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

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای **علی رضا عدلی** پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان **مدل سازی میکرو مکانیک مدول یانگ و استحکام کششی کامپوزیت های چوب پلاستیک** در تاریخ ۱۳۹۱/٦/۲۷ 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 اکبر علی بیگلو	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمود مهرداد شکریه	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 پایان‌نامه کارشناسی ارشد علی‌رضا عدلی 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 علی‌رضا عدلی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: علی‌رضا عدلی

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 دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، 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 یافته‌ها 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 بـه تصـویب رسـیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب علی‌رضا عدلی دانشجوی رشته مهندسی مکانیـک - سـاخت و تولیـد ورودی سـال تحصـیلی ۱۳۹۱-۱۳۸۹ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده فنی و مهندسی متعهد می‌شوم کلِیه نکـات منـدرج در آئـین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پـژوهش‌هـای علمـی دانشـگاه تربیـت مـدرس را در انتشـار یافته‌های علمی مستخرج از پایان نامه تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئـین نامـه فـوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یـا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصـله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم.»

امضا:

تاریخ:

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک- ساخت و تولید

مدل‌سازی میکرومکانیک مدول یانگ و استحکام کششی کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک

نگارنده:

علی‌رضا عدلی

استاد راهنما:

دکتر امیرحسین بهروش

شهریور ۹۱

تقدیم به پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی آموختم.

تقدیم به خواهرم

که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است.

تشکر و قدردانی:

بر خود لازم می‌دانم از زحمات بی‌شائبه‌ی استاد محترم جناب آقای دکتر امیرحسین بهروش که از ابتدای کار تا پایان با حمایت‌ها و دقت نظر خود موجب به نتیجه رسیدن این کار تحقیقی شدند سپاسگزاری کنم.

از پدر، مادر و خواهرم که در تمامی لحظات زندگی، به ویژه در مسیر گذراندن دوره کارشناسی‌ارشد و انجام پایان‌نامه، حامی و مشوق من بوده‌اند تشکر ویژه و صمیمانه دارم و از اینکه در این دوره نتوانستم به طور شایسته در کنار آنها باشم از آنها دلجویی می‌نمایم.

از دوستان عزیزی که در مسیر ساخت تجهیزات و انجام آزمایش‌ها اینجانب را یاری رسانده‌اند بسیار سپاسگزارم: آقایان مهندس احمدی، ذوالفقاری، احمدزی، طبخ‌پز، شاهی و خانم مهندس علوی.

در نهایت از راهنمایی‌ها و حمایت‌های اعضای گروه تکنوپلاست مدرس که در همه مراحل اجرای کار یاریگر بنده بودند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده:

در این پایان نامه به مدل‌سازی میکرومکانیک مدول یانگ و استحکام کششی کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک پرداخته شده است. یک مدل میکرومکانیک می‌تواند در طراحی ترموپلاستیک‌های پرشده با ذرات چوب، با انتخاب مناسب نسبت ذرات، به پیش‌بینی خواص مورد نظر کامپوزیت پرداخته و سبب کاهش آزمایش‌های تجربی و صرفه‌جویی در هزینه و وقت شود. برای انجام این تحقیق از پلی‌اتیلن با چگالی بالا، پرکاربردترین پلیمر مورد استفاده در کامپوزیت چوب-پلاستیک، استفاده شد. طراحی آزمایش به صورت فاکتوریل کامل ۵۴ حالت می‌باشد. متغیرهای فرایند شامل درصد چوب، اندازه ذرات چوب، وجود و عدم وجود عامل جفت‌کننده و فشار نگهداری بوده و آزمون‌ها شامل استحکام کششی، استحکام به ضربه، چگالی، میزان جذب آب و رئولوژی بوده‌اند. برای مدل‌سازی میکرومکانیک مدول یانگ و استحکام کششی در این کار تحقیقاتی، اصلاح مدل ROM پیشنهاد شده است. مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی مدول یانگ دارای دقت ۹۱/۳٪ و برای پیش‌بینی استحکام کششی دارای دقت ۹۱/۸٪ می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از آن است که محدوده فشار نگهداری اعمال شده در نتایج تاثیری نداشته و اندازه ذرات مسبب تغییراتی در استحکام به ضربه و رئولوژی و میزان جذب آب شده و تاثیری در استحکام کششی، مدول یانگ و چگالی نداشته است. همچنین افزایش درصد چوب سبب کاهش خواص مکانیکی و افزایش مدول یانگ شده است. این در حالی است که افزودن عامل جفت‌کننده سبب افزایش خواص مکانیکی با افزایش درصد چوب کاهش میزان جذب آب شده است. برای راست آزمایی مدل‌های پیشنهاد شده برای قالب با ضخامت حفره ۳/۲ میلیمتر، از یک قالب با ضخامت حفره ۶ میلیمتر استفاده شد و به کمک طراحی آزمایش جداگانه، آزمون‌های بالا بر روی قطعات انجام گردید. مدل پیشنهاد شده برای پیش‌بینی مدول یانگ قطعات با ضخامت ۶ میلیمتر دارای دقت ۹۳/۲٪ و برای پیش‌بینی استحکام کششی آنها دارای دقت ۸۷/۵٪ می‌باشد. انجام این آزمون‌ها نشان داد که مدل‌سازی میکرومکانیک پیشنهاد شده قابلیت پیش‌بینی مدول یانگ و استحکام کششی کامپوزیت چوب-پلاستیک را با دقت بالا دارد.

