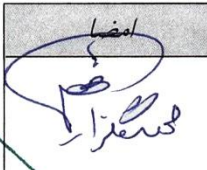
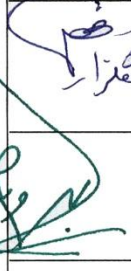

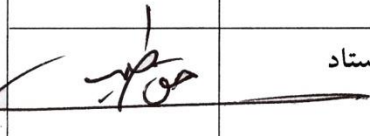
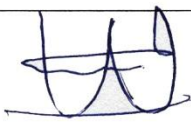

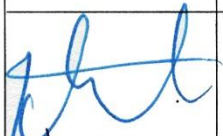





بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای ناتان جعفریان جم رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان بررسی تجربی و تئوری جریان کامپوزیت چوب پلاستیک در دای اکستروژن و تاثیر پارامترهای جریان بر خواص مکانیکی در تاریخ ۱۳۹۱/۶/۲۸ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری مهندسی مکانیک - ساخت و تولید پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمد گلزار	دانشیار	
استاد راهنمای دوم	دکتر امیر حسین بهروش	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر فرهاد شریف	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علی حق طلب	استاد	
استاد ناظر	دکتر حسن مسلمی نائینی	استاد	
استاد ناظر	دکتر حمید گرمابی	استاد	
استاد ناظر	دکتر طاهر از دست	استادیار	
استاد ناظر	دکتر حسین مسلمی نائینی	استاد	

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی-پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:
«کتاب حاضر، حاصل رساله دکترای ناتان جعفریان جم در رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید است که در سال ۱۳۹۱ در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد گلزار و آقای دکتر امیرحسین بهروش و مشاوره جناب آقای دکتر فرهاد شریف از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

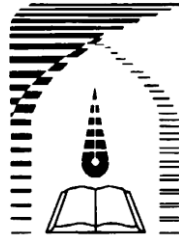
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب ناتان جعفریان جم دانشجوی رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید مقطع دکترای تخصصی تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: ناتان جعفریان جم

تاریخ و امضا:



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک
رساله دکتری

بررسی تئوری و تجربی جریان کامپوزیت چوب پلاستیک در دای اکستروژن و تاثیر پارامترهای جریان بر خواص مکانیکی

ناتان جعفریان جم

استاد راهنمای اول:
دکتر محمد گلزار

استاد راهنمای دوم:
دکتر امیرحسین بهروش

استاد مشاور:
دکتر فرهاد شریف

تشکر و قدردانی:

اکنون که به یاری خداوند بزرگ این پایان نامه به اتمام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم که از استادان راهنمای گرامی‌ام، جناب آقای دکتر محمد گلزار و جناب آقای دکتر امیرحسین بهروش، همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر فرهاد شریف که از ابتدای تحقیق تا پایان کار با راهنماییها و دقت نظر خود مرا یاری دادند، صمیمانه تشکر و سپاسگزاری نمایم.

تشکر خاص بنده متعلق به پدر و مادر مهربانم می‌باشد که در تمام مراحل زندگی با دلسوزی و سخت‌کوشی شرایط را برای موفقیت و پیشرفت من فراهم نمودند. همچنین از همسر مهربان و دوستان عزیزم که در این مدت من را با حمایتها و صبر و شکیبایی در پیمودن این مسیر کمک کردند، کمال تشکر را دارم.

امید است که این تلاش ناچیز، پاسخی باشد به زحمات این بزرگواران.

چکیده:

با توجه به گسترش روزافزون و افزایش کاربرد کامپوزیت چوب پلاستیک، امروزه این کامپوزیت به عنوان یک ماده صنعتی پرکاربرد مورد توجه قرار دارد. لذا شناخت بیشتر خصوصیات این ماده و پارامترهای موثر در فرآیندهای تولیدی آن از اهمیت بالایی برخوردار است. از جمله این فرآیندها می‌توان به اکستروژن این کامپوزیت اشاره نمود که بیشترین سهم را در تولید به خود اختصاص داده است. با توجه به خصوصیت ویسکوالاستیک کامپوزیت چوب پلاستیک و تمایل بالای صنعت در استفاده از درصدهای بالای چوب در این کامپوزیت، جریان آن در داخل دای اکستروژن با شرایط خاص و ویژه‌ای همراه است که شناخت این شرایط و مطالعه دقیق آن، کمک شایانی در طراحی ساده‌تر و مناسب‌تر دای اکستروژن و دستگاه اکسترودر و سایر تجهیزات و قطعات مورد استفاده خواهد داشت. در این تحقیق تلاش برای دستیابی به معادله قانونمند مناسب برای بیان جریان این کامپوزیت در داخل دای اکستروژن تحت شرایط مختلف تولیدی و موادی، با استفاده از آزمایش‌های تجربی انجام شده و در ادامه تاثیر پارامترهایی از قبیل فشار، دما، درصد چوب، دور دستگاه، قطر، نسبت طول دنباله به قطر دای و نوع ماتریس بر روی برخی خواص فیزیکی و مکانیکی ماده تولید شده مورد بررسی قرار گرفته است. پلیمرهای انتخابی شامل دو نوع پلی‌پروپیلن و یک نوع پلی‌اتیلن سنگین بوده که پرکاربردترین انواع پلیمر در ساخت این کامپوزیت می‌باشند. به منظور کاربردی‌تر شدن نتایج کار پژوهشی، ابعاد مقاطع پروفیل‌های اکستروودی بزرگ در نظر گرفته شد به طوری که نزدیک به تولید صنعتی باشند. با استفاده از اطلاعات بدست آمده از آزمایش‌های عملی، تطابق برخی روابط تئوری مورد بررسی قرار گرفته و معادله سیال بینگهام به عنوان رابطه مناسب با رفتار این کامپوزیت معین گردید. با استفاده از این رابطه میزان ویسکوزیته و تنش تسلیم در جریان این کامپوزیت حاوی ماتریس‌های مختلف پلیمری و درصدهای مختلف چوب تحت شرایط مختلف تولید محاسبه گردید. در نهایت با مقایسه این نتایج عملی با نتایج بدست آمده از برخی آزمون‌های رئومتر روند مشابهی بین آنها مشاهده شده و مشخص گردید آزمون روبش فرکانس از صحت نتایج بالاتری نسبت به سایر آزمون‌های رئومتری (در رئومتر چرخشی) برای بیان رفتار ماده برخوردار است.

