



## بررسی تأثیر تعداد مراحل بازیافت بر روی نرخ جریان مذاب و درصد کریستالی در فرایند تزریق در کامپوزیت چوب-پلاستیک

زهرا سلحشور نژاد<sup>1</sup>، پیام سرائیان<sup>2\*</sup>، احسان شکوری<sup>3</sup>، شهرام اعتمادی<sup>4</sup>، محمد نجفی<sup>5</sup>

1- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

2- استادیار، مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

3- استادیار، مهندسی مکانیک، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

4- استادیار، مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

5- دانشیار، مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

\* تهران، صندوق پستی 14515/775، p\_saraeian@iau-tnb.ac.ir

### چکیده

### اطلاعات مقاله

بازیافت محصولات کامپوزیت چوب پلاستیک گامی در راستای حفظ منابع محیط زیست و کاهش آلاینده‌گی می‌باشد. یکی از مشکلات بازیافت‌های مکرر تغییر در خواص فیزیکی و مکانیکی از جمله تغییر در ساختار مولکولی محصولات می‌باشد. در این تحقیق به منظور تحلیل تغییر ساختار مولکولی در اثر بازیافت، گرانول کامپوزیت چوب پلاستیک با نسبت وزنی 70 درصد پلی اتیلن با چگالی بالا به روش اکستروژن تهیه و در 5 سیکل، آسیاب و تزریق شده است. آزمون‌های تجربی در فشار تزریق 60 بار و فشار نگهدارنده 70 بار و زمان فشار دوم 2 ثانیه انجام شد. جهت بررسی ساختار مولکولی نمونه‌های بازیافت شده آزمایش‌های نرخ جریان مذاب و درصد کریستالی انجام گرفت. پلی اتیلن با چگالی بالا با داشتن زنجیره‌های بلند، با قرار گرفتن در سیکل بازیافت و شکسته شدن زنجیره‌ها، افزایش وزن مولکولی، افزایش ویسکوزیته را به همراه داشته که باعث کاهش نرخ جریان مذاب در نمونه‌های بازیافتی، شده است. بی‌نظمی ایجاد شده در اثر ادامه شکسته شدن زنجیره‌ها و از بین رفتن نیروی بین زنجیره‌ها عامل افزایش نرخ جریان مذاب تا 2/8 gr/10min و تبدیل ساختار مولکولی نیمه کریستالی به آمورف و کاهش درصد کریستالی به میزان 30 درصد شده است. افزایش سیکل بازیافت باعث کاهش زمان تخریب تا 9/3 دقیقه در نمونه‌های بازیافتی شده است.

مقاله پژوهشی کامل  
دریافت: 15 مهر 1397  
پذیرش: 15 دی 1397  
ارائه در سایت: مرداد 1398

### کلیدواژگان:

کامپوزیت چوب پلاستیک  
قالبگیری تزریقی  
بازیافت  
درصد کریستالی  
نرخ جریان مذاب

## Investigation and effect of number of recycling steps on molten flow rate and crystalline percent in injection process in wood-plastic composite

Zahra SalahshorNejad<sup>1</sup>, Payam Saraeian<sup>2\*</sup>, Ehsan Shakori<sup>3</sup>, Shahram Etemadi<sup>4</sup>, Mohamad Najafi<sup>1</sup>

1- Mechanical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Mechanics, Najaf Abad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

3- Mechanics, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

\* P.O.B. 14515/775 Tehran, Iran, p\_saraeian@iau-tnb.ac.ir

### Article Information

Original Research Paper  
Received 7 October 2018  
Accepted 5 January 2019  
Available August 2019

### Keywords:

Plastic Composite  
Injection Molding  
Recycling  
Crystal Percentage  
Melt Flow Rate

### Abstract

Recycling of wood plastic products is a step towards to keep environmental and reducing pollution. One of the problems of repeated recycling is the change in physical and mechanical properties, including changes in the molecular structure of products. In this research, for analyze molecular structure, a granule of plastic with a weight ratio of 70% high density polyethylene is prepared by extruding method and is injected in 5 cycles. Experimental experiments were done out at a 60-bar injection pressure and a 70-bar retaining pressure and a second pressure time of 2 seconds. Molecular flow rates and crystalline percentages were tested to investigate the molecular structure of the recovered samples. High-density polyethylene with high chain length, with recycling and chain breakage, increased molecular weight, increased viscosity, which reduced the flow rate of molten material in recycled samples. The damage caused by the continuity of the chains and the loss of power between the chains causes an increase in the molten flow rate of 2.8 gr / 10min and the conversion of the semi crystalline molecular structure to amorphous and the reduction of the percentage of crystalline by 30% is. Increasing the recycling cycle reduces the destruction time to 9.3 minutes in recycled samples.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Z. SalahshorNejad, P. Saraeian, E. Shakori, Sh. Etemadi, M. Najafi, Investigation and effect of number of recycling steps on molten flow rate and crystalline percent in injection process in wood-plastic composite, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 6, No. 3, pp. 1-7, 2019 (in Persian)