واژگان کلیدی: کامپویت چوب-پلاستیک- مدل‌سازی میکرومکانیک- مدول یانگ- استحکام کششی

فهرست مطالب

فصل ۱ : مقدمه ۱

۱-۱ کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک ۲
۱-۲ تاریخچه کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک ۳
۱-۳ مزایا و معایب کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک ۴
۱-۳-۱ مشخصات فیزیکی ۴
۱-۳-۲ مشخصات مکانیکی ۵
۱-۴ کاربردهای کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک ۵
۱-۵ فرایندهای تولید کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک ۷
۱-۵-۱ فرایند اکستروژن ۸
۱-۵-۲ فرایند قالب‌گیری تزریقی ۱۰
۱-۵-۳ فرایند قالب‌گیری فشاری ۱۱
۱-۶ اهداف پایان نامه ۱۱
۱-۷ ساختار پایان نامه ۱۲
فصل ۲ : مروری بر منابع ۱۳

۲-۱ مقدمه ۱۴
۲-۲ پیشینه پژوهش ۱۴
۲-۲-۱ بررسی خواص مکانیکی: ۱۴
۲-۲-۲ بررسی خواص فیزیکی: ۱۴
۲-۲-۳ مدل‌های مدول یانگ: ۱۶
۲-۲-۴ مدل‌های استحکام کششی ۳۳
فصل ۳ : مواد و تجهیزات ۴۰

۳-۱ مقدمه ۴۱
۳-۲ مواد اولیه ۴۱
۳-۲-۱ پلی‌اتیلن ۴۱
۳-۲-۲ ذرات چوب ۴۲
۳-۲-۳ عامل جفت‌کننده ۴۲
۳-۳ آزمون‌های انجام شده ۴۳
۳-۳-۱ آزمون کشش ۴۴
۳-۳-۲ آزمون ضربه ۴۴

۳-۳-۳ آزمون جذب آب ۴۴
۳-۳-۴ آزمون رئولوژی ۴۴
۳-۳-۵ آزمون چگالی ۴۵
۳-۴ تجهیزات ۴۵
۳-۴-۱ اکسترودر ۴۶
۳-۴-۲ قالب گرانول‌گیری ۴۷
۳-۴-۳ دستگاه خردکن ۴۸
۳-۴-۴ دستگاه تزریق پلاستیک ۴۸
۳-۴-۵ قالب تزریق ۴۹
۳-۴-۶ ترازوی دقیق و دستگاه اندازه‌گیری چگالی ۵۰
۳-۴-۷ رئومتر چرخشی ۵۱
۳-۴-۸ آزمون‌های مکانیکی ۵۲
۳-۵ طراحی آزمایش ۵۴
۳-۵-۱ پارامترهای ثابت ۵۴
۳-۵-۲ پارامترهای مستقل ۵۵
فصل ۴ : نتایج و بحث ۶۲
۴-۱ نتایج آزمون چگالی ۶۳
۴-۲ نتایج آزمون جذب آب ۶۵
۴-۳ نتایج آزمون رئولوژی ۶۷
۴-۴ استحکام به ضربه ۶۹
۴-۵ استحکام کششی ۷۳
۴-۶ مدول یانگ ۷۵
۴-۷ مدل‌سازی میکرومکانیک مدول یانگ کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک ۷۸
۴-۸ مدل‌سازی میکرومکانیک استحکام کششی کامپوزیت‌های چوب پلاستیک ۸۴
۴-۹ آزمون قالب با ضخامت ۶ میلیمتر ۹۰
۴-۱۰ آنالیز دقت مدل پیشنهاد شده با در نظر گرفتن تمامی نتایج ۹۳
فصل ۵ : نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۶
۵-۱ نتیجه‌گیری ۹۷
۵-۲ پیشنهاد برای آینده ۹۹

