دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد در رشته
فراورده‌های چندسازه چوب

بررسی اثر نانو رس و عامل جفت‌کننده بر خواص مکانیکی، فیزیکی و مقاومت به پوسیدگی چندسازه حاصل از نرمه MDF و پلی‌اتیلن

پژوهش و نگارش:
امینه بهزادی شهربابک

استاد راهنما:
محراب مدهوشی

استاد مشاور:
محمدرضا ماستری‌فراهانی

تابستان ۱۳۹۲

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه‌های 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 دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

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

اینجانب **امینه بهزادی شهربابک** دانشجوی رشته **فراورده‌های چندسازه چوب** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی و امضاء

تقدیم به

آنان که همواره بر صحنه زندگیم عشق باریده اند

صاحبان برترین مقام

خانواده عزیزم

پدر بزرگوارم که دیدن این روز آرزویش بود، اما ندید

مادر مهربانم که اسوه صبر و الگوی من است

و برادر عزیزم

تشکر و قدردانی

امروز احساس می کنم که باید بگویم خداوندا متشکرم.

بر خود لازم می دانم مراتب سپاس خود را به کلیه کسانی که در مراحل مختلف این پژوهش مرا یاری نمودند، اعلام دارم. از خانواده عزیزم که همواره یاری بخش من بودند صمیمانه تشکر می کنم. از جناب آقای دکتر محراب مدهوشی استاد محترم راهنما که همواره با راهنمایی های بی دریغشان در مراحل تحقیق همراه من بودند، نهایت تشکر و قدردانی را دارم. از مشاور محترم جناب آقای دکتر محمدرضا ماستری فراهانی که در تمامی مراحل انجام تحقیق از هیچ کمکی دریغ نورزیدند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

هم چنین از تمامی دوستان بویژه هم اتاقی های عزیزم خانم مهندس فاطمه نیکوی و خانم مهندس طیبه محمدی نهایت سپاس و قدردانی را دارم. از آقای مهندس میثم مهدی نیا که در تمامی مراحل این پژوهش از تجربه ایشان استفاده کردم سپاس گذاری می کنم.

چکیده

در این پژوهش، به بررسی اثر نانوذرات رس و عامل جفت‌کننده مالئیک انیدرید بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و مقامت به پوسیدگی چندسازه نرمه MDF- پلی‌اتیلن پرداخته شده است. بدین منظور از نرمه سنباده‌زنی سطح MDF به عنوان ماده لیگنوسلولزی و پلی‌اتیلن به عنوان ماده ترموپلاستیک استفاده شد. هم‌چنین از ذرات نانورس مونت‌موریلونیت با سطوح وزنی مختلف (۰، ۲، ٤ و٦ درصد) و عامل جفت‌کننده با سطوح وزنی ۰، ۳ و ٦ درصد استفاده شد. سپس از چندسازه مورد نظر ۳٦ تخته (۱۲ تیمار در ۳ تکرار) با دانسیته اسمی ۱ g/cm^3 در ابعاد ۱ cm × ۲۸ cm ×۳۰ cm با استفاده از اکسترودر دوماردونه ناهمسوگرد و سپس پرس گرم ساخته شد. سپس خصوصیات مکانیکی شامل مقاومت و مدول خمشی و مقاومت به ضربه فاق‌دار و بدون فاق، خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی ضخامتی پس از ۲ و ۲٤ غوطه‌وری در آب و مقاومت به پوسیدگی شامل کاهش وزن بررسی شد. نمونه‌های چندسازه به مدت ۳ ماه مطابق با استاندارد ASTM-D1413 در معرض پوسیدگی قرار گرفتند. نتایج نشان داد افزودن عامل جفت‌کننده سبب بهبود چشم‌گیر خواص فیزیکی و مکانیکی و مقاومت به پوسیدگی می‌شود. از طرفی، افزودن نانورس سبب کاهش خصوصیات مکانیکی و افزایش مقاومت به پوسیدگی می‌شود. هم‌چنین افزودن نانورس تا ۲ درصد وزنی سبب کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت شده و پس از آن جذب آب و واکشیدگی ضخامت به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. در پایان به منظور بررسی ساختار و نحوه عملکرد نانو ذرات رس، تحلیلی براساس تصاویر میکروسکوپ الکترونی صورت پذیرفت. هم‌چنین تخریب ماده لیگنوسلولزی توسط قارچ در سطوح مختلف بررسی شد. نتایج حاصل از بررسی میکروسکوپی نشان داد با افزایش نانو رس میزان کلوخه‌ای‌شدن نانو ذرات افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: نانورس، عامل جفت‌کننده، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی، مقاومت به پوسیدگی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۱-۱- اهداف..... ٤