## 1- مقدمه

با رشد روزافزون محصولات کامپوزیت چوب پلاستیک<sup>1</sup> در صنایع مختلف، لازم است ماده اولیه این کامپوزیت که ترکیب پلیمرهای گرمانرم و ذرات چوب می‌باشد نیز تامین گردد. از آنجا که امروزه مهمترین شاخص‌های زندگی بشر حفاظت از منابع تولید و حفظ محیط زیست می‌باشد. بنابراین با بازیافت این محصولات و تولید قطعات با کیفیت بر پایه این نوع مواد به عنوان ماده اصلی میتوان جایگزین مناسبی در تولید کامپوزیت چوب پلاستیک با مواد نو پیدا کرد. مواد بازیافتی با مشکلات تغییرات خواص مکانیکی و فیزیکی<sup>2</sup> پلیمرهای گرما نرم<sup>3</sup> روبرو هستند.

به دلیل اهمیت کیفیت قطعات تولیدی تحقیقات زیادی در رابطه با کاهش میزان انقباض با تغییر در پارامترهای تزریق و همچنین در زمینه کاربرد کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با فیبرهای طبیعی در توربین‌های بادی انجام شده است [1]. استفاده از کامپوزیت چوب پلاستیک و تجزیه اثر غلظت خاک آره در پلیمر و یافتن خواص مکانیکی از جمله کارهای انجام شده در این زمینه است [2]. در زمینه خواص مکانیکی پلیمرهای مورد استفاده در کامپوزیت چوب پلاستیک نیز محققان، تحقیقات زیادی را به ثبت رساندند [3]. پاسخ رفتار پلیمر در اکسترودر و شرایط و پارامترهای مؤثر در فرایند اکسترودر نیز یکی از کارهای انجام شده توسط محققان است [4]. همچنین محققان با بررسی خواص خمشی و جذب آب در ترکیب کامپوزیت کامپوزیت چوب پلاستیک تهیه شده از آرد چوب و پلی‌اتیلن به خواص مکانیکی و میزان انعطاف پذیری و تأثیر درجه حرارت در آن پرداخته‌اند [5]. در زمینه اثر درصد فیبر بر روی خواص مکانیکی و انقباض در نانو کامپوزیت‌های پلیمر ساخته شده با پلی‌پروپیلن به روش تزریق نیز فعالیت‌هایی انجام شده است [6]. مطالعاتی نیز در زمینه انقباض و تابیدگی در طراحی قالب‌های تزریق شده است [7]. محققان در زمینه اثر انقباض در شرایط قالب‌گیری به روش تزریق و دقت ابعاد قطعات تقویت شده با فیبر نازک تحقیق کرده و نتایج آنها نشان داده است که دمای ذوب و فشار دوم پارامترهای مؤثر در انقباض قطعات، با دیواره نازک می‌باشد [8]. بهینه‌سازی پارامترهای تزریق در قالب‌گیری به روش تزریق به دو روش تجربی و شبیه‌سازی انجام شده است. از آنجا که انقباض و تابیدگی از جمله نقایص رایج هستند که کیفیت نهایی محصول را کاهش

می‌دهند، بنابراین با بدست آوردن نتایج دقیق و تجزیه تحلیل، مناسب‌ترین شرایط تزریق جهت افزایش کیفیت نهایی محصول بدست آمده است [9]. اثر افزودن سازگارکننده‌ها بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های کامپوزیت چوب پلاستیک با پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار گرفته است [10]. همچنین محققان خواص مکانیکی پلی‌اتیلن با چگالی بالا و پلی‌پروپیلن را در دوره‌های بازیافت مورد بررسی و آنالیز قرار دادند [11]. تحقیقات زیادی نیز در زمینه یافتن شرایط بهینه تزریق جهت کمترین میزان جمع‌شدگی به روش تحلیلی [12، 13] و تجربی بر روی قطعات مختلف انجام شده است [14، 15]. محققان به بررسی رفتار پلی‌اتیلن سنگین در سیکل‌های اکسترودر و تغییرات خواص مکانیکی پلی‌اتیلن سنگین پرداخته و اثر خواص مکانیکی پلی‌اتیلن با چگالی بالا در بازیافت‌های گسترده را مورد مطالعه قرار داده‌اند [14]. تابیدگی و جمع‌شدگی و همچنین اعوجاج‌های تولید شده بوسیله تنش‌های حرارتی یک قطعه را در فرایند تزریق پلاستیک نیز بررسی کرده‌اند [15]. تجزیه و تحلیل ساختار کریستالی پلیمرهای نیمه‌کریستالی [16] و آمورف با انجام آزمایش‌های کالریمتری روبشی تفاضلی نیز از جمله کارهای انجام شده توسط محققان بوده است [17، 18].

