



DOI: 10.22034/ijche.2022.311107.1145



DOR: 20.1001.1.17355400.1401.21.124.2.0



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license (CC BY-NC-ND 4.0).

Investigation of Ventilator's Polymeric Split Filter Production with Injection Molding Process Using Autodesk Moldflow Software

M. H. Zamani¹, A. H. Yazdanbakhsh², H. Hosseini Sharifi^{3*}

1- M. Sc. Student of Polymer Engineering, University of Tehran

2- Ph. D. Student of Polymer Engineering, University of Tehran

3- M. Sc. in Polymer Engineering, Dayan Polymer Company

Email: h.hosseini@dayanpolymer.com

Abstract

In this study, using Autodesk Moldflow software, the injection molding process of ventilator's poly (lactic acid) split filters was studied and the effective characteristics of this process were investigated and compared in two samples of crystalline and amorphous poly (lactic acid). The injection pressure for the crystalline sample showed a larger value in the simulation, which was justifiable due to the higher melt viscosity of the crystalline sample than the amorphous sample. The results of this study also showed that the cooling time required for the sample was longer, which was attributed to the difference in temperature distribution between the two samples as well as the difference in their thermal conductivity. Shrinkage and air trapping are other important characteristics in the injection process. The results showed that they were higher for the crystalline sample, which was as expected due to the difference in melt viscosity of the samples and the relationship between crystallization susceptibility and compression of polymer chains. Also, the rheological and thermal properties of selected polymers were analyzed and their relationship with effective injection factors was explained. Finally, the specifications of the injection molding machine suitable for the production of polymer filters were introduced based on the information available in the software.

Received: 19 October 2021

Accepted: 17 January 2022

Page Number: 30-42

Keywords:

COVID-19,
Poly (Lactic Acid),
Split Filter,
Injection Molding,
Ventilator

Please Cite this Article Using:

Zamani, M. H., Yazdanbakhsh, A. H., Hosseini Sharifi, H., "Investigation of Ventilator's Polymeric Split Filter Production with Injection Molding Process Using Autodesk Moldflow Software", Iranian Chemical Engineering Journal, Vol. 21, No. 124, pp. 30-42, In Persian, (2023).



DOI: 10.22034/ijche.2022.311107.1145



DOR: 20.1001.1.17355400.1401.21.124.2.0



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license (CC BY-NC-ND 4.0).

بررسی تولید فیلتر بسیاری دوشاخه و نیتلاتور با فرایند قالب گیری تزریقی به وسیله نرم افزار Autodesk Moldflow

محمد حسین زمانی^۱، امیر حسین یزدان بخش^۲، حامد حسینی شریفی^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی پلیمر، دانشگاه تهران

۳- کارشناس ارشد مهندسی پلیمر، شرکت دایان پلیمر

پیام نگار: h.hosseini@dayanpolymer.com

چکیده

در این پژوهش با استفاده از نرم افزار Autodesk Moldflow، فرایند قالب گیری تزریقی فیلترهای دوشاخه و نیتلاتور از جنس پلی (لاکتیک اسید) مطالعه و مشخصه های مؤثر این فرایند در دو نمونه پلی (لاکتیک اسید) بلورین و آریخت، بررسی و مقایسه شد. فشار تزریق برای نمونه بلورین مقدار بزرگ تری را در شبیه سازی نشان داد که این مسأله با توجه به بیشتر بودن گرانروی مذاب نمونه بلورین نسبت به نمونه آریخت توجه پذیر بود. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که زمان خنک کاری لازم برای نمونه آریخت بیشتر است که این امر به تفاوت توزیع دما در دو نمونه و همچنین اختلاف رسانایی حرارتی آنها نسبت داده شد. جمع شدگی و تله هوا از دیگر مشخصه های مهم در تزریق هستند که نتایج بیانگر بیشتر بودن آنها برای نمونه بلورین بود که با توجه به تفاوت گرانروی مذاب نمونه ها و ارتباط استعداد تبلور با فشردگی زنجیرهای پلیمر، مطابق انتظار بود. همچنین خواص رئولوژیکی و حرارتی بسیاری انتخابی، تجزیه و تحلیل و ارتباط آنها با عوامل مؤثر تزریق تبیین شد. در نهایت، مشخصات دستگاه قالب گیری تزریق مناسب برای تولید فیلتر دوشاخه پلیمری بر مبنای اطلاعات موجود در نرم افزار معرفی شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷

شماره صفحات: ۳۰ تا ۴۲

کلیدواژه ها:

کوپید-۱۹،

قالب گیری تزریقی،

پلی (لاکتیک اسید)،

فیلتر دوشاخه،

ونیتلاتور

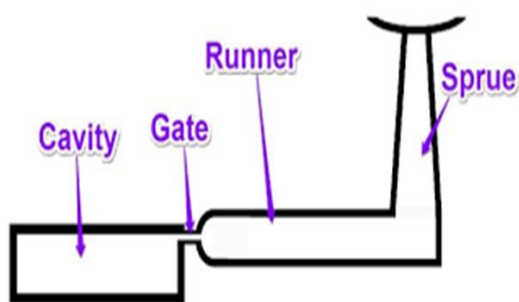
* تهران، شرکت دایان پلیمر

استناد به مقاله:

زمانی، م. ح.، یزدان بخش، ا. ح.، حسینی شریفی، ح.، "بررسی تولید فیلتر پلیمری دوشاخه و نیتلاتور با فرایند قالب گیری تزریقی به وسیله نرم افزار Autodesk Moldflow"، نشریه مهندسی شیمی ایران، سال بیست و یکم، شماره ۱۲۴، صص. ۳۰-۴۲، (۱۴۰۱).

Archive of SID

فشاری^۱ وارد ناودان^۲ می‌شود؛ سپس مذاب از درگاه^۳ عبور می‌کند و وارد حفره^۴ می‌شود. ماده پس از خنک‌شدن و انتقال از حالت مذاب به حالت جامد شکل نهایی قالب را به خود می‌گیرد و از قالب خارج می‌شود که طرح این فرایند در شکل (۱) نشان داده شده است. این فرایند روشی اقتصادی برای تولید انبوه یک قطعه است که برتری بزرگی نسبت به روش‌هایی هم‌چون چاپ سه‌بعدی دارد [۵، ۶]. امروزه با توسعه نرم‌افزارهای رایانه‌ای می‌توان بسیاری از فرایندها را قبل از انجام، با شبیه‌سازی، مطالعه و از مشکلات و خطاهای احتمالی در آینده جلوگیری کرد. یکی از نرم‌افزارهای کاربردی در شبیه‌سازی فرایند قالب‌گیری تزریقی، نرم‌افزار Autodesk Moldflow است که با طراحی قطعه، تعریف شرایط فرایندی و سپس تحلیل نتایج می‌توان اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با فرایند و قطعه نهایی کسب کرد.



شکل ۱. طرح قسمت‌های اصلی دستگاه قالب‌گیری تزریقی

Figure 1. Scheme of main parts of injection molding System.

