



### تأثیر پارامتر کشش در تولید الیاف پلی پروپیلن پر شده با کربنات کلسیم

مصطفی شاهکرم<sup>۱</sup>، رضا لکزائی<sup>۲</sup>، زهرا میرشکار<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد شیمی کاربردی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، mostafa.shahkaram@gmail.com

<sup>۲</sup> کارشناسی مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، reza.lakzaei@yahoo.com

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران، zahramirshakar@ymail.com

#### چکیده

تجاری تولید می شود. سفید رنگ بوده و دمای ذوب حدود ۱۴۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی گراد دارد (۲). پلی پروپیلن یک پلیمر گرمانرم می باشد که کاربرد های زیادی در صنعت از جمله تولید فیلم و ورق، قالب گیری دمشی، قالب گیری تزریقی، بسته بندی مواد غذایی و... دارد. تولید الیاف پلی پروپیلن به عنوان اقتصادی ترین لیف صنعت نساجی همیشه مورد توجه تولید کنندگان و مصرف کنندگان بوده است (۳). این ماده نسبت به سایر پلیمرهای گرمانرم استحکام ضربه نسبتاً کمی دارد. با کنترل وزن مولکولی، استفاده از مواد افزودنی (پایدار کننده ها، تقویت کننده ها و غیره) و آمیزه سازی، امکان تشدید و بهبود بسیاری از ویژگی های پلی پروپیلن وجود دارد (۱). همچنین بلورینگی زیاد به این ماده استحکام زیاد، سفتی و سختی می بخشد (۴ و ۵). پلی پروپیلن عملاً از تنش های محیطی ترک نمی خورد، اما این پلیمر بطور ذاتی در برابر تخریب گرمایی پایداری کمتری نسبت به دیگر اولفینها مانند پلی اتیلن دارد و به سادگی بازیافت می شود (۲). توانایی تحمل بارهای سبک برای مدت زمان های طولانی در محدوده وسیع دما بی یکی از خصوصیات با ارزش پلی پروپیلن در کاربردهای مهندسی می باشد تقریباً کلیه فرایندهای تولید برای پلی پروپیلن قابل کاربرد می باشد (۶).

به علت خصوصیات فیزیکی پلی پروپیلن و قیمت ارزان آن، این ماده برای تولید الیاف و استفاده در صنعت نساجی بسیار مورد توجه تولید کنندگان و مصرف کنندگان است. همچنین با استفاده از برخی افزودنی ها به راحتی می توان خواص مکانیکی الیاف حاصل را بهبود بخشید. کربنات کلسیم مناسب ترین گزینه برای این امر است. اما شرایط تولید مانند سرعت و دمای ذوب ریزی و البته کشش الیاف در مرحله نهایی تولید می تواند بسیار اثرگذار باشد. در این تحقیق تاثیر نسبت کشش بر خواص مکانیکی الیاف پلی پروپیلن ترکیب شده با کربنات کلسیم بررسی شد. الیاف تولید شده در محدوده دمایی مورد نظر، پس از اعمال دو نسبت کشش متفاوت متناسب با عرض الیاف حاصل و فاصله تیغه های به کار برده شده، بوسیله دستگاه کشش و بر اساس ASTM D 648 بررسی گردید. مقادیر بدست آمده برای مقاومت کششی لیف نشان داد افزایش نسبت کشش در تولید الیاف تأثیر قابل توجهی در بهبود خواص مکانیکی آن دارد.

#### واژه های کلیدی

الیاف پلی پروپیلن، کربنات کلسیم، کشش، خواص مکانیکی

#### کربنات کلسیم

مناسب ترین راه بهبود قابلیت شکل دهی گرمایی پلی پروپیلن، تغییر در ساختار شیمیایی و یا آمیزه کاری با بعضی مواد دیگر اصطلاح ساختار شیمیایی با ایجاد شاخه های بلند جانبی، افزایش جرم مولکولی و پهن تر کردن توزیع وزن مولکولی انجام می گیرد و منجر به تولید انواع پلی پروپیلن با مقاومت زیاد مذاب می شود که برای شکل دهی گرمایی مناسب هسته (۱۱-۷). اما، اصلاح شیمیایی روشی محدود و هزینه بر بوده و کمتر در دسترس است علاوه بر آن در تولید ورق به روش اکستروژن نیز مشکلاتی را به وجود می آورد بنابراین، روش آمیزه کاری با مواد دیگر جهت افزایش خواص فیزیکی و مکانیکی، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (۱۲ و ۱۳).

