

بررسی تجربی و شبیه سازی شده اثر نوع و هندسه دریچه تزریق، سرعت تزریق و دمای مذاب بر میزان انقباض ونحوه اعوجاج قطعات مستطیلی تخت تولیدشده از ترموپلاستیک ABS و PP به روش قالبگیری تزریقی

یوسف عباسی الیاسی^۱، سیدعبدالمحمد رضاوند^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
^۲ استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: پاییز ۹۶ پذیرش: پاییز ۹۷

چکیده

هدف این تحقیق، بررسی آزمایشگاهی و شبیه سازی شده اثر استفاده از دو نوع دریچه گلولی و مثلی و عوامل فرآیند سرعت تزریق و دمای مذاب بر میزان انقباض و نحوه اعوجاج قطعات تخت مستطیلی در قالبگیری تزریقی ترموپلاستیک های -آکریلونیتریل بوتادین استایرن و پلی پروپیلن می باشد. از دریچه مثلی متصل به یک سمت قطعه مستطیلی و دریچه گلولی متصل به وسط قطعه استفاده گردید. قطعات در دمای مذاب و سرعت تزریق مختلف تولیدشده و همین شرایط توسط نرم افزار Moldflow نیز شبیه سازی گردید. انقباض اضلاع قطعات و اعوجاج سطح قطعات توسط کولیس و ساعت اندازه گیری تعیین گردید. نتایج نشان داد که نوع دریچه اثر قابل توجهی بر اعوجاج قطعات داشته و اعوجاج قطعات دارای دریچه مثلی، کمتر است.

*عهده دار مکاتبات: m_rezavand@yahoo.com

کلمات کلیدی: قالبگیری تزریقی، پلی پروپیلن، آکریلونیتریل بوتادین استایرن، دریچه تزریق

۱- مقدمه

قالب گیری تزریقی که در اینجا مطرح گردیده است، یکی از پرکاربردترین روش های علمی ساخت قطعات پلاستیک می باشد. اساس کار این روش تزریق با فشار پلاستیک نرم شده در دمای بالای به یک حفره به شکل قطعه بوده نوع هندسه دریچه تزریق از پارامترهای مهم و مؤثر در کیفیت نهایی قطعه است. نوع و محل دریچه تزریق بر خواص و هندسه قطعه نهایی تاثیر دارد. همچنین گلولی اسپرو، گلولی لبه ای، گلولی دیسکی، گلولی حلقه ای، گلولی تونلی و گلولی زیر آبی که از دو نوع گلولی اسپرو، گلولی لبه ای به کار برده شده است. دارای مزایای: خطوط برخورد ندارد، این نوع دریچه برای ایجاد یک جریان یکنواخت در قسمت حفره قالب و جدا شدن اسان از طقه بدون اینکه روی آن اثر بگذارد.

اعوجاج یک عیب در قطعات پلاستیک تزریق بوده که معمولاً برای قطعات با طول زیاد و دارای ضخامت مختلف به وجود می آید. قطعه پس از تزریق، از نظر ابعادی، هندسه و زوایا تغییر می کند. اعوجاج قطعات تزریق شده به شدت به پدیده انقباض مواد وابسته است. زمانی که در قطعه انقباض به صورت غیر یکنواخت انجام گیرد، اعوجاج رخ می دهد.

در حالتی که اگر انقباض به صورت یکنواخت باشد این مشکل به حداقل می رسد. اعوجاج از مهم ترین عیوب قطعات قالبگیری تزریقی به ویژه در قطعات با ضخامت کم بوده و امکان پیش بینی و کنترل آن قبل از ساخت و صرف هزینه، همواره از موضوعات مورد توجه بوده است. با مقایسه فرآیندهای پر کردن در شرایط متفاوت می توان نتیجه گرفت که مجموعه بزرگ تری از سرعت تزریق منجر به نرخ پر کردن سریع تر شد و هیچ ارتباط بدیهی میان نرخ پر کردن با فشار تزریق وجود ندارد. روی هم رفته، دریچه، موجب سرعت تزریق و پر شدن کم می شود. فشار نگهداری به عنوان مهم ترین پارامتر تأثیرگذار بر روی انقباض تعیین شده که افزایش آن موجب کاهش انقباض در دو راستای صفحه ای و نیز راستای ضخامت می گردد. میزان تأثیر پارامترهای دمای قالب و مذاب نیز کمتر بوده است. نتایج حاکی از انقباض کم تر قطعات با دریچه تزریق باریک تر در شرایط فرآیندی ثابت دیگر بود. انقباض متقارن در تولید قطعه با دریچه ضخیم دست نیافتنی است. نتایج آن ها شامل بررسی بر روی سیستم خنک کاری قالب، مراحل فرآیند تزریق، خواص ویسکوالاستیک، میزان کریستاله شدن و PVT ماده بود. نتایج حاکی از اعمال کمی و کیفی بین نتایج تجربی و تحلیلی بود. در تحقیقات انجام

شده از چهار دریچه تزریق و سه نوع مواد گرما نرم دارای الیاف مختلف استفاده گردید. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که دمای مایع خنک کننده فشار تزریق و درصد الیاف شیشه از مهم ترین عوامل موثر در کاهش اعوجاج و انقباض قطعه بوده اند. هدف این تحقیق، تعیین اثر سرعت تزریق و دمای مذاب و محل و هندسه دریچه تزریق بر میزان انقباض و نحوه اعوجاج قطعات می باشد.