با مطالعه نتایج حاصل از رفتار مواد در بازیافت‌ها می‌توان تأثیر بازیافت‌های کامپوزیت چوب پلاستیک را بر روی ساختار مکانیکی در فرایند تزریق پیش بینی کرد. با علم به رفتار کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در معرض سیکل‌های بازیافت، میتوان محصولات با کیفیت بالاتری تولید کرد. همچنین با بکارگیری کامپوزیت‌های چوب پلاستیک بازیافتی در چرخه تولید عیوب ناشی از سیکل‌های بازیافت را کنترل کرده و گامی در جهت کاهش آلاینده‌گی حاصل از مصرف پلاستیک‌های نو، در تولیدات بدون بازیافت برداشت.

در این تحقیق با طراحی و ساخت قالب و آماده سازی گرانول کامپوزیت چوب پلاستیک با 30 درصد پودر چوب و 4 درصد مالئیک انیدرید گراف شده و تولید نمونه‌ها، در 5 سیکل بازیافتی به روش تزریق تهیه شد، و سپس ساختار مولکولی نمونه‌ها مورد آنالیز قرار گرفته است. جهت تزریق نمونه‌ها در کوتاهترین زمان با میزان پر شدگی صد در صد و بدون پلیسه و کمترین درصد انقباض سه پارامتر متغیر فشار تزریق 60 بار و فشار نگهدارنده 70 بار و زمان فشار نگهدارنده 2 ثانیه به عنوان پارامترهای تزریق به صورت تجربی در تولید نمونه‌های بازیافتی در نظر گرفته شده است. جهت بررسی ساختار مولکولی، بر روی

<sup>1</sup> wood plastic composite

<sup>2</sup> Physical and mechanical properties

<sup>3</sup> Thermoplast Polymer

برای فراهم‌سازی مواد مورد استفاده در تزریق، و تولید نمونه‌های بازیافتی لازم است گرانول کامپوزیت چوب پلاستیک تهیه و پس از تزریق در چرخه سیکل بازیافت قرار بگیرد. بدین منظور از دستگاه اکسترودر دو ماردره همسوگرد با یک قالب اکسترودر از جنس فولاد گرمکار استفاده شد.

برای جلوگیری از سوختن چوب در فرایند تولید کامپوزیت کامپوزیت چوب پلاستیک دمای گرمکن سیلندرها به ترتیب 154 و 170 درجه سانتی‌گراد و دمای گرمکن قالب نصب شده در انتهای اکسترودر 158 درجه سانتی‌گراد تنظیم شده است. سرعت انتخابی اکسترودر 15 دور بر دقیقه می باشد.

## 2-2- تزریق

پس از آسیاب کردن گرانول بدست آمده، آزمایش‌های اولیه جهت رسیدن به پارامترهای بهینه تزریق انجام شد، بنابراین نمونه‌ها در شرایط تزریق نشان داده شده در جدول 1 تزریق شد.

آزمایش‌ها در زمان خنک کاری 15 ثانیه و سرعت ماردون 70 میلی‌متر بر ثانیه انجام شد. همچنین نمونه‌ها با فاکتورهای در نظر گرفته شده در فرایند تزریق در 36 آزمایش انجام شد. جهت اطمینان از نتایج بدست آمده هر آزمایش با 3 مرتبه تکرار انجام شد. به دلیل پر شدگی کامل در کمترین زمان و بیشترین فشار تزریق جهت کاهش انقباض، فشار تزریق 60 بار و فشار نگهدارنده 70 بار و زمان فشار نگهدارنده 2 ثانیه به عنوان پارامترهای مطلوب جهت بررسی ساختار مولکولی در فرایند تزریق انتخاب شده است.

طبق پارامترهای انتخاب شده تزریق نمونه‌ها در سیکل‌های نشان داده شده در جدول 1 انجام شده است. پس از هر مرحله تزریق سه نمونه، انتخاب شد و بقیه نمونه‌ها مجدداً آسیاب شده و به عنوان ماده اولیه در سیکل بعدی قرار گرفته است. سیکل بازیافت در 5 مرتبه انجام شده است.