#### مقدمه

پلی اولفین ها از جمله الیاف مصنوعی می باشند که در آن ماده تشکیل دهنده لیف یکی از پلیمرهای مصنوعی بلند است و حداقل ۸۵ درصد وزن آن را اتیلن، پروپیلن یا سایر واحدهای اولفینی تشکیل می دهد. پلی اولفینها به علت ارزانی قیمت مونومر، چگالی کمتر از یک و امکان ذوب ریزی توجه بسیار زیادی را به خود جلب نموده اند. از دیگر خصوصیات این الیاف عدم جذب رنگینه، رطوبت، مقاومت در مقابل حلال های شیمیایی، بازها و اسیدها و تخریب زودهنگام آن در اثر نور خورشید و مالش است (۱). پلی پروپیلن<sup>۱</sup> (PP) و پلی اتیلن<sup>۲</sup> (PE) معمول ترین اعضای این خانواده هستند این الیاف آب گریز از پلیمریزه کردن پروپیلن در حجم بسیار زیاد و بطور

<sup>۱</sup> Polypropylene

<sup>۲</sup> Polyethylene

<sup>۳</sup> Extrusion

سرعت نفوذ اکسیژن با افزایش نفوذپذیری آن به درون ماده افزایش می یابد، انتظار می رود اندازه بلورها و بلورینگی آنها از عوامل مؤثر بر تخریب و پایداری پلی پروپیلن باشند (۲۷ و ۱۳).

تحقیقات زیادی در بررسی ترکیبی حرارت و استحکام لیاف پلی پروپیلن صورت گرفته است. کریگر و رینگ (۲۸) میزان حجیم بودن را تحت اثر حرارت و شرایط کششی بررسی نموده اند. فرایند تولید لیاف پلی پروپیلن حرارت و میزان کشیدگی بر رفتار نهایی بسیار مؤثر است. کشش لیاف پلی پروپیلن بعد از تولید آن، نظم مولکولی را افزایش داده و به آن استحکام می بخشد. از این رو باید مناسبترین حرارت و کشش مورد نیاز در فرایند تولیدی به کار برده شود. این موضوع را میتوان به ویژگی ساختاری پلیمر تعمیم داد. پلیمرها از تکرار واحد مونومری به دنبال هم و در نهایت قرارگیری رشته های یکسانی از این توالی در کنار یکدیگر ساخته می شوند. برای افزایش مقاومت پلیمر می توان با فراهم سازی شرایط لازم، پلیمر را در معرض کشش قرار داد این عمل باعث نزدیک شدن رشته ها به یکدیگر و تشکیل اتصال هجی در بین رشته ها می گردد که به شدت بر روی استحکام این لیاف مؤثر است (۲۴). همچنین اضافه کردن پرکننده ها یا تقویت کننده ها به پلی پروپیلن اغلب باعث تغییر ساختار کریستالی و مورفولوژی پلی پروپیلن و متعاقب آن باعث تغییر در خواص کشش آن می شود (۲۹).

### مواد و روشها

#### مواد

در این پژوهش از گرانول پلی پروپیلن نوع هموپلیمر با نام تجاری RG - 1102 XL تولید مجتمع پتروشیمی رجال، کربنات کلسیم با نام تجاری 125PRF تولید شرکت پویا پلیمر و رنگدانه با نام تجاری 18 150 964 تولید شرکت درمان استفاده شد که مشخصات آنها به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آمده است

جدول ۱: مشخصات تولید پلی پروپیلن RG - 1102 XL

مقدار	واحد	روش تست	خاصیت
5.5	gr/min	ASTM D1238/L	MFR ( 230° C/ 2.16 Kg )
1500	MPa	ASTM D638	Tensile Modulus of Elasticity (1mm/min)
34	MPa	ASTM D638	Tensile Strength at Yield (5cm/min)
9	%	ASTM D638	Elongation at Yield (5cm/min)
3.5	KJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA	Notched Charpy Impact at 23°
1.5	KJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA	Notched Charpy Impact at -30°
154	°C	ASTM D1525	Vicat Softening Point, 10N
74	MPa	ISO 2039-1	Ball indentation hardness