۲- تار یخچه

اعوجاج در فرآیند تزریق پلاستیک که به طور گسترده برای تولید قطعات پلاستیکی استفاده می شود، از مهم ترین عیوب تولیدی به ویژه در قطعات با ضخامت کم می باشد و امکان پیش بینی و کنترل آن قبل از ساخت و صرف هزینه، همواره از موضوعات مورد توجه بوده است. تحقیقات گسترده ای در این زمینه صورت گرفته است. پنچانگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ برای تولید قطعات در این پژوهش از سه دریچه مستطیلی شکل با اندازه های مختلف استفاده شده است. حفره قالب مورد استفاده در این مطالعه شامل یک نمونه کششی با یک راهگاه می باشد. شکل هندسی و ابعاد مدل نشان داده شده است. که بر اساس استاندارد ISO 521-2:2012 طراحی و ساخته شده است.

گفتنی است که دریچه حفره قابل جایگزینی است. سه دریچه با ابعاد مختلف در این آزمایش انتخاب شدند که دریچه ها دارای طول یکسان (دو میلی متر) اما با پهنا و عمق متفاوت هستند. بر اساس اندازه مقطع عرض نموده آنها به ترتیب دریچه S (کوچک)، دریچه m (متوسط) و دریچه L (بزرگ) نامیده شدند. وقتی فرآیند قالب گیری پلاستیک در حفره و کانال جریان بسته انجام می شود، فرآیند ذوب و پر کردن ذوب، سفت سازی و خنک کردن همگی نامرئی هستند. مربع مستطیل در تصویر منطقه ای را نشان می دهد که می تواند از طریق پنجره کنترل دیده شود همچنین نتایج آزمایشات آنها نشان داد که دما و سرعت تزریق در نحوه پر شدن قالب تاثیر زیادی دارد. با مقایسه فرآیندهای پر کردن در شرایط متفاوت می توان نتیجه گرفت که مجموعه بزرگ تری از سرعت تزریق منجر به نرخ پر کردن سریع تر شد و هیچ ارتباط بدیهی میان نرخ پر کردن با فشار تزریق وجود ندارد. روی هم رفته، دریچه کوچک تر از معمول مانند دریچه S، موجب سرعت تزریق و پر شدن کم می شود.

نتیجه گیری براساس آزمایشات تجسم قالب گیری تزریق و مشاهدات فشار پس ماندها، نتایج زیر استخراج می شوند. (۱) اندازه ی گیت یک عامل مهم است که بر عملکرد پر کردن تاثیر می گذارد گیت کوچکتر از حد معمول باعث بیرون ریختن و کاهش سرعت پر کردن خواهد شد، و احتمالا محصولات تزریقی کوچکی را تولید می کند. اگر دریچه به اندازه کافی بزرگ باشد، سرعت پر کردن، ثبات جریان و تمامیت محصولات، همگی بهبود خواهند یافت. علاوه بر این، این تاثیرات در شرایط پردازش دو برابر می شوند، تغییر سرعت تزریق و درجه حرارت و مانع تجزیه تغییر در عملکرد پر کردن می شود. (۲) گیت به صورت پیشگیری بر بزرگی و توزیع فشار پس ماندها تاثیر می گذارد. ممکن است فشار کمتری تولید کند. با مقایسه ی انجام شده بین این سه گیت، می توان در مقاله ی حاضر تشخیص داد که گیت کوچکتر از حد معقول تاثیرات نا سازگار

زیادی بر فرآیند پر کردن و فشار پس ماندها دارد. با این حال براساس نتایج سنتی، گیت بزرگتر بهتر نیست، مطالعات بیشتری نیاز است تا به بررسی این موضوع بپردازند.

پیمان شاهی و همکارانش در سال ۱۳۸۸ این تحقیق از نرم افزار MoldFlow برای بهینه سازی فرآیند تزریق و با هدف کاستن میزان اعوجاج در یک قطعه حساس و دقیق استفاده شده است.

پارامترهای دمای قالب، دمای مذاب، زمان تزریق، فشار و زمان نگهداری به عنوان پارامترهای فرآیند متغیر و پارامترهای موقعیت و شکل دریچه تزریق به عنوان پارامترهای طراحی در نظر گرفته شده اند.

با توجه به اهمیت تولید قطعات با ابعاد دقیق، بررسی و کنترل این دو پارامتر در قطعات دقیق در دور توجه خواهد بود. ضخامت قطعه صنعتی در نظر گرفته شده نیز نسبت به کارهای قبل، زیاد و متغیر می باشد که کنترل پدیده اعوجاج را با دشواری بیشتر روبرو می کند.

