بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای عباس ذوالفقاری رساله ۲۴ واحدی خود را **با عنوان تولید وارزیابی خواص مکانیکی کامپوزیت های هیبریدی الیاف ممتد /چوب** در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۲۲ 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 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 محمود مهرداد شکریه	استاد	
استاد ناظر	دکتر حمید گرمابی	استاد	
استاد ناظر	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 رساله دکترای عباس ذوالفقاری 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 عباس ذوالفقاری دانشجوی رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید مقطع دکترای تخصصی تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: عباس ذوالفقاری

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 عباس ذوالفقاری دانشجوی رشته مهندسی مکانیک – ساخت و تولید ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۷ مقطع دکترای تخصصی دانشکده فنی و مهندسی متعهد می شوم کِلیه 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:

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مکانیک

رساله دکترای مهندسی مکانیک- ساخت و تولید

ساخت کامپوزیتهای هیبریدی چوب پلاستیک با الیاف ممتد و ارزیابی خواص مکانیکی آنها

عباس ذوالفقاری

استاد راهنما:

دکتر امیرحسین بهروش

اسفند ۹۱

تقدیم به

پدر و مادر دلسوزم

و

برادر و خواهران مهربانم

تشکر و قدردانی:

اکنون که این رساله به اتمام رسیده است لازم است تا ابتدا از خداوند متعال برای این فرصتی که در اختیار من قرار داده سپاسگزاری نمایم. از جناب آقای دکتر امیر حسین بهروش استاد راهنمای گرامی‌ام کمال قدر دانی را دارم. راهنمایی‌های ارزنده، پیگیریها و خصوصیات اخلاقی ایشان همیشه به نیکی در خاطرم باقی خواهند ماند.

همچنین از آقایان مجید طبخ پز سرابی، علیرضا عدلی و پیمان شاهی نیز به خاطر تلاشهایشان در پیگیری و کمک به انجام آزمایشها تشکر میکنم. از سایر دوستان خوبم در گروه تکنوپلاست دانشگاه تربیت مدرس به خاطر برقراری و حفظ فضای دوستانه و با نشاط در آزمایشگاه و کارگاه سپاسگذارم. از جناب آقای محمدی مسئول محترم کارگاه ماشین ابزار دانشگاه تربیت مدرس به خاطر همکاری ارزنده ایشان در ساخت تجهیزات سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده:

در این تحقیق، استحکام بخشی کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در متداولترین فرآیند تولید آنها یعنی اکستروژن بررسی خواهد شد. نو آوری این رساله در تقویت بخشی با استفاده از روینگ‌های شیشه ممتد در داخل کامپوزیت چوب پلاستیک می‌باشد. بدین منظور ابتدا روینگهای شیشه به مذاب پلی اتیلن با استفاده از قالبی که در این تحقیق ساخته شده است، آغشته می‌شود. در این آزمایشها همچنین ضریب نفوذ پذیری پلی اتیلن مذاب در داخل روینگ شیشه اندازه گیری شد. سپس برای تولید کامپوزیت‌های هیبریدی یک دای با تغذیه عرضی ساخته شده است تا بتواند روینگهای شیشه آغشته شده از مرحله قبل را وارد مذاب چوب پلاستیک کند. متغیرهای این تحقیق عبارتند از: تعداد روینگ‌های شیشه (۰-۲-۴-۶)، درصد وزنی چوب (۵۰-۶۰-۷۰)، وجود و عدم وجود پیوند دهنده بین چوب و پلاستیک. به استثنای کامپوزیت ۵۰ درصد وزنی چوب (به دلیل ویسکوزیته پایین مذاب) در بقیه حالات کامپوزیتهای مطلوب تولید شده‌اند. برای ارزیابی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های اکسترود شده از آزمونهای خمش، کشش و ضربه استفاده شده است. بیشترین بهبود در استحکام خمشی ۱۳۲٪ و بالاترین استحکام خمشی بدست آمده ۸۴ MPa می‌باشد. علاوه بر این شکست ناگهانی در نمونه‌های تقویت شده مشاهده نشد. نتایج آزمون کشش افزایش قابل توجهی نشان داده است بطوریکه بیشترین افزایش در استحکام کششی حدود شش برابر و بالاترین مقدار استحکام کششی ۷۲ MPa به دست آمده است. بر خلاف آزمون خمشی، در بارگذاری کششی افزودن پیوند دهنده در برخی از کامپوزیت‌های تقویت شده نتیجه منفی داشته است. مقاومت به ضربه افزایش فوق العاده-ای داشته بطوریکه در درصد وزنی چوب ۶۰ و تعداد روینگ تقویتی شش، حدود ۲۰ برابر شده است. همچنین رفتار کششی کامپوزیتهای چوب پلاستیک با روابط تئوری بررسی شده است. در پایان به منظور مقایسه اثر استحکام بخشی الیاف ممتد با الیاف غیر ممتد، روینگهای تقویت آغشته شده در سه طول ۵، ۱۵ و ۲۵ میلیمتر بکار گرفته شده است. این آزمایشها در کامپوزیت ۷۰ درصد وزنی چوب و با درصد وزنی الیاف غیر ممتد یکسان با چهار روینگ انجام شد. نتایج آزمون‌های مکانیکی بر روی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف غیر ممتد نشان داد که الیاف کوتاه تقویت بخشی بر زمینه چوب پلاستیک نداشته است.

