



سید محمد علی

۱۵۷۲۴۱



دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک - ساخت و تولید

عنوان پایان نامه

بررسی تجربی قالبگیری تزریقی کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک با لاستیک

دانشجو:

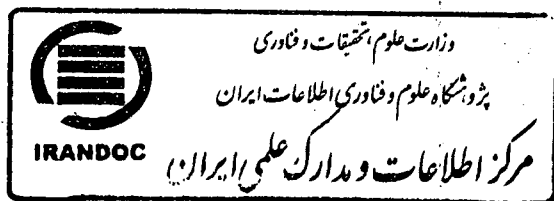
عطا جلیلی کهنه شهری

اساتید راهنما:

دکتر طاهر از دست

دکتر امیر حسین بهروش

اسفند ۸۹



۱۵۷۶۴۱



بیان نامه خانم / آقای عجب جلیل کبیر شیری... به تاریخ ۱۵/۶/۸۹...
شماره ۴۹۱-۲۰۰۰ مورد پذیرش هیات محترم داوران بارتبه عالی.
و نمره ۱۹ قرار گرفت.

۱ - استاد راهنما و رئیس هیئت داوران : دکتر کاظمی / دکتر امیر حسین میری

۲ - داور خارجی : دکتر علی حسینی

۳ - داور داخلی : دکتر علی رشیدی

۴ - نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر عبداللہ حوی

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

به پاس تبسیر عظیم و انانیشان

از کله اثار و از خود کندستی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روز کاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادرو

خواهران عزیزم تقدیم می کنم

سپاسگزاری

برخود لازم می‌دانم که در این بخش تشکری هرچند مختصر و ناچیز از افرادی داشته باشم که مرا در انجام این پایان‌نامه و در طول دوره کارشناسی ارشد یاری کردند:

جناب آقای دکتر ازدست و جناب آقای دکتر بهروش که به عنوان اساتید راهنما روش تحقیق کردن را به من آموختند و بی‌شک این فرصت، نقطه عطفی در زندگی علمی بنده بوده است.

از تمامی دوستان عزیزم در سایت دانشکده فنی دانشگاه ارومیه:

مهندس محمدیان، مهندس قلعه، مهندس شاکرمی و مهندس حسین‌پور

از تمامی دوستان عزیزم در آزمایشگاه تکنوپلاست دانشگاه تربیت مدرس:

دکتر رضواند، مهندس احمدزی، مهندس شاهی، مهندس سوری، مهندس ذولفقاری، مهندس علوی و مهندس دریاباری

که در طی این دوره با همیاری و همفکری های خود بنده را یاری نمودند، کمال تشکر را دارم. کار با این دوستان در فضای صمیمی این آزمایشگاه همواره برای من موجب افتخار بوده و خواهد بود.

از آقای دکتر بهروش به عنوان مسئول آزمایشگاه تکنوپلاست دانشگاه تربیت مدرس که امکان انجام این تحقیق را برای من مهیا نموده و تمامی امکانات و دستگاه‌های خود همچون دستگاه اکسترودر، دستگاه قالب‌گیری تزریقی، دستگاه خردکن و... را در اختیار من گذاشتند نهایت تشکر و قدردانی را می‌نمایم. از آقای مهندس کارگر که در انجام تست‌های مکانیکی کشش در دانشگاه تربیت مدرس زحمات فراوانی کشیدند نیز بسیار سپاس گزارم.

از آقای دکتر حسن‌زاده که با توجه به محدودیت زمانی موجود در آزمایشگاه نانوتکنولوژی دانشگاه ارومیه؛ آقای دکتر رضایی، آقای دکتر عباسی و آقای مهندس حیدرپور در دانشگاه صنعتی سهند تبریز و خانم مهندس باژرنگ در پژوهشگاه پلیمر ایران که امکان انجام تست‌های آنالیز حرارتی اینجانب را فراهم کردند و همچنین از زحمات آقای حسن‌زاده که در انجام تست‌های فیزیکی در آزمایشگاه شیمی کمک شایانی نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان نیز از "شرکت گرانول سازی معصوم" (*MASOOM Granule Co.*) و "شرکت ایران استابلایزر" (*Iran-Stabilizer Co.*) در زمینه تهیه مواد مورد استفاده و همچنین شرکت صنعتی "فتح ۱۱" که در زمینه برش و اترجت کمک و راهنمایی‌های زیادی نمودند و من را در تمامی مراحل انجام این پژوهش یاری نمودند تشکر می‌نمایم.

