تأثیر تیمار و نسبت پوسته بر روی خواص مکانیکی تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از ذرات ساقه کلزا (*Brassica napus*)

سجاد اکبری[۱]
مرتضی ناظریان[۲*]
سعید رضا فرخ پیام[۳]
بابک نصرتی ششکل[۴]

[۱] کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوبی، دانشگاه زابل

[۲] دانشیار، گروه فناوری سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه زابل، زابل

[۳] استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل

[۴] استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل
مسئول مکاتبات:
morteza17172000@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۲۲
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۰۲

چکیده

در این پژوهش تأثیر ابعاد ذرات در لایه‌های سطحی و نسبت پوسته (نسبت ضخامت لایه سطحی به‌کل ضخامت تخته) بر روی خواص مکانیکی تخته‌خرده‌چوب سه لایه ساخته‌شده از ذرات تیمار شده کلزا بررسی شد. نسبت پوسته در سه سطح (mm 82/2 :mm16، mm 33/5 :mm 16 و mm 6/8 :mm 16)، ابعاد ذرات استفاده‌شده در لایه سطحی در دو سطح (۱/۲۵> و ۱/۲۵<میلی‌متر) و نوع تیمار ذرات لایه‌های سطحی در سه سطح (بدون تیمار، آبشویی و اسید شویی) به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب گردیدند. خواص مکانیکی تخته‌ها شامل مدول گسیختگی (MOR)، مدول الاستیسیته (MOE) و چسبندگی داخلی (IB) با استفاده از استاندارد EN آزمون گردید. نتایج نشان داد که استفاده از ذرات ساقه کلزا و با ابعاد ۱/۲۵> میلی‌متر در لایه‌های سطحی تخته‌خرده‌چوب سه لایه، به ترتیب سبب افزایش مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی و چسبندگی داخلی گردید. علاوه بر آن، مشخص گردید که افزایش ابعاد ذرات در لایه سطحی و تیمار آبشویی باعث بهبود خواص مکانیکی نمونه¬ها شد. بر اساس نتایج، با استفاده از ذرات ساقه کلزا آبشویی شده بکار رفته در لایه میانی، مصرف ذرات با ابعاد ۱/۲۵< میلی‌متر در لایه سطحی تخته‌خرده‌چوب سه لایه با نسبت پوسته 82/2 :mm16 و 33/5 :mm16 می‌توان به مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته مطلوب دست‌یافت.

واژگان کلیدی: ابعاد ذرات، تخته‌خرده‌چوب سه لایه، تیمار خرده چوب، خواص مکانیکی، ساقه کلزا.

مقدمه

محدودیت برداشت از منابع جنگلی ازیک‌طرف و افزایش تقاضا برای صفحات فشرده چوبی از طرف دیگر باعث شده است تا محققان در پی یافتن مواد جایگزین برای چوب باشند. مواد لیگنوسلولزی به‌دست‌آمده از پسماندهای کشاورزی همچون ساقه پنبه، ساقه برنج و گندم، ساقه کلزا و غیره ازجمله موادی است که می‌تواند به‌عنوان مواد جایگزین منابع جنگلی در ساخت فرآورده‌های چوبی به‌ویژه تخته‌خرده‌چوب مورداستفاده قرار گیرند.

تکنیک لایه‌ای کردن ازجمله فرآیندی است که می‌تواند بهبود مقاومت‌های مکانیکی را در پی داشته باشد. به کارگیری خرده‌های چوب با ضریب کشیدگی بالاتر و از گونه‌های سبک در لایه‌های سطحی سبب افزایش ضریب فشردگی و درنتیجه افزایش مقاومت‌های فرآورده می‌شود. در ارتباط با تکنیک لایه‌ای کردن، Rangavar و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که استفاده از ساقه نخود در لایه‌های سطحی تخته‌خرده‌چوب سه لایه، سبب افزایش مقاومت خمشی، کاهش چسبندگی داخلی، افزایش واکشیدگی ضخامت و جذب آب نمونه‌ها می‌شود [۱].

ازجمله عوامل مربوط به ماده اولیه که تأثیر فوق‌العاده‌ای بر روی مقاومت‌های مختلف دارد، فرم هندسی ذرات خرده چوب. Miyamoto و همکاران (۲۰۰۲) تأثیر شکل ذرات را بر میزان واکشیدگی طولی و برخی از خواص مکانیکی تخته‌خرده‌چوب بررسی کردند. آنان بیان داشتند که با افزایش طول و پهنای ذرات (ضریب کشیدگی و ضریب پهنی) مقاومت چسبندگی داخلی تخته‌خرده‌چوب کاهش پیدا می‌کند؛ اما در یک دانسیته معین تأثیر شکل ذرات بر مقدار مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌خرده‌چوب معنی‌دار نشد [۲].

تیمار حرارتی خرده چوب از روش‌های شناخته‌شده در جهت بهبودی خواص تخته‌خرده‌چوب است. اصلاح گرمایی را می‌توان با حضور آب یا بخارآب و یا به صورت خشک انجام داد. حضور آب یا بخارآب روی تغییرات شیمیایی مواد لیگنوسلولزی در اثر گرما و انتقال حرارت به داخل آن می‌تواند نقش داشته باشد. به‌طوری‌که در حضور آب یا بخارآب کاهش مقاومت‌های مکانیکی را می‌توان به حداقل رساند [۳]. Ohlmeyerو Lukowsky (۲۰۰۴) با تحقیق به روی تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از خرده چوب‌های تیمار شده با گرما نشان دادند که تیمار حرارتی باعث بهبود معنی‌دار ثبات ابعاد، واکشیدگی ضخامت و جذب آب تخته‌ها می‌شود و درعین‌حال مقاومت چسبندگی داخلی و مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌های ساخته شده در حد مناسبی قرار دارند [۴].