فهرست جداول

جدول ۲-۱: پارامترهای تعریف شده ξ برای معادله هالپین[۳۰] ۲۵
جدول ۲-۲: نحوه توزیع ذرات درحالت‌های مختلف ۳۱
جدول ۳-۱: مشخصات پلی‌اتیلن HD5620EA تولید شرکت پتروشیمی شازند اراک [۴۹] ۴۱
جدول ۳-۲: محدوده دمای سیلندر و قالب رشته‌ای دستگاه اکسترودر ۵۴
جدول ۳-۳: محدوده دمای سیلندر و قالب دستگاه تزریق ۵۵
جدول ۳-۴: طراحی آزمایش برای تولید قطعات چوب-پلی‌اتیلن با ضخامت ۳/۲ میلیمتر ۵۷
جدول ۳-۵: طراحی آزمایش برای تولید قطعات چوب-پلی‌اتیلن با ضخامت ۶ میلیمتر ۵۸
جدول ۳-۶: طراحی آزمایش تولید محصولات کامپوزیت چوب-پلاستیک با ضخامت ۳/۲ میلیمتر ۵۸
جدول ۳-۷: طراحی آزمایش تولید محصولات کامپوزیت چوب-پلاستیک با ضخامت ۶ میلیمتر ۶۰
جدول ۴-۱: نتایج آزمون چگالی برای پلی‌اتیلن خالص ۶۴
جدول ۴-۲: درصد پر شدن قالب در نمونه‌های ناقص ۶۸
جدول ۴-۳: خواص مکانیکی چوب مورد استفاده ۷۸
جدول ۴-۴: خواص مکانیکی پلی‌اتیلن چگالی بالا مورد استفاده ۷۸
جدول ۴-۵: مقادیر بدست آمده برای توزیع ذرات چوب در داخل ماتریس پلیمری در مدل پیشنهاد شده ۸۲
جدول ۴-۶: نحوه توزیع ذرات درحالت‌های مختلف[۳۷] ۸۲
جدول ۴-۷: مقایسه مقادیر مدول یانگ مدل پیشنهاد شده با نتایج تجربی ۸۳
جدول ۴-۸: مقادیر بدست آمده ضریب تخلخل به ازای نسبت وزنی ذرات چوب ۸۸
جدول ۴-۹: مقادیر بدست آمده ضریب چسبندگی به ازای نسبت وزنی ذرات چوب ۸۸
جدول ۴-۱۰: مقایسه مقادیر استحکام کششی توسط مدل پیشنهاد شده با نتایج تجربی ۸۹
جدول ۴-۱۱: مقایسه مقادیر مدول یانگ مدل پیشنهاد شده با نتایج تجربی قالب ضخامت حفره ۶ میلیمتر ۹۱
جدول ۴-۱۲: مقایسه مقادیر استحکام کششی مدل پیشنهاد شده با نتایج تجربی قالب ضخامت حفره ۶ میلیمتر .. ۹۲