به منظور بررسی محل و شکل دریچه تزریق مناسب برای به حداقل رساندن میزان اعوجاج در لبه، چند مدل برای سیستم تغذیه براساس معیارهای متداول ذکر شده و در نرم افزار MoldFlow مدل شده است. ابعاد دریچه تزریق نیم دایره ای و مستطیلی در نظر گرفته شده به گونه ای است که دریچه های تزریق مورد نظر مقداری قطر هیدرولیکی معادل یکسان داشته باشند.

در نتیجه ابعاد گیت مستطیلی ۱۲×۶ میلی متر و قطر گیت نیم دایره ای ۱۲/۸ میلی متر در نظر گرفته شده است. مدل سیستم خنک کاری نیز برای هر سه حالت مختلف دریچه تزریق مناسب در نظر گرفته شده است. لبه مورد بررسی در قطعه منتهی گردیده است. مدل دقیق بودن لبه با توجه به کاربردهای آن می باشد، به این معنا که به خصوص دارای کمترین تورفتگی در ناحیه Z کمترین برآمدگی در راستای نسبت به خط متصل کننده دو سر لبه باشد. برای به دست آوردن مقدار تو رفتگی لبه نسبت به خط متصل کننده دو گوشه، تمامی گروه های واقع بر لبه در نظر گرفته شد. تغییر فرم لبه در راستای Z نشان داده شده است. دامنه ی تغییرات در راستای Z لبه در شکل های قابل مشاهده است.

نتیجه گیری در این تحقیق به موقعیت گیت جدا از شکل گیت موجب ایجاد حالت خاصی در شکل لبه مورد نظر در قطعه می گردد و شکل تاثیر دارد و Z گیت با حفظ حالت فقط بر میزان این تغییرات در راستای هر دو، پارامترهایی تاثیر گذار بر اعوجاج می باشند. کاهش دمای قالب در محدوده مجاز فرآیندی موجب کاهش انقباض می گردد. افزایش زمان نگهداری تا زمان انجماد دریچه تزریق برای کاهش اعوجاج، کاملاً موثر و در قطعات دقیق ضروری است. به منظور کاهش انقباض در تعیین پارامتر های دمای مذاب و زمان تزریق بایستی به دنبال یک نقطه بهینه بود.

اقبال و همکاران در سال ۲۰۱۲ قطعات به شکل چرخ دنده با استفاده از میکرو تزریق از کامپوزیت های پلیمری را انجام دادند. در تحقیقات انجام شده از چهار دریچه تزریق و سه نوع مواد گرما نرم دارای الیاف مختلف استفاده گردید. پارامترهای قالب گیری تزریق، زمان تزریق، فشار تزریق، دما مایع خنک کننده بود. که قطعه مورد نظر چرخ دنده در سیستم خنک کاری آن به شکل مورد نظر برای کاهش درجه حرارت قرار گرفته است. که در این تحقیق از نرم افزار مولد فلو MoldFlow برای انجام شبیه سازی تعداد دریچه تزریق و مواد گرم نرم دارای الیاف شیشه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که

نوع ترموپلاستیک مورد استفاده، نوع دریچه، سرعت تزریق و دمای مذاب، عوامل متغیر این تحقیق بوده که در جدول ۱ و ۲ آورده شده‌اند.

۳-۳- جدولها، شکل‌ها، دیگرام‌ها و تصاویر

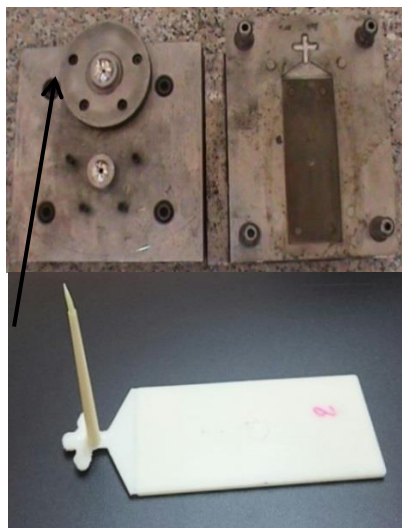
در این تحقیق از دو نوع دریچه مثلثی (Fan Gate) و گلوبی (Sprue Gate) استفاده شده‌است. قالب مورد استفاده دارای هر دو این دریچه‌ها بوده و در هر مورد، یک دریچه توسط پین فلزی، مسدود گردیده‌است. شکل ۱-۲ محل این دو نوع دریچه را بر روی قالب نشان می‌دهد.