انواع روش ها برای پراکنده کردن پرکن ها عبارتند از : پلیمریزاسیون<sup>۴</sup> درجا، اختلاط مذاب با استفاده از مخلوط کن داخلی و ترکیب مذاب با استفاده از اکسترودر<sup>۵</sup> های ماریچ. برای پلی پروپیلن اختلاط مذاب و ترکیب مذاب روش بهتری شناخته شده و سطح تبلور پلی پروپیلن با اختلاط کربنات کلسیم افزایش یافته است (۱۴). موادی که به این منظور به پلی پروپیلن افزوده می شوند شامل برخی از پلیمرها (۱۵ و ۱۶)، مواد هسته گذار (۲۰-۱۷) و پرکننده های معدنی (۲۱ و ۲۲) هستند

مهمترین پرکننده معدنی که ۸۵٪ مصرف کنندگان آن را ترجیح داده اند، کربنات کلسیم است. در مورد اثر این افزودنی روی خواص گرمایی پلی پروپیلن و ارتقاء خواص پلیمری آن مطالعات زیادی انجام گرفته و ثابت شده است که استفاده از این پرکننده ارزان موجب بهبود انتقال گرما، افزایش ضریب نفوذ گرمایی و کاهش گرمای ویژه پلیمر می شود استفاده از این ماده در فرایند شکل دهی گرمایی از نظر اقتصادی بسیار مورد توجه است (۲۳ و ۲۴). البته با توجه به چند مرحله ای بودن فرایند شکل دهی گرمایی، عوامل دیگری همچون استحکام مذاب و گرانبوی کششی مؤثر است. ذکر این نکته ضروری است که استحکام مذاب پلی پروپیلن معمولاً مستقل از مقدار درصد کربنات کلسیم است، ولی در مقادیر بیشتر از ۲۵ درصد وزنی کاهش می یابد (۱۱-۸).

### پارامتر کشش

ساختار فیزیکی لیاف تولید شده از پلی پروپیلن وابسته به فرایند تبدیل پلیمر به محصول و عوامل مؤثر بر تولید است این دو موضوع جدا از یکدیگر نیست و یک جا بررسی می شوند. دما، سرعت و عملیات مکانیکی که روی پلیمر مذاب اعمال می شود، سبب اکسایش گرمایی و مکانیکی می شوند. انتظار می رود این موضوع مقدار ناخالصی هایی را که موجب تخریب می شوند را زیاد کند. تبلور، آرایش مولکولی و تا خوردگی های مولکول های زنجیری که در ارتباط با ساختار فیزیکی پلیمر است نیز بر اکسایش پلیمر اثر دارند (۲۵). آثار این عوامل همه با هم مشخص شده است، اما مشخص نیست که تبلور، آرایش یافتگی و تا خوردگی، جداگانه و به طور مستقل چه اثری بر تخریب نوری می تواند داشته باشد (۲۶). اکسایش پلیمرهای نیمه بلوری از جمله پدیده های مهمی است که به واسطه پارگی زنجیرها در نواحی بی شکل باعث افت شدید خواص مکانیکی می شود روش تولید لیاف پلی پروپیلن و نحوه سرد کردن محصول در شکل گیری، مقدار، اندازه و نوع بلورها بسیار مؤثر است. بلورهای شناخته شده در پلی پروپیلن در شرایط متفاوت حاصل می شوند (۱۲). از آنجا که در فرایندهای وابسته به نفوذ،

<sup>4</sup> Polymerization

<sup>5</sup> Extruder

تولید می شوند کاربرد دارد بطور کلی هدف از این فرایند تولید محصولی با کیفیت مناسب و مطابق با سلیقه و خواست مشتری است. برای رسیدن به این اهداف باید چند نکته را در کیفیت محصول مانند مواد اولیه یکدست، دمای مناسب ذوب پلیمر در اکسترودر و فشار مذاب صحیح بعد از مرحله اکسترودرمد نظر قرار داد. دستگاه ریسند شامل قسمت های ورود مواد اولیه، ذوب رسی، تبدیل مواد مذاب به فیلم، مخزن آب سرد، برش فیلم، آون و کشش می باشد که الیاف حاصل از آن بر روی دستگاهی مخصوص (شکل ۳) به صورت منظم پیچیده و جمع آوری می گردد