واژگان کلیدی: کامپوزیت چوب-پلاستیک هیبریدی، اکستروژن، روینگ شیشه، آغشتگی، تقویت کننده

فهرست مطالب

فصل ۱ : مقدمه ۱

۱-۱ کامپوزیتهای چوب پلاستیک ۲

۱-۲ هدف تحقیق: ۴

۱-۳ ساختار رساله ۵

فصل ۲ : پیشینه پژوهش ۷

۲-۱ مطالعه خواص مکانیکی کامپوزیتهای چوب پلاستیک ۸

۲-۱-۱ سازگار نمودن سطوح چوب و پلیمر ۹

۲-۱-۲ اندازه و نوع ذرات ۱۰

۲-۱-۳ تاثیر شرایط فرآیندی بر خواص مکانیکی ۱۲

۲-۱-۴ اثر اضافه نمودن لاستیک ۱۳

۲-۲ افزایش استحکام کامپوزیتهای چوب پلاستیک ۱۳

فصل ۳ : تئوری ۲۴

۳-۱ ویسکوزیته و رئومتری دای تخت ۲۵

۳-۲ جریان سیال در داخل محیط متخلخل ۲۷

۳-۲-۱ جریان سیال نیوتونی در داخل محیط متخلخل ۲۷

۳-۲-۲ جریان غیر نیوتونی در داخل محیط متخلخل ۳۰

۳-۳ تعادل جریان در دای ۳۱

۳-۳-۱ مبانی تعادل جریان در دای پروفیل ۳۳

۳-۳-۲ تئوری تعادل جریان در دای تخت ۳۵

۳-۴ مشخصات کششی کامپوزیتهای با الیاف ممتد تک جهته ۳۸

فصل ۴ : مواد، تجهیزات و آزمایشها ۴۶

۴-۱ مواد آزمایش ۴۷

۴-۱-۱ پلاستیک ۴۷

۴-۱-۲ آرد چوب ۴۸

۴-۱-۳ پیوند دهنده ۴۸

۴-۱-۴ الیاف شیشه ۴۸

۴-۲ تجهیزات ۵۰

۴-۲-۱ : آغشته سازی روینگ شیشه ۵۰
۴-۲-۲ طراحی و ساخت دای جهت تولید کامپوزیتهای هیبریدی الیاف ممتد/چوب ۵۵
۴-۲-۳ اکسترودرها ۶۶
۴-۳ آزمایشها ۶۷
۴-۳-۱ تعیین ضریب نفوذپذیری روینگ شیشه ۶۷
۴-۳-۲ : آغشته سازی روینگ شیشه ۷۱
۴-۳-۳ تولید کامپوزیتهای هیبریدی با الیاف ممتد ۷۴
۴-۳-۴ آزمونهای مکانیکی انجام شده بر روی کامپوزیتهای هیبریدی با الیاف ممتد ۷۷
۴-۳-۵ تولید کامپوزیتهای هیبریدی با الیاف غیر ممتد ۸۲
۴-۳-۶ آزمونهای مکانیکی و عکسبرداری از الیاف در کامپوزیتهای با الیاف غیر ممتد ۸۳
فصل ۵ : نتایج و بحث ۸۴
۵-۱ ضریب نفوذپذیری روینگ شیشه ۸۵
۵-۱ نتایج آغشته سازی ۸۶
۵-۲ نتایج آزمایشهای کامپوزیتهای هیبریدی با الیاف ممتد ۸۹
۵-۲-۱ تنظیمات فرآیندی ۸۹
۵-۲-۲ موقعیت روینگها در سطح مقطع ۹۱
۵-۲-۳ چگالی کامپوزیت، درصد وزنی و حجمی الیاف شیشه ۹۳
۵-۲-۴ نتایج آزمون خمشی ۹۴
۵-۲-۱ نتایج آزمون کششی ۹۹
۵-۲-۲ نتایج آزمون ضربه ۱۰۴
۵-۲-۳ ضریب مطلوبیت کامپوزیتهای هیبریدی با الیاف ممتد ۱۰۵
۵-۳ نتایج آزمایشهای الیاف غیر ممتد ۱۰۷
۵-۳-۱ نتایج آزمون خمشی ۱۰۷
۵-۳-۲ نتایج آزمون کششی ۱۰۸
