به نام خداوند جان و خرد

کزین برتر اندیشه برنگذرد

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دانشکده جنگلداری و فناوری چوب

پایان‌نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد (M.Sc.)
در رشته فراورده‌های چندسازه چوبی

عنوان:

ساخت چندسازه الیاف طبیعی / ترموپلاستیک با استفاده از آرد نخل و پلی‌اتیلن

پژوهش و نگارش:
سیدمحمد میرمهدی

اساتید راهنما:
دکتر اصغر امیدوار
دکتر محراب مدهوشی

استاد مشاور:
دکتر علیرضا شاکری

زمستان ۱۳۸۷

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی)

گرگان : خیابان شهید بهشتی
صندوق پستی : ۳۸۶
تلفن : ۲۲۲۹۹۰۱
نمابر:۲۲۵۱۷۰۳
E.mail
Guasnr@gau.ac.ir
مرکز تلفن : ۲۲۲۴۸۲۷
۲۲۲۰۳۲۰-۱

بسمه تعالی

فرم شماره ۴ آئین نامه کارشناسی ارشد

مدیر محترم گروه آموزشی

بدینوسیله اعلام می دارد جلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد آقای **سیدمحمد میرمهدی**

به شماره دانشجویی ۸۵۲۳۱۳۳۱۰۴ رشته فرآورده های جندسازه چوب با عنوان " **ساخت چندسازه الیاف طبیعی / ترموپلاستیک با استفاده از آرد نخل و پلی اتیلن** " با حضور اعضای هیأت داوران در تاریخ ۸۷/۱۲/۱۸ ساعت ۱۵ الی ۱۶:۳۰ در محل تالار مهندس خاوری به شرح ذیل با نمره ۱۹,٤ با حروف نوزده و چهار دهم پذیرفته شد.

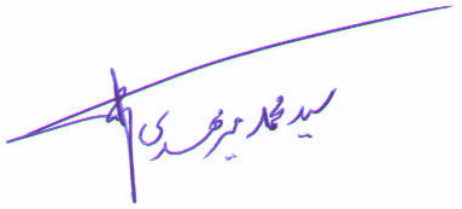
اعضای هیأت داوران:	نام و نام خانوادگی:	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر اصغر امیدوار	
۲- استاد راهنما	دکتر محراب مدهوشی	
۳ – استاد مشاور	دکتر علیرضا شاکری	
۳- عضو هیأت داوران	دکتر تقی طبرسا	
۴- عضو هیأت داوران	دکتر ابوالقاسم خزاعیان	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر داود آزادفر	

«تعهدنامه»

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی-پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱) قبل از چاپ پایان‌نامه (رساله) خود، مراتب را قبلا به طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.
۲) در انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.
۳) انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب سیدمحمد میرمهدی دانشجوی رشته فراورده‌های چندسازه چوبی مقطع کارشناسی ارشد تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.



تقدیم به پدر و مادر

در پایان مقطعی دیگر از دوران به یادماندنی تحصیلات، در وهله اول شکرگزار خدواند مهربانیم که هر چه داریم از اوست و در مرحله بعد سپاسگزار پدر و مادر مهربان و همه کسانی که به نحوی در این موفقیت سهیم بوده‌اند، هستیم. تشویقات مکرر پدر و مادر در مورد خوب درس خواندن، تامین بهینه امکانات تحصیلی و حتی دعاهای ضمیرشان برای موفقیت در درس و امتحانات و کمک خانواده‌ام در تهیه این پایان‌نامه هرگز از خاطر پاک نمی‌شود.

حیف
می‌دانم که دیگر بر نمی‌داری از آن خواب گران سر
تا ببینی
خردسال سالخورد خویش را
کاین زمان چندان شجاعت یافته ست
تا بگوید:
راست می‌گفتی پدر!

تشکر و قدردانی

اکنون که با استعانت از درگاه پروردگار، گامی دیگر از زندگیم را پشت سر نهادم، با خشوع و افتادگی تمام برخود لازم می‌دانم مراتب سپاس و قدردانی صمیمانه خویش را نثار همه کسانی کنم که در این مدت مرا یاری نمودند.

از اساتید راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر اصغر امیدوار و دکتر محراب مدهوشی که افتخار شاگردی ایشان را دارم به خاطر تمام راهنمایی‌ها و مساعدت‌های بی‌دریغشان در طی انجام و تدوین این پایان‌نامه، نهایت تشکر و امتنان را دارم. از استاد مشاور ارجمند جناب آقای دکتر علیرضا شاکری که در طول این پژوهش از همفکری ایشان بهره برده و راهنمایی‌های ارزنده‌ای در جهت تدوین این تحقیق ارائه نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم. از هیئت محترم داوران جناب آقای دکتر تقی طبرسا و دکتر ابوالقاسم خزاعیان که علاوه بر زحمت داوری پایان‌نامه، افتخار شاگردی ایشان را نیز دارم، تشکر می‌کنم. از نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر داود آزادفر که زحمت مطالعه این پایان‌نامه را متقبل شدند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

از موسسه تحقیقاتی خرما و میوه‌های گرمسیری کشور و به خصوص جناب آقای سعید حاجیان، عضو هیئت علمی این موسسه، که زحمت ارسال پسماندهای درخت نخل خرما به شهرستان گرگان را متقبل شدند، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم.

همچنین از کلیه کارکنان پژوهشکده زراعت و منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، و ریاست محترم این واحد جناب آقای دکتر ناصر لطیفی و نیز زحمات دلسوزانه خانم مهندس دایی قدردانی و تشکر می‌کنم.

در پایان از کلیه دانشجویان، کارکنان محترم دانشکده و آزمایشگاه صنایع چوب و تمامی کسانی که به نحوی در تکمیل و ارائه این پایان‌نامه در طول مدت یک سال با اینجانب همکاری نمودند، به خصوص جناب آقای مهندس حلالی و مهندس قاسمی که به ترتیب در امر تهیه مواد اولیه و استفاده از دستگاه اکسترودر، اینجانب را یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم.

چکیده

تاثیر مقدار پرکننده و نوع آرد چوب مصرفی بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌های پلی‌اتیلنی پر شده با آرد حاصل از پسماندهای ناشی از هرس سالانه شاخه‌های نخل خرما (آرد چوب نخل رقم استعمران) مورد مطالعه قرار گرفت. انواع آرد چوب نخل شامل آرد برگ، آرد ساقه و آرد مخلوط این دو به نسبت طبیعی موجود بر روی درخت یعنی ۵۸ درصد ذرات برگ و ۴۲ درصد ذرات ساقه بود. چندسازه‌ها با ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درصد از این پرکننده‌ها به همراه پلی‌اتیلن ساخته شدند. اندازه ذرات در حد مش ۴۰-۲۵ و مقدار ماده جفت‌کننده هم به میزان ۲ درصد وزنی هر تخته محاسبه و اضافه شد. در ابتدا توسط دستگاه اکسترودر دو ماردونه مدل ۴۸۱۵ گرانول‌سازی صورت گرفته و سپس با استفاده از پرس گرم از گرانول‌های ترکیبی تخته‌های مورد نظر ساخته شدند. دو پارامتر مقاومت مکانیکی یعنی مقاومت خمشی و کششی توسط دستگاه *Schenck Trebel* محاسبه و تیمارها با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با یکدیگر مقایسه شدند. در این تحقیق تخته پلی‌اتیلن خالص به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که پلی‌اتیلن مورد استفاده در این تحقیق پلی‌اتیلن خطی سبک بود.

مشاهده شد که با افزایش مقدار پرکننده، ویژگی‌های مکانیکی یعنی مدول گسیختگی و مقاومت کششی کاهش، درحالیکه مدول الاستیسیته خمشی افزایش یافت. مقادیر مقاومت کششی اختلافات معنی‌داری به لحاظ عملکرد نوع ماده نداشتند. مدول الاستیسیته خمشی تخته‌های ساخته شده از آرد برگ به ترتیب با اختلاف معنی‌داری از تخته‌های ساخته شده از آرد مخلوط و ساقه بیشتر بود درحالیکه اختلاف معنی‌داری بین این دو وجود نداشت. مدول گسیختگی تخته‌های ساخته شده از ذرات آرد مخلوط بیشتر از تخته‌های ساخته شده از ذرات آرد برگ بود ولی اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود نداشت درحالیکه اختلاف معنی‌داری بین مدول گسیختگی تخته‌های ساخته شده از ذرات آرد ساقه با دو تیمار دیگر وجود داشت.

کلمات کلیدی: چندسازه چوب-پلاستیک، آردچوب نخل، پلی‌اتیلن خطی سبک، ویژگی‌های مکانیکی.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱مقدمه ۱
۱-۱-۱چندسازه‌ها یا کامپوزیت‌ها ۱
۱-۱-۲ مزایای مهم چندسازه‌ها ۳
۱-۱-۳ موارد کلی کاربرد چندسازه‌ها ۳
۱-۲ کلیات ۳
۱-۲-۱ پلیمر ۳
۱-۲-۱-۱ پلی‌اتیلن ۴
۱-۲-۱-۲ انواع پلی‌اتیلن ۵
۱-۲-۱-۳ موارد مصرف پلی‌اتیلن ۷
۱-۲-۱-۴ شاخص جریان مذاب ۷
۱-۲-۲ مزیت‌ها و محدودیت‌های استفاده از پرکننده‌های طبیعی ۸
۱-۲-۲-۱ انواع الیاف لیگنوسلولزی ۹
۱-۲-۲-۲ ترکیب شیمیایی تعدادی از الیاف غیرچوبی ۹
۱-۲-۳ چندسازه چوب-پلاستیک ۱۱
۱-۲-۳-۱ مزایای مهم چندسازه‌های چوب-پلاستیک ۱۲
۱-۲-۳-۲ موارد مصرف ساختمانی چوب-پلاستیک ۱۲
۱-۲-۳-۳ عوامل تهدیدکننده سلامت چوب-پلاستیک ۱۴
۱-۲-۳-۴ مواد ۱۵
۱-۲-۴ سازگارکننده ۱۵
۱-۲-۵ روش‌های ساخت چندسازه چوب-پلاستیک ۱۶
۱-۲-۶ فرایند ساخت ۱۶
۱-۲-۶-۱ مسائل مربوط به ترکیب، اختلاط و شکل‌دهی مواد ۱۷
۱-۲-۷ مشخصات دستگاه اکسترودر استفاده شده در این تحقیق ۱۸
۱-۲-۸ نخل ۱۸
۱-۲-۸-۱ جایگاه تاکسونومیک نخل خرما ۱۸
۱-۲-۸-۲ مورفولوژی درخت خرما ۱۹
۱-۲-۸-۳ برگ ۲۰
۱-۲-۸-۴ ویژگی‌های آناتومیکی نخل ۲۱
۱-۲-۸-۵ پراکنش جغرافیایی نخل در ایران ۲۳
۱-۲-۸-۶ پراکنش جغرافیایی نخل در جهان ۲۴

۱-۲-۸-۷ استعمران، رقم استفاده شده در این تحقیق ۲۵
۱-۲-۸-۸ ضرورت هرس نخل ۲۵
۱-۲-۹ اهداف ۲۷
۱-۲-۱۰ فرضیه‌ها ۲۷

فصل دوم: سابقه تحقیق

۲-۱ چندسازه‌های نخل-پلیمر ۲۸
۲-۲ چندسازه‌های ساخته شده از سایر منابع لیگنوسلولزی ۲۹

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ جدول تیمارها ۳۴
۳-۲ تهیه مواد اولیه ۳۵
۳-۳ آماده‌سازی مواد اولیه ۳۶
۳-۳-۱ تفکیک ماده به سه بخش ساقه، برگ و مخلوط ۳۶
۳-۴ اختلاط مواد درون اکسترودر ۳۸
۳-۵ تهیه کیک چندسازه چوب-پلاستیک ۴۱
۳-۶ پرس کیک ۴۳
۳-۷ برش و تهیه نمونه‌های آزمونی ۴۴
۳-۸ آزمون خمش استاتیک ۴۵
۳-۹ آزمون مقاومت کششی ۴۷

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱ مقادیر میانگین مقاومت‌ها ۴۸
۴-۲ نتایج آزمون خمش ۴۹
۴-۲-۱ مدول گسیختگی ۴۹
۴-۲-۱-۱ تاثیر مستقل درصد آرد نخل ۵۱
۴-۲-۱-۲ تاثیر مستقل نوع ماده ۵۳
۴-۲-۱-۳ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده ۵۴
۴-۲-۲ مدول الاستیسیته خمشی ۵۵
۴-۲-۲-۱ تاثیر مستقل درصد آرد نخل ۵۸
۴-۲-۲-۲ تاثیر مستقل نوع ماده ۵۹

۴-۲-۲-۳ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده ۶۰
۴-۳ مقاومت کششی ۶۱
۴-۳-۱ تاثیر مستقل درصد آرد نخل ۶۳
۴-۳-۲ تاثیر مستقل نوع ماده ۶۵
۴-۳-۳ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده ۶۶
۴-۴ نتیجه‌گیری ۶۷

پیشنهادات ۶۹

فهرست منابع ۷۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: مشخصات پلی‌اتیلن ۵
جدول ۱-۲: انواع تقویت‌کننده‌های پلی‌اتیلن ۹
جدول ۱-۳: ترکیب شیمیایی تعدادی از الیاف غیرچوبی ۱۰
جدول ۱-۴: جایگاه تاکسونومیک نخل خرما ۱۹
جدول ۱-۵: ضرایب لاغری و نرمش مربوط به الیاف برگ و ساقه نخل خرما ۲۳

جدول ۳-۱: میزان و درصد مواد مورد استفاده در تیمارها ۳۴
جدول ۳-۲: وزن ساقه، برگ، مخلوط و میزان پلی‌اتیلن متناظر برای هر تیمار ۴۰
جدول ۳-۳: دمای قسمت‌های مختلف دستگاه اکسترودر و سرعت خروج مواد ۴۱
جدول ۳-۴: شرایط پرس ۴۳

جدول ۴-۱: مقادیر میانگین کلیه مقاومت‌ها ۴۸
جدول ۴-۲: مقادیر میانگین مدول گسیختگی به همراه انحراف معیار ۴۹
جدول ۴-۳: تجزیه واریانس مقادیر مدول گسیختگی ۵۰
جدول ۴-۴: مقایسه و دسته‌بندی میانگین‌های مدول گسیختگی ۵۰
جدول ۴-۵: مقایسه و دسته‌بندی اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مدول گسیختگی ۵۱
جدول ۴-۶: مقایسه و دسته‌بندی اثر مستقل نوع ماده بر مدول گسیختگی ۵۳

جدول ۴-۷: مقادیر میانگین مدول الاستیسیته خمشی به همراه انحراف معیار ۵۵
جدول ۴-۸: تجزیه واریانس مقادیر مدول الاستیسیته خمشی ۵۶
جدول ۴-۹: مقایسه و دسته‌بندی میانگین‌های مدول الاستیسیته خمشی ۵۶
جدول ۴-۱۰: مقایسه و دسته‌بندی اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مدول الاستیسیته خمشی ۵۸
جدول ۴-۱۱: مقایسه و دسته‌بندی اثر مستقل نوع ماده بر مدول الاستیسیته خمشی ۵۹

جدول ۴-۱۲: مقادیر میانگین مقاومت کششی به همراه انحراف معیار ۶۱
جدول ۴-۱۳: تجزیه واریانس مقادیر مقاومت کششی ۶۲
جدول ۴-۱۴: مقایسه و دسته‌بندی میانگین‌های مقاومت کششی ۶۲
جدول ۴-۱۵: مقایسه و دسته‌بندی اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مقاومت کششی ۶۴
جدول ۴-۱۶: مقایسه و دسته‌بندی اثر مستقل نوع ماده برمقاومت کششی ۶۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ پلیمریزاسیون اتیلن و تشکیل ملکول پلی‌اتیلن ۴
شکل ۱-۲ مدل گلوله و میله و فرمول ساختاری پلی‌اتیلن ۵
شکل ۱-۳ کف‌پوش بالکن ۱۳
شکل ۱-۴ نرده ۱۳
شکل ۱-۵ حصار ۱۳
شکل ۱-۶ تخته‌های ساحلی ۱۳
شکل ۱-۷ روکش ۱۳
شکل ۱-۸ نیمکت پارک ۱۳
شکل ۱-۹ قالب یا پروفیل ۱۳
شکل ۱-۱۰ قاب ۱۳
شکل۱-۱۱ چارچوب درب ۱۴
شکل ۱-۱۲ چارچوب پنجره ۱۴
شکل ۱-۱۳ مبلمان خانگی ۱۴
شکل۱-۱۴ واکنش گروه‌های هیدروکسیلی با گروه‌های انتهایی *MAPE* ۱۶
شکل۱-۱۵ درگیرشدن *PE* با *MAPE* در داخل شبکه *PE* ۱۶
شکل ۱-۱۶ شمایی از دستگاه اکسترودر استفاده شده در این تحقیق ۱۸
شکل ۱-۱۷ نخل خرما ۱۹
شکل۱- ۱۸ برگ نخل ۲۰
شکل ۱-۱۹ بخشی از برش طولی تنه نخل ۲۱
شکل ۱-۲۰ برش عرضی ساقه نخل رقم استعمران ۲۱
شکل۱-۲۱ نقشه محدوده مناطق خرماخیز ایران ۲۴
شکل۱-۲۲ نقشه جهانی محدوده کشت خرما ۲۴
شکل۱-۲۳ هرس شاخه‌های قدیمی با استفاده از تیغه گردبر ۲۷

شکل ۳-۱ برگ نخل و آرد آن ۳۵
شکل۳-۲ ساقه نخل و آرد آن ۳۵
شکل۳-۳ مخلوط ساقه و برگ و آرد آن ۳۵
شکل ۳-۴ آرد پلی‌اتیلن و مالئیک انیدرید پلی‌اتیلن ۳۶
شکل ۳-۵ دستگاه کف رند ۳۷
شکل۳-۶ دستگاه کاه خردکن ۳۷
شکل ۳-۷ آسیاب آزمایشگاهی ۳۷
شکل ۳-۸ الک الکتریکی و تصویر شماتیک ۳۸
شکل۳-۹ پلت‌های آماده برای پرس ۴۰

شکل ۳-۱۰ شابلون روی ورق آلومینیومی ۴۲
شکل ۳-۱۱ قرار دادن چارچوب بر روی شابلون ۴۲
شکل ۳-۱۲ توزیع یکنواخت پلت‌ها درون شابلون و چارچوب ۴۲
شکل ۳-۱۳ مرحله پیش پرس ۴۲
شکل ۳-۱۴ برداشتن چارچوب و قطعه پیش پرس ۴۲
شکل ۳-۱۵ قراردادن ورق آلومینیومی بر روی کیک ۴۲
شکل ۳-۱۶ شابلون‌هایی برای پراکنده‌سازی نیرو ۴۲
شکل۳-۱۷ پرس آزمایشگاهی ۴۳
شکل ۳-۱۸ دستگاه پرس سرد ۴۳
شکل۳-۱۹ تخته‌های ساخته شده از آرد نخل و پلی‌اتیلن ۴۴
شکل۳-۲۰ برش نمونه‌های خمشی ۴۴
شکل۳-۲۱ نمونه کششی ۴۵
شکل۲-۲۲ ابعاد نمونه کششی ۴۵
شکل۳-۲۳ نمونه مستطیلی شکل برای انجام آزمون خمش ۴۵
شکل۳-۲۴ نمونه دمبلی شکل برای انجام آزمون کشش ۴۷

شکل ۴-۱ مقایسه تغییرات مدول گسیختگی در بین تیمارها ۵۱
شکل ۴-۲ اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مدول گسیختگی ۵۲
شکل ۴-۳ اثر مستقل نوع ماده بر مدول گسیختگی ۵۳
شکل ۴-۴ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده بر مدول گسیختگی ۵۴
شکل ۴-۵ مقایسه تغییرات مدول الاستیسیته خمشی در بین تیمارها ۵۷
شکل ۴-۶ اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مدول الاستیسیته خمشی ۵۸
شکل ۴-۷ اثر مستقل نوع ماده بر مدول الاستیسیته خمشی ۶۰
شکل ۴-۸ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده بر مدول الاستیسیته خمشی ۶۱
شکل ۴-۹ مقایسه تغییرات مقاومت کششی در بین تیمارها ۶۳
شکل ۴-۱۰ اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مقاومت کششی ۶۴
شکل ۴-۱۱ اثر مستقل نوع ماده بر مقاومت کششی ۶۵
شکل ۴-۱۲ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده بر مقاومت کششی ۶۶

فهرست رابطه‌ها

رابطه (۳-۱) ۳۹
رابطه (۳-۲) ۴۶
رابطه (۳-۳) ۴۶
رابطه (۳-۴) ۴۷

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

در عصر حاضر پیشرفت‌های زیادی در زمینه‌ی مواد حاصل شده و توسعه‌ی آتی آن نیز در گرو یافتن مواد جدید و قابل استفاده می‌باشد. در این میان، چندسازه‌ها بیانگر قدم‌های بزرگی هستند که در راه تکامل مواد مهندسی، برداشته می‌شوند. با ترکیب فیزیکی- شیمیایی دو یا چند ماده، علاوه بر اینکه موادی سبک‌تر و در عین حال محکم‌تر از مصالح سنتی، از قبیل فلزات، سرامیک‌ها، چوب و پلاستیک‌های معمولی به‌دست می‌آید، بلکه می‌توان برای هر کاربرد مشخص، خواص مورد نظر را ایجاد کرد. انجام این کار حتی با طراحی دقیق مواد سنتی امکان‌پذیر نیست[۲].

مواد مرکب در طبیعت نیز به وفور یافت می‌شوند. چوب ماده‌ای است طبیعی و متشکل از الیاف سلولزی که بخش ضعیف لیگنین را تقویت می‌کند. فوم‌ها یا اسفنج‌های طبیعی دریایی، ساقه آفتاب‌گردان و استخوان‌های تشکیل‌دهنده‌ی اسکلت جانداران، مثال‌های دیگری از چندسازه‌های طبیعی هستند[۳].

۱-۱-۱ چندسازه‌ها (یا کامپوزیت‌ها[1])

واژه چندسازه (کامپوزیت) از کلمه انگلیسی *"to compose"* به معنی ترکیب کردن، ساختن و مخلوط‌کردن، مشتق شده است[۱۷]. این اصطلاح معمولا به موادی گفته می‌شود که از یک فاز زمینه (ماتریکس)[2] و یک فاز تقویت‌کننده[3] (پرکننده) تشکیل شده باشد.