چکیده

پر واضح است که امروزه قطعات پلاستیکی بخش اعظمی از ابزار و قطعات مورد استفاده ما را تشکیل می دهند و این مواد به سبب خواص و کاربری های بالا به خوبی از سوی مصرف کنندگان مورد پذیرش قرار گرفته اند. بنا به نوع کالای تولیدی روشهای متفاوتی جهت تولید قطعات پلاستیکی وجود دارد که روش تزریق پلاستیک به سبب توانایی بالا در تولید قطعات متنوع، پر کاربردترین روش تولید قطعات پلاستیکی به شمار می رود. یکی از فاکتورهای کلیدی که پلاستیک ها را برای کاربردهای مهندسی جذاب می نماید قابلیت افزایش خواص از طریق تقویت به وسیله الیاف است. با توجه به مطالب اشاره شده جهت دستیابی به قطعات پلاستیکی تقویت شده با الیاف می توان از مزایای مواد پلیمری ترموپلاستیکی و ترموستی بطور همزمان استفاده کرد. کامپوزیت های چوب پلاستیک حاصل ترکیب ذرات چوب با زمینه پلیمری همچون *PP*، *PE*، *PVC* و *ABS* می باشد. خصوصیات ممتاز این کامپوزیت ها موجب گسترش روز افزون این محصول در بازار جهانی گردیده است. از سوی دیگر جهت بهبود خواص کامپوزیت های چوب-پلاستیک سعی می شود تا از انواع افزودنی ها استفاده شود که مهم ترین آنها افزودن لاستیک می باشد. در این پایان نامه به بررسی تجربی قالبگیری تزریقی کامپوزیت های چوب-پلاستیک با لاستیک پرداخته شده و خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و حرارتی این کامپوزیت ها بررسی شده است. با این توضیح که جهت تولید نمونه های مورد آزمایش، در مرحله اول ذرات چوب و گرانول های پلیمری با درصد های معین در دستگاه اکسترودر دوماردونه آمیخته شدند تا آمیزه مورد نظر کاملاً همگن و یکنواخت شود. پس از خرد کردن رشته های کامپوزیتی بدست آمده از این مرحله، نمونه های آزمایش از گرانول های کامپوزیتی بدست آمده با درصدهای مختلف لاستیک در دستگاه قالب گیری تزریقی تحت دماهای مختلف قالب و فشارهای مختلف تزریق تولید شدند. نمونه های مناسب تولید شده پس از انجام عملیات آماده سازی تحت تست های مکانیکی کشش، تست های فیزیکی جذب آب و چگالی و همچنین تست های حرارتی *D.S.C* و *D.T.A* قرار گرفتند. نتایج بدست آمده حاکی از این است که با افزایش درصد لاستیک در نمونه ها، خواص کششی و جذب آب نمونه ها و همچنین خواص حرارتی آنها بهبود می یابد، به گونه ای که استجکام کششی و میزان دمایی شیشه ای شدن در نمونه ها با افزایش درصد لاستیک بیشتر شده و از میزان جذب آب در آنها کاسته می شود. همچنین نتایج آزمون چگالی نشان می دهد که با تغییر مقدار لاستیک، دمای قالب و فشار تزریق تغییر محسوسی در میزان چگالی نمونه ها دیده نمی شود.

عنوان	.....
فهرست مطالب	.....
فهرست شکل‌ها	.....
فهرست جدول‌ها	.....
صفحه	.....
فصل ۱: کلیاتی در مورد کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک	..... ۱
۱-۱- مقدمه	..... ۲
۲-۱- تاریخچه	..... ۳
۳-۱- خواص، مزایا و کاربردهای کامپوزیت چوب-پلاستیک	..... ۴
۴-۱- مواد مورد استفاده در ساخت کامپوزیت چوب-پلاستیک	..... ۶
۵-۱- کاربردهای کامپوزیت چوب-پلاستیک	..... ۷
۶-۱- فرآیندهای ساخت قطعات چوب-پلاستیکی	..... ۱۲
۱-۶-۱- مقدمه	..... ۱۲
۲-۶-۱- فرآیند اکستروژن و انواع دستگاه‌های اکسترودر	..... ۱۲
۱-۱-۲-۶-۱- اکسترودر تک‌ماردونه	..... ۱۳
۲-۲-۶-۱- اکسترودر دو‌ماردونه	..... ۱۴
۳-۶-۱- فرآیند قالبگیری تزریقی	..... ۱۵
۱-۳-۶-۱- مقدمه	..... ۱۵
۲-۳-۶-۱- جزئیات فرآیند قالبگیری تزریقی	..... ۱۷
۷-۱- روش‌های تولید	..... ۱۸
۸-۱- مفهوم رئولوژی و رئومتری	..... ۲۰
۱-۸-۱- آزمایش <i>D.S.C</i>	..... ۲۱
۲-۸-۱- آزمایش <i>D.T.A</i>	..... ۲۴
۹-۱- ساختار این پایان نامه	..... ۲۵
فصل ۲: کلیاتی در مورد پلیمر پلی‌وینیل کلراید و افزودنی‌های آن	..... ۲۶
۱-۲- پلیمر پلی‌وینیل کلراید	..... ۲۷
۱-۱-۲- تاریخچه	..... ۲۸
۲-۱-۲- شکل‌شناسی پلی‌وینیل کلراید	..... ۲۹
۳-۱-۲- تنوع پلی‌وینیل کلراید	..... ۳۰
۴-۱-۲- ساختار مولکولی پلی‌وینیل کلراید	..... ۳۰
۵-۱-۲- خواص پلی‌وینیل کلراید	..... ۳۱
۶-۱-۲- مزایا و معایب عمده پلی‌وینیل کلراید	..... ۳۴
۷-۱-۲- کاربردهای پلی‌وینیل کلراید	..... ۳۶
۲-۲-۲- عامل پایدارکننده حرارتی	..... ۳۶
۱-۲-۲- مقدمه	..... ۳۶
۲-۲-۲- افزودنی‌های پلی‌وینیل کلراید	..... ۳۷
۳-۲-۲- افزودنی‌های حالت جامد	..... ۳۹