جدول ۱: عوامل متغیر

عوامل متغیر	مکان دریچه	سرعت تزریق (cm ³ /s)	دمای مذاب (° C)	ترموپلاستیک
مقادیر	گوشه	۲۴، ۲۷ و ۲۱	۲۳۵، ۲۵۰ و ۲۲۰	SD 105/ABS
		۲۴، ۲۷ و ۲۱	۲۳۵، ۲۵۰ و ۲۲۰	C30S/PP
	وسط			

جدول ۲: پارامترهای ثابت در فرآیند عملی و شبیه سازی

پارامترهای ثابت	سرعت تزریق	زمان نگهداری (ثانیه)	زمان تزریق (ثانیه)	فشار نگهداری (MPa)	فشار تزریق (MPa)
مقادیر	۲۳ درصد	۲	۲	۴۷	۵۵

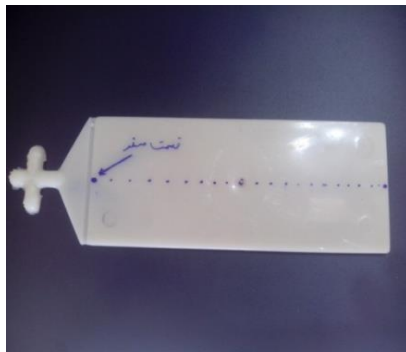


نوع گیت مثلثی (G1)

دمای مایع خنک کننده فشار تزریق و درصد الیاف شیشه از مهم ترین عوامل موثر در کاهش اعوجاج و انقباض قطعه بوده‌اند.

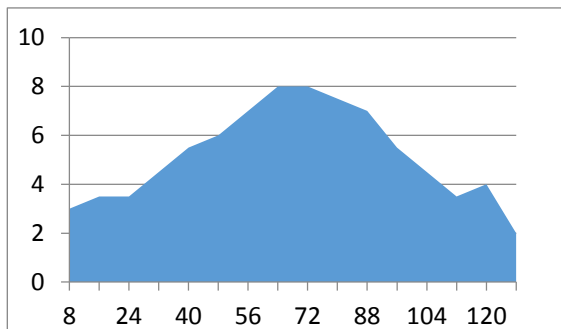
ماتسکا اعوجاج را برای یک قطعه مربعی از روی اختلاف دمایی بین سطوح بالایی و پایینی، تنش برشی ناشی از جریان، انقباض و خواص تغییر یکنواخت ماده ناشی از جهت گیری الیاف پیش‌بینی کرد. نتایج شبیه سازی تطابق خوبی با نتایج عملی برای یک قطعه نقره ای داشت. [7] بوشکو و استوکس به بررسی اثر دمای قالب و مذاب فشار نگهداری و ضخامت دیواره بر روی انقباض و تنش‌های پسماند پرداختند. فشار نگهداری به عنوان مهم ترین پارامتر تأثیرگذار بر روی انقباض تعیین شده است که افزایش آن موجب جنبه کاهش انقباض در دو راستای صفحه‌ای و نیز راستای ضخامت می‌گردد. میزان تأثیر پارامترهای دمای قالب و مذاب نیز کمتر بیان شده است. لئو و سوولیز اثر پارامترهای زمان و فشار نگهداری و هندسه دریچه تزریق، بر روی دمای نهایی به روش تجربی بررسی کرد. نتایج حاکی از انقباض کمتر قطعات با دریچه تزریق باریک‌تر در شرایط فرآیندی تغییر دیگر بود. وی بیان کرد که انقباض متقارن در تولید قطعه با دریچه ضخیم دست نیافتنی است. جانسن و تیتومالینو را با در نظر گرفتن یک مدل الاستیک ساده به بررسی میزان انقباض در ماده نهایی و توزیع تنش‌های پسماند پرداختند و از این طریق تحلیلی نشان دادند که مدت زمان نگهداری فشار بیشتر منجر به انقباض کمتر می‌شود. چانچ و تسور شبیه‌سازی تئوری و نتایج تجربی خود را در انقباض، اعوجاج و مکش در قطعات تزریقی نیمه کریستالی بیان کردند. نتایج آن‌ها شامل بررسی بر روی سیستم خنک‌کاری قالب، مراحل فرآیند تزریق، خصوصیات ویسکوالاستیک، میزان کریستاله شدن و PVT ماده بود. نتایج حاکی از اعمال کمی و کیفی بین نتایج تجربی و تحلیلی بود. تحقیقات دیگری گسترده‌ای نیز برای بهینه کردن و کاهش اعوجاج در قطعات نازک انجام گرفته است. ساهاو با به کارگیری هم‌زمان روش تحلیلی دثو اعوجاج را کاهش داد. روش‌های مذکور هزینه بر و وقت گیر بودند. در این مقایسه با این‌ها، برای آنالیز پارامترهای مؤثر تحقیقاتی را با استفاده از روش تاگوچی که ساده‌تر بود، صورت گرفت. به طور گسترده‌ای نیز با استفاده از سایر روش‌ها همچون شبکه هندسی الگوریتم ژنتیک، DOE و MOLDFLOW به منظور بهینه‌سازی صورت گرفته است. در این تحقیق علاوه بر بررسی و بهینه‌سازی پارامترهای تزریق چون فشار و زمان نگهداری، زمان تزریق، دمای قالب و مذاب به بررسی اثر محل و شکل دریچه تزریق بر اعوجاج نیز پرداخته شده است که در کارهای قبل این دو پارامتر کمتر مورد بحث و بررسی قرار گرفته شده‌اند و اثر آن‌ها بر اعوجاج بهینه ذکر شده است. حال آن‌که با توجه به اهمیت تولید قطعات با ابعاد دقیق و بررسی کنترل این دو پارامتر در قطعات دقیق در خور توجه خواهد بود ضخامت قطعه صنعتی در نظر گرفته شده نیز نسبت به نظریه ی قبل، زیاد و متغیر می‌باشد که کنترل پدیده اعوجاج رابادشواری بیشتری روبرو می‌کند. در تحلیل المان محدود این قطعه نیز از امکان جدید نرم افزار MOLDFLOW و المان‌های سه بعدی هرمی به منظور افزایش دقت نتایج استفاده شده است. بررسی قابلیت نرم افزار شبیه ساز در تعیین رفتار ویسکوالاستیک ماده از دیگر موارد مورد بحث در این تحقیق است.