پلی (لاکتیک اسید)^۵، بسیاری است که در این پژوهش برای استفاده در فرایند قالب‌گیری و ساخت فیلتر دوشاخه پیشنهاد شده است. پلی (لاکتیک اسید)، یک بسیار زیست‌تخریب‌پذیر با کاربردهای پزشکی فراوان است و به سبب داشتن رشته‌های طویل و محکم از استحکام بالایی برخوردار است [۷] که با داشتن پایداری حرارتی مناسب و نفوذناپذیری، برای ساخت فیلتر دوشاخه دستگاه و نیتلاتور مناسب است. این بسیار به دو حالت ساختاری بلورین (منظم) و آریخت (آمورف، بی‌نظم) موجود است.

در پایان می‌توان اذعان داشت در شرایطی که شمار مبتلایان به

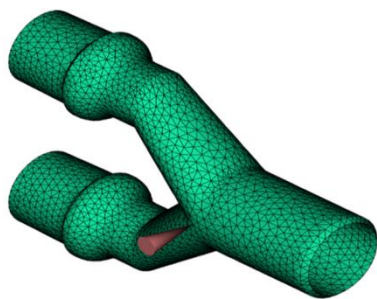
۱. مقدمه

در شرایط بفرنج کنونی با همه‌گیری جهانی ویروس کووید-۱۹، تعداد بیماران مبتلا به این ویروس با سرعت در حال افزایش است؛ درحالی‌که حدود ۵٪ از مبتلایان نیاز به دستگاه و نیتلاتور دارند [۱]. در کشوری هم‌چون ایالات متحده آمریکا، مراکز درمانی در حدود ۱۶۰۰۰ تا ۱۷۲۰۰۰ دستگاه و نیتلاتور در اختیار دارند؛ در حالی که طبق بررسی‌های مرکز کنترل و پیشگیری بیماری‌ها (CDC)، پیش‌بینی می‌شود که ایالات متحده آمریکا در صورت برابری آمار بیماران با همه‌گیری آنفولانزای اسپانیایی سال ۱۹۱۸ میلادی، نیاز به ۷۴۲۰۰۰ دستگاه و نیتلاتور داشته باشد. هم‌چنین براساس آمار سازمان سلامت ملی (NSH)، انگلستان حدود ۵۰۰۰ دستگاه و نیتلاتور برای بزرگ‌سالان و ۹۰۰ دستگاه برای کودکان دارد و به ۲۰۰۰۰ دستگاه دیگر نیازمند است. به‌طور مشابه کشورهای دیگر جهان از جمله ایران نیز با کمبود دستگاه و نیتلاتور مواجه هستند [۲].

نظر به اهمیت فراهم‌سازی شرایط استفاده بیماران مبتلا به ویروس کووید-۱۹ از دستگاه و نیتلاتور، در مطالعاتی هم‌چون [۳، ۴]، با الگوبرداری از کاربرد دوشاخگی در افزایش توان تولیدی ژنراتورهای سامانه‌های الکترونیکی، استفاده از فیلترهای منشعب دوشاخه به‌منظور استفاده هم‌زمان دو بیمار از یک دستگاه، پیشنهاد شده است. در این راستا هم‌اکنون در برخی مراکز تحقیقاتی دنیا پژوهش‌هایی بر روی فیلترهای منشعب از جنس بسیار و ساخت به‌روش چاپ سه‌بعدی در حال انجام است که در تولید انبوه قطعه و اعمال دمای بالای فرایندی برای انتقال ماده تحت فرایند به حالت مذاب، محدودیت دارد. با توجه به شرایط موجود و نیاز مبرم مراکز درمانی به این قطعه، انتخاب یک روش ساخت توانا در تولید انبوه و اقتصادی این قطعه بسیار ضروری است که در این مطالعه روش قالب‌گیری تزریقی انتخاب و بررسی شده است.

یکی از روش‌های رایج شکل‌دهی بسیارها، قالب‌گیری تزریقی است که در آن خوراک به دو صورت گرانول یا پودر وارد دستگاه تزریق و به کمک ماریپیچ دستگاه جلو برده می‌شود. در اثر تنش برشی وارد شده از طرف ماریپیچ و دیواره و اجاقک موجود در دستگاه، خوراک ورودی از حالت جامد به حالت مذاب تغییر می‌یابد و پس از ورود به نازل تحت فشار بالا در دمای فرایندی به وسیله راهگاه

1. Sprue
2. Runner
3. Gate
4. Cavity
5. Poly(Lactic) Acid, PLA



شکل ۲. قطعه شبکه بندی شده و موقعیت انتخابی درگاه به وسیله نرم افزار.

Figure 2. The networked piece and the selected Location of the Gate by the software.

گام بعدی انتخاب مواد مورد نظر است. هر دو ماده انتخابی پلی (لاکتیک اسید)، یکی بلورین و دیگری آریخت است که اطلاعات مربوط به هر کدام در جدول (۲) آمده است. شایان ذکر است که تمام اطلاعات مربوط به مواد از پایگاه داده موجود در نرم افزار Autodesk Moldflow استخراج شده است.

جدول ۲. اطلاعات مربوط به مواد انتخابی.

Table 2. Information about selected materials.

Material	1	2
Abbreviation Name	PLA	PLA
Structure	Amorphous	Crystalline
ID	12953	30105
Grade	MAT 2238	SN 5132

عوامل مرتبط با شرایط فرایندی تزریق، با توجه به هندسه قطعه و نوع ماده انتخابی، به کمک پنجره فرایند^۲ به وسیله نرم افزار تعیین شد که جدول (۳) نمایانگر آن است. شرایط مندرج در این جدول بر تمامی آنالیزهای شبیه سازی حاکم است.

سامانه راهگامی و سامانه خنک کننده به صورت خودکار به وسیله نرم افزار طراحی شدند. سیال خنک کننده از ۹۰ درصد آب و ۱۰ درصد اتیلن گلیکول تشکیل شده است و دمای ورودی سیال به سامانه خنک کننده ۲۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است. سپس مشخصه های مهم فرایند تزریق در دو نمونه به وسیله نرم افزار،

2. Molding Window

ویروس کوئید-۱۹ روز به روز در حال افزایش است، فرایند قالب گیری تزریقی می تواند برای تولید انبوه و اقتصادی فیلترهای بسیاری دوشاخه برای اکسیژن رسانی همزمان دستگاه ونتیلاتور به دو بیمار استفاده شود. هدف پژوهش حاضر، شبیه سازی فرایند قالب گیری تزریقی برای تولید فیلتر دوشاخه از جنس پلی (لاکتیک اسید) و مقایسه عوامل مؤثر تزریق و مشخصات دستگاه تزریق مناسب در دو نمونه بلورین و آریخت است.

۲. روش تحقیق

این مطالعه با تکیه بر اطلاعات و پایگاه داده نرم افزار Autodesk Moldflow انجام شده است. در گام اول فایل سه بعدی قطعه (فیلتر منشعب دوشاخه) که به کمک نرم افزار اتوکد (AutoCAD) طراحی شده بود، به محیط نرم افزار وارد شد. سپس شبکه (مش) بندی خودکار به وسیله نرم افزار انجام شد که به وسیله آن ۲۳۰۰۰ شبکه مثلثی شکل ایجاد شد. جدول (۱) مشخصات آماری شبکه بندی انجام شده را نمایش می دهد.