۳۹	..... پایدارکننده‌های سرب	۱-۳-۲-۲
۴۰	..... پایدارکننده‌های برپایه کلسیم-روی	۲-۳-۲-۲
۴۱	..... پایدارکننده برپایه ترکیب آلی کلسیم	۳-۳-۲-۲
۴۱	..... پایدارکننده‌های مایع	۴-۲-۲
۴۱	..... ترکیبات آلی قلح	۱-۴-۲-۲
۴۱	..... ترکیبات فلزی مخلوط	۲-۴-۲-۲
۴۲	..... ترکیبات باریم-کادمیم	۳-۴-۲-۲
۴۲	..... ترکیبات باریم-روی	۴-۴-۲-۲
۴۲	..... ترکیبات کلسیم-روی	۵-۴-۲-۲
۴۲	..... پیشینه پژوهش	۳-۲
۴۴	..... هدف از این پژوهش	۴-۲
۴۶	..... فصل ۳: مواد استفاده شده، تجهیزات و روش‌های آزمایش	
۴۷	..... مواد استفاده شده	۱-۳
۴۷	..... ذرات چوب	۱-۱-۳
۴۷	..... گرانول پلیمر	۲-۱-۳
۴۹	..... پایدارکننده حرارتی	۳-۱-۳
۴۹	..... تجهیزات و دستگاه‌های مورد استفاده	۲-۳
۵۰	..... دستگاه اکستروژن	۱-۲-۳
۵۲	..... دستگاه تزریق	۲-۲-۳
۵۳	..... دستگاه برش با جت آب	۳-۲-۳
۵۵	..... دستگاه خشک کن (آون)	۴-۲-۳
۵۶	..... دستگاه تست کشش و روش تست‌ها	۵-۲-۳
۵۶	..... سیستم تغذیه	۶-۲-۳
۵۷	..... قالب‌های استفاده شده	۷-۲-۳
۵۸	..... دستگاه خردکن (گرانول ساز یا آسیاب)	۸-۲-۳
۵۹	..... روش انجام آزمایشات	۳-۳
۵۹	..... روش تولید گرانول‌های کامپوزیتی	۴-۳
۶۰	..... طراحی آزمایشات	۵-۳
۶۱	..... تولید محصول نهایی	۶-۳
۶۲	..... اندازه‌گیری دمای شیشه‌ای شدن (T_g)	۷-۳
۶۳	..... اندازه‌گیری میزان جذب آب کامپوزیت	۸-۳
۶۴	..... اندازه‌گیری چگالی کامپوزیت	۹-۳
۶۵	..... فصل ۴: نتایج و بحث	
۶۶	..... اثر فاصله از دریچه تزریق و جهت‌گیری الیاف چوب بر خواص فیزیکی-مکانیکی کامپوزیت	۱-۴
۷۰	..... اثر افزودن لاستیک، دمای قالب و فشار تزریق بر خواص فیزیکی-مکانیکی کامپوزیت	۲-۴
۷۱	..... آزمون کشش	۱-۲-۴

۷۸	.....	۲-۲-۴-آزمون جذب آب
۷۹	.....	۳-۲-۴-آزمون چگالی
۸۱	.....	۴-۲-۴-اثر افزودن لاستیک بر خواص حرارتی کامپوزیت
۸۱	.....	۱-۴-۲-۴-آزمون های <i>D.T.A</i> و <i>D.S.C</i>
۸۸	.....	فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات برای ادامه کار
۸۹	.....	۱-۵- نتیجه گیری
۹۳	.....	۲-۵- پیشنهادات برای ادامه کار
۹۴	.....	۳-۵- مراجع