واژگان کلیدی:

کامپوزیت چوب پلاستیک، دای، اکستروژن، جریان، معادله قانونمند، رئولوژی، استحکام کشش، جذب آب، پارامترهای موادی و فرآیندی.

فهرست مطالب

فصل ۱ : مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه:	۲
۲-۱ فرایندهای مورد استفاده برای کامپوزیت چوب پلاستیک	۳
۳-۱ اهداف و نوآوری‌ها	۶
۱-۳-۱ جنبه علمی	۷
۲-۳-۱ جنبه کاربردی	۷
۴-۱ ساختار پایان نامه	۸
فصل ۲ : پیشینه تحقیق	۹
۱-۲ تحلیل جریان در سیال‌های پلیمری تقویت شده	۱۰
۲-۲ لغزش بر روی دیواره در جریان مواد پلیمری	۱۳
۳-۲ بررسی مختصر برخی مطالعات انجام شده در زمینه جریان پذیری در هندسه و شرایط مختلف ...	۱۸
۱-۳-۲ حل جریان تراکم پذیر حلقه‌ای پوسوله برای یک سیال با ویسکوزیته بالا [۳۱]	۱۹
۲-۳-۲ پایداری جریان پوسوله حلقه‌ای برای سیال نیوتنی با لغزش بر روی دیواره [۳۲]	۲۰
۳-۳-۲ مدلسازی جریان ویسکوالاستیک پلی تترافلورواتیلن (PTFE) در قالب اکستروژن [۳۳]	۲۱
۴-۳-۲ بررسی عددی جریان پلیمر غیرهمدمما در اکستروژن با مدل ویسکوالاستیک دیفرانسیلی [۳۴]	۲۲
۵-۳-۲ معادلات قانونمند ویسکوالاستیک دیفرانسیلی برای جریانهای پلیمری در حالت پایدار کششی و برشی [۳۵]	۲۳
۶-۳-۲ مدل شبه یک بعدی برای جریان پلیمرها [۳۶]	۲۴
۷-۳-۲ مطالعه عددی جریان ویسکوالاستیک غیرخطی و جریان غیرهمدمما در حالت قانون توان [۳۷]	۲۵
۸-۳-۲ جریان هیدرودینامیک تحت میدان مغناطیسی و گذرنده از کانال همگرا و واگرا [۳۸]	۲۶
۹-۳-۲ مدلسازی اکستروژن PTFE [۳۹]	۲۷
۱۰-۳-۲ اکستروژن یکنواخت مواد ویسکوالاستیک از یک دای حلقه‌ای [۴۰]	۲۸
فصل ۳ : بررسی نظری جریان پلیمرها و کامپوزیت‌ها	۳۰
۱-۳ تعاریف پایه‌ای	۳۱