به دلیل تغییرات در نسبت پوسته (نسبت ضخامت لایه‌های سطحی به‌کل ضخامت) و رفتار متفاوت آن بر روی محصولات ساخته‌شده از آن‌ها در مقایسه با تخته‌های همسان در جریان اعمال پرس داغ و تأثیر متفاوت ابعاد ذرات بر روی خواص این صفحات و اثری که ذرات تیمار شده می‌تواند بر روی رفتارهای فیزیکی تخته بگذارد، لازم است بررسی‌هایی در مورد تأثیر توأم عوامل مختلف ساخت بر روی خواص کاربردی صفحات انجام گیرد. ازاین‌رو تأثیر ابعاد ذرات در لایه‌های سطحی و نسبت پوسته بر روی خواص مکانیکی تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از ذرات تیمار شده در شرایط متفاوت کلزا بر روی خواص مکانیکی تخته‌خرده‌چوب موردبررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

ضایعات ساقه کلزا مورداستفاده در این پژوهش از مزارع روستاهای شهرستان شیراز و چوب صنوبر به‌صورت رشته چوب صنوبر (پوشال کولر) آماده از کارگاه‌های پوشال گیری زابل تهیه گردید. مواد اولیه مذکور پس از انتقال به آزمایشگاه با استفاده از یک خردکن آزمایشگاهی مدل Retsch AZ 15 ZVK-M 20 به خرده‌های قابل‌استفاده در لایه میانی تخته‌خرده‌چوب تبدیل شدند. همچنین، پس از حذف بسیار ریز و بسیار درشت کلزا که مناسب کاربرد در لایه سطحی نبودند، با استفاده از الک به دو گروه ۱/۲۵>و ۱/۲۵<میلی‌متر تقسیم شدند. رطوبت خرده چوب‌ها و ذرات ساقه پنبه به‌وسیله یک آون آزمایشگاهی تا رسیدن به سطح ۳ درصد، کاهش داده شد و در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم به نفوذ رطوبت، بسته‌بندی و برای ساخت تخته‌های آزمایشگاهی نگه‌داری شدند. طبقه‌بندی ذرات برای هر دو گروه (۱/۲۵>و ۱/۲۵<میلی‌متر) بر اساس روش ۴۴۰۱۱ Bison Quality Control و به کمک یک دستگاه الک الکتریکی آزمایشگاهی مدل Retsch As, Germany و با استفاده از چهار الک به درشتی منافذ ۱، ۱/۲۵، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر انجام گرفت.

جهت تعیین توزیع ابعادی ذرات هر سطح، به‌طور جداگانه و تصادفی مقدار ۵۰ گرم ذرات کلزا را بر روی سطح دایره‌ای شکل و به‌صورت لایه‌های پراکنده پاشیده و یک‌چهارم آن را به‌صورت تصادفی انتخاب و سپس تعداد ۷۰ عدد را به‌صورت تصادفی انتخاب نموده و به کمک کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر طول، عرض و با میکرومتر با دقت ۰/۰۰۲ میلی‌متر ضخامت آن‌ها اندازه‌گیری شد.

بعد از اندازه‌گیری ابعاد ذرات، میانگین طول، عرض و ضخامت تعیین شدند. توزیع ابعادی فاصله تعداد طبقات و تعداد مشاهدات در هر طبقه برای هرکدام از اندازه‌های موردبررسی (۱/۲۵> و ۱/۲۵< میلی‌متر) بر اساس روابط (۱-۳) مشخص گردید (شکل ۱).

$$K= 1+ 3.2\text{Log } n \qquad (۱)$$

K= تعداد طبقات؛ n= تعداد نمونه‌برداری در هراندازه (۱/۲۵> و ۱/۲۵< میلی‌متر)؛

$$h= (y_{max}-y_{min})/K \qquad (۲)$$

h= فاصله بازه‌ها؛ y_{max} = حداکثر طول، عرض یا ضخامت هر ذره در هراندازه (۱/۲۵> و ۱/۲۵< میلی‌متر)؛ y_{min} = حداقل طول، عرض یا ضخامت هر ذره در هراندازه (۱/۲۵> و ۱/۲۵< میلی‌متر)؛

$$y^*_i = (y_{i-1} + y_i)/2 \qquad (۳)$$
، میانه هر بازه.

به‌منظور تعیین اثرات ابعاد ذرات بر روی ضریب فشردگی و تأثیر این فاکتور بر روی خواص مکانیکی تخته‌خرده‌چوب، ضریب فشردگی ذرات لایه سطحی با ابعاد ۱/۲۵> و ۱/۲۵< میلی‌متر مشخص گردید. بدین منظور، از متد سیلندر و بر اساس استاندارد CEN/TS 15103 برای تعیین دانسیته حجمی استفاده شد. در طی آن، ذرات ابتدا داخل استوانه‌ای به حجم ۵ لیتر و به مقدار بیشتری از حجم آن ریخته شد. سپس، شک فشار اعمال گردید. در طی این شک، ظرف حاوی خرده چوب‌ها تا ارتفاع ۱۵۰mm بالا برده شده و رها گردید. این عمل سه بار تکرار شد. پس‌ازآن، مقدار ذرات اضافه بالاتر از لبه استوانه توسط چوبی حذف گردید تا لبه استوانه با سطح ذرات در یک حد قرار گیرند (استوانه کاملاً پر گردید). دانسیته نهایی ذرات با تقسیم وزن به حجم و تحت عنوان دانسیته حجمی تعیین گردید. پس‌ازآن، ضریب فشردگی بر اساس دانسیته تخته به دانسیته حجمی مخلوط ذرات تعیین گردید.