۱-۱-۲- فرضیه‌ها..... ۵

۱-۲- کلیات..... ۵

۱-۲-۱-چندسازه..... ۵

۱-۲-۲-چندسازه چوب- پلاستیک..... ٦

۱-۲-۳- روش‌های ساخت معمول چوب- پلاستیک..... ٦

۱-۲-۳-۱-اکستروژن..... ٦

۱-۲-۳-۲-قالب‌گیری انتقالی..... ۷

۱-۲-۳-۳-قالب‌گیری تزریقی..... ۷

۱-۲-٤-ویژگی‌های مهم چند سازه چوب- پلاستیک..... ۷

۱-۲-۵-کاربردهای چندسازه چوب- پلاستیک..... ۸

۱-۲-٦- اجزای چندسازه چوب- پلاستیک..... ۹

۱-۲-٦-۱-ماده زمینه پلیمری..... ۹

۱-۲-٦-۲-پلاستیک..... ۹

۱-۲-٦-۳-پلی‌اتیلن و ویژگی‌های آن..... ۱۰

۱-۲-٦-٤-پرکننده..... ۱۱

۱-۲-٦-۵- نرمه امدی‌اف..... ۱۲

۱-۲-۷- چسبندگی و فاز مشترک..... ۱۳

۱-۲-۸- مقدار مصرف جفت‌کننده‌ها..... ۱٤

۱-۲-۹-تاریخچه نانو تکنولوژی..... ۱٤

۱-۲-۱۰-نانو چیست..... ۱۵

۱-۲-۱۱- نانو تکنولوژی ۱۵

۱-۲-۱۲- نانو کامپوزیت..... ۱۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-۲-۱۲-۱- طبقه‌بندی نانوکامپوزیت‌ها..... ۱۶
۱-۲-۱۲-۲- نانوکامپوزیت‌های نانو ذره‌ای..... ۱۶
۱-۲-۱۲-۳- نانوکامپوزیت‌های نانو لوله‌ای..... ۱۶
۱-۲-۱۳- نانوکامپوزیت‌های پلیمر- خاک رس..... ۱۶
۱-۲-۱٤- روش‌های شناسایی و بررسی ساختار نانو در چندسازه‌ها..... ۱۷
۱-۲-۱۵- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)..... ۱۸
۱-۲-۱٦- قارچ‌های مخرب چوب و سایر مواد لیگنوسلولزی..... ۱۹
۱-۲-۱۷-تغذیه قارچ‌ها..... ۱۹
۱-۲-۱۸-عوامل و عناصر مورد نیاز قارچ‌ها..... ۲۰
۱-۲-۱۹- انواع پوسیدگی ۲۰
۱-۲-۲۰-قارچ عامل پوسیدگی سفید..... ۲۰
۱-۲-۲۱- قارچ رنگین‌کمان..... ۲۱
۱-۲-۲۱-۱-طبقه‌بندی قارچ رنگین‌کمان..... ۲۱
۱-۲-۲۱-۲-مورفولوژی قارچ رنگین‌کمان..... ۲۱
۱-۲-۲۲-۳- اکولوژی قارچ رنگین‌کمان..... ۲۲

