
حداقل دمای مذاب (^oC)	۱۵۰
حداکثر دمای مذاب (^oC)	۲۱۰
حداکثر تنش برشی(MPa)	۰/۱
حداکثر سرعت برشی(1/s)	۳۰۰۰۰

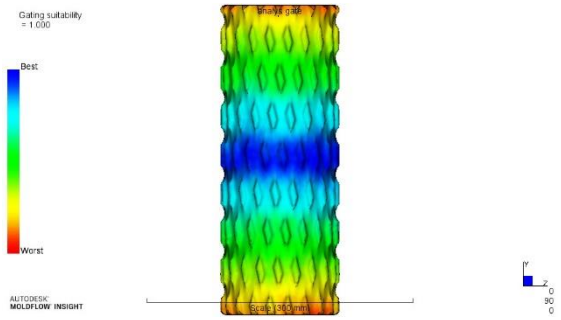
سپس باید دستگاه تزریق از لیست نرم‌افزار انتخاب شود. حداکثر فشار تزریق در دستگاه تزریق انتخاب شده در نرم افزار، ۲۰۵ مگاپاسکال می‌باشد که مشخصات دستگاه تزریق در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲ – مشخصات دستگاه تزریق

پارامتر	مقدار
نیروی گیره‌بندی (tone)	۵۳۰۰
حداکثر فشار هیدرولیکی ماشین (MPa)	۲۰/۵
حداکثر فشار تزریق ماشین (MPa)	۲۰۵

آنالیز مکان‌یابی برای نقطه تزریق انجام گرفته و مناسب‌ترین مکان برای انتخاب نقطه تزریق در وسط قطعه نمایان شد (شکل۲).

انتخاب محل نقطه تزریق بسیار مهم است، زیرا نقطه تزریق مستقیماً بر جریان مذاب در حفره قالب و تغییر شکل (اعوجاج) تأثیر می‌گذارد. طراحان می‌توانند با سرعت و با دقت، بهترین مکان نقطه تزریق را توسط نرم‌افزار مولدفلو پیدا کنند که باعث بهبود کارایی طراحی قالب، کیفیت محصولات و کاهش قیمت تمام شده می‌شود [۴].

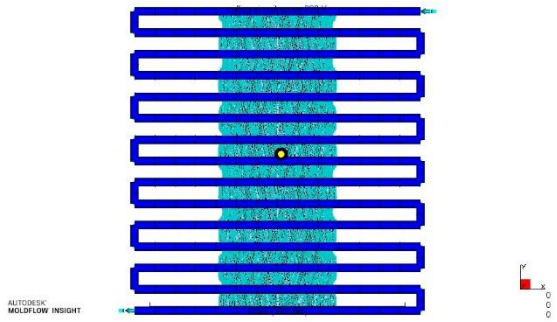


شکل۲- نتیجه‌ی آنالیز مکان‌یابی برای نقطه تزریق

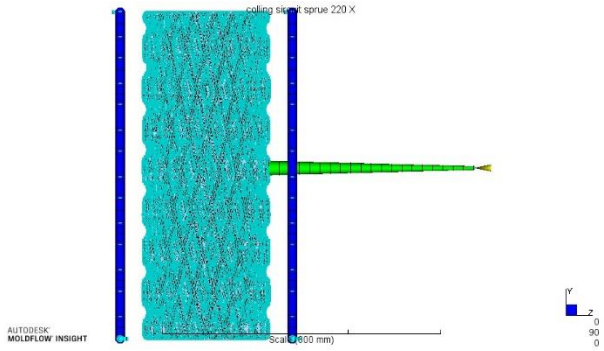
برای طراحی کانال‌های خنک‌کاری ابتدا طول بوش تزریق و قطر انتهایی آن بهینه گردید و سپس طراحی کانال خنک‌کاری با سیال خنک‌کاری (آب خالص)، به صورت دستی صورت گرفت که مشخصات کانال خنک‌کاری در جدول ۳ آورده شده و نماهای طراحی کانال خنک‌کاری در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳ - مشخصات کانال‌های خنک کاری

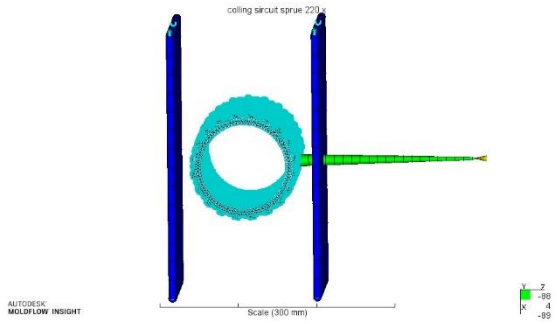
پارامتر	مقدار	واحد
قطر کانال	۱۰	mm
فاصله کانال از قطعه	۲۵	mm
تعداد کانال‌ها	۱۵	
دمای آب ورودی	۲۵	°C