جدول ۱. مشخصات آماری شبکه بندی.

Table 1. Statistical properties of meshing.

Parameter	Value	
Aspect ratio	Min	1.16
	Max	1.68
	Average	5.12
Mesh percentage	98.1	
Reciprocal Percentage	92.4	

پس از شبکه بندی، تحلیل روی محل قرار گیری درگاه انجام گرفت (تحلیل درگاه^۱) که در شکل (۲) قطعه شبکه بندی شده و موقعیت انتخاب درگاه نمایش داده شده است.

موقعیت انتخابی حاصل از آنالیز درگاه به وسیله نرم افزار است که شاخص مقاومت جریان به تبع آن تعیین می شود. این شاخص بیانگر مقاومت در برابر جریان برای مذاب موجود در هر موقعیت است و هر چه مقدارش کمتر باشد، آن موقعیت انتخاب مناسب تری به عنوان درگاه خواهد بود؛ بر این اساس محل مناسب برای انتخاب درگاه به وسیله نرم افزار تعیین شده است.

1. Gate Location

در رابطه (۱)، علائم η و γ به ترتیب نشانگر گرانروی و نرخ برش و k و n ثوابت پاورلا است. همچنین در رابطه (۲)، علائم K, d, Q و ΔT به ترتیب نشانگر رسانایی حرارتی، آهنگ رسانش حرارتی، طول، سطح و اختلاف دماست.

۳. نتایج و بحث

۳-۱ زمان پرشدن^۱

این مشخصه زمان پرشدن قالب و محل قرارگیری جریان مذاب را در حفره قالب بر اساس تابعی از زمان مشخص می‌کند. شکل (۳) نشان‌دهنده توزیع زمان پرشدن در قسمت‌های مختلف قطعه است. با توجه به نوار مقیاس، می‌توان اظهار داشت که محل انشعاب خروجی آخرین محلی است که پر می‌شود و از همین رو مطالعات جمع‌شدگی^۲ و تله‌های هوا^۳ در این منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین مدت زمان پرشدن برای پلی (لاکتیک اسید) بلورین و آریخت به ترتیب ۱/۱۲۶ و ۱/۱۵۶ ثانیه به دست آمد که در هر دو حالت مقدار مناسبی است [۸،۹]. برای جلوگیری از ایجاد بیش از حد خط جوش، موقعیت تزریق یگانه در نظر گرفته شد.

جدول ۳. مشخصات فرایندی تزریق.

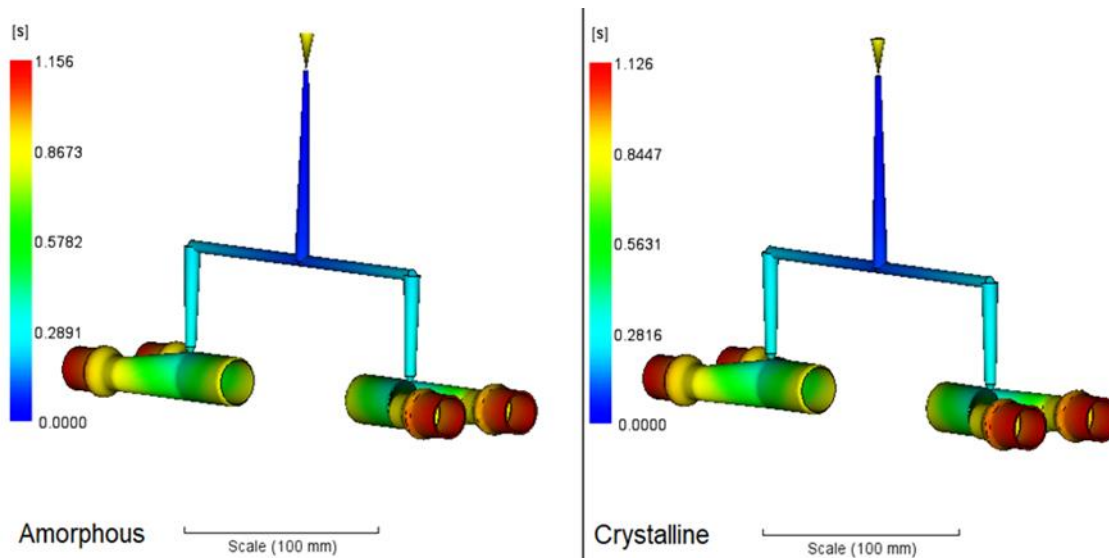
Table 3. Injection process specifications.

Parameter	Value
Maximum injection pressure (MPa)	180
Mold Temperature (°C)	20
Melt Temperature (°C)	Amorphous: 200 Crystalline: 168

بر مبنای اطلاعات پایگاه داده محاسبه و مقایسه شدند که در ادامه به آن پرداخته شده است. گرانروی و رسانایی حرارتی، دو مشخصه مهم بسپارها در تحلیل آنالیزهای این پژوهش بوده که روابط (۱) و (۲) به ترتیب بیانگر آنهاست.

$$\eta = k\dot{\gamma}^{n-1} \quad (1)$$

$$K = \frac{Qd}{\Delta T} \quad (2)$$



شکل ۳. توزیع زمان پرشدن قالب در دو نمونه بلورین و آریخت.

Figure 3. Distribution of mold filling time in the crystalline and amorphous samples.