فصل دوم: مرور منابع

۲-۱-استفاده از ضایعات حاصل از صنایع چوب در ساخت چوب- پلاستیک..... ۲٤
۲-۲-بررسی اثر عامل جفت‌کننده بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب- پلاستیک..... ۲۵
۲-۳- بررسی اثر نانورس بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب- پلاستیک..... ۲۷
۲-٤-بررسی مقاومت به پوسیدگی چوب- پلاستیک..... ۳۲
۲-۵- اثر پیش تیمار بر روی جذب آب و مقاومت به پوسیدگی چندسازه..... ۳۳
۲-٦- بررسی اثر عامل جفت‌کننده بر مقاومت به پوسیدگی چوب- پلاستیک..... ۳٤
۲-۷- بررسی اثر نانو ذرات بر مقاومت به پوسیدگی چوب- پلاستیک..... ۳۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مواد ۳۸
۳-۱-۱- نرمه حاصل از سنباده‌زنی سطح MDF ۳۸
۳-۱-۲- پلیمر ۳۸
۳-۱-۳- عامل سازگارکننده ۳۸
۳-۱-٤- نانو ذرات رس ۳۹
۳-۲- روش‌ها ٤۰
۳-۲-۱- آماده‌سازی مواد اولیه ٤۰
۳-۲-۱-۱- آماده‌سازی نرمه MDF ٤۰
۳-۲-۱-۲- آماده‌سازی پلی‌اتیلن ٤۰
۳-۲-۱-۳- آماده‌سازی MAPE ٤۱
۳-۲-۱-٤- آماده‌سازی ذرات نانو رس ٤۱
۳-۲-۲- فرایند اختلاط و تعیین تیمارها ٤۱
۳-۲-۲-۱- تشکیل کیک ٤۳
۳-۲-۲-۲- شرایط پرس ٤۵
۳-۲-۳- آزمون مکانیکی ٤۵
۳-۲-۳-۱- نمونه‌های آزمون خمش ٤۵
۳-۲-۳-۲- آزمون ضربه ٤٦
۳-۲-٤- آزمون فیزیکی ٤۸
۳-۲-۵- آزمون مقاومت به پوسیدگی ٤۹
۳-۲-۵-۱- آماده‌سازی نمونه‌های فراورده چندسازه ٤۹
۳-۲-۵-۱-۱- چرخه‌های جوشاندن در آب و خشک کردن نمونه‌ها ٤۹
۳-۲-۵-۲- آزمون مقاومت به پوسیدگی ۵۰
۳-۲-۵-۲-۱- تهیه خاک مناسب ۵۰
۳-۲-۵-۲-۱-۱-تعیین PH خاک ۵۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۲-۵-۲-۱-۲- تعیین ظرفیت نگه‌داری آب خاک ۵۰
۳-۲-۵-۲-۱-۳- تهیه قارچ..... ۵۱
۳-۲-۵-۲-۲-تهیه محیط کشت..... ۵۱
۳-۲-۵-۲-۳- انتقال محیط کشت ساخته‌شده به پتری‌دیش..... ۵۲
۳-۲-۵-۲-٤- تکثیر قارچ..... ۵۳
۳-۲-۵-۲-۵- تهیه ماده غذایی قارچ..... ۵٤
۳-۲-۵-۲-٦- استریل نمودن شیشه‌های آزمون..... ۵٤
۳-۲-۵-۲-۷- کشت قارچ‌های خالص‌سازی شده در ظروف شیشه‌ای..... ۵٤
۳-۲-۵-۲-۸- انتقال نمونه به شیشه‌های حاوی قارچ و شیشه‌های بدون قارچ ۵۵
۳-۲-۵-۲-۹- مرحله نهایی آزمون مقاومت به پوسیدگی، زدودن قارچ از روی نمونه‌ها..... ۵۵
۳-۲-۵-۳- محاسبه درصد کاهش وزن..... ۵٦
۳-۲-۵-٤-محاسبه درصد رطوبت..... ۵۷
۳-۲-٦- آنالیز آماری داده‌های بدست آمده..... ۵۷
۳-۲-۷-تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)..... ۵۷