جدول 1 نامگذاری قطعات بدست آمده از بازیافت‌ها

Table 1 Naming the parts of recycled

مشخصه	توضیحات
R0	قطعه تزریقی با گرانول آماده شده -
R1	قطعه تزریقی با مواد تهیه شده از R0
R2	قطعه تزریقی با مواد تهیه شده از R1
R3	قطعه تزریقی با مواد تهیه شده از R2
R4	قطعه تزریقی با مواد تهیه شده از R3
R5	قطعه تزریقی با مواد تهیه شده از R4

نمونه‌های (R0-R5) آزمایشات نرخ جریان مذاب<sup>1</sup> و درصد کریستالی<sup>2</sup> انجام شده است.

## 2- تجربی

برای انجام این تحقیق قطعه‌ای به شکل 1 طراحی، مدل‌سازی و قالب‌سازی شده است. نمونه‌های مورد آزمایش به روش تزریق تهیه شده و در سیکل تزریق قرار گرفته است. بر روی نمونه‌های بدست آمده جهت بررسی ساختار مولکولی، آزمایش‌های نرخ جریان مذاب و درصد کریستالی انجام گردید که در ادامه توضیح داده شده است.

## 1-2- تهیه گرانول

شکل 1 مدل طراحی شده از مدل قطعه مورد نظر را در نرم افزار مدلسازی نشان داده است. پس از طراحی، قالب از جنس فولادهای کاربردی جهت ساخت قالب‌های تزریق پلاستیک، ساخته شده است. شکل 2 مجموعه قالب طراحی شده را نشان داده است.

کامپوزیت کامپوزیت چوب پلاستیک، از ترکیب آرد چوب به نسبت وزنی 30 درصد و پلی اتیلن سنگین<sup>3</sup>، 70 درصد و مالئیک انیدرید به نسبت 4 درصد وزنی ترکیب حاصل به عنوان سازگار کننده، با یکدیگر به صورت خشک مخلوط گردید. ترکیب تهیه شده به مدت 2 ساعت در دمای 85 درجه سانتی‌گراد در آون (کوره حرارتی) خشک شده است.

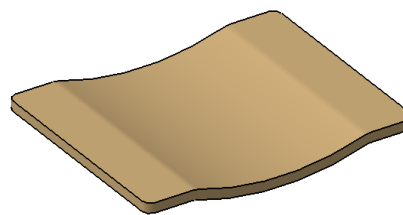


Fig. 1 Model of design for samples test

شکل 1 مدل طراحی شده جهت تست نمونه‌ها

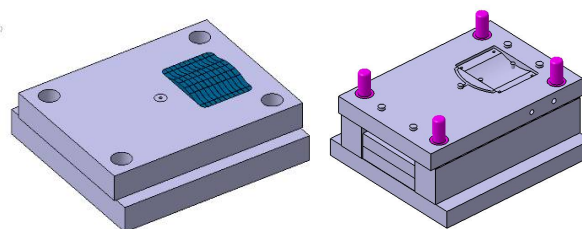


Fig. 2 View in design die for samples injection

شکل 2 نمایی از قالب طراحی شده جهت تزریق نمونه‌ها

<sup>1</sup> MFI (melt flow index)

<sup>2</sup> DSC (Differential scanning calorimetry)

<sup>3</sup> PEHD (PE high density)

### 3-2- آزمایش تعیین نرخ جریان مذاب

جهت انجام آزمایش از دستگاه اندازه‌گیری نرخ جریان جرمی مذاب مدل آهپ<sup>1</sup> استفاده شد. مطابق با استاندارد<sup>2</sup> 6981 این آزمایش با ورودی برق 220 ولت و توان 420 وات و 28 آمپر و تک فاز انجام شد. دستگاه پلاستومتر مجهز به سیستم کنترل دما از نوع پید<sup>1</sup> و سنسور حساس 100 پی تی جهت تأمین دقت 1 درجه و مجهز به کنترلر زمان همراه با فرمان و دارای قطعات مجزا جهت سهولت در امر نگهداری و سرویس دوره‌ای است. این آزمایش بر اساس جرم پلیمر عبور کرده از یک لوله موئین بر حسب گرم با قطر، طول و فشار معین در ده دقیقه در دمای 190 درجه سانتی‌گراد انجام شده است. دمای 190 درجه سانتی‌گراد بر اساس استاندارد تعیین شده برای پلی‌اتیلن می‌باشد. میزان نرخ جریان مذاب نسبت معکوس با گرانیوی جریان مذاب دارد.