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ نمونه‌ای از کامپوزیت چوب و پلی‌اتیلن	۳
شکل ۱-۲ کاربرد کامپوزیت چوب-پلاستیک در اروپا سال ۲۰۰۴ (غیر از خودرو)	۷
شکل ۱-۳ نمونه‌ای از کاربرد کامپوزیت چوب-پلاستیک در صنعت خودرو	۸
شکل ۱-۴ نمونه‌هایی از پالت‌های ساخته‌شده از کامپوزیت چوب-پلاستیک	۸
شکل ۱-۵ نمونه‌هایی از ابزار کشاورزی ساخته‌شده با استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک	۹
شکل ۱-۶ استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک برای کفپوش خارجی	۹
شکل ۱-۷ نمونه‌ای از کفپوش داخلی ساختمان تولیدشده با استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک	۱۰
شکل ۱-۸ نمونه‌ای از کاربرد کامپوزیت چوب-پلاستیک در دکوراسیون داخلی ساختمان	۱۰
شکل ۱-۹ نمونه‌ای از در و چارچوب ساخته‌شده از کامپوزیت چوب-پلاستیک	۱۱
شکل ۱-۱۰ نمونه‌ای از کاربرد این کامپوزیت در ساخت حصار و نرده	۱۱
شکل ۱-۱۱ نمونه‌ای از صندلی‌های تولیدشده از کامپوزیت چوب-پلاستیک	۱۲
شکل ۱-۱۲ قسمت‌های مختلف یک دستگاه اکسترودر	۱۳
شکل ۱-۱۳ اکسترودر تک‌ماردونه به همراه قسمت‌های مختلف آن	۱۴
شکل ۱-۱۴ اکسترودر دومار دونه به همراه قسمت‌های مختلف آن	۱۴
شکل ۱-۱۵ ماردون‌های یک اکسترودر دومار دونه	۱۵
شکل ۱-۱۶ شماتیکی از یک دستگاه تزریق	۱۶
شکل ۱-۱۷ نمونه‌هایی از قطعه‌های تولیدشده به روش تزریق	۱۶
شکل ۱-۱۸ روش استفاده از اکستروژن مستقیم در تولید کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک	۱۹
شکل ۱-۱۹ روش استفاده از مواد به صورت گرانول در تولید کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک	۲۰
شکل ۱-۲۰ شمایی از سیستم تجزیه حرارتی به وسیله روش <i>D.S.C</i>	۲۲
شکل ۱-۲۱ یک منحنی ایده‌آل <i>D.S.C</i> به همراه واکنش‌های رخ داده در فرآیند	۲۳
شکل ۱-۲۲ نقاط حائز اهمیت در یک منحنی <i>D.S.C</i>	۲۴
شکل ۱-۲۳ شماتیک سلول دستگاه <i>D.T.A</i>	۲۵
شکل ۱-۲۴ پلیمریزاسیون رادیکالی وینیل کلراید و تبدیل آن به پلی‌وینیل کلراید	۲۷
شکل ۱-۲۵ مثال‌هایی از نقص‌های ساختاری پلی‌وینیل کلراید	۲۸
شکل ۱-۲۶ شکل شماتیک دستگاه اکستروژن مورد استفاده در انجام آزمایشات تجربی	۵۰
شکل ۱-۲۷ شکل شماتیک مونتاژی ماردون استفاده شده	۵۰
شکل ۱-۲۸ نقشه ماردون نصب شده در اکسترودر مورد استفاده در آزمایشات	۵۱
شکل ۱-۲۹ دستگاه اکسترودر استفاده شده برای انجام آزمایشات	۵۲
شکل ۱-۳۰ شکل شماتیک دستگاه تزریق مورد استفاده در انجام آزمایشات تجربی	۵۲
شکل ۱-۳۱ دستگاه تزریق استفاده شده در این تحقیق	۵۳
شکل ۱-۳۲ شماتیک قطعات بریده شده دمبلی شکل	۵۳
شکل ۱-۳۳ نمونه‌های بریده شده با دستگاه برش با جت آب	۵۵

- شکل ۳-۹ دستگاه خشک کن استفاده شده ۵۶
- شکل ۳-۱۰ نمونه در حال آزمون کشش ۵۶
- شکل ۳-۱۱ همزن استفاده شده در مرحله گرانول گیری ۵۷
- شکل ۳-۱۲ مقطع برش خورده قالب گرانول گیری با پروفیل دایره ای ۵۷
- شکل ۳-۱۳ نمونه‌ای از رشته‌های کامپوزیتی تولید شده ۵۷
- شکل ۳-۱۴ قالب استفاده شده در مرحله قالب گیری تزریقی ۵۸
- شکل ۳-۱۵ دستگاه آسیاب برای خرد کردن رشته های کامپوزیت چوب-پلاستیک و تولید گرانول ۵۸
- شکل ۳-۱۶ مراحل تولید محصول نهایی به صورت شماتیک ۵۹
- شکل ۳-۱۷ دستگاه تست *D.S.C* استفاده شده ۶۲
- شکل ۳-۱۸ دستگاه تست *D.T.A* استفاده شده ۶۳
- شکل ۳-۱۹ ترازوی دیجیتال استفاده شده ۶۴
- شکل ۴-۱ قطعات بریده شده در راستاها و جهت‌های مختلف برای آزمون‌های اولیه ۶۶
- شکل ۴-۲ جهت گیری ذرات چوب در داخل قالب صفحه‌ای ۶۷
- شکل ۴-۳ شماتیک نمونه‌های آزمون کشش ۶۷
- شکل ۴-۴ نمودار استحکام کششی بر حسب فاصله از درجه تزریق ۶۸
- شکل ۴-۵ نمودار مدول الاستیسیته بر حسب فاصله از درجه تزریق ۶۹
- شکل ۴-۶ تقسیم بندی قطعه تولیدی به ۹ منطقه جهت آزمون چگالی ۶۹
- شکل ۴-۷ اثر افزودن لاستیک بر استحکام کششی در فشار تزریق 60 bar ۷۲
- شکل ۴-۸ اثر افزودن لاستیک بر استحکام کششی در فشار تزریق 70 bar ۷۲
- شکل ۴-۹ نمودار استحکام کششی بر حسب دمای مختلف قالب و درصد مختلف لاستیک در فشار تزریق 60 bar ۷۳
- شکل ۴-۱۰ نمودار استحکام کششی بر حسب دمای مختلف قالب و درصد مختلف لاستیک در فشار تزریق 70 bar ۷۳
- شکل ۴-۱۱ میزان تغییر طول در نقطه شکست برای فشار تزریق 60 bar ۷۴
- شکل ۴-۱۲ میزان تغییر طول در نقطه شکست برای فشار تزریق 70 bar ۷۵
- شکل ۴-۱۳ تغییرات مدول الاستیسیته کششی در فشار تزریق 60 bar ۷۶
- شکل ۴-۱۴ تغییرات مدول الاستیسیته کششی در فشار تزریق 70 bar ۷۶
- شکل ۴-۱۵ نمودار تنش - کرنش برای سه درصد مختلف لاستیک ۷۷
- شکل ۴-۱۶ نمودار میزان چقرمگی نمونه‌ها ۷۷
- شکل ۴-۱۷ نمودار جذب آب نمونه‌ها برای فشار تزریق 60 bar ۷۸
- شکل ۴-۱۸ نمودار جذب آب نمونه‌ها برای فشار تزریق 70 bar ۷۸
- شکل ۴-۱۹ نمودار چگالی در فشار تزریق 60 bar ۷۹
- شکل ۴-۲۰ نمودار چگالی در فشار تزریق 70 bar ۸۰
- شکل ۴-۲۱ نمودار آنالیز حرارتی *D.S.C* برای نمونه‌های بدون لاستیک ۸۱
- شکل ۴-۲۲ نمودار آنالیز حرارتی *D.S.C* برای نمونه‌های با ۳ درصد لاستیک ۸۲
- شکل ۴-۲۳ نمودار آنالیز حرارتی *D.S.C* برای نمونه‌های با ۹ درصد لاستیک ۸۲
- شکل ۴-۲۴ نمودار آزمون *D.S.C* برای نمونه‌های با درصد مختلف لاستیک بصورت مقایسه‌ای ۸۳
- شکل ۴-۲۵ نمودار آنالیز حرارتی *D.T.A* برای نمونه بدون لاستیک ۸۴

