بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين
انعمت عليهم غير المغضوب عليهم
ولا الضالين

دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک
گروه ساخت و تولید

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- ساخت و تولید

امکان‌پذیری قالبگیری کامپوزیت چوب-پلاستیک پایه پلی اتیلن به کمک گاز

محمداحمدی زهرانی

استاد راهنما:

دکتر امیرحسین بهروش

بهمن ۹۱

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای **محمد احمدی زهرانی** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان قالب گیری تزریقی به کمك گاز کامپوزیت های چوب پلاستیك** در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۸ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - ساخت وتولید پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر امیر حسین بهروش	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمد گلزار	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حسن مسلمی نائینی	استاد	
استاد ناظر	دکتر حمید گرمابی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمد گلزار	دانشیار	

آیین‌نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی-پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلا 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 پایان نامه‌ی محمداحمدی‌زهرانی در رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید است که در سال ۱۳۹۱ در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر امیرحسین بهروش از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند 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 می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب‌های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محمداحمدی‌زهرانی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید مقطع کارشناسی‌ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: محمداحمدی زهرانی

تاریخ و امضا:

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب محمداحمدی‌زهرانی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک - ساخت و تولید ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۹-۹۰ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده فنی و مهندسی متعهد می شوم کلِیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم.»

امضا:

تاریخ:

تقدیم به خانواده‌ام به ویژه پدر و مادرم

آموزگاران و الگوهای همیشگی زندگی ام، که در راه کسب علم و معرفت برای من آنچه در توان داشتند انجام دادند.

تقدیم به همسر عزیزم

که در رهگذر عمر یاری گر و موجب دلگرمی من است و حضورش تنها امید من برای ادامه دادن و ماندن در این راه است.

تشکر و قدردانی:

بر خود لازم می دانم از زحمات بی شائبه‌ی جناب آقای دکتر امیر حسین بهروش استاد راهنمای گرامی ام که از آغاز تا پایان کار با حمایت ها و دقت نظر خود موجب به نتیجه رسیدن این کار تحقیقی شدند، سپاسگزاری کنم.

همچنین از راهنمایی ها و حمایت های کارساز و دوستانه‌ی اعضای آزمایشگاه تکنولوژی پلاستیک دانشگاه تربیت مدرس، آقایان مهندس شاهی، عدلی ، احمدزی و محمدطاهری و بویژه آقایان دکتر نظری، سوری و جعفریان که در بخش های مختلف اجرای کار یاریگر بنده بودند، قدر دانی می نمایم.

چکیده:

پایان نامه‌ی حاضر در زمینه‌ی قالبگیری تزریقی به کمک گاز کامپوزیت‌های چوب پلاستیک می‌باشد.

کامپوزیت چوب پلاستیک از جمله مواد جدیدی است که در سال‌های اخیر مورد اقبال فراوانی قرار گرفته است، اما برخی چالش‌های تولید مانع پیشرفت استفاده از این کامپوزیت‌ها در بسیاری از کاربردها می‌شود. یکی از مهمترین مشکلات فرایندی، در زمینه‌ی قالبگیری تزریقی این کامپوزیت‌ها می‌باشد. با افزایش درصد چوب، ویسکوزیته‌ی کامپوزیت افزایش می‌یابد. بدین ترتیب عبور مذاب از مقاطع نازکی مانند راهگاه و نازل تزریق به فشار بیشتری نیاز دارد و موجب تولید قطعات ناقص می‌شود. از طرف دیگر قالبگیری تزریقی، فرایندی با نرخ برش بالاست لذا با افزایش فشار تزریق عبور کامپوزیت از راهگاه و نازل تزریق موجب سوختن ذرات چوب می‌شود. این مسئله باعث تولید قطعات ناقص و کاهش خواص مکانیکی محصول می‌گردد.

برای رفع این مشکلات بایستی افت فشارهای مذاب در مسیر رسیدن به قالب را کاهش داد و یا حذف نمود، به طوری که برای پر کردن قالب به فشار کمتری نیاز باشد. یکی از روش‌های کاهش فشار تزریق استفاده از فرایند تزریق به کمک گاز است. این فرایند با اعمال مستقیم فشار داخل قطعه، افت فشار ناشی از عبور مذاب از راهگاه و نازل تزریق را حذف کرده و فشار تزریق را کاهش می‌دهد.