۵-۳-۳ نتایج آزمون ضربه ۱۱۰
۵-۳-۴ بررسی ساختاری ۱۱۰
۵-۴ مدلسازی رفتار کششی کامپوزیتهای چوب پلاستیک با الیاف ممتد ۱۱۲
۵-۴-۱ مدول کششی کامپوزیتهای هیبریدی با الیاف ممتد ۱۱۴
۵-۴-۲ استحکام کششی کامپوزیتهای هیبریدی با الیاف ممتد ۱۱۵
۵-۴-۳ شکست متوالی در کامپوزیتهای هیبریدی ۱۱۷
فصل ۶ : نتیجه گیری، نوآوری و پیشنهادها ۱۲۲

۶-۱ نتیجه گیری ۱۲۳
۶-۲ نوآوری ۱۲۵
۶-۳ پیشنهادها برای آینده ۱۲۶

فهرست جداول

جدول ۴-۱: مشخصات فیزیکی و مکانیکی HDPE 5620 ..... ۴۷
جدول ۴-۲: خصوصیات فیزیکی و مکانیکی انواع مختلف شیشه [۶۳] ۴۹
جدول ۴-۳: طراحی آزمایش برای آغشته سازی روینگهای شیشه ۷۳
جدول ۴-۴: طراحی آزمایش انجام شده برای کامپوزیتهای هیبریدی با الیاف ممتد ۷۵
جدول ۴-۵: طراحی آزمایش برای کامپوزیتهای هیبریدی با الیاف غیر ممتد ۸۳
جدول ۵-۱: تنظیمات فرآیندی برای تولید کامپوزیتهای هیبریدی ۸۹
جدول ۵-۲: موقعیت روینگها از مرکز برای نمونه های کامپوزیتی ۹۲
جدول ۵-۳: چگالی کامپوزیتها، درصد وزنی و حجمی الیاف شیشه در کامپوزیتهای تولید شده ۹۳
جدول ۵-۴: مشخصات خمشی نمونه های اکسترود شده ۹۵
جدول ۵-۵: مشخصات کششی نمونه های اکسترود شده ۱۰۱
جدول ۵-۶: مقاومت به ضربه نمونه های اکسترود شده ۱۰۴
جدول ۵-۷: ضرایب مطلوبیت کامپوزیتهای اکسترود شده ۱۰۶
جدول ۵-۸: مشخصات خمشی کامپوزیتهای تقویت شده با الیاف غیر ممتد ۱۰۸
جدول ۵-۹: مشخصات کششی کامپوزیتهای تقویت شده با الیاف غیر ممتد ۱۱۰
جدول ۵-۱۰: استحکام به ضربه کامپوزیتهای تقویت شده با الیاف غیر ممتد ۱۱۰
جدول ۵-۱۱: درصد حجمی روینگ اندازه گیری شده در کامپوزیت هیبریدی ۱۱۳

فهرست تصاویر

شکل ۲-۱: شماتیک تولید الیاف آغشته شده بلند در پالتروژن [۳۳] ۱۶

شکل ۲-۲: تجهیزات برای تقویت کنندگی چوب پلاستیک [۳۸] ۱۹

شکل ۲-۳: ورق چسبیده شده به سطح زیرین کامپوزیت چوب پلاستیک با رزین اپوکسی [۳۹] ۲۰

شکل ۲-۴: نصب تسمه تخت بر روی ناحیه کششی ۲۰

شکل ۲-۵: شماتیک تقویت کنندگی از طریق پرس کردن با تسمه [۴۱] ۲۲

شکل ۳-۱: هندسه رئومتر کانال تخت $L\rangle W\rangle\rangle h$ ۲۶

شکل ۳-۲: شماتیکی از آغشته سازی عرضی روینگ شیشه ۲۸

شکل ۳-۳: الف) دای متعادل و محصول سالم ؛ ب) دای نامتعادل و پروفیل معوج شده [۵۶] ۳۳