شکل ۳: دستگاه جمع آوری الیاف

فیلم تولید شده در دستگاه اکسترودر به منظور تولید الیاف مورد استفاده در صنعت کیسه های پلی پروپیلن مورد استفاده قرار می گیرد که بعد از مرحله سرد شدن و طی مراحل برش، گرمادهی و کشش به الیاف با عرض ۴ میلی متر تبدیل می گردد. در این پژوهش، پارامتر کشش به وسیله مولفه وابسته به آن یعنی فاصله تیغه های برش و جهت دستیابی به خواص مکانیکی و کیفی مطلوب تر در شرایط محیطی و دستگاهی یکسان مورد بررسی قرار گرفت

(۱) خ = فاصله تیغه هلی برش

همچنین با عرض ۱۲۰۰ میلی متری فیلم تولید شده در دستگاه اکسترودر، تعداد الیاف پلی پروپیلن حاصل برای فاصله تیغه ۹/۷۲ و ۱۰/۰۴ میلیمتر به ترتیب برابر ۱۲۳ و ۱۱۹ عدد می باشد. این پژوهش در محل کارخانه پلیمر پاکت شهر زاهدان به انجام رسید

### روشها

#### روش آمیزه کاری

مواد اولیه ۹۶/۴ درصد وزنی پلی پروپیلن، ۳ درصد وزنی کربنات کلسیم و ۰/۶ درصد وزنی رنگدانه وارد اکسترودر با محدوده دمایی ۲۵۰، ۲۵۵، ۲۶۰، ۲۶۵ و ۲۷۰ درجه سانتی گراد شد. طی دوره های متفاوت، سرعت چرخش مارپیچ اکسترودر بین ۴۰۰ تا ۵۱۰ دور بر دقیقه با دو نسبت کشش مطابق با فاصله تیغه های برش فیلم طبق

85	°C	ASTM D648	HDT ( 0.46 N/mm2)
163	°C	ASTM D3417	Melting Point , DSC
0.91	gr/cm3	ASTM D792	Density

جدول ۲: مشخصات تولید کربنات کلسیم 125PRF

مقدار	واحد	روش تست	خاصیت
2 ± 1	g/10min	ASTM D 1238	Melt Flow Rate (230°C/2.16 Kg)
79 ± 2	%	ASTM D 4218	Mineral content
1.8	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505	Density
Max 0.1	%	ASTM D 644	Moisture
OK		PPTMETHOD	Dispersion

### دستگاهها

در این پژوهش، از دستگاه ریسند دارای اکسترودر تک محور مدل E-120 (L/D=۴۰/۱) ساخت شرکت BSW کشور اتریش (شکل ۱) و همچنین دستگاه کشش شرکت Zwick/Roell Z005 کشور آلمان (شکل ۲) استفاده شد.



شکل ۱: دستگاه ریسند



شکل ۲: دستگاه کشش

### دستگاه اکسترودر

اکستروژن یکی از عمومی ترین فرایندهای تولید محصولات پلیمری است. این فرایند در تولید محصولات که بصورت یکنواخت و مداوم

