

فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران  
جلد ۳۱، شماره ۴، صفحه ۵۶۸-۵۵۷، (۱۳۹۵)

## استفاده از پلی اتیلن بازیافتی برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب

ابوالفضل کارگرفرد<sup>۱\*</sup> امیر نوربخش<sup>۲</sup> و فرداد گلبابائی<sup>۳</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: a\_kargarfard@yahoo.com

۲- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- کارشناس ارشد، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: خرداد ۱۳۹۴

### چکیده

هدف از این بررسی، استفاده از پلی اتیلن بازیافتی برای اصلاح ویژگی‌های تخته خرده چوب بوده است؛ بنابراین با استفاده از ۳ سطح مصرف چسب ۱۰، ۷ و ۴ درصد و ۳ میزان مصرف پلی اتیلن بازیافتی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد (بر اساس وزن خشک خرده چوب) در لایه سطحی یک خرده چوب اقدام به ساخت تخته خرده چوب شد. همچنین به منظور بررسی تأثیر این عوامل بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته‌شده، تعداد ۳ تخته خرده چوب شاهد با مصرف ۱۰ درصد چسب در لایه سطحی و بدون کاربرد پلی اتیلن ساخته شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته‌شده با استفاده از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش مقدار مصرف پلی اتیلن باعث بهبود مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌های ساخته‌شده می‌گردد. به طوری که مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌های ساخته‌شده با کاربرد ۱۵ درصد پلی اتیلن نسبت به تخته‌های شاهد به ترتیب در حدود ۵۹ و ۵۳ درصد افزایش داشته است. همچنین واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها با افزایش مصرف پلی اتیلن بهبود یافته است و حداقل واکنشیدگی ضخامت ۲ ساعت در شرایط مصرف چسب ۱۰ درصد و ۱۵ درصد پلی اتیلن بازیافتی به دست آمده است که کمتر از ۱۰ درصد تخته‌های شاهد می‌باشد. افزایش مقدار مصرف پلی اتیلن، جذب آب تخته‌ها را کاهش داده که حداقل آن در تخته‌های دارای ۱۵ درصد پلی اتیلن مشاهده شد. به طوری که با مصرف ۱۵ درصد پلی اتیلن تا حدود ۵۸ درصد در جذب آب ۲ ساعت آنها در مقایسه با تخته‌های شاهد کاهش دیده شد. در یک جمع‌بندی کلی، می‌توان بیان داشت که یکی از بهترین راهکارها برای مصرف ضایعات پلیمری و تولید محصولات با ارزش افزوده بالا، به‌کارگیری آنها در جهت بهبود ویژگی‌های تخته خرده چوب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تخته خرده چوب، پلی اتیلن بازیافتی، میزان مصرف چسب، خواص فیزیکی و مکانیکی.

## مقدمه

رشد و توسعه صنعتی در دهه‌های اخیر از شتاب بیشتری به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه برخوردار شده است. به طوری که بسیاری از کشورهای در حال توسعه، گام‌های مهمی را در جهت صنعتی شدن و مصرف مواد اولیه‌ای که صادرکننده آن بوده‌اند، برداشته‌اند. این تغییر ساختار و محدود شدن عرضه مواد اولیه در سال‌های اخیر، سبب شده که تلاش‌ها به سوی تولید محصولات معطوف گردد که توانایی استفاده از مواد اولیه ارزان قیمت و در دسترس را داشته باشد، همچنین از ویژگی‌های مناسب مقاومتی و فیزیکی و استحکام مناسب برخوردار باشد. از این‌رو جایگزینی محصولات مانند تخته خرده چوب، انواع تخته فیبر و چندسازه‌های چوب و پلاستیک با چوب ماسیو، حاصل تلاش‌های انجام شده در این زمینه بوده است. با این حال تلاش برای ارتقای استحکام و دوام فرآورده‌هایی مانند تخته خرده چوب به عنوان یکی از راهکارهای کاهش نیاز به مواد چوبی اولیه ادامه داشته است. از سوی دیگر طبق آمارهای منتشره از سوی منابع ذیربط، افزایش مصرف انواع پلیمرها به طور مستمر به تولید ضایعات و پسماندهای پلاستیکی در سطح جهانی افزوده است. به طوری که با افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف این پلیمرها، بسیاری از کشورها به دنبال وضع قوانینی مانند گرفتن مالیات برای محدود کردن مصرف انواع پلاستیک‌ها هستند و امکان کاربرد دوباره این پلیمرهای بازیافتی در تولید محصولات صنعتی از اولویت‌های تحقیقاتی آنان می‌باشد (Kargarfard, 2011). به دلیل مصارف گسترده فرآورده‌های مرکب چوبی به‌ویژه تخته خرده چوب، تحقیقات وسیعی در جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن انجام شده است که یکی از روش‌ها تقویت این فرآورده با موادی مانند پلیمرها می‌باشد. در بررسی‌های انجام شده توسط Malcolm (۱۹۹۲)، وی توانست با استفاده از الیاف شیشه و کربن اقدام به تقویت تخته فیبر دانسیته متوسط کرده که محصول فوق از مقاومت‌های بالاتری به‌ویژه مقاومت به ضربه برخوردار بوده است. Yu-He Deng و همکاران