- شکل ۴-۲۶ نمودار آنالیز حرارتی *D.T.A* برای نمونه با ۳ درصد لاستیک ۸۴
- شکل ۴-۲۷ نمودار آنالیز حرارتی *D.T.A* برای نمونه با ۹ درصد لاستیک ۸۵
- شکل ۴-۲۸ نمودار آزمون *D.T.A* برای نمونه‌های با درصدهای مختلف لاستیک ۸۵

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ اثر درصدهای مختلف پرکننده بر تغییر خواص فیزیکی کامپوزیت‌های چوب	۵
جدول ۱-۲ خلاصه‌ای از کاربرد چوب پلاستیک‌ها به همراه رزین مصرف شده در آنها	۶
جدول ۱-۳ تعدادی از افزودنی‌های کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک	۷
جدول ۱-۴ تحول صنعت قالب‌گیری تزریقی	۱۵
جدول ۱-۲-۱ دماهای انتقال شیشه‌ای، ذوب و زیر T_g برای PVC	۲۳
جدول ۲-۲ درصد بلورینگی، وزن مولکولی متوسط عددی و چگالی PVC	۲۳
جدول ۲-۳ ظرفیت گرمایی و خواص کششی PVC	۲۴
جدول ۲-۴ مثال‌هایی از کاربردهای پلی‌وینیل کلراید (سخت و انعطاف پذیر)	۲۶
جدول ۲-۵ درصد مقدار افزودنی‌های مختلف در مواد دارای پلی‌وینیل کلراید	۳۸
جدول ۳-۱ مشخصات فیزیکی - مکانیکی گرانونول‌های پلیمری مورد استفاده	۴۸
جدول ۳-۲ مشخصات فیزیکی - شیمیایی پایدارکننده حرارتی کلسیم - روی RP-2050	۴۹
جدول ۳-۳ اندازه بخش‌های مختلف قطعات بریده شده دمبلی شکل براساس استاندارد ASTM D-638	۵۵
جدول ۳-۴ پارامترهای ورودی، دور دستگاه و دمای مناطق مختلف دستگاه اکسترودر	۶۰
جدول ۳-۵ آزمایش‌های طراحی شده	۶۱
جدول ۳-۶ پارامترهای تنظیم شده برای دستگاه تزریق	۶۲
جدول ۴-۱ نتایج به دست آمده از آزمون کشش نمونه‌های اولیه	۶۸
جدول ۴-۲ نتایج حاصل از آزمون چگالی در مناطق نه‌گانه قطعه تولید شده	۷۰
جدول ۴-۳ نتایج آزمون کشش برای پارامترهای مختلف آزمایش‌ها	۷۱
جدول ۴-۴ نتایج بدست آمده از آزمون چگالی	۸۰
جدول ۴-۵ اطلاعات به دست آمده از آزمون آنالیز حرارتی D.T.A و D.S.C	۸۶