۳۱	۱-۱-۳ مفهوم رئولوژی.....
۳۲	۲-۱-۳ مفهوم رئومتري.....
۳۳	۳-۱-۳ رئومتر چرخشی.....
۳۵	۴-۱-۳ رئومتر مویین.....
۳۸	۲-۲-۳ روشهای بیان شده برای محاسبه لغزش از آزمونهای رئومتري.....
۳۹	۱-۲-۳ لغزش در رئومتر چرخشی.....
۴۰	۲-۲-۳ لغزش در رئومتر مویین.....
۴۰	۳-۳ سیالهای پلیمری.....
۴۲	۱-۳-۳ سیال رقیق شونده برشی.....
۴۲	۲-۳-۳ سیال ویسکوپلاستیک.....
۴۳	۳-۳-۳ سیال غلیظ شونده برشی.....
۴۳	۴-۳ مدل ماکسول و مدول استراحت.....
۴۶	۵-۳ روابط مورد نیاز در تحلیل جریان کامپوزیت چوب پلاستیک در دای اکستروژن.....
۵۱	فصل ۴ : تجهیزات و آزمایشها.....
۵۲	۱-۴ مقدمه.....
۵۳	۲-۴ مواد مصرفی.....
۵۳	۱-۲-۴ چوب.....
۵۴	۲-۲-۴ پلی پروپیلن.....
۵۵	۳-۲-۴ پلی اتیلن.....
۵۶	۳-۴ تجهیزات.....
۵۶	۱-۳-۴ اکسترودر.....
۶۰	۲-۳-۴ دایهای اکستروژن.....
۶۱	۳-۳-۴ تغذیه کننده ها و خشک کن چوب.....
۶۲	۴-۳-۴ همزن ها.....
۶۳	۵-۳-۴ سنسورهای فشار-دما.....
۶۳	۶-۳-۴ ترازوی دقیق.....
۶۴	۷-۳-۴ دستگاه تست کشش.....
۶۴	۸-۳-۴ رئومتر چرخشی.....
۶۵	۴-۴ طراحی آزمایش و آزمونهای انجام شده.....
۶۵	۱-۴-۴ فاکتورهای مهم در طراحی آزمایشها.....
۷۰	۲-۴-۴ آزمون استحکام کششی.....

۷۰	.....اندازه‌گیری چگالی.....۳-۴-۴
۷۱	.....آزمون جذب آب.....۴-۴-۴
۷۲	.....آزمون زایلین جوشان.....۵-۴-۴
۷۴	.....آزمون‌های رئومترى.....۶-۴-۴
۷۸	.....سایر اندازه‌گیری‌ها.....۷-۴-۴
۷۹	..... فصل ۵ : نتایج و بحث
۸۰	..... ۱-۵ مقدمه.....
۸۰	..... ۲-۵ نتایج مدلسازی ماکسول تعمیم‌یافته و مدول استراحت.....
۸۲	..... ۳-۵ اندازه‌گیری سرعت لغزش بر روی دیواره.....
۸۳	..... ۴-۵ نتایج اندازه‌گیری فشار در دای و دبی خروجی مواد.....
۹۴	..... ۵-۵ نتایج آزمون‌های رئومترى دینامیکی.....
۹۴	..... ۱-۵-۵ آزمون روبش سرعت کرنش پایا.....
۹۷	..... ۲-۵-۵ آزمون روبش دما.....
۹۹	..... ۳-۵-۵ آزمون روبش درصد کرنش.....
۱۰۰	..... ۴-۵-۵ آزمون روبش فرکانس.....
۱۰۹	..... ۶-۵ نتایج آزمون استحکام کشش.....
۱۱۹	..... ۷-۵ اندازه‌گیری چگالی.....
۱۲۴	..... ۸-۵ نتایج آزمون زایلین جوشان.....
۱۲۶	..... ۹-۵ نتایج آزمون جذب آب.....
۱۳۳	..... فصل ۶ : نتیجه‌گیری
۱۳۶	..... ۱-۶ پیشنهاد برای آینده.....
۱۳۸	..... فصل ۷ : مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: روشهای موجود در اکستروژن کامپوزیت چوب پلاستیک [۱۶] ۵
- شکل ۱-۲: نمودار تغییرات تنش برشی بر روی دیواره بر حسب نرخ برش ظاهری برای جریان پلی‌اتیلن بدست آمده از رئومتر کاپیلاری [۲۴] ۱۵
- شکل ۲-۲: نمودار جریان کامپوزیت چوب پلاستیک با درصد‌های مختلف چوب. (فلشها نشان دهنده شروع منطقه غیر پایدار هستند) [۲۶] ۱۶
- شکل ۳-۲: نمودار جریان کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ۵۰٪ چوب برای قطرهای مختلف دای (فلشها نشان دهنده شروع منطقه غیر پایدار هستند) [۲۶] ۱۷
- شکل ۴-۲: نمودار سرعت بر روی دیواره برای کامپوزیت چوب پلاستیک با درصد‌های مختلف چوب بر حسب تنش برشی [۲۶] ۱۸
- شکل ۵-۲: شرایط مرزی و هندسه جریان پوسوله حلقه‌ای با تراکم‌پذیری پایین [۳۱] ۱۹
- شکل ۶-۲: هندسه و شرایط مرزی برای جریان پوسوله حلقه‌ای با لغزش بر روی دیواره [۳۲] ۲۰
- شکل ۷-۲: نمودار تنش بر حسب سرعت لغزش بر روی دیواره برای حالت لغزش غیریکنواخت ۲۱
- شکل ۸-۲: دای اکستروژن مورد استفاده در مدلسازی جریان ویسکوالاستیک پلی-تترافلورواتیلن [۳۳] ۲۲
- شکل ۹-۲: شکل شماتیک از قالب مورد استفاده برای مدلسازی جریان [۳۴] ۲۳
- شکل ۱۰-۲: تصویر شماتیک مخزن و دای مورد بررسی در تحقیق [۳۶] ۲۴
- شکل ۱۱-۲: شمای کلی از کانال همگرا و واگرای مورد بررسی [۳۸] ۲۶
- شکل ۱۲-۲: شمای کلی از مقطع قالب مورد بررسی در تحقیق [۳۹] ۲۷
- شکل ۱۳-۲: شمای کلی از جریان سیال ویسکوالاستیک در حال خروج از دای حلقه‌ای و پارامترهای مربوطه [۴۰] ۲۹
- شکل ۱-۳: دستگانه‌های مختلف رئومتری برای تعیین پارامترهای رئولوژیکی کامپوزیت‌های پلیمری [۴۲] ۳۳
- شکل ۲-۳: تصویر شماتیک از رئومتر دارای مخروط و صفحه [۴۲] ۳۴
- شکل ۳-۳: تصویر شماتیک از رئومتر دارای صفحه‌های موازی ۳۴
- شکل ۴-۳: نمونه‌ای از دستگاه رئومتری موپین از نوع فشار ثابت [۴۲] ۳۶