(۲۰۰۰) تأثیر طول و مقدار الیاف پلی‌پروپیلن را بر روی ویژگی‌های مکانیکی تخته خرده چوب-گیج مورد بررسی قرار داده و نتایج تحقیقات آنان نشان داد که افزایش طول و مقدار الیاف PP مصرف شده دارای اثر معنی‌داری بر روی چسبندگی داخلی و مقاومت خمشی تخته‌های ساخته شده داشته و بهبود واکنشیدگی ضخامت را به دنبال داشت. همچنین Mura (۲۰۰۱) از الیاف شیشه، کربن و کولار در لایه میانی برای تقویت تخته خرده چوب استفاده کرد که نتیجه آن افزایش مقاومت‌های مکانیکی تخته بود. Dimakis و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از الیافی از جنس لاستیک، پلاستیک، شیشه، کربن و فلز سعی در تقویت فرآورده‌هایی مانند تخته لایه، OSB و LVL کردند که نتایج کار آنان نشان داد که مقاومت کششی و مقاومت به ضربه این چندسازه‌ها در سطح معنی‌داری افزایش یافته است. در نتایج حاصل از تحقیقات Mohebbi و همکاران (۲۰۱۰) بر روی امکان استفاده از شبکه‌های بافته پلیمری و فلزی برای تقویت خواص مکانیکی MDF؛ مشاهده شد که مقاومت خمشی؛ مدول الاستیسیته؛ مقاومت کششی و ضربه تخته‌های ساخته شده به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. Murathan و Gurum (۲۰۰۶) از ضایعات پاکت‌های بسته‌بندی تتراپک<sup>۱</sup> که حاوی پلی اتیلن؛ کاغذ و آلومینیم می‌باشد با استفاده از دو نوع چسب پلی وینیل استات و اوره فرم آلدئید به صورت جداگانه اقدام به ساخت چندسازه کردند که چندسازه‌های ساخته شده با چسب اوره فرم آلدئید از خواص فیزیکی بهتری برخوردار بودند. آنان همچنین مشاهده کردند که ویژگی‌های خمشی تخته‌ها با افزایش مصرف چسب UF از ۸ به ۱۲ درصد به نحو معنی‌داری افزایش می‌یابد. در این زمینه همچنین Ayrimis و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از ظروف تتراپک چندسازه‌هایی را ساخته و با استفاده از ۴ نوع چسب اوره فرم آلدئید؛ فنل فرم آلدئید؛ ملامین اوره فرم آلدئید و پلی اورتان آنها را با روکش راش پوشش دادند که استفاده از چسب پلی اورتان خواص بهتری را در تخته‌ها

تهیه خرده چوب استفاده شد. پس از حمل به آزمایشگاه، چوب‌ها با استفاده از یک خردکن غلتکی آزمایشگاهی از نوع Pallmann X 430 - 120PHT به قطعات کوچک‌تر تبدیل و بعد با استفاده از یک آسیاب حلقوی (Ring Flaker) آزمایشگاهی از نوع Pallmann PZ8 به خرده چوب قابل استفاده در ساخت تخته تبدیل شدند. سپس خرده چوب‌های مناسب ساخت تخته با استفاده از یک خشک‌کن گردان با سرعت ۳ دور در دقیقه و در درجه حرارت ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و رطوبت آنها به سطح ۱ درصد کاهش یافت که پس از تخلیه در کیسه‌های مقاوم عایق رطوبت بسته‌بندی شد.

در این تحقیق، با توجه به اینکه دمای ذوب پلی‌اتیلن بازیافتی در حدود ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید و در طی دوره پرس تخته خرده چوب، دمای لایه میانی کیک خرده چوب به این درجه حرارت نمی‌رسد، برای پی بردن به تأثیر میزان مصرف پلی‌اتیلن بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب، از این ماده در لایه سطحی کیک خرده چوب استفاده شد. از این رو پلی‌اتیلن بازیافتی خریداری شده که منشأ آن شرکت پتروشیمی اراک بوده است به عنوان ماتریکس پلیمری در ۳ سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد (بر اساس وزن خشک خرده چوب مصرفی) مورد استفاده قرار گرفته است. پلی‌اتیلن تهیه شده ابتدا توسط یک آسیاب به قطعاتی با ابعاد حدود ۵ میلی‌متر و بعد توسط یک آسیاب ثانویه به ذراتی با ابعاد حدود ۵۰ میکرون تبدیل شد. این ابعاد برای ترکیب یکنواخت این ماده با خرده چوب‌ها در هنگام چسب‌زنی بسیار مناسب تشخیص داده شد؛ زیرا استفاده از ابعاد بزرگ‌تر باعث ته‌نشین شدن ذرات پلی‌اتیلن در محفظه چسب‌زنی شده و مخلوط خرده چوب و ذرات پلیمری از حالت یکنواختی خارج می‌شد. در این تحقیق برای چسبندگی و اتصال بهتر پلی‌اتیلن و خرده چوب و بهبود ویژگی‌های تخته خرده چوب از ماده جفت‌کننده MAPE (پلی‌اتیلن انیدرید مالئیک‌دار) با نقطه ذوب ۱۵۶ درجه سانتی‌گراد و دانسیته سیال ۰/۹۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب که ساخت شرکت

ایجاد کرد. همچنین در تحقیقات انجام شده توسط Borysiuk و همکاران (۲۰۱۱)، آنان با استفاده از ۵۰ درصد ضایعات پلیمری شامل پلی‌اتیلن؛ پلی‌پروپیلن و پلی‌استایرن و ۵۰ درصد خرده چوب اقدام به ساخت چندسازه کردند و آنها را با تخته خرده چوب ساخته‌شده با چسب اوره فرمالدئید مقایسه کردند. نتایج نشان داد که خواص مقاومتی تخته‌های ساخته‌شده با خرده چوب و ضایعات پلیمری نسبت به تخته خرده چوب شاهد از سطح پائین‌تری برخوردار بودند. درحالی‌که میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت چندسازه‌های فوق از شرایط بهتری نسبت به تخته خرده چوب شاهد برخوردار بود و بهبود یافته بودند. در تحقیق دیگری که توسط Baoguo و همکاران (۲۰۰۷) بر روی ساخت تخته خرده چوب از ساقه جو وحشی با استفاده از چسب ایزوسیانات انجام شده است، آنان بیان کرده‌اند با جایگزینی ۲۰ درصد پلیمر پلی‌اتیلن با ۳۰ درصد چسب، می‌توان تخته‌هایی با خواص مکانیکی و مقاوم به آب بالاتری را تولید کرد؛ اما نتایج تحقیقی که توسط Muehl و همکاران (۲۰۰۴) انجام شد و آنان در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط و تخته خرده چوب از ترکیب چسب فنل و پلی‌پروپیلن استفاده کردند، نشان داد که تخته‌های تولیدی به دلیل همزمان نبودن سخت شدن چسب فنل و پلی‌پروپیلن دارای مقاومت به رطوبت پائین‌تری نسبت به تخته‌های فاقد پلیمرهای ترموپلاستیک هستند.