[1] Composites
[2] Matrix
[3] Reinforcer

مواد چندسازه‌ای، مواد مهندسی شده‌ای هستند که از دو یا چند جزء تشکیل شده‌اند، به گونه‌ای که این مواد از هم مجزا و در مقیاس ماکروسکوپی قابل تشخیص هستند. کامپوزیت از دو قسمت اصلی ماده زمینه و تقویت‌کننده تشکیل شده است. فاز زمینه با احاطه‌کردن تقویت‌کننده آن را در محل نسبی خودش نگاه داشته و تقویت‌کننده نیز موجب بهبود خواص مکانیکی ساختار چندسازه می‌گردد. به طور کلی تقویت‌کننده می‌تواند به صورت الیاف کوتاه، بلند و یا پیوسته باشد. گاهی فاز زمینه را فاز پیوسته[1] و فاز تقویت‌کننده را فاز غیرپیوسته[2] نیز می‌خوانند[۱].

فاز تقویت‌کننده معمولا سفت‌تر و محکم‌تر از فاز ماتریکس است. این دو فاز از طریق اتصال منطقه حدفاصل به یکدیگر متصل شده و خواص این ناحیه، تاثیر مستقیم بر کارایی چندسازه دارد. نقش اصلی فاز زمینه، نگهداری الیاف و انتقال نیرو است[۱۷]. چندسازه‌هایی که در آنها فاز ضعیف یا زمینه توسط الیاف گوناگون تقویت شده باشد، به چندسازه‌های لیفی[3] معروفند. چنانچه به جای الیاف از پودر استفاده شود، این مواد را چندسازه‌های ذره‌ای[4] یا پودری می‌نامند[۱].

طبق تعریف *ASTM*[5]، به ترکیب ماکروسکوپی دو یا چند ماده مجزا که سطح مشترک مشخصی بین آنها وجود داشته باشد، چندسازه یا کامپوزیت گفته می‌شود[۱۸]. همچنین چند سازه‌ها از لحاظ فاز زمینه به ۳ دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند[۲]:

CMC: چندسازه‌های با زمینه‌ی سرامیکی (*Ceramic Matrix Composites*)

PMC: چندسازه‌های با زمینه‌ی پلیمری (*Polymeric Matrix Composites*)

MMC: چندسازه‌های با زمینه‌ی فلزی (*Metallic Matrix Composites*)

[1] Continuous Phase
[2] Discontinuous Phase
[3] Fibrous Composites
[4] Particulate Composites
[5] American Society for Testing and Materials

دسته دیگر از چندسازه‌ها، چندسازه‌های سبز (تجزیه‌پذیر زیستی) هستند که در آنها فاز زمینه و تقویت‌کننده، از موادی که در طبیعت تجزیه می‌شوند، ساخته شده‌اند. در چندسازه‌های سبز، معمولاً فاز زمینه از پلیمرهای سنتزی قابل جذب بیولوژیکی و تقویت‌کننده‌ها از الیاف گیاهی ساخته می‌شوند[۳].

۱-۱-۲مزایای مهم چندسازه‌ها

مهم‌ترین مزیت چندسازه‌ها این است که با توجه به نیازها، می‌توان مواد جدیدی با خواص مطلـوب تولید کرد. به طور کلی چندسازه‌ها دارای مزایای زیر هستند:

- مقاومت مکانیکی مناسب نسبت به وزن
- مقاومت بالا در برابر خوردگی
- مقاومت به خستگی عالی نسبت به فلزات
- خواص مناسب عایق حرارتی [۱۷].

۱-۱-۳ موارد کلی کاربرد چندسازه‌ها

ساختمان‌سازی، خودروسازی، حمل‌ونقل، انفورماتیک، شیمیایی، هوافضا، الکتریکی و مکانیکی، وسایل خانگی و وسایل ورزشی و سایر صنایع [۱].

۱-۲ کلیات

۱-۲-۱ پلیمر

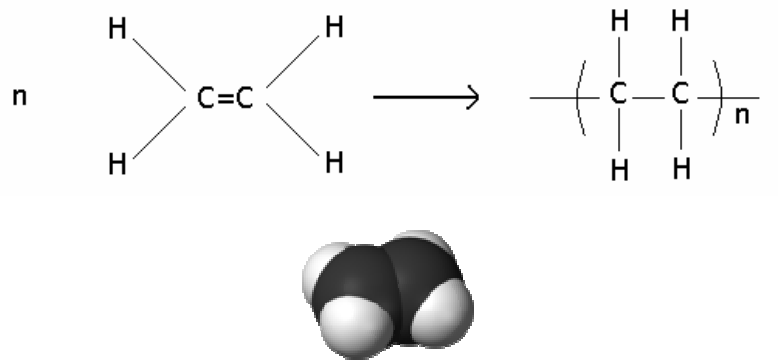
پلیمر یا بسپار ملکول بسیار بزرگی است که از به هم پیوستن ملکول‌های کوچک که مونومر یا تکپار نامیده می‌شوند، به وجود می‌آید. پلیمرها به طور عمده شامل عناصر کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و ... هستند و با تغییر اندازه ملکول ویژگی‌های آن نیز تغییر می‌کند. نقطه ذوب،

استحکام و دیگر خصوصیات فیزیکی پلیمر، تابع اندازه و ابعاد ملکول (طول زنجیر) می‌باشد. پس از شناخته شدن شیمی پلیمر، تولید پلاستیک‌ها به سرعت گسترش یافت و پس از آن پلاستیک‌های مهم و تجاری زیادی تولید شدند. از سال ۱۹۵۰ به بعد، تولید پلاستیک‌ها شتاب روز افزونی گرفت و موادی سخت و مقاوم در برابر گرما با کاربردهای مخصوص ساخته شدند[۲].

۱-۲-۱-۱ پلی‌اتیلن[1]

پلی‌اتیلن یکی از ساده‌ترین و ارزان‌ترین پلیمرها و در عین حال پرمصرف‌ترین ماده پلاستیکی در جهان است. این ماده از پلیمریزاسیون اتیلن به دست می‌آید و به طور خلاصه به صورت "*PE*" نشان داده می‌شود. نام آیوپاک مونومر آن بر خلاف آنچه اتیلن ذکر شد، اتن می‌باشد و در نتیجه نام آیوپاک این پلیمر پلی‌اتن خواهد بود. البته این نام هرگز توسط شیمی‌دانان به کار نرفته و این پلیمر به نام متداول خود یعنی پلی‌اتیلن نامیده می‌شود.

ملکول اتیلن دارای یک پیوند دوگانه C=C است (شکل۱-۱). در فرایند پلیمریزاسیون، پیوند دوگانه هر یک از مونومرها شکسته شده و به جای آن یک پیوند ساده بین اتم‌های کربن ایجاد و درشت ملکول n حاصل می‌شود[۲].



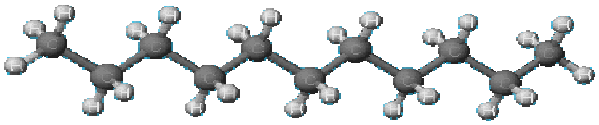
شکل ۱-۱پلیمریزاسیون اتیلن و تشکیل ملکول پلی‌اتیلن

[1] Polyethylene

مشخصات عمومی این پلیمر در جدول ۱-۱ به همراه کد معرف شیمیایی این پلیمر آمده است[۲]. همچنین مدل گلوله و میله و فرمول ساختاری این پلیمر نیز در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است.

جدول۱-۱ مشخصات پلی اتیلن

نام	نام شیمیایی	فرمول شیمیایی	دانسیته g/cm^3	نقطه ذوبLLDPE	دمای انتقال شیشه	کد شیمیایی
پلی‌اتیلن	پلی اتن	$(C_2H_4)_X$	۰/۹۱۰-۰/۹۶۵	۱۵۰°C	-۸۰°C	4



Polyethylene, $-(CH_2CH_2)-$

شکل ۱-۲ مدل گلوله و میله و فرمول ساختاری پلی‌اتیلن

پلی‌اتیلن معمولا تحت نام‌های تجاری آلاتون[۱]، هستالن[۲]، مارلکس[۳]، پتروتن[۴]، ترولن[۵] و هیپالن[۶] به بازارهای جهان عرضه می‌شود[۲].

۱-۲-۱-۲ انواع پلی‌اتیلن

طبقه‌بندی پلی‌اتیلن‌ها بر اساس دانسیته آنها صورت می‌گیرد که در مقدار دانسیته، اندازه زنجیر پلیمری، نوع وتعداد شاخه‌های موجود در زنجیر دخالت دارد. انواع پلی‌اتیلن عبارتند از:

[1] Alathon
[2] Hostalen
[3] Marlex
[4] Petrothene
[5] Trolene
[6] Hypalon

HDPE [1](پلی‌اتیلن با دانسیته بالا)

این پلیمر دارای زنجیر پلیمری بدون شاخه است. بنابراین نیروی بین ملکولی در زنجیرها بالا و استحکام کششی آن بیشتر از سایر پلی‌اتیلن‌ها است. پلی‌اتیلن خطی معمولا از وزن ملکولی دویست هزار تا پانصد هزار تولید می‌شود اما می‌تواند حتی سنگین‌تر از این نیز ساخته شود. نقطه ذوب این پلیمر درحدود ۱۳۰-۱۴۰°C است. دانسیته این پلیمر ۰/۹۴۱ g/cm^3 است.

LDPE [2](پلی‌اتیلن با دانسیته پایین)

این پلیمر بر خلاف نوع *HDPE* دارای زنجیری شاخه‌دار است و بعضی از اتم‌های کربن به جای اتصال به اتم‌های هیدروژن به زنجیرهای بلندی از پلی‌اتیلن متصل بوده و عمدتا شاخه‌های آن ۲ تا ۴ اتم کربن دارند. بنابراین زنجیرهای *LDPE* نمی‌توانند به خوبی با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و درنتیجه دارای نیروی بین ملکولی ضعیف و استحکام کششی کمتری هستند. نقطه ذوب این پلیمر درحدود ۱۱۵-۱۲۰°C است. دانسیته این پلیمر ۰/۹۱۰ g/cm^3 است.

LLDPE [3](پلی‌اتیلن خطی با دانسیته پایین)

پلیمر استفاده شده در این تحقیق است که خواصی مشابه *LDPE* دارد، با این تفاوت که شاخه‌های جانبی آن کوتاه و به همین دلیل قابلیت تغییر شکل بهتر و کرنش یا احتمال کشش بیشتری را در حالت‌های مذاب و جامد دارا است. به وسیله‌ی کوپلیمریزاسیون مونومر اتیلن با یک مونومر آلکیل شاخه‌دار، کوپلیمری با شاخه‌های هیدروکربن کوتاه به دست می‌آید که آن را پلی‌اتیلن خطی با چگالی کم یا *LLDPE* می‌نامند. بارزترین خاصیت این نوع از پلی‌اتیلن مقاومت کششی بسیار بالای آن است. تولید فیلم عمده‌ترین کاربرد این پلیمر است ولی معمولا با آلیاژسازی[4] از این پلیمر

[1] High Density Polyethylene
[2] Low Density Polyethylene
[3] Linear Low-density Polyethylene
[4] Blending

استفاده می‌کنند. نقطه ذوب این پلیمر درحدود ۱۵۰°C است. دانسیته آن g/cm^3 ۰/۹۱۷-۰/۹۲۰ است.

HUMWPE[1](پلی اتیلن با وزن ملکولی بسیار بالا)

وزن ملکولی این پلیمر بین ۳ تا ۶ میلیون است. به دلیل بالا بودن جرم ملکولی، گرانروی خیلی کم و شکل‌گیری تقریبا غیرممکن است و در نتیجه از روش‌های خاصی برای تولید لوازم پلاستیکی از این پلیمر استفاده می‌شود.

انواع دیگر پلی‌اتیلن شامل *VLDPE*[2]، *XPE*[3]، *HDXLPE*[4] و *MDPE*[5] می‌باشد[۲].

۱-۲-۱-۳ موارد مصرف پلی‌اتیلن

از پلی‌اتیلن در ساخت عایق الکتریکی، لوله‌ها، لفاف‌های بسته‌بندی، انواع لوازم پلاستیکی مورد استفاده در آشپزخانه، اجزای سازنده‌ی کارخانه‌های مواد شیمیایی، جعبه‌ها، اسباب‌بازی‌ها و جلیقه‌های ضدگلوله استفاده می‌شود. اما *LLDPE* به دلیل بالا بودن میزان انعطاف‌پذیری، در تهیه‌ی انواع لوازم پلاستیکی انعطاف‌پذیر مانند لوله‌هایی با قابلیت خم‌شدن کاربرد دارد. همچنین *LLDPE* یکی از قدیمی‌ترین کاربردهای پلی‌اتیلن است که بازار کیسه‌های پلاستیکی و صفحات پلاستیکی را به خود اختصاص داده است.

۱-۲-۱-۴ شاخص جریان مذاب[6]

شاخص جریان مذاب کاربردی‌ترین نشانه‌ی ارتباط دهنده‌ی ویژگی‌های یک پلیمر به متوسط وزن

[1] High Ultra Molecular Weight Polyethylene
[2] Very Low Density Polyethylene
[3] X-Linked Polyethylene
[4] High Density Cross linked Polyethylene
[5] Medium Density Polyethylene
[6] Melt Flow Index (MFI)

مولکولی است. شاخص جریان مذاب وزن (گرم) پلی‌اتیلنی است که در عرض ۱۰ دقیقه از میان یک روزنه‌ی ثابت در دمای ۱۹۰°C بیرون می‌آید، و این در حالی است که وزنه‌ی استانداردی بر روی پیستون محفظه‌ی رانش که حاوی ۴ تا ۵ گرم پلی‌اتیلن است، قرار دارد. این شاخص تا حدودی (اما نه دقیق) نسبت معکوس با گرانروی مذاب دارد. بنابراین با افزایش وزن مولکولی متوسط، کاهش می‌یابد. این شاخص بیشتر، نشان دهنده‌ی روانی بیشتر در دماهای فراورش است. این نماد در اصل برای نشان دادن ویژگی‌های روانی یک پلیمر به عنوان معیاری از قابلیت اکسترود شدن است. به طور کلی با افزایش این شاخص، استحکام کششی، مقاومت پارگی، دمای نرم شدن و چقرمگی پلی‌اتیلن کاهش می‌یابد[۲].

۱-۲-۲ مزیت‌ها و محدودیت‌های استفاده از پرکننده‌های طبیعی

استفاده از پرکننده‌های طبیعی به جای پرکننده‌های مصنوعی (الیاف شیشه، الیاف کربن، کربنات کلسیم و همچنین موادی از قبیل رس و تالک)، (جدول ۱-۲) در پلاستیک‌های گرمانرم در سال‌های اخیر بیشتر مورد تحقیق قرار گرفته و دلیل آن را می‌توان مزایای پرکننده‌های طبیعی یا مواد لیگنوسلولزی نسبت به پرکننده‌های مصنوعی دانست که از آن جمله: قیمت پائین، در دسترس بودن، قابلیت بازیافت و سازگاری با محیط زیست، گوناگونی زیستی، استفاده از منابع تجدیدشونده، دانسیته پایین و سفتی بالای محصول را می‌توان نام برد. همچنین چندسازه‌های ساخته شده با پرکننده‌های طبیعی سریع‌تر خنک شده و در نتیجه زمان تولید را کوتاه می‌کنند. البته جذب آب و استحکام گرمایی پایین از نقاط ضعف پرکننده‌های لیگنوسلولزی است و با توجه به اینکه مواد لیگنوسلولزی مختلف دارای ویژگی‌های متفاوتی می‌باشند، برای استفاده از هر کدام از این مواد باید به ویژگی‌های همان ماده توجه کرد[۱۸]. ضمنا استفاده از مواد لیگنوسلولزی در چندسازه‌های ترموپلاستیک ممکن است به کاهش ضایعات زیست توده گیاهی نیز کمک کند[۲۸].

جدول ۱-۲: انواع تقویت‌کننده‌های پلی‌اتیلن [۲۶]

نوع	کربنات کلسیم	تالک	الیاف شیشه	سیلیکا	سنگ معدنی	میکا	الیاف چوبی
چگالی g/cm^3	۲/۶-۲/۷۵	۲/۷-۲/۸	۲/۶	۲/۶۵	۲/۹-۳/۱	۲/۸-۲/۹	۰/۶۵

۱-۲-۲-۱ انواع الیاف لیگنوسلولزی

الف) الیاف لیگنوسلولزی از منابع چوبی شامل سوزنی‌برگان و پهن‌برگان

ب) الیاف لیگنوسلولزی از منابع غیر چوبی که شامل منابع زراعی نظیر گندم، برنج و ... و همینطور گیاهان علفی نظیر کتان و کنف می‌باشد. از گیاهان دیگری نظیر موز (قسمت برگ)، نارگیل (قسمت میوه) و نخل (قسمت ساقه و برگ) می‌توان نام برد.

۱-۲-۲-۲ ترکیب شیمیایی تعدادی از الیاف غیرچوبی

آگاهی از ترکیبات شیمیایی و مقدار آنها در مواد لیگنوسلولزی مختلف باعث تصمیم‌گیری‌های بهتر در استفاده از مواد افزودنی شده و در پاره‌ای موارد در انتخاب نوع پلاستیک هم می‌تواند تاثیرگذار باشد. ترکیب شیمیایی تعدادی از مهم‌ترین الیاف لیگنوسلولزی حاصل از پسماندهای کشاورزی به همراه دو گروه اصلی درختان یعنی سوزنی‌برگان و پهن‌برگان در جدول ۱-۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است که ترکیبات شیمیایی ساقه و برگ نخل رقم مورد استفاده در آزمایشگاه اندازه‌گیری و به جدول اضافه شدند[۲۳]. برای تعیین درصد ترکیبات شیمیایی موجود در ساقه و برگ نخل از استاندارد *TAPPI* برای تهیه آرد چوب (T257 *cm*-85)، آرد چوب عاری از مواد استخراجی (T207 *cm*-99)، خاکستر (T211 *om* -93)، مواد استخراجی (T280 *pm*-99)، سلولز (T264 *om* -88) و تعیین مقدار لیگنین (T222 *om* -98) استفاده شد.

جدول ۱-۳ ترکیب شیمیایی تعدادی از الیاف غیر چوبی

نوع الیاف	ترکیب شیمیایی (به صورت ٪ از مجموع)				
	سلولز	لیگنین	پنتوزان	خاکستر	سیلیس
			ساقه		
ساقه برنج	۲۸-۴۸	۱۲-۱۶	۲۳-۲۸	۱۵-۲۰	۹-۱۴
گندم	۲۹-۵۱	۱۶-۲۱	۲۶-۳۲	۴/۵-۹	۳-۷
جو	۳۱-۴۵	۱۴-۱۵	۲۴-۲۹	۵-۷	۳-۶
جو دوسر	۳۱-۴۸	۱۴-۱۹	۲۷-۳۸	۲-۵	۰/۵-۴
چاودار	۳۳-۵۰	۱۴-۱۹	۲۷-۳۰	۲-۵	۰/۵-۴
نخل*	۳۸/۲۶	۲۲/۵۳	۲۸/۱۷	۵/۹۶	۵/۰۸
			ساقه‌های توخالی		
نیشکر	۳۲-۴۸	۱۹-۲۴	۲۷-۳۲	۱/۵-۵	۰/۷-۳۵
بامبو	۲۶-۴۳	۲۱-۳۱	۱۵-۲۶	۱/۷-۵	۰/۷
			گیاه		
جگن	۳۳-۳۸	۱۷-۱۹	۲۷-۳۲	۶-۸	-
سوبای	-	۲۲	۲۴	۶	-
نی	۴۴-۴۶	۲۲-۲۴	۲۰	۳	۲
			لیف درخت		
الیاف کتان	۴۳-۴۷	۲۱-۲۳	۲۴-۲۶	۵	-
کنف	۴۴-۵۷	۱۵-۱۹	۲۲-۲۳	۲-۵	-
کنف هندی	۴۵-۶۳	۲۱-۲۶	۱۸-۲۱	۰/۵-۲	
شاهدانه	۵۷-۷۷	۹-۱۳	۱۴-۱۷	۰/۸	-
رامی	۸۷-۹۱		۵-۸		
			مغز		
کنف	۳۷-۴۹	۱۵-۲۱	۱۸-۲۴	۲-۴	-
کنف هندی	۴۱-۴۸	۲۱-۲۴	۱۸-۲۲	۰/۸	
			برگ		
آباکا[1]	۵۶-۶۳	۷-۹	۱۵-۱۷	۳	-
سیزال[2]	۴۷-۶۲	۷-۹	۲۱-۲۴	۰/۶-۱	
لینتر پنبه	۸۵-۹۰	۰/۷-۱/۶	۳-Jan	۰/۸-۲	۱
نخل*	۴۰/۲۱	۳۲/۲	۱۲/۸	۱۰/۵۴	۴/۲۵
			چوب		
سوزنی‌برگان	۴۰-۴۵	۲۶-۳۴	۷-۱۴	۱>	-
پهن‌برگان	۳۸-۴۹	۲۳-۳۰	۱۹-۲۶	۱>	-

۱- گیاهی در فیلیپین ۲ - گیاهی در هند * اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

۱-۲-۳ چندسازه چوب- پلاستیک

اصطلاح چندسازه چوب- پلاستیک اشاره به شماری از فراورده‌هایی دارد که در آنها چوب (به شکل آرد یا الیاف) در اختلاط با پلیمرهای گرمانرم یا گرماسخت است. پلیمرهای گرمانرم، پلیمرهایی هستند که با حرارت می‌توان آنها را ذوب کرد و پلیمرهای گرماسخت، پلیمرهایی هستند که در اثر گرما سخت می‌شوند. از جمله پلیمرهای گرمانرم می‌توان پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و یا پلی‌وینیل-کلراید[1] را نام برد و در مورد پلیمرهای گرماسخت هم می‌توان اپوکسی‌ها و فنلیک‌ها را ذکر کرد. پلاستیک‌های گرمانرم در ساخت محصولات گوناگونی مانند ظرف‌های شیر، کیسه‌های مواد خوراکی و یا کاغذ دیواری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شروع ساخت چندسازه‌های چوب-پلاستیک به اوایل دهه‌ی ۱۹۰۰ یعنی زمانی که اولین چندسازه‌ی تجاری با نام "باکلیت " از آرد چوب وفنل فرمالدئید ساخته شده و اولین استفاده‌ی تجاری که از آن ذکر شده است، استفاده به عنوان سردنده در خودروی رولز رویس در سال ۱۹۱۶ بوده است[۱۹]. برخلاف چندسازه‌های چوب-گرماسخت، چندسازه‌های چوب-گرمانرم، رشد چشمگیری در سال‌های اخیر داشته‌اند.