فصل چهارم: نتایج

٤-۱-ویژگی‌های فیزیکی..... ٦۰
٤-۱-۱- میزان جذب آب پس از ۲ و ۲٤ ساعت غوطه‌وری ٦۰
٤-۱-۲- میزان واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲٤ ساعت غوطه‌وری ٦٤
٤-۲- ویژگی‌های مکانیکی..... ٦۸
٤-۲-۱-مقاومت خمشی (MOR)..... ٦۸
٤-۲-۲-مدول الاستیسیته خمشی (MOE)..... ۷۱
٤-۲-۳- مقاومت به ضربه..... ۷٤
٤-۲-۳-۱- مقاومت به ضربه فاق‌دار (J/m)..... ۷٤
٤-۲-۳-۲-مقاومت به ضربه بدون فاق (J/m)..... ۷۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

٤-٣- تصاویر میکروسکوپ الکترونی..... ٨٠
٤-٤-مقاومت به پوسیدگی..... ٨٣
٤-٤-١-جذب آب طی پنج چرخه جوشاندن در آب و خشک‌کردن در آون..... ٨٣
٤-٤-٢-کاهش وزن در اثر پوسیدگی..... ٨٤
٤-٤-٢-١- کاهش وزن در اثر پوسیدگی در ٤ هفته اول..... ٨٤
٤-٤-٢-٢- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های پوسیده‌شده پس از ٤ هفته..... ٨٨
٤-٤-٢-٣- کاهش وزن در اثر پوسیدگی پس از ٨ هفته ٨٩
٤-٤-٢-٤- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های پوسیده‌شده پس از ٨ هفته..... ٩٢
٤-٤-٢-٥- کاهش وزن در اثر پوسیدگی پس از ١٢ هفته ٩٤
٤-٤-٢-٦- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های پوسیده‌شده پس از ١٢ هفته..... ٩٧
٤-٤-٣- درصد رطوبت نمونه‌های فراورده چندسازه در پایان آزمون پوسیدگی..... ٩٨
٤-٤-٤- درصد رطوبت نرمه MDF نمونه‌های فراورده چندسازه در پایان آزمون پوسیدگی..... ١٠٠

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

٥-١- بحث..... ١٠٤
٥-١-١- خواص فیزیکی..... ١٠٤
٥-١-٢- خواص مکانیکی..... ١٠٦
٥-١-٣- مقاومت به پوسیدگی ١٠٩
٥-١-٤- بررسی اثر متقابل نانورس و عامل جفت‌کننده بر خواص فیزیکی، مکانیکی و مقاومت به پوسیدگی . ١١١
٥-٢- نتیجه‌گیری..... ١١٢
٥-٣- پیشنهادات..... ١١٣
منابع..... ١١٦

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- مشخصات پلی‌اتیلن استفاده شده در ساخت چوب‌پلاستیک..... ۳۸
جدول ۳-۲- مشخصات تیمارهای مختلف برای ساخت چندسازه..... ٤۲
جدول ٤-۱- تجزیه واریانس تاثیر مستقل و متقابل متغیرها بر میزان جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت غوطه‌وری ٦۰
جدول ٤-۲- گروه‌بندی سطوح عامل جفت‌کننده در میزان جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت با آزمون مقایسه میانگین توکی ٦۳
جدول ٤-۳- گروه‌بندی سطوح نانورس در میزان جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت با آزمون مقایسه میانگین توکی ٦۳
جدول ٤-٤- تجزیه واریانس تاثیر مستقل و متقابل متغیرها بر میزان واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت غوطه‌وری..... ٦٤
جدول ٤-٥- گروه‌بندی سطوح عامل جفت‌کننده در میزان واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت با آزمون مقایسه توکی ٦۷
جدول ٤-٦- گروه‌بندی سطوح نانورس در میزان واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت با آزمون مقایسه میانگین توکی ٦۷
جدول ٤-۷- تجزیه واریانس تأثیر مستقل و متقابل..... ٦۸
جدول ٤-۸- گروه‌بندی سطوح عامل جفت‌کننده در میزان مقاومت خمشی (MOR) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ۷۰
جدول ٤-۹- گروه‌بندی سطوح نانو رُس در میزان مقاومت خمشی (MOR) با آزمون مقایسه میانگین توکی ۷۱
جدول ٤-۱۰- تجزیه واریانس تاثیر مستقل و متقابل متغیرها بر مدول الاستیسیته (MOE)..... ۷۱
جدول ٤-۱۱- گروه بندی سطوح عامل جفت‌کننده در میزان مدول الاستیسیته خمشی(MOE) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ۷۳
جدول ٤-۱۲- گروه‌بندی سطوح نانو رُس در میزان مدول الاستیسیته خمشی(MOE) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ۷٤
جدول ٤-۱۳- تجزیه واریانس تاثیر مستقل و متقابل متغیرها بر مقاومت به ضربه فاق‌دار(J/m)..... ۷٤