این تحقیق با هدف امکان استفاده از پلی‌اتیلن بازیافت شده از پلاستیک‌های مستعمل در اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب به‌ویژه مقاوم‌سازی آنها نسبت به رطوبت که همگام با کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از انباشت مواد پلیمری که بتواند فرآورده‌ای را با ارزش افزوده بالا تولید کند، انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

در این بررسی از چوب اکالیپتوس کاملدولنسیس که از حومه شهرستان گنبد در استان گلستان تهیه شده بود، برای

بازیافتی در لایه سطحی تخته خرده چوب بود، مقدار خرده چوب مورد نیاز لایه‌های سطحی و میانی به صورت جداگانه چسب‌زنی شده است و پلی اتیلن مورد مصرف در لایه سطحی قبل از مرحله چسب‌زنی با خرده چوب‌ها به خوبی مخلوط و به صورت یکنواخت در آمده است. پس از تشکیل کیک خرده چوب، با استفاده از یک پرس آزمایشگاهی از نوع BURKLE L100 اقدام به ساخت تخته خرده چوب‌های آزمایشگاهی گردید. در این بررسی از ترکیب ۲ متغیر در سطوح مختلف ۹ تیمار حاصل شد که برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد که در مجموع ۲۷ تخته آزمایشگاهی ساخته شد. علاوه بر تخته‌های فوق تعداد ۳ تخته آزمایشگاهی با شرایط مصرف ۱۰ درصد چسب در لایه سطحی و بدون مصرف پلی اتیلن بازیافتی ساخته شد که به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شده است. بعد از پایان مرحله پرس، به منظور مشروط سازی و یکنواخت سازی رطوبت تخته‌ها و همچنین متعادل سازی تنش‌های داخلی، تخته‌های ساخته شده به مدت ۱۵ روز در شرایط آزمایشگاهی (رطوبت نسبی  $1 \pm 65$  درصد و درجه حرارت  $3 \pm 20$  درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. در جدول شماره ۱ درصد وزنی پلی اتیلن بازیافتی و چسب مصرفی در لایه سطحی تخته‌های ساخته شده آورده شده است.

Aldrich کشور آلمان بود به مقدار ۵ درصد وزن پلیمر مصرفی، استفاده شده است.

همچنین در این بررسی مقدار مصرف چسب در سطح ۸ درصد برای لایه میانی ثابت و از ۳ سطح مصرف چسب ۱۰، ۷ و ۴ درصد (بر اساس وزن خشک خرده چوب مصرفی) در لایه سطحی تخته خرده چوب به عنوان عامل متغیر دوم استفاده شده است. عوامل دیگر ساخت شامل جرم مخصوص تخته ( $0.70$  گرم بر سانتی‌متر مکعب)، فشار پرس برابر ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، رطوبت کیک خرده چوب در حد ۱۰ درصد، دمای پرس ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد، زمان پرس ۶ دقیقه و ضخامت تخته ۱۵ میلی‌متر برای تمام تیمارها ثابت در نظر گرفته شده است.

برای چسب‌زنی خرده چوب‌ها از یک دستگاه چسب‌زن آزمایشگاهی استفاده شد و محلول چسب همراه با کاتالیزور به وسیله یک نازل بر روی خرده چوب‌ها پاشیده شده و با آنها مخلوط گردید. به منظور تشکیل کیک خرده چوب از یک قالب چوبی با ابعاد  $35 \times 35$  سانتی‌متر استفاده شد و خرده چوب‌های چسب‌زنی شده که به وسیله ترازوی آزمایشگاهی توزین شده بود، به صورت لایه‌های یکنواخت در داخل قالب پاشیده شدند. در این تحقیق با توجه به عوامل متغیر در نظر گرفته شده که شامل مصرف سطوح مختلف چسب و پلی اتیلن

جدول ۱- درصد وزنی پلی اتیلن؛ چسب و خرده چوب مورد مصرف در لایه سطحی تخته خرده چوب

نام تیمار	پلی اتیلن بازیافتی (%)	مصرف چسب (%)	خرده چوب (%)
شاهد	صفر	۱۰	۹۰
A1	۵	۱۰	۸۵
A2	۱۰	۱۰	۸۰
A3	۱۵	۱۰	۷۵
A4	۵	۷	۸۸
A5	۱۰	۷	۸۳
A6	۱۵	۷	۷۸
A7	۵	۴	۹۱
A8	۱۰	۴	۸۶
A9	۱۵	۴	۸۱

فیزیکی تخته‌های ساخته‌شده در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌گردد، اثر مقدار مصرف پلی‌اتیلن بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌ها در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد و با مصرف پلی‌اتیلن در لایه سطحی تخته‌ها، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته بهبود یافته است، به طوری که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد در شرایط استفاده از ۱۵ درصد پلی‌اتیلن، بالاترین و در شرایط استفاده از ۵ درصد پلی‌اتیلن، کمترین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در تخته‌ها مشاهده شد. بالاین حال این ویژگی‌ها در تمام تخته‌های ساخته‌شده که در لایه سطحی آنان پلی‌اتیلن به کاررفته است نسبت به تخته‌های شاهد به طور معنی‌داری از نظر آماری بالاتر هستند.

اثر متقابل مصرف چسب و پلی‌اتیلن بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌ها نیز معنی‌دار بوده است و تخته‌های دارای ۴ درصد چسب و ۱۵ درصد پلی‌اتیلن، با ۲۳/۶ مگاپاسکال و تخته‌های دارای ۴ درصد چسب و ۵ درصد پلی‌اتیلن، با ۱۵/۰۴ مگاپاسکال دارای حداکثر و حداقل مقاومت خمشی بوده‌اند. همچنین تخته‌های دارای ۷ درصد چسب و ۱۰ درصد پلی‌اتیلن، با ۲۰۰۳ مگاپاسکال و تخته‌های دارای ۴ درصد چسب و ۵ درصد پلی‌اتیلن، با ۱۳۵۷ مگاپاسکال دارای حداکثر و حداقل مدول الاستیسیته بوده‌اند (شکل ۲).