به منظور بررسی تاثیر فرایند قالبگیری تزریقی به کمک گاز در کاهش فشار تزریق به کمک نرم‌افزار مولدفلو این فرایند شبیه‌سازی شد. در شبیه سازی‌ها تاثیر این فرایند بر کاهش فشار تزریق و یکنواختی فشار اعمال شده به قطعه به وضوح مشاهده گردید. در نهایت با استفاده از فرایند تزریق به کمک گاز، کامپوزیت ٪۵۰ چوب که حتی به روش قالبگیری تزریقی متداول پر کردن قالب امکان پذیر نبود، با کیفیت مطلوب تولید شد. علاوه بر این به کمک این فرایند عیوبی مانند اعوجاج و مکش به میزان چشمگیری کاهش یافت.

واژگان کلیدی: تزریق به کمک گاز، کامپوزیت چوب پلاستیک، قالبگیری تزریقی

فهرست مطالب

فصل ۱ : مقدمه ۱

فصل ۲ : پیشینه‌ی پژوهش ۴

۲-۱ کامپوزیت چوب پلاستیک ۵

۲-۲ تاریخچه کامپوزیت‌های چوب پلاستیک ۶

۲-۳ اهمیت کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک ۷

۲-۴ مزایا و معایب کامپوزیت‌های چوب پلاستیک ۸

۲-۵ کاربردهای کامپوزیت چوب پلاستیک ۱۰

۲-۵-۱ کاربردهای ساختمانی ۱۰

۲-۵-۲ کاربرد حمل و نقل ۱۲

۲-۵-۳ کاربردهای صنعتی ۱۳

۲-۶ بازار کامپوزیت چوب-پلاستیک ۱۳

۲-۷ فرآیندهای تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک ۱۴

۲-۷-۱ فرایند اکستروژن ۱۴

۲-۷-۲ فرآیند قالبگیری تزریقی ۱۶

۲-۷-۳ قالبگیری فشاری ۱۷

۲-۸ چالش‌ها و نکات قابل توجه در تولید کامپوزیت چوب پلاستیک ۱۸

۲-۹ اهداف تحقیق ۲۱

۲-۱۰ قالبگیری تزریقی ۲۳

۲-۱۰-۱ فرایند قالبگیری تزریقی تزریق ۲۳

۲-۱۱ فرآیند تزریق به کمک سیال ۲۵

۲-۱۲ تاریخچه ۲۶

۲-۱۲-۱ مزایای تزریق به کمک سیال ۲۸

۲-۱۲-۲ پارامتر های مهم تزریق به کمک سیال ۲۸

۲-۱۳ تزریق به کمک آب ۳۰

۲-۱۳-۱ مزایای WAIM ۳۰

۲-۱۳-۲ مراحل تزریقWAIM ۳۰

۲-۱۳-۳ پارامترهای اساسی WAIM ۳۱

۲-۱۳-۴ مقایسه روش تزریق به کمک گاز GAIM و روش تزریق به کمک آب WAIM..... ۳۱
فصل ۳ : مواد و تجهیزات ۳۴
۳-۱ مقدمه..... ۳۵
۳-۲ مواد اولیه مورد استفاده..... ۳۵
۳-۲-۱ ذرات چوب..... ۳۵
۳-۲-۲ پلاستیک..... ۳۵
۳-۲-۳ عامل جفت کننده..... ۳۵
۳-۳ تجهیزات مورداستفاده..... ۳۶
۳-۳-۱ تجهیزات مربوط به مرحله گرانولگیری..... ۳۷
۳-۳-۲ دستگاه اکسترودر..... ۳۷
۳-۳-۳ دستگاه خرد کن..... ۳۸
۳-۳-۴ دستگاه تزریق مورد استفاده در قالبگیری تزریقی..... ۳۸
۳-۳-۵ مدول تزریق به کمک گاز..... ۳۹
۳-۳-۱ قطعه کار..... ۴۱
۳-۳-۲ قالب تزریق به کمک گاز..... ۴۳
۳-۳-۳ شیر یک طرفه..... ۴۴
فصل ۴ : نتایج و بحث ۴۶
مقدمه..... ۴۷
۴-۱ شبیه سازی کامپیوتری..... ۴۸
۴-۲ درصد چوب..... ۵۲
۴-۲-۱ بررسی علل تفاوت شبیه سازی تزریق به کمک گاز کامپوزیت‌های چوب پلاستیک..... ۵۲
۴-۲-۲ بررسی رفتار رئولوژیکی کامپوزیت‌های چوب پلاستیک..... ۵۵
۴-۲-۳ استحکام مذاب..... ۵۶
۴-۳ هندسه‌ی قطعه..... ۵۷
۴-۳-۱ قطعه‌ی با ضخامت ۳ میلیمتر..... ۵۸
۴-۳-۲ قطعه‌ی با ضخامت ۶ میلیمتر..... ۵۸
۴-۴ حجم تزریق..... ۶۱
۴-۵ فشار گاز..... ۶۳
۴-۶ دمای قالب..... ۶۴
۴-۷ زمان تاخیر..... ۶۵