تولد صنعت چوب-پلاستیک حد فاصل دو صنعتی است که از لحاظ تاریخی با یکدیگر آشنایی کمی داشتند، صنایع پلاستیک در ابتدا از تالک، کربنات‌کلسیم، میکا و الیاف شیشه یا کربن برای بهبود عملکرد پلاستیک‌ها استفاده می‌کردند. سالانه چیزی در حدود ۲/۵ میلیارد کیلوگرم پرکننده و تقویت‌کننده در جهان، در صنایع پلاستیک مصرف می‌شود.

در این سو یعنی برای صنایع محصولات چوبی، ترموپلاستیک‌ها دنیایی ناآشنا هستند، اگرچه این دو صنعت از گذشته رقیب یکدیگر محسوب می‌شدند. تاکنون ۹ کنفرانس در زمینه‌ی چوب-پلاسیتک در دنیا برگزار شده است. کنفرانس اخیر چوب-پلاستیک (آمریکا-۲۰۰۷) بر روی موضوع

[1] PVC

مقاومت در برابر حشرات و همچنین قارچها، مقاومت در برابر آتش، ویژگی‌های جذب رطوبتی، تخریب بر اثر اشعه‌ی ماورای بنفش و ویژگی خزش تاکید خاصی کرده بود.

۱-۲-۳-۱ مزایای مهم چندسازه‌های چوب-پلاستیک

در حقیقت چندسازه‌های چوب-پلاستیک ظاهری مشابه چوب داشته، در حالیکه کارائی آن افزایش یافته است. جذب رطوبت پائین، مقاومت کافی در برابر اکسید شدن، مقاومت مناسب در برابر نفوذ حشرات و موریانه، وزن کم و دوام طولانی، کاهش هم‌کشیدگی و واکشیدگی، خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب، مقاومت در برابر نور خورشید و عایق حرارتی مناسب در سازه‌های ساختمانی از مهم‌ترین مزایای کاربرد چندسازه‌های چوب-پلاستیک می‌باشد. همچنین برخی روش‌هایی که برای تولید پلاستیک به کار می‌روند در مورد چوب-پلاستیک هم کاربرد دارند.

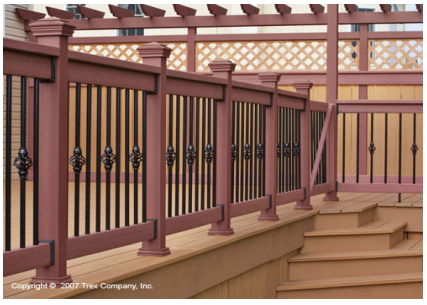
عمر زیاد، قابلیت بازیابی، شکل‌دهی مطلوب، قابلیت اره‌خوری، میخ‌خوری، رنده‌کاری، جلاپذیری و قابلیت رنگ‌پذیری مناسب و اعمال روکش‌های تزئینی نیز به عنوان قابلیت‌های مفید این چندسازه‌ها به شمار می‌رود. ضمنا به نظر می‌رسد صنعت چوب-پلاستیک می‌تواند معضل پلاستیک‌های سرگردان در همه‌ی نقاط کشور را به طور نسبی حل و فصل کند[۱۴].

۱-۲-۳-۲ موارد مصرف ساختمانی چوب-پلاستیک

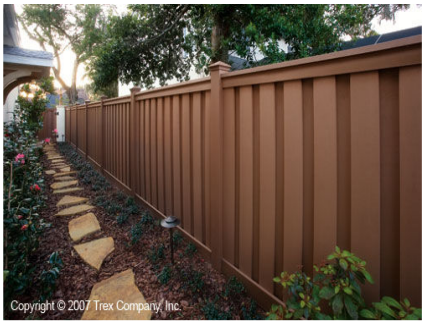
از آن استفاده‌های زیادی در کف‌پوش بالکن (*Outdoor Deck Floor*) (شکل۱-۳) به عمل می‌آید ولی در مصارف دیگری مانند نرده‌ها (*Railing*) (شکل۱-۴)، حصار اطراف منازل یا دیواره‌های کوتاه (*Fence*) (شکل۱-۵)، تخته‌های ساحلی (*Landscaping Timbers*) (شکل۱-۶)، روکش یا دیوارکوب (*Cladding and Siding*) (شکل۱-۷)، نیمکت پارک‌ها (*Park Benches*) (شکل۱-۸)، قالب یا پروفیل (*Molding*) (شکل۱-۹)، قاب (*Trim*) (شکل۱-۱۰)، چارچوب درب و پنجره

(*Window and Door Frame*) (شکل۱-۱۱ و ۱-۱۲) و مبلمان خانگی (*Indoor furniture*) (شکل۱-۱۳) نیز از آن استفاده می‌شود.

شکل ۱-۳ کف پوش بالکن



شکل ۱-۴ نرده

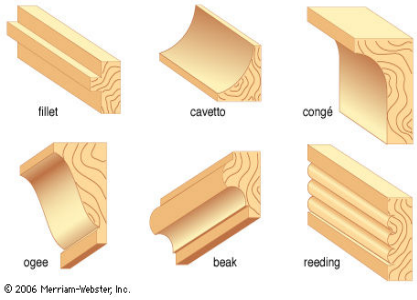


شکل ۱-۵ حصار

شکل ۱-۶ تخته‌های ساحلی

شکل ۱-۷ روکش

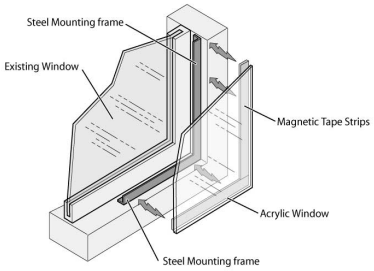
شکل ۱-۸ نیمکت پارک



شکل ۱-۹ قالب یا پروفیل

شکل۱-۱۰ قاب

شکل۱-۱۱ چارچوب درب



شکل۱-۱۲ چارچوب پنجره

شکل ۱-۱۳ مبلمان خانگی

نام‌های تجاری که به آن داده‌اند شامل: *Tech-Wood*، *Trex*، *JER Envirotech*، *Correct Deck*، *NewTech* و *Weatherbes* می‌شود. بازیافت پلاستیک‌ها و یا دیگر مواد افزودنی موجود در چوب-پلاستیک اغلب مشکل است چرا که ترکیبات، ساختاری جدید پیدا کرده و همراه با ناخالصی‌ها در چوب-پلاستیک باقی می‌مانند.

۱-۲-۳-۳ عوامل تهدیدکننده سلامت چوب-پلاستیک

به طور کلی عواملی که در بحث نگهداری صحیح و طولانی مدت فراورده چوب-پلاستیک در محیط سرویس باید مدنظر قرار گرفته و یا به عبارتی عمر مفید چوب-پلاستیک به آنها بستگی دارد، عبارتند از، انقباض و انبساط حرارتی، هم‌کشیدگی، خزش، جذب آب، واکشیدگی و کمانی-شدن، تخریب بیولوژیکی، تخریب توسط موریانه، سوختن، اکسیده‌شدن و فروریختن، اکسیداسیون نوری و کمرنگ شدن [۲۳].

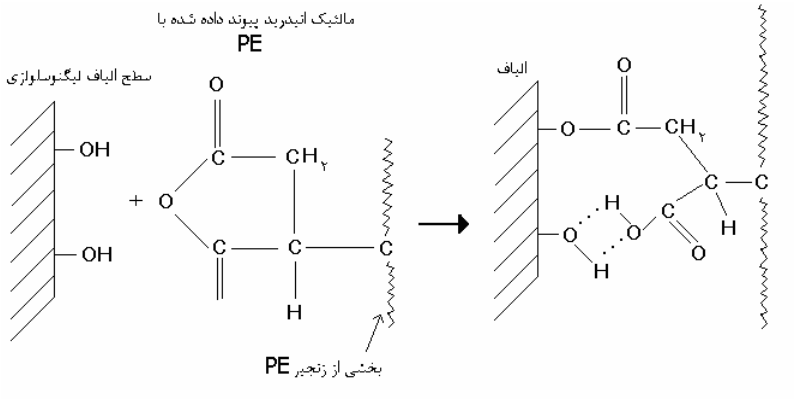
۱-۲-۳-۴ مواد

به دلیل مقاومت حرارتی محدود چوب، فقط پلاستیک‌های گرمانرم هستند که می‌توانند در دمای زیر ۲۰۰°C ذوب شده و در نتیجه در ساخت چوب-پلاستیک مورد استفاده قرار گیرند. در حال حاضر بیشتر چوب-پلاستیک‌ها با پلی‌اتیلن (بکر و یا بازیافتی) ساخته شده و برای استفاده در شرایط خارجی در ساختمان‌سازی مصرف می‌شوند. اگرچه چوب-پلاستیک‌های ساخته شده از چوب و پلی‌اتیلن به طور معمول برای استفاده در اتوموبیل و اخیرا نیز به عنوان پروفیل‌های ساختمانی مورد استفاده واقع می‌شوند. کامپوزیت پلی‌اتیلن و الیاف چوبی یکی از مواد شناخته‌شده و پرمصرف در صنایع اتوموبیل در دنیا است. کمپانی‌های بزرگی مثل فورد، میتسوبیشی و... به طور انحصاری فناوری این نوع کامپوزیت‌ها را در اختیار دارند[۲۶].

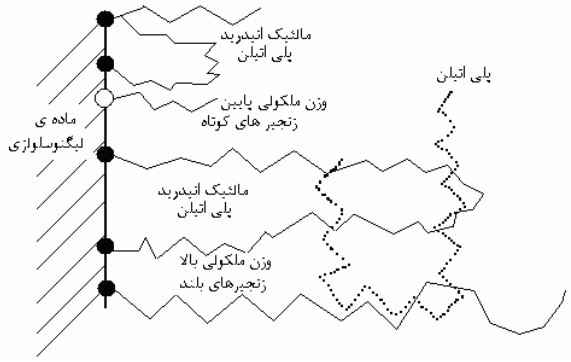
۱-۲-۴ سازگارکننده

از آنجایی‌که اجزای چوبی موجود در چندسازه‌ی چوب-پلاستیک در واقع قطبی بوده و پلاستیک‌ها نیز غیرقطبی می‌باشند، درنتیجه از انواع سازگارکننده‌های مختلف برای ارتباط بین این دو بخش استفاده می‌شود. یکی از متداول‌ترین سازگارکننده‌هایی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد، مالئیک‌انیدرید متصل شده به پلی‌اتیلن است (*MAPE*). انواع مختلفی از این ماده با وزن‌های ملکولی متفاوت و درصدهای متفاوت مالئیک موجود در آن، موجود است. وزن ملکولی متوسط عددی که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد ۲۰,۰۰۰ یا وزن ملکولی متوسط وزنی۴۰,۰۰۰ است و همچنین دارای حدود ۶ ٪ وزنی مالئیک انیدرید در پلیمر مورد استفاده می‌باشد.

به نظر می‌رسد که این سازگارکننده با دو مکانیسم متفاوت کار می‌کند. در ابتدا، انیدرید با گروه هیدروکسیلی پلیمرهای موجود در دیواره‌ی سلولی مواد لیگنوسلولزی واکنش داده و به صورت پیوند استری در می‌آید و در ادامه پلیمر با انیدرید درهم رفته، با شبکه‌ی مذاب *PE* پیوند برقرار می‌کند (شکل ۱-۱۴ و ۱-۱۵).



شکل۱-۱۴ واکنش بین گروه‌های هیدروکسیلی موجود در دیواره سلولی مواد لیگنوسلولزی با گروه‌های انتهایی *MAPE*



شکل۱-۱۵ درگیرشدن *PE* با *MAPE* در داخل شبکه‌ی *PE*

۱-۲-۵ روش‌های ساخت چندسازه چوب-پلاستیک

که شامل اکستروژن صفحه‌ای و پروفیلی، شکل‌گیری حرارتی، قالب‌گیری فشاری، قالب‌گیری تزریقی و قالب‌گیری انتقالی است[۱۰].

۱-۲-۶ فرایند ساخت

فرایند ساخت چندسازه‌های گرمانرم، اغلب از دو قسمت تشکیل شده است. مواد خام در ابتدا در فرایندی که به آن مرحله‌ی اختلاط می‌گویند با هم مخلوط شده و سپس این مخلوط به شکل

محصول فرم‌دهی می‌شود. مرحله‌ی اختلاط شامل تغذیه و توزیع پرکننده و مواد افزودنی به درون پلیمر ذوب شده است. گزینه‌های متفاوتی در مورد این مرحله وجود دارد که شامل استفاده‌ی هم‌زمان از هر دو ماده و یا ورود مرحله‌ای مواد می‌شود. مواد مخلوط شده می‌تواند فورا پرس شده و به شکل محصول نهایی فرم‌دهی شود و یا به صورت گرانول‌هایی برای فرایندهای بعدی ساخته شود.

بیشتر چوب-پلاستیک‌ها به شکل پروفیل از دستگاه خارج می‌شوند، یعنی چندسازه‌ی خمیری شکل از درون یک قالب با فشار عبور داده شده و در نتیجه پروفیل به اشکال متفاوت حاصل از شکل قالب انتهایی به طور پیوسته تولید می‌شود[۳۳].

۱-۲-۶-۱ مسائل مربوط به ترکیب، اختلاط و شکل‌دهی مواد

مسائلی که در فرایند ترکیب‌کردن، اختلاط و شکل‌دهی مواد مورد بحث و کنکاش بوده است، از این قرار است:

الف) ذرات چوب معمولا با شکل‌های بی‌قاعده، به شدت جاذب رطوبت و قطبی، حساس به دما ورطوبت هستند؛ در مقابل پلی‌اتیلن به شدت غیرقطبی و در ترکیب با سایر مواد ناسازگار است. این مساله سبب می‌شود تا بین دو جزء کاملا متفاوت کامپوزیت ارتباط کاملی به‌وجود نیامده و این جدایی باعث می‌شود تا تنش وارده از طرف ماده زمینه به الیاف منتقل نشده و خواص مکانیکی کامپوزیت کاهش یابد. ایجاد سازگاری میان دو جزء متفاوت در کامپوزیت‌ها با روش‌های شیمیایی و یا فیزیکی امکان‌پذیر است.

ب) به دست آوردن نسبت بهینه ترکیب پلیمر و الیاف چوبی به منظور افزایش خواص مکانیکی و قابلیت خواص فرایندپذیری و کاهش قیمت محصول؛

ج) تعیین اندازه‌ی بهینه ذرات، با توجه به افزایش خواص مکانیکی و پراکندگی بیشتر ذرات چوب؛

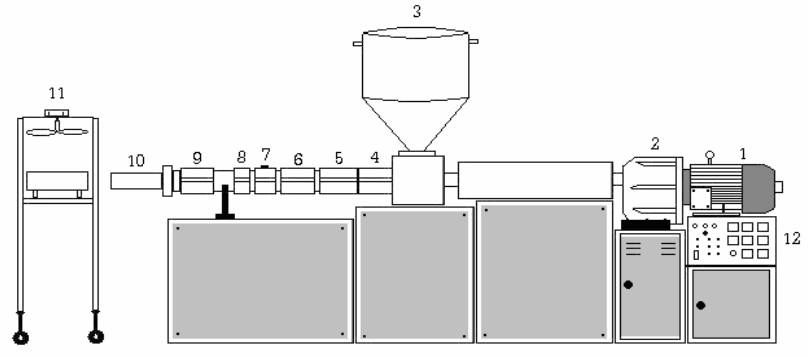
د) تقویت خواص مکانیکی زمینه با افزودن مواد چقرمه و انعطاف پذیر؛

ه) بررسی سیستماتیک فرایند ساخت و تعیین شرایط و پارامترهای فرایند؛

و) تقویت زمینه پلی‌اتیلن با استفاده از انواع الیاف چوبی و لیگنوسلولزی؛

۱-۲-۷ مشخصات دستگاه اکسترودر استفاده شده در این تحقیق

در شکل ۱-۱۶ تصویر شماتیکی از دستگاه مزبور به همراه شماره‌گذاری قسمت‌های اصلی آن مشاهده می‌شود. این دستگاه دارای دو ماردون در هم فرورفته و ناهمسوگرد بود.



۱- موتور ۲- گیربکس ۳- قیف تغذیه ۴- انتقال جامد ۵- ذوب ۶- اختلاط اولیه ۷- خروج بخار ۸- اختلاط ثانویه ۹- پمپ ۱۰- قالب ۱۱- خنک‌کننده ۱۲- صفحه کنترل

شکل ۱-۱۶ شمایی از دستگاه اکسترودر استفاده شده در این تحقیق

۱-۲-۸ نخل

در این تحقیق از آرد حاصل از آسیاب پسماندهای هرس سالانه درخت نخل رقم استعمران که گونه غالب استان خوزستان است و بیش از ۸۵٪ از نخلستان‌های این استان را شامل می‌شود، استفاده شد[۷].

۱-۲-۸-۱ جایگاه تاکسونومیک نخل خرما

نخل خرما از گیاهان تک‌لپه‌ای خانواده‌ی نخل‌ها است. این خانواده ۲۰۰ جنس و ۱۵۰۰ گونه دارد. یکی از جنس‌های این خانواده یعنی فونیکس دارای ۱۲ گونه می‌باشد که همگی آنها بومی مناطق

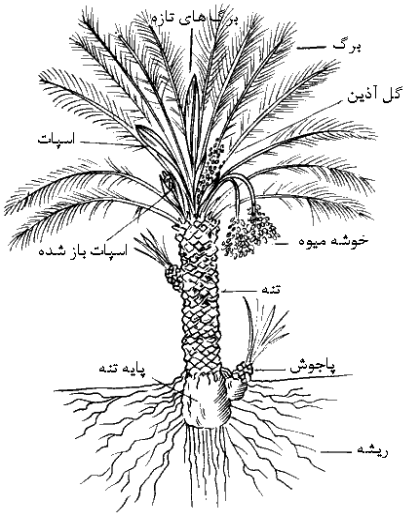
گرمسیری و نیمه‌گرمسیری آفریقا و جنوب آسیا هستند. یکی از این گونه‌ها نخل خرمای معمولی است. بر اساس طبقه بندی درانیسفیلد در سال ۱۹۸۶ جایگاه تاکسونومیک نخل خرما به شرح جدول ۱-۴ آمده است[۸]:

جدول ۱-۴ جایگاه تاکسونومیک نخل خرما

گروه	Spadiciflora
راسته	Palmea
خانواده	Palmaceae
زیرخانواده	Coryphyoideae
قبیله	Phoeniceae
جنس	Phoenix
گونه	Dactylifera

۱-۲-۸-۲ مورفولوژی درخت خرما

معمول‌ترین گونه نخل، درختی است که به شکل تکی کاشته شده و تنه آن بدون شاخه و نوک انتهایی آن تاجی از برگ است. نخل‌ها از لحاظ قطر متنوع بوده و رشد عرضی در آنها زودتر از رشد طولی رخ می‌دهد (شکل ۱-۱۷) [۲۲].



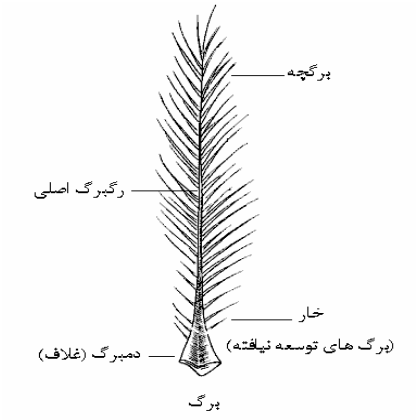
شکل ۱-۱۷ نخل خرما

۱-۲-۸-۳ برگ

وضع قرارگرفتن برگ‌ها بر روی تنه درخت خرما پیرو نظمی خاص و تابع خصوصیات راس رویشی ساقه و در حقیقت یکی از خصوصیات ارثی گیاه است.

درخت خرما همراه با رشد طولی خود، سالانه حدود ۲۰-۱۵ برگ در انتهای ساقه تولید می‌کند که از میان پوشش لیفی خارج می‌شوند. رشد برگ‌ها بسیار کند است و حدود ۴-۳ سال به طول می‌انجامد. برگ‌های جوان ساده و چین خورده‌اند ولی پس از چندی بریدگی‌های عمیقی در پهنک آنها ظاهر شده و به صورت برگ‌های مرکب پری یا شانه‌ای‌شکل در می‌آیند. هر برگ یک محور مرکزی به نام رگبرگ اصلی دارد که بر روی آن ۲۵۰-۱۰۰ برگچه قرار گرفته‌اند. دمبرگ در محل اتصال به تنه، غلاف مثلثی شکلی تشکیل می‌دهد (شکل۱-۱۸).

شکل و سایر مشخصات برگ در واریته‌های مختلف درخت خرما متفاوت است. به تدریج که برگ‌های جوان در انتهای ساقه ظاهر می‌شوند برگ‌های مسن پایین‌تر خشک می‌شوند و در هر حال باید حدود ۱۲۰-۱۰۰ برگ بر روی ساقه وجود داشته باشد. هر درخت خرما در شرایط مساعد سالانه ۲۰ برگ تولید می‌کند. با وجود اینکه هر برگ تا ۷ سال می‌تواند عمر کند، اما بیش از ۵ سال آن را روی درخت نگه نمی‌دارند که در ادامه در مورد دلایل آن بحث خواهد شد.



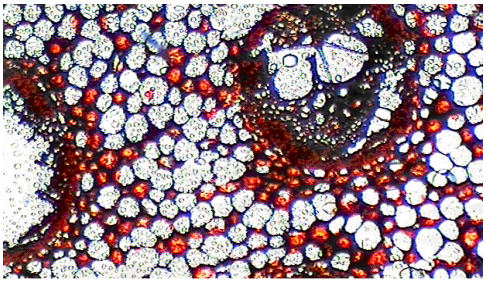
شکل۱- ۱۸ برگ نخل

۱-۲-۸-۴ ویژگی‌های آناتومیکی نخل

شکل ۱-۱۹ بخشی از برش طولی تنه نخل و شکل ۱-۲۰ مقطع عرضی ساقه نخل در رقم استعمران یعنی رقم مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. نخل، گیاهی تک‌لپه‌ای مشابه گیاهان علفی است که هیچگاه دوایر سالانه در آن تشکیل نمی‌شود. درون تنه‌ی نخل اساسا از بافت اولیه چوبی تشکیل شده است. برای تشکیل دوایر سالانه، بایستی در گیاهان، بافت ثانویه چوبی شعاعی از سمت درون به بیرون به وجود آید و به همین دلیل درخت نخل هیچگاه از طریق پیرامون تنه رشد نمی‌کند[۲۲].