تهیه نمونه‌های آزمونی برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها مطابق استاندارد EN326-1 انجام شده است. در این تحقیق تعیین مقاومت خمشی (MOR) و مدول الاستیسیته (MOE)، بر اساس استاندارد EN310، تعیین مقاومت چسبندگی داخلی (IB) بر اساس استاندارد EN319 و تعیین واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب (T.S<sub>۲</sub> و T.S<sub>۲۴</sub>) و جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب (W.A<sub>۲</sub> و W.A<sub>۲۴</sub>) بر اساس استاندارد EN317 انجام شده است.

بعد از انجام آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی بر روی نمونه‌های تهیه شده، نتایج حاصل در قالب طرح کامل تصادفی تحت آزمایش‌های فاکتوریل با سه متغیر و با استفاده از آزمون دانکن (DMRT) و به کمک فن تجزیه واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از این روش آماری تأثیر مستقل و متقابل هر یک از عوامل متغیر بر خواص مورد مطالعه در سطح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین میانگین‌های حاصل با استفاده از آزمون T-test با میانگین‌های تخته‌های شاهد از نظر آماری مقایسه و مورد تحلیل آماری قرار گرفتند.

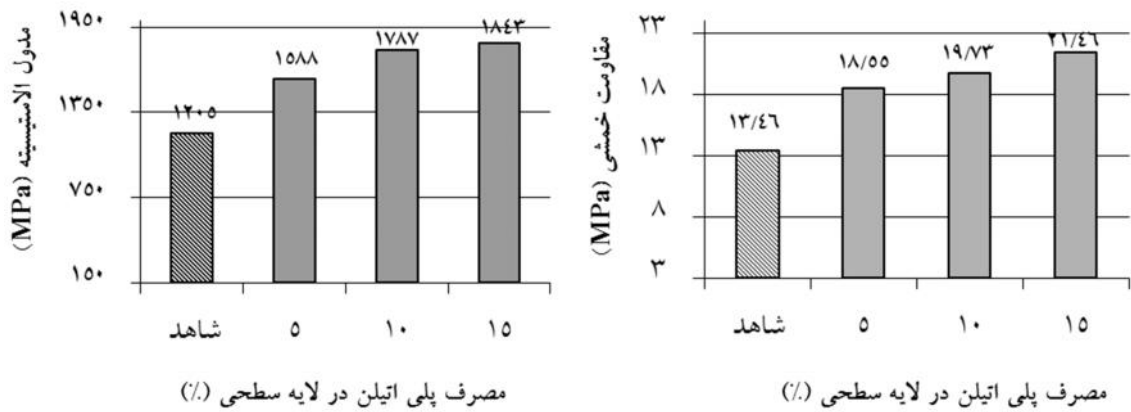
## نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس ویژگی‌های مکانیکی و

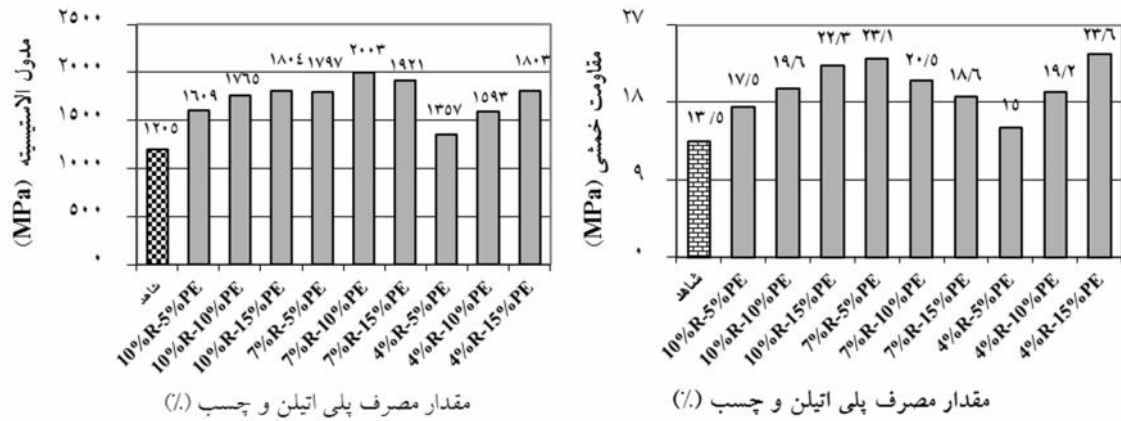
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی تخته‌های آزمونی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مقاومت خمشی (F)	مدول الاستیسیته (F)	چسبندگی داخلی (F)	واکنشیدگی ضخامت ۲ ساعت (F)	واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت (F)	جذب آب ۲ ساعت (F)	جذب آب ۲۴ ساعت (F)
مصرف چسب	۲	۱/۶۵۳ <sup>n.s</sup>	۸/۰۸۳**	۰/۶۲۶ <sup>n.s</sup>	۱۲/۷۷۴**	۰/۷۱۰ <sup>n.s</sup>	۴/۷۶۲*	۲/۴۰۲ <sup>n.s</sup>
مصرف پلی‌اتیلن	۲	۶/۴۵۳**	۵/۵۵۳**	۵/۴۰۷**	۵۶/۱۹۴**	۷۹/۸۵۲**	۱۹/۶۷۵**	۳۰/۳۸۵**
چسب* پلی‌اتیلن	۴	۱۱/۴۰۳**	۰/۸۸۳ <sup>n.s</sup>	۰/۴۰۱ <sup>n.s</sup>	۵/۱۳۱**	۴/۳۰۷**	۰/۸۶۲ <sup>n.s</sup>	۱/۸۰۲ <sup>n.s</sup>

\*: معنی‌دار در سطح ۱ درصد؛ \*\*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد؛ <sup>n.s</sup>: معنی‌دار نیست