۴-۸ اعوجاج ۶۶
۴-۸-۱ مد اول اعوجاج ۶۹
۴-۸-۲ مد دوم اعوجاج ۷۱
فصل ۵ : نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۷۲
۵-۱ نتیجه‌گیری ۷۳
۵-۲ پیشنهادها ۷۴

فهرست جداول

جدول ۲-۱: مشخصات مکانیکی کامپوزیتهای چوب-پلی پروپیلن[۱۱] ۹
جدول ۲-۲:پژوهش‌های پیشین انجام شده در زمینه قالبگیری تزریقی کامپوزیت‌های چوب پلاستیک ۲۲
جدول ۲-۳:پژوهش‌های پیشین انجام شده در زمینه‌ی تزریق به کمک سیال ۳۲
جدول ۳-۱: مشخصات فیزیکی- مکانیکی پلاستیک مورد استفاده در آزمایشات ۳۵
جدول ۴-۱: نتیجه‌ی آزمایش‌های فرایندپذیری کامپوزیت‌های پلی اتیلن +چوب ۴۷
جدول ۴-۲:متغییرهای شبیه‌سازی‌های کامپیوتری و سطوح آنها ۴۸
جدول ۴-۳: تغییرات هندسه‌ی حباب با تغییر پارامترهای فرایندی ۴۹
جدول ۴-۴: تاثیر دما بر هندسه‌ی حباب گاز در قطعات تولید شده با حجم تزریق ۸۰٪ ۴۹
جدول ۴-۵: تاثیر دما بر هندسه‌ی حباب گاز در قطعات تولید شده با حجم تزریق ۹۰٪ ۵۰
جدول ۴-۶:تاثیر زمان تاخیر بر هندسه‌ی مذاب ۵۰
جدول ۴-۷:نتیجه‌ی شبیه‌سازی‌ها ۵۱
جدول ۴-۸:متغییرهای آزمایش‌ها ۵۱