۳- مواد، روش و آزمون



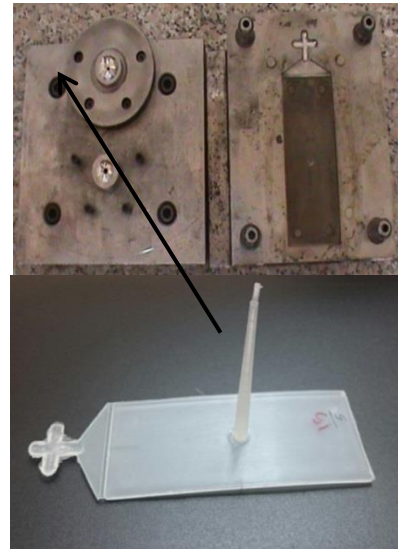
شکل ۳: مسیر و موقعیت اندازه گیری اعوجاج در نمونه ها

برای همه نمونه ها اندازه گیری گردیده و نتایج وارد نرم افزار Excel شد. برای بدست آوردن نمودار از نرم افزار EXCEL که در شکل ۴ نشان داده شده اعداد بدست آمده از آزمایشات عدد مثبت و منفی بوده است که از مجموع قدر مطلق برای محاسبه آنها استفاده شده است.



شکل ۴: نحوه بدست آوردن نتایج اعوجاج در نرم افزار EXCEL

برای اندازه گیری انقباض از یک سطح صاف و یک خط کش برای قرار دادن قطعه روی آن با شکل (۸) مناسب و برای گونیا بدون قطعه استفاده شده، که از کدلیس دیجیتالی برای گرفتن اندازه گیری استفاده شده است که قطعه را به ۶ وجه برای اندازه گیری تقسیم کرده که با نام های خطوط (عرضی و طولی) اندازه های (a و b و c و d و e و f) نمایش داده شده، انقباض، اختلاف ابعادی بین قطعه و قالب می بایست علت اصلی، تغییر دانسته ماده در هنگام سرد شدن قالب می باشد. این تغییر ناشی از اثر خواص ماده، و طراحی قطعه و قالب می باشد. در صورت



نوع گیت وسط (G2)

شکل ۱: نمونه گیت (مثلثی و وسط)

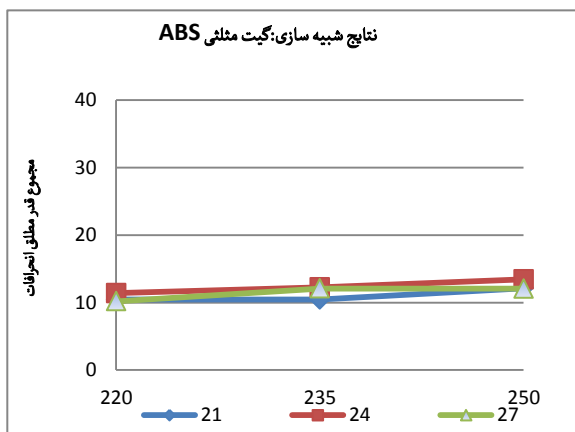
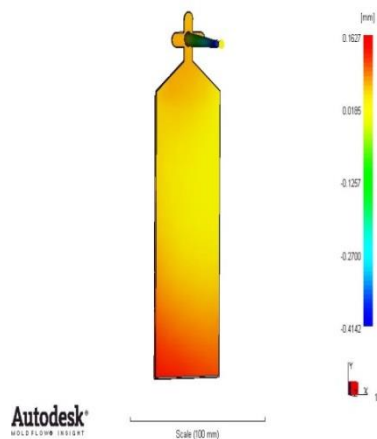
برای ساخت نمونه از دستگاه قالبگیری تزریقی مدل HXF88 ساخت شرکت HAIXING چین با ظرفیت گیره بندی ۸۸ تن و حداکثر وزن تزریق ۱۴۰ گرم استفاده گردید. هندسه نمونه ها شامل یک قطعه مستطیلی با ابعاد ۱۳۰×۵۰ میلیمتر و ضخامت بدنه $۳/۲$ میلیمتر بوده که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: نمونه قطعات ساخته شده