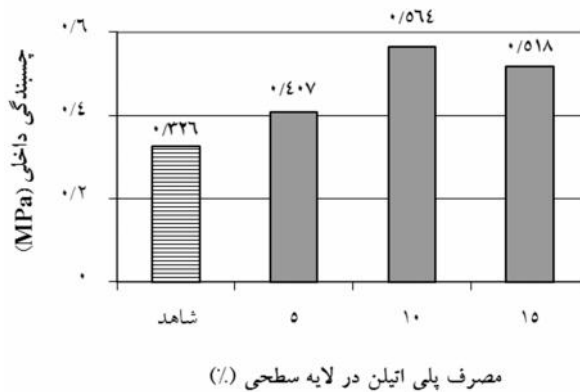
شکل ۱- اثر مقدار مصرف پلی اتیلن بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته



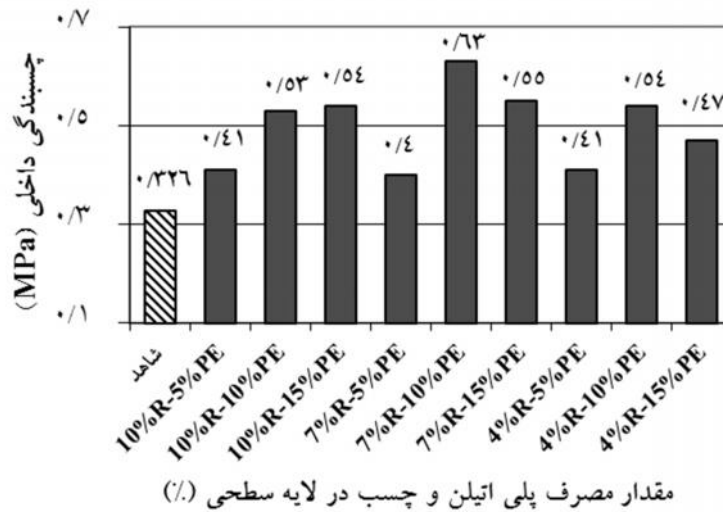
شکل ۲- اثر متقابل مقدار مصرف چسب و پلی اتیلن بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته

در شکل ۳ مشاهده می گردد در شرایط استفاده از پلی اتیلن در تخته های ساخته شده، چسبندگی داخلی نسبت به نمونه شاهد بهبود یافته است.

نتایج نشان داد که در شرایط استفاده از ۵ درصد پلی اتیلن، حداقل و استفاده از ۱۰ درصد پلی اتیلن، حداکثر چسبندگی داخلی به دست آمده است. با این حال به طوری که



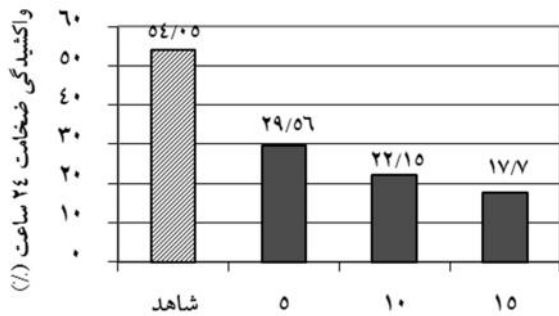
شکل ۳- تأثیر مقدار مصرف پلی اتیلن بر چسبندگی داخلی



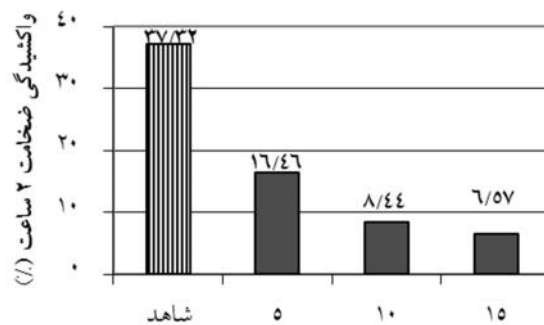
شکل ۴- اثر متقابل مقدار مصرف چسب و پلی اتیلن بر چسبندگی داخلی

ساعت تخته‌های شاهد که با مصرف ۱۰ درصد چسب در لایه سطحی و بدون کاربرد پلی اتیلن ساخته شده بودند (۳۷/۳۲ درصد) با میانگین واكشیدگی ضخامت ۲ ساعت تخته‌های دارای ۱۵ درصد پلی اتیلن (۶/۵۷ درصد)، ملاحظه می‌گردد که با کاربرد پلی اتیلن تا حدود ۴۷۰ درصد در واكشیدگی ضخامت ۲ ساعت تخته‌های ساخته شده کاهش دیده می‌شود.

نتایج همچنین نشان داد با افزایش مقدار مصرف پلی اتیلن، واكشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت تخته‌ها بهبود یافته است. به طوری که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد در شرایط استفاده از مقدار ۵ درصد پلی اتیلن، تخته‌ها حداکثر و در شرایط استفاده از مقدار ۱۰ و ۱۵ درصد مصرف پلی اتیلن، حداقل واكشیدگی ضخامت ۲ ساعت را نشان داده‌اند. به طوری که با مقایسه میانگین واكشیدگی ضخامت ۲

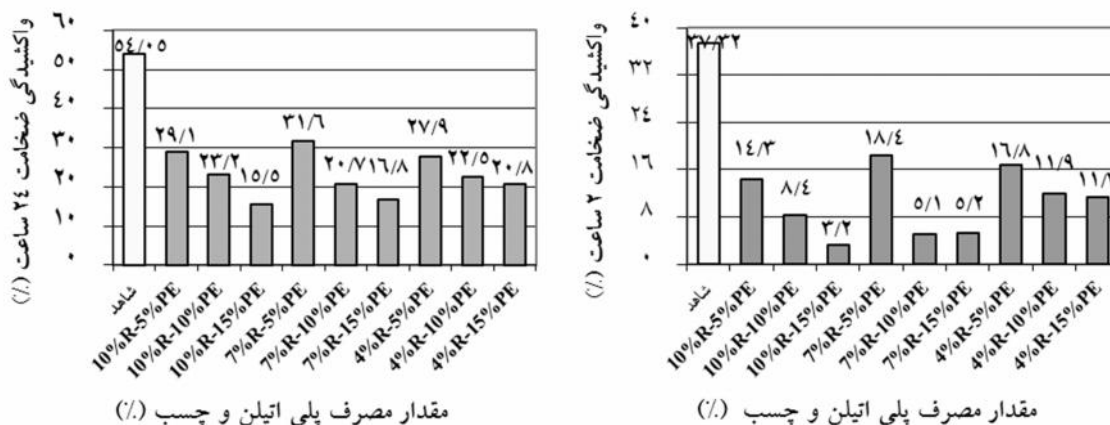


مصرف پلی اتیلن در لایه سطحی (%)