شکل ۳- نمای اول طراحی کانال خنک‌کاری



شکل ۴- نمای دوم طراحی کانال خنک‌کاری



شکل ۵ – نمای سوم طراحی کانال خنک‌کاری

در طراحی قالب باید به قوانینی توجه کرد این قوانین عبارتند از: ۱- استفاده از دیوار یکنواخت که باعث کم شدن فرورفتگی، اعوجاج، زمان پرشدن قالب و زمان چرخه و تنش‌ها می‌شود و نتایج را بهبود می‌بخشد ۲-استفاده از شعاع مناسب در همه گوشه‌ها که باعث حرکت یکنواخت مذاب می‌شود ۳-استفاده از کمترین ضخامت مطابق با فرآیند، مواد یا الزامات طراحی محصول که فرآیند خنک‌کاری را سریع‌تر انجام می‌دهد و زمان چرخه قالب‌گیری تزریقی کوتاه‌تر می‌شود [۵].

پس از طراحی کانال خنک‌کاری دو شبیه‌سازی انجام شد. دو شبیه‌سازی با دو جنس قالب، قالب آلومینیوم (Aluminum A1) و قالب فولاد ابزار (Tool steel p- 20) صورت گرفت که مشخصات هر دو قالب در جدول‌های ۴ و ۵ قابل مشاهده است.

جدول ۴- مشخصات قالب فولاد ابزار p-20

پارامتر	مقدار	واحد
چگالی قالب	۷/۸	g/cm^3
رسانایی حرارتی قالب	۲۹	W/m.°C
گرمای ویژه قالب	۴۶۰	J/Kg.°C
ضریب انبساط حرارتی قالب	۱/۲e-۰۵	1/C
مدول الاستیک	۲۰۵۰۰۰	MPa

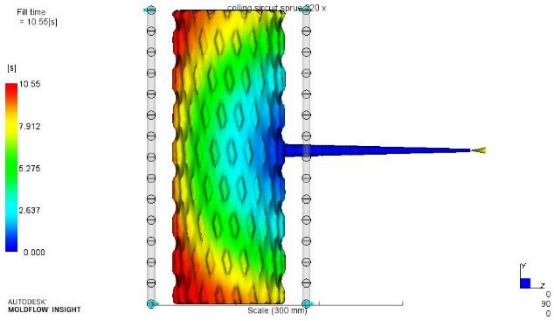
جدول ۵- مشخصات قالب آلومینیوم A1

پارامتر	مقدار	واحد
چگالی قالب	۲/۸	g/cm^3
رسانایی حرارتی قالب	۱۹۰	W/m.°C
گرمای ویژه قالب	۸۸۰	J/Kg.°C
ضریب انبساط حرارتی قالب	۲/۳۹e-۰۵	1/°C
مدول الاستیک	۷۱۰۰۰	MPa

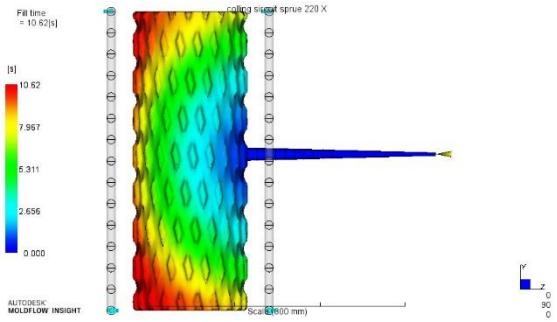
ارائه نتایج انجام آنالیزهاو بحث

مرحله پرشدن از جریان مذاب به داخل حفره شروع می‌شود و زمانی که حجم حفره قالب پرشد تمام می‌شود. فرایند پرکردن می‌تواند موقعیت جریان را در هر زمان محاسبه کند و برای پیش‌بینی رفتار پرشدن مواد پلاستیکی استفاده می‌شود [۴].

برای بررسی زمان پرشدن قطعه، دو قالب فولاد ابزار و آلومینیومی انتخاب شده‌اند که مطابق با شکل‌های ۶ و ۷، زمان پرشدن برای قالب فولاد ابزار ۱۰/۵۵ ثانیه و زمان پرشدن برای قالب آلومینیوم ۱۰/۶۲ ثانیه می‌باشد (شکل ۶ و ۷).