پس از درجه‌بندی ابعادی ذرات، نسبت پوسته در سه سطح ۲ /۸۲mm:۱۶mm (۱۷/۶۵٪)، ۵/۳۳mm:۱۶mm (۳۳/۳۳٪) و ۸/۶mm:۱۶mm (۵۳/۷۵٪) به‌عنوان متغیر مستقل دوم انتخاب و در طی ساخت تخته بر اساس طرح آزمونی مورداستفاده قرار گرفت. بر اساس طرح آزمونی بکار رفته، یک‌سوم از کل ذرات استفاده‌شده در لایه‌های سطحی و میانی تحت تیمار اسید شویی، یک‌سوم دیگر تحت تیمار آبشویی و یک‌سوم باقی‌مانده تحت هیچ‌گونه تیماری قرار نگرفتند. بدین ترتیب متغیرهای مستقل موردبررسی شامل ابعاد ذرات استفاده‌شده در لایه سطحی در دو سطح، نسبت پوسته در سه سطح و نوع تیمار ذرات کلزا و خرده چوب در سه سطح بوده‌اند. قابل‌ذکر است که لایه میانی همه تخته‌ها با نسبت ۱۷ درصد صنوبر و ۸۳ درصد ذرات ساقه کلزا بوده است.

به‌منظور ساخت تخته، ابتدا به‌وسیله ترازویی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم خرده چوب صنوبر و ذرات ساقه کلزا موردنیاز برای لایه میانی و بر اساس طرح آزمونی بکار رفته برای هر تیمار (تخته) توزین و داخل یک چسب زن ریخته و به رزین آغشته شدند. سپس، مقدار معینی از ذرات ریز نیز (در دوطبقه و به‌طور جداگانه) بر اساس طرح آزمونی بکار رفته توزین و در داخل چسب زن، به رزین آغشته شدند. مقدار رزین خشک مورداستفاده برابر ۱۰ درصد وزن خشک ماده چوبی برای هر تخته ثابت در نظر گرفته شد که از این میزان ۱۲ درصد در لایه سطحی و ۸ درصد آن در لایه میانی استفاده گردید. غلظت رزین مورداستفاده ۶۰ درصد ثابت گردید. پس از اختلاط رزین با ذرات خرده چوب، میزان رطوبت نهایی برابر ۱۱ درصد رسید. ذرات ریزودرشت به‌تناوب و به‌منظور تشکیل کیک سه لایه به‌طور دستی و یکنواخت در داخل یک قالب چوبی به ابعاد ۲۲×۳۵×۳۵ سانتی‌متر ریخته شد. پس از خروج قالب، کیک به‌دست‌آمده در داخل دستگاه پرس هیدرولیکی تحت‌فشار ۱۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع و درجه حرارت ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۶۰ ثانیه قرار گرفت. با کمک شابلون ضخامت تخته‌ها در حد ۱۶ میلی‌متر تثبیت شد. دانسیته تخته‌ها برابر ۰/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب ثابت گردید. پس از خروج تخته‌ها از پرس و مشروط سازی در اتاق کلیما در رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و حرارت ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو هفته، بریده شدند. سپس ویژگی‌های خمشی بر اساس دستورالعمل EN ۳۱۰ (۱۹۹۶) [۵] و نمونه‌های

چسبندگی داخلی بر اساس دستورالعمل EN ۳۱۹ (۱۹۹۶) [۶] اندازه‌گیری شدند. پس از انجام آزمون خمشی، از تخته‌ها نمونه‌هایی برای تعیین پروفیل دانسیته در راستای ضخامت (Krames و Neusser) بر اساس لایه گیری نازک تهیه گردید [۷] تا به‌واسطه آن اثر تغییر در متغیرهای مستقل موردبررسی بر روی تغییرات دانسیته در راستای ضخامت و به‌تبعه‌تبع آن رفتار مکانیکی تخته‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. به‌منظور تعیین اثر تیمار ذرات بر روی پیوندپذیری رزین با کلزا و نهایتاً بر روی خواص مکانیکی، از دستگاه طیف‌سنج مادون‌قرمز تبدیل فوریه (Bruker Optics Ft Tensor 27, Germany) جهت تهیه طیف به‌منظور آنالیز ساقه کلزا در سه حالت بدون تیمار، آبشویی و اسید شویی استفاده شد. این تحقیق در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی تحت آزمایش‌ها فاکتوریل (۳×۲×۳) و درمجموع با ۱۸ تیمار و هر تیمار با سه تکرار صورت گرفت. درنهایت پس از انجام آزمون‌های مکانیکی، به‌منظور بررسی اثر عوامل متغیر بر روی تیمارها از تکنیک تجزیه واریانس و به‌منظور گروه‌بندی نتایج از آزمون دانکن استفاده شد. طرح آزمونی ساخت تخته‌خرده‌چوب در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- طرح آزمونی ساخت تخته‌خرده‌چوب

کد تیمار	درصد لایه‌های سطحی	ابعاد ذرات، mm	نوع تیمار	کد تیمار	درصد لایه‌های سطحی	ابعاد ذرات، mm	نوع تیمار
۱	۱۷/۶۵٪	>۱/۲۵	بدون تیمار	۱۰	۳۳/۳۳٪	<۱/۲۵	اسید شویی
۲	۱۷/۶۵٪	<۱/۲۵	بدون تیمار	۱۱	۵۳/۷۵٪	>۱/۲۵	اسید شویی
۳	۳۳/۳۳٪	>۱/۲۵	بدون تیمار	۱۲	۵۳/۷۵٪	<۱/۲۵	اسید شویی
۴	۳۳/۳۳٪	<۱/۲۵	بدون تیمار	۱۳	۱۷/۶۵٪	>۱/۲۵	آبشویی
۵	۵۳/۷۵٪	>۱/۲۵	بدون تیمار	۱۴	۱۷/۶۵٪	<۱/۲۵	آبشویی
۶	۵۳/۷۵٪	<۱/۲۵	بدون تیمار	۱۵	۳۳/۳۳٪	>۱/۲۵	آبشویی
۷	۱۷/۶۵٪	>۱/۲۵	اسید شویی	۱۶	۳۳/۳۳٪	<۱/۲۵	آبشویی
۸	۱۷/۶۵٪	<۱/۲۵	اسید شویی	۱۷	۵۳/۷۵٪	>۱/۲۵	آبشویی
۹	۳۳/۳۳٪	>۱/۲۵	اسید شویی	۱۸	۵۳/۷۵٪	<۱/۲۵	آبشویی