1. Filling Time
3. Air Traps

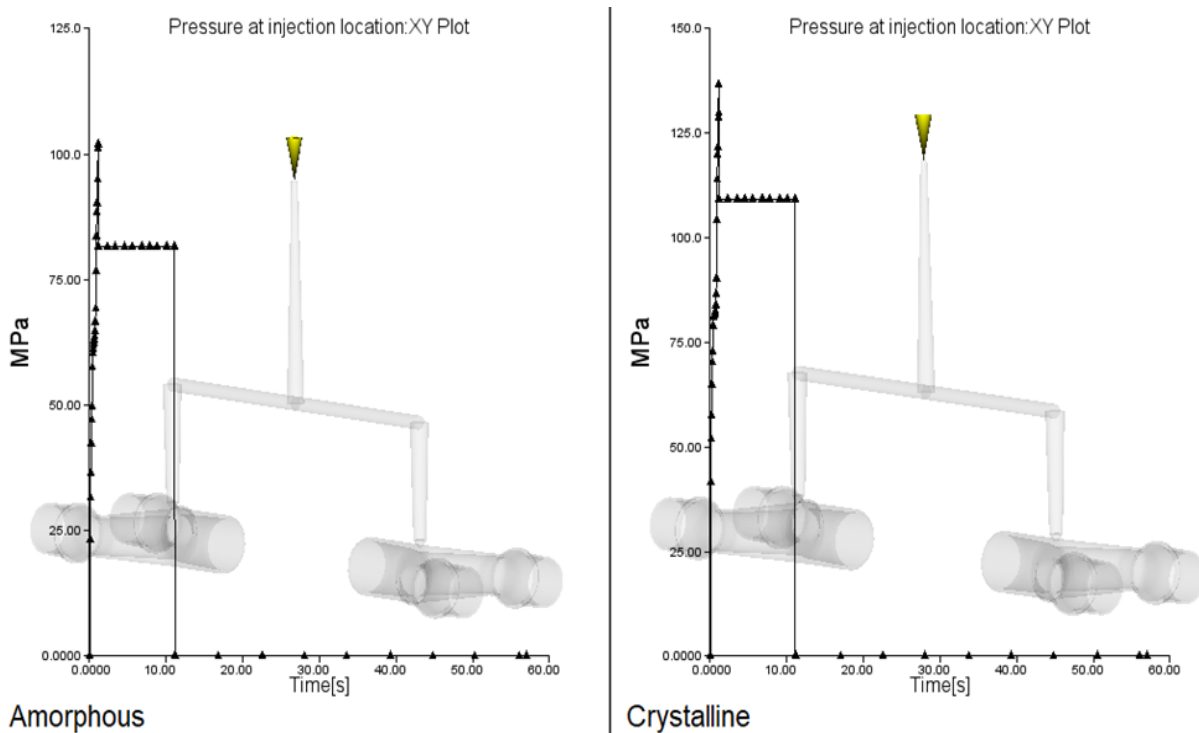
2. Shrinkage

۱۳۸ و ۱۰۲ مگاپاسکال است. فشار ثابتی که در هر دو حالت در حدود زمان ۱۱ ثانیه مشاهده می‌شود مربوط به فشار پس از تزریق^۱ است که روی مذاب باقی می‌ماند.

با توجه به پایگاه داده موجود در نرم‌افزار، دو نمودار گرانروی بر حسب نرخ برش در دماهای مختلف استخراج شده که در شکل (۵) نشان داده شده است؛ با توجه به این شکل، مذاب بسیار بلورین در دمای فرایندی (دمای مذاب ورودی) خودگرانروی بیشتری نسبت به مذاب نمونه آریخت دارد. واضح است که برای پرکردن قالب با مذابی که گرانروی کمتری دارد، فشار کمتری نیاز است؛ بنابراین کمترین فشار اعمالی لازم برای قالب‌گیری نمونه آریخت نسبت به نمونه بلورین توصیه‌پذیر است.

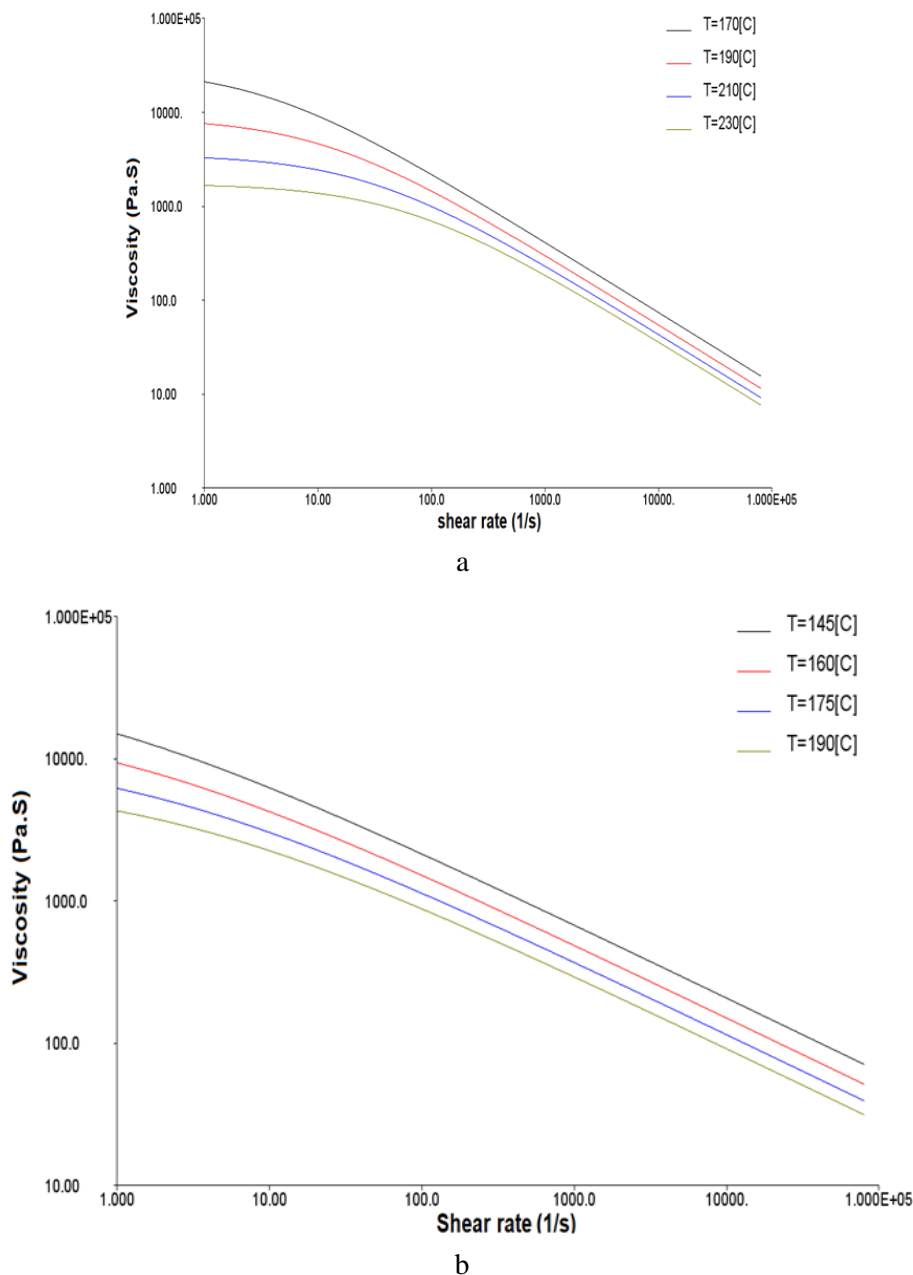
۲-۳ فشار در محل تزریق

در فرایندهای شکل دهی، تحلیل فشار لازم برای فرایند به سبب اطلاعات مهمی که به ارمغان می‌آورد از اهمیت بالایی برخوردار است که فرایند قالب‌گیری تزریقی نیز از این مهم برکنار نیست. در این فرایند، فشار در محل تزریق بیانگر مقدار فشار اعمالی از طرف محل تزریق بر ماده مذاب درون قالب است [۱۰]. مقادیر فشار بر حسب زمان برای پلی (لاکتیک اسید) بلورین و آریخت در شکل (۴) نشان داده شده است. مطابق این شکل، برای دو ماده از لحظه شروع پرشدن قالب تا بازه زمانی ۱/۱ تا ۱/۲ ثانیه، افزایش چشم‌گیر در میزان فشار وجود خواهد داشت که در حین پرشدن قالب رخ داده و به عبارت دیگر فشار لازم برای پرشدن قالب است. هم‌چنین بیشینه فشار تزریق برای بسیار بلورین و آریخت به ترتیب



شکل ۴. نمودار فشار تزریق بر حسب زمان برای دو نمونه بلورین و آریخت.

Figure 4. Injection pressure diagram vs time for the crystalline and amorphous samples.