- شکل ۳-۵: نمایش مقایسه‌ای از محدوده عملکرد انواع مختلف دستگاه‌های رئومتر [۴۴] ۳۶
- شکل ۳-۶: تصویری شماتیک از جریان در دو حالت (الف) بدون لغزش بر روی دیواره و (ب) با لغزش بر روی دیواره [۴۴] ۳۸
- شکل ۳-۷: نمودار تغییرات تنش برشی بر حسب نرخ برش برای سیال‌های غیرنیوتنی مستقل از زمان ۴۱
- شکل ۳-۸: نمایش شماتیک از رفتار یک ماده مستقل زمانی [۴۴] ۴۲
- شکل ۳-۹: مدل ماکسول [۲۱] ۴۴
- شکل ۳-۱۰: مدل ماکسول تعمیم یافته [۲۱] ۴۴
- شکل ۳-۱۱: تغییرات مدول استراحت برای ۳ نمونه پلیمر (A) به عنوان یک پلیمر Monodisperse با وزن مولکولی $M < M_c$ ؛ (B) به عنوان یک پلیمر Monodisperse با وزن مولکولی $M \gg M_c$ ؛ و (C) به عنوان یک پلیمر Polydisperse با وزن مولکولی $M_w \gg M_c$ [۲۱] ۴۶
- شکل ۳-۱۲: توزیع سرعت پیشنهادی برای مقادیر مختلف n در قانون توان برای کامپوزیت چوب پلاستیک [۴۹] ۴۷
- شکل ۳-۱۳: توزیع شماتیک سرعت و تنش در جریان سیال بینگهام (دارای تنش تسلیم) در داخل لوله [۴۴] ۴۸
- شکل ۴-۱: توزیع وزنی ذرات چوب ۵۴
- شکل ۴-۲: دستگاه اکسترودر و اجزای آن ۵۷
- شکل ۴-۳: نقشه جزییات ابعادی مارپیچ‌های اکسترودر ۵۷
- شکل ۴-۴: نمونه ای از تغییرات دبی جرمی بر حسب افت فشار برای یک دستگاه اکسترودر تک ماردون مرسوم [۳۰] ۵۸
- شکل ۴-۵: نمودار تغییرات دبی جرمی بر حسب فشار ورودی در دنباله دای اکستروژن برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری HDPE (الف) بر حسب قطرهای مختلف دای (ب) بر حسب درصد‌های مختلف چوب ۵۹
- شکل ۴-۶: نمودار تغییرات دبی جرمی بر حسب فشار ورودی در دنباله دای اکستروژن برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPZ30S (الف) بر حسب قطرهای مختلف دای (ب) بر حسب درصد‌های مختلف چوب ۵۹
- شکل ۴-۷: نمودار تغییرات دبی جرمی بر حسب فشار ورودی در دنباله دای اکستروژن برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPD60R (الف) بر حسب قطرهای مختلف دای (ب) بر حسب درصد‌های مختلف چوب ۶۰