شکل ۱-۱۹ بخشی از برش طولی تنه نخل

پاراتاساراتی (۱۹۷۴) ساختمان ریز چوب بالغ هجده گونه از یازده جنس نخل را مورد بررسی قرار داده و عنوان کرده است که اجزا آبکشی بالغ به طور معمول فاقد هسته بوده و فقط حاوی یک لایه نازک از سیتوپلاسم اصلی هستند. انواع پلاست‌ها و اجسام میتوکندری در اغلب مراحل رشد وجود دارد که میزان آن به سن اجزا آبکشی بستگی خواهد داشت[۲۹].



شکل ۱-۲۰ برش عرضی ساقه نخل رقم استعمران

تنه‌ی نخل به صورت خیلی محکمی ساخته شده و دسته‌های آوندی لیفی‌شکل در یک ملاط زمینه سلولزی به یکدیگر چسبیده‌اند. هر چه از مرکز تنه به طرف پیرامون آن پیش می‌رویم، لیگنینی شدن بیشتر می‌شود[۳۴].

کلوتز و پاراتاساراتی (۱۹۷۶) نیز طی مطالعاتی که در ساختمان ریز چوب نخل انجام دادند، نشان دادند که چوب درختان نخل از دسته‌جات آوندی اولیه که در داخل ملاتی از بافت‌های پارانشیمی قرار دارد، تشکیل شده است. بافت و سختی ساقه به پراکنش دسته‌جات آوندی و مقدار عناصر بافت اسکلرانشیمی بستگی دارد. اجزا آبکشی به مقدار زیاد مشابه پهن‌برگان بوده ولی عمر این اجزا در نخل‌ها بر خلاف سوزنی‌برگان طولانی است. مشاهدات میکروسکوپی نشان دادند که فیبرها دارای دیواره ثانویه کاملا شکل گرفته بوده و ظاهرا یک لایه دارند. شواهد نشان می‌دهد که پروتوپلاسم این سلول‌ها در مدت زمان طولانی دیواره ثانویه را تشکیل می‌دهند. فیبرها دارای سلول‌های حاوی سیلیکا هستند[۲۷].

سلول‌های بافت پارانشیمی، سلولهایی بزرگ با دیواره‌های نازک هستند. در این سلول‌ها، دیواره‌ی دومین به ندرت به وجود آمده و در نتیجه پروتوپلاسم آن‌ها زنده وفعال است. وظایف بافت پارانشیمی، فتوسنتز، ترشح، ذخیره‌ی مواد غذایی وآب است. پارانشیم فتوسنتزکننده کلرانشیم نامیده می‌شود که در بخش سبزرنگ گیاه دیده می‌شود.

بسیاری ازسلول‌های بخش خارجی پوست ساقه‌های جوان، دیواره‌ای دارند که بعضی بخش‌های آن ضخیم‌تر است. این سلول‌ها، سلول‌های کلانشیمی نام دارند. این سلول‌ها قابلیت رشد خود را حفظ کرده و هماهنگ با رشد گیاه، رشد می‌کنند. این سلول‌ها با دیواره‌ی ضخیم خود باعث استحکام و بر افراشته ماندن ساقه‌ها وسایر بخش‌ها می‌شوند و گاهی کلروپلاست داشته و فتوسنتز نیز انجام می‌دهند.

سلول‌های بافت اسکلرانشیمی برای استحکام بخشیدن به گیاه تمایز یافته‌اند. این سلول‌ها دیواره‌ی دومین ضخیمی تشکیل می‌دهند که در آن ماده‌ی چوبی (لیگنین) وجود دارد. چوبی شدن دیواره‌ی دومین باعث از بین رفتن پروتوپلاسم و مرگ سلول می‌شود. دو نوع سلول اسکلرانشیمی درگیاه یافت می‌شود که فیبرها و اسکلرئیدها می‌باشند. فیبرها سلول‌های دراز و کشیده‌ای هستند که در میان بافت‌های دیگر قرار گرفته‌اند. اسکلرئیدها سلول‌هایی کوتاه، اما انشعاب‌دار هستند که بیشتر در پوشش دانه‌ها و میوه‌ها یافت می‌شوند. در جدول ۱-۵ ضرایب لاغری و نرمش مربوط به ساقه و برگ نخل آمده است.

ساقه نخل رشد قطری ندارد و قطر آن از بالا به پایین یکسان است. علت قطور بودن ساقه نخل بزرگ شدن یاخته‌ای پارانشیمی ساقه و تمرکز ماده چوب و سایر مواد دیگر در دیواره‌های آنهاست[۵].

جدول ۱-۵ میانگین طول، قطر، قطر حفره سلولی، ضخامت دیواره سلولی و ضرایب لاغری و نرمش مربوط به الیاف برگ و ساقه نخل خرما [۱۵]

نوع ماده	طول الیاف	قطر الیاف	قطر حفره سلولی	ضخامت دیواره سلولی	ضریب لاغری[۱]	ضریب نرمش[۲]
برگ	۹۱۶/۶۶	۱۲/۰۲۷	۵/۹۳۹	۳/۰۴۶	۷۶/۲۱	۴۹/۳۸
ساقه	۸۹۷/۷۰۹	۱۵/۰۱۷	۶/۸۶۷	۴/۲۷۴	۵۹/۷۷	۴۵/۷۲

۱- طول الیاف / قطر الیاف (میکرون) ۲- قطر حفره سلولی / قطر الیاف × ۱۰۰

۱-۲-۸-۵ پراکنش جغرافیایی نخل در ایران

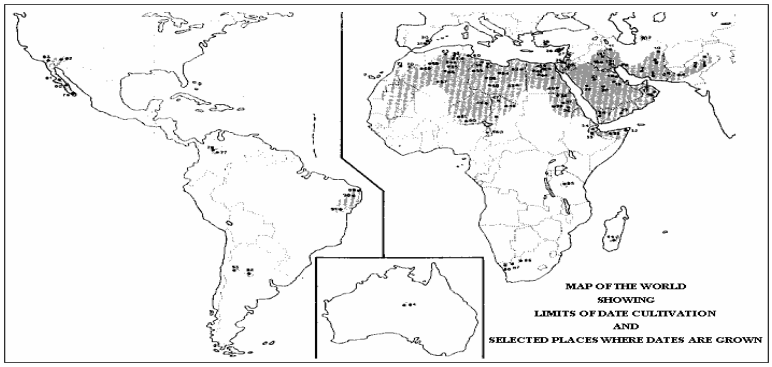
در کشور ما درختان خرما در سطح وسیعی از قصر شیرین در غرب تا خور و بیابانک و طبس در شرق و از بندر گوادر جنوبی‌ترین منطقه شرقی تا آبادان یعنی سراسر سواحل دریای عمان و خلیج فارس در مساحتی حدود ۹۳۰,۰۰۰ کیلومتر مربع در ۵۶٪ مساحت کل کشور انتشار دارند (شکل ۱-۲۱) [۸].

شکل۱-۲۱ نقشه محدوده مناطق خرماخیز ایران

محققان ادعا می‌کنند که حدود ۲٪ از اراضی قابل کشت کشور را نخلستان‌ها تشکیل می‌دهند. مقدار نخل‌های موجود در این اراضی ۲۰ تا ۲۷ میلیون اصله درخت برآورد گردیده است[۴].

۱-۲-۸-۶ پراکنش جغرافیایی نخل در جهان

درخت خرما مخصوص مناطق گرم، نیمه‌گرم و مرطوب است. مورخین موطن اصلی آن را سرزمین بین‌النهرین و عده‌ای شمال آفریقا دانسته‌اند و معتقدند از این مناطق به کشورهای ایران، پاکستان، هندوستان، مالزی، کالیفرنیا و بالاخره اسپانیا و جنوب فرانسه انتشار یافته و به عبارت دیگر امروزه درختان خرما در جهان در فواصل کمربند ۱۲ الی ۳۷ درجه عرض شمالی گسترش یافته‌اند[۲۱]. شکل۱-۲۲ محدوده مناطق خرماخیز را در جهان نشان می‌دهد.



شکل۱-۲۲ نقشه جهانی محدوده کشت خرما

۱-۲-۸-۷ استعمران، رقم استفاده شده در این تحقیق

در خوزستان (خرمشهر، آبادان و اهواز) و سواحل بوشهر (اهرم و خورموج) و کازرون کاشته شده و پرمحصول‌ترین رقم خرمای ایران است. درصد رطوبت میوه کم و از ارقام نیمه خشک بوده و به همین دلیل قسمت بیشتر خرمای صادراتی کشور ما را تشکیل می‌دهد. شکل میوه آن کشیده است. رنگ خارک آن زرد و رنگ میوه آن قهوه‌ای است. در نقاط مختلف به نام‌های مختلف از جمله سایر، سعمران و یا سعمارونی خوانده می‌شود. البته در عراق نیز رقمی به نام سایر وجود دارد که از نوع نرم بوده و رنگ میوه‌ی آن قرمز مایل به قهوه‌ای تیره است[۸].

۱-۲-۸-۸ ضرورت هرس نخل

برگ، عضو فعال و سازنده مواد غذایی گیاه است که به کمک نور خورشید از گاز کربنیک هوا و آب جذب شده از ریشه، مواد قندی تولید می‌کند. کلیه‌ی مواد آلی موجود در بافت‌های گیاهی از جمله پروتئین‌ها، اسیدها، چربی‌ها و ویتامین‌ها در اثر تغییر حالت همین مواد قندی ساخته می‌شوند. برگ زمانی فعال است که دارای سبزینه (کلروفیل) باشد و میزان ساختن مواد غذایی آن از مصرفش (به صورت تنفس) بیشتر باشد. طول عمر برگ‌ها متفاوت و ۵-۱ سال است.

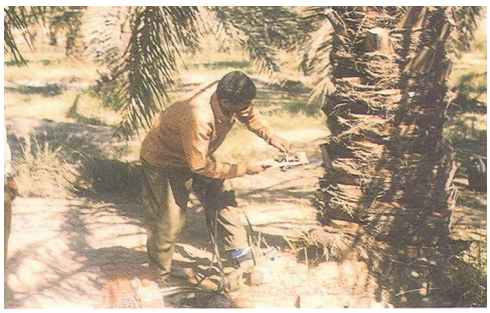
فعالیت برگ مانند هر عضو دیگری، در طول زندگیش به تدریج افزایش می‌یابد و سپس رو به کاهش می‌گذارد تا سرانجام به مرحله پیری و مرگ برسد. فعالیت برگ درختان خرما در سن ۵-۴ سالگی به حداقل می‌رسد و بیشتر حالت مصرف‌کننده مواد غذایی را پیدا می‌کند. معمولا فعالیت یک برگ چهارساله از نظر ساختن مواد غذایی حدود ۵۰٪ یک برگ یک ساله است. برگ درختان خزان‌دار در مدت زمان کوتاهی زرد شده و در فصل پاییز با وزش باد یا به طور طبیعی به زمین می‌ریزد اما این در مورد درخت خرما صدق نمی‌کند. برگ‌های مسن به تدریج خشک می‌شوند و می‌میرند ولی بر روی درخت باقی مانده و باید توسط انسان قطع شوند. اگرچه برگ‌های مسن و خشک‌شده‌ای که روی درخت خرما می‌مانند می‌توانند تا اندازه‌ای برگ‌های جوان را از شرایط

نامساعد محیطی محافظت کنند و به همین دلیل باغدار برای قطع این برگ‌ها عجله نکرده و معمولا یک سال آنها را نگاه می‌دارد. اما به طور کلی برگ‌های مسن و پیر که به طرف زمین خم می‌شوند مقدار زیادی از فضای باغ را اشغال و از تهویه مناسب هوا در نخلستان جلوگیری می‌کنند. وجود برگ‌های مسن و پیر بر روی درختان خرما باعث ازدیاد امراض فیزیولوژیکی (ترک برداشتن و سیاهی نوک میوه خرما) می‌شود.

عمل هرس ته برگ خرما همواره یکی از مشکلات نخلیات کشور بوده است، زیرا به کارگر ماهر نیاز داشته و به علت کندی عملیات، هزینه‌بر است (شکل ۱-۲۳)، به همین منظور تحقیقی در مورد ساخت دستگاه مناسبی برای این کار توسط مستوفی (۱۳۷۶) صورت گرفت[۱۶]. این دستگاه به نحوی ساخته شده که بتواند هم به طور مستقل و هم با استفاده از خروجی یدکی هیدرولیک تراکتور و یا به عنوان دستگاه الحاقی به ماشین خدمات خرما به کار گرفته شود. به علت سهولت استفاده و راندمان بالا، این دستگاه قادر به کاهش هزینه‌های داشت نخلیات خواهد بود.

بر اساس آمار منتشر شده بیش از ۲ ٪ از اراضی قابل کشت کشور یعنی چیزی در حدود ۲۱۸,۰۰۰ هکتار به نخلستان‌ها تعلق داشته و در هر هکتار رقمی در حدود ۱۵۰ اصله درخت موجود است و تعداد زیادی از استان‌های کشور نیز بویژه استان‌های جنوبی به نوعی با کشت این محصول سروکار دارند. هر اصله درخت نخل در سال ۱۵ تا ۲۵ برگ تولید می‌کند. طول عمر برگ نخل با توجه به شرایط متفاوت اقلیمی، آبی و خاکی و روش‌های داشت نخلستان بین ۳ تا ۷ سال می‌باشد. برگ‌های مسن وقتی شروع به خشک شدن می‌کنند از درخت خرما هرس و قطع می‌شوند. در طول یک سال قریب به ۱۵ تا ۲۵ برگ از یک درخت می‌بایست هرس شود. افزون بر آن قاعده برگ و الیاف اطراف آن نیز می‌بایست حذف و هرس شود (عمل تکریب). وزن متوسط هر برگ خرما ۲ تا ۳ کیلوگرم می‌باشد. بنابراین تعمیم این مقدار به چند میلیون اصله، حجم زیادی خواهد بود که در حال حاضر مدیریت صحیح و بهینه‌ای در بهره‌برداری از این بقایا وجود ندارد. در

حال حاضر در بسیاری از باغات خرما این بقایا سوزانده می‌شود. در برخی مناطق نیز از برگ خرما جهت ساخت سایه‌بان، آلاچیق، بادشکن و پوشش نهال‌های تازه کشت شده درختان میوه از جمله خرما استفاده می‌شود. با توجه به این موارد انجام این پژوهش در جهت استفاده از ضایعات و بقایای نخلستان‌ها در تولید فراورده‌ی چوب-پلاستیک ضروری می‌نماید[۹].



شکل۱-۲۳ هرس شاخه های قدیمی با استفاده از تیغه گردبر

۱-۲-۹ اهداف

۱. امکان استفاده از درصد اختلاط بالای آرد نخل در ساخت چندسازه‌ی آرد نخل- پلی‌اتیلن

۲. مقایسه‌ی آرد ساقه‌ی نخل با برگ آن به عنوان پرکننده در ساخت چندسازه‌ی الیاف طبیعی- پلاستیک

۱-۲-۱۰ فرضیه‌ها

۱. با نوجه به مقاومت وسفتی بالاتر الیاف سلولزی نسبت به پلی‌اتیلن، به نظر می‌رسد با افزایش مقدار آرد نخل تا حد معینی، برخی از خواص مکانیکی چندسازه بهبود یابد.

۲ . باتوجه به اینکه بافت ساقه‌ی نخل محکم‌تر و خشبی‌تر از بافت برگ است، به‌نظر می‌رسد استفاده از ساقه نخل به تنهایی، خواص مکانیکی چندسازه را بهبود بخشد.

فصل دوم

سابقه تحقیق

۲-۱ چندسازه‌های نخل-پلیمر

در سال ۱۹۹۵، تحقیقی توسط زاینی و همکاران بر روی تاثیر مقدار و اندازه‌ی پرکننده بر ویژگی-های مکانیکی آرد چوب نخل روغنی ($OPWF$)[1]، در پلی‌پروپیلن صورت گرفت که در آن، مقادیر متفاوت آرد چوب در ۴ اندازه‌ی متفاوت درون یک اکسترودر دو ماردونه با هم ترکیب شدند. در تمامی اندازه‌ها با افزایش مقدار آرد چوب، ویژگی‌های مکانیکی افت پیدا کردند. از نقطه نظر اندازه، چندسازه‌ی پرشده با ذرات درشت‌تر، مقاومت کششی و در هم فشردگی بیشتری به خصوص در حالتی که بیشترین مقدار پرکننده استفاده شد، از خود نشان داد. $OPWF$ مورد استفاده در این مطالعه با هیچ نوعی از مواد جفت‌کننده آمیخته نشد[۳۵].

همچنین در سال ۱۹۹۶، تحقیقی توسط اسماعیل حنفی و همکارانش در دانشگاه مالزی بر روی چندسازه‌ی آرد نخل روغنی و لاستیک طبیعی، صورت گرفت. آنها تاثیر اندازه و مقدار آرد نخل روغنی را بر روی ویژگی انعقاد و ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌ی آرد چوب نخل روغنی و لاستیک طبیعی مطالعه کردند. زمان حرارت‌دهی و انعقاد در تمامی مش‌ها با افزایش مقدارآرد نخل روغنی، کاهش یافت و در هر مقداری از آرد نخل روغنی، استفاده از ذرات بزرگ‌تر آرد باعث کاهش زمان حرارت‌دهی و انعقاد شد. نیروی چرخش با افزایش مقدار آرد و یا با کاهش اندازه‌ی ذرات آرد، افزایش پیدا می‌کرد. افزایش مقدارآرد نخل روغنی در لاستیک طبیعی باعث کاهش مقاومت کششی و افزایش طول شکست و در مقابل باعث افزایش مقاومت برشی و سفتی شد. به

[1] Oil Palm Wood Flour

علاوه چندسازه‌های پر شده با ذرات کوچک‌تر آرد نخل روغنی، مقاومت کششی و مدول کششی بیشتری از خود نشان دادند[۲۴].

در تحقیق دیگری در سال ۱۹۹۸، روزمان و همکاران ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌ی ساخته شده از پلی‌اتیلن با دانسیته‌ی بالا و آرد نخل روغنی را مورد بررسی قرار دادند. سه اندازه از آرد نخل در سه سطح اختلاط در یک اکسترودر تک ماردونه با پلی‌اتیلن ترکیب شدند. مدول گسیختگی چندسازه‌های حاصل با افزایش مقدار آرد نخل کاهش یافت. نمونه‌هایی که با ذرات ریزتر ساخته شده بودند، مدول گسیختگی بالاتری داشتند. ترکیب آرد نخل روغنی با پلی‌اتیلن، ویژگی‌های کششی و فشاری نمونه‌ها را نیز کاهش داد. آنها چنین نتیجه‌گیری کردند که این کاهش مربوط به عدم توزیع مناسب ذرات آرد نخل در درون ماده‌ی زمینه پلیمری است که شانس قرار گرفتن ذرات نخل در کنار یکدیگر را نیز افزایش می‌دهد. بررسی توسط میکروسکوپ الکترونی نیز آشکار ساخت که ذرات نخل که درون ماده‌ی زمینه قرار گرفته بودند به صورت دسته‌هایی از الیاف و به شکل نامنظم قرار داشتند و معمولا شکست از مناطقی که مقدار این دسته‌ها بیشتر بود، رخ داده است. این مکانیسم تخریب، در واقع دلایل روشنی برای کاهش مقاومت‌های مکانیکی این چندسازه را ارائه می‌دهد[۳۰].

۲-۲ چندسازه‌های ساخته شده از سایر منابع لیگنوسلولزی

در سال ۱۹۹۴ خواص مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده از خاک اره، خاک سمباده و پوشال با پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. مقدار الیاف ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ٪ در نظر گرفته شد. نتایج حاکی از این بود که با افزایش میزان الیاف، شاخص جریان مذاب و مقاومت به ضربه کاهش و در مقابل مقاومت کششی، مدول خمشی، جذب آب و واکشیدگی ضخامت، افزایش می‌یابند[۲۱].

به منظور استفاده از آرد چوب به عنوان پرکننده، لازم است که تاثیر گونه و اندازه‌ی ذرات بررسی شود. این تحقیق در سال ۱۹۹۷ توسط خانم نیکول استارک[1] صورت گرفت. برای بررسی تاثیر گونه‌ها، آرد چوب ۴ گونه‌ی مختلف آزمایش شد. کاج پوندوروزا[2]، افرا، بلوط و کاج لابلولی[3]، به عنوان تقویت‌کننده در پلی‌پروپیلن با درصدهای وزنی ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ مورد استفاده قرار گرفتند.

در این تحقیق با افزایش مقدار آرد چوب، مدول کششی، دانسیته، درجه حرارت تخریب گرمایی و انرژی فشردن لبه‌ها افزایش یافته در حالیکه مقاومت پیچشی و کششی، امتداد کشش، هم-کشیدگی قطعه‌ی نهایی، شاخص جریان مذاب و انرژی فشردن سطوح صاف کاهش یافتند. به طورکلی، پهن‌برگان تا اندازه‌ای، ویژگی‌های کششی و پیچشی و همچنین درجه حرارت تخریب گرمایی بهتری از سوزنی‌برگان دارند. اندازه‌ی ذرات آرد چوب تاثیری بر وزن مخصوص نداشته ولی بر ویژگی‌های دیگری موثر است. شاخص جریان مذاب، درجه حرارت تخریب گرمایی و انرژی فشار لبه‌ها با افزایش اندازه‌ی ذرات افزایش پیدا می‌کند، در حالیکه انرژی فشردن سطوح صاف کاهش پیدا می‌کند. با استفاده از ذرات کوچک‌تر از ۰/۲۵ mm هم‌کشیدگی قطعه‌ی نهایی کاهش پیدا کرد. مدول کششی و پیچشی با افزایش اندازه‌ی ذرات آرد چوب افزایش یافت[۳۳].

چن و همکاران (۱۹۹۷) ۵۰٪ وزنی از نوعی از الیاف بامبو و *MAPE* به عنوان سازگارکننده با پلی‌اتیلن را در مخلوط کن‌هاک[4] ترکیب کردند. استحکام کششی در حدود ۳۲ تا ۳۶ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته ۵ تا ۶ گیگا پاسکال گزارش شد که با افزایش اندازه‌ی ذرات از ۰/۵ تا ۲ میلی-متر، استحکام کاهش معنی‌داری از خود نشان نداد[۲۰].