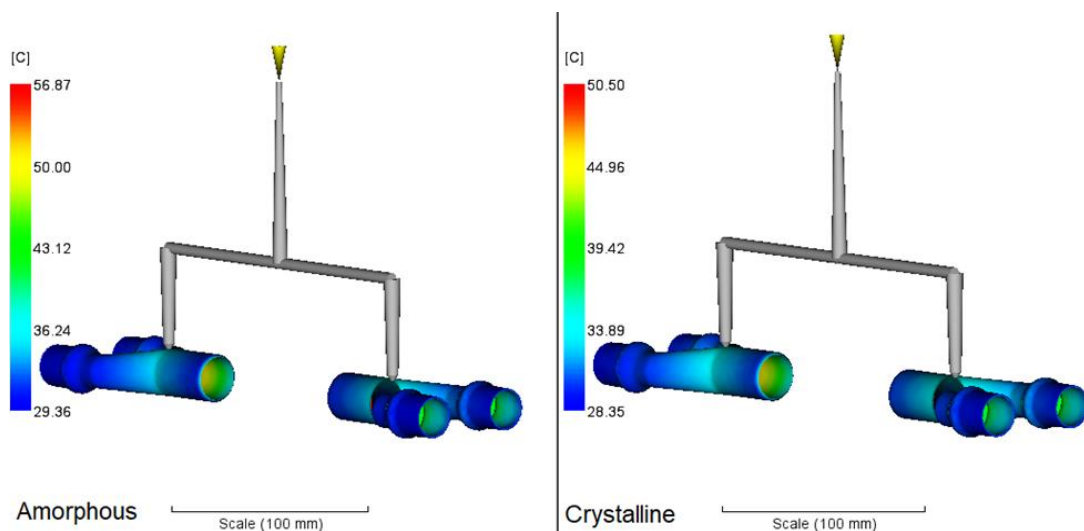
شکل ۵. نمودار گرانروی بر حسب نرخ برش در دماهای مختلف: (a) نمونه آریخت، (b) نمونه بلورین (پایگاه داده نرم افزار).
 Figure 5. Viscosity diagram vs shear rate at different temperatures: (a) amorphous sample, (b) crystalline sample (software database).

از قالب نباید از این نقاط انجام گیرد. معمولاً مناطق اطراف درگاه در این تحلیل دمای بالاتر و به تبع آن کسر لایه منجمد پایین تری دارند. تفاوت توزیع دما در دو نمونه بلورین و آریخت به دو مشخصه نسبت داده می شود؛ مشخصه نخست، دمای مذاب ورودی به قالب است که چنان که پیشتر ذکر شد، این دما برای نمونه بلورین و آریخت به ترتیب ۱۶۸ و ۲۰۰ درجه سلسیوس است [۱۱،۱۲].

۳-۳ توزیع دما و کسر لایه منجمد^۱

بررسی توزیع دما و کسر لایه منجمد، اطلاعات خوبی در رابطه با حالت جامد قطعه پس از سرد شدن به دست می دهد که توزیع دمای نمونه ها در شکل (۶) قابل مشاهده است. به طور کلی در مناطقی که دما بالاتر است، کسر لایه منجمد مقدار کمتری دارد و خروج قطعه

1. Frozen Layer Fraction

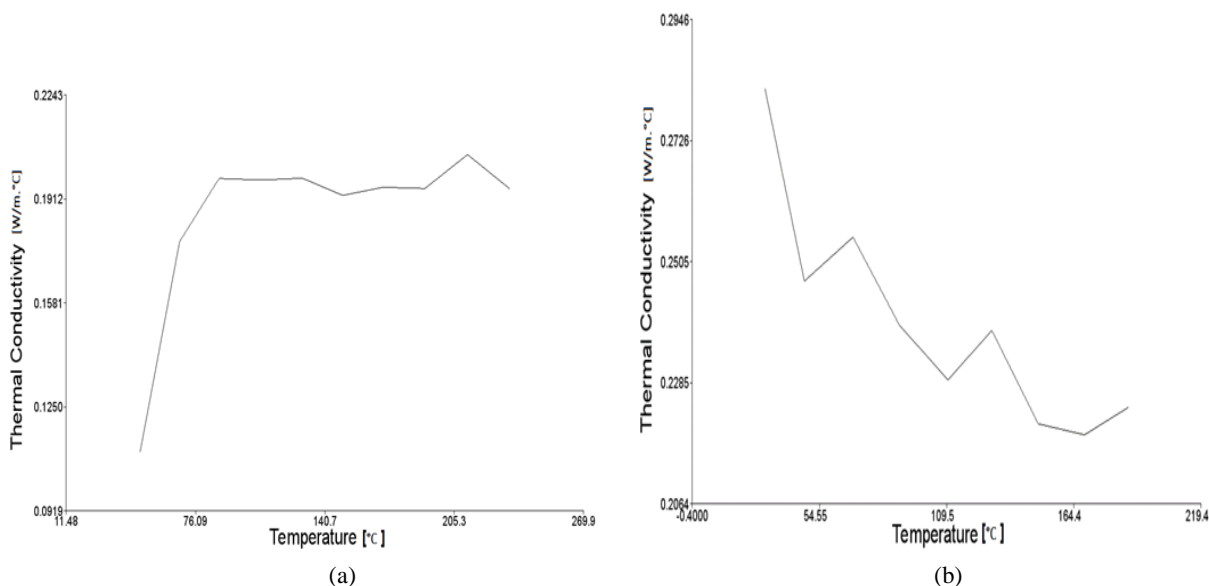


شکل ۶. توزیع دما در دو نمونه بلورین و آریخت.

Figure 6. Temperature distribution in the crystalline and amorphous samples.

پلی (لاکتیک اسید) آریخت است. با کنار هم گذاشتن دو مشخصه دمای مذاب ورودی و رسانایی حرارتی هر نمونه، روند توزیع دمای نمونه‌ها توجیه پذیر می‌شود.

مشخصه دیگر رسانایی حرارتی است که شکل (۷) نمودار رسانایی حرارتی نمونه‌ها بر حسب دما را نشان می‌دهد (مستخرج از پایگاه داده نرم‌افزار). مطابق این شکل توانایی انتقال حرارت برای پلی (لاکتیک اسید) بلورین بالاتر از این توانایی برای



شکل ۷. نمودار رسانایی حرارتی بر حسب دما: (a) نمونه آریخت، (b) نمونه بلورین (پایگاه داده نرم‌افزار).

Figure 7. Thermal conductivity diagram vs temperature: (a) amorphous sample, (b) crystalline sample (software database).