نتایج و بحث

بررسی ساختاری تخته‌خرده‌چوب

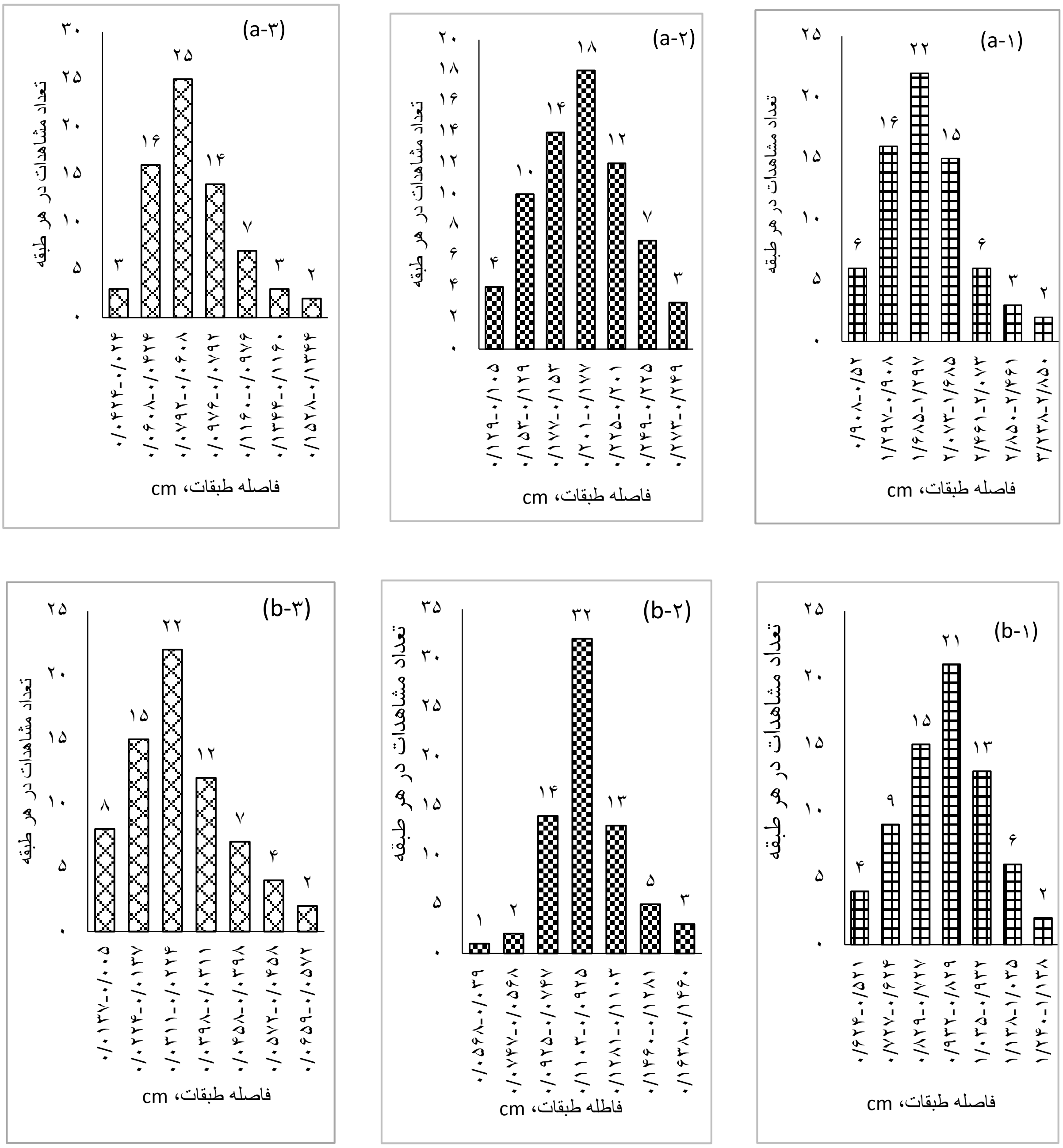
با توجه به اهمیت ابعاد ذرات، سطح ویژه، ضریب کشیدگی، ضریب ظاهری و ضریب پهنی دو سطح از ابعاد ذرات ساقه کلزا استفاده‌شده در لایه‌های سطحی به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- سطح ویژه و ضریب (کشیدگی، ظاهری و پهنی) ذرات ساقه کلزا با ابعاد مختلف

منافذ الک (ابعاد ذرات) (mm)	طول (mm)	عرض (mm)	ضخامت (mm)	ضریب کشیدگی	ضریب ظاهری	ضریب پهنی	سطح ویژه $cm^2/100gr$	دانسیته g/cm^3 حجمی،	ضریب فشردگی
>۱/۲۵	۱۵/۰۸	۱/۷۳	۰/۷۲	۲۳/۷۴۹	۹/۱۳۷	۲/۶۶۹	۱۶۸/۹۴	۰/۱۴۵	**۳/۷۹**
<۱/۲۵	۸/۰۹	۱/۰۴	۰/۲۸	۳۸/۶۷۹	۸/۰۴۵	۵/۰۳۲	۲۱۵/۶۸	۰/۲۴	**۲/۲۹۱**