<sup>6</sup> Oven

جدول ۴: نتایج تست کشش با نسبت کشش ۵/۹

سرعت	ازدیاد طول (%)	استحکام کششی (g/den)	نیروی مقاوم کششی (N)	رتبه
۴۰۰	۲۴/۴	۵/۹۴	۵۳/۴	۱
	۲۶/۰	۵/۷۹	۵۴/۶	۲
	۲۵/۱	۵/۸۴	۵۴/۶	۳
	۲۴/۱	۵/۵۹	۵۲/۸	۴
	۲۵/۵	۵/۷۷	۵۵/۷	۵
	۲۷/۴	۵/۸۹	۵۴/۷	۶
	۲۴/۸	۵/۸۶	۵۵/۴	۷
۴۲۰	۲۸/۸	۵/۹۶	۵۶/۱	۸
	۲۵/۲	۵/۹۴	۵۶/۰	۹
	۲۲/۵	۵/۵۶	۵۳/۶	۱۰
	۲۵/۸	۵/۷۲	۵۳/۰	۱۱
۴۵۰	۲۶/۲	۵/۸۷	۵۵/۶	۱۲
	۲۶/۹	۵/۹۹	۵۶/۱	۱۳
	۲۶/۴	۵/۹۶	۵۶/۲	۱۴
	۲۷/۱	۵/۸۸	۵۵/۲	۱۵
	۲۷/۲	۵/۹۹	۵۶/۴	۱۶
	۲۵/۹	۵/۸۷	۵۵/۳	۱۷
	۲۴/۴	۵/۷۹	۵۴/۸	۱۸
	۲۳/۵	۵/۸۱	۵۵/۴	۱۹
۴۷۰	۲۴/۸	۵/۷۹	۵۵/۴	۲۰
	۲۶/۰	۵/۸۴	۵۶/۲	۲۱
	۲۵/۹	۵/۹۱	۵۶/۰	۲۲
۵۰۰	۲۴/۹	۶/۰	۵۷/۶	۲۳
	۲۵/۴	۶/۲	۵۷/۸	۲۴
	۲۲/۹	۶/۲	۵۸/۹	۲۵

درصد ازدیاد نیز به طور مستقیم با جنس تیغه و مقاومت تیغه در برابر خوردگی مرتبط می باشد با کنترل کیفیت تیغه ها و تعویض بموقع آنها سعی بر تنظیم و حفظ این مشخصه تا ۲۵٪ با کمترین خطای ممکن بود (نمودار ۳). با توجه به داده های به دست آمده که در نمودار ۱ و ۲ نمایش داده شده است، می توان نقطه بهینه خواص مکانیکی را در نسبت کشش ۶/۳ و سرعت ۴۲۰ دور بر دقیقه تعیین نمود. البته لازم به ذکر است که نتایج به دست آمده در هر دو مقدار فاصله تیغه مورد تست، در محدوده کیفی مطلوب قرار دارد اما به دلیل نزدیکی بسیار نتایج در هر مرحله از نسبت کشش مشخص و اهمیت کمیت تولید در صنعت، نسبت کشش ۶/۳ و بالاترین سرعت ممکن اکسترودر دستگاه ریسنده، نقطه بهینه تولید مشخص شد

جدول ۳ تنظیم شد توده پلیمری مذاب حاصل از اکسترودر در دمای ۲۷۰ درجه سانتی گراد و فشار ۸۰ bar به یک فیلم نازک تبدیل و به وسیله آب خنک شد. پس از آن با عبور از تیغه های جایگذاری شده در دستگاه با فاصله در حال بررسی و تعیین نسبت کشش، قبل از ورود به قسمت آون به نوارهای باریک تقسیم گردید. پس از آن مجدداً با گرمایش آون، آماده کشش چند مرحله ای و شکل گیری عرض و ضخامت مطلوب الیاف گردید. در مرحله آخر الیاف تولید شده با سرعتی حدوداً برابر چرخش ماریپیچ اکسترودر جمع آوری شد.

جدول ۳: مشخصات دستگاه ریسنده

سرعت	نسبت کشش	فاصله تیغهها (mm)	محدوده دمایی اکسترودر (°C)
۱	۵/۹	۹/۷۲	۲۶۵، ۲۶۰، ۲۵۵، ۲۵۰ و ۲۷۰
۲	۶/۳	۱۰/۰۴	