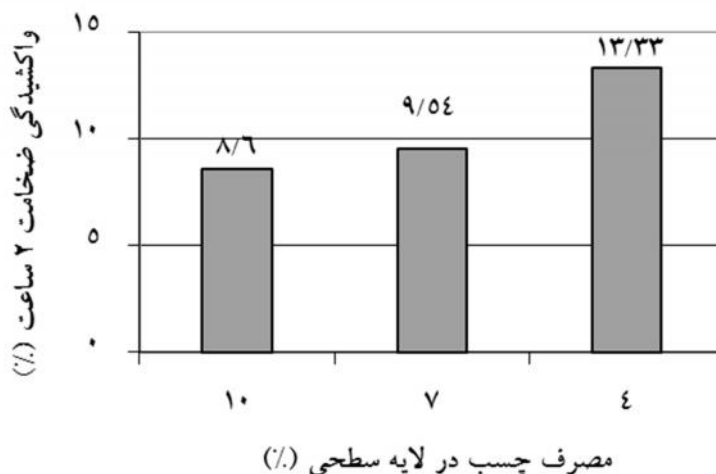


مصرف پلی اتیلن در لایه سطحی (%)

شکل ۵- تأثیر مقدار مصرف پلی اتیلن بر واكشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت



شکل ۶- اثر متقابل مصرف چسب و پلی اتیلن بر واکسیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت



شکل ۷- اثر مستقل مقدار مصرف چسب بر واکسیدگی ضخامت ۲ ساعت

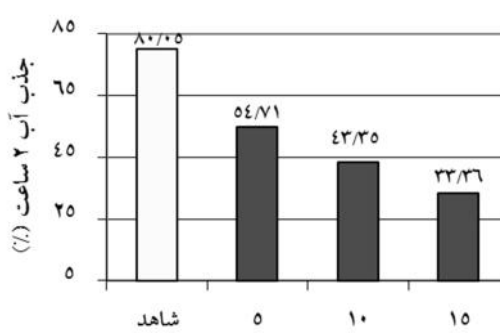
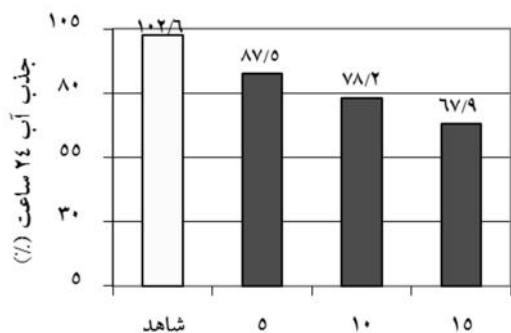
همچنین تأثیر متقابل مقدار مصرف چسب و پلی اتیلن در لایه سطحی تخته‌ها بر واکسیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت تخته‌ها معنی دار بوده است و در شرایط استفاده از مقدار ۱۰ درصد چسب و ۱۵ درصد پلی اتیلن، مقدار واکسیدگی ضخامت تخته‌ها حداقل و در شرایط استفاده از ۷ درصد چسب و ۵ درصد پلی اتیلن، حداکثر بوده است. در شکل ۶ میانگین‌های به دست آمده برای واکسیدگی ضخامت تخته‌ها در شرایط مختلف مصرف چسب و پلی اتیلن و همچنین تخته‌های شاهد قابل مشاهده می‌باشد.

با این حال در تأثیر متقابل مقدار مصرف چسب و پلی اتیلن بر واکسیدگی ضخامت ۲ ساعت تخته‌ها مشاهده می‌گردد که حداقل واکسیدگی ضخامت ۲ ساعت در شرایط مصرف چسب ۱۰ درصد و ۱۵ درصد پلی اتیلن بازیافتی به دست آمده است (۳/۲ درصد) و این نشان می‌دهد که واکسیدگی ضخامت ۲ ساعت تخته‌های ساخته شده در این شرایط کمتر از ۱۰ درصد تخته‌های شاهد می‌باشد. زیرا در این حالت حداکثر کیفیت اتصال بین ذرات خرده چوب توسط ذرات چسب و پلی اتیلن بازیافتی ایجاد شده است.



نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر مقدار مصرف پلی اتیلن بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت تخته‌های ساخته شده نشان داد که با افزایش مقدار مصرف پلی اتیلن، جذب آب تخته‌ها بهبود یافته است و حداقل آن در مقدار مصرف ۱۵ درصد پلی اتیلن حاصل شده است. به طوری که با مقایسه میانگین جذب آب ۲ ساعت تخته‌های شاهد که با مصرف ۱۰ درصد پلی اتیلن در لایه سطحی و بدون کاربرد پلی اتیلن ساخته شده بودند (۸۰/۰۵ درصد) با میانگین جذب آب ۲ ساعت تخته‌های ساخته شده با مصرف ۱۵ درصد پلی اتیلن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر مقدار مصرف پلی اتیلن بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت تخته‌های ساخته شده نشان داد که با افزایش مقدار مصرف پلی اتیلن، جذب آب تخته‌ها بهبود یافته است و حداقل آن در مقدار مصرف ۱۵ درصد پلی اتیلن حاصل شده است. به طوری که با مقایسه میانگین جذب آب ۲ ساعت تخته‌های شاهد که با مصرف ۱۰ درصد پلی اتیلن در لایه سطحی و بدون کاربرد پلی اتیلن ساخته شده بودند (۸۰/۰۵ درصد) با میانگین جذب آب ۲ ساعت تخته‌های ساخته شده با مصرف ۱۵ درصد پلی اتیلن