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از روابط ۱-۳، بیشترین فراوانی طولی، عرضی و ضخامتی برای ذرات با ابعاد ۱/۲۵>میلی‌متر در بازه به ترتیب ۱/۶۸۵-۱/۲۹۷، ۰/۲۰۱-۰/۱۷۷ و ۰/۰۷۹۲-۰/۰۶۰۸ و برای ذرات با ابعاد

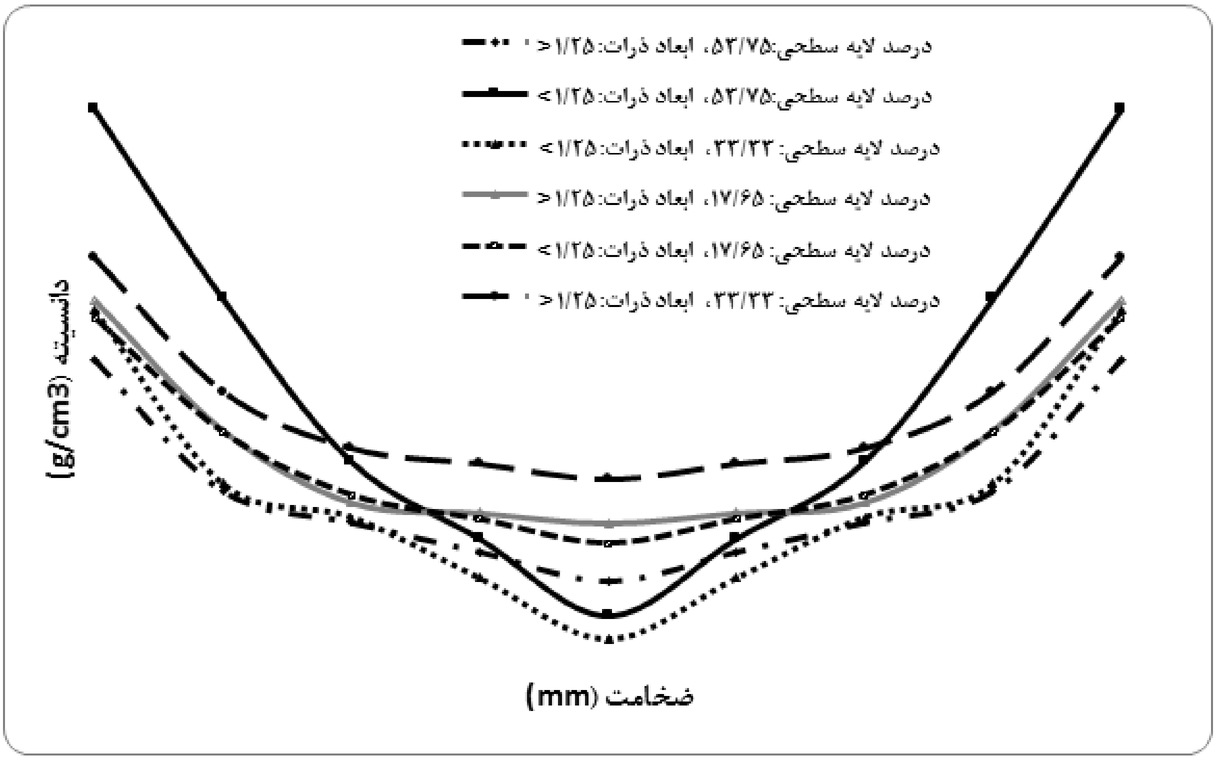
۱/۲۵>میلی‌متر در بازه به ترتیب ۰/۹۳۲-۰/۸۲۹، ۰/۱۱۰۳-۰/۰۹۲۵ و ۰/۰۳۱۱-۰/۰۲۲۴ میلی‌متر قرار دارد. کمترین میزان فراوانی در بازه‌های مینیمم و ماکسیمم طول، عرض و ضخامت ذرات (به ترتیب ۳/۲۳۸-۲/۸۵۰ و ۲/۸۵۰-۲/۴۶۱، ۰/۱۲۹-۰/۱۰۵، ۰/۲۷۳-۰/۲۴۹ و ۰/۱۵۲۸-۰/۱۳۴۴، ۰/۱۳۴۴-۰/۱۱۶) برای ذرات با ابعاد ۱/۲۵<میلی‌متر به ترتیب ۱/۲۴۰-۱/۱۳۸ و ۰/۰۵۶۸-۰/۰۳۹، ۰/۰۷۴۷-۰/۰۵۶۸ و ۰/۰۶۵۹-۰/۰۵۷۲، ۰/۰۵۷۲-۰/۰۴۵۸ برای ذرات ۱/۲۵>میلی‌متر) قرار دارد (شکل ۱). نتایج نشان داد که توزیع ابعادی ذرات در طول از یک منحنی زنگوله‌ای (نرمال) پیروی می‌کند که مطلوب است.



شکل ۱-توزیع فراوانی ابعادی (۱- طولی، ۲- عرضی، ۳- ضخامتی)
ذرات با ابعاد a- ۱/۲۵ mm< و b- ۱/۲۵ mm> کلزا در لایه‌های سطحی تخته

ضریب فشردگی یکی از فاکتورهای مؤثر بر ویژگی‌های صفحات فشرده چوبی است. با توجه به ابعاد ذرات استفاده‌شده در لایه سطحی و تأثیرپذیری ضریب فشردگی از اندازه ذرات که فاکتور بسیار مهمی بر مقاومت‌ها خصوصاً MOR است، نتایج نشان داد که دانسیته حجمی با افزایش ابعادی ذرات کاهش و به‌تبع آن میزان ضریب فشردگی ذرات در لایه سطحی افزایش یافته است (جدول ۲)؛ یعنی ذرات لایه سطحی با ابعاد ۱/۲۵< میلی‌متر دارای ضریب فشردگی بالاتری در مقایسه با ذرات با ابعاد ۱/۲۵> میلی‌متر بوده است.