### خواص مکانیکی

#### آزمون کشش

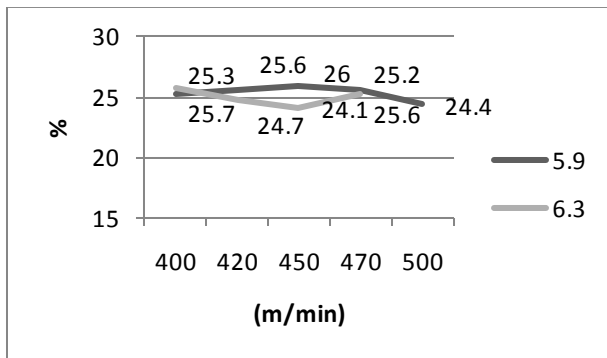
پس از آماده سازی الیاف پلی پروپیلن با عرض ۴ میلی متر، به منظور بررسی لنتیفر کشش و شرایط دستگاه بر روی تولید درصد ازدیاد طول لیف، نیروی مقاوم کششی و استحکام کششی وابسته به ضخامت بر طبق استاندارد ASTM D 648 اندازه گیری شد

#### نتیجه گیری

نتایج تست کشش الیاف پلی پروپیلن تولیدی برای دو نسبت کشش ۵/۹ و ۶/۳ به ترتیب در ۴ و ۵ آورده شده است. اطلاعات داده شده در هر ردیف جداول ۴ و ۵ مربوط به تولید یک روز دستگاه ریسنده و میانگین حداقل ۳۰ نمونه می باشد

طی این پژوهش ۲۵ روز با نسبت کشش ۵/۹ و ۱۵ روز با نسبت کشش ۶/۳ داده جمع آوری شد که در مجموع بیش از ۱۲۰۰ نمونه بررسی گردید. میانگین داده های هر سرعت مشخص نیز برای مقایسه کلی مشخصه های کیفی الیاف در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ نمایش داده شده است

با توجه به نتایج، همان طور که در نمودارهای ۱ و ۲ قابل مشاهده است افزایش فاصله تیغه ها و به عبارت دیگر افزایش نسبت کشش منجر به افزایش نیروی مقاوم کششی تا آستانه پارگی و همچنین استحکام کششی وابسته به ضخامت الیاف می شود بررسی تاثیر سرعت های مختلف بر این دو مولفه نشان دهنده این بود که سرعت، فاکتور تاثیر گذار بر مقاومت الیاف پلی پروپیلن در سرعت های بالا نمی باشد اما کاهش سرعت دستگاه به تدریج موجب افت مشخصه های کیفی این الیاف خصوصاً در نسبت کشش پایین تر می شود.



نمودار ۳: ازدیاد طول لیف

### نتیجه گیری و جمع بندی

در این تحقیق تاثیر نسبت کشش و فاصله تیغه های برش بر روی مشخصه های مقاومت و استحکام الیاف بررسی و مشخص گردید با افزایش نسبت کشش در محدوده دمایی و سرعت های م ورد نظر استحکام الیاف افزایش می یابد. همچنین می توان با استفاده از طراحی آزمایش به منظور بررسی تاثیر متقابل فاکتور های موثر بر استحکام کششی، به نقطه بهینه تئوری به منظور تولید الیافی با کیفیت بسیار بالا دست یافت با توجه به نتایج به دست آمده به طور تجربی می توان بر تاثیر بسیار زیاد نسبت کشش بر کیفیت و بهبود خواص مکانیکی الیاف تولیدی تاکید کرد.

### تشکر و قدردانی

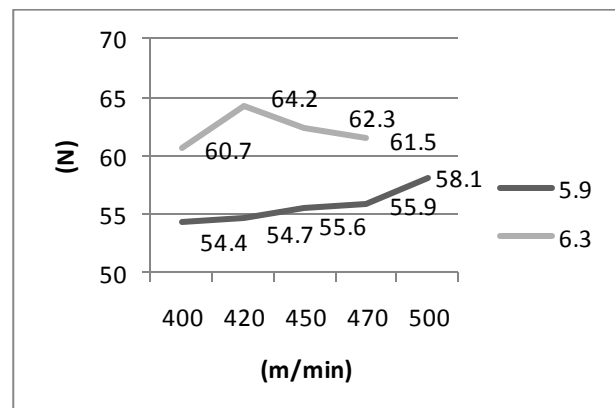
در پایان بر خود لازم می دانند از زحمات جناب آقای محمد رضا احسانفر مدي عامل محترم شرکت های صنایع سیمان سیستان کارآفرین نمونه کشوری و همچنین جناب آقای رضا علیزاده مدیر عامل محترم شرکت پلیمر پاکت پرند زاهدان به جهت حمایت مادی و معنوی جهت انجام این پژوهش تقدیر و تشکر نمایند