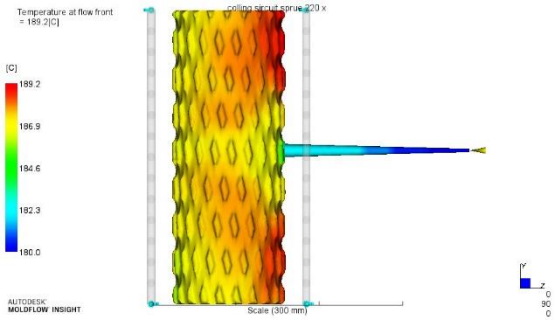


شکل ۶- زمان پرشدن برای قالب فولاد ابزار

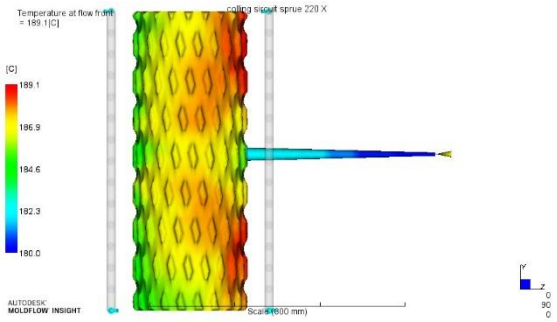


شکل ۷- زمان پرشدن برای قالب آلومینیوم

نتیجه‌ی پارامتر دمای جبهه‌ی مذاب برای قالب فولاد ابزار ۱۸۹/۲-۱۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و دمای جبهه مذاب برای قالب آلومینیوم ۱۸۹/۱-۱۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بدست آمده است (شکل ۸ و ۹).



شکل ۸- دمای جبهه مذاب برای قالب فولاد ابزار

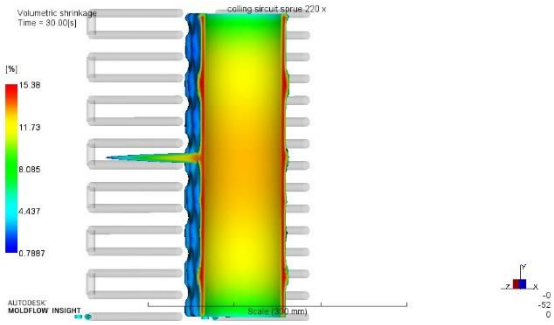


شکل ۹- دمای جبهه مذاب برای قالب آلومینیوم

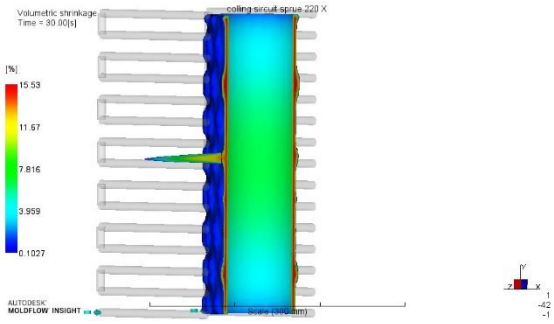
انقباض قطعه ممکن است به عنوان کاهش در اندازه قطعه در نظر گرفته شود. اگر انقباض یکنواخت باشد، قطعه تغییر شکل نمی‌دهد و به سادگی تبدیل به قطعه کوچکتر می‌شود. وقتی انقباض یکنواخت نباشد، تاب خوردگی ایجاد می‌شود. اگر مناطق قطعه به طور نابرابر کوچک شوند، تنش‌هایی در داخل قطعه ایجاد می‌شود که بسته به سختی قطعه ممکن است باعث ایجاد تغییر شکل در آن شود [۳].

نتیجه‌ی پارامتر انقباض حجمی برای قالب فولاد ابزار ۱۵/۳۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و انقباض حجمی برای قالب آلومینیوم ۱۵/۵۳ درجه‌ی سانتی‌گراد بدست آمده است اما در سطح قالب انقباض حجمی برای قالب آلومینیوم ۰/۶۸ درصد کمتر از انقباض حجمی قالب فولاد ابزار بدست آمده است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱، که به دلیل اینکه انقباض حجمی در سطح قطعه حدودا صفر می‌باشد و سطح قطعه کاملا به

رنگ آبی است، برای بهتر دیده شدن نتایج و رنگ‌ها در شکل، همه‌ی شکل‌های نتایج از صفحه‌ی yz برش خورده است تا مشاهده و مقایسه بین نتایج بهتر صورت پذیرد).