دانسیته اسمی و رطوبت تخته‌ها در طی آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی در حد به ترتیب ۰/۵۵ g/cm^3 و ۱۲٪ ثابت گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییرات دانسیته در راستای ضخامت (پروفیل دانسیته) تیمارهای مختلف (شکل ۲) بیانگر آن است که با افزایش ابعاد ذرات ساقه کلزا از ۱/۲۵> میلی‌متر به ۱/۲۵< میلی‌متر به‌تدریج مقادیر دانسیته حداکثر به سطوح تخته‌خرده‌چوب منتقل می‌شوند. دانسیته لایه سطحی برای تیمار (۵۳/۷۵ درصد لایه سطحی، ۴۶/۲۵ درصد لایه میانی با ابعاد ۱/۲۵< میلی‌متر) در مقایسه با پنج نوع تخته دیگر به‌طور قابل‌توجهی کوچک‌تر بود. مقدار قابل‌توجهی از تغییرات در دانسیته اندازه‌گیری شده میان نمونه‌های مختلف وجود دارد که به‌طور عمده همراه با تغییرات ضخامت نمونه بوده است. شایان‌ذکر است که اثر این تغییرات به‌وضوح در نتایج مربوط به مقاومت‌های مکانیکی تخته‌های تیمارهای مختلف مشاهده می‌شود.

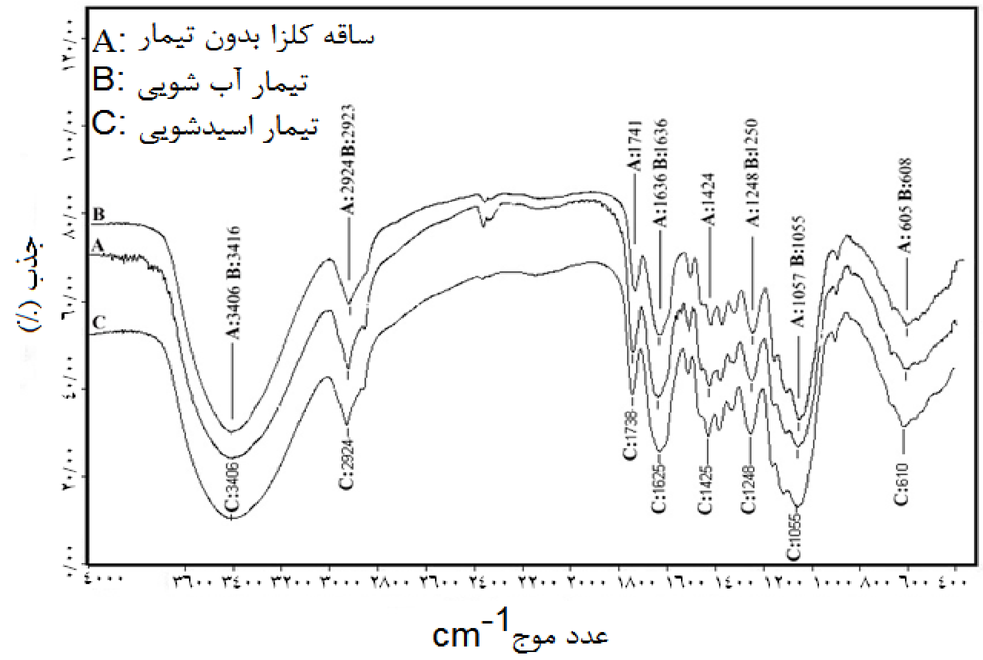


شکل ۲-پروفیل دانسیته تخته‌های ساخته‌شده

در شکل ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش ابعاد ذرات (۱/۲۵<) و همچنین نسبت پوسته (۵۳/۷۵٪)، شیب منحنی گرادیانت دانسیته در ضخامت نسبت به ذرات با ابعاد کوچک‌تر و نیز نسبت کمتر پوسته (۱۷/۶۵٪) تندتر است، به‌طوری‌که شدت افزایش دانسیته سطحی در مقایسه با دانسیته لایه میانی بیشتر است. ذرات ریزتر مرطوب آغشته به محلول رزینی به دلیل آنکه زودتر و کامل‌تر می‌توانند تحت تأثیر توأم حرارت و فشار قرارگرفته و به درهم‌رفتگی کامل‌تر و رسیدن سریع‌تر به نقطه پلاستیک (تغییر شکل دائم) بیانجامد، باعث ایجاد سطوح

متراکم‌تری شوند و به‌تبع آن، از انتقال سریع حرارت و بخار به لایه میانی جهت نرم کردن ذرات جلوگیری نمایند و باعث می‌شوند تا لایه میانی کمتر در معرض حرارت و فشار بالاتر قرار گیرند. علاوه بر آن، ذرات درشت لایه میانی کمتر به نقطه تغییر شکل دائم (پلاستیک) برسند. همچنین، ذرات ریز دارای دانسیته حجمی بالاتری هستند امکان انتقال فشار پرس به لایه‌های میانی را درنتیجه عکس‌العمل فشاری کمتر این ذرات در برابر فشار پرس کمتر فراهم می‌کنند، درصورتی‌که ذرات درشت‌تر (>۱/۲۵) و نسبت پوسته بیشتر (٪۵۳/۷۵) انتقال فشار را درنتیجه قابلیت بیشتر در انتقال فشار پرس از لایه‌های سطحی به لایه‌های میانی‌تر مهیا نموده و به‌تبع آن، شیب منحنی گرادیانت دانسیته یکنواخت‌تر شود.