### 4-2- آزمایش تعیین درصد کریستالی

جهت انجام آزمایش کالریمتری روشی تفاضلی از دستگاه مدل استار سیستم<sup>3</sup> استفاده شد. مطابق با استاندارد<sup>4</sup> 7168 نمونه بعد از قرار گرفتن در دستگاه با نرخ حدود 20 درجه بر دقیقه تا دمای 200 درجه سانتی‌گراد در اتمسفر نیتروژن گرم شده است. اساس کار این دستگاه بر اساس آنالیز حرارتی کالریمتری روشی تفاضلی بنا شده است. جهت این آزمایش از نمونه‌های R0-R5 چند میلی گرم در یکی از کفه‌های دستگاه قرار داده و در کفه دیگر از گاز نیتروژن به عنوان نمونه شاهد جهت جلوگیری از واکنش‌های اکسایش استفاده شده است. نمونه‌های مورد آزمایش پس از رسیدن از دمای محیط به دمای 200 درجه با سرعت 20 درجه سانتی‌گراد بر دقیقه در همین دما به مدت حدود یک دقیقه در اتمسفر نیتروژن نگه داشته شده، تا کاملاً ذوب شود. سپس در این دما شیر نیتروژن بسته شده و شیر اکسیژن باز شده و وارد محفظه شده و منحنی تغییرات انرژی بر حسب زمان بدست آمد. پس از آن از روی منحنی بدست آمده توسط دستگاه، می‌توان درصد کریستالی در نمونه‌های R0-R5 را به روش محاسبه مساحت زیر نمودارهای بدست آمده از آزمایش محاسبه کرد.

### 3- نتایج و بحث

پس از آزمایش‌های انجام شده، در این قسمت نتایج آزمایش‌های

نرخ جریان مذاب و درصد کریستالی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است همچنین از نتایج آزمایش درصد کریستالی، زمان تخریب در نمونه‌های بازیافتی، بدست آمده است.

### 3-1- نتایج آزمایش نرخ جریان مذاب

نتایج حاصل از آزمایش نرخ جریان مذاب با وزن مورد آزمایش نمونه‌های (R0-R5) در جدول 2 آمده است.

شکل 3 نمودار نتایج حاصل از آزمایش نرخ جریان مذاب نمونه‌های بازیافتی (R0-R5) را نشان داده است.

نتایج شکل 3 نشان می‌دهد، در مراحل اولیه بازیافت پلیمر نیمه کریستالی زنجیره‌های مولکولی شکسته شده و با افزایش وزن مولکولی و افزایش ویسکوزیته به دلیل شاخه‌ای شدن پلیمر نیمه کریستالی، نرخ جریان مذاب کاهش می‌یابد. با ادامه بازیافت بعد از نمونه 3 بار بازیافت شده، با از بین رفتن نیروی بین مولکولی در زنجیره‌های شکسته شده و نرم شدن تدریجی پلیمر و افزایش جنبش مولکولی در سطح، افزایش نرخ جریان مذاب دیده شده است.

جدول 2 نتایج حاصل از آزمایش نرخ جریان مذاب

Table 2 Results of testing the (MFI)

نمونه بازیافتی	وزن مورد آزمایش (gr)	MFI gr/10min
R0	0/446	2/3855
R1	0/556	2/3020
R2	0/447	2/2370
R3	0/440	2/2017
R4	0/563	2/8115
R5	0/432	2/9540