شکل ۳-۴: پروفیل با دو ضخامت نا برابر ۳۳

شکل ۳-۵: الف) پروفیل U شکل با ضخامتهای متغیر؛ ب) مقطع برش خورده طولی دای؛ ج) نمای داخلی دای [۵۷] ۳۴

شکل ۳-۶: شماتیکی از دای Coat hanger [۵۸] ۳۵

شکل ۳-۷: مانیفولد با هندسه Coat hanger در دای روکش دهی سیم [۵۹] ۳۸

شکل ۳-۸: مقایسه کرنش های شکست بین الیاف و زمینه: الف) کرنش شکست الیاف ε_f^* بزرگتر از زمینه ε_m^*، ب) کرنش شکست الیاف ε_f^* کوچکتر از زمینه ε_m^* ۳۹

شکل ۳-۹: تغییر استحکام کششی با درصد وزنی تقویت کننده برای کامپوزیتهای $\varepsilon_f^*\rangle\varepsilon_m^*$ ۴۰

شکل ۳-۱۰: نمودار تنش-کرنش کامپوزیت با زمینه ترد در شکست یکباره و متوالی [۶۰] ۴۱

شکل ۳-۱۱: مدل تاخیر برشی ارائه شده توسط مرجع [۶۱] در حین شکستهای متوالی کامپوزیت با زمینه ترد..... ۴۲

شکل ۳-۱۲: تغییر استحکام کششی با درصد وزنی تقویت کننده برای کامپوزیتهای $\varepsilon_m^*\rangle\varepsilon_f^*$ ۴۴

شکل ۳-۱۳: شماتیکی از شکست کششی کامپوزیتهای تک جهته؛ a) قبل از شکست، b) شکست زمینه قبل از شکست الیاف در حالت $\varepsilon_m^*\rangle\varepsilon_f^*$، c) شکستهای متوالی زمینه، d) شکست الیاف پیش از شکست زمینه در حالت $\varepsilon_f^*\rangle\varepsilon_m^*$ [۶۲] ۴۴

شکل ۴-۱: دوک شیشه از نوع E ۵۰

شکل ۴-۲: تصویری از رشته های شیشه و اپوکسی جهت اندازه گیری قطر رشته (ابعاد به میکرومتر هستند)..... ۵۰

شکل ۴-۳: نمایش روینگ الف) مستقیم و ب) به هم متصل شده..... ۵۲

شکل ۴-۴: روشهای مختلف آغشته سازی: الف) استفاده از فشار خارجی مذاب برای آغشته سازی، ب) بکار گیری محفظه مذاب [۶۷] ۵۲

شکل ۴-۵: شماتیک سامانه آغشته سازی پیاده سازی شده در این تحقیق با اقتباس از طرح الف شکل ۴-۴ ..... ۵۳

شکل ۴-۶ : الف) شماتیک فرآیند آغشته سازی هیبریدی: ۱- روینگ شیشه، ۲- پینهای پخش کننده الیاف، ۳- خروجی مذاب اضافی از محفظه، ۴) شیارهای عبور مذاب برای آغشته کردن الیاف شیشه، ۵) پینهای آغشته سازی،