جهت شناسایی ترکیبات ساقه کلزا در سه حالت بدون تیمار، آبشویی و اسید شویی شده از طیف‌سنجی FT-IR بین طول‌موج $۶۰۰cm^{-1}$ تا $۴۰۰۰cm^{-1}$ استفاده شد (شکل ۳). همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، طول‌موج $۳۴۰۶ cm^{-1}$ تا ۳۴۱۶ نشان‌دهنده ارتعاش کششی متقارن OH در مولکول سلولز است [۸]. به‌عبارتی‌دیگر پیوندهای هیدروژنی N-H از NH_2- به علت واکنش متیلی‌نیزاسیون که در جریان اتصالات عرضی اتفاق افتاده تشکیل‌شده‌اند [۹]. به‌وسیله پیک‌های به‌دست‌آمده از طیف IR می‌توان پیوندهای هیدروژنی ایجادشده را در خرده‌ها و پانل‌ها مشخص کرد [۱۰]. طول‌موج در محدوده $۲۹۲۳ cm^{-1}$ و ۲۹۲۴ نشان‌دهنده ارتعاش کششی متقارن C-H است که مربوط به CH_2 اتر، H_2OH و $N\text{-}CH_2$ است [۱۱]. طول‌موج $۱۷۴۱cm^{-1}$ مربوط کشش C=O غیر مزدوج و مرتبط با گروه‌های کربونیل، آلدهید و کتون موجود در لیگنین و همی سلولزها (زایلان) است [۱۲].



شکل ۳- طیف FT-IR از نمونه‌های ساقه کلزا بدون تیمار (A)، ساقه کلزا آبشویی شده (B) و ساقه کلزا اسید شویی شده (C)

مقاومت خمشی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر مستقل نسبت پوسته، ابعاد ذرات و نوع تیمار بر مدول گسیختگی تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از ذرات ساقه کلزا و چوب صنوبر در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار است (جدول ۳).

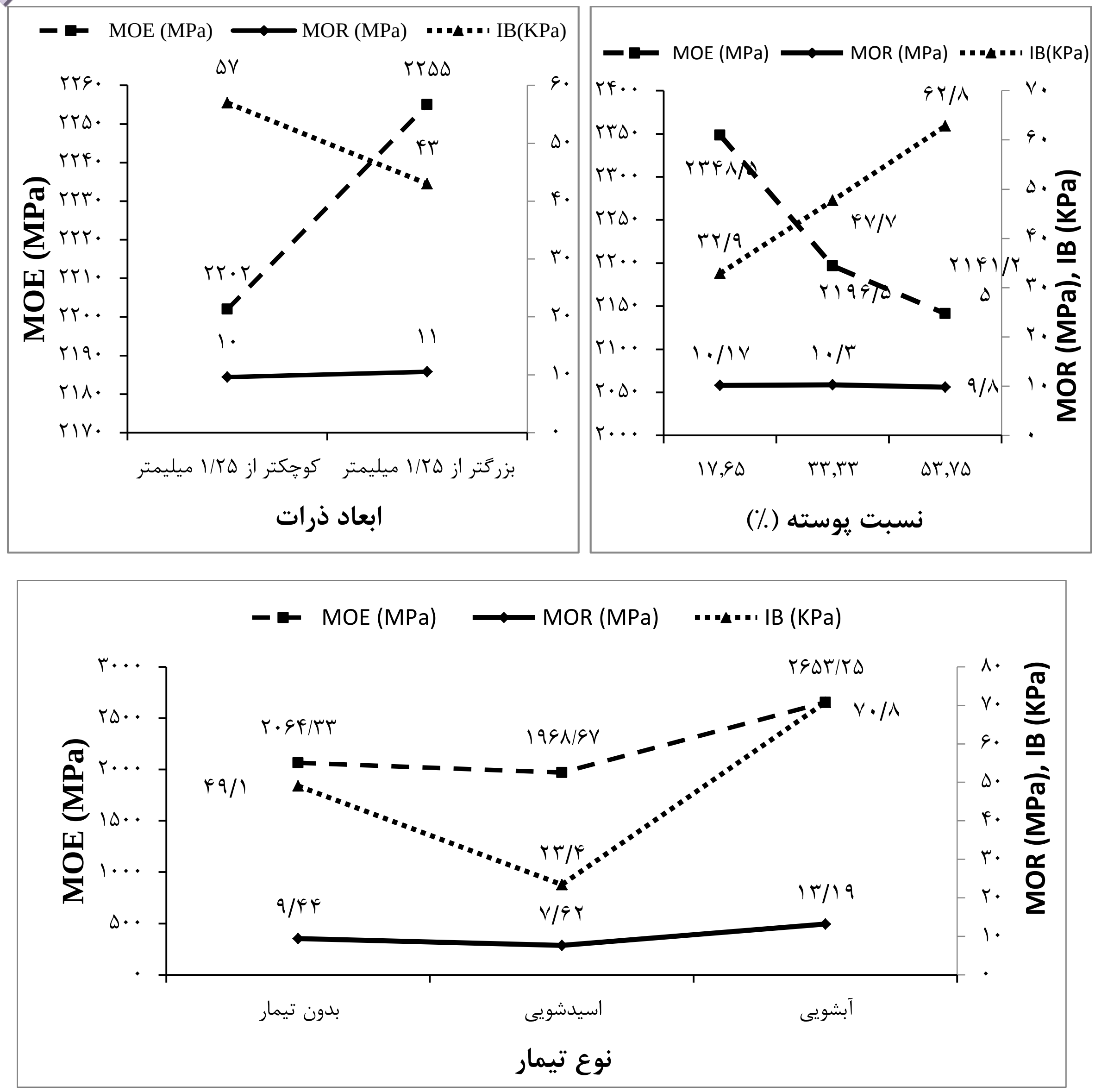
در شکل ۴ مشاهده می‌شود که مدول گسیختگی تخته‌ها با نسبت پوسته ٪۱۷/۶۵ و ٪۳۳/۳۳ بهبود و با کاربرد نسبت پوسته ٪۵۳/۷۵ کاهش می‌یابد، به‌نحوی‌که بیشترین میزان مدول گسیختگی ۱۰/۲۹۸ مگا پاسکال و