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ٤-١٤- گروه بندی سطوح عامل جفت‌کننده در میزان مقاومت به ضربه فاق‌دار (J/m) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ٧٦
جدول ٤-١٥- گروه‌بندی سطوح نانو رُس در میزان مقاومت به ضربه فاق‌دار (J/m) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ٧٧
جدول ٤-١٦- تجزیه واریانس تاثیر مستقل و متقابل متغیرها بر مقاومت به ضربه بدون فاق..... ٧٨
جدول ٤-١٧- گروه بندی سطوح عامل جفت‌کننده در میزان مقاومت به ضربه بدون فاق (J/m) با آزمون مقایسه توکی..... ٧٩
جدول ٤-١٨- گروه‌بندی سطوح نانو رُس در میزان مقاومت به ضربه بدون فاق (J/m) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ٨٠
جدول ٤-١٩- جذب آب چندسازه چوب- پلاستیک در اثر چرخه جوشاندن و خشک کردن..... ٨٣
جدول ٤-٢٠- جذب آب نرمه MDF در اثر چرخه جوشاندن و خشک کردن..... ٨٤
جدول ٤-٢١- میانگین کاهش وزن چندسازه و نرمه MDF در اثر پوسیدگی به‌وسیله قارچ *T. versicolor* پس از ٤ هفته..... ٨٥
جدول ٤-٢٢- تجزیه واریانس تاثیر مستقل و متقابل متغیرها بر مقاومت به پوسیدگی پس از ٤ هفته مجاورت با قارچ (٪)..... ٨٦
جدول ٤-٢٣- گروه بندی سطوح عامل جفت‌کننده در میزان کاهش وزن در اثر پوسیدگی (٪) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ٨٧
جدول ٤-٢٤- گروه‌بندی سطوح نانو رُس در میزان کاهش وزن در اثر پوسیدگی (٪) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ٨٨
جدول ٤-٢٥- میانگین کاهش وزن چندسازه و نرمه MDF در اثر پوسیدگی به‌وسیله قارچ *T. versicolor* پس از ٨ هفته..... ٨٩
جدول ٤-٢٦- تجزیه واریانس تاثیر مستقل و متقابل متغیرها بر مقاومت به پوسیدگی (٪) پس از ٨ هفته مجاورت با قارچ ٩٠
جدول ٤-٢٧- گروه بندی سطوح عامل جفت‌کننده در میزان کاهش وزن در اثر پوسیدگی (٪) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ٩٢