فهرست تصاویر

شکل ۲-۱: نمونه‌ای از کامپوزیت چوب و پلی‌اتیلن[۸]..... ۶
شکل ۲-۲: شکل پذیری خوب چوب پلاستیک[۱]..... ۱۰
شکل ۲-۳: استفاده از کامپوزیت چوب پلاستیک برای کفپوش خارجی[۱۳]..... ۱۱
شکل ۲-۴: نمونه ای از کاربرد کامپوزیت چوب پلاستیک در دکوراسیون داخلی ساختمان [۱۴]..... ۱۱
شکل ۲-۵: نمونه ای از در و چارچوب ساخته شده از کامپوزیت چوب پلاستیک[۱۴]..... ۱۱
شکل ۲-۶: صندلی چوب پلاستیک[۱۵]..... ۱۲
شکل ۲-۷: نمونه ای از کاربرد کامپوزیت چوب پلاستیک در صنعت خودرو[۱]..... ۱۲
شکل ۲-۸: قطعات صنعتی تولید شده از چوب پلاستیک[۱۵]..... ۱۳
شکل ۲-۹:کاربرد کامپوزیت چوب پلاستیک در اروپا سال ۲۰۰۴ (غیر از خودرو)[۱۰]..... ۱۴
شکل ۲-۱۰:اکسترودر به همراه پروفیل تولیدی[۱]..... ۱۵
شکل ۲-۱۱:برخی پروفیل های چوب-پلاستیک [۱]..... ۱۵
شکل ۲-۱۲: تصویر شماتیکی از دستگاه اکستروژن[۱۶]..... ۱۶
شکل ۲-۱۳:دستگاه تزریق هنگام قالب گیری..... ۱۶
شکل ۲-۱۴:قطعات چوب پلاستیک تولید شده به روش قالبگیری تزریقی[۱۷]..... ۱۷
شکل ۲-۱۵: قالبگیری فشاری[۱۸]..... ۱۸
شکل ۲-۱۶: استفاده از فرآیند قالبگیری فشاری در صنایع خودرو[۱۸]..... ۱۸
شکل ۲-۱۷: محدوده دمای عملیاتی ترموپلاستیک‌های متداول در تولید کامپوزیت چوب پلاستیک[۱۹]..... ۱۹
شکل ۲-۱۸: افزایش ویسکوزیته‌ی مرکب کامپوزیت ٪۱۰ با افزایش اندازه‌ی الیاف..... ۲۰
شکل ۲-۱۹: مقایسه میزان کاربرد روشهای مختلف تولید قطعات پلاستیکی[۵]..... ۲۳
شکل ۲-۲۰:نمایی شماتیک از دستگاه تزریق[۵]..... ۲۳
شکل ۲-۲۱: مراحل فرآیند قالبگیری تزریق[۵]..... ۲۵
شکل ۲-۲۲: فرآیند تزریق به کمک گاز[۲۸]..... ۲۶
شکل ۲-۲۳: مقایسه تزریق معمولی با تزریق گاز[۲۸]..... ۲۹
شکل ۲-۲۴: قطعهی لوله‌ای تولیدشده به روش تزریق به کمک گاز[۵]..... ۲۹
شکل ۲-۲۵:(سمت راست) قطعه‌ی ریب دار،(سمت چپ) قطعه تولیدشده با دیواره‌های نازک[۲۸]..... ۳۰
شکل ۲-۲۶: مقایسه تزریق گاز و تزریق آب در یک قطعه[۲۹]..... ۳۲
شکل ۲-۲۷: مقایسه سطح مقطع یک قطعه تزریقی به کمک گاز و آب[۲۹]..... ۳۲
شکل ۳-۱: سازگار کننده الیاف چوب و پلیمر PE و PP [۱۰]..... ۳۶
شکل ۳-۲: تصویری از دستگاه اکسترودر دو ماردونه [۴۵]..... ۳۷
شکل ۳-۳: قالب رشته ای نصب شده بر روی دستگاه اکسترودر ۳۸