۶) دای استوانه ای به قطر داخلی ۲ میلیمتر، ۷) محفظه مذاب، ۸) جمع کن الیاف شیشه آغشته شده؛ ب) محفظه مذاب ساخته شده؛ ج) دای با شیارهای شعاعی ساخته شده ۵۵
شکل ۴-۷: طرح اولیه دای برای تولید کامپوزیتهای هیبریدی ۵۶
شکل ۴-۸: شماتیکی از دای های استفاده شده برای روکش دهی سیمها در فرآیند اکستروژن؛ الف) چسبندگی کم- ب) چسبندگی مطلوب ۵۷
شکل ۴-۹: شماتیکی از دای طراحی شده برای تولید کامپوزیتهای هیبریدی؛ ۱) ورود مذاب چوب پلاستیک از اکسترودر؛ ۲) روینگهای آغشته شده، ۳) ماندرل، ۴) انحراف دهنده، ۵) متعادل کننده، ۶) پیچ تنظیم جریان، ۷) رینگ تنظیم کننده جریان، ۸) راهنمای روینگ آغشته شده، ۹) دای شکل دهنده ۵۸
شکل ۴-۱۰: انواع مختلف ماندرل به منظور ایجاد جریان متعادل [۷۰] ۵۹
شکل ۴-۱۱: ماندرل طراحی و ساخته شده در این تحقیق به همراه انحراف دهنده و متعادل کننده جریان ۵۹
شکل ۴-۱۲: ابعاد برای تبدیل به دای ورق ۶۰
شکل ۴-۱۳: الف) شکل گسترده دای استفاده شده؛ ب) دای تخت coat hanger ۶۱
شکل ۴-۱۴: رینگ و پیچهای تنظیم کننده جریان ۶۲
شکل ۴-۱۵: طرح مربوط به راهنمای نوع اول ۶۳
شکل ۴-۱۶: نمایش جمع شدگی روینگها به سمت مرکز ناشی از جریان همگرا ۶۳
شکل ۴-۱۷: راهنمای روینگ با پیچهای نصب شده بر آن و نمایش آن در داخل دای ۶۴
شکل ۴-۱۸: راهنمای شش روینگ در طرح نهایی ۶۴
شکل ۴-۱۹: پاره شدن روینگ شیشه در حین فرآیند ۶۵
شکل ۴-۲۰: تاثیر لبه های تیز راهنمای روینگ و جریان همگرا بر روی پارگی روینگ ۶۵
شکل ۴-۲۱: دای ساخته شده برای تولید کامپوزیتهای هیبریدی ۶۶
شکل ۴-۲۲: اکسترودر دو ماردونه همسوگرد جهت آزمایشهای آغشته سازی ۶۶
شکل ۴-۲۳: نمایی از اکسترودر مورد استفاده شده در تولید کامپوزیتهای هیبریدی [۷۱] ۶۷
شکل ۴-۲۴: المانهای مارپیچ اکسترودر ۶۷
شکل ۴-۲۵: شماتیک دای برای اندازه گیری ویسکوزیته ۶۸
شکل ۴-۲۶: نمودار فشار-زمان در طی زمان ۵ دقیقه ۶۸
شکل ۴-۲۷: روش اندازه گیری نیروی کششی در روینگ به هنگام آغشته سازی ۶۹
شکل ۴-۲۸: شماتیکی از آزمایشهای تعیین ضریب نفوذپذیری: ۱: روینگ-۲: کانالهای مذاب-۳: محل قرارگیری سنسور فشار- L: طول کانال تخت- R: شعاع قالب ۷۰
شکل ۴-۲۹: آغشته سازی روینگ شیشه با دای تک شیاره ۷۱
شکل ۴-۳۰: فرآیند آغشته سازی روینگ شیشه؛ ۱) اکسترودر دو ماردونه همسوگرد- ۲) دوک روینگ شیشه- ۳) پینهای پخش کننده روینگ شیشه- ۴) محفظه آغشته سازی -۵) روینگ شیشه آغشته شده به مذاب ۷۳