چوب-پلاستیک برای بسیاری از کاربردهای ساختمانی که ممکن است در معرض شرایط متفاوت جوی قرار بگیرند ساخته می‌شود. به همین منظور تحقیقی توسط نیکول استارک در سال

[1] Nicole Stark
[2] Pondorosa Pine
[3] pine Loblolly
[4] Ken Haake

۲۰۰۱ صورت گرفت. چندسازه‌هایی که از ۲۰ ٪ و۴۰ ٪ آرد چوب (به لحاظ وزنی) تشکیل شده بودند در معرض شرایط متفاوت جوی قرار گرفتند. چندسازه‌هایی که حاوی ۲۰ ٪ آرد چوب بودند در تمام شرایط جوی رطوبت جذب کردند ولی تخریب ویژگی‌ها در حد معنی‌داری مشاهده نشد. چندسازه‌های حاوی ۴۰ ٪ چوب، رطوبت بیشتری جذب کردند. خواص خمشی چندسازه‌هایی که در معرض رطوبت نسبی ۹۰ ٪ قرار گرفته و یا در آب غوطه‌ور شدند، کمتر از خواص خمشی چندسازه‌های دیگر بود. مقاومت دندانه‌ها و لبه‌های فشرده و ویژگی‌های کششی آنها فقط در حالتی که چندسازه‌ها درون آب قرار گرفتند، کاهش پیدا کرد، در حالی که مقاومت سایر نقاط چندسازه با جذب آب تفاوت معنی‌داری پیدا نکرد[۳۲].

سینگلتون و همکاران در سال ۲۰۰۳ مقاومت مکانیکی مواد مرکب ساخته شده از پلی‌اتیلن سنگین (*HDPE*) بازیافتی و الیاف کتان را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده تابعی از مقدار الیاف می‌باشد. اگرچه در این تحقیق مقایسه‌ای بین مواد ساخته شده با پلی‌اتیلن بازیافتی و خام انجام نشد، ولی سینگلتون و همکاران بیان داشتند که خام یا بازیافتی بودن پلی‌اتیلن نمی‌تواند تاثیر زیادی داشته باشد[۳۱].

ازآنجایی که مقدار انیدریک مالئیک بر خواص بینابینی آرد چوب و ماتریس اثرگذار است، تحقیقی توسط نوربخش و همکاران در سال ۱۳۸۳ در این زمینه صورت گرفت. آنها اثر مواد لیگنوسلولزی را در سطوح مختلف انیدریدمالئیک پلی‌پروپیلن در چندسازه الیاف و آرد چوب-پلی-پروپیلن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مقادیر مقاومت به ضربه و مقاومت کششی چندسازه با ۲ ٪ جفت کننده بیشتر از چندسازه‌ی بدون جفت‌کننده است. مقاومت به ضربه‌ی چندسازه‌ی با ۲ ٪ جفت‌کننده کمتر از پلی‌پروپیلن خالص بود و اتصال سطح مشترک میان الیاف و آرد چوب و ماده‌ی زمینه اثر زیادی بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه داشت[۱۷].

همچنین در سال ۱۳۸۳ ساخت چندسازه با استفاده از کاه گندم و پلی‌اتیلن بازیافتی توسط گرجانی صورت گرفت. وی در این تحقیق از ذرات کاه گندم با نسبت وزنی ۱۵، ۳۰ و ۴۰ ٪ با اندازه ذرات ۲۵- ۱۲ و ۴۰- ۲۵ و ۲ ٪ مالئیک انیدرید استفاده کرد. نتایج نشان داد افزایش کاه تا ۳۰ ٪ باعث بهبود خواص کششی و خمشی می‌شود. نمونه‌های حاصل از ذرات ریز کاه خواص مقاومت به ضربه و مدول خمشی بهتری را نشان دادند و مالئیک انیدرید باعث بهبود خواص مکانیکی چندسازه شد[۱۳].

در سال‌های اخیر استفاده از الیاف پسماند گیاهان زراعی به جای الیاف چوب رایج شده و در همین زمینه تحقیقی توسط کریمی و همکاران در سال ۱۳۸۳ با عنوان امکان استفاده از کنف و باگاس در ساخت چندسازه الیاف-پلی‌پروپیلن صورت گرفت. دو نوع الیاف کنف و باگاس با نسبت‌های ۱۰، ۲۰، ۲۵ و۳۰٪ وزنی با پلی‌پروپیلن مخلوط شدند. از پلی‌پروپیلن مالئیک انیدریددار شده[1] به میزان ۲ ٪ به عنوان سازگارکننده در تمام ترکیبات استفاده شد. به علاوه از دی کومیل پراکساید[2] به میزان ۱٪ وزنی الیاف استفاده شد. نتایج حاکی از این بود که با افزودن الیاف کنف و باگاس، مقاومت کششی، تغییر طول در مرحله‌ی شکست و مقاومت به ضربه کاهش ولی مدول الاستیسیته و سختی بهبود می‌یابد. الیاف کنف در مقایسه با الیاف باگاس خواص بهتری را سبب می‌شوند[۱۲].

شاکری و امیدوار در سال۱۳۸۴، در تحقیقی، اثر نوع، مقدار و اندازه‌ی ذرات کاه را بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی‌اتیلن سنگین-کاه غلات مورد بررسی قرار دادند. آنها کاه گندم و ساقه برنج را با نسبت وزنی ۱۵، ۳۰ و ۴۰٪ با پلی‌اتیلن مخلوط و از ۲٪ وزنی ***MAPP*** در تمامی تیمارها استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که افزایش کاه تا مقدار ۳۰٪ وزنی موجب بهبود استحکام خمشی شده، ولی این خواص در ۴۰٪ کاهش پیدا می‌کند. با افزایش مقدار کاه، استحکام ضربه‌ای

[1] MAPP
[2] DCP

کاهش و ذرات ریزتر استحکام ضربه‌ای و مدول خمشی بهتری را نشان می‌دهند. همچنین نتایج میکروسکوپ الکترونی پویشی نشان داد که افزودن مالئیک انیدرید، سبب بهبود خواص مکانیکی و چسبندگی بین پلیمر و ذرات کاه می‌شود[۱۱].

مجید چهارمحالی و همکاران در تحقیقی در سال ۱۳۸۴ امکان ساخت تخته‌های چوب-پلاستیک با استفاده از روش ذوب مخلوط را مورد بررسی قرار دادند، این تخته‌ها با دانسیته اسمی g/cm^3 ۱و ابعاد ۱×۳۵×۳۵ سانتیمتر از ضایعات پلی‌اتیلن سنگین و ضایعات تخته‌خرده‌چوب و ضایعات *MDF*[1] (به عنوان الیاف طبیعی) با نسبت وزنی ۷۰،۶۰ و ۸۰ ٪ الیاف ساخته شدند. سپس خواص فیزیکی مانند مدول الاستیسیته خمشی، مقاومت خمشی، قدرت نگهداری پیچ و میخ عمود بر سطح و مقاومت به ضربه بدون فاق اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان دادند که مدول الاستیسیته با افزایش درصد الیاف تا ۷۰ درصد، افزایش داشته و تا سطح ۸۰ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش درصد الیاف، مقاومت خمشی در اکثر موارد به طور معنی‌داری کاهش یافت[۶].

[1] Medium Density Fiber Board

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱ جدول تیمارها

در این تحقیق به منظور بررسی خواص مکانیکی چندسازه چوب-پلاستیک از بافت‌های مختلف گیاهی حاصل از ضایعات هرس سر شاخه‌های نخل از سه بخش ساقه، برگ و مخلوط به شکل آرد و با مش۴۰-۲۵ و با درصدهای اختلاط ۴۵، ۶۰ و ۷۵ در ترکیب با پلی‌اتیلن استفاده شد. برای بررسی این متغیرها بر روی چندسازه ۱۰ تیمار و برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد. مقادیر مذکور در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱ میزان و درصد مواد مورد استفاده در تیمارها.

شماره تیمار	نام تیمار	بافت گیاهی	آرد نخل	PE	MAPE
۱	A_1B_1	ساقه	۴۵	۵۳	۲
۲	A_1B_2	ساقه	۶۰	۳۸	۲
۳	A_1B_3	ساقه	۷۵	۲۳	۲
۴	A_2B_1	برگ	۴۵	۵۳	۲
۵	A_2B_2	برگ	۶۰	۳۸	۲
۶	A_2B_3	برگ	۷۵	۲۳	۲
۷	A_3B_1	ساقه و برگ	۴۵	۵۳	۲
۸	A_3B_2	ساقه و برگ	۶۰	۳۸	۲
۹	A_3B_3	ساقه و برگ	۷۵	۲۳	۲
۱۰	شاهد	-----	۰	۱۰۰	۰

مراحل این تحقیق شامل موارد زیر بود:

۱- تهیه مواد اولیه ۲- آماده‌سازی مواداولیه ۳- اختلاط مواد درون اکسترودر و تهیه گرانول ۴- ساخت تخته ۵- تهیه نمونه‌های آزمونی ۶- آزمایش‌های مکانیکی ۷- تجزیه و تحلیل آماری

۳-۲ تهیه مواد اولیه

ماده زمینه در این تحقیق، پلیمر پلی‌اتیلن و آرد پسماندهای حاصل از هرس سالانه‌ی درخت نخل خرما در سه بخش برگ، ساقه و مخلوط به عنوان پرکننده بوده و از مالئیک‌انیدرید جفت‌شده با پلی‌اتیلن هم به عنوان ماده‌ی سازگارکننده بین دو فاز استفاده شد (شکل۳-۱ تا ۳-۳).

شکل ۳-۱ برگ نخل و آرد آن

شکل۳-۲ ساقه نخل و آرد آن

شکل۳-۳ مخلوط ساقه و برگ و آرد آن

برای ساخت این چندسازه، از پلی‌اتیلن پودر شده استفاده شد. مالئیک‌انیدرید پلی‌اتیلن نیز با میزان ۶٪ مالئیک انیدرید ساخته شد (شکل۳-۴).

شکل ۳-۴ آرد پلی‌اتیلن و مالئیک انیدرید پلی‌اتیلن

۳-۳ آماده سازی مواد اولیه

در ابتدا حدود ۳۰ کیلوگرم برگ به همراه ساقه از درختان خرما به صورت تصادفی هرس شده و پس از انتقال آنها به شهر گرگان، پسماندهای حاصل به مدت ۴ ماه در محیط آزاد قرار گرفتند تا خشک شده و به رطوبت محیط برسند. بعد از گذشت این زمان رطوبت ساقه به ۹/۷۵٪ و رطوبت برگ نیز به ۸/۴۳٪ رسید.

۳-۳-۱ تفکیک ماده به سه بخش ساقه، برگ و مخلوط

برای این منظور ابتدا کل ماده اولیه آماده شده (۳۰کیلوگرم) به ۳ قسمت تقریبا مساوی از نظر وزنی تفکیک شده و در ادامه با جدا کردن برگ‌های موجود در ۲ قسمت و باقی گذاشتن بخش سوم به صورت اولیه، مواد به ۳ صورت برگ، ساقه و مخلوط آماده شدند. بخش مخلوط هم با نسبت ساقه به برگ، ۴۲ به ۵۸، یعنی نسبت طبیعی بر روی درخت برای کار در نظر گرفته شد. ساقه‌ها توسط دستگاه کفرند خرد شده و در مرحله بعد آسیاب شدند (شکل۳-۵).

شکل ۳-۵ دستگاه کف رند

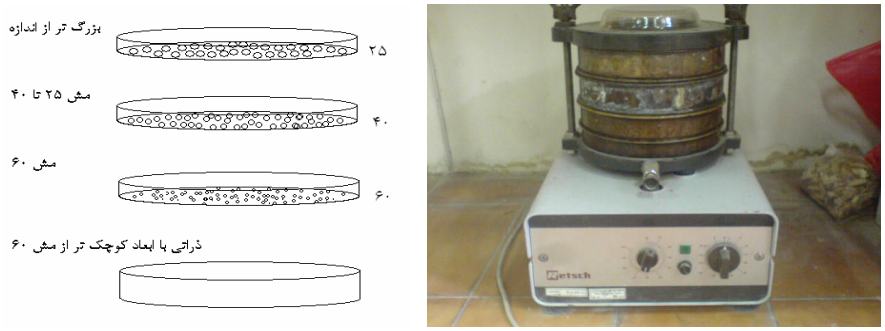
مواد مخلوط نیز توسط دستگاه کاه‌خردکن کشاورزی خرد و سپس آسیاب شدند (شکل ۳-۶).

شکل۳-۶ دستگاه کاه خرد کن

برگ ها نیز مستقیما توسط آسیاب آزمایشگاهی آسیاب شدند (شکل۳-۷).

شکل ۳-۷ آسیاب آزمایشگاهی

به منظور ایجاد یکنواختی در اندازه ذرات آرد نخل، مواد از روی ۲ الک الکتریکی با مش‌های ۲۵ و ۴۰ عبور داده شده و ذرات باقی‌مانده بر روی الک ۴۰ مش برای ساخت تخته‌ها جمع‌آوری و درون کیسه‌هایی قرار داده شدند (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸ الک الکتریکی(راست)، تصویر شماتیک الک(چپ)

قبل از مرحله اختلاط، مواد درون آون آزمایشگاهی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳±۱۰۰ °C قرار گرفتند. در این مرحله بخشی از هر نمونه هر دو ساعت توزین می‌شد تا از رسیدن رطوبت نمونه‌ها به صفر درصد اطمینان حاصل شود. مواد داخل کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده و درون هر کیسه یک بسته سیلیکاژل به وزن تقریبی ۳۰ گرم قرار داده شد تا از بابت عدم جذب مقدار ناچیزی رطوبت تا مراحل بعدی اطمینان حاصل شود.

۳-۴ اختلاط مواد درون اکسترودر

در این مرحله از هر نوع مواد یعنی ساقه، برگ و مخلوط باید سه قسمت جدا می‌شد تا با نسبت‌های مختلف با پلی‌اتیلن مخلوط گردد (مقدار *MAPE* در حد ۲٪ و ثابت در نظر گرفته شد). با توجه به اینکه درصد آرد نخل در هر تیمار متفاوت بود در نتیجه می‌بایست با توجه به همین مقدار، مواد به سه بخش تقسیم می‌شد تا پس از اختلاط با پلی‌اتیلن وزن هر سه گروه مواد مخلوط شده با هم برابر باشد. در اینجا کل ماده در هر سه گروه توزین شده و با توجه به اینکه یک نسبت ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درصدی از این آردها قرار بود استفاده شود، مجموع این سه نسبت یعنی ۱۸۰ را در نظر گرفته و مطابق آن مواد به سه بخش تقسیم شد. به عنوان نمونه وزن کل آرد ساقه موجود پس از خشک کردن ۳/۸۶۰ کیلوگرم بود. در نتیجه:

$$\frac{3.860}{x} = \frac{180}{75} \Rightarrow x = 1.608kg$$
$$\frac{1.608}{W} = \frac{75}{100} \Rightarrow w = 2.144kg$$

رابطه (۳-۱)

X= مقدار آرد مصرفی در نسبت ۷۵٪

W= وزن کل چندسازه حاصله

در نتیجه مقدار ۱/۶۰۸ کیلوگرم از آرد ساقه برای این تیمار جدا شد و بعد از اختلاط با پلی‌اتیلن وزن کل مخلوط به ۲/۱۴۴ کیلوگرم رسید. در نتیجه در اثر کسر این مقدار از مقدار آرد ساقه مقدار پلی‌اتیلن و *MAPE* به دست می‌آید:

$2.144 - 1.608 = 536g$ مقدار سازگارکننده و پلی‌اتیلن

مقدار *MAPE* معادل ۲٪ وزن کل ماده است و در نتیجه:

مقدار سازگارکننده $2.144 \times 2\% = 42.88g$

سپس با کسر مقدار *MAPE* از مقدار کل، پلی‌اتیلن مصرفی برای هر درصد وزنی به دست آمد:

$536 - 42.88 = 493.12g$

جدول ۳-۲ مقادیر محاسباتی برای تمامی تیمارها را نشان می‌دهد.

جدول۳-۲ وزن ساقه، برگ، مخلوط و میزان پلی‌اتیلن متناظربرای هر تیمار.

ماده	وزن نهایی ماده(پس از آسیاب، الک و خشک کن) kg	درصد اختلاط	مقدار نخل برای هر تیمار A kg	وزن ماده لازم برای هر تیمار(MAPE+PE)+ پسماند نخل B kg	وزن MAPE ۲٪ کل ماده(B) g	وزن PE (B-A)-C g
ساقه	۳/۸۶۰	۷۵	۱/۶۰۸	۲/۱۴۴	۴۲/۸۸	۴۹۳/۱۲
		۶۰	۱/۲۸۶			۸۱۵/۱۲
		۴۵	۰/۹۶۵			۱۱۳۶/۱۲
برگ	۲/۶۴۵	۷۵	۱/۱۰۲	۱/۴۶۹	۲۹/۳۸	۳۳۷/۶۲
		۶۰	۰/۸۸۱			۵۵۷/۶۲
		۴۵	۰/۶۶۱			۷۷۷/۶۲
مخلوط	۵/۱۲۰	۷۵	۲/۱۳۳	۲/۸۴۴	۵۶/۸۸	۶۵۴/۱۲
		۶۰	۱/۷۰۶			۱۰۸۰/۱۲
		۴۵	۱/۲۸۰			۱۵۰۷/۱۲

در مرحله بعد ابتدا مواد درون سطلی توسط یک همزن به خوبی مخلوط شده و سپس داخل اکسترودر مدل ۴۸۱۵ با نسبت L/D =۲۱ ریخته شدند. پس از خروج مواد از قالب انتهایی دستگاه، به صورت دستی و توسط یک کاردک مرتبا مواد خارج شده قطع و گرانول‌سازی به این ترتیب صورت گرفت. در مرحله بعد گرانول‌های به دست آمده توسط آسیاب تیغه‌ای به پلت[1] تبدیل شدند (شکل ۳-۹).

شکل۳-۹ پلت‌های آماده برای پرس

[1] Pellet

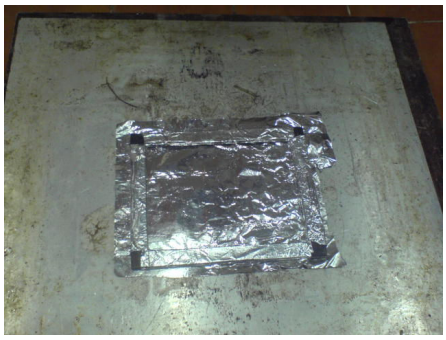
دمای قسمت‌های مختلف دستگاه اکسترودر و همچنین سرعت چرخش ماردون‌ها در جدول ۳-۳ آمده است. لازم به ذکر است برای رسیدن به این اعداد چندین نمونه‌ی آزمایشی ساخته شده و بهترین آنها انتخاب شد.

جدول۳-۳ دمای قسمت‌های مختلف دستگاه اکسترودر و سرعت خروج مواد

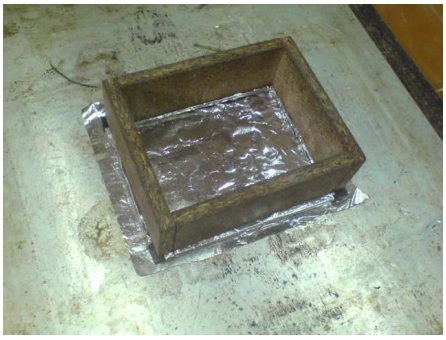
ناحیه	Melting 1	Melting 2	Mixing 1	venting	Mixing 2	pumping	Die 1	Die 2	سرعت m/min
دما	۱۴۸	۱۴۹	۱۴۶	۱۴۵	۱۴۹	۱۴۳	۱۳۰	۱۲۷	۷

۳-۵ تهیه کیک چندسازه چوب-پلاستیک

ابتدا یک فویل آلومینیومی آغشته به پارافین به ابعاد تقریبی ۲۵×۳۵ cm بر روی صفحه آهنی مخصوص پرس قرار داده شد. از فویل آلومینیومی آغشته به پارافین برای پوشش لبه‌های شابلون به ابعاد داخلی ۱۵ در ۲۰ سانتی‌متر نیز استفاده شد (شکل۳-۱۰). یک قالب چوبی از جنس تخته‌خرده‌چوب بر روی شابلون به صورت منطبق بر اضلاع آن، قرار گرفت (شکل۳-۱۱). سپس بر اساس وزن مخصوص چوب پلاستیک (۱ g/cm^3)، ابعاد شابلون و تخته نهایی و با در نظر گرفتن ۱۰ گرم دورریز مواد، مقدار ۲۰۵ گرم از پلت‌ها داخل قالب ریخته شده و به صورت یکنواخت در سرتاسر شابلون توزیع شد (شکل۳-۱۲). سپس تخته خرده چوبی به ابعاد ۱۵ در ۲۰ سانتی‌متر یعنی به اندازه ابعاد درونی شابلون یا تخته‌ی مورد نظر بر روی مواد قرار گرفته و به صورت دستی، فشار بر روی آن اعمال شد (شکل۳-۱۳). تخته به دقت از روی کیک برداشته شده (شکل ۳-۱۴) و یک فویل آلومینیومی دیگر نیز بر روی آن قرار گرفت (شکل۳-۱۵). دو تسمه فلزی به ضخامت ۰/۵ سانتی متر در دو طرف شابلون، به منظور پراکنده‌سازی بار وارده بر کیک، قرار داده شد (شکل۳-۱۶). سپس صفحه آهنی پرس بر روی آنها گذاشته شده و این مجموعه داخل پرس گرم قرار گرفته و در مرحله بعد پرس بر روی آن اعمال شد.



شکل۳-۱۰ شابلون روی ورق آلومینیومی



شکل ۳-۱۱ قرار دادن چارچوب بر روی شابلون

شکل۳-۱۲ توزیع یکنواخت پلت‌ها درون شابلون و چارچوب

شکل۳-۱۳ مرحله پیش پرس

شکل۳-۱۴ برداشتن چارچوب و قطعه پیش پرس

شکل۳-۱۵ قراردادن ورق آلومینیومی بر روی کیک

شکل۳-۱۶ شابلون‌هایی برای پراکنده سازی نیرو

۳-۶ پرس کیک

به منظور ساخت تخته‌های چندسازه به روش ناپیوسته[1]، از پرس آزمایشگاهی مدل *OTT* استفاده شد (شکل۳-۱۷). پس از قرار گرفتن سینی در جایگاه پرس، با شرایط جدول ۳-۴، پرس اعمال شد. ابتدا کیک آماده شده به مدت ۱ دقیقه تحت فشار ۳۰ تا ۳۵ بار و دمای ۱۶۰ °C قرار گرفته و سپس به مدت ۴ دقیقه فشار حذف شده و دما ثابت باقی ماند. پس از این زمان مجددا کیک تحت فشار ۳۰ تا ۳۵ بار، دمای ۱۶۰ °C و مدت زمان ۵ دقیقه قرار گرفت. سپس تخته از پرس خارج شده و تحت فشار ۳۰ تا ۳۵ بار و بدون اعمال حرارت توسط یک دستگاه پرس سرد آزمایشگاهی به مدت ۵ دقیقه قرار گرفت (شکل ۳-۱۸).