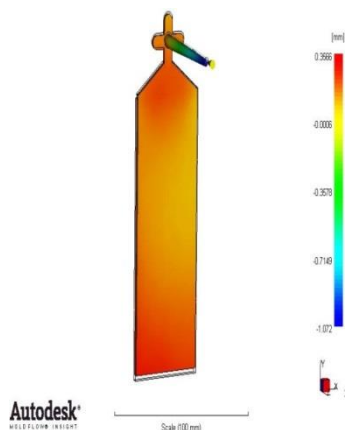
جهت تعیین اعوجاج سطح قطعات، مطابق شکل ۳، از میز دستگاه فرز و ساعت اندازه گیری استفاده گردید. نقطه ابتدایی به عنوان مرجع صفر تعیین شده و با حرکت در جهت طول قطعه، اعوجاج سطح قطعه در اثر حرکت سوزن ساعت اندازه گیری تعیین گردیده است. عدد ساعت اندازه گیری در فواصل ۱۰ میلیمتر خوانده شده و به صورت مثبت (سطح بالاتر از مرجع صفر) و منفی (سطح پایین تر از مرجع صفر) مشخص گردیده است.

برای بدست آوردن اعوجاج و انقراض از دستور Deflection Query که در شکل نشان داده شده است. روش انتخاب این گره ها نیز بدین صورت انجام شده که ابتدا با بررسی کانتور خروجی آزمایشات به صورتی که در تصویر زیر نشان داده شده است. بحرانی ترین محدوده مشخص گردید سپس دو گره مشابه و در راستای یکدیگر انتخاب و فاصله بین آنها به عنوان یک اندازه بحرانی برای نرم افزار مولدفلو تعریف گردید.

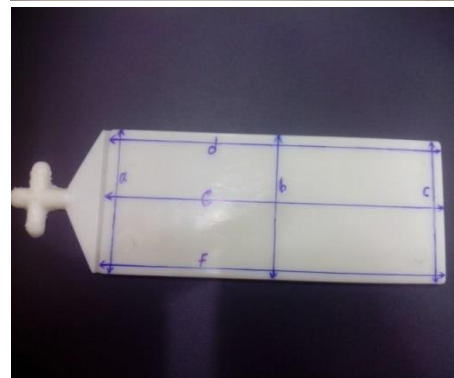
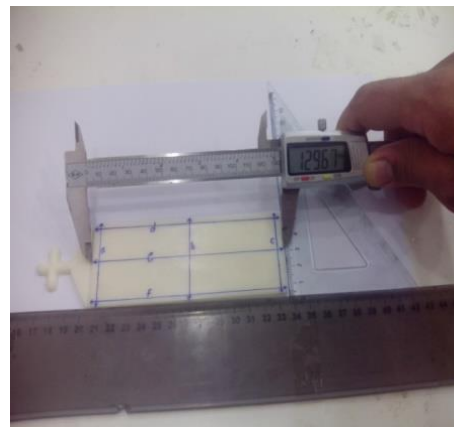


شکل ۶: نتایج شبیه سازی و مقادیر اعوجاج را نسبت تغییرات دمای مذاب و نوع

دریچه مثلثی و مواد ABS



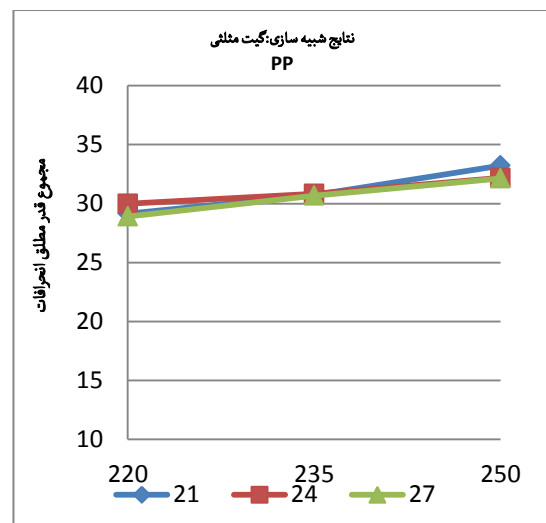
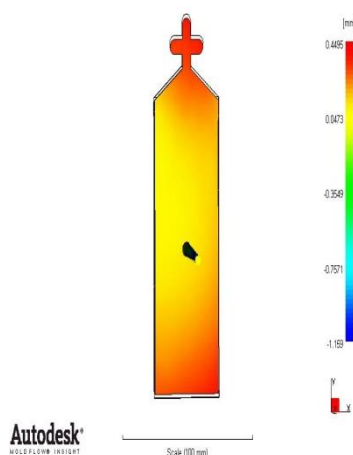
یکنواخت بودن میزان انقباض، قطعه معوج شد و به طور یکنواخت کوچک می گردد. در صورت انقباض غیر یکنواخت قسمت های مختلف قطعه تنش ایجاد شد، بین قسمت های مختلف قطعه (را بسته به استحکام و چگونگی ماده)، موجب معوج شده قطعه و در صورت تشدید این وضعیت، موجب تک برداشتن قطعه می گردد.