فهرست تصاویر

شکل ۱-۱: نمونه‌ای از گرانول تولید شده از ذرات چوب و پلی‌اتیلن[۳] ۳
شکل ۱-۲: کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در رنگ‌های مختلف[۳] ۵
شکل ۱-۳: کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک استفاده شده در سال ۲۰۰۲[۴] ۶
شکل ۱-۴: کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک در تولید پالت[۵] ۶
شکل ۱-۵: استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک برای کف‌پوش خارجی[۳] ۷
شکل ۱-۶: نمونه‌ای از کامپوزیت چوب-پلاستیک در دکوراسیون داخلی ساختمان[۳] ۷
شکل ۱-۷: نیمکت چوب-پلاستیک تولید شده در آزمایشگاه تکنوپلاست مدرس ۷
شکل ۱-۸: شمایی از دستگاه اکسترودر[۴] ۸
شکل ۱-۹: پروفیل‌های کامپوزیتی تولید شده با دستگاه اکسترودر[۴] ۸
شکل ۱-۱۰: اکسترودر دو ماردونه به همراه سیلندر[۴] ۹
شکل ۱-۱۱: شمایی از فرایند تزریق پلاستیک[۴] ۱۱
شکل ۲-۱: الیاف و ماتریس تحت تنش اعمالی در جهت ۱[۲۲] ۱۸
شکل ۲-۲: الیاف و ماتریس تحت تنش اعمالی در جهت ۲[۲۲] ۱۹
شکل ۲-۳: فرض قرارگیری الیاف و ماتریس در مدل هیرش ۲۰
شکل ۲-۴: مدل دوفازی درنظرگرفته شده توسط تاکایاناگی ۲۱
شکل ۲-۵: فرض نحوه قرارگیری ذرات و ماتریس در مدل کونتو ۲۲
شکل ۲-۶: فرض نحوه قرارگیری ذرات و ماتریس در مدل هشین ۲۳
شکل ۲-۷: فرض نحوه قرارگیری ذرات و ماتریس در مدل جکوات[۲۸] ۲۴
شکل ۲-۸: مدل هالپین-تسای برای الیاف کوتاه همراستا[28] ۲۶
شکل ۲-۹: الیاف محاط شده در ماتریس و تحت کرنش یکسان[۳۰] ۲۸
شکل ۳-۱: تصاویر میکروسکوپی گرفته شده از ذرات چوب در مش‌های مختلف ۴۲
شکل ۳-۲: سازگار کننده ذرات چوب و پلیمر PE و PP[۳] ۴۳
شکل ۳-۳: دستگاه اکسترودر و اجزای آن[۵۰] ۴۶
شکل ۳-۴: نقشه جزئیات ابعادی مارپیچ‌های اکسترودر ۴۶
شکل ۳-۵: قالب رشته‌ای نصب شده برروی دستگاه اکسترودر برای تهیه گرانول کامپوزیت چوب-پلاستیک ۴۷
شکل ۳-۶: نقشه برش خورده قالب رشته‌ای (ابعاد به میلی‌متر) ۴۸
شکل ۳-۷: دستگاه آسیاب برای خرد کردن رشته‌های کامپوزیت چوب-پلاستیک و تولید گرانول ۴۸
شکل ۳-۸: دستگاه گرم‌کن روغن و پانل نمایش دهنده دمای دو کفه قالب ۴۹
شکل ۳-۹: شمایی ازکفه ثابت و متحرک قالب ۴۹