### مراجع

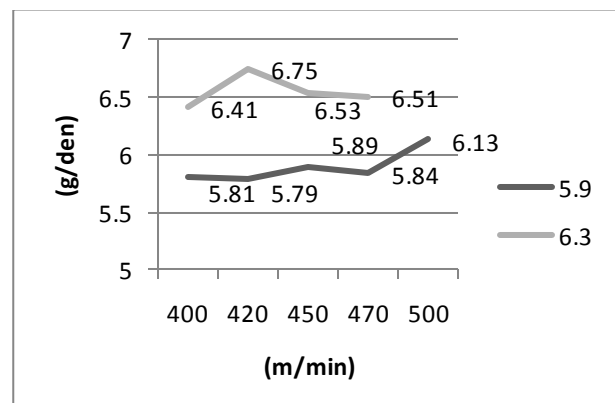
- [1] Schwartz, S. S., & Goodman, S. H. (1982). *plastics Materials and processes*. Van Nostrand Reinhold Company.
- [2] ACI 544.3R.; Guide for Specifying Mixing , Placing and Finishing Fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice. Michigan: *American Concrete Institute* ; 1998.
- [3] Karger-Kocsis, J. (Ed.). (1999). *Polypropylene*, 845-852, Kluwer Academic, London.
- [4] Zhou, Y., Rangari, V., Mahfuz, H., Jeelani, S., & Mallick, P. K. (2005). Experimental study on thermal and mechanical behavior of polypropylene, talc/polypropylene and polypropylene/clay nanocomposites. *Materials Science and Engineering: A*, 402(1-2), 109-117.
- [5] Cabral-Fonseca, S., Paiva, M. C., Nunes, J. P., & Bernardo, C. A. (2003). A novel technique for the interfacial characterisation of glass fibre-

جدول ۵: نتایج تست کشش با نسبت کشش ۶/۳

سرعت	ازدیاد طول (%)	استحکام کششی (g/den)	نیروی مقاومت کششی (N)	شماره
۴۸۰	۲۵/۶	۶/۴۶	۶۱/۲	۱
	۲۵/۷	۶/۳۶	۶۰/۳	۲
۴۹۰	۲۴/۷	۶/۸۸	۶۶/۰	۳
	۲۵/۰	۶/۶۸	۶۳/۷	۴
	۲۴/۴	۶/۶۹	۶۲/۹	۵
۵۰۰	۲۴/۲	۶/۳۵	۶۴/۲	۶
	۲۵/۳	۶/۶۵	۶۲/۸	۷
	۲۴/۰	۶/۵۱	۶۰/۷	۸
	۲۳/۷	۶/۴۴	۶۳/۷	۹
	۲۳/۵	۶/۷۲	۶۴/۳	۱۰
۵۱۰	۲۵/۶	۶/۶۱	۶۲/۷	۱۱
	۲۵/۵	۶/۵۲	۶۰/۶	۱۲
	۲۵/۰	۶/۵۰	۶۲/۰	۱۳
	۲۵/۳	۶/۵۰	۶۱/۱	۱۴
	۲۴/۷	۶/۴۲	۶۱/۰	۱۵