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ٤-٢٨- گروه‌بندی سطوح نانو رُس در میزان کاهش وزن در اثر پوسیدگی (٪) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ۹۲
جدول ٤-٢٩- میانگین کاهش وزن چندسازه و نرمه MDF در اثر پوسیدگی به‌وسیله قارچ *T. versicolor* پس از ۱۲ هفته..... ۹٤
جدول ٤-۳۰- تجزیه واریانس تاثیر مستقل و متقابل متغیرها بر مقاومت به پوسیدگی پس از ۱۲ هفته مجاورت با قارچ (٪)..... ۹۵
جدول ٤-۳۱- گروه بندی سطوح عامل جفت‌کننده در میزان کاهش وزن در اثر پوسیدگی (٪) با آزمون مقایسه میانگین توکی..... ۹۷
جدول ٤-۳۲- گروه‌بندی سطوح نانو رُس در میزان کاهش وزن در اثر پوسیدگی (٪) با آزمون مقایسه‌میانگین توکی..... ۹۷
جدول ٤-۳۳- درصد رطوبت نمونه‌های فراورده چندسازه در پایان آزمون پوسیدگی..... ۹۹
جدول ٤-۳٤- درصد رطوبت نرمه MDF در پایان آزمون پوسیدگی..... ۱۰۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- شمای کلی از میکروسکوپ الکترونی SEM ۱۸
شکل ۱-۲- قارچ رنگین‌کمان ۲۲
شکل ۳-۱- گرانول‌های MAPE ۳۹
شکل ۳-۲- ذرات نانو رس ۳۹
شکل ۳-۳- تصاویر گرفته‌شده توسط نگارنده FE-SEM از ذرات نانو رس ٤۰
شکل ۳-٤- دستگاه اکسترودر ٤۲
شکل ۳-۵- قالب فلزی ٤۳
شکل ۳-٦- مخلوط داخل قالب ٤٤
شکل ۳-۷- فشرده کردن کیک با دست ٤٤
شکل ۳-۸- خروج قالب چوبی ٤٤
شکل ۳-۹- انتقال کیک به پرس گرم ٤٤
شکل ۳-۱۰- پرس سرد ٤٤
شکل ۳-۱۱- تخته‌های نهایی ٤٤
شکل ۳-۱۲- پرس گرم آزمایشگاهی ٤۵
شکل ۳-۱۳- دستگاه Cometech ٤٦
شکل ۳-۱٤-نحوه ایجاد فاق در نمونه‌های مقاومت به ضربه IZOD ٤۷
شکل۳- ۱۵- دستگاه Santam جهت آزمون ضربه فراورده چندسازه ٤۸
شکل ۲-۱٦- جوشاندن نمونه‌ها ۵۰
شکل ۳-۱۷- خشک‌کردن نمونه‌ها ۵۰
شکل ۳-۱۸- مالت اکستراکت آگار ۵۲
شکل ۳-۱۹- هود آزمایشگاهی ۵۲
شکل ۳-۲۰-برش قارچ رشد یافته ۵۳
شکل ۳-۲۱- انتقال قارچ به محیط کشت ۵۳
شکل ۳-۲۲- بستن پتری‌دیش با پارافیلم ۵۳
شکل ۳-۲۳-انتقال پتری‌دیش‌ها به انکوباتور ۵۳
شکل ۳-۲٤- شیشه‌های حاوی خاک و ماده غذایی و استریل کردن به وسیله اتوکلاو ۵٤