شکل ۳-۱۰: نقشه قالب تزریق مورد استفاده (ابعاد به میلیمتر) ۵۰
شکل ۳-۱۱: دستگاه اندازه‌گیری حجم قطعات به روش ارشمیدس ۵۰
شکل ۳-۱۲: رئومتر استفاده شده برای اندازه‌گیری ویسکوزیته ۵۱
شکل ۳-۱۳: نمونه‌های در حال برش توسط دستگاه واترجت برای آزمون کشش و ضربه ۵۲
شکل ۳-۱۴: نمونه برش داده شده توسط واترجت برای آزمون کشش[۳] ۵۲
شکل ۳-۱۵: دستگاه کشش مورد استفاده ۵۳
شکل ۳-۱۶: نمونه برش داده شده توسط واترجت برای آزمون ضربه[۳] ۵۳
شکل ۳-۱۷: دستگاه ضربه مورد استفاده ۵۴
شکل ۳-۱۸: نمونه‌های چوبی آماده شده برای آزمون کشش براساس استاندارد ASTM 1037 ..... ۵۷
شکل ۳-۱۹: روند انجام آزمایش در این تحقیق ۵۸
شکل ۴-۱: چگالی ذرات چوب در فشارهای مختلف ۶۴
شکل ۴-۲: تغییرات چگالی کامپوزیت چوب-پلاستیک با ذرات چوب در اندازه ۲۷۳ میکرومتر ۶۴
شکل ۴-۳: تغییرات چگالی کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده با اندازه ذرات مختلف در فشار ۸۰ bar ۶۵
شکل ۴-۴: تغییرات جذب آب کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده با اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر در فشار ۸۰ bar ۶۶
شکل ۴-۵: تغییرات جذب آب کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده با درصد وزنی ۴۰ در فشار ۸۰ bar ۶۷
شکل ۴-۶: تغییرات جذب آب کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده با درصد وزنی ۲۵ در فشار ۸۰ bar ۶۷
شکل ۴-۷: تغییرات ویسکوزیته کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در درصد وزنی ۱۰ و فشار ۸۰ bar ۶۹
شکل ۴-۸: تغییرات استحکام به ضربه کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در فشار ۸۰ bar ۷۰
شکل ۴-۹: تغییرات استحکام به ضربه کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر ۷۱
شکل ۴-۱۰: تغییرات استحکام به ضربه کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در فشار ۸۰ bar ۷۱
شکل ۴-۱۱: تغییرات استحکام به ضربه کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در درصد وزنی ۱۰٪ ۷۲
شکل ۴-۱۲: تغییرات استحکام کششی کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در فشار ۸۰ bar ۷۳
شکل ۴-۱۳: تغییرات استحکام کششی کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر ۷۴
شکل ۴-۱۴: تغییرات استحکام کششی کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در فشار ۸۰ bar ۷۴
شکل ۴-۱۵: تغییرات استحکام کششی کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در درصد وزنی ۱۰٪ ۷۵
شکل ۴-۱۶: تغییرات مدول یانگ کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در فشار ۸۰ bar ۷۶
شکل ۴-۱۷: تغییرات مدول یانگ کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر ۷۶
شکل ۴-۱۸: تغییرات مدول یانگ کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در فشار ۸۰ bar ۷۷
شکل ۴-۱۹: تغییرات مدول یانگ کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در درصد وزنی ۱۰٪ ۷۷
شکل ۴-۲۰: چگالی ذرات چوب تحت فشارهای مختلف ۷۹
شکل ۴-۲۱: نمونه‌ای از مقایسه نتایج تجربی مدول یانگ در فشار ۸۰ bar و اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر ۸۰

شکل ۴-۲۲:نمونه‌ای از مقایسه نتایج تجربی مدول یانگ در فشار bar ۸۰ و اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر ۸۰
شکل ۴-۲۳: نمونه‌ای از مقایسه نتایج تجربی مدول یانگ در فشار bar ۸۰ و اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر ۸۳
شکل ۴-۲۴: نمونه‌ای از مقایسه نتایج تجربی استحکام کششی در عدم وجود عامل جفت‌کننده، فشار bar ۸۰ و اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر با مدل‌های تئوری موجود ۸۵
شکل ۴-۲۵: نمونه‌ای از مقایسه نتایج تجربی استحکام کششی در وجود عامل جفت‌کننده، فشار bar ۸۰ و اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر با مدل‌های تئوری موجود ۸۶
شکل ۴-۲۶: نمونه‌ای از مقایسه نتایج تجربی استحکام کششی در عدم وجود عامل جفت‌کننده، فشار bar ۸۰ و اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر با مدل پیشنهاد شده ۸۸
شکل ۴-۲۷: نمونه‌ای از مقایسه نتایج تجربی استحکام در وجود عامل جفت‌کننده، فشار bar ۸۰ و اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر با مدل پیشنهاد شده ۸۹
شکل ۴-۲۸: نمونه ای از مقایسه نتایج تجربی مدول یانگ قالب ضخامت حفره ۶ میلیمتر در فشار bar ۸۰ و اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر با مدل پیشنهاد شده ۹۱
شکل ۴-۲۹: نمونه ای از مقایسه نتایج تجربی استحکام کششی قالب ضخامت حفره ۶ میلیمتر در فشار bar ۸۰ و اندازه ذره ۲۷۳ میکرومتر با مدل پیشنهاد شده ۹۲
شکل ۴-۳۰: مقایسه تمامی نتایج تجربی مدول یانگ کامپوزیت‌های ضخامت ۳/۲ میلیمتر با مدل پیشنهاد شده.... ۹۳
شکل ۴-۳۱: مقایسه تمامی نتایج تجربی استحکام کششی کامپوزیت های ضخامت ۳/۲ میلیمتر در عدم وجود عامل جفت‌کننده با مدل پیشنهاد شده ۹۴
شکل ۴-۳۲: مقایسه تمامی نتایج تجربی استحکام کششی کامپوزیت های ضخامت ۳/۲ میلیمتر در وجود عامل جفت‌کننده با مدل پیشنهاد شده ۹۴
شکل ۴-۳۳: مقایسه تمامی نتایج تجربی مدول یانگ کامپوزیت‌های ضخامت ۶ میلیمتر با مدل پیشنهاد شده..... ۹۵
شکل ۴-۳۴: مقایسه تمامی نتایج تجربی استحکام کششی کامپوزیت‌های ضخامت ۶ میلیمتر در وجود عامل جفت‌کننده با مدل پیشنهاد شده ۹۵