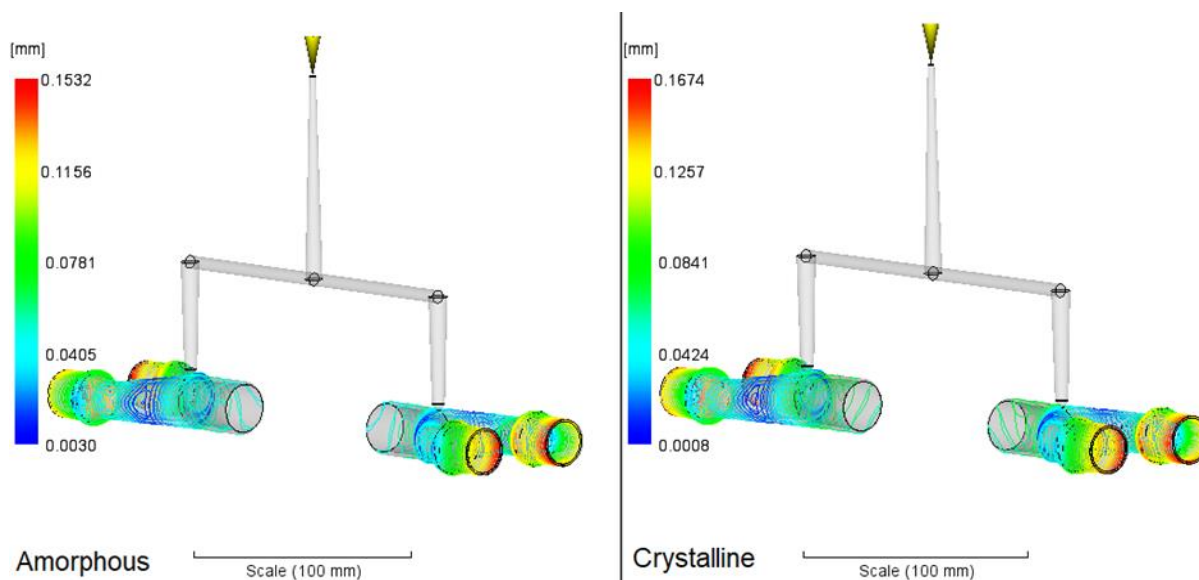
Archive of SID

سریع زنجیر می شود و توانایی جمع شدگی از قطعه گرفته می شود؛ اما در صورت زیادبودن ضخامت قطعه، انتقال حرارت آرام تر رخ می دهد و ماده به تدریج شروع به خنک شدن می کند. ماده در صورت تمایل به بلورینگی، بلور می سازد و جمع شدگی رخ می دهد [۱۴، ۱۳]. این امر به وضوح در نمونه ها قابل مشاهده است که در محل های با ضخامت بیشتر، جمع شدگی بیشتر رخ داده است. در مسأله مشخصه های هندسی، حضور گوشه در هندسه قطعه و چگونگی تغییرات جهت حرکت مذاب نیز در تعیین جمع شدگی تأثیر می گذارد و اغلب احتمال رخداد جمع شدگی در گوشه های تیز بیشتر است. آخرین فاکتور مؤثر بر جمع شدگی، شرایط فرایندی است؛ برای مثال با افزایش بیش از حد فشار، تراکم زنجیرها بیشتر و همین امر موجب جمع شدگی می شود. بنابراین بالاتر بودن فشار تزریق نمونه بلورین نسبت به نمونه آریخت که پیش تر بحث شد، باعث جمع شدگی بیشتر آن می شود که در شکل (۸) قابل مشاهده است. با بهینه سازی عوامل مذکور در نمونه ها می توان به حداقل جمع شدگی رسید. در نمونه های بلورین و آریخت حداکثر میزان جمع شدگی که در قسمت ورودی دوشاخه رخ می دهد به ترتیب برابر با ۰/۱۶۷۴ و ۰/۱۵۳۲ میلی متر است که از نظر کمی و فنی مشکلی در کاربری قطعه ایجاد نخواهد کرد.

۳-۴ جمع شدگی

یکی از مهم ترین مشخصه ها در فرایند تزریق، بحث جمع شدگی است که ابعاد نهایی نمونه ها از آن تأثیر می پذیرد و توزیع آن در نمونه ها در شکل (۸) نشان داده شده است. عوامل مؤثر بر میزان جمع شدگی یک نمونه عبارتند از: ماهیت ماده، هندسه نهایی و شرایط فرایندی [۱۳] که تأثیر این عوامل برای دو نمونه بلورین و آریخت بررسی شد. ماهیت ماده بسته به تمایل ماده به تغییر ابعاد نهایی، تغییر می کند و این تمایل می تواند تحت عنوان تشکیل بلور در ماده برای کاهش سطح انرژی خود باشد. حال با توجه به شکل (۸) مشاهده می شود که میزان جمع شدگی در نمونه متشکل از بسپار بلورین بیشتر از قطعه تشکیل شده از بسپار آریخت است که یکی از مشخصه های تأثیرگذار در این پدیده، تفاوت در میل به تشکیل بلور در نمونه است. تشکیل بلور در ماده موجب فشردگی زنجیرها در کنار یکدیگر می شود؛ بنابراین از حجم آزاد موجود در آن ها کاسته می شود و ابعاد نهایی قطعه پس از انتقال به حالت جامد در مقیاس میکروسکوپی کاهش می یابد.

عامل تعیین کننده دیگر در میزان جمع شدگی، شکل هندسی ماده و ابعاد و ضخامت قطعه در مکان های مختلف است. در صورت کم بودن ضخامت قطعه، انتقال حرارت سریع تر رخ می دهد و موجب یخ زدگی



شکل ۸. توزیع جمع شدگی در دو نمونه بلورین و آریخت.

Figure 8. Shrinkage distribution in the crystalline and amorphous samples.

فرایند قالب‌گیری تزریقی در صورتی که در هندسه قطعه لایه‌های ضخیم وجود داشته باشد، انتقال حرارت برای این قسمت‌ها مشکل می‌شود و زمان خنک‌کاری برای قطعه افزایش می‌یابد که برای کاهش آن طراحی دوباره قطعه و کاهش بهینه ضخامت پیشنهاد شده است [۱۵].