جدول۳-۴ شرایط پرس

مرحله / شرایط	پیش پرس		پرس گرم	پرس سرد
	اعمال فشار	بدون اعمال فشار		
فشار(بار)	۳۰-۳۵	---	۳۰-۳۵	۳۰-۳۵
دما(°C)	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	---
زمان(دقیقه)	۱	۴	۵	۵

شکل۳-۱۷ پرس آزمایشگاهی

شکل۳-۱۸ دستگاه پرس سرد

[1] Batch

پس از خروج تخته‌ها از پرس سرد، شابلون از آنها جدا شده و تخته‌ها به مدت ۲ هفته در دمای اتاق قرار داده شدند (شکل۳-۱۹). و پس از این مدت برش نمونه‌های آزمونی بر روی آنها صورت گرفت.

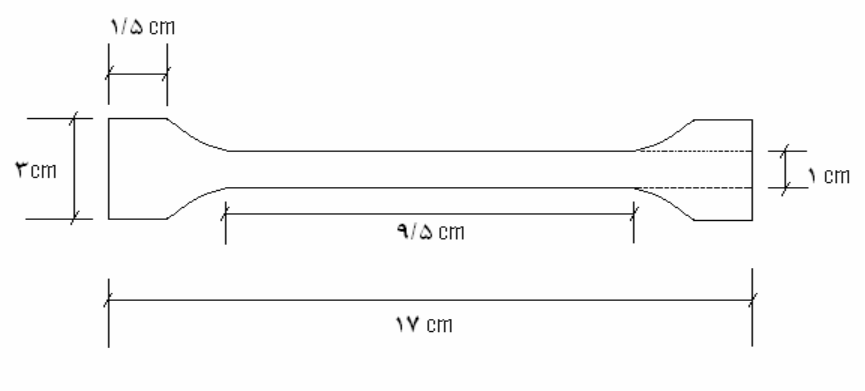
شکل۳-۱۹ تخته‌های ساخته شده از آرد نخل و پلی‌اتیلن

۳-۷ برش و تهیه نمونه‌های آزمونی

به منظور اندازه‌گیری خواص مکانیکی، از تخته‌های ساخته شده به روش ناپیوسته، توسط اره گرد، نمونه‌های آزمون کششی (مطابق استاندارد ASTM D-4761) و خمشی (مطابق استاندارد ASTM D-6109) تهیه شد (شکل۳-۲۰). نمونه‌های کششی در مرحله بعد توسط اره مویی به شکل دمبلی بریده شدند (نمونه کششی شکل ۳-۲۱ و ۳-۲۲).

شکل۳-۲۰ برش نمونه‌های خمشی

شکل۳-۲۱ نمونه کششی



شکل ۳-۲۲ ابعاد نمونه کششی

۳-۸ آزمون خمش استاتیک

آزمون مقاومت به خمش نمونه‌های چندسازه توسط دستگاه *Schenck Trebel* و مطابق با آیین نامه D-6109 استاندارد ASTM انجام گرفت.

نمونه‌های آزمون خمش طبق استاندارد، مستطیلی شکل و به ابعاد اسمی طول ۱۶ cm، عرض ۳cm و ضخامت ۰/۵ cm در نظر گرفته شد (شکل ۳-۲۳).

شکل ۳-۲۳ نمونه مستطیلی شکل برای انجام آزمون خمش

فاصله بین دو تکیه‌گاه، ۱۰ سانتی‌متر و سرعت بارگـذاری مطـابق اسـتاندارد، mm/min ۴ در نظـر گرفته شد.

قبل از آزمون به وسیله کولیس، میانگین ضخامت و پهنای هر نمونه اندازه‌گیری شد.

مقدار حداکثر تنش خمشی یا مدول گسیختگی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$MOR = 3P_u L / 2 b h^2$$ رابطه(۳-۲)

MOR = مدول گسیختگی (MPa)

P_u = بار نهایی (N)

L = فاصله دو تکیه‌گاه (mm)

b = پهنای نمونه (mm)

h = ضخامت نمونه (mm)

مدول الاستیسیته خمشی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$MOE = P_{pl} L^3 / 4 \delta_{pl} b h^3$$ رابطه (۳-۳)

MOE = مدول الاستیسیته (MPa)

P_{pl} = نیرو در حد تناسب (N)

L = فاصله دو تکیه‌گاه (mm)

δ = خیز (mm)

b = پهنای نمونه (mm)

h = ضخامت نمونه (mm)

۳-۹ آزمون مقاومت کششی

آزمون استحکام کششی چندسازه آرد نخل-پلی‌اتیلن مطابق آیین نامه D-4761 استاندارد ASTM صورت گرفت.

نمونه‌های آزمون کششی مطابق این استاندارد، دمبلی شکل و به ابعاد اسمی طول ۱۷ cm، عرض قسمت باریک ۱ cm، دو انتها ۳ cm و ضخامت ۰/۵ cm در نظر گرفته شد (شکل ۳-۲۲ و ۳-۲۴).

شکل ۳-۲۴ نمونه‌ی دمبلی شکل برای انجام آزمون کشش

به منظور اندازه‌گیری استحکام و مدول الاستیسیته کششی نمونه‌های چندسازه از دستگاه آزمون خواص مکانیکی *Schenk treble* استفاده شد.

ابتدا نمونه‌های دمبلی توسط دو فک، یکی ثابت (فک پایینی) و دیگری متحرک (فک بالایی) در جای خود ثابت شدند. سرعت بارگذاری مطابق استاندارد ۲ mm/min در نظر گرفته شد.

با استفاده از رابطه زیر تنش کشش نهایی محاسبه گردید:

رابطه (۳-۴) $$\sigma_u = P_u / A$$

σ_u = تنش نهایی در نقطه شکست (MPa)

P_u = نیروی کششی در نقطه شکست (N)

A = سطح مقطع شکست نمونه (mm^2)

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱ مقادیر میانگین مقاومت‌ها

کلیه مقادیر محاسبه شده‌ی ویژگی‌های مکانیکی یعنی مدول گسیختگی (MOR)، مدول الاستیسیته خمشی (MOE) و مقاومت کششی (σu) در جدول ۴-۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱ مقادیر میانگین مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته خمشی و مقاومت کششی

تیمار	بافت	آرد*	LLDPE*	MAPE*	MOR	MOE	σu
۱	ساقه	۴۵	۵۳	۲	(۰/۸۴)** ۲۵,۶۶۳	۴۹۶,۹۵ (۲۱,۶۷)	۱۲,۱۵ (۰,۵)
۲	ساقه	۶۰	۳۸	۲	۱۹,۹۲۶(۰,۵۴)	۸۶۰,۵۷(۸۳,۴۶)	۹,۵۹(۰,۳۷)
۳	ساقه	۷۵	۲۳	۲	۱۰,۲۵۳(۱,۰۳)	۲۱۱,۷۴(۲۵,۸۲)	۵,۴۶۶(۰,۵۹)
۴	برگ	۴۵	۵۳	۲	۲۹,۰۷(۰,۷۷)	۲۸۳۱,۲۹۳(۲۱۹,۲۳)	۱۲,۹۸۶(۰,۳۴)
۵	برگ	۶۰	۳۸	۲	۲۰,۴۶۳(۰,۸)	۱۸۴۹,۹۸۳(۲۳۱,۱)	۱۰,۳۶(۰,۵۴)
۶	برگ	۷۵	۲۳	۲	۱۴,۱۷۶(۰,۸۴)	۶۶۳,۷۷(۸۱,۸)	۶,۷۵۱(۰,۷۴)
۷	مخلوط	۴۵	۵۳	۲	۲۶,۴۸(۱,۶)	۷۷۰,۴۶۶(۱۰۰,۳۷)	۱۲,۱۸۶(۰,۲۶)
۸	مخلوط	۶۰	۳۸	۲	۲۶,۸۹۳(۰,۳۴)	۶۸۹,۷۶۶(۶۴,۲۵)	۱۱,۴۴۶(۱,۲)
۹	مخلوط	۷۵	۲۳	۲	۱۲,۸۶۳(۰,۵)	۲۹۱,۵۸(۱۱,۵۸)	۵,۳۹۶(۰,۷)
۱۰	شاهد	--	۱۰۰	۰	۶۶,۹۸۶(۰,۱)	۶۲۳,۵۵(۸۷,۷۲)	۲۴,۸۴۳(۰,۱۴)

* مقادیر به درصد می‌باشد.

** اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده انحراف معیار است.

۴-۲ نتایج آزمون خمش

در این بخش اثر نوع و مقدار ماده‌ی مورد استفاده بر مقاومت خمشی تخته‌های ساخته شـده مـورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل آماری قرار می‌گیرد.

۴-۲-۱ مدول گسیختگی (MOR)

مقادیر محاسبه شده مدول گسیختگی در تیمارهای مختلف در جدول ۴-۲ آمده است.

جدول ۴-۲ مقادیر میانگین مدول گسیختگی به همراه انحراف معیار

تیمار	بافت	آرد نخل(٪)	پلی اتیلن خطی سبک (٪)	مالئیک انیدرید پلی‌اتیلن (٪)	MOR
۱	ساقه	۴۵	۵۳	۲	۲۵,۶۶۳ (۰/۸۴)*
۲	ساقه	۶۰	۳۸	۲	۱۹,۹۲۶(۰,۵۴)
۳	ساقه	۷۵	۲۳	۲	۱۰,۲۵۳(۱,۰۳)
۴	برگ	۴۵	۵۳	۲	۲۹,۰۷(۰,۷۷)
۵	برگ	۶۰	۳۸	۲	۲۰,۴۶۳(۰,۸)
۶	برگ	۷۵	۲۳	۲	۱۴,۱۷۶(۰,۸۴)
۷	مخلوط	۴۵	۵۳	۲	۲۶,۴۸(۱,۶)
۸	مخلوط	۶۰	۳۸	۲	۲۶,۸۹۳(۰,۳۴)
۹	مخلوط	۷۵	۲۳	۲	۱۲,۸۶۳(۰,۵)
۱۰	شاهد	۰	۱۰۰	۰	۶۶,۹۸۶(۰,۱)

* اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده انحراف معیار است.

نتایج تجزیه واریانس مدول گسیختگی و معنی‌دار بودن عوامل مختلف در جدول ۴-۳ آمده است.

جدول۴-۳ تجزیه واریانس مقادیر مدول گسیختگی

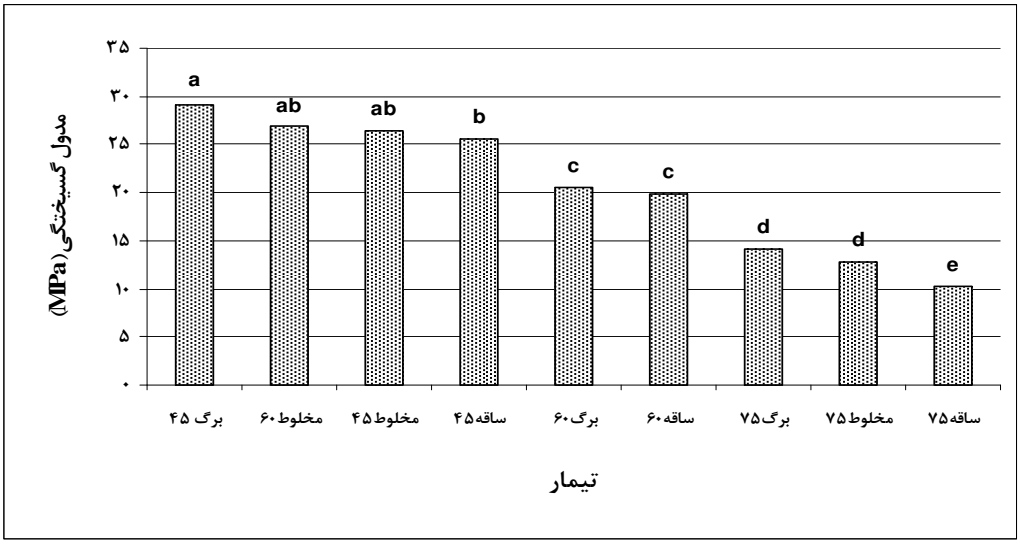
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی داری
تیمار	۱۱۴۰,۵۴۸	۸	۱۴۲,۵۶۸	۶۱,۷۸۷	*
نوع ماده (a)	۵۸,۷۶۳	۲	۲۹,۳۸۲	۱۲,۷۳۴	*
درصد اختلاط (b)	۱۰۰۷,۴۷۰	۲	۵۰۳,۷۳۵	۲۱۸,۳۱۳	*
اثر متقابل ab	۷۴,۳۱۴	۴	۱۸,۵۷۸	۸,۰۵۲	*
خطا	۴۱,۵۳۳	۱۸	۲,۳۰۷		
کل	۱۱۸۲,۰۸۱	۲۶			

* معنی‌داری در سطح ۱٪ .

همچنین میانگین مدول گسیختگی هر سه تکرار در هر تیمار محاسبه شده و سپس دسته‌بندی و مقایسه شد که در جدول ۴-۴ و شکل ۴-۱ ارائه شده است.

۴-۴ مقایسه و دسته‌بندی میانگین‌های مدول گسیختگی

تیمار	تعداد	زیر مجموعه				
		A	B	C	D	E
برگ ۴۵	۳	۲۹,۰۷۰۰				
مخلوط۶۰	۳	۲۶,۸۹۳۳	۲۶,۸۹۳۳			
مخلوط۴۵	۳	۲۶,۴۸۰۰	۲۶,۴۸۰۰			
ساقه۴۵	۳		۲۵,۶۶۳۳			
برگ۶۰	۳			۲۰,۴۶۳۳		
ساقه۶۰	۳			۱۹,۹۲۶۷		
برگ۷۵	۳				۱۴,۱۷۶۷	
مخلوط۷۵	۳				۱۲,۸۶۳۳	
ساقه۷۵	۳					۱۰,۲۵۳۳



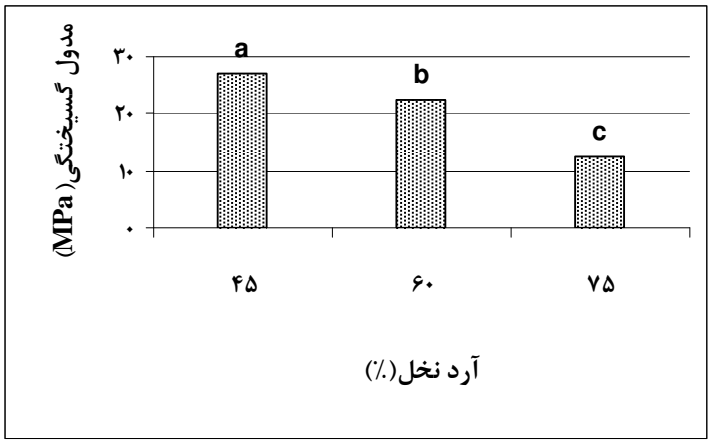
شکل۴-۱ مقایسه تغییرات مدول گسیختگی در بین تیمارها

۴-۲-۱-۱ تاثیر مستقل درصد آرد نخل

با توجه به جدول ۴-۵ و شکل مربوطه یعنی شکل ۴-۲ مشاهده می‌شود که با افزایش میزان استفاده از آرد نخل، مدول گسیختگی کاهش می‌یابد که با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول ۴-۳ این کاهش در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین نتایج مقایسه میانگین و گروه‌بندی دانکن در جدول ۴-۵ نشان می‌دهد که درصد آرد ۴۵ در گروه a ، درصد آرد ۶۰ در گروه b و درصد آرد ۷۵ در گروه c گروه‌بندی دانکن قرار می‌گیرد.

جدول ۴-۵ مقایسه و دسته‌بندی اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مدول گسیختگی

آرد نخل (٪)	تعداد	زیر مجموعه		
		A	B	C
۴۵	۹	۲۷,۰۷۱۱		
۶۰	۹		۲۲,۴۲۷۸	
۷۵	۹			۱۲,۴۳۱۱



شکل۴-۲ اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مدول گسیختگی

توجه به اثر مستقل میزان آرد نخل بر روی مقاومت خمشی در شکل۴-۲ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار آرد نخل، مدول گسیختگی کاهش می‌یابد و این اختلاف در همه سطوح تیمار معنی‌دار است. این نتیجه با نتایج مطالعه زاینی و همکاران (۱۹۹۵) مطابقت داشت. در آن تحقیق مشخص شد که در تمامی اندازه‌ها با افزایش میزان آرد نخل روغنی از مقاومت‌های مکانیکی تخته-ها کاسته می‌شود.

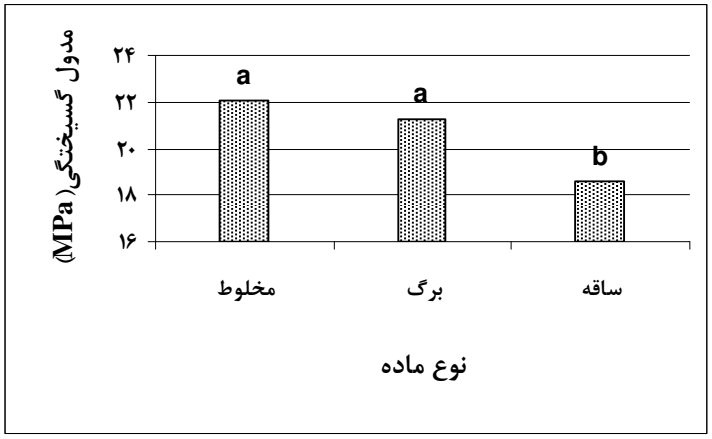
اصولا در مواد مرکب چوبی، با مقادیر بالای الیاف، پلاستیک نقش چسب را برای اتصال ذرات چوبی به یکدیگر ایفا می‌کند. البته اتصالی که با الیاف چوبی ایجاد می‌کند از نوع مکانیکی می‌باشد (عدم ایجاد اتصالات شیمیایی به خاطر طبیعت غیرقطبی بودن پلاستیک و طبیعت قطبی بودن الیاف چوبی می‌باشد). این اتصال در نتیجه ذوب شدن پلاستیک به وجود می‌آید و باعث اتصال الیاف چوب به یکدیگر می‌شود. بنابراین وقتی درصد پلاستیک کاهش می‌یابد مقدار این اتصالات نیز کاهش خواهد یافت که در نتیجه آن مقاومت‌های مکانیکی نیز کاهش می‌یابد. در نتیجه با افزایش مقدار آرد نخل در تمامی موارد (برگ، ساقه و مخلوط) از میزان مقاومت خمشی کاسته شد و همانطوری که قبلا دلیل آن ذکر شد بالاترین میزان مقاومت بعد از پلیمر خالص، تیمار با درصد آرد ۴۵ بود.

۴-۲-۱-۲ تاثیر مستقل نوع ماده

با توجه به جدول ۴-۶ و شکل مربوطه یعنی شکل ۴-۳ مشاهده می‌شود که بالاترین مقادیر مدول گسیختگی مربوط به آرد مخلوط ساقه و برگ و سپس آرد برگ نخل است و آرد ساقه نخل پایین-ترین مقدار مدول گسیختگی را به خود اختصاص داده است. نتایج مقایسه میانگین و گروه‌بندی دانکن در جدول ۴-۶ نشان می‌دهد که آرد مخلوط و آرد برگ در گروه a و آرد ساقه در گروه b گروه‌بندی دانکن قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر اختلاف معنی‌داری بین استفاده از آرد مخلوط (۵۸٪ برگ و ۴۲٪ ساقه) و آرد برگ مشاهده نشد ولی هر دو اختلاف معنی‌داری با آرد ساقه داشتند.

جدول ۴-۶ مقایسه و دسته‌بندی اثر مستقل نوع ماده بر مدول گسیختگی

نوع ماده	تعداد	زیر مجموعه	
		A	B
مخلوط	۹	۲۲,۰۷۸۹	
برگ	۹	۲۱,۲۳۶۷	
ساقه	۹		۱۸,۶۱۴۴

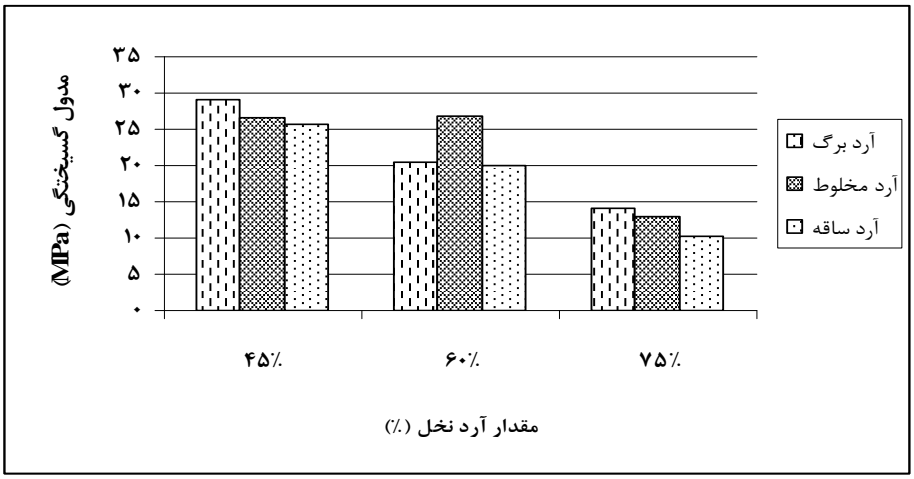


شکل ۴-۳ اثر مستقل نوع ماده بر مدول گسیختگی

در واقع اختلاف معنی‌داری بین تیمار مخلوط و تیمار برگ دیده نمی‌شود چرا که در تیمار مخلـوط در حدود ۵۸ ٪ از الیاف برگ وجود داشت ولی مقاومت هر دو از مقاومت تخته‌های ساخته شده بـا آرد ساقه بیشتر بود، که به نظر می‌رسد به خاطر کمتر بودن ضریب لاغری ذرات آرد سـاقه نسـبت به ذرات آرد برگ باشد.

۴-۲-۱-۳ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده

با توجه به شکل ۴-۴ مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار آرد نخل، مدول گسیختگی کاهش می-یابد. در مورد نوع ماده همانطور که در شکل مشاهده می‌شود به طور کلی بالاترین میزان مدول گسیختگی مربوط به آرد برگ، سپس آرد مخلوط و در انتها آرد ساقه است، به استثنای تیمار مخلوط ۶۰٪ که از این روند پیروی نمی‌کند. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۳) مشاهده می‌شود که سطوح آرد نخل استفاده شده (۴۵٪، ۶۰٪ و ۷۵٪) و نوع ماده (آرد برگ، آرد مخلوط و آرد ساقه) دارای تاثیر متقابل معنی‌دار بر مدول گسیختگی می‌باشند.