شکل ۴-۳۱: شماتیکی از روینگ آغشته شده با رزین [۷۲] ۷۳
شکل ۴-۳۲: شماتیکی از آزمون خمش سه نقطهای برای ارزیابی آغشتگی [۶۴] ۷۴
شکل ۴-۳۳: شماتیکی از فرآیند تولید کامپوزیتهای هیبریدی ۷۶
شکل ۴-۳۴: الف) متعادل نمودن جریان در درصد وزنی ۶۰٪ چوب- ب) جریان نامتعادل در اثر موقعیت دهی نا صحیح رینگ تنظیم کننده ۷۷
شکل ۴-۳۵: تصاویر مربوط به تولید کامپوزیتهای چوب پلاستیک تقویت شده با الیاف ممتد: a و b) نمای فرآیند از پشت دای، c و d) نمای فرآیند از جلوی دای ۷۷
شکل ۴-۳۶: طریقه قرار گیری نمونه در زیر بار خمشی (دایره های سیاه نمایانگر روینگ آغشته شده هستند) ۷۸
شکل ۴-۳۷: آزمون خمش سه نقطه ای ۷۸
شکل ۴-۳۸: ناحیه شکست نمونه در آزمون کشش؛ a) 70- b) 706R ۷۹
شکل ۴-۳۹: قالبهای ساخته شده برای ایجاد تب روی نمونه ها ۸۰
شکل ۴-۴۰: ناحیه شکست در قسمت تب رزینی در 706R در آزمون کشش ۸۰
شکل ۴-۴۱: الف) تبهای آلومینیومی بکار گرفته شده؛ ب) آزمون کشش به همراه کرنش سنج نصب شده بر نمونه ۸۰
شکل ۴-۴۲: دستگاه های آزمون مقاومت به ضربه: الف) پاندول ۱۱ ژول، ب) پاندول ۱۵۰ ژول ۸۲
شکل ۴-۴۳: سه طول از روینگهای آغشته شده؛ الف) طول ۵ ب) ۱۵ و ج) ۲۵ میلیمتر ۸۲
شکل ۵-۱: نمودار ویسکوزیته-نرخ برشی ۸۵
شکل ۵-۲: مقادیر بدست آمده برای ضریب نفوذپذیری روینگ شیشه در دو نیروی کششی ۱۰ و ۵۰ نیوتونی ۸۶
شکل ۵-۳: زمان مورد نیاز برای آغشته سازی روینگ شیشه ۸۷
شکل ۵-۴: نمودار نیرو-تغییر مکان خمشی روینگ آغشته نمونه Cham-1 ..... ۸۸
شکل ۵-۵: نیروی خمشی ماکزیمم به دست آمده از روینگهای آغشته شده ۸۸
شکل ۵-۶: نمونه های کامپوزیتی هیبریدی a) ۵۰، b) ۶۰ و c) ۷۰ درصد وزنی چوب ۹۰
شکل ۵-۷: الف) نصب کالیبراتور ساخته شده به دنباله دای؛ ب) نشتی مذاب چوب-پلاستیک از سوراخ ماندرل ۹۰
شکل ۵-۸: نمونه نامناسب 606R در سرعت اکستروژن بالاتر ۴ rpm ۹۱
شکل ۵-۹: شماتیک تاثیر جریان همگرا و نامتعادل بر موقعیت روینگ ۹۲
شکل ۵-۱۰: موقعیت روینگها در a) 606R و b) 706R (دایرههای سیاه نماینده روینگ هستند) ۹۳
شکل ۵-۱۱: نمودار نیرو-جابجایی خمشی 70M و 70M6R ۹۶
شکل ۵-۱۲: نمودار تنش-کرنش خمشی چوب پلاستیک با درصد وزنی ۶۰ ..... ۹۶
شکل ۵-۱۳: نمودار تنش-کرنش خمشی چوب پلاستیک با درصد وزنی ۷۰ ..... ۹۷
شکل ۵-۱۴: مدل استفاده شده برای پیش بینی استحکام خمشی کامپوزیتهای تقویت شده ۹۷
شکل ۵-۱۵: طریقه بدست آوردن کرنش کششی فایبر ε_f از کرنش شکست ماتریس چوب پلاستیک ε_{break} ۹۸
شکل ۵-۱۶: مقدار گشتاور بدست آمده از رابطه (۵-۳) و نتایج تجربی ۹۹