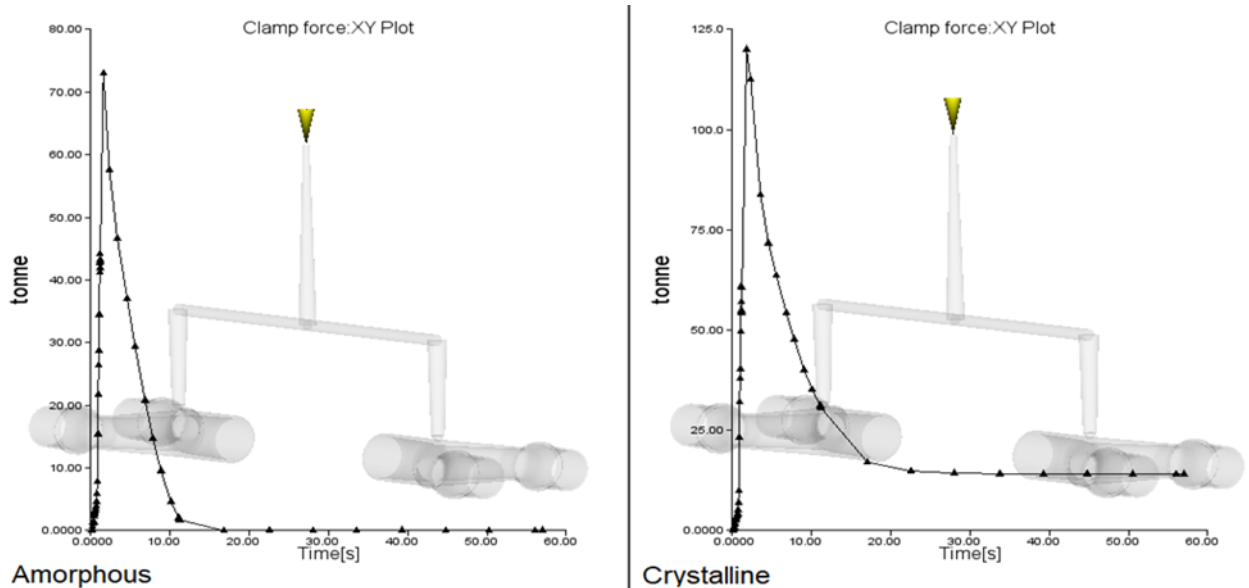
عامل دیگر مؤثر بر زمان خنک‌کاری، دمای ورودی و نرخ انتقال حرارت است و با توجه به این موضوع که دمای مذاب ورودی برای نمونه آریخت نسبت به نمونه بلورین بیشتر است و همچنین با توجه به مقادیر رسانایی حرارتی موجود در شکل (۷)، این زمان برای نمونه متشکل از پلی (لاکتیک اسید) آریخت بیشتر از پلی (لاکتیک اسید) بلورین است. طبیعتاً برای کاهش این زمان می‌توان دمای سامانه خنک‌کننده را کاهش داد که پس از کاهش دمای سیال ورودی به سامانه خنک‌کننده از ۲۵ به ۱۸ درجه سلسیوس در نرم‌افزار، زمان خنک‌کاری برای نمونه‌های بلورین و آریخت به ترتیب از ۴۹/۲۶ و ۸۰/۵۰ ثانیه به ۴۵/۲۶ و ۷۳/۷۵ ثانیه کاهش یافت.

۳-۵ نیروی گیره^۱

نیروی گیره، نیروی مورد نیازی است که باید بر قالب اعمال شود و آن را بسته نگه دارد و فشاری را بر صفحه XY در حین پرشدن قالب و تراکم مذاب اعمال کند که منحنی این نیرو بر حسب زمان در شکل (۹) نشان داده شده است. برای نمونه متشکل از بسیار بلورین، بیشینه این مقدار حدوداً معادل ۱۲۲ تن است و برای نمونه متشکل از بسیار آریخت حدوداً معادل ۷۳ تن است که این مقادیر در بیشینه فشار تزریق حاصل می‌شوند و در استفاده از دستگاه تزریق مورد نظر باید لحاظ گردند.

۳-۶ زمان خنک‌کاری^۲

یکی دیگر از مهم‌ترین مشخصه‌ها در فرایند تزریق، زمان خنک‌کاری است. این مشخصه بیانگر زمان ماند قطعه از شروع پرشدن قالب تا زمان خروج است که در شکل (۱۰) توزیع آن در دو نمونه بلورین و آریخت نشان داده شده است. شایان ذکر است که کاهش این زمان برای کمک به بعد اقتصادی تولید قطعه مطلوب است. معمولاً در

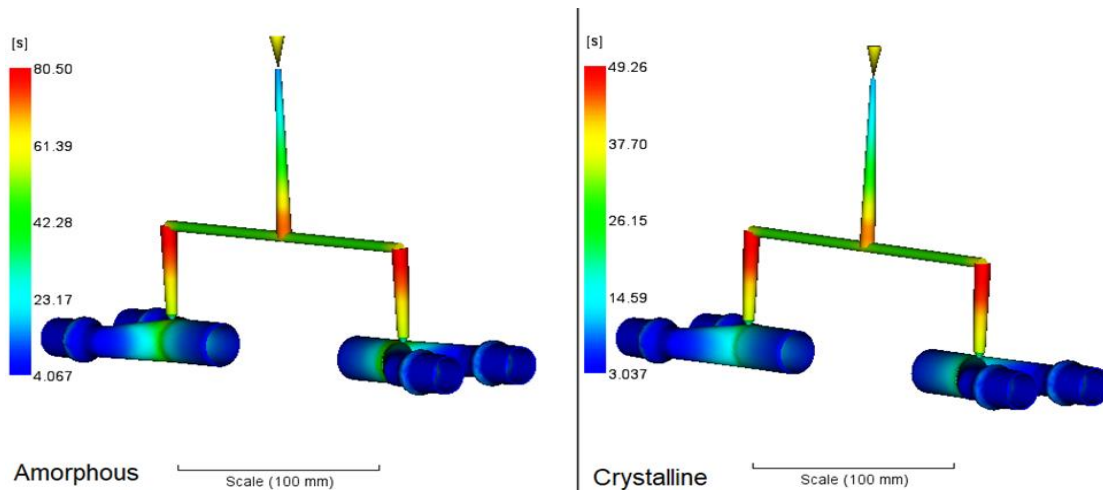


شکل ۹. نمودار نیروی گیره بر حسب زمان حین تزریق برای دو نمونه بلورین و آریخت.

Figure 9. Clamp force diagram vs injection time for the crystalline and cast samples.

1. Clamp Force

2. Cooling Time



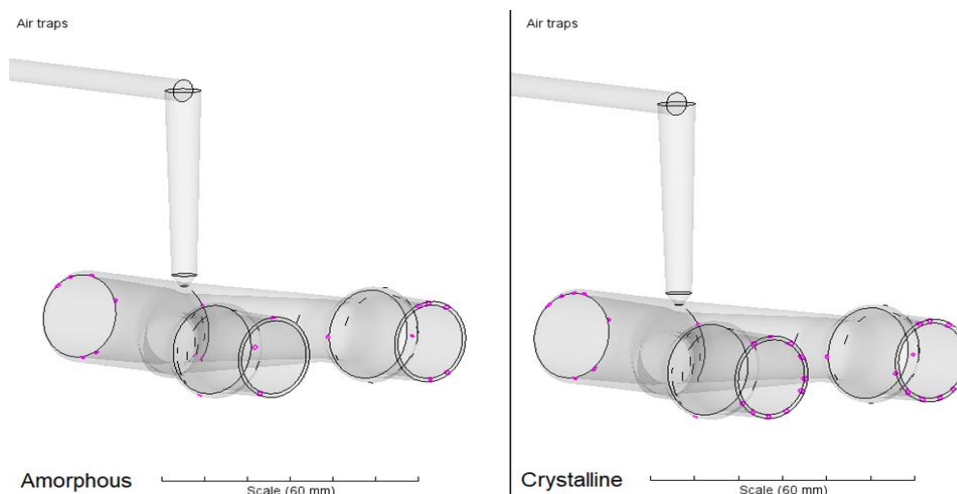
شکل ۱۰. توزیع زمان خنک‌کاری برای دو نمونه بلورین و آریخت تحت جریان خنک‌کننده با دمای ۲۵ درجه سلسیوس.

Figure 10. Cooling time distribution for the crystalline and molten samples under cooling flow at 25 °C.