فصل ۱

کلیاتی در مورد کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک

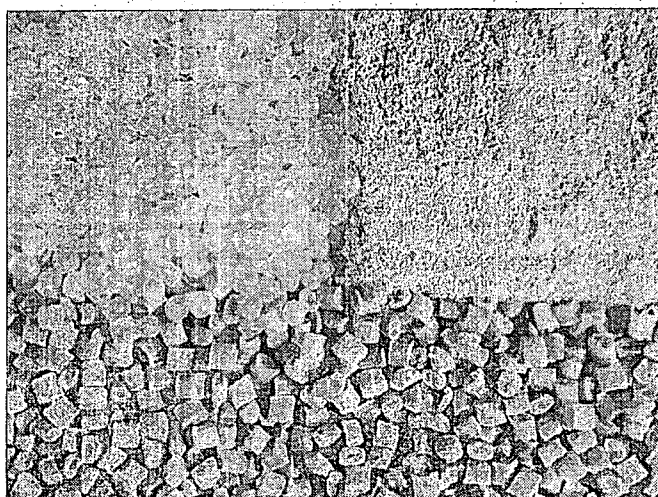
در سال‌های اخیر استفاده از کامپوزیت‌ها، به خصوص کامپوزیت‌های زمینه پلیمری رشد سریعی داشته است. عامل اصلی توسعه کامپوزیت‌ها خواص بهینه آنها نسبت به اجزای تشکیل‌دهنده می‌باشد. این توسعه عمدتاً با جایگزینی کامپوزیت‌ها به جای مواد معمول، بخصوص فلزات صورت می‌گیرد [۱].

ماده کامپوزیتی از ترکیب دو یا چند ماده ساخته می‌شود تا خواص بی‌نظیری را ایجاد کند. البته بیان فوق یک تعریف کلی است و می‌تواند آلیاژهای فلزی، پلیمرهای پلاستیکی، مواد معدنی و چوب را در بر بگیرد [۱].

مطابق تعریف مواد کامپوزیتی، کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک هم از ترکیب فیزیکی پلیمرها (اغلب ترموپلاستیک‌ها) با ذرات چوب حاصل می‌شود که موجب به وجود آمدن خواص جدیدی می‌شود که با خواص چوب و خواص پلیمر اولیه متفاوت است. واژه WPC^۱ به معنای ترکیب چوب و پلاستیک، گستره وسیعی از مواد کامپوزیتی را در بر دارد. این محدوده برای مواد پلاستیکی، از پلی‌اولفین‌ها تا پلی‌وینیل‌کلراید^۲ و برای مواد پرکننده از پودر چوب تا الیاف کتان را شامل می‌شود. این کامپوزیت جدید، مفهوم کامپوزیت چوب را از معنای متداول آن که به موادی مانند نئوپان^۳ و ام‌دی‌اف^۴ اطلاق می‌شد به فضایی جدید و مهمتر از آن به ماده‌ای جدید با کارایی بالا، گسترش داده است [۲]. این موضوع بدان معناست که عبارت WPC^۱ امروزه فقط به کامپوزیت چوب و پلاستیک اطلاق نمی‌شود، بلکه ممکن است به جای چوب از مواد دیگری از قبیل شلتوک برنج، بامبو، کاه و ... نیز استفاده شود [۳].

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^۵ و سازگارکننده^۶، خواص مکانیکی بسیار خوبی برای این کامپوزیت بدست آمده است. اکثر انواع متداول 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 [۲]. نمونه‌ای از گرانول تولید شده این کامپوزیت از پودر چوب و پلی‌اتیلن در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

1. Wood plastic composite
2. Poly Vinyl Chloride (PVC)
3. Particle board
4. Middle Density Fiberboard (MDF)
5. Lubricant
6. Coupling Agent



شکل ۱- نمونه‌ای از کامپوزیت چوب و پلی‌اتیلن [۴].

اکثر قطعات تولید شده موجود از این کامپوزیت، در حال حاضر دارای میزان چوب بین ۴۰٪ تا ۸۰٪ می‌باشند. بیشتر محصولات چوب پلاستیکی، مانند مواد پلاستیکی از اکستروود به دست آمده و در این شرایط تولید، دیگر به فرآیندهای پرهزینه‌ای که به حاور 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 [۵].

۱-۲- تاریخچه

در سال ۱۹۱۶ برای اولین بار، کامپوزیت چوب پلاستیک در کارخانه رولزرویس برای ساخت سر دسته دنده^۳ مورد استفاده قرار گرفت. این موضوع در حدود کمتر از یک دهه از به ثبت رسیدن اولین رزین کاملاً مصنوعی اتفاق افتاد [۶]. از سال ۱۹۵۰، در آمریکای شمالی استفاده از کامپوزیتهای ساختاری و غیرساختاری از چوب به جای چوب خالص افزایش یافت [۷]. در سال ۱۹۸۳ شرکت امریکن ووداستوک^۴، با استفاده از فناوری اکستروژن ایتالیا، اقدام به تولید ورق‌هایی از کامپوزیت چوب-پلاستیک با پایه‌ی پلی‌پروپیلن^۵ و تقریباً ۵۰ درصد چوب نمود [۸]. در اوایل دهه ۹۰، شرکت ای‌ای‌آرتی^۶ شروع به تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک با پایه‌ی پلی‌اتیلن و با ۵۰ درصد چوب کرد. این کامپوزیت در تولید تخته کفپوش خارجی^۷، میز پیک‌نیک و کفپوش صنعتی^۸ مورد استفاده قرار گرفت.