فهرست علائم و نشانه‌ها

مدول یانگ کامپوزیت	E_c
مدول یانگ ذرات چوب	E_F
مدول یانگ ماتریس	E_M
مدول یانگ در جهت طولی	E_1
مدول یانگ در جهت عرضی	E_2
مدول یانگ کامپوزیت با ذرات تصادفی	E_c^{ran}
مدول یانگ کامپوزیت متراکم	E_d
مدول یانگ کامپوزیت متخلخل	E_P
نسبت حجمی ذرات چوب	V_F
نسبت حجمی ماتریس	V_M
نسبت حجمی تخلخل	V_P
نسبت حجمی ماکزیمم ذرات	$V_{F,MAX}$
نسبت وزنی ذران چوب	W_F
نسبت وزنی ماتریس	W_M
حجم کامپوزیت	V
نسبت تراکم ذرات	P_F
مدول برشی ذرات	G_F
مدول برشی ماتریس	G_M
مدول فشاری ذرات	K_F
مدول فشاری ماتریس	K_M
طول ذرات چوب	L
قطر ذرات چوب	D
استحکام نهایی کامپوزیت	σ_c
استحکام نهایی ذرات	σ_F
استحکام نهایی ماتریس	σ_M
استحکام ماتریس در نقطه شکست ذرات	$\sigma_{M'}$
استحکام اتصال موجود بین دو فاز	σ_a
تنش فشاری حرارتی در بین ذرات	σ_{th}
استحکام برشی ماتریس	τ_M
وزن نمونه بعد از غوطه‌وری در آب	M_w
وزن نمونه قبل از غوطه‌وری در آب	M_0
ضریب پواسون ماتریس	ν_m
نسبت حجمی ذرات از هم‌گسیخته	$\emptyset_d$
چگالی کامپوزیت	ρ_c
چگالی ماتریس	ρ_M
چگالی ذرات چوب	ρ_F

فصل ۱: مقدمه

۱-۱ کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک[1]

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[2] و غیر همسان[3] که اجزای اصلی آن سلولز[4] (٪۴۵-۴۴)، همی‌سلولوز[5] (٪ ۲۵-۲۰) و لیگنین[6] (٪ ۳۰-۲۰) می‌باشد. در کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک، ماتریس پلیمری می‌تواند محدوده وسیعی از پلی‌اولفین‌ها[7] تا پی وی سی[8] و چوب می‌تواند از خاک اره (آرد چوب)[9] تا محصولات کشاورزی مانند کنف، کتان، پوسته برنج و نیشکر را شامل شود. کامپوزیت چوب-پلاستیک معمولاً با توجه به روش تولید و نوع کاربرد محصول نهایی، شامل ۱۰ الی ۷۰ درصد وزنی چوب می‌باشد. اندازه ذرات چوب از مش شماره ۱۰ الی ۸۰ (۱ میلیمتر الی ۱۰۰ میکرون) می‌باشد. نسبت منظر[10] این ذرات از ۱:۱ تا ۴:۱ می‌باشد. نگاه کارخانه‌های تولیدی قطعات چوبی به پلاستیک استفاده از خواص منحصر به فرد پلاستیک‌ها مانند مقاومت به جذب رطوبت و خوردگی توسط حشرات برای تولید مواد ساختاری می‌باشد. از طرفی نگاه سازنده‌های محصولات پلاستیکی به چوب به عنوان ماده پرکننده‌ای است که به آسانی در دسترس و نسبتاً ارزان می‌باشد و سبب کاهش هزینه‌های ناشی از رزین، افزایش سفتی و نرخ تولید پروفیل (به دلیل اینکه چوب سریعتر از پلاستیک خنک می‌شود) خواهد گردید[۱].