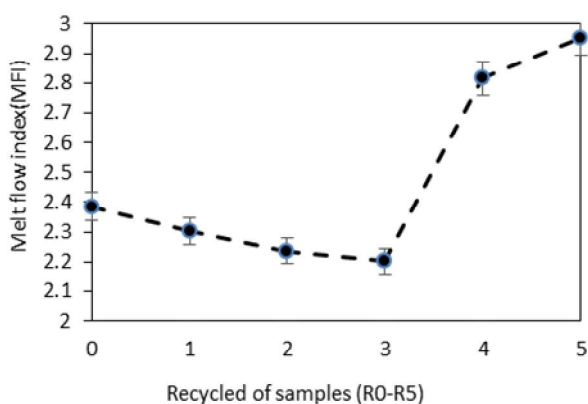


Fig. 3 Flow rate in recycled samples

شکل 3 نرخ جریان مذاب در نمونه‌های بازیافت

روند کاهش نرخ جریان مذاب در بازیافت‌های اولیه به دلیل

<sup>1</sup> AHP

<sup>2</sup> INSO 6981-1

<sup>3</sup> DSC 1 STARsystem-Meitliertoledo

<sup>4</sup> ISIRI 7186-6

با داشتن زنجیره‌های بلند پس از قرار گرفتن در دوره بازیافت و شکسته شدن زنجیره‌های دچار بی‌نظمی مولکولی شده است. نتایج کاهش درصد کریستالی در نمونه‌های بازیافتی نشان داده است که ساختار نیمه کریستالی پلی اتیلن با چگالی بالا پس از قرار گرفتن در دوره بازیافت به سمت ساختار آمورف پیش رفته است. بی‌نظمی حاکم بر ساختار مولکولی مواد پلیمری آمورف به دلیل شکسته شدن زنجیره‌های مولکولی باعث افزایش وزن مولکولی و افزایش ویسکوزیته در بازیافت‌های اولیه خواهد شد.

### 3-3 تأثیر زمان تخریب کامپوزیت چوب پلاستیک در نمونه‌های بازیافتی

با انجام آزمایش درصد کریستالی نمونه‌های بازیافتی می‌توان زمان تخریب کامپوزیت چوب پلاستیک را نیز بدست آورد. در اثر بازیافت و کاهش نیروی‌های بین مولکولی زنجیره‌های پلیمر دچار از هم گسیختگی شده و نرم شدن تدریجی پلیمر و تخریب ساختار کریستالی آن را در پی خواهد داشت.

مواد نیمه کریستالی پس از چند دوره بازیافت دچار کاهش سطح کریستالیزاسون شده که نتیجه این فرایند تخریب زنجیره‌های تشکیل شده در مواد می‌باشد که منجر به تغییر خواص مکانیکی شده است.

شکل 5 زمان تخریب نمونه‌های بازیافتی (R0-R5) را نشان می‌دهد.

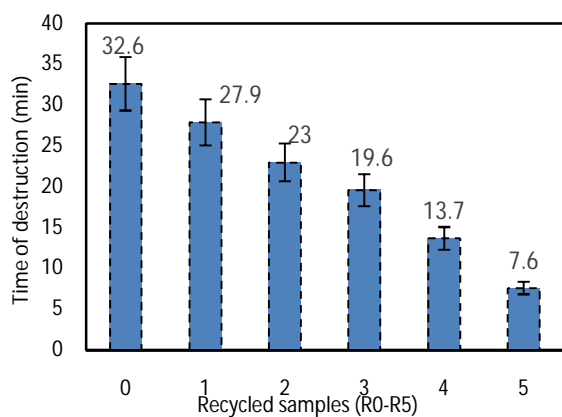


Fig.5 Time of destruction of recycled samples (TOD)

شکل 5 زمان تخریب نمونه‌های بازیافتی

با انجام آزمایش زمان تخریب در آزمایش درصد کریستالی در نمونه‌های بازیافتی، مشاهده شد که ادامه بازیافت و کاهش نیروهای بین مولکولی باعث گسیختگی زنجیره‌ای و نرم شدن تدریجی پلیمر و تخریب ساختار کریستالی و کاهش زمان تخریب نمونه‌ها تا حدود 7/6 دقیقه در نمونه R5 شده است.

شکسته شدن شاخه‌های طویل پلیمر نیمه کریستالی بوده که باعث کند شدن جریان مذاب شده است. به دنبال شکسته شدن شاخه‌های پلیمری در مواد نیمه کریستالی در ادامه بازیافت و کاهش نیروهای بین مولکولی روند افزایشی نرخ جریان مذاب مشاهده شد.

### 3-2- نتایج آزمایش درصد کریستالی

این آزمایش به منظور یافتن میزان درصد کریستالی در نمونه‌های بازیافتی (R0-R5) انجام شده است.

همچنین به کمک نمودارهای حاصل از این آزمایش زمان تخریب نمونه‌های بازیافتی (R0-R5) نیز بدست آمد.

نتایج حاصل از آزمایش درصد کریستالی نمونه‌های (R0-R5) در جدول 3 آمده است.

شکل 4 نمودار حاصل از نتایج بدست آمده از آزمایش درصد کریستالی را در نمونه‌های (R0-R5) نشان داده است.