شکل ۸- تأثیر مقدار مصرف پلی اتیلن بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت

شکل ۸- تأثیر مقدار مصرف پلی اتیلن بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت

ضعف را پوشش داده و با ایجاد یک اتصال کارآمد و کیسوله کردن ذرات خرده چوب به تقویت اتصال خرده چوب‌ها کمک کرده و افزایش مقاومت خمشی را موجب شده است. با مقایسه میانگین مقاومت خمشی حاصل از تخته‌های شاهد که بدون کاربرد پلی اتیلن ساخته شده بودند (۱۳/۴۶ مگاپاسکال) با میانگین مقاومت خمشی تخته‌های حاوی ۱۵ درصد پلی اتیلن (۲۱/۴۶ مگاپاسکال)، ملاحظه می‌گردد که با کاربرد پلی اتیلن تا حدود ۵۹ درصد افزایش در مقاومت خمشی تخته‌ها دیده می‌شود. Yu-He Deng و همکاران (۲۰۰۰) نیز نتایج مشابهی را از تحقیقاتشان به دست آورده‌اند. از سوی دیگر در تأثیر متقابل مقدار مصرف چسب و پلی اتیلن بر مقاومت خمشی ملاحظه شد که بالاترین مقدار مقاومت خمشی تخته‌ها در شرایط استفاده از ۴ درصد

## بحث

نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش مصرف پلی اتیلن بازیافتی در لایه سطحی تخته‌ها، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته افزایش یافته است و بالاترین مقدار آن در تخته‌های حاوی ۱۵ درصد پلی اتیلن مشاهده شد. در واقع کاربرد پلی اتیلن بازیافتی در لایه سطحی باعث می‌گردد چسبندگی و اتصال بین ذرات خرده چوب که توسط چسب ایجاد شده است به وسیله این ماده تقویت شده و فشردگی و یکنواختی سطح تخته‌ها افزایش یابد که موجب افزایش بهبود مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته می‌شود. البته کاهش مصرف چسب به ۴ درصد تا حدود زیادی می‌تواند از مقاومت اتصال و مقاومت خمشی تخته‌ها بکاهد ولی افزایش مصرف پلی اتیلن بازیافتی از ۵ به ۱۵ درصد این

نتایج نشان داد با کاهش مقدار مصرف چسب به ویژه به سطح ۴ درصد، به دلیل کاهش سطح اتصالات ایجاد شده توسط چسب بین ذرات خرده چوب در لایه سطحی باعث افزایش واكشیدگی ضخامت شده است. از سوی دیگر نتایج نشان داد با افزایش مقدار مصرف پلی اتیلن بازیافتی در لایه سطحی تخته‌ها، واكشیدگی ضخامت به نحو معنی داری بهبود یافته است. در واقع کاربرد پلی اتیلن بازیافتی در لایه سطحی تخته‌ها باعث می‌گردد چسبندگی و اتصال بین ذرات خرده چوب که توسط چسب ایجاد شده است به وسیله این ماده تقویت شده و فشردگی و یکنواختی سطح تخته‌ها افزایش یابد که تمام این عوامل موجب بهبود اتصالات بین ذرات چوب می‌گردد و متعاقب آن واكشیدگی ضخامت تخته‌ها کاهش می‌یابد. نتایج همچنین نشان داد با افزایش مقدار پلی اتیلن در لایه سطحی، جذب آب تخته‌ها کاهش یافته است و حداقل مقدار آن در تخته‌های حاوی ۱۵ درصد پلی اتیلن مشاهده شد. در واقع کاربرد پلی اتیلن در لایه سطحی باعث می‌گردد چسبندگی و اتصال بین ذرات خرده چوب که توسط چسب در مراحل اولیه دوره پرس ایجاد شده است با کپسوله شدن ذرات خرده چوب تقویت شده و با ایجاد یک سطح دارای پوشش ضد آب و رطوبت تا حدود زیادی از جذب آب تخته‌ها کاهش یابد. البته نتایج مشابهی نیز از بررسی‌های Borysiuk و همکاران (۲۰۱۱) بر روی امکان استفاده از ضایعات پلیمری در ساخت تخته خرده چوب حاصل شده است.

با توجه به تأثیر مثبت افزودن پلی اتیلن بازیافتی بر خواص تخته خرده چوب به ویژه خواص فیزیکی آنها، امکان کاربرد پلی اتیلن بازیافتی در تولید تخته خرده چوب با ویژگی‌های بالاتر از سطح استاندارد با وجود هزینه تولید بیشتر، به دلیل قابلیت کاربرد وسیع تر و مقاوم تر بودن محصول تولیدی وجود دارد. از این رو با توجه به انباشت روزافزون ضایعات مواد پلیمری از یکسو و نتایج مطلوب حاصل شده در این بررسی از سوی دیگر، یکی از بهترین راهکارها برای کاهش پسماندهای پلیمری و تولید محصولاتی با ارزش افزوده بالا، به کارگیری آنها در تولید

چسب و ۱۵ درصد پلی اتیلن در لایه سطحی و به مقدار ۲۳/۵۵ مگاپاسکال حاصل شده است که نشان می‌دهد با وجود کاهش مصرف چسب در لایه سطحی، مقاومت خمشی تخته‌ها بهبود یافته است. با توجه به اینکه پلی اتیلن با آب سازگاری نداشته و هرچقدر از مقدار رطوبت کیک خرده چوب کاسته شود، پلی اتیلن اتصالات بهتری برقرار می‌کند، کاهش مصرف چسب و به دنبال آن کاهش مقدار آب باعث می‌گردد مقاومت خمشی تخته‌ها با وجود کاهش مصرف چسب با افزایش نسبی روبرو گردد. در این رابطه نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده توسط Baoguo و همکارانش در سال ۲۰۰۷ بر روی امکان استفاده از پلی اتیلن در ساخت تخته خرده چوب نیز نشان داده است که با افزودن ۲۰ درصد پلی اتیلن و کاهش چسب ایزوسیانات مصرفی می‌توان تخته‌هایی با خواص مکانیکی و مقاوم به آب بالاتر تولید کرد. همچنین تحقیقات Mura (۲۰۰۱) نتایج مشابهی را نشان داده است.