در قطعه متشکل از پلی (لاکتیک اسید) بلورین بیشتر می‌کند. دومین عامل میل تشکیل بلور است؛ با توجه به این که دمای شروع هسته‌گذاری و تشکیل بلور در پلی (لاکتیک اسید)، ۸۰ تا ۱۱۰ درجه سلسیوس است که در محدوده دمایی مذاب نمونه متشکل از پلی (لاکتیک اسید) بلورین است [۱۵،۱۶]، با تشکیل بلور، توانایی نفوذ و خروج هوا کم می‌شود و با کاهش حجم و رخداد جمع‌شدگی، تله‌های هوا در نمونه بلورین از نمونه آریخت بیشتر می‌شود.

۳-۷ تله هوا

تله هوا پدیده‌ای است که در اثر برخورد دو جریان مذاب با یکدیگر یا یک جریان مذاب و دیواره حفره‌های قالب، و در محلی که دیرتر از دیگر موقعیت‌ها پر می‌شود، رخ می‌دهد. شکل (۱۱)، این پدیده را در دو نمونه بلورین و آریخت نمایش می‌دهد. نکته قابل توجه کم‌تر بودن میزان تله‌های هوا در نمونه آریخت نسبت به نمونه بلورین است. برای توجیه این تفاوت، باید به ماهیت دو نمونه رجوع شود. اولین عامل، گرانروی مذاب است که در نمونه بلورین نسبت به آریخت بیشتر است و همین امر امکان به دام‌انداختن حباب هوا را



شکل ۱۱. محل تشکیل تله هوا در دو نمونه بلورین و آریخت.

Figure 11. The location of air traps in the crystalline and amorphous samples.

مراجع

- [1] Zuniga J. M., Cortes A., "The Role of Additive Manufacturing and Antimicrobial Polymers in the COVID-19 Pandemic", *Expert Rev. Med. Devices*, 17, pp. 477-481, (2020).
- [2] World Health Organization, "Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): situation report, 72", (2020).
- [3] Clarke A. L., "3D Printed Circuit Splitter and Flow Restriction Devices for Multiple Patient Lung Ventilation Using one Anaesthesia Workstation or Vventilator", *Anaesthesia*, 75, pp. 819-820, (2020).
- [4] Rosato D. V., Rosato M. G., "Injection Molding Handbook. Springer Science and Business Media", 3th ed, NU, USA, (2012).
- [5] Agrawal A. R., Pandelidis I. O., Pecht, M., "Injection-Molding Process Control—A Review", *Polym. Eng. Sci.*, 27, pp. 1345-1357, (1987).
- [6] Drumright R. E., Gruber P. R., Henton, D. E., "Polylactic Acid Technology", *Adv. Mater.*, 12, pp. 1841-1846, (2000).
- [7] Amellal K., Tzoganakis C., Penlidis A., Rempel G. L., "Injection Molding of Medical Plastics: a Review", *Adv. Polym. Technol.*, 13, pp. 315-322, (1994).
- [8] Heidari, B. S., Oliaei, E., Shayesteh, H., Davachi, S. M., Hejazi, I., Seyfi, J., Rashedi, H., "Simulation of mechanical behavior and optimization of simulated injection molding process for PLA based antibacterial composite and nanocomposite bone screws using central composite design", *J Mech Behav Biomed Mater*, 65, pp. 160-176, (2017).
- [9] Cox, H. W., Mentzer, C. C., Injection molding: the effect of fill time on properties. *Polym. Eng. Sci.*, 26, pp. 488-498, (1986).
- [10] Annicchiarico D., Alcock J. R., "Review of Factors that Affect Shrinkage of Molded Part in Injection Molding". *Mater. Manuf. Process.*, 29, pp. 662-682, (2014).
- [11] Sridhar L., Narh K. A., "The Effect of Temperature Dependent Thermal Properties on Process Parameter Prediction in Injection Molding", *Int. Commun. Heat. Mass. Transf.*, 27, pp. 325-332, (2000).
- [12] Mohan M., Ansari M. N. M., Shanks R. A., "Review on the Effects of Process Parameters on Strength, Shrinkage, and Warpage of Injection Molding Plastic Component", *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 56, pp. 1-12, (2017).
- [13] Jansen K. M. B., Van Dijk D. J., Husselman M. H., "Effect of Processing Conditions on Shrinkage in Injection Molding", *Polym. Eng. Sci.*, 38, pp. 838-846, (1998).

در پایان، مشخصات دستگاه قالب گیری تزریقی مناسب برای ساخت فیلتر دو شاخه و نیتلاتور از جنس پلی (لاکتیک اسید) به وسیله نرم افزار ارائه شد که در جدول (۴) قابل مشاهده است.

جدول ۴. مشخصات دستگاه قالب گیری تزریقی مناسب برای تولید فیلتر دوشاخه از جنس پلی (لاکتیک اسید).

Table 4. Properties of suitable injection molding system for the production of poly (lactic acid) split filter.

Parameter	Value for the amorphous sample	Value for the crystalline sample
Maximum injection pressure (MPa)	102	138
Maximum clamp force (tons)	73	122
Temperature around the mold cavities (°C)	25	
Screw tightening torque	10	
flow rate (cm ³ s)	41.83	

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه، قالب گیری تزریقی پلی (لاکتیک اسید) بلورین و آریخت به منظور ساخت فیلتر دوشاخه و نیتلاتور، شبیه سازی و عوامل مؤثر در فرایند تزریق بررسی شد. زمان پر شدن قالب از مشخصه های مهم در تزریق است که نتایج مطالعه حاضر حاکی از مناسب بودن مقدار آن برای هر دو نمونه بلورین و آریخت بود. دیگر عوامل مهم فرایند تزریق از قبیل فشار در محل تزریق، نیروی گیره، توزیع دما، زمان خنک کاری و جمع شدگی در دو نمونه پلی لاکتیک اسید بلورین و آریخت نیز با یکدیگر مقایسه شد و تفاوت آن ها در دو نمونه با ویژگی های رئولوژیکی و حرارتی توجیه پذیرفت. در آخر با معرفی دستگاه تزریق مناسب برای قالب گیری و ساخت فیلتر دوشاخه از جنس پلی (لاکتیک اسید) برای و نیتلاتور، می توان اظهار داشت که این روش با قابلیت استفاده از حالت مذاب مواد و هم چنین تولید انبوه و اقتصادی قطعه مورد نظر، در عمل برتری های بیشتری نسبت به روش های مرسوم هم چون چاپ سه بعدی ایجاد می کند.

- [14] Guilong W., Guoqun Z., Huiping L., Yanjin, G., "Analysis of Thermal Cycling Efficiency and Optimal Design of Heating/Cooling Systems for Rapid Heat Cycle Injection Molding Process", *Mater. Des.*, 31, pp. 3426-3441, (2010).
- [15] Saeidlou S., Huneault M. A., Li H., Park C. B., "Poly (Lactic Acid) Crystallization", *Prog. Polym. Sci.*, 37, pp. 1657-1677, (2012).
- [16] Kapila, A., Singh, K., Arora, G., Agarwal, N., "Effect of varying gate size on the air traps in injection molding", *Int. j. curr. eng.*, 5, pp. 161-166, (2015).