جدول 3 نتایج حاصل از آزمایش درصد کریستالی نمونه‌های (R0-R5)

Table 3 Results from exam DSC samples (R0-R5)

نمونه‌های بازیافت شده	درصد کریستالی (%)	زمان تخریب (دقیقه)
R0	95	32/6
R1	90	27/9
R2	80	23
R3	70	19/6
R4	50	13/7
R5	30	7/6

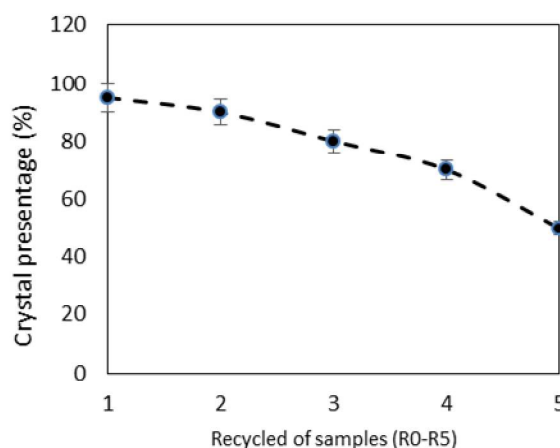


Fig. 4 Crystal percentage in recycled sample (R0-R5)

شکل 4 درصد کریستالی در نمونه‌های بازیافتی (R0-R5)

بررسی نتایج بدست آمده نشان داد پلیمر نیمه کریستالی (پلی اتیلن با چگالی بالا بکار رفته شده در کامپوزیت چوب پلاستیک)

پرشدگی و تزریق قطعات سالم بشمار می‌رود.  
- فشار نگهدارنده یا فشار دوم یا فشار تراکم تأثیر زیادی بر روی میزان پرشدگی و پلیسه قطعات تزریقی ندارد.

#### 5- مراجع

- [1] G. Rkalagi, R. Patil, N. Nayak, Experimental study on mechanical properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composite Materials for wind Turbin Blades, *international conference on Advanced Materials and Applications, Bengaluru*, pp. 15-17, 2016 (in INDIA).
- [2] G. Martins, F. Antunes, A. Mateus., C. Malca, Optimization of a wood plastic composite for architectural applications, *International conference on sustainable and Intelligent Manufacturing*, pp. 14-17, Dec. 2016 (in Leivia, Portugal).
- [3] George Wypych, *Effect on product properties*, third Edition, pp. 101-132, Handbook of Antiblocking, Release, and Slip, Additives, 2014.
- [4] R. John, Jr. Wagner, M. Eldridge, Mount, F. Harold, Jr. Giles, Plastic Behavior in the Extruder, *Extrusion (second Edition) the Definitive processing Guide and Handbook, Avolume in plastics design library*, pp. 47-70, 2014.
- [5] V. Mazzanti, F. Molica, Bending properties of wood flour filled polyethylene in wet Environment, *3rd International conference on natural fibers, Advanced Materials for a greener World*, pp. 21-23, 2017, (in portugal, Braga).
- [6] M.H. othman, S.Hasan, S.Z.Khamis, M.H.I Ibrahim, S.Y.M.Amin, Optimisation of injection moulding parameter towards shrinkage and warpage for polypropylene-nanoclay gigantochloa scortechinii nano composites, *Advances in matrial and prossing technologies conference, procedia engineering 184*, pp. 673-680, 2017.
- [7] D.Kazmer, *Shrinkage and warpage, injection mold design engineering second Edition*, pp. 291-325, Materials & Design, 2016.
- [8] Davide Masato, Marco Sorgato, Giovanni Lucchetta, Analysis of the shrinkage of injection molded fiber-rain forced thin-wall parts, *Elsevier Materials & Design*, volume 132, , pp. 219-224., 2016
- [9] M. Moayedian, K. Abhary, R. Marian, Optimization of injection molding process based on fuzzy quality evaluation and taguchi experimental design, *CIRP journal of manufacturing Science and technology*, 2018.
- [10] [10] P. Oblak, J. Gonzalez-Gutierrez, B. Zupancic, A. Aulova, I. Emri, *Mechanical Properties of Extensively Recycled High Density Polyethylene*, Chapter 24, pp. 17-24. Springer International Publishing, Mechanics of Composite and Multifunctional Materials, 2016
- [11] Wu, C. H., Huang, Y.-J., The influence of cavity deformation on the shrinkage and warpage of an injection-molded part, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Vol. 32,

جهت یکسان سازی زمان نگهداری نمونه‌های بازیافت شده در ماردون تزریق و جلوگیری از تخریب نمونه‌ها با کاهش دمای تزریق در سیکل بازیافت می‌توان ساختار مولکولی را حفظ کرده و از تخریب آن جلوگیری کرد.