شکل ۳-۴: دستگاه آسیاب برای خرد کردن رشته های کامپوزیت چوب پلاستیک و تولید گرانول..... ۳۸
شکل ۳-۵: نمای کلی از دستگاه قالبگیری تزریقی استفاده شده در انجام آزمایش..... ۳۹
شکل ۳-۶:رگلاتور فشار بالا..... ۴۰
شکل ۳-۷: شیر برقی قطع و وصل تزریق آب..... ۴۰
شکل ۳-۸: میکروسوئیچ های کنترل، الف: میزان تزریق، ب: بازخور..... ۴۰
شکل ۳-۹: نمای سیستم کنترل گاز و دستگاه تزریق در کنار هم..... ۴۱
شکل ۳-۱۰: مدار کنترل تزریق گاز..... ۴۱
شکل ۳-۱۱:طراحی‌های مختلف ریب[۴۶]..... ۴۲
شکل ۳-۱۲:تصویر سه بعدی قطعات الف)قطعه با ضخامت ۳ میلیمتر ب) قطعه با ضخامت ۶ میلیمتر..... ۴۳
شکل ۳-۱۳: نمای قطعه کار از بالا..... ۴۳
شکل ۳-۱۴: سطح مقطع قطعه کار با ضخامت ۳ میلیمتر..... ۴۳
شکل ۳-۱۵: سطح مقطع قطعه کار با ضخامت ۶ میلیمتر..... ۴۳
شکل ۳-۱۶: نمای نیمه‌ی ثابت قالب..... ۴۴
شکل ۳-۱۷: برش خورده‌ی نیمه‌ی ثابت قالب..... ۴۴
شکل ۳-۱۸: نازل تزریق گاز..... ۴۴
شکل ۳-۱۹:بوش اسپروهای استفاده شده برای مواد مختلف..... ۴۵
شکل ۳-۲۰: شماتیک شیر یک طرفه[۱۰]..... ۴۵
شکل ۴-۱:الف) عدم تامین حجم تزریق ب) پارگی جبهه‌ی مذاب..... ۵۲
شکل ۴-۲: پنجره‌ی ضرایب مدل ویسکوزیته در نرم افزار..... ۵۳
شکل ۴-۳: نمودار ویسکوزیته ی چوب پلاستیک ٪۵۰ برحسب نرخ برش در دماهای مختلف..... ۵۴
شکل ۴-۴: نمودار ویسکوزیته ی پلی پروپیلن با MFR ۶۵/ gr/۱۰min ۵۴
شکل ۴-۵ : نتیجه‌ی آزمون رئولوژی یکسویه روبش فرکانس ۵۵
شکل ۴-۶: تغییرات مدول ذخیره برحسب فرکانس..... ۵۵
شکل ۴-۷: تغییرات ویسکوزیته ی مرکب برحسب فرکانس..... ۵۶
شکل ۴-۸: نمودار ویسکوزیته‌ی کشسانی ηE بر حسب فرکانس..... ۵۷
شکل ۴-۹: نمونه‌ای از قطعه‌ی تولید شده به روش تزریق به کمک گاز با حجم تزریق ٪۸۰..... ۵۸
شکل ۴-۱۰: پارگی جبهه‌ی مذاب در کامپوزیت ٪۳۰ چوب..... ۵۹
شکل ۴-۱۱:کامپوزیت ٪۳۰ چوب تولید شده با حجم تزریق ۹۰ و ضخامت ۶ میلیمتر..... ۵۹
شکل ۴-۱۲:عدم تامین حجم تزریق کامپوزیت ٪۵۰ با وجود افزایش قطر اسپرو..... ۶۰
شکل ۴-۱۳:کامپوزیت‌های ٪۵۰ چوب الف)پارگی جبهه‌ی مذاب ب) تولید شده به روش تزریق به کمک گاز..... ۶۰
شکل ۴-۱۴: محدوده ی پیشنهادشده برای ویسکوزیته‌ی کشسانی به منظور قابلیت فرایندپذیری..... ۶۱

شکل ۴-۱۵ : تصویر حجم تزریق اولیه، مقایسه‌ی شبیه سازی و آزمایشها الف)٪۸۰ ب)٪۹۰ ..... ۶۲
شکل ۴-۱۶:اسکن قطعه‌ی تولید شده با حجم تزریق ٪۹۰ ..... ۶۲
شکل ۴-۱۷:کانال گاز مطلوب ایجاد شده در قطعه با حجم تزریق ٪۹۰ ..... ۶۲
شکل ۴-۱۸: شاخه‌ای شدن مذاب با افزایش حجم تزریق ۶۳
شکل ۴-۱۹:دستگیره ی چوب پلاستیک تولید شده به روش تزریق به کمک گاز ۶۳
شکل ۴-۲۰: تاثیر دمای قالب بر از بین بردن انجماد سطحی الف)دمای قالب ۳۰ ^{O}C ب) دمای قالب ۶۰ ^{O}C ۶۴
شکل ۴-۲۱:شاخه‌ای شدن حباب گاز با افزایش دمای قالب الف)دمای قالب $30^{o}C$ ب)دمای قالب $60^{o}C$ ۶۵
شکل ۴-۲۲: تاثیر زمان تاخیر بر استحکام مذاب ۶۶
شکل ۴-۲۳:تاثیر درصد چوب کامپوزیت بر اعوجاج طولی قطعات[۲۱] ۶۸
شکل ۴-۲۴: تاثیر درصد چوب کامپوزیت بر اعوجاج عرضی قطعات[۲۱] ۶۸
شکل ۴-۲۵: انواع حالت‌های اعوجاج قطعه‌ی ریب دار[۲۱] ۶۸
شکل ۴-۲۶:مقایسه‌ی اعوجاج مد اول با حالت بدون تزریق گاز و پلیمر خالص ۶۹
شکل ۴-۲۷: اعوجاج طولی بر حسب فشار گاز ۶۹
شکل ۴-۲۸: اعوجاج عرضی بر حسب فشار گاز ۷۱