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۲۵- انتقال قارچ به شیشه حاوی خاک و ماده غذایی و انتقال شیشه به اتاق کشت ۵۵
شکل ۳-۲۶- نمونه آزمونی پوشیده شده با قارچ ۵۶
شکل ۳-۲۷- دستگاه FE-SEM مدل S-4160 ..... ۵۸
شکل ٤-۱- اثر مستقل جفت‌کننده بر جذب آب پس از ۲ و ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب ٦۱
شکل ٤-۲- اثر مستقل نانورس بر جذب آب پس از ۲ و ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب ٦۲
شکل ٤-۳- تغییرات جذب آب (۲ ساعت غوطه‌وری) در سطوح مختلف ذرات نانو رُس و عامل جفت‌کننده ٦۲
شکل ٤-٤- تغییرات جذب آب (۲٤ ساعت غوطه‌وری) در سطوح مختلف ذرات نانو رُس و عامل جفت‌کننده...٦۵
شکل ٤-۵- اثر مستقل جفت‌کننده بر واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲٤ ساعت ٦۵
شکل ٤-٦- اثر مستقل نانورس بر جذب آب پس از ۲ و ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب ٦٦
شکل ٤-۷- تغییرات واکشیدگی ضخامت (۲ ساعت غوطه‌وری) در سطوح مختلف ذرات نانو رُس و عامل جفت‌کننده ٦٦
شکل ٤-۸- تغییرات واکشیدگی ضخامت (۲٤ ساعت غوطه‌وری) در سطوح مختلف ذرات نانو رُس و عامل جفت‌کننده ٦٦
شکل ٤-۹- اثر مستقل عامل جفت‌کننده بر مقاومت خمشی ٦۹
شکل ٤-۱۰- اثر مستقل نانورس بر مقاومت خمشی ٦۹
شکل ٤-۱۱- تغییرات مقاومت خمشی در سطوح مختلف ذرات نانو رُس و جفت‌کننده ۷۰
شکل ٤-۱۲- اثر مستقل عامل جفت‌کننده بر مدول الاستیسیته خمشی ۷۲
شکل ٤-۱۳- اثر مستقل نانورس بر مدول الاستیسیته خمشی ۷۲
شکل ٤-۱٤- تغییرات مدول الاستیسیته خمشی در سطوح ذرات نانو رُس و جفت‌کننده ۷۳
شکل ٤-۱۵- اثر مستقل عامل جفت‌کننده بر مقاومت به ضربه فاق‌دار ۷۵
شکل ٤-۱٦- اثر مستقل نانورس بر مقاومت به ضربه فاق‌دار ۷۵
شکل ٤-۱۷- تغییرات مقاومت به ضربه فاق‌دار در سطوح نانو رُس و عامل جفت‌کننده ۷٦
شکل ٤-۱۸- اثر مستقل عامل جفت‌کننده بر مقاومت به ضربه بدون فاق ۷۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-١٩- اثر مستقل نانورس بر مقاومت به ضربه بدون فاق..... ٧٨
شکل ٤-٢٠- تغییرات مقاومت به ضربه بدون فاق در سطوح مختلف ذرات نانو رُس و عامل جفت‌کننده.. ٧٩
شکل٤-٢١- تصویر FE-SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره ٩ چندسازه نانورس –نرمه MDF–پلی‌اتیلن ٨٠
شکل٤-٢٢- تصویر FE-SEM از سطح شکست نمونه آزمونی تیمار شماره ٩ چندسازه نرمهMDF –پلی‌اتیلن ...٨١
شکل٤-٢٣- تصویر FE-SEM از سطح شکست نمونه آزمونی تیمار شماره ١٢ چندسازه نرمهMDF –پلی‌اتیلن ٨١
شکل ٤-٢٤- تصویر FE-SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره ١٠..... ٨٢
شکل ٤-٢٥- تصویر FE-SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره ١١..... ٨٢
شکل ٤-٢٦- اثر مستقل عامل جفت‌کننده برکاهش وزن فراورده چندسازه در اثر پوسیدگی پس از ٤ هفته. ٨٥
شکل ٤-٢٧- اثر مستقل نانورس برکاهش وزن چندسازه در اثر پوسیدگی پس از ٤ هفته..... ٨٦
شکل ٤-٢٨- تغییرات کاهش وزن در اثر پوسیدگی در سطوح مختلف ذرات نانو رُس و عامل جفت‌کننده طی ٤ هفته..... ٨٧
شکل ٤-٢٩- تصویر FE-SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره ١١ حاوی ٤ درصد نانورس پس از ٤ هفته پوسیدگی..... ٨٨
شکل ٤-٣٠- تصویر FE-SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره ١٢ حاوی ٦ درصد نانورس پس از ٤ هفته پوسیدگی..... ٨٩
شکل ٤-٣١- اثر مستقل عامل جفت‌کننده برکاهش وزن فراورده چندسازه در اثر پوسیدگی پس از ٨ هفته. ٩٠
شکل ٤-٣٢- اثر مستقل نانورس برکاهش وزن چندسازه در اثر پوسیدگی پس از ٨ هفته..... ٩١
شکل ٤-٣٣- تغییرات کاهش وزن در اثر پوسیدگی در سطوح مختلف ذرات نانو رُس و عامل جفت‌کننده طی ٨ هفته..... ٩١
شکل ٤-٣٤- تصویر FE-SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره ١١ حاوی ٤ درصد نانورس پس از ٨ هفته پوسیدگی..... ٩٣
شکل ٤-٣٥- تصویر FE-SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره ١٢ حاوی ٦ درصد نانورس پس از ٨ هفته پوسیدگی..... ٩٣
شکل ٤-٣٦- اثر مستقل عامل جفت‌کننده برکاهش وزن فراورده چندسازه در اثر پوسیدگی پس از ١٢ هفته٩٥
شکل ٤-٣٧- اثر مستقل نانورس برکاهش وزن چندسازه در اثر پوسیدگی پس از ١٢ هفته..... ٩٦