1. Co-extrude
2. Veneer
3. Gear lever knob
4. American Woodstock
5. Polypropylene
6. AERT
7. Deckboard
8. Industrial Flooring

همچنین در همین زمان شرکت استراندکس^۱ فناوری اکسترود کامپوزیت چوب-پلاستیک با درصد بالای چوب و تولید پروفیل نهایی بدون نیاز به عملیات تکمیلی را به ثبت رسانید. در این دهه علاقه به توسعه‌ی کامپوزیت‌های چوبی شدت یافته و سبب شد تا گستره بالایی از مواد مانند: گچ، سیمان و پلاستیک‌ها به همراه چوب مورد استفاده قرار گیرند [۷]. در سال ۱۹۹۱ اولین کنفرانس بین‌المللی کامپوزیت چوب-پلاستیک در مادیسون ویسکونسین^۲ برگزار شد. در سال ۱۹۹۳ شرکت اندرسون^۳ تولید این کامپوزیت را را با پایه‌ی پی‌وی‌سی آغاز نمود. در سال ۱۹۹۶، بسیاری از شرکت‌های آمریکایی شروع به تولید این کامپوزیت به صورت گرانول برای استفاده در شرکت‌ها و کارخانه‌های دیگر کردند. از این زمان به بعد، فعالیت‌ها در زمینه‌ی چوب پلاستیک به شدت رشد کرد. اولین شرکت‌های استفاده‌کننده از این کامپوزیت به صورت گسترده، تولیدکنندگان پنجره بودند؛ چرا که در گذشته تجربه کار با چوب و پلاستیک را به صورت جداگانه دارا بودند [۸].

۱-۳- خواص، مزایا و کاربردهای کامپوزیت چوب-پلاستیک

با توجه به طیف وسیع مواد قابل استفاده برای تولید این کامپوزیت، می‌توان محصولات نهایی را نیز با تنوع بالایی از خصوصیات تولید نمود. لذا این کامپوزیت دارای تنوع بالایی از مزایا بوده که از مهمترین آنها می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود [۲]:

- محصولات تولیدی نیازی به عملیات تکمیلی ندارند.
- محصولات تولیدی، در برابر آب و تغییرات جوی به مراتب بهتر از چوب مقاومت می‌کنند.
- در برابر رشد قارچ و حمله حشرات از چوب مقاوم‌تر است.
- با افزایش درصد چوب قابلیت عایق صوتی و حرارتی آن افزایش می‌یابد.
- در تولید آن می‌توان از مواد کم هزینه و ضایعاتی استفاده نمود.
- بازافت مجدد محصولات تولیدی از این کامپوزیت، پس از پایان عمر مفید آنها، به‌سادگی امکان‌پذیر است.

این کامپوزیت گستره‌ی زیادی از لحاظ کاربردی داشته که می‌تواند جایگزین مناسبی برای چوب در مواردی از قبیل: ساخت مبلمان، قاب‌های در و پنجره و غیره باشد و یا می‌تواند جایگزین مناسبی نیز برای مواد پلاستیکی در زمینه‌هایی از قبیل: تولید قطعات پیچیده با ظاهر چوب، روکش و غیره محسوب شود.

اضافه کردن پرکننده‌های چوب به پلاستیک، آنها را سفت‌تر می‌گرداند. کامپوزیت‌های چوب پلاستیک دارای مقاومت، سفتی و مقاومت خزشی پایین‌تری نسبت به چوب هم اندازه خود می‌باشند. لیکن در مقایسه با چوب، رطوبت کمتری جذب می‌نمایند و

1. Strandex Corporation
2. Madison Wisconsin
3. Anderson Corporation

مقاومت بیشتری در مقابل پوسیدن و تخریب شدن دارند. تخته‌های کامپوزیتی توسط جاذب‌های اشعه فرابنفش در مقابل اثرات تخریبی نور خورشید مقاوم می‌شوند [۹].

جدول ۱-۱ چگونگی تغییر خواص فیزیکی کامپوزیت‌های چوب را برای درصدهای مختلف پرکننده نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱ اثر درصدهای مختلف پرکننده بر تغییر خواص فیزیکی کامپوزیت‌های چوب [۱۰].