اولین نسل از کامپوزیت چوب-پلاستیک، ترکیبی از پودر چوب و مواد پلیمری بوده که از نظر فیزیکی و مکانیکی خواص مناسبی نداشته است. در حال حاضر با افزودن مواد مختلف، از قبیل انواع مواد روان‌کننده[11]

1- Wood plastic composite
2- Hydrophilic
3- Anisotropic
4- Cellulose
5- Hemi cellulose
6-Lignin
7- Polyolefin
8- Polyvinyl chloride
9-Wood flour
10- Aspect ratio
11- Lubricant

و سازگارکننده[1]، 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. فرایندهای صورت گرفته بر روی این کامپوزیت برای تولید محصولات مختلف مانند فرایندهای متداول برای مواد پلیمری است[۲]. نمونه‌ای از گرانول تولید شده این کامپوزیت از پودر چوب و پلی‌اتیلن در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

شکل ۱-۱: نمونه‌ای از گرانول تولید شده از ذرات چوب و پلی‌اتیلن[۳]

۱-۲ تاریخچه کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک

استفاده از کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک به اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی برمی‌گردد. اولین کامپوزیت ترموست-چوب تحت نام تجاری بیکلایت[2] از ترکیب فنول-فرمالدهید[3] با آرد چوب بدست آمده است که از آن در سردنده اتومبیل استفاده شده است. کامپوزیت‌های ترموپلاستیک-چوب[4] در چند دهه اخیر پیشرفت بسیار زیادی نموده‌اند. با این حال در اروپا تولید این کامپوزیت‌ها قدمت بیشتری داشته است. در سال ۱۹۸۳ شرکت آمریکایی وود استوک[5] تولیدهای خود را در زمینه لایه‌های داخلی اتومبیل با کمک تکنولوژی ایتالیایی شروع کرد. پلی‌پروپیلن با تقریباً ۵۰ درصد آرد چوب بصورت یک صفحه تخت اکسترود شده و سپس بصورت پانل‌های مختلف موجود در اتومبیل فرم داده شده است. این یکی از اولین کاربردهای مهم

1- Coupling Agent
2- Bakelite
3- phenol-formaldehyde

۳- کامپوزیت‌های ترموپلاستیک-چوب در اصطلاح کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک نامیده می‌شود.

5- American Woodstock

WPC[1] در ایالات متحده آمریکا بود. در سال ۱۹۹۰ میلادی دو شرکت که بعدها به یکدیگر پیوستند (شرکت ترکس[2]) کامپوزیت‌های پلی‌اتیلن و ۵۰ درصد چوب را تولید کردند که از آنها در کف پوشها و دیوار پوشها استفاده می‌شود. در سال ۱۹۹۶ چندین شرکت آمریکایی مواد خام گرانول شده از ترکیب چوب یا دیگر مواد طبیعی با پلاستیک را شروع کردند. محصول این کارخانه‌ها برای تولید کننده‌هایی بود که مایل به مخلوط کردن ترکیبات نبودند. از اواسط دهه ۹۰ بر تعداد و رشد شرکت‌های تولید کننده این محصول افزوده شد[۳].

۱-۳ مزایا و معایب کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک

می‌توان مزایا و معایب کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک را نسبت به چوب و پلاستیک‌ها به دو دسته مشخصات فیزیکی و مکانیکی تقسیم‌بندی نمود:

۱-۳-۱ مشخصات فیزیکی

۱) مقاومت به جذب رطوبت و پایداری ابعادی بالاتر نسبت به چوب

۲) مقاومت به خوردگی توسط حشرات و مقاومت به پوسیدگی بالاتر نسبت به چوب

۳) عمر بالاتر و هزینه نگهداری پایین‌تر

۴) مقاومت بیشتر در برابر آتش نسبت به چوب. همچنین می‌توان با افزودن موادی شعله‌ور شدن را به تاخیر انداخت.

۵) انبساط حرارتی بالاتر نسبت به چوب و پایین‌تر نسبت به پلاستیک‌ها

۶) چوب-پلاستیک‌ها معمولاً دارای چگالی بالاتری نسبت به پلاستیک‌ها می‌باشند.

۷) در بعضی موارد سطح ظاهری خوبی نخواهد داشت.

1- Wood Plastic Composite
2- Trex