فصل ۱: مقدمه

تحقیق حاضر در زمینه‌ی تولید کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک با درصد بالای چوب به روش قالبگیری تزریق به کمک گاز می‌باشد.

کامپوزیت چوب-پلاستیک یکی از کامپوزیت‌هایی است که تولید آن در سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته است. این کامپوزیت از مخلوط کردن پلاستیک و الیاف چوبی و افزودنی‌ها (روان‌سازها، جفت کننده‌ها، رنگ‌دانه‌ها و غیره) ساخته و با استفاده از یک فرآیند تولید انبوه مانند اکستروژن، شکل‌دهی فشاری یا قالب‌گیری تزریقی تولید می‌شود. درمیان فرایندهای تولید این کامپوزیت، قالبگیری تزریقی به نسبت سایر فرایندها رشد قابل توجهی نداشته به طوری که حدود ۲ درصد بازار این کامپوزیت‌ها را به خود اختصاص داده.[۱] علاوه بر این قطعات تولیدی به این روش حاوی درصدهای پایین چوب(کمتر از ۳۰٪) هستند. علت این امر مشکلاتی است که پیش روی این فرایند قرار دارد.

با وجود این که قالبگیری تزریقی از مزایای فراوانی نظیر توانایی تولید اشکال پیچیده، جذب آب و پایداری ابعادی بیشتر برای کامپوزیت های چوب پلاستیک برخوردار است اما با افزایش درصد چوب تولید این کامپوزیت‌ها دچار مشکل می‌شود. با افزایش درصد چوب ویسکوزیته‌ی این کامپوزیت‌ها افزایش و شاخص جریان‌پذیری آن‌ها کاهش می‌یابد. این تغییرات برای قالبگیری تزریقی که فرایندی با نرخ برش بالاست مشکل بزرگی محسوب می‌شود. چرا که تولید این کامپوزیت‌ها نیازمند استفاده از فشارهای بالاست و گاهی دستگاه قادر به پر کردن قالب نیست[۲]. با افزایش فشار به دلیل نرخ برش بالاخصوصا در مقاطع نازک مانند نازل تزریق و راهگاه، ذرات چوب دچار افزایش دما و سوختگی می‌شوند. نتیجه‌ی این امر کاهش خواص مکانیکی قطعات تولیدی می‌باشد. رفع این مشکل می‌تواند گام بزرگی در جهت توسعه قطعات تولیدی به روش قالبگیری تزریقی از جنس چوب پلاستیک باشد.

بر اساس مطالب ذکر شده می‌توان گفت کاهش افت‌های ناشی از عبور مذاب از مقاطع نازک در نتیجه کاهش فشار تزریق می‌توان کامپوزیت‌هایی با درصد بالاتر چوب را قالب‌گیری کرد. یکی از گزینه‌های فرایندی برای کاهش فشار تزریق ضمن حفظ کیفیت قطعات فرایند تزریق به کمک گاز می‌باشد.

تزریق به کمک سیال (گاز، مایع) یکی از روش های نوین تزریق پلاستیک محسوب می‌شود که در سالهای اخیر توسعه یافته است. در این روش سیال با فشار بالا در درون مذاب با فاصلهٔ بسیار کوتاهی از زمان تزریق رزین در قالب که به زمان تأخیر معروف است، تزریق می‌شود؛ هدف، ایجاد توده‌ای یکپارچه از فضای توخالی در مقاطع ضخیم قطعات تولیدی است.