- شکل ۴-۸: نقشه برش خورده دای‌های اکسترون به همراه جانمایی سنسورهای اندازه‌گیری فشار-دما (ابعاد به میلیمتر) ۶۱
- شکل ۴-۹: تغذیه‌کننده مورد استفاده برای انتقال پلاستیک ۶۱
- شکل ۴-۱۰: تغذیه‌کننده و خشک‌کن چوب ۶۲
- شکل ۴-۱۱: شماتیک خشک‌کن و همزن خاک اره ۶۲
- شکل ۴-۱۲: اجزا و مراحل ثبت اطلاعات فشار و دما در رایانه ۶۳
- شکل ۴-۱۳: دستگاه تست کشش Instron 6027 استفاده شده برای آزمایشهای کشش ۶۴
- شکل ۴-۱۴: رئومتر چرخشی ARES و ساخت شرکت TA Instrument ۶۵
- شکل ۴-۱۵: دستگاه اندازه‌گیری حجم قطعات به کمک روش ارشمیدس ۷۱
- شکل ۴-۱۶: نمونه‌های تهیه شده برای انجام آزمون زایلین جوشان ۷۳
- شکل ۴-۱۷: مواد و تجهیزات مورد استفاده در آزمون زایلین جوشان: الف) زایلین ب) سیستم رفلاکس مورد استفاده ج) کوره مورد استفاده برای خشک کردن مواد پیش از توزین ۷۳
- شکل ۵-۱: مدول استراحت برحسب زمان برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی درصد‌های مختلف چوب ۸۱
- شکل ۵-۲: نمودار نرخ برش ظاهری برحسب $1/R$ برای کامپوزیت چوب پلاستیک با ماتریس پلیمری HDPE و ۵۰٪ چوب در دمای 155°C و نسبت طول دنباله به قطر ۱۰ ۸۳
- شکل ۵-۳: تغییرات فشار ایجاد شده در دای در ابتدای ورودی دنباله برحسب الف) دمای دای ب) قطر دای ج) دور ماردون د) نسبت طول دنباله به قطر ه) درصد ورنی چوب ۸۵
- شکل ۵-۴: نمودار تغییرات دبی جرمی برحسب فشار برای درصد‌های مختلف چوب در کامپوزیت چوب پلاستیک برای ماتریس پلیمری HDPE (در شرایط مختلف دما، دور ماردون، نسبت طول دنباله به قطر و قطر دای) ۸۶
- شکل ۵-۵: نمودار تغییرات دبی جرمی برحسب فشار برای درصد‌های مختلف چوب در کامپوزیت چوب پلاستیک برای ماتریس پلیمری PPZ30S (در شرایط مختلف دما، دور ماردون، نسبت طول دنباله به قطر و قطر دای) ۸۶
- شکل ۵-۶: نمودار تغییرات دبی جرمی برحسب فشار برای درصد‌های مختلف چوب در کامپوزیت چوب پلاستیک برای ماتریس پلیمری PPD60R (در شرایط مختلف دما، دور ماردون، نسبت طول دنباله به قطر و قطر دای) ۸۶
- شکل ۵-۷: نمودار تغییرات دبی حجمی برحسب $\Delta P/L$ برای کامپوزیت حاوی ماتریس پلیمری HDPE و ۵۰٪ چوب (قانون توان) ۸۷

شکل ۵-۸: نمودار تغییرات دبی حجمی برحسب $\Delta P/L$ ، برای کامپوزیت حاوی ماتریس پلیمری HDPE و ۵۰٪ چوب (سیال بینگهام) ۹۰

شکل ۵-۹: مقایسه توزیع سرعت پیشنهادی برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری HDPE و ۵۰٪ چوب بر اساس قانون توان و مدل بینگهام ۹۳

شکل ۵-۱۰: نمودار تنش (الف) و ویسکوزیته (ب) برحسب نرخ کرنش حاصل از آزمون رئومتر روبش سرعت کرنش پایا برای ماتریس‌های پلیمری مورد استفاده در دماهای مختلف ۹۴

شکل ۵-۱۱: تنش برحسب نرخ کرنش حاصل از آزمون رئومتر روبش سرعت کرنش پایا برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری HDPE در دماهای ۱۵۵ و ۱۷۵ درجه سلسیوس و درصد‌های مختلف چوب ۹۵

شکل ۵-۱۲: تنش برحسب نرخ کرنش حاصل از آزمون رئومتر روبش سرعت کرنش پایا برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPZ30S در دماهای ۱۷۵ و ۱۹۵ درجه سلسیوس و درصد‌های مختلف چوب ۹۶

شکل ۵-۱۳: تنش برحسب نرخ کرنش حاصل از آزمون رئومتر روبش سرعت کرنش پایا برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPD60R در دماهای ۱۷۵ و ۱۹۵ درجه سلسیوس و درصد‌های مختلف چوب ۹۶

شکل ۵-۱۴: ویسکوزیته مرکب بر حسب دما حاصل از آزمون رئومتر روبش دما برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری HDPE با درصد‌های مختلف چوب ۹۷

شکل ۵-۱۵: ویسکوزیته مرکب بر حسب دما حاصل از آزمون رئومتر روبش دما برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPZ30S با درصد‌های مختلف چوب ۹۸

شکل ۵-۱۶: ویسکوزیته مرکب بر حسب دما حاصل از آزمون رئومتر روبش دما برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPD60R با درصد‌های مختلف چوب ۹۸

شکل ۵-۱۷: نمودار تنش برحسب کرنش حاصل از آزمون رئومتر روبش درصد کرنش برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری HDPE5620 با درصد‌های مختلف چوب در دو دمای ۱۵۵ و ۱۷۵ درجه سلسیوس ۹۹

شکل ۵-۱۸: نمودار تنش برحسب کرنش حاصل از آزمون رئومتر روبش درصد کرنش برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPZ30S با درصد‌های مختلف چوب در دو دمای ۱۷۵ و ۱۹۵ درجه سلسیوس ۱۰۰