شکل ۵-۱۷: اتصال نامناسب روینگ به چوب پلاستیک ۶۰ درصد وزنی چوب..... ۹۹
شکل ۵-۱۸: کامپوزیت 606R شکسته شده در بین دو فک در آزمون کشش..... ۱۰۰
شکل ۵-۱۹: نمودار تنش-کرنش چوب پلاستیک ۶۰ درصد تقویت شده با شش روینگ در دو سطح از MAPE..۱۰۲
شکل ۵-۲۰ :نمودار تنش-کرنش چوب پلاستیک ۷۰ درصد تقویت شده با شش روینگ در دو سطح از MAPE..۱۰۳
شکل ۵-۲۱: الف) نمودار تنش-کرنش کششی نمونه 702R و ترکهای ایجاد شده بر نمونه، ب) نمودار تنش-کرنش کششی نمونه 704R..... ۱۰۳
شکل ۵-۲۲: تفاوت انرژی شکست در آزمون ضربه 606R: الف) $67\ KJ/m^2$، ب) $111\ KJ/m^2$..... ۱۰۵
شکل ۵-۲۳: محل قرار گیری کامپوزیتهای چوب پلاستیک بدون تقویتی و تقویت شده [۷۵]..... ۱۰۷
شکل ۵-۲۴: نمودارهای تنش-کرنش خمشی برای کامپوزیتهای تقویت نشده، تقویت شده با روینگ کوتاه و ممتد۱۰۸
شکل ۵-۲۵: نمودارهای تنش-کرنش کششی برای کامپوزیتهای تقویت نشده و تقویت شده با روینگ ممتد و غیر ممتد..... ۱۰۹
شکل ۵-۲۶: تصاویر میکروسکوپ الکترونی از کامپوزیتهای تقویت شده با الیاف غیر ممتد، a) سطح مقطع شکست عمود بر جهت جریان؛ b) سطح مقطع شکست موازی با جهت جریان..... ۱۱۱
شکل ۵-۲۷: الیاف شیشه استخراج شده از کامپوزیتهای تقویت شده با الیاف شیشه به طول a) ۵؛ b) ۱۵ و c) ۲۵ میلیمتر..... ۱۱۱
شکل ۵-۲۸: اندازه گیری سطح مقطع روینگ آغشته شده..... ۱۱۲
شکل ۵-۲۹: نمودار تنش-کرنش روینگ شیشه آغشته شده..... ۱۱۳
شکل ۵-۳۰: نحوه اندازه گیری درصد حجمی روینگ آغشته شده در کامپوزیت 60M2R..... ۱۱۳
شکل ۵-۳۱: مدول کششی به دست آمده از نتایج تجربی و رابطه تئوری (۵-۸)..... ۱۱۵
شکل ۵-۳۲: مقایسه بین درصد حجمی الیاف بدست آمده از رابطه (۳-۳۷) و اندازه گیری شده از کامپوزیتها..... ۱۱۶
شکل ۵-۳۳: مقایسه بین استحکام کششی کامپوزیتهای هیبریدی از رابطه تئوری (۳-۳۵) با نتایج تجربی..... ۱۱۶
شکل ۵-۳۴: مقایسه بین استحکام کششی کامپوزیتهای هیبریدی از رابطه تئوری (۳-۳۶) با نتایج تجربی..... ۱۱۶
شکل ۵-۳۵: تصویری از شکستهای متوالی: a) نمونه بدون ترک در 60M4R، ترک در نمونه های b) 604R، c) 704R و d) 706R..... ۱۱۷
شکل ۵-۳۶: الف: شماتیک اندازه گیری تنش برشی بین روینگ و زمینه چوب پلاستیک، ب) آزمون اندازه گیری تنش برشی..... ۱۱۸
شکل ۵-۳۷: نمودار نیرو-جابجایی برای تعیین تنش برشی بین روینگ و زمینه چوب پلاستیک..... ۱۱۹
شکل ۵-۳۸: تنش برشی τ بین روینگ و زمینه چوب پلاستیک..... ۱۱۹
شکل ۵-۳۹: فاصله بین ترکها x' و $2x'$ محاسبه شده از رابطه (۳-۴۲) و مقادیر اندازهگیری شده..... ۱۲۰
شکل ۵-۴۰: نمودار تنش-کرنش کششی کامپوزیت 706R..... ۱۲۱
شکل ۵-۴۱: مقایسه شیب نمودار ناحیه انتهایی با رابطه تئوری $E_f V_f$..... ۱۲۱

فصل ۱: مقدمه

۱-۱ کامپوزیت‌های چوب پلاستیک

کامپوزیت‌های چوب پلاستیک نسل جدیدی از مواد هستند که از ترکیب چوب (هر نوع و شکلی از آن) با گرمانرم‌ها یا گرماسخت‌ها بدست می‌آید. چوب ماده‌ای است آب دوست[۱]، ویسکوالاستیک[۲] و غیر همسان[۳] که سلولز[۴] (٪۴۵-۴۴)، همی سلولوز[۵] (٪ ۲۵-۲۰)، لیگنین[۶] (٪ ۳۰-۲۰) و (٪ ۱۰-۰) مابقی اجزا آن را تشکیل می‌دهد. در این کامپوزیت‌ها زمینه پلیمری می‌تواند محدوده وسیعی از پلی‌اولفین‌ها[۷] تا پی وی سی و چوب می‌تواند از خاک اره (آرد چوب)[۸] تا محصولات کشاورزی مانند کنف، کتان، پوسته برنج، نیشکر و ... را شامل شود. یک کامپوزیت چوب پلاستیک معمولاً شامل ۵۰ الی ۷۰ درصد وزنی چوب می‌باشد. ذرات آرد چوب دارای اندازه مش ۱۰ الی ۸۰ و نسبت منظر[۹] از یک الی چهار می‌باشند [۱].