شکل ۴- ۴ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده بر مدول گسیختگی

در تحقیقی که توسط روزمان و همکاران در سال ۱۹۹۸ بر روی ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌ی ساخته شده از پلی‌اتیلن با دانسیته‌ی بالا و آرد نخل روغنی صورت گرفت نیز مشخص شد که مدول گسیختگی چندسازه‌های حاصل با افزایش مقدار آرد نخل کاهش یافت. آنها چنین نتیجه-گیری کردند که این کاهش مربوط به عدم توزیع مناسب ذرات آرد نخل در درون ماده‌ی زمینه پلیمری است که شانس قرار گرفتن ذرات نخل در کنار یکدیگر را نیز افزایش می‌دهد.

۴-۲-۲ مدول الاستیسیته خمشی (MOE)

ابتدا مقادیر میانگین و انحراف معیار برای ۱۰ تیمار ذکر شده، محاسبه شد که در جدول ۴-۷ ارائـه شده است.

جدول۴-۷ مقادیر میانگین مدول الاستیسیته خمشی به همراه انحراف معیار

تیمار	بافت	آرد نخل(٪)	پلی اتیلن خطی سبک (٪)	مالئیک انیدرید پلی‌اتیلن (٪)	MOE
۱	ساقه	۴۵	۵۳	۲	۴۹۶,۹۵ (۲۱,۶۷)*
۲	ساقه	۶۰	۳۸	۲	۸۶۰,۵۷(۸۳,۴۶)
۳	ساقه	۷۵	۲۳	۲	۲۱۱,۷۴(۲۵,۸۲)
۴	برگ	۴۵	۵۳	۲	۲۸۳۱,۲۹۳(۲۱۹)
۵	برگ	۶۰	۳۸	۲	۱۸۴۹,۹۸۳(۲۳۱)
۶	برگ	۷۵	۲۳	۲	۶۶۳,۷۷(۸۱,۸)
۷	مخلوط	۴۵	۵۳	۲	۷۷۰,۴۶۶(۱۰۰)
۸	مخلوط	۶۰	۳۸	۲	۶۸۹,۷۶۶(۶۴,۲۵)
۹	مخلوط	۷۵	۲۳	۲	۲۹۱,۵۸(۱۱,۵۸)
۱۰	شاهد	۰	۱۰۰	۰	۶۲۳,۵۵(۸۷,۷۲)

* اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده انحراف معیار است.

نتایج تجزیه واریانس مدول الاستیسیته خمشی و معنی‌دار بـودن عوامـل مختلـف در جـدول ۴-۸ آمده است.

جدول۴-۸ تجزیه واریانس مقادیر مدول الاستیسیته خمشی

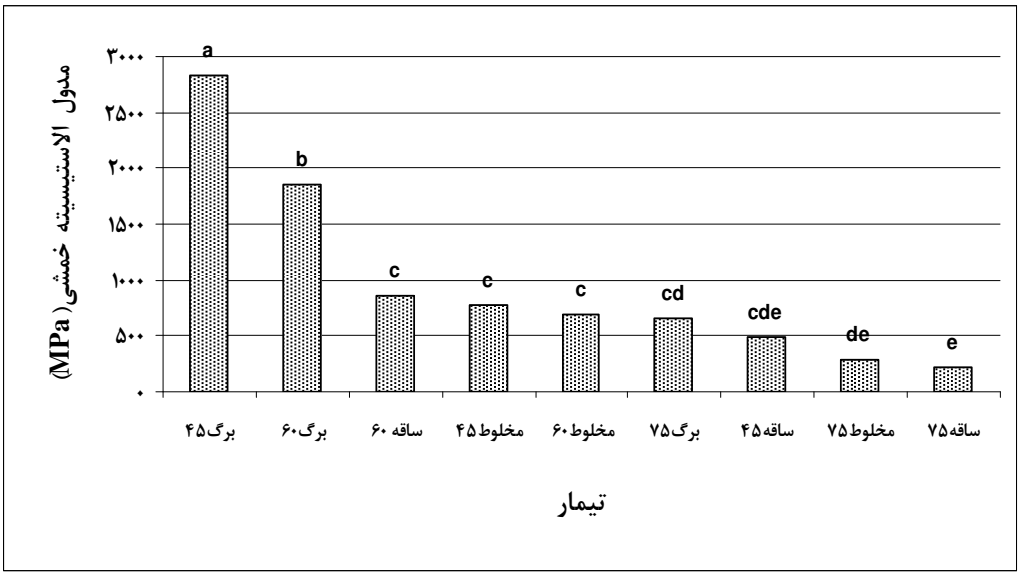
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی داری
تیمار	۱۷۱۶۴۲۴۴,۹	۸	۲۱۴۵۵۳۰,۶۱۱	۴۹,۲۸۳	*
نوع ماده (a)	۹۰۶۷۰۷۳,۷۹۱	۲	۴۵۳۳۵۳۶,۸۹۵	۱۰۴,۱۳۶	*
درصد اختلاط (b)	۴۶۸۹۸۲۰,۵۵۸	۲	۲۳۴۴۹۱۰,۲۷۹	۵۳,۸۶۳	*
اثر متقابل ab	۳۴۰۷۳۵۰,۵۳۶	۴	۸۵۱۸۳۷,۶۳۴	۱۹,۵۶۷	*
خطا	۴۲۹۸۱۷۵۲,۲	۱۸	۴۳۵۳۴,۸۱۸		
کل	۱۷۹۴۷۸۷۱,۶	۲۶			

* معنی‌داری در سطح ۱٪ .

همچنین میانگین مدول الاستیسیته خمشی هر سه تکرار در هر تیمار محاسبه شده و سپس دسته‌بندی و مقایسه شد که در جدول ۴-۹ و شکل ۴-۵ ارائه شده است.

جدول۴-۹ مقایسه و دسته‌بندی میانگین‌های مدول الاستیسیته خمشی

تیمار	تعداد	زیر مجموعه				
		A	B	C	D	E
برگ ۴۵	۳	۲۸۳۱,۲۹۳۳				
برگ۶۰	۳		۱۸۴۹,۹۸۳۷			
ساقه۶۰	۳			۸۶۰,۵۷۰۰		
مخلوط۴۵	۳			۷۷۰,۴۶۶۷		
مخلوط۶۰	۳			۶۸۹,۷۶۶۷		
برگ۷۵	۳			۶۶۳,۷۷۰۰	۶۶۳,۷۷۰۰	
ساقه۴۵	۳			۴۹۶,۹۵۰۰	۴۹۶,۹۵۰۰	۴۹۶,۹۵۰۰
مخلوط۷۵	۳				۲۹۱,۵۸۰۰	۲۹۱,۵۸۰۰
ساقه ۷۵	۳					۲۱۱,۷۴۰۰



شکل۴-۵ مقایسه تغییرات مدول الاستیسیته خمشی در بین تیمارها

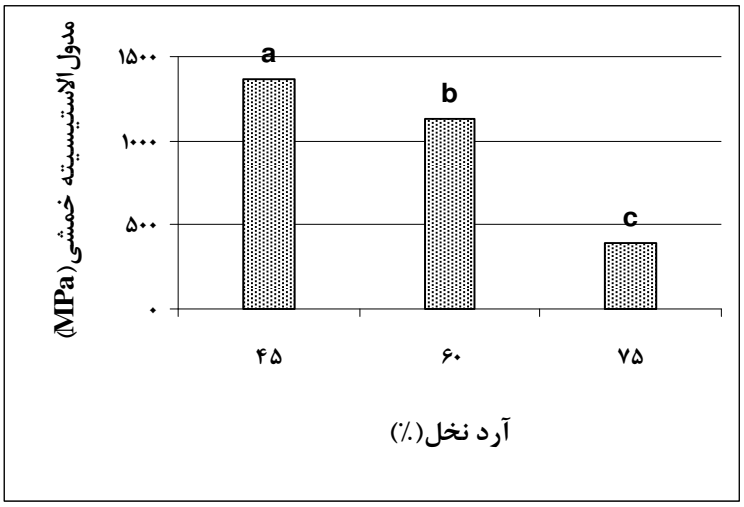
یکی از مهم‌ترین عواملی که بر مدول الاستیسیته مواد مرکب تاثیر دارد مدول‌الاستیسیته اجزای آن می‌باشد[۲]. با افزودن آرد چوب به پلی‌اتیلن مدول الاستیسیته افزایش یافت و همانطور که در شکل نیز دیده می‌شود تیمار برگ ۴۵٪ بالاترین مدول الاستیسیته را در بین تیمارها به خود اختصاص داده است ولی با افزایش ۱۵٪ آرد یعنی در تیمار برگ ۶۰٪ مدول الاستیسیته خمشی کاهش معنی‌داری از خود نشان می‌دهد، که به نظر می‌رسد به دلیل بالا رفتن مقدار الیاف و کاهش مقدار پلاستیک، مواد مرکب به خوبی قادر به تحمل تنش‌های داخلی نیستند، زیرا در مواد مرکب ساخته شده پلاستیک نقش چسب را برای چسباندن ذرات چوبی به یکدیگر ایفا می‌کند و در سطوح بالاتر مقدار آرد نخل، مقدار کافی پلاستیک برای چسباندن مناسب ذرات چوب وجود ندارد. بنابراین با افزایش آرد چوب تا این سطح به جای این که نقش مفیدی در افزایش مدول الاستیسیته داشته باشد، نتیجه عکس داشته و نمونه‌ها با واردکردن تنش به راحتی تغییر شکل می‌دهند.

۴-۲-۲-۱ تاثیر مستقل درصد آرد نخل

با توجه به جدول ۴-۱۰ و شکل مربوطه یعنی شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود که با افزایش میزان استفاده از آرد نخل، مدول الاستیسیته خمشی کاهش می‌یابد که با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول ۴-۸ این کاهش در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین نتایج مقایسه میانگین و گروه‌بندی دانکن در جدول ۴-۵ نشان می‌دهد که درصد آرد ۴۵ در گروه a، درصد آرد ۶۰ در گروه b و درصد آرد ۷۵ در گروه c گروه بندی دانکن قرار می‌گیرد.

جدول ۴-۱۰مقایسه و دسته بندی اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مدول الاستیسیته خمشی

آرد نخل (٪)	تعداد	زیر مجموعه		
		A	B	C
۴۵	۹	۱۳۶۶,۲۳۶۷		
۶۰	۹		۱۱۳۳,۴۴۰۱	
۷۵	۹			۳۸۹,۰۳۰۰



شکل ۴-۶ اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مدول الاستیسیته خمشی

همانطور که از شکل ۴-۶ استنباط می‌شود با افزایش مقدار آرد نخل از میزان مدول الاستیسیته خمشی کاسته شد که همانطور که قبلا بحث شد به نظر می‌رسد به دلیل کاهش میزان پلاستیک و کم شدن ماده‌ی چسبنده در بین ذرات آرد چوب باشد.

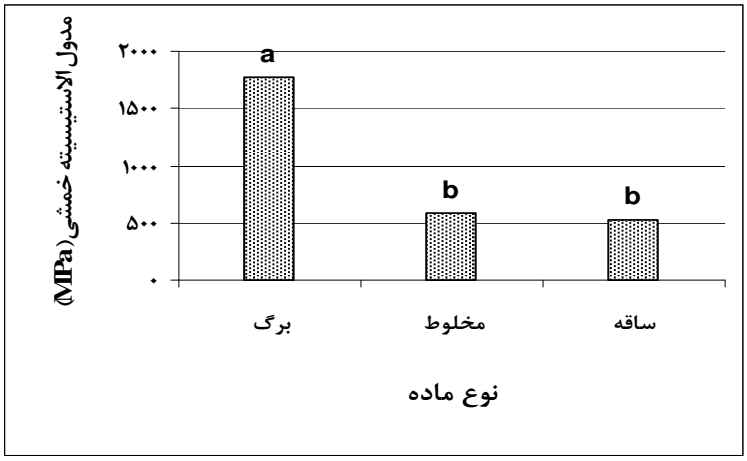
۴-۲-۲-۲ تاثیر مستقل نوع ماده

با توجه به جدول ۴-۱۱ و شکل مربوطه یعنی شکل ۴-۷ مشاهده می‌شود که بالاترین مقادیر مدول الاستیسیته خمشی مربوط به آرد برگ و سپس آرد مخلوط و آرد ساقه نخل است، به طوریکه آرد ساقه نخل کم‌ترین مقدار مدول الاستیسیته خمشی را به خود اختصاص داده است. نتایج مقایسه میانگین و گروه‌بندی دانکن در جدول ۴-۱۱ نشان می‌دهد که آرد برگ در گروه a و آرد مخلوط و همچنین آرد ساقه در گروه b گروه بندی دانکن قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر اختلاف معنی‌داری بین استفاده از آرد مخلوط و آرد ساقه مشاهده نشد ولی هر دو اختلاف معنی-داری با آرد برگ داشتند.

جدول ۴-۱۱مقایسه و دسته‌بندی اثر مستقل نوع ماده بر مدول الاستیسیته خمشی

نوع ماده	تعداد	زیر مجموعه	
		A	B
برگ	۹	۱۷۸۱,۶۸۲۳	
مخلوط	۹		۵۸۳,۹۳۷۸
ساقه	۹		۵۲۳,۰۸۶۷

شاکری و امیدوار (۱۳۸۴) در تحقیق مشابهی ابراز داشته‌اند که افزودن کاه تا ۳۰ ٪ وزنی موجب بهبود استحکام خمشی می‌شود، ولی این خواص در ۴۰٪ کاهش پیدا می‌کند.

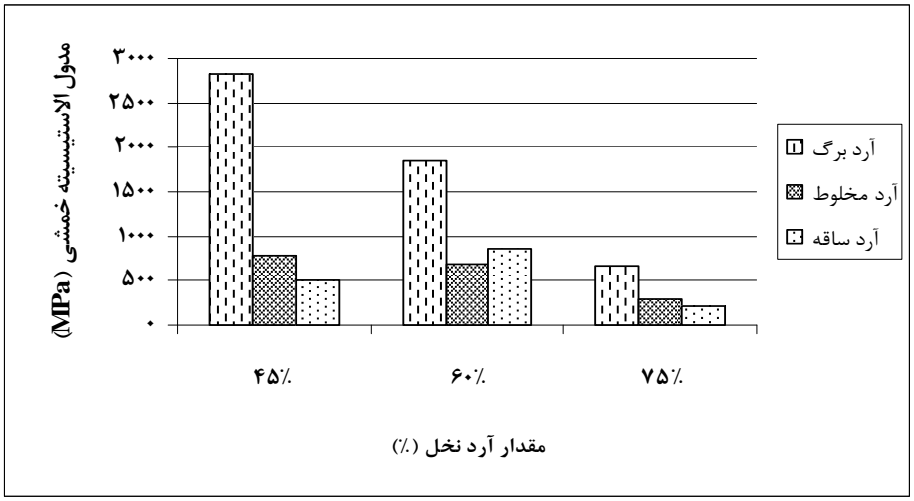


شکل ۴-۷ اثر مستقل نوع ماده بر مدول الاستیسیته خمشی

به نظر می‌رسد در اینجا نیز بالاتر بودن میزان مدول الاستیسیته خمشی در تیمار برگ مربوط به دلایل ذکر شده در مورد مدول گسیختگی باشد.

۴-۲-۲-۳ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده

با توجه به شکل ۴-۸ مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار آرد نخل، مدول الاستیسیته خمشی کاهش می‌یابد. در مورد نوع ماده همانطور که در شکل مشاهده می‌شود به طور کلی بالاترین میزان مدول الاستیسیته خمشی مربوط به آرد برگ، سپس آرد مخلوط و در انتها آرد ساقه است، به استثنای تیمار ساقه ۶۰٪ که از این روند پیروی نمی‌کند. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۸) مشاهده می‌شود که سطوح آرد نخل استفاده شده (۴۵٪، ۶۰٪ و ۷۵٪) و نوع ماده (آرد برگ، آرد مخلوط و آرد ساقه) دارای تاثیر متقابل معنی‌دار بر مدول الاستیسیته خمشی می‌باشند.



شکل ۴-۸ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده بر مدول الاستیسیته خمشی

۴-۳ مقاومت کششی (σu)

ابتدا مقادیر میانگین و انحراف معیار برای ۱۰ تیمار ذکر شده، محاسبه شد که در جدول ۴-۱۲ ارائه شده است.

جدول۴-۱۲ مقادیر میانگین مقاومت کششی به همراه انحراف معیار

تیمار	بافت	آرد نخل(٪)	پلی اتیلن خطی سبک (٪)	مالئیک انیدرید پلی اتیلن (٪)	σu
۱	ساقه	۴۵	۵۳	۲	۱۲,۱۵ (۰,۵)*
۲	ساقه	۶۰	۳۸	۲	۹,۵۹(۰,۳۷)
۳	ساقه	۷۵	۲۳	۲	۵,۴۶۶(۰,۵۹)
۴	برگ	۴۵	۵۳	۲	۱۲,۹۸۶(۰,۳۴)
۵	برگ	۶۰	۳۸	۲	۱۰,۳۶(۰,۵۴)
۶	برگ	۷۵	۲۳	۲	۶,۷۵۱(۰,۷۴)
۷	مخلوط	۴۵	۵۳	۲	۱۲,۱۸۶(۰,۲۶)
۸	مخلوط	۶۰	۳۸	۲	۱۱,۴۴۶(۱,۲)
۹	مخلوط	۷۵	۲۳	۲	۵,۳۹۶(۰,۷)
۱۰	شاهد	۰	۱۰۰	۰	۲۴,۸۴۳(۰,۱۴)

- اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده انحراف معیار است.

نتایج تجزیه واریانس مقاومت کششی و معنی‌دار بودن عوامل مختلف در جدول ۴-۱۳ آمده است.

جدول۴-۱۳ تجزیه واریانس مقادیر مقاومت کششی

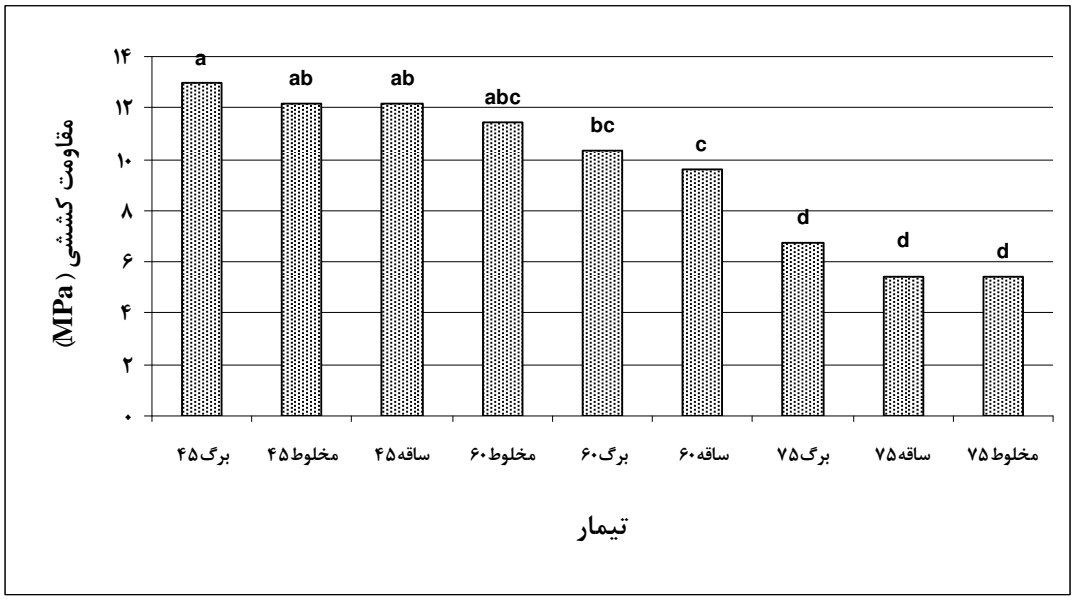
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی داری
تیمار	۲۱۴,۵۵۳	۸	۲۶,۸۱۹	۲۱,۶۲۶	*
نوع ماده (a)	۴,۲۷۵	۲	۲,۱۳۷	۱,۷۲۴	۰,۲۰۷
درصد اختلاط (b)	۲۰۴,۵۰۰	۲	۱۰۲,۲۵۰	۸۲,۴۵۱	*
اثر متقابل ab	۵,۷۷۸	۴	۱,۴۴۴	۱,۱۶۵	۰,۳۵۹
خطا	۲۲,۳۲۲	۱۸	۱,۲۴۰		
کل	۲۳۶,۸۷۵	۲۶			

* معنی داری در سطح ۱٪ .

همچنین میانگین مقاومت کششی هر سه تکرار در هر تیمار محاسبه شده و سپس دسته‌بندی و مقایسه شد که در جدول ۴-۱۴ و شکل ۴-۹ ارائه شده است.

جدول۴-۱۴ مقایسه و دسته‌بندی میانگین‌های مقاومت کششی

تیمار	تعداد	زیر مجموعه			
		A	B	C	D
برگ ۴۵	۳	۱۲,۹۸۶۷			
مخلوط۴۵	۳	۱۲,۱۸۶۷	۱۲,۱۸۶۷		
ساقه۴۵	۳	۱۲,۱۵۰۰	۱۲,۱۵۰۰		
مخلوط۶۰	۳	۱۱,۴۴۶۷	۱۱,۴۴۶۷	۱۱,۴۴۶۷	
برگ۶۰	۳		۱۰,۳۶۰۰	۱۰,۳۶۰۰	
ساقه۶۰	۳			۹,۵۹۰۰	
برگ۷۵	۳				۶,۷۵۱۳
ساقه۷۵	۳				۵,۴۶۶۷
مخلوط۷۵	۳				۵,۳۹۶۷



شکل۴-۹ مقایسه تغییرات مقاومت کششی در بین تیمارها

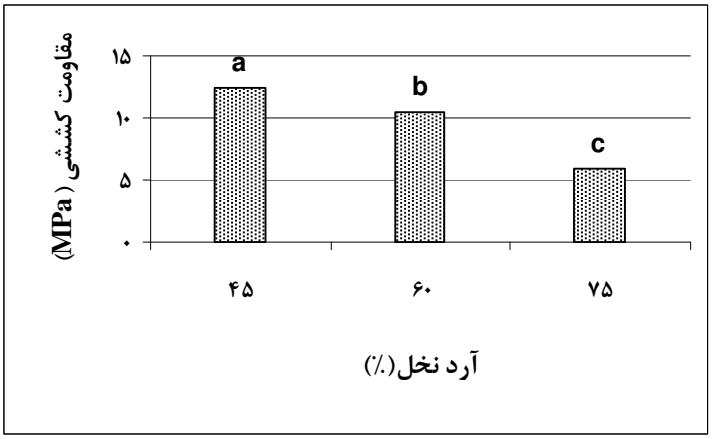
همانطور که در مورد مقاومت خمشی توضیح داده شد در مورد مقاومت کششی نیز (شکل۴-۹) ملاحظه می‌شود که در مجموع با افزایش مقدار آرد نخل از مقاومت‌ها کاسته شده است.