شکل ۵-۱۹: نمودار تنش بر حسب کرنش حاصل از آزمون رئومتر روبش درصد کرنش برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPD60R با درصدهای مختلف چوب در دو دمای ۱۷۵ و ۱۹۵ درجه سلسیوس ۱۰۰

شکل ۵-۲۰: آزمون رئومتر روبش فرکانس برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری HDPE در دماهای ۱۵۵ و ۱۷۵ درجه سلسیوس و درصدهای مختلف چوب ۱۰۱

شکل ۵-۲۱: آزمون رئومتر روبش فرکانس برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPZ30S در دماهای ۱۷۵ و ۱۹۵ درجه سلسیوس و درصدهای مختلف چوب ۱۰۱

شکل ۵-۲۲: آزمون رئومتر روبش فرکانس برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPD60R در دماهای ۱۷۵ و ۱۹۵ درجه سلسیوس و درصدهای مختلف چوب ۱۰۱

شکل ۵-۲۳: مقایسه نمودارهای حاصل از نتایج آزمون های رئومتر روبش فرکانس و روبش درصد کرنش برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری HDPE با درصدهای مختلف چوب ۱۰۴

شکل ۵-۲۴: مقایسه نمودارهای حاصل از نتایج آزمون های رئومتر روبش فرکانس و تغییر درصد کرنش برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPZ30S با درصدهای مختلف چوب ۱۰۵

شکل ۵-۲۵: مقایسه نمودارهای حاصل از نتایج آزمون های رئومتر روبش فرکانس و تغییر درصد کرنش برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPD60R با درصدهای مختلف چوب ۱۰۶

شکل ۵-۲۶: نمودار استحکام نهایی کشش بر حسب قطر دای برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (دمای دای، دور ماردون، نسبت طول دنباله به قطر و درصد وزنی چوب) ۱۱۰

شکل ۵-۲۷: نمودار فشار بر حسب قطر دای برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (دمای دای، دور ماردون، نسبت طول دنباله به قطر و درصد وزنی چوب) ۱۱۰

شکل ۵-۲۸: نمودار استحکام نهایی کشش بر حسب دمای دای برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (قطر دای، دور ماردون، نسبت طول دنباله به قطر و درصد وزنی چوب) ۱۱۱

شکل ۵-۲۹: نمودار استحکام نهایی کشش بر حسب نسبت طول دنباله به قطر برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (قطر دای، دور ماردون، دمای دای و درصد وزنی چوب) ۱۱۲

شکل ۵-۳۰: نمودار استحکام نهایی کشش بر حسب دور ماردون برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (قطر دای، دمای دای، نسبت طول دنباله به قطر و درصد وزنی چوب) ۱۱۲

شکل ۵-۳۱: نمودار استحکام نهایی کشش بر حسب درصد وزنی چوب برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (قطر دای، دمای دای، نسبت طول دنباله به قطر و دور ماردون) ۱۱۳

شکل ۵-۳۲: نمودار تغییرات استحکام نهایی کشش بر حسب چگالی برای کامپوزیت حاوی HDPE با درصد‌های مختلف چوب ۱۱۴

شکل ۵-۳۳: نمودار تغییرات چگالی بر حسب فشار در ورودی دنباله دای برای کامپوزیت حاوی HDPE با درصد‌های مختلف چوب ۱۱۵

شکل ۵-۳۴: نمودار تغییرات استحکام نهایی کشش بر حسب چگالی برای کامپوزیت حاوی PPZ30S با درصد‌های مختلف چوب ۱۱۵

شکل ۵-۳۵: نمودار تغییرات چگالی بر حسب فشار در ورودی دنباله دای برای کامپوزیت حاوی PPZ30S با درصد‌های مختلف چوب ۱۱۵

شکل ۵-۳۶: نمودار تغییرات استحکام نهایی کشش بر حسب چگالی برای کامپوزیت حاوی PPD60R با درصد‌های مختلف چوب ۱۱۶

شکل ۵-۳۷: نمودار تغییرات چگالی بر حسب فشار در ورودی دنباله دای برای کامپوزیت حاوی PPD60R با درصد‌های مختلف چوب ۱۱۷

شکل ۵-۳۸: نمودار چگالی بر حسب قطر دای برای نمونه‌های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (دمای دای، دور ماردون، نسبت طول دنباله به قطر و درصد وزنی چوب) ۱۲۰

شکل ۵-۳۹: نمودار تورم و انقباض بر حسب قطر دای برای نمونه‌های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (دمای دای، دور ماردون، نسبت طول دنباله به قطر و درصد وزنی چوب) ۱۲۱

شکل ۵-۴۰: نمودار چگالی بر حسب دمای دای برای نمونه‌های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (قطر دای، دور ماردون، نسبت طول دنباله به قطر و درصد وزنی چوب) ۱۲۱