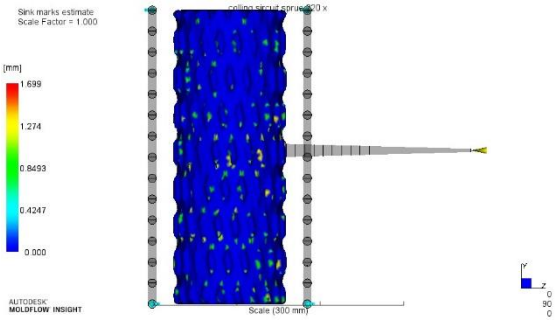
شکل ۱۰- نتیجه آنالیز انقباض حجمی برای قالب فولاد ابزار



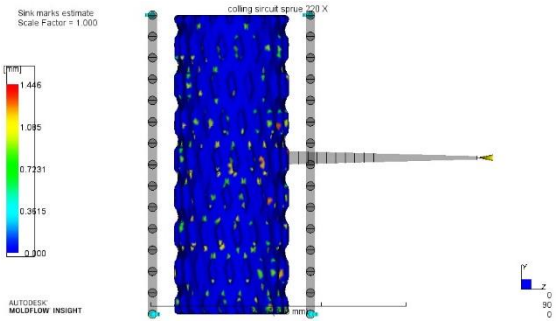
شکل ۱۱- نتیجه آنالیز انقباض حجمی برای قالب آلومینیوم

نتیجه آنالیز فرورفتگی، میزان احتمال به وجود آمدن فرورفتگی در قطعه را نمایش می‌دهد، هرچه مقدار ارائه شده توسط گزارش بیشتر باشد احتمال وقوع خلل و فرج یا نواحی گود افتاده در قطعه بیشتر می‌شود. در محاسبات مربوط به این گزارش انقباض حجمی و ضخامت قطعه در نظر گرفته می‌شوند [۶].

نتیجه‌ی پارامتر میزان فرورفتگی برای قالب فولاد ابزار ۱/۶۹۹ میلی-متر و میزان فرورفتگی برای قالب آلومینیوم ۱/۴۴۶ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۱۲ و ۱۳).

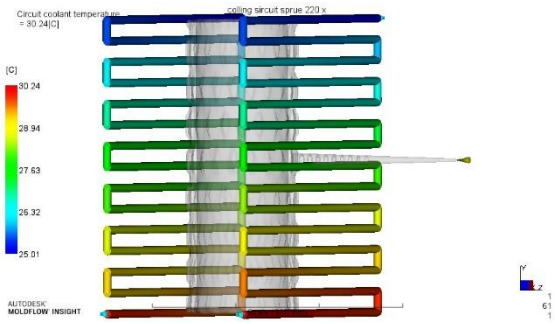


شکل ۱۲- میزان فرورفتگی برای قالب فولاد ابزار

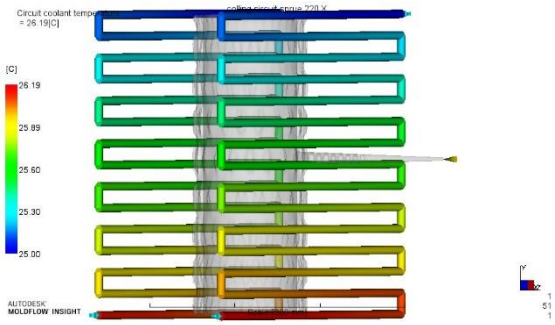


شکل ۱۳- میزان فرورفتگی برای قالب آلومینیوم

نتیجه‌ی پارامتر دمای سیال خنک‌کاری برای قالب فولاد ابزار ۳۰/۲۴-۲۵/۰۱ درجه‌ی سانتی‌گراد و برای قالب آلومینیوم ۲۶/۱۹-۲۵ درجه-ی سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۱۴ و ۱۵).