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-٣٨- تغییرات کاهش وزن در اثر پوسیدگی در سطوح مختلف ذرات نانو رُس و عامل جفت‌کننده طی ۱۲ هفته..... ٩٦
شکل ٤-٣٩- تصویر FE-SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره ۱۱ حاوی ٤ درصد نانورس پس از ۱۲ هفته پوسیدگی..... ٩٨
شکل ٤-٤٠- تصویر FE-SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره ۱۲ حاوی ٦ درصد نانورس پس از ۱۲ هفته پوسیدگی..... ٩٨
شکل ٤-٤١- رابطه بین کاهش وزن و رطوبت چندسازه در پایان آزمون پوسیدگی..... ۱۰۰
شکل ٤-٤٢- رابطه بین کاهش وزن و رطوبت چندسازه در پایان آزمون پوسیدگی..... ۱۰۰
شکل ٥-١- تصویر FE-SEM چندسازه حاوی ٦ درصد نانورس- نشان‌دهنده خروج الیاف از ماده زمینه ۱۰۸

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

چندسازه‌های چوب‌پلاستیک که به اختصار "WPC[1]" نامیده می‌شوند، گروه جدیدی از مواد هستند که در بسیاری از کشورهای پیشرفته در حال تولید و گسترش هستند. در ساخت این چندسازه‌ها انواع پلیمرها مانند پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل‌کلراید، پلی‌استر و ... به همراه پرکننده‌های سلولزی شامل پودر و الیاف حاصل از مواد چوبی، پودر و الیاف حاصل از بقایای محصولات کشاورزی و ضایعات حاصل از انواع کاغذ قابل استفاده است (سندی[2] و همکاران، ۱۹۹٤).

به دنبال افزایش نسبی قیمت پلاستیک‌ها در چندین سال گذشته، افزودن الیاف و پرکننده‌های طبیعی به منظور کاهش هزینه‌ها در صنعت پلاستیک و در برخی موارد افزایش تولید، مورد توجه قرار گرفت (سندی و همکاران، ۱۹۹٤). تقویت‌کننده‌های لیگنوسلولزی در مقایسه با تقویت‌کننده‌های رقیب خود مانند الیاف شیشه و پرکننده‌های معدنی دارای مزیت‌های فراوانی از جمله دانسیته کمتر، مدول و مقاومت ویژه بالاتر، سایش نسبی کم، تجدیدپذیر بودن و سهولت اصلاح سطح الیاف بوده و ضمنا به طور گسترده‌ای در دسترس هستند. هم‌چنین این الیاف از الیاف مصنوعی ارزان‌تر بوده و می‌توانند در بسیاری از کاربردهایی که در آن‌ها صرفه‌جویی در هزینه، بر خواص مقاومتی محصول ارجح است، جایگزین الیاف مصنوعی شوند (رزمان[3] و همکاران، ۲۰۰٤) از این‌رو با ورود الیاف و پرکننده‌های سلولزی به صنعت پلاستیک مواد مرکب جدید که شامل الیاف چوب یا دیگر مواد لیگنوسلولزی به عنوان پرکننده یا تقویت‌کننده و ترموپلاستیک‌ها می‌باشند، متولد شدند. با توجه به ویژگی‌های بسیار خوب، چندسازه چوب -پلاستیک توسعه منحصر به فردی داشته و براساس عملکرد، فرایند، محصول و نوآوری در طراحی، محبوبیت زیادی پیدا کرده است (کروکستون[4] و همکاران، ۲۰۱۱).

در روش‌های مختلف ساخت چوب‌پلاستیک (اکستروژن، تزریق، انتقال رزین و پرس گرم) می‌توان از حجم بالای الیاف استفاده کرد. بنابراین محصول تولید شده به دلیل داشتن درصد بالای الیاف که قابلیت تجزیه بیولوژیکی دارند، بسیار سازگار با محیط است. این محصول رقیب اصلی تخته فیبر دانسیته متوسط[5] و تخته خرده چوب محسوب می‌شود و با ورود آن به بازار مشکل انتشار

[1] Wood Plastic Composites
[2] Sandi
[3] Rozman
[4] Crookston
[5] Medium Density Fiberboard