شکل ۵: مسیر و موقعیت انقباض در نمونه ها

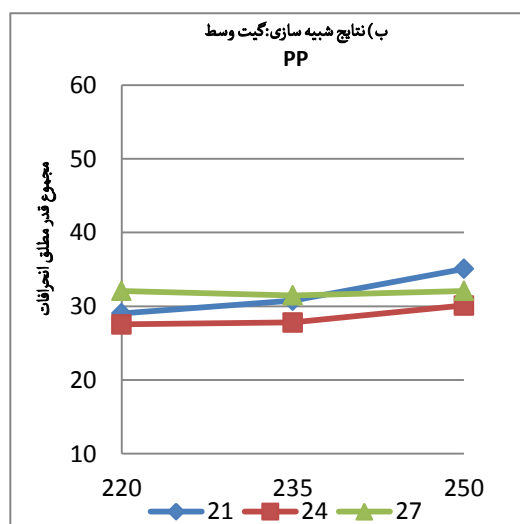
شبیه سازی کامپیوتری به روش المان محدود

برای انجام شبیه سازی کامپیوتری فرآیند تزریق پلاستیک از نرم افزار MoldFlow ساخت شرکت Autodesk استفاده گردید. این نرم افزار توانایی انجام انواع آزمایشات پر شدن، بهترین مکان گیت، سرد شدن، انقباض، اعوجاج و بسیاری تحلیل های دیگر مربوط به تزریق پلاستیک را دارد. این نرم افزار از دو بخش المان محدود و حل با استفاده از روابط تجربی بهره می گیرد که در این پایان نامه از روش المان محدود که محیط MoldFlow Insight نام دارد استفاده شده است. برای انجام این تحقیق ابتدا یک پروژه ساخته که در شکل ۳-۴ نشان داده شده و سپس مدل آماده شده در نرم افزار Solid work با پسوند stl از طریق دستور Import وارد محیط MoldFlow Insight شده سپس فرآیند مش زدن و آماده کردن مدل برای انجام گردید که به دلیل یکنواخت بودن ضخامت همه ابعاد از نوع مش Dual Domain استفاده گردید.



شکل ۷: نتایج شبیه سازی و مقادیر اعوجاج را نسبت تغییرات دمای مذاب و نوع

دریچه مثلثی و مواد PP



شکل ۸: نتایج شبیه سازی و مقادیر اعوجاج را نسبت تغییرات دمای مذاب و نوع دریچه وسط و مواد PP

۴- نتایج و بحث

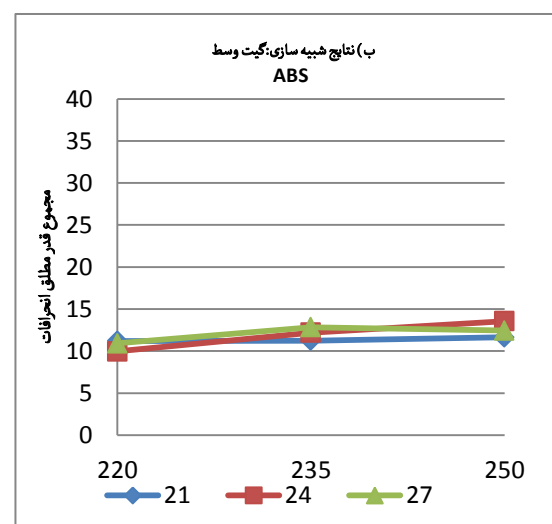
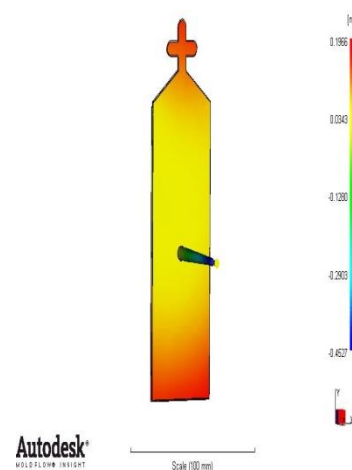
در این تحقیق به بررسی تجربی و شبیه سازی شده ی اثر نوع و هندسه دریچه تزریق، سرعت تزریق و دمای مذاب بر میزان انقباض و نحوه اعوجاج قطعات مستطیلی نفت تولید شده از ترموپلاستیک ABS و PP به روش قالب گیری تزریقی پرداخته شده است.

نتایج نشان دهنده این بود که:

- با مقایسه دریچه های به کار برده شده، این نتیجه حاصل شد که استفاده از دریچه مثلثی کمترین میزان انقباض اعوجاج را در اندازه نهایی قطعات تولیدی نیز داشته است.