در این فرآیند،پس از تزریق مقداری از پلیمر مذاب (تزریق کامل و یا ناقص پلیمر) به داخل حفره قالب،به فاصله زمانی معین سیال تزریق می‌شود با توجه به اینکه سیال به سمتی پیش می‌رود که دارای مقاومت کمتری باشد، بنابراین سیال به سمت مواد نرمتر با دمای بالاتر، که در مغز قطعه واقع شده است، هدایت می‌شود. قسمتی از مواد مذاب که در مجاورت سطوح حفره قالب قرار دارند به سبب تفاوت دمای

قالب و پلیمر، به سرعت منجمد شده و پوسته جامدی را تشکیل می‌دهد. این فرآیند تا پر شدن حفره قالب ادامه پیدا می‌کند. فشار سیال باعث حرکت پلیمر مذاب در داخل حفره قالب شده و در نهایت منجر به پر شدن کامل حفره قالب می‌شود. با توجه به تجربیات قبلی گروه تکنولوژی پلاستیک دانشگاه تربیت مدرس نظیر کارهای انجام شده توسط علاءالمحدثین[۳]، روان[۴] و احمدزی[۵] تحت راهنمایی دکتر بهروش، تجهیزات و تجربه‌ی انجام این فرایند در این گروه موجود می‌باشد.

لذا سعی بر آن شده با انتخاب صحیح پارامترهای فرایندی قطعات با کیفیتی از کامپوزیت‌های چوب پلاستیک تولید شود. همچنین با استفاده از این روش بسیاری از محدودیت‌هایی که بر سر راه فرایند پذیری این کامپوزیت‌ها قرار دارد از میان برداشته گردد و بتوان کامپوزیت‌های با درصد بالای چوب را قالبگیری کرد.

دراین تحقیق به بررسی امکان‌پذیری قالبگیری تزریقی به کمک گاز کامپوزیت‌های چوب پلاستیک و تاثیر پارامترهای فرایندی بر فرایندپذیری این کامپوزیت‌ها پرداخته شده است.

بدین منظور ابتدا در فصل اول مقدمه‌ای در مورد چرایی و چگونگی انجام تحقیق حاضر بیان می‌شود. سپس در فصل دوم پیشینه‌ی پژوهش در زمینه‌ی تزریق به کمک گاز و قالب‌گیری تزریقی کامپوزیت‌های چوب پلاستیک ارائه شده. در ادامه در فصل سوم مواد و تجهیزات مورد استفاده در این آزمایش‌ها توضیح داده شده. فصل چهارم به بحث و بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌ها اختصاص داده شده. نهایتاً فصل پنجم نتیجه‌گیری تحقیق انجام شده و پیشنهاداتی برای ادامه‌ی کار در آینده ارائه می‌کند.

فصل ۲: پیشینه‌ی پژوهش

۲-۱ کامپوزیت چوب پلاستیک[۱]

کامپوزیت‌های چوب پلاستیک نسل جدیدی از مواد هستند که از ترکیب چوب (هر نوع و شکلی از آن) با ترموپلاستیک‌ها یا ترموست‌ها بدست می‌آید. چوب ماده‌ای است آب دوست[۲] و غیر همسان[۳] که تشکیل شده است از: سلولز[۴] (٪۴۵-۴۴)، همی‌سلولوز[۵] (٪ ۲۵-۲۰)، لیگنین[۶] (٪ ۳۰-۲۰) و مابقی اجزا. در کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک، ماتریس پلیمری می‌تواند محدوده وسیعی از پلیمرها نظیر پلی‌اولفین‌ها[۷] تا پی وی سی[۸] ، و چوب می‌تواند از خاک اره (آرد چوب)[۹] تا محصولات کشاورزی مانند کنف، کتان، پوسته برنج و نیشکر را شامل شود. یک کامپوزیت چوب-پلاستیک معمولاً با توجه به روش تولید و نوع کاربرد محصول نهایی, شامل ۲۰ الی۷۰ درصد وزنی چوب می‌باشد. اندازه ذرات آرد چوب مش ۱۰ الی ۸۰ (۱۰۰ میکرون الی ۱ میلیمتر) می‌باشد. نسبت منظر[۱۰] این ذرات از ۱:۱تا ۴:۱می‌باشد[۶]. نگاه کارخانه‌های تولیدی تولیدی قطعات چوبی به پلاستیک، استفاده از خواص منحصر به فرد پلاستیک‌ها مانند مقاومت به جذب رطوبت و حشرات برای تولید مواد ساختاری[۱۱] می‌باشد. از طرفی نگاه سازنده‌های محصولات پلاستیکی به چوب بعنوان ماده پرکننده‌ای است که به آسانی در دسترس و نسبتاً ارزان می‌باشد و باعث پایین آوردن هزینه‌های ناشی از مصرف پلیمر و رزین، افزایش سفتی و نرخ اکستروژن پروفیل (به دلیل اینکه چوب سریعتر از پلاستیک خنک می‌شود) خواهد گردید.