شکل ۵-۴۱: نمودار چگالی بر حسب نسبت طول دنباله به قطر برای نمونه‌های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (قطر دای، دور ماردون، دمای دای و درصد وزنی چوب) ۱۲۱

شکل ۵-۴۲: نمودار چگالی بر حسب دور ماردون برای نمونه‌های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (قطر دای، دمای دای، نسبت طول دنباله به قطر و درصد وزنی چوب) ۱۲۲

شکل ۵-۴۳: نمودار تورم و انقباض بر حسب دور ماردون برای نمونه‌های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (قطر دای، دمای دای، نسبت طول دنباله به قطر و درصد وزنی چوب) ۱۲۲

شکل ۵-۴۴: نمودار چگالی بر حسب درصد وزنی چوب برای نمونه‌های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف (قطر دای، دمای دای، نسبت طول دنباله به قطر و دور ماردون) ۱۲۳

شکل ۵-۴۵: درصد رطوبت جذب شده در کامپوزیت حاوی ماتریس پلیمری HDPE5620 با درصد‌های مختلف چوب با گذشت زمان ۱۲۷

شکل ۵-۴۶: درصد رطوبت جذب شده در کامپوزیت حاوی ماتریس پلیمری PPZ30S با درصدهای مختلف چوب با گذشت زمان ۱۲۷

شکل ۵-۴۷: درصد رطوبت جذب شده در کامپوزیت حاوی ماتریس پلیمری PPD60R با درصدهای مختلف چوب با گذشت زمان ۱۲۷

شکل ۵-۴۸: میانگین درصد رطوبت جذب شده در کامپوزیت چوب پلاستیک با ماتریس های پلیمری مختلف بعد از ۳ هفته ۱۲۸

شکل ۵-۴۹: نمودار درصد جذب آب بر حسب قطر دای برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف پس از گذشت ۳ هفته (درصد وزنی چوب ، دمای دای، نسبت طول دنباله به قطر و دور ماردون) ۱۲۹

شکل ۵-۵۰: نمودار درصد جذب آب بر حسب دمای دای برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف پس از گذشت ۳ هفته (درصد وزنی چوب ، قطر دای، نسبت طول دنباله به قطر و دور ماردون) ۱۳۰

شکل ۵-۵۱: نمودار درصد جذب آب بر حسب نسبت طول دنباله به قطر برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف پس از گذشت ۳ هفته (درصد وزنی چوب ، قطر دای، دمای دای و دور ماردون) ۱۳۱

شکل ۵-۵۲: نمودار درصد جذب آب بر حسب دور ماردون برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف پس از گذشت ۳ هفته (درصد وزنی چوب ، قطر دای، نسبت طول دنباله به قطر و دمای دای) ۱۳۱

شکل ۵-۵۳: نمودار درصد جذب آب بر حسب درصد وزنی چوب برای نمونه های مورد بررسی از کامپوزیت چوب پلاستیک در شرایط مختلف پس از گذشت ۳ هفته (دور ماردون، قطر دای، نسبت طول دنباله به قطر و دمای دای) ۱۳۱

فهرست جدولها

- جدول ۳-۱: ضرایب قانون توان برای درصدهای مخلف چوب برای کامپوزیت چوب پلاستیک [۴۹]..... ۴۶
- جدول ۳-۲: نتایج حاصل از محاسبه ضرایب قانون توان از روشهای مختلف [۵۱]..... ۴۷
- جدول ۴-۱: مشخصات پلی پروپیلن Moplen EPD60R تولید شرکت پتروشیمی شازند اراک (اکستروژن) [۵۴]..... ۵۴
- جدول ۴-۲: مشخصات پلی پروپیلن Moplen Z30S تولید شرکت پتروشیمی مارون (تزریق) [۵۵]..... ۵۵
- جدول ۴-۳: مشخصات پلی اتیلن HD5620EA تولید شرکت پتروشیمی شازند اراک (تزریق) [۵۶]..... ۵۵
- جدول ۴-۴: ابعاد دایهای اکستروژن..... ۶۰
- جدول ۴-۵: طراحی آزمایش برای تولید قطعات از کامپوزیت چوب پلی پروپیلن..... ۶۹
- جدول ۴-۶: طراحی آزمایش برای تولید قطعات از کامپوزیت چوب پلی اتیلن..... ۶۹
- جدول ۴-۷: طراحی آزمایش برای آزمون زایلین جوشان..... ۷۴
- جدول ۴-۸: طراحی آزمایش برای آزمون رئومتری روبش درصد کرنش کامپوزیت چوب پلی پروپیلن..... ۷۵
- جدول ۴-۹: طراحی آزمایش برای آزمون رئومتری روبش درصد کرنش کامپوزیت چوب پلی اتیلن..... ۷۶
- جدول ۴-۱۰: طراحی آزمونهای رئومتری روبش فرکانس برای کامپوزیت چوب پلی پروپیلن..... ۷۶
- جدول ۴-۱۱: طراحی آزمایش برای آزمونهای رئومتری روبش فرکانس برای کامپوزیت چوب پلی اتیلن..... ۷۷
- جدول ۴-۱۲: طراحی آزمایش برای آزمون رئومتری روبش سرعت کرنش پایا کامپوزیت چوب پلی پروپیلن..... ۷۸
- جدول ۴-۱۳: طراحی آزمایش برای آزمون رئومتری روبش سرعت کرنش پایا کامپوزیت چوب پلی پروپیلن..... ۷۸
- جدول ۵-۱: مقادیر بدست آمده برای مدل ماکسول تعمیم یافته برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی درصدهای مختلف چوب..... ۸۱
- جدول ۵-۲: مقادیر محاسبه شده ضرایب قانون توان برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس های مختلف پلیمری و درصدهای وزنی مختلف چوب..... ۸۸
- جدول ۵-۳: مقادیر محاسبه شده تنش تسلیم و ویسکوزیته حاصل از تحلیل جریان کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری HDPE..... ۹۱