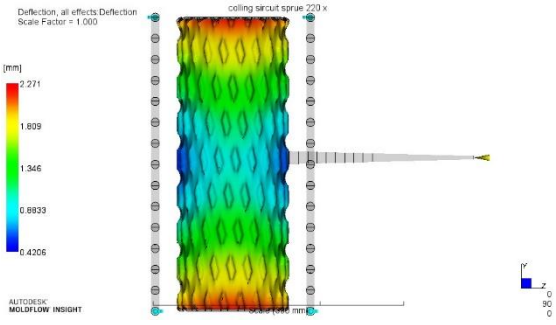


شکل ۱۴ -دمای سیال خنک‌کاری برای قالب فولاد ابزار

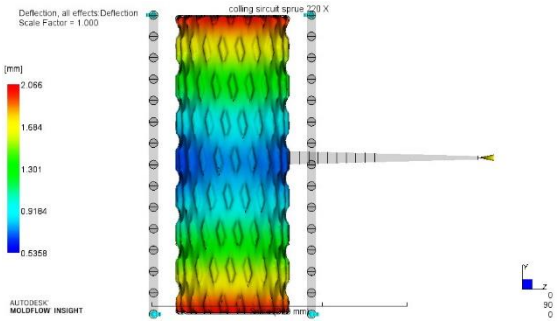


شکل ۱۵-دمای سیال خنک‌کاری برای قالب آلومینیوم

نتیجه‌ی پارامتر اعوجاج برای قالب فولاد ابزار ۲/۲۷۱ درجه‌ی میلی‌متر و برای قالب آلومینیوم ۲/۰۶۶ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۱۶ و ۱۷).



شکل ۱۶- نتیجه آنالیز اعوجاج برای قالب فولاد ابزار



شکل ۱۷- نتیجه آنالیز اعوجاج برای قالب آلومینیوم

نتیجه‌گیری

پس از انجام آنالیزهای زمان پرشدن، اعوجاج، فرورفتگی، انقباض حجمی، دمای جبهه مذاب و دمای سیال خنک‌کاری (آب) نتایج زیر حاصل شد:

- برای دو شبیه‌سازی با جنس قالب‌های فولاد ابزار و آلومینیوم و مقایسه نتایج آن‌ها زمان پرشدن برای طراحی با قالب فولاد ابزار ۰/۰۷ ثانیه کمتر از طراحی با قالب آلومینیوم بدست آمد.
- در پارامتر دمای جبهه مذاب در طراحی با قالب آلومینیوم ۰/۱ درجه سانتی‌گراد کمتر از طراحی با قالب فولاد ابزار نتیجه حاصل شد.
- در نتایج میزان فرورفتگی، طراحی با قالب آلومینیوم ۰/۲۵۳ میلی‌متر کمتر از طراحی با قالب فولاد ابزار نتیجه داد.
- در مقایسه‌ی نتایج اعوجاج برای هر دو قالب، طراحی با قالب آلومینیوم با ۰/۲۰۵ میلی‌متر اعوجاج کمتری نسبت به طراحی با قالب فولاد ابزار داشت.
- در مقایسه‌ی نتایج انقباض حجمی، طراحی با قالب آلومینیوم با ۰/۱۵ درصد بیشتر از طراحی با قالب فولاد ابزار بدست آمد، اما انقباض حجمی در سطح قطعه برای قالب آلومینیوم ۰/۶۸ درصد کمتر از قالب فولاد ابزار بدست آمد.
- در مقایسه‌ی نتایج دمای سیال خنک‌کاری طراحی با قالب آلومینیوم با ۴/۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد کمتر نسبت به طراحی با قالب فولاد ابزار بدست آمد.
- بنابراین با توجه به مجموع نتایج پژوهش انجام شده با تغییر جنس قالب از فولاد ابزار (Tool steel p-20) به قالب آلومینیوم (Aluminum A1) به دلیل رسانایی حرارتی بیشتر می‌توان نتایج بهتری را بدست آورد.

قدردانی

این پژوهش با حمایت معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد در زیرگروه تخصصی شیمی پلیمر، گروه شیمی، دانشکده علوم انجام شده است.

مراجع

[1] Maier, Clive and Calafut, Teresa. **1998**, Polypropylene The Definitive User's Guide and Databook Pages 159-188. Elsevier.

[2] Salunke, Manmit and Kate,Rushikesh and Lomate,Vishwas and Sopal,Gajanan, **2015,** Injection molding methods design, Optimization, simulation of plastic toy building block by mold flow analysis. International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET) 6(6).

[3] Shoemaker, J., **2006**, Moldflow design guide a resource for plastics engineers**.**

[4] Longzhi ،Zhao and Binghui,Chen and Min,yang and Shangbing,Zhang, 2010, Application of Moldflow software in design of injection mold. International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, 243-245.

[5] Gunawan, Hariyanto and Anggono, Willyanto, 2006, Improving quality of injection mold using moldflow software simulation case study: new design plastic cup. Proceeding of International seminar on Product Design and Development.

[6] علی پناه، رضا. ۱۳۹۴. راهنمای نرم افزار (MPI(Insight Plastics flow. چاپ سوم،تهران،نشر طراح.