- با مقایسه نمودارهای مربوط به تغییرات دمای تزریق این تنبیه حاصل شد که با افزایش دما، میزان انقباض و اعوجاج در قطعات نهایی که از گیت وسط استفاده شده با اندازه چشمگیری افزایش پیدا کرده است.

- در مواد بی شکل اعوجاج به مراتب کمتر از مواد نیمه کریستالی و کریستالی است. در PP که یک ماده نیمه کریستالی است، به طور کلی با افزایش دمای مذاب اعوجاج بیشتر می شود و با کاهش دمای مذاب نیز سطح کیفیت ابعادی را از دست می دهد لذا باید نظر داشتن این موارد



شکل ۸: نتایج شبیه سازی و مقادیر اعوجاج را نسبت تغییرات دمای مذاب و نوع دریچه وسط و مواد ABS

- [8] ISO 527-2. Plastics—determination of tensile properties—Part 2: Test Conditions for moulding and extrusion plastics; 2012
- [9] Yuehua Gao, Xicheng Wang, (2009) Surrogate-based process optimization for reducing warpage in injection molding, *Journal of materials processing technology* 209 .1302–1309
- [10] Marton Huszar, Fawzi Belblidia, Helen M. Davies, Cris Arnold, David Bould, Johann Sienez, 2015 Sustainable injection moulding: The impact of materials selection and gate location on part warpage and injection pressure, *Sustainable Materials and Technologies*,
- [11] M.A. Rosen, H.A. Kishawy, (2004) Sustainable manufacturing and design: concepts, practices and needs, *Sustainability* 4 154–174
- [12] R.A. Malloy, 2010 Plastic part design for injection molding, an introduction, 2nd ed. Carl Hanser Verlag, Munnich,. (ISBN-13: 978-1-56990-7).
- [13] P. Kennedy, R. Zheng, 2013 Flow analysis of injection molds, 2nd ed. Carl Hanser Verlag, Munich,. ((ISBN 978-1-56990-512-8
- Beaumont J. P., 2004 "Runner and Gating Design [14] Handbook", Hanser, Munich, , Chaps
- [15] H. N. Dhakal, Z. Y. Zhang, 2007 and M. O. W. Richardson, "Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites", *Composites Science and Technology* 67, pp. 1674–1683,
- [16] H. N. Y. Seong, S. Kim, I. U. Hwang and D. G. Lee, 2008 "Application of natural fiber reinforced composites to trenchless rehabilitation of underground pipes", *Composite Structures*, Vol. 86, Issues 1-3, pp. 285-290,
- [17] S.H. Tang, Y.J. Tan, S.M. Sapuan, S. Sulaiman, N. Ismail, R. Samin, 2007 The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage, *Journal of Materials Processing Technology* 182 () 418–426

کمترین دمای مذاب را در شرایط نوع گیت مناسب (گیت مثلی) انتخاب نمود.

- برای ABS با افزایش دمای مذاب انقباض و اعوجاج کمتر می شود. در نتیجه برای رسیدن به یک قطعه با کیفیت سطح و ابعاد مناسب باید دمای مذاب مناسب، دمای قالب بالا و همچنین نوع گیت مناسب انتخاب نمود.

مراجع

- [۱] ازدست، ط.، ۱۳۸۶، مطالعه عددی و تجربی اثر قیود قالب در ابعاد نهایی قطعات تزریقی، پایان نامه دکترای مکانیک ساخت و تولید، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۲] پیمان شاهی، امیر حسین بهروش، بهروز آرزو و مهدی محمودی، ۱۳۸۸ بررسی تأثیر پارامترهای تزریق، موقعیت و شکل دریچه تزریق بر دقت ابعادی قطعه پلاستیکی تزریقی، مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مجلسی / سال دوم / شماره چهارم /
- [۳] ازدست، ط. ۱۳۸۶ مطالعه عددی و تجربی اثر قیود قالب در ابعاد نهایی قطعات تزریقی پایان نامه دکترای مکانیک ساخت و تولید، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۴] رضا مصباح، ۱۳۹۴ بررسی تجربی و شبیه سازی شده ی اثر نوع ترموپلاستیک، دمای مذاب، طراحی دریچه تزریق و کانالهای خنک کاری بر میزان ونحوه انقباض و اعوجاج قطعات جعبه ای شکل تولید شده به روش قالبگیری تزریق با استفاده از مواد ABS و PC و PE پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ساخت و تولید، دانشگاه فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.
- [5] http://polymer.persiangig.com/other/mold_injection.swf
- Beaumont J. P., 2004 "Runner and Gating Design [6] Handbook", Hanser, Munich, , Chaps. 4, 5
- [7] Pengcheng Xie, Fengxia Guo, Zhiwei Jiao, Yumei Ding, Weimin Yang, 2014 Effect of gate size on the melt filling behavior and residual stress of injection molded parts, *Materials and Design* 53 /366–372