نتایج نشان داد که حداقل و حداکثر چسبندگی داخلی به ترتیب در تخته‌های دارای پلی اتیلن بازیافتی ۵ و ۱۰ درصد به دست آمده است. با توجه به اینکه کاربرد پلی اتیلن بازیافتی در لایه سطحی تخته‌ها باعث می‌گردد نحوه انتقال حرارت از سطح به لایه میانی تخته‌ها تا حدود زیادی دچار تغییرات شود، از این رو در شرایط مصرف ۱۰ درصد پلی اتیلن، مقدار چسبندگی داخلی تخته‌ها در حد مطلوبی قرار گرفته است و این نشان می‌دهد با وجود اینکه در لایه میانی تخته‌ها از پلی اتیلن استفاده نشده است ولی مقدار مصرف آن در لایه سطحی کیک خرده چوب بر مقاومت اتصال ذرات خرده چوب لایه میانی مؤثر بوده است. از سوی دیگر هرچند که با افزایش مصرف پلی اتیلن از ۱۰ به ۱۵ درصد از چسبندگی داخلی تخته‌ها کاسته شده است ولی این کاهش از نظر آماری معنی دار نبوده است. تحقیقات Dimakis و همکاران (۲۰۰۶) و همچنین Mohebbi و همکاران (۲۰۱۰) که به منظور بهبود خواص تخته فیبر دانسیته متوسط انجام شده است نتایج فوق را مورد تأیید قرار می‌دهد.

after immersion. European Standardization Committee, Brussell.

- European Standard EN 319, 1996. Wood based panels, determination of tensile strength perpendicular to plane of the board. European Standardization Committee, Brussell.
- European Standard EN 326-1: 1993. Wood based panels, Sampling, cutting and inspection. Sampling and cutting of test pieces and expression of test results.
- Malcolm, HD., 1992. Reinforced fiberboard. British patent. GB2248246.
- Mohebbi, B.; Tavassoli, F. and Kazemi-Najafi S., 2010. Mechanical properties of medium density fiberboard reinforced with metal and woven synthetic nets. Journal of Wood Prod. DOI 10.1007/s00107-010-0412-3.
- Muehl, J.; Krzysik, A.; Chow, P., 2004. Composite panels made with biofiber or office wastepaper bonded with thermoplastic and/or thermosetting resin. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory, Volume 294 of Research Note FPL.
- Mura, IJ. and Mura, I., 2001. Reinforced particleboard and method for manufacturing thereof. World Intellectual Property Organization. Patent no: WO/2001/081056.
- Murathan, A. and Gurum-Balbas, M., 2006. Manufacturing low density boards from waste cardboards containing aluminium. Materials and Design 28: 2215-2217.
- Kargarfard, A., 2011. The effect of wood particles type and coupling agent content on properties of composites from recycled polypropylene and eucalyptus wood. Journal of Forest and Wood Products, Volume 64, No.1, 55-64

تخته خرده چوب می باشد که با دارا بودن مزایای مختلف، از توجیه علمی، اقتصادی و صنعتی برخوردار هستند.

#### منابع مورد استفاده

- Ayrilmis, N.; Candan, Z. and Hiziroglu, S., 2008. Physical and mechanical properties of cardboard panels made from used beverage carton with veneer overlay. Material and Design 29: 1897-1903.
- Baoguo LI.; Zhongli P. and Yi Zh., 2007. Properties of medium density composite particleboard from creeping wild rye and HDPE plastic., 2007 ASAE Annual Meeting 076218.
- Borysiuk, P.; Zbiec, M.; Boruszewski, P.; Maminski, M.; Grzeskiewicz, M. and Jencyk, T., 2011. Flat-pressed wood plastic composites mechanical and physical properties and machining capabilities. Proceedings of The International Panel Products Symposium 2011. 227-231.
- Deng, Y. and Furuno, T., 2000. Properties of gypsum particleboard reinforced with polypropylene fiber. Wood Sci. Journal 47(4): 445-450.
- Dimakis, A.; Brightwell, L.; Kems, J.; Neogi, A.; Robak, G.; Schulner, T. and Smith, JE., 2006. Reinforced wood product and methods for reinforcing a wood product. United States Patent no. 20060127633.
- European Standard EN 310, 1996. Wood based panels, determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. European Standardization Committee, Brussell.
- European Standard EN 312, 2003. Particleboards specifications, requirements for general purpose boards for use in general conditions. European Standardization Committee, Brussell.
- European Standard EN 317, 1996. Particleboards and fiberboards, determination of swelling in thickness

## Utilization of recycled polyethylene for modification of physical & mechanical properties particleboard

A. Kargarfard<sup>1\*</sup>, A. Nourbakhsh<sup>2</sup> and F. Golbabaei<sup>3</sup>

1\*- Corresponding author, Associate Prof., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: a\_kargarfard@yahoo.com

2-Associate Prof., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- M.Sc., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: June, 2015

Accepted: June, 2016

### Abstract

The aim of this study has been the utilization of recycled polyethylene for modification of physical and mechanical properties of particleboard. Therefore, three levels of resin content ( 10, 7 and 4% ) and three levels of recycled polyethylene (content 5, 10 and 15% in surface layer of mat) were used in particleboard production.. Also three boards with 10% resin content in surface layer and without polyethylene were produced as control samples. The physical and mechanical properties of boards were measured and analyzed. The results of this study indicated that with increasing the recycled polyethylene content, the MOR, MOE and thickness swelling of boards were improved significantly and the boards with 15% recycled polyethylene compared to control boards showed 59 and 53% improvement respectively. Also the results revealed that the water absorption of boards decreased with increasing the recycled polyethylene content, and the minimum water absorption was observed in the boards with 15% recycled polyethylene. Based on the results of this research and considering the increasing of polymeric residues in the environment, the utilization of recycled polyethylene in particleboard production provide multiple advantages.

**Key words:** Particleboard, recycled polyethylene, resin content, physical and mechanical properties.