خواص	واحد	ASTM tests	رزین بدون پرکننده	۲۰٪ الیاف چوب	۴۰٪ الیاف چوب	۶۰٪ الیاف چوب
شاخص جریان مذات	g/10·min	D1۲۲۸	۲۰	۲۶	۲۳	۱۵
استحکام کششی در نقطه تسلیم	Psi (MPa)	D۶۲۸	۳۸۵۰ (۲۶۵)	۲۴۸۰ (۱۷.۱)	۲۵۸۰ (۱۷.۸)	۲۲۵۰ (۱۵.۵)
استحکام کششی در نقطه شکست	Psi (MPa)	D۶۲۸	n/a	۲۱۷۰ (۱۴.۹)	۲۳۲۰ (۱۶.۰)	۲۱۸۰ (۱۵.۱)
مدول کششی	Psi (GPa)	D۶۲۸	n/a	۲۲۵۰۰۰ (۱.۷)	۳۹۰۰۰۰ (۲.۷)	۶۲۲۰۰۰ (۴.۳)
افزایش طول	%	D۶۲۸	۱۹	۱۵	۲.۹	۱.۳
مدول خمشی	Psi (GPa)	D۷۹۰	(۱.۳)۱۸۹۰۰۰	۲۱۰۰۰۰ (۱.۳)	۲۵۲۰۰۰ (۲.۳)	۵۸۹۰۰۰ (۴.۱)
استحکام خمشی	Psi (MPa)	D۷۹۰	n/a	۴۴۲۰ (۳.۵)	۵۰۹۰ (۳۵.۱)	۴۲۱۰ (۲۹.۷)
ضربه Notched Izod	ft-lb/in (J/m)	D۲۵۶	۰.۵۶ (۲۹.۹)	۰.۵ (۲۷.۷)	۰.۴ (۲۰.۹)	۰.۳ (۱۶.۱)
HDT: ۲۶۴psi	F:C	D۶۲۸	n/a	۱۱۳ (۴۵)	۱۲۷ (۵۳)	۱۳۳ (۶۲)

کامپوزیت‌های ساخته شده با الیاف چوب نسبت به کامپوزیت‌هایی که از ذرات چوب استفاده می‌کنند، خواص مکانیکی بهتری دارند. این اصلاحات شامل استحکام کششی بهتر و تست ضربه آیزود بدون شیار می‌باشند. اگرچه کامپوزیت‌های چوب و پلاستیک سنگین‌تر و گران‌تر از تخته چوب‌های استاندارد هستند، اسفنج‌سازی فرمولاسیون کامپوزیت باعث کاهش وزن و قیمت مواد می‌گردد. ولی اسفنج کردن کامپوزیت سختی و مقاومت سطح مقطع را کاهش می‌دهد. روش‌های معمولی درودگری قابلیت کار به روی کامپوزیت‌های چوب و پلاستیک را دارند. به عنوان مثال به وسیله اره‌های مدور می‌توان آنها را برید و یا به کمک میخ‌های معمولی اتصالات بین آنها را ایجاد نمود [۹].

وظیفه‌ی عوامل جفت‌کننده، اتصال بین سطوح قطبی چوب و مواد غیر قطبی نظیر پلی‌اولفین‌ها می‌باشد که نتیجتاً منجر به افزایش استحکام می‌شود. عوامل جفت‌کننده رایج حاوی انیدرید مالینیک هستند که پیوندهای بین پلی‌اولفین‌ها نظیر پلی‌اتیلن سنگین و پلی‌پروپیلن را با چوب برقرار می‌سازد [۹].

۴-۱- مواد مورد استفاده در ساخت کامپوزیت چوب-پلاستیک

ترموپلاستیک‌های رایج مورد استفاده در این صنعت، PVC، پلی‌اتیلن (به ویژه پلی‌اتیلن سنگین) و پلی‌پروپیلن هستند. دوا‌دی نظیر پلی‌استایرن و ABS، در درجه‌ی دوم اهمیت قرار می‌گیرند [۹]. در کامپوزیت‌ها بنابر کیفیت درخواستی، مواد نو یا آسیاب‌ی مورد استفاده قرار می‌گیرند. الگوی مصرف در نواحی مختلف متفاوت است. به عنوان نمونه، PVC در آمریکای شمالی بیشتر از اروپا بکار گرفته می‌شود.

از کامپوزیت‌های پلی‌اتیلن به صورت گسترده‌ای در کاربردهایی که در فضایی آزاد قرار دارند استفاده می‌شود. کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن برای تولیدات مصرفی یا قطعات خودرو مناسبند. قاب پنجره‌ها اغلب از کامپوزیت‌های PVC ساخته می‌شود. جدول ۲-۱ (۱) به صورت خلاصه کاربرد کامپوزیت‌ها را به همراه رزین مصرف شده در آنها شرح داده است. چوب مورد نیاز برای تولید کامپوزیت‌ها معمولاً به صورت ذرات است که بنابر ابعاد ذراتشان طبقه‌بندی می‌شود. معمولاً پرکننده‌های چوب ۵۰٪ وزن کامپوزیت را تشکیل می‌دهند که این درصد وزنی تا مقدار ۷۰٪ قابل افزایش است [۹].

جدول ۲-۱ خلاصه‌ای از کاربرد چوب پلاستیک‌ها به همراه رزین مصرف شده در آنها [۱۰].

کاربرد	رزین بکار رفته
اسکله‌ها	CDPE - HDPE
نخه چوبی‌های مصنوعی	PVC
درب و پنجره	PVC - PS - LDPE - HDPE
پالت	HDPE
گلدان	PP
وان	PP
نمته ابزار	PP
قطعات داخلی خودرو	PP

تعدادی از افزودنی‌ها به همراه کاربردشان در جدول ۳-۱ شرح داده است.