۴-۳-۱ تاثیر مستقل درصد آرد نخل

با توجه به جدول ۴-۱۵ و شکل مربوطه یعنی شکل ۴-۱۰ مشاهده می‌شود که با افزایش میزان استفاده از آرد نخل، مقاومت کششی کاهش می‌یابد که با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول ۴-۱۳ این کاهش در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین نتایج مقایسه میانگین و گروه-بندی دانکن در جدول ۴-۱۵ نشان می‌دهد که درصد آرد ۴۵ در گروه a، درصد آرد ۶۰ در گروه b و درصد آرد ۷۵ در گروه c گروه‌بندی دانکن قرار می‌گیرد.

جدول ۴-۱۵مقایسه و دسته بندی اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مقاومت کششی

آرد نخل (٪)	تعداد	زیر مجموعه		
		A	B	C
۴۵	۹	۱۲,۴۴۱۱		
۶۰	۹		۱۰,۴۶۵۶	
۷۵	۹			۵,۸۷۱۶



شکل ۴-۱۰ اثر مستقل مقدار آرد نخل بر مقاومت کششی

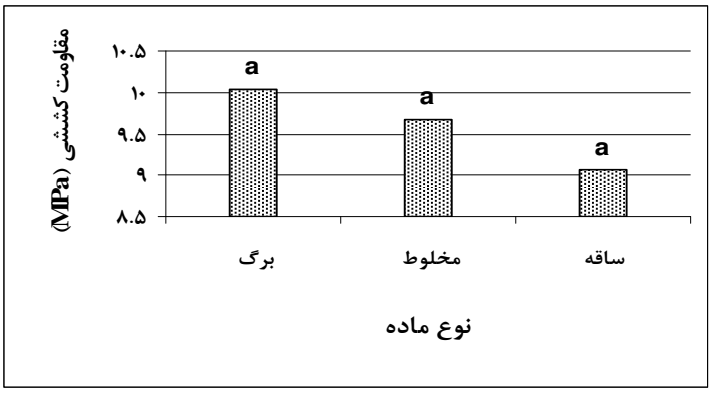
همانطوری که ملاحظه می‌شود با افزایش میزان آرد نخل از میزان مقاومت کششی کاسته می‌شود و این اختلاف در بین تمامی تیمارها معنی‌دار است. این نتایج با نتایج مطالعات اکثر محققان دیگر مطابقت دارد. در تحقیقی که توسط اسماعیل حنفی و همکارانش (۱۹۹۶) بر روی چندسازه آرد نخل روغنی و لاستیک طبیعی صورت گرفت مشخص شد که افزایش مقدار آرد نخل روغنی در لاستیک طبیعی باعث کاهش مقاومت کششی شد. در تحقیق دیگری نیز که توسط گرجانی (۱۳۸۳) با ساخت چندسازه چوب-پلاستیک از ذرات کاه گندم و پلی‌اتیلن صورت گرفت مشخص شد که تا حد ۳۰ ٪ افزودن پرکننده به پلیمر مقاومت‌های مکانیکی افزایش می‌یابد.

۴-۳-۲ تاثیر مستقل نوع ماده

با توجه به جدول ۴-۱۶ و شکل مربوطه یعنی شکل ۴-۱۱ مشاهده می‌شود کـه بـالاترین مقـادیر مقاومت کششی مربوط به آرد برگ و سپس آرد مخلوط و در انتها نیز آرد ساقه نخل می‌باشد، به - طوریکه آرد ساقه نخل کم‌ترین مقدار مقاومت کششی را به خود اختصاص داده است. نتایج مقایسه میانگین و گروه‌بندی دانکن در جدول ۴-۱۶ نشان داد که هر سه نوع ماده در گـروه a گـروه‌بنـدی دانکن قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر اختلاف معنی‌داری بـین اسـتفاده از آرد مخلـوط، آرد سـاقه و آرد برگ وجود نداشت.

جدول ۴-۱۶ مقایسه و دسته‌بندی اثر مستقل نوع ماده بر مقاومت کششی

نوع ماده	تعداد	زیرمجموعه
		A
برگ	۹	۱۰,۰۳۲۷
مخلوط	۹	۹,۶۷۶۷
ساقه	۹	۹,۰۶۸۹

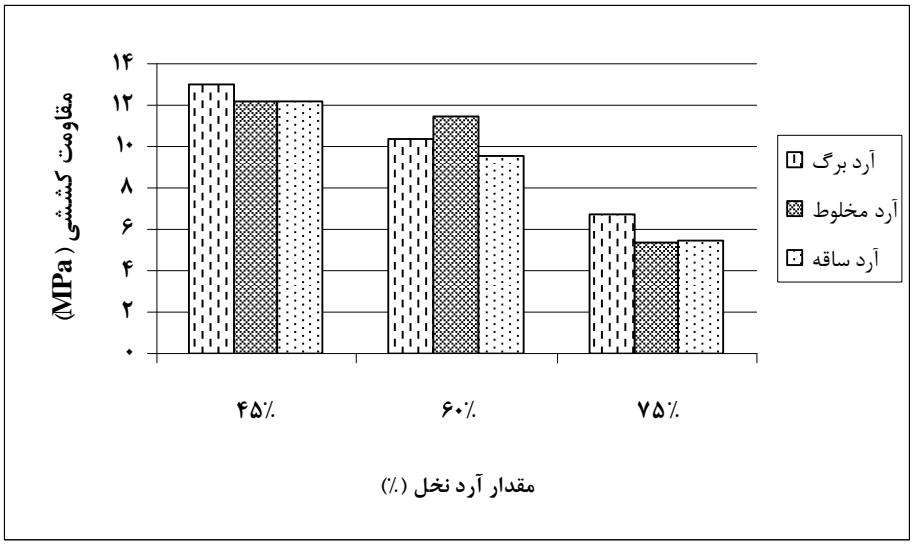


شکل ۴-۱۱ اثر مستقل نوع ماده بر مقاومت کششی

همانطوری که در شکل دیده می‌شود، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای برگ، مخلوط و ساقه وجود ندارد.

۴-۳-۳ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده

با توجه به شکل ۴-۱۲ مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار آرد نخل، مقاومت کششی کاهش می-یابد. در مورد نوع ماده همانطور که در شکل مشاهده می‌شود به طور کلی بالاترین میزان مقاومت کششی مربوط به آرد برگ، سپس آرد مخلوط و در انتها آرد ساقه است، به استثنای تیمار مخلوط ۶۰٪ که از این روند پیروی نمی‌کند. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۳) مشاهده می‌شود که سطوح آرد نخل استفاده شده (۴۵٪، ۶۰٪ و ۷۵٪) و نوع ماده (آرد برگ، آرد مخلوط و آرد ساقه) دارای تاثیر متقابل معنی‌دار بر مقاومت کششی نمی‌باشند.



شکل ۴-۱۲ تاثیر متقابل درصد آرد نخل و نوع ماده بر مقاومت کششی

همانطور که در شکل مشخص است، با افزایش مقدار آرد نخل از مقدار مقاومت کششی کاسته می-شود و همچنین اثر متقابل نشان می‌دهد که مخلوط ۶۰٪ مقاومت کششی بیشتری را موجب شده است.

۴-۴ نتیجه‌گیری

با افزایش میزان استفاده از آرد نخل در چندسازه، از مقادیر مدول گسیختگی و مقاومت کششی کاسته شد در حالی‌که مقادیر مدول الاستیسیته خمشی افزایش یافتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاهش مقاومت در مورد مقادیر مدول گسیختگی و مقاومت کششی و افزایش مقاومت در مورد مدول الاستیسیته خمشی در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد.

نتایج نشان داد که در مجموع تخته‌های ساخته‌شده از آرد برگ دارای بیشترین مقاومت‌ها بوده و در مقابل تخته‌های ساخته شده از آرد ساقه نیز کم‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. در مورد مدول گسیختگی، نتایج مقایسه میانگین و گروه‌بندی دانکن نشان داد که بین استفاده از آرد برگ و آرد مخلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ولی مقادیر مربوط به هر دوی این تیمارها از مقادیر مربوط به تیمار آرد ساقه بالاتر بودند. بالاترین مقدار مدول گسیختگی مربوط به تیمار آرد برگ ۴۵٪ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار ساقه ۷۵٪ بود.

در مورد مدول الاستیسیته خمشی نیز بیشترین رقم به آرد برگ اختصاص یافت و اختلاف معنی‌داری بین استفاده از آرد مخلوط و آرد ساقه مشاهده نشد، در حالیکه هر دوی این تیمارها بعد از تیمار آرد برگ قرار گرفته و اختلاف معنی‌داری نیز با آن داشتند. در اینجا هم بالاترین مقدار مدول الاستیسیته خمشی مربوط به تیمار آرد برگ ۴۵٪ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار ساقه ۷۵٪ بود.

در مورد مقاومت کششی نیز ابتدا تیمار آرد برگ و سپس آرد مخلوط و در انتها تیمار آرد ساقه قرار گرفت در حالیکه اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد. بالاترین مقدار مقاومت کششی مربوط به تیمار آرد برگ ۴۵٪ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار مخلوط ۷۵٪ بود.

نتایج به دست آمده در مورد مقاومت کششی و مدول گسیختگی نشان دادند که تیمار مخلوط ۶۰٪ از روند کاهشی به ازای افزایش مقدار آرد نخل و در نتیجه کاهش مقاومت‌ها پیروی نمی‌کند.

به‌طوریکه در مورد مدول گسیختگی بعد از تیمار برگ ۴۵٪ که بیشترین مقاومت را به خود اختصاص داده بود، تیمار مخلوط ۶۰٪ و سپس تیمار مخلوط ۴۵٪ قرار گرفت. در مورد مقاومت کششی نیز به ترتیب تیمارهای برگ ۴۵٪، مخلوط ۴۵٪ و ساقه ۴۵٪ قرار گرفتند و در حالیکه انتظار می‌رفت تیمار برگ ۶۰٪ پس از آنها قرار گیرد، تیمار مخلوط ۶۰٪ پس از سه تیمار فوق قرار گرفت. با توجه به اینکه تیمار مخلوط، نسبت طبیعی برگ به ساقه در درخت نخل است و از نقطه نظر اقتصادی این تیمار مقرون به صرفه است لذا می‌توان با توجه به این دو ویژگی مکانیکی، پیشنهاد ساخت فراورده چوب-پلاستیک با استفاده از ۶۰٪ پرکننده از پسماندهای این درخت را ارائه داد.

با توجه به نمونه شاهد یعنی نمونه ساخته شده از پلیمر خالص در مورد مدول گسیختگی و مقاومت کششی بیشترین مقاومت‌ها مربوط به تیمار پلیمر خالص بود. ولی در مورد مدول الاستیسیته خمشی به ترتیب تنها ۳ تیمار ساقه ۴۵٪، مخلوط ۷۵٪ و ساقه ۷۵٪ دارای مقادیر کمتری نسبت به تیمار شاهد یا پلی‌اتیلن خالص بودند و همانطور که گفته شد سایر تیمارها بالاتر از تیمار شاهد قرار گرفتند.

پیشنهادات

با توجه به مطالعه‌ی صورت گرفته در این تحقیق و به منظور پیشرفت و تکمیل آن، مطالعات تکمیلی زیر پیشنهاد می‌گردد:

- در ساخت تخته‌های مسطح چوب-پلاستیک استفاده از الیاف لیگنوسلولزی موجب تقویت ویژگی‌های مکانیکی می‌شود اما در عمل استفاده از آرد مواد لیگنوسلولزی آسان‌تر است. از طرفی پروفیل‌ها قطعاتی هستند که به واسطه شکل طراحی شده برای ساخت آنها از مقاومت‌های مکانیکی مناسب‌تری برخوردارند و در ساخت آنها می‌توان از آرد این مواد نیز استفاده کرد. لذا پیشنهاد می‌گردد تا در صورت امکان قطعات پروفیلی با آرد نخل ساخته شده و مقاومت‌های مکانیکی آن محاسبه گردد.
- چه در مورد ساخت تخته‌های مسطح و چه در مورد پروفیل‌ها، بررسی ویژگی سختی و مقاومت به سایش فراورده چندسازه آرد نخل- پلی‌اتیلن مطالعه‌ی سودمندی خواهد بود.
- مطالعه‌ی مقاومت چندسازه آردنخل-پلی‌اتیلن در برابر آتش و همچنین اشعه‌ی ماورای بنفش.
- ساخت تخته‌های چندسازه آردنخل-پلی‌اتیلن و یا قطعات پروفیل شکل با روش اکسترودر و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی.
- ساخت تخته‌های چندسازه آردنخل-ترموپلاستیک با استفاده از پلیمرهای متداول دیگر و مقایسه با تخته‌های چندسازه آردنخل-پلی‌اتیلن.

فهرست منابع

۱- اکبریان، م. و محراب‌زاده، م. ۱۳۶۷. کامپوزیت‌ها۱. مجله‌ی علوم و تکنولوژی پلیمر. سال اول. شماره اول. صفحات ۶۳-۵۷.

۲- امیرخیزی، م. ح.، ۱۳۸۰. آمیزه‌کاری در صنایع پلیمری. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴۱۱ صفحه.

۳- اندرسون، ای. و لوکاس، ب. ۱۳۷۳. تکنولوژی و کاربرد مواد چندسازه (ترجمه‌ی سعید درودیان. مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۱۲۶ صفحه).

۴- بیگی، ب.، جعفری، ف. و جعفری، ع. ۱۳۶۷. گزارش تحقیقاتی امکان استفاده از مشتقات نخل خرما در صنایع کشور، ۲۳ صفحه.

۵- پارسا، الف.، ۱۳۳۱. اندام شناسی گیاهان، ساختمان اولیه و ثانویه ساقه، انتشارات وزارت فرهنگ سابق. ۲۳۲ صفحه.

۶- چهارمحالی، م.، کاظمی نجفی، س.، تجویدی، م. و پودینه‌پور، م. ع. ۱۳۸۴. بررسی خواص مکانیکی چندسازه چوب-پلاستیک ساخته شده از ضایعات تخته‌خرده‌چوب و ام.دی.اف و ضایعات پلی‌اتیلن سنگین. مجله پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران جلد ۲۰ شماره ۲. صفحات ۲۸۴-۲۷۱.

۷- حاجیان، س. ۱۳۸۶. بررسی تکمیلی و مقایسه کمی و کیفی ارقام خرمای حاصل از کشت بافت. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. انتشارات موسسه تحقیقاتی خرما و میوه‌های گرمسیری کشور، ۴۵صفحه.

۸- حاجیان، س. ۱۳۸۶. گزارش برنامه راهبردی تحقیقات خرمای کشور. جلد سوم، انتشارات موسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری کشور، ۸۲صفحه.

۹- خادمی، ر. و بهسرشت، ر. ۱۳۸۵. راهکارهای مناسب مدیریت بقایای گیاهی در نخلستان‌های کشور. اداره‌ی کل نخلیات استان بوشهر. ۲۳ صفحه.

۱۰- دادخواه تهرانی، ب. ۱۳۸۵. روش‌های ساخت چندسازه چوب-پلاستیک. سمینار، دانشکده جنگلداری و فناوری چوب، دانشگاه منابع طبیعی گرگان.۳۷صفحه.

۱۱- شاکری، ع و امیدوار، الف. ۱۳۸۵. بررسی اثر نوع، مقدار واندازه‌ی ذرات کاه بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی‌اتیلن سنگین /کاه غلات. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر. سال نوزدهم. شماره ۴. صفحات ۳۰۸-۳۰۱.

۱۲- کریمی، ع. ن.، روحانی، م.، پارسا پژوه، د. و ابراهیمی، ق. ۱۳۸۳. بررسی امکان استفاده از الیاف لیگنوسلولزی (باگاس و کنف) در ساخت چندسازه‌ی الیاف-پلی‌پروپیلن. مجله‌ی منابع طبیعی ایران. جلد ۵۷. شماره ۳. صفحات ۴۹۱-۵۰۶.

۱۳- گرجانی، ف. ۱۳۸۳. بررسی ساخت مواد چندسازه با استفاده از کاه گندم و پلی‌اتیلن بازیافتی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی چوب و کاغذ. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۱۴- گلستان، م.ب. ۱۳۸۳. سرمایه‌ی ملی که دود می‌شود.، چالش‌های ملی و فراملی محیط زیست در برنامه‌ی چهارم. پنجمین همایش ملی انجمن متخصصان محیط زیست ایران. صفحه ۲۵۹.

۱۵- لتیباری، الف. ج.، حسین زاده، ع.، نوربخش حبیب آبادی، الف.، کارگرفرد، الف. و گلبابایی، ف. ۱۳۷۵. بررسی ویژگی‌های تخته خرده چوب ساخته شده از ضایعات نخل. مجله پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران جلد ۱ شماره ۱. صفحات ۸۴-۶۱.

۱۶- مستوفی سرکاری، م. ۱۳۷۶. ماشین هرس برگ و ته برگ خرما. نشریه شماره ۹. نشر آموزش کشاورزی. ۱۰صفحه.

۱۷- نوربخش، ا .، حسین زاده، ع.، جهان لتیباری، الف.ج.، کارگر فرد، الف. و ککتا، وی. ۱۳۸۳. مقایسه اثر مواد لیگنوسلولزی در سطوح مختلف انیدرید مالئیک پلی‌پروپیلن در چندسازه الیاف و آرد چوب-پلی‌پروپیلن. مجله‌ی پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران. جلد ۱۹. شماره ۱. صفحات ۶۸-۴۹.

18. American Society for Testing and Materials, ASTM Handbook 2003.

19. ASTM. 1999. Composite Materials Handbook: Volume 4. Metal Matrix Composites, United State of America Department of Defense Handbook, Rev. 21.

20. Chen, X., Guo, Q. and Mi, Y. 1998. Bamboo fiber-reinforced polypropylene composites: A study of the mechanical properties; J. Applied Polymer Science. 69 (10): 1891-1899.

21. Dowson, V.H.W. 1993. Date production and protection with special reference to North Africa and the near east. Food and Agriculture Organization of the United Nations. P. 15.

22. Guglielmo, A., Pavone, P. and Salmeri, C. 1998. Palms. Department of Botany-University of Catania, Ministry of University and Scientific Research and Technological. P. 68.
23. Han, J.S. 1998. Properties of nonwood fibers. Fiber Property Comparison at the TAPPI 1998 North American Nonwood Symposium at Atananta: 17-18.
24. Hanafi, I., Rozman, H. D., Jaffri, R. M. and Mohd Ishak, Z. A. 1996. Oil palm wood flour reinforced epoxidized natural rubber composites: The effect of filler content and size. European Polymer Journal. 33. (10): 1627-1632.
25. Joao, F.M., Sousa, R.A., Boesel L.F., Neves, N.M. and Reis, R.L., 2004. Bioinert, biodegradable and injectible polymeric matrix composites. Composite Science and technology, 64: 789-817.
26. Karger-Kocsis, J., Shang, P. and Moskala, E. 1999. Effects of deformation rate on the necking of an amorphous copolyester studied by modulated DSC. 55(1): 21-28.
27. Klotz, L.H. 1978. Observation on diameters of vessels in stems of palms. Principes. 22: 99–106
28. Miguez Suarez, C., Coutinho, M.B., Sydenstricker, H. 2005. Analysis of the fracture behavior of polypropylene-sawdust composites. Journal of polymers. 15(2): 139-141.
29. Parthasarathy, M.V. 1974. Ultrastructure of phloem in palms. I. Immature sieve elements and parenchymatic elements. Protoplasma 79: 59-91.
30. Rozman, H.D., Ismail, H., Jaffri, R.H., Aminullah, A and Mohd Ishak, Z.A. 1998. Polyethylene-oil palm frond composites-A preliminary study on mechanical properties. International Journal of Polymeric materials, 39. (3): 161-172.
31. Singelton, A.C.N., Bailline, C.A., Beaumont, P.W.R. and Peijs, T. 2003. On the mechanical properties, deformation and fracture of a natural fiber/recycled. Polymer Composites. Composites: Part B 34: 519-526.
32. Stark, N. 2001. Influence of moisture absorption on mechanical properties of woodFlour – polypropylene composite. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 14. (September): 421-432.

33. Stark, N. and Berger, M. 1997. Effect of species and particle size on properties of wood-flour-filled polypropylene composites, functional filler for thermoplastics and thermosets conferences, California, Dec 8-10.

34. Zaid, A. and de Wet, P.F. 2002. Date palm cultivation. Chapter I: Botanical and systematic description of the date palm. FAO Plant Production and Protection, Paper 156 Rev. 1.

35. Zaini, M.J., Fuad, M.Y.A., Ismail, Z., Mansor, M.S. and Mustafah, J. 1995. The effect of filler content and size on the mechanical properties of polypropylene/oil palm wood flour composites . Plastics Technology Centre, Standards and Industrial Research Institute of Malaysia (SIRIM).

Abstract

The effect of the filler content and the different type of wood flour on the mechanical properties of polyethylene composites filled with an agricultural recision residue, date palm wood flour (DPWF) was studied. The different types of DPWF were stem, leaf and the mixture of stem and leaf, resulting from the annual recision of date palm tree. Composites were made at 45, 60 and 75 % by weight wood flour contents. The particle size was 25-40 mesh and Maleic anhydride modified polyethylene was also added at 2% of total weight of each board. First, the palletized feedstock from DPWF and plastic were provided by a twin screw extruder and then, the compound pellets ground and the final boards were made by a hot-press.

It was observed that by increasing the filler content, the mechanical properties, flexural strength and tensile strength decreased, while the flexural modulus increased. The tensile strength did not show significant differences as a function of the filler type. The flexural modulus of the boards made from leaf flour, was significantly higher than those boards made from mix and stem flour respectively, while there was no significant difference between these two treatments. The flexural strength of the boards made from mix flour was higher than the boards made from leaf flour but there was no significant difference between them, while there was significant difference between flexural strength of the boards made from stem flour with other two treatments.

Keywords: Wood-plastic composites (WPCs); Date palm wood flour (DPWF); Linear Low-density Polyethylene (LLDPE); mechanical properties.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Faculty of Forestry and Wood Technology

M.Sc. Thesis, Wood Composites

Title:

Manufacture of Natural fiber/Thermoplastic Composite by using Date Palm Wood Flour and Polyethylene

By:

Seyedmohammad Mirmehdi

Supervisors:

Asghar Omidvar (Ph.D.) Mehrab Madhoushi (Ph.D.)

Advisor:

Alireza Shakeri (Ph.D.)

Winter 2009