نمودار ۱: نیروی مقاومت کششی لیف



نمودار ۲: استحکام کششی وابسته به ضخامت لیف



- polypropylene-The effect of process and material variables on processability. In *TECHNICAL PAPERS OF THE ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE-SOCIETY OF PLASTICS ENGINEERS INCORPORATED* (pp. 858-862). SOCIETY OF PLASTICS ENGINEERS INC.
- [19] Macauley, N. J., Harkin-Jones, E. M. A., & Murphy, W. R. (1998). The influence of nucleating agents on the extrusion and thermoforming of polypropylene. *Polymer Engineering & Science*, 38(3), 516-523.
- [20] Jacoby, P., Wu, J., & Heiden, M. (1994). *U.S. Patent No. 5,310,584*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [21] Malpass, V. E., & Kempthorn, J. T. (1986). Setting conditions for polyolefin thermoforming. *Plast. Eng.*, 42(8), 53-57.
- [22] Malpass, V., Kempthorn, J., & Dean, A. (1989). Estimating thermoforming behavior of mineral-filled polypropylenes. *Plast. Eng*, 45, 27-31.
- [23] Wunderlich, B. (1980). Chapter 8. *Macromolecular Physics*, 3.
- [24] Premphet, K., & Horanont, P. (1999). Influence of stearic acid treatment of filler particles on the structure and properties of ternary-phase polypropylene composites. *Journal of applied polymer science*, 74(14), 3445-3454.
- [25] Oliani, W. L., Parra, D. F., & Lugaõ, A. B. (2010). UV stability of HMS-PP (high melt strength polypropylene) obtained by radiation process. *Radiation Physics and Chemistry*, 79(3), 383-387.
- [26] Broda, J. (2003). Structure of polypropylene fibres coloured with a mixture of pigments with different nucleating ability. *Polymer*, 44(22), 6943-6949.
- [27] Herzig, R., & Baker, W. E. (1993). Correlations between image-analysed morphology and mechanical properties of calcium carbonate-filled polypropylene. *Journal of materials science*, 28(24), 6531-6539.
- [28] Krieger, J., & Ring, H. (1999). FIBER PRODUCTION-Spin finishes for polypropylene BCF/CF yarns. *Chemical Fibers International*, 49(6), 524-525.
- [29] Karger-Kocsis, J. (1995). Microstructural aspects of fracture in polypropylene and in its filled, chopped fiber and fiber mat reinforced composites. In *Polypropylene Structure, blends and composites* (pp. 142-201). Springer, Dordrecht.
- polypropylene systems. *Polymer testing*, 22(8), 907-913.
- [6] Tripathi, D. (2002). *Practical guide to polypropylene*. iSmithers Rapra Publishing.
- [7] Yoo, H. J., & Done, D. (1992). Rheology of high melt strength polypropylene. *ANTEC 92--Shaping the Future.*, 1, 569-572.
- [8] Hylton, D. C., & Cheng, C. Y. (1988). Thermoform polypropylene on conventional equipment. *Plast. Eng.*, 44(4), 55-57.
- [9] McHugh, K., & Ogale, K. (1990). High Melt Strength Polypropylene for Melt Phase Thermoforming. In *Antec* (Vol. 90, pp. 452-455).
- [10] Lau, H. C., Bhattacharya, S. N., & Field, G. J. (2000). Influence of rheological properties on the sagging of polypropylene and ABS sheet for thermoforming applications. *Polymer Engineering & Science*, 40(7), 1564-1570.
- [11] Gotsis, A. D., Zeevenhoven, B. L. F., & Hogt, A. H. (2004). The effect of long chain branching on the processability of polypropylene in thermoforming. *Polymer Engineering & Science*, 44(5), 973-982.
- [12] Woishnis, W. (1998). *Polypropylene*.
- [13] Herzig, R., & Baker, W. E. (1993). Correlations between image-analysed morphology and mechanical properties of calcium carbonate-filled polypropylene. *Journal of materials science*, 28(24), 6531-6539.
- [14] حسن پور، حسن، ۱۳۹۱. " بررسی تاثیر نانوذرات کربنات کلسیم بر رفتار حرارتی نانو کامپوزیت‌های پلی پروپیلین و پلی اتیلن چگالی بالا " اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی، اهواز، موسسه علمی نفت پژوهان جنوب .
- [15] Johnson, R. W., & Iienda, C. S. (1992). Modifiers that improve the thermoformability of polypropylene. *ANTEC 92--Shaping the Future.*, 1, 501-505.
- [16] Scheibelhoffer, A., Wimolkiatisak, A., Leonard, B., & Chundury, D. (1993). Highly Thermoformable Polyolefin Alloys. In *TECHNICAL PAPERS OF THE ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE-SOCIETY OF PLASTICS ENGINEERS INCORPORATED* (pp. 629-629). SOCIETY OF PLASTICS ENGINEERS INC.
- [17] Jacoby, P., Yang, J. C., & Kissel, W. J. (1994). A New Polypropylene Resin with Enhanced Thermoformability. ANTEC.
- [18] Macauley, N., Harkin-Jones, E., & Murphy, W. R. (1996). Extrusion and thermoforming of