اولین نسل از کامپوزیت چوب پلاستیک، ترکیبی از پودر چوب و مواد پلیمری بود که خواص بالایی از نظر فیزیکی و مکانیکی دارا نبود. در حال حاضر با افزودن مواد مختلف، از قبیل انواع مواد روان‌کننده[۱۲] و سازگارکننده[۱۳]، خواص مکانیکی بسیار خوبی برای این کامپوزیت بدست آمده است. اکثر محصولات تولید شده از این کامپوزیت، با مخلوط کردن پودر چوب و مواد پلیمری بدست می‌آیند. فرآیندهای صورت‌گرفته بر روی این کامپوزیت برای تولید محصولات مختلف مانند فرآیندهای متداول برای مواد پلیمری است. نمونه‌ای از گرانول تولید شده این کامپوزیت از پودر چوب و پلی‌اتیلن در ۰شکل ۲-۱ نشان داده شده است.[۷]

---

۱ .Wood Plastic Composite(Wpc)
۲ . Hydrophilic
۳ .Unisotropic
٤ .Cellulose
٥ .Hemi Cellulose
٦ .Lignin
۷. Polyolefin
۸. Pvc
۹. Wood Flour
۱۰. Aspect Ratio
۱۱ .structural
۱۲ . Lubricant
۱۳ . Coupling Agent

شکل ۲-۱: نمونه‌ای از کامپوزیت چوب و پلی‌اتیلن[۸]

بیشتر محصولات چوب پلاستیکی، مانند مواد پلاستیکی از اکسترودر به دست آمده و در این شرایط تولید، دیگر به فرآیندهای پرهزینه‌ای که به طور مثال برای شکل‌دهی چوب استفاده می‌شود، نیازی نیست. البته برای بهبود کیفیت ظاهر قطعه می‌توان از اکستروژن همزمان[۱] و یا روکش کردن[۲] محصولات نیز استفاده نمود.[۹]

۲-۲ تاریخچه کامپوزیت‌های چوب پلاستیک

استفاده از کامپوزیت‌های بر پایه چوب به اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی بر می‌گردد. اولین کامپوزیت ترموست-چوب تحت نام تجاری بیکلایت[۳] از ترکیب فنول-فرمالدهید[۴] با آرد چوب بدست آمده است که از آن در سر دنده اتومبیل برای کارخانه رولز رویز در سال ۱۹۱۶ استفاده می‌شد. کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در چند دهه اخیر پیشرفت بسیار زیادی نموده‌اند. در سال ۱۹۸۳ شرکت آمریکایی وود استوک[۵] تولیدات خود را در زمینه لایه‌های داخلی اتومبیل با کمک فن¬آوری ایتالیایی شروع کرد. پلی پروپیلن با تقریباً ۵۰ درصد آرد چوب بصورت یک صفحه تخت اکسترود می‌شد و سپس بصورت پانل‌های مختلف موجود در اتومبیل فرم داده می‌شد. این یکی از اولین کاربردهای مهم کامپوزیت چوب پلاستیک در ایالات متحده آمریکا بود. در سال ۱۹۹۰ میلادی دو شرکت که بعدها به یکدیگر پیوستند (شرکت ترکس[۶]) کامپوزیت‌های پلی اتیلن و ۵۰ درصد چوب را تولید کرده‌اند که از آنها در کف پوشها و دیوار پوشها استفاده می‌شد. برخی از تولیدات برای تبدیل به پروفیل‌های در و پنجره ماشینکاری می‌شدند. در اوایل ۱۹۹۰

---

۱ . Co-extrusion
۲ . Veneering
۳ - Bakelite
٤- phenol-formaldehyde
٥ - American Woodstock
٦- Trex