نگاه کارخانه‌های تولیدی چوب به پلاستیک استفاده از خواص منحصر به فرد پلاستیک‌ها مانند مقاومت به جذب رطوبت و حشرات برای تولید قطعات 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 پلاستیک و همچنین افزایش سفتی خواهد گردید. استفاده از کامپوزیتهای بر پایه چوب به اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی بر می‌گردد. اولین کامپوزیت چوب-گرماسخت تحت نام تجاری بکلایت[۱۰] از ترکیب رزین فنول-فرمالدهید با آرد چوب بدست آمده است که از آن در سر دنده اتومبیل برای کارخانه رولز رویز در سال ۱۹۱۶ استفاده می‌شد.

---

1 Hydrophilic
2 Viscoelastic
3 Anisotropic
4- Cellulose
5 Hemi cellulose
6 Lignin
7 Polyolefin
8 Wood flour
9 Aspect ratio
10 Bakelite

امروزه هشدار جهانی مربوط به مشکلات زیست محیطی می‌باشد. یکی از مهمترین عوامل آن استفاده گسترده از پلاستیکهای مصنوعی می‌باشد. اضافه کردن مواد طبیعی مانند آرد چوب و الیاف طبیعی به پلاستیک‌ها می‌تواند تا حدودی از مشکلات موجود بکاهد. گذشته از مسائل زیست محیطی، هزینه و وزن پایین از دیگر مزایای استفاده از الیاف طبیعی می‌باشد. همچنین در هنگام فرآیند سایشی که در مورد تقویت کننده‌های دیگر مانند الیاف شیشه در ماشین آلات رخ می‌دهد، بوجود نمی‌آید. قابلیت بازیافت نیز از دیگر خواص کامپوزیت‌های تولید شده با این الیاف می‌باشد. هر ساله در اروپا حدود ۸ تا ۹ میلیون تن ضایعات از وسایل نقلیه به دلیل به پایان رسیدن عمر مفید آنها تولید می‌شوند. اتحادیه اروپا در سال ۱۹۹۷ قانونی را تصویب نمود که در آن تا سال ۲۰۰۶ حدود ۸۵ درصد و تا سال ۲۰۱۵ حدود ۹۵ درصد از وزن وسایل نقلیه از مواد قابل بازیافتی تهیه شود.

الیاف طبیعی استحکام الیاف شیشه‌ای را ندارند. استحکام کششی، خمشی و مقاومت به ضربه آنها حدود نصف الیاف شیشه می‌باشد. اما مدول کششی آنها تقریباً برابر الیاف شیشه می‌باشد و مدول مخصوص[1] (نسبت مدول بر چگالی) بزرگتر از الیاف شیشه می‌باشد. قیمت الیاف شیشه‌ای هر کیلو ۱/۷ دلار و چگالی آن حدود g/cm^3 ۲/۵ می‌باشد. در حالیکه قیمت الیاف طبیعی حدود ۰/۲۲ الی ۰/۴۴ دلار به ازای هر کیلو و دارای چگالی g/cm^3 ۱/۲ می‌باشد. بنابراین از لحاظ حجمی استفاده از الیاف طبیعی حدود ۸ الی ۱۶ برابر صرفه اقتصادی خواهد داشت.

از بین محصولات تولید شده از کامپوزیت چوب پلاستیک در سال ۲۰۰۵ در آمریکای شمالی، کف پوش حد.ود ۶۵ درصد کل را به خود اختصاص داده است. چار چوبهای در و پنجره حدود ۱۱ درصد و مابقی را حصار کشی، اسکله و غیره تشکیل داده است. از بین زمینه‌های پلیمری استفاده شده حدود ۸۳ درصد پلی اتیلن، ۹ درصد پی وی سی، ۷ درصد پلی پروپیلن می‌باشد. در حال حاضر بیشتر کامپوزیتهای ساخته شده از پلی اتیلن در اجزا بیرونی منازل مانند کف پوش، حصار کشی، دیوار پوش و غیره استفاده می‌شود. کامپوزیتهای تولید شده از پلی پروپیلن بیشتر برای صنایع خودرو سازی استفاده می‌شود. کامپوزیتهای

1 Specific modulus