#### 4- نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت بررسی اثر تعداد مراحل بازیافت بر روی خواص مکانیکی در محصولات کامپوزیت چوب پلاستیک تزریقی گرانول کامپوزیت چوب پلاستیک با 70 درصد پلی اتیلن چگالی بالا به روش اکستروژن تهیه شد. تزریق و بازیافت جهت تهیه پنج نمونه در شرایط ثابت، فشار تزریق 60 بار و فشار نگهدارنده 70 بار و زمان فشار نگهدارنده 2 ثانیه تزریق انجام شد. پارامترهای انتخاب شده به صورت تجربی به دلیل پرشدگی صد در صد در کوتا‌هترین زمان و کمترین فشار تزریق بدون پلیسه و کمترین درصد انقباض انتخاب شده است. جهت بررسی ساختار مکانیکی، آزمایش پلاستومتری جهت یافتن نرخ جریان مذاب و آزمایش درصد کریستالی جهت یافتن درصد کریستالی نمونه‌های بازیافتی (R0-R5) انجام شد. اهم نتایج بدست آمده پس از آزمایش به شرح زیر است.

- روند کاهش نرخ جریان مذاب در بازیافت‌های اولیه به میزان 0/2 در واحد سنجش MFI به دلیل شکسته شدن شاخه‌های طویل پلیمر نیمه کریستالی بوده که باعث کند شدن جریان مذاب شده است. به دنبال شکسته شدن شاخه‌های پلیمری در مواد نیمه کریستالی در ادامه بازیافت و کاهش نیروهای بین مولکولی روند افزایشی نرخ جریان مذاب به میزان 0/7 در واحد سنجش MFI مشاهده شد.

- نتایج کاهش درصد کریستالی در نمونه‌های بازیافتی به میزان 40 درصد بیان کننده آن است که ساختار نیمه کریستالی پلی اتیلن با چگالی بالا پس از قرار گرفتن در دوره بازیافت به سمت ساختار آمورف پیش رفته است. بی‌نظمی حاکم بر ساختار مولکولی مواد پلیمری آمورف به دلیل شکسته شدن زنجیره‌های مولکولی باعث افزایش وزن مولکولی و افزایش ویسکوزیته در بازیافت‌های اولیه خواهد شد.

- نتایج بررسی تأثیر تعداد مراحل بازیافت بر زمان تخریب چوب پلاستیک نشان داد، ادامه بازیافت و کاهش نیروهای بین مولکولی باعث گسیختگی زنجیره‌ای و نرم شدن تدریجی پلیمر و تخریب ساختار کریستالی و کاهش زمان تخریب نمونه‌ها تا حدود 7/6 دقیقه در نمونه R5 شده است.

فشار تزریق و زمان فشار دوم دو پارامتر مؤثر تزریق، در میزان

- distortions associated with injection molding*, Vol. 26, pp. 129-135, 2009 (Verlag London Limited).
- [16] A. Rozanski, M. Safandowska, A. Krajenta DSC/SAXS analysis of the thickness of lamellae of semicrystalline polymers restrictions in the case of materials with swollen amorphous phase Centre of Molecular and Macromolecular Studies, *Polish Academy of Sciences, Sienkiewicza 112*, pp. 90-363, 2018, (in Poland).
- [17] M. Rabiej, A. hybrid immune, evolutionary strategy algorithm for the analysis of the wide-angle X-ray diffraction curves of semicrystalline polymers, *J. Appl. Crystallogr.* 47, pp.1502–1511, 2014.
- [18] Y. Furushima, M. Nakada, M. Murakami, T. Yamane, A. Toda, C. Schick, Method for calculation of the lamellar thickness distribution of not-reorganized linear polyethylene using fast scanning calorimetry in heating, *confrance paper*, pp. 8831–8837, 2015.
- Springer*, pp. 1144-1154, 2006 (Verlag London).
- [12] Altan, M. Reducing shrinkage in injection moldings via the Taguchi, *ANOVA and neural network methods ELSEVIER*, Vol. 31, pp. 599-604, 2009.
- [13] Kurt, M., Kaynak, Y., Kamber, O. S., Mutlu, B., Bakir, B., Koklu, U, Influence of molding conditions on the shrinkage and roundness of injection molded parts, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Vol. 46 , pp. 571-578, 2010. (Verlag London Limited).
- [14] Hassan, H. Regnier, N. Pujos, C. Arquis, E. Defaye, G. Modeling the effect of cooling system on the shrinkage and temperature of the polymer by injection molding, *ELSEVIER*, No. 30, pp. 1547-1557, 2010.
- [15] Sarraga, R. F., Oetjens, T. J., Foss, P. H., Leblanc, P. A., *Using volume morphing to compensate shape*