جدول ۴-۵: مقادیر محاسبه شده تنش تسلیم و ویسکوزیته حاصل از تحلیل جریان کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPZ30S ۹۲

جدول ۵-۵: مقادیر محاسبه شده تنش تسلیم و ویسکوزیته حاصل از تحلیل جریان کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PP60DR ۹۲

جدول ۶-۵: تنش تسلیم و ویسکوزیته حاصل از مدلسازی با استفاده از رابطه سیال بینگهام برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری HDPE با درصدهای مختلف چوب ۱۰۷

جدول ۷-۵: تنش تسلیم و ویسکوزیته حاصل از مدلسازی با استفاده از رابطه سیال بینگهام برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPZ30S با درصدهای مختلف چوب ۱۰۷

جدول ۸-۵: تنش تسلیم و ویسکوزیته حاصل از مدلسازی با استفاده از رابطه سیال بینگهام برای کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ماتریس پلیمری PPD60R با درصدهای مختلف چوب ۱۰۸

جدول ۹-۵: مقادیر P محاسبه شده از آنالیز رگرسیون چندگانه ۱۱۸

جدول ۱۰-۵: مقادیر P محاسبه شده از آنالیز رگرسیون چندگانه برای ماتریس های PP ۱۱۹

جدول ۱۱-۵: مقادیر P محاسبه شده از آنالیز رگرسیون چندگانه برای روابط چگالی ۱۲۴

جدول ۱۲-۵: نتایج حاصل از آزمون زایلین جوشان برای ۸ نمونه کامپوزیت انتخاب شده چوب پلاستیک با ماتریس های پلیمری و درصدهای وزنی چوب مختلف ۱۲۵

فصل ۱: مقدمه

سابقه استفاده از چوب به عنوان مواد پرکننده^۱ در پلیمرها، به حدود ۹۰ سال گذشته مربوط می باشد. امروزه بعد از گذشت این دوران آماده سازی، ترکیب چوب و پلاستیک مورد توجه خاصی قرار گرفته است [۱].

واژه WPC^۲ به معنای آمیزه چوب و پلاستیک، گستره وسیعی از مواد کامپوزیتی را در بر دارد. این محدوده برای مواد پلاستیکی، از پلی اولفین ها تا پی وی سی^۳ و برای مواد پرکننده از پودر چوب تا الیاف کتان را شامل می شود. این کامپوزیت جدید، مفهوم کامپوزیت چوب را از معنای متداول آن که به موادی مانند نئوپان^۴ و ام دی اف^۵ اطلاق می شد به فضایی جدید و مهم تر از آن به ماده ای جدید با کارایی بالا، گسترش داده است [۲]. در حدود ۹۰٪ این کامپوزیت، از ترکیب پودر و یا الیاف چوب با مواد پلیمری تولید شده و فیبرهای طبیعی از قبیل کنف و یا کتان، تنها ۱۰٪ را به خود اختصاص می دهند [۳]. در بین ترموپلاستیک های مورد استفاده، PE (بازیافتی^۶ و غیر بازیافتی^۷) به عنوان متداولترین پلیمر (در آمریکا) ۸۳٪، PVC ۹٪ و PP حدود ۷٪ از کل تولیدات را به خود اختصاص داده اند [۴].

در سالهای اخیر استفاده و کاربرد کامپوزیتها که بر پایه مواد قابل بازیافت تولید می شوند، افزایش قابل توجهی داشته و بر همین اساس استفاده از کامپوزیت های چوب پلاستیک با درصد وزنی چوب پایین و متوسط (تا میزان ۵۰٪) با توجه به دارا بودن خواص مناسب، رشد بالایی داشته است. اگرچه امروزه در تولید این کامپوزیت امکان استفاده از ذرات چوب تا میزان ۷۰-۹۰٪ وزنی نیز وجود داشته و برای بهبود پیوند بین این ذرات و پلیمر از مواد افزودنی خاص نیز استفاده می شود، با این حال تعیین درصد بهینه

¹ Filler

² Wood Plastic Composite

³ PVC

⁴ Particle board

⁵ MDF (Middle Density Fiberboard)

⁶ Recycled PE

⁷ Virgin PE