کمترین میـزان آن ۹/۷۸۳ مگـا پاسـکال اسـت؛ کـه ایـن می‌تواند ناشی از میـانگین ضـریب کشـیدگی بـالای ذرات ساقه کلزا وقتی‌که از نسبت کمتـر پوسـته اسـتفاده شـود، باشد (جدول ۲). درصورتی‌که نسبت پوسته کاهش یابد به دلیل مصرف ذرات ریز با نسبت کمتر در لایه‌های سـطحی که بیشترین تأثیر را در تغییر مقاومت‌هـای خمشـی دارد، امکـان در هـم‌روی مکـانیکی و کـاهش ضـریب فشـردگی فراهم‌تر شده باعث خواهد شد کـه مقاومـت‌هـای خمشـی کاهش یابد (جدول ۲).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیرات مستقل و متقابل نسبت پوسته، ابعاد ذرات و نوع تیمار بر مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از ذرات ساقه کلزا

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
(MOR) A	۲/۵۸۷	۲	۱/۲۹۴	۳/۱۶۲	۰/۰۵۴*
(MOE) A	۴۱۴۶۵۴/۷۵۰	۲	۲۰۷۳۲۷/۳۷۵	۳۸/۸۸۹	۰/۰۰۰**
(IB) A	۰/۰۰۸	۲	۰/۰۰۴	۱۱/۸۰۷	۰/۰۰۰**
(MOR) B	۱۲/۳۵۵	۱	۱۲/۳۵۵	۳۰/۲۰۳	۰/۰۰۰**
(MOE) B	۳۸۰۰۱/۰۴۲	۱	۳۸۰۰۱/۰۴۲	۷/۱۲۸	۰/۰۱۱*
(IB) B	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	۲/۴۲۲	۰/۱۲۸ns
(MOR) C	۲۹۰/۱۸۱	۲	۱۴۵/۰۹۰	۳۵۴/۶۸۳	۰/۰۰۰**
(MOE) C	۴۹۴۷۷۷۵/۷۵۰	۲	۲۴۷۳۸۸۷/۸۷۵	۴۶۴/۰۳۹	۰/۰۰۰**
(IB) C	۰/۰۲	۲	۰/۰۱	۲۹/۶۹۴	۰/۰۰۰**
(MOR) A×B	۰/۱۷۷	۲	۰/۰۸۹	۰/۲۱۷	۰/۸۰۶ns
(MOE) A×B	۴۱۸۴۷/۵۸۳	۲	۲۰۹۲۳/۷۹۲	۳/۹۲۵	۰/۰۲۹*
(IB) A×B	۰/۰۰۰۰۷۳۸۴	۲	۰/۰۰۰۰۳۶۹۲	۰/۱۰۸	۰/۸۹۸ns
(MOR) A×C	۱۴/۰۸۵	۴	۳/۵۲۱	۸/۶۰۸	۰/۰۰۰**
(MOE) A×C	۱۲۶۷۶۴	۴	۳۱۶۹۱	۵/۹۴۴	۰/۰۰۱**
(IB) A×C	۰/۰۰۹	۴	۰/۰۰۲	۶/۸۳۴	۰/۰۰۰**
(MOR) B×C	۱۳/۹۹۱	۲	۶/۹۹۵	۱۷/۱۰۱	۰/۰۰۰**
(MOE) B×C	۱۹۰۵۲/۵۸۳	۲	۹۵۲۶/۲۹۲	۱/۷۸۷	۰/۱۸۲ns
(IB) تیمار B×C	۰/۰۰۳	۲	۰/۰۰۲	۴/۷۹۹	۰/۰۱۴**
(MOR) A×B×C	۳۳/۰۰۱	۲	۸/۲۵	۲۰/۱۶۸	۰/۰۰۰**
(MOE) A×B×C	۳۶۳۳۲۷/۱۶۷	۴	۹۰۸۳۱/۷۹۲	۱۷/۰۳۸	۰/۰۰۰**
(IB) A×B×C	۰/۰۰۱	۴	۰/۰۰۰	۰/۹۷	۰/۴۳۶ns
خطا (MOR)	۱۴/۷۲۷	۳۶	۰/۴۰۹	-	-
خطا (MOE)	۱۹۱۹۲۳/۵	۳۶	۵۳۳۱/۲۰۸	-	-
خطا (IB)	۰/۰۱۲	۳۶	۰/۰۰۰	-	-
کل (MOR)	۵۸۷۲/۰۸۴	۵۴	-	-	-
کل (MOE)	۲۷۴۴۰۰۰۰	۵۴	-	-	-
کل (IB)	۰/۱۷۹	۵۴	-	-	-

A- نسبت پوسته، B- ابعاد ذرات، C- نوع تیمار؛ ضریب همبستگی: MOR=۰/۹۶۱، MOE=۰/۹۶۹، IB=۰/۷۷۸ ضریب اصلاحی: MOR=۰/۹۴۳، MOE=۰/۹۵۴، IB=۰/۶۷۴؛ (**) معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد، (*) معنی‌داری در سطح ۹۵ در صد، (ns) بدون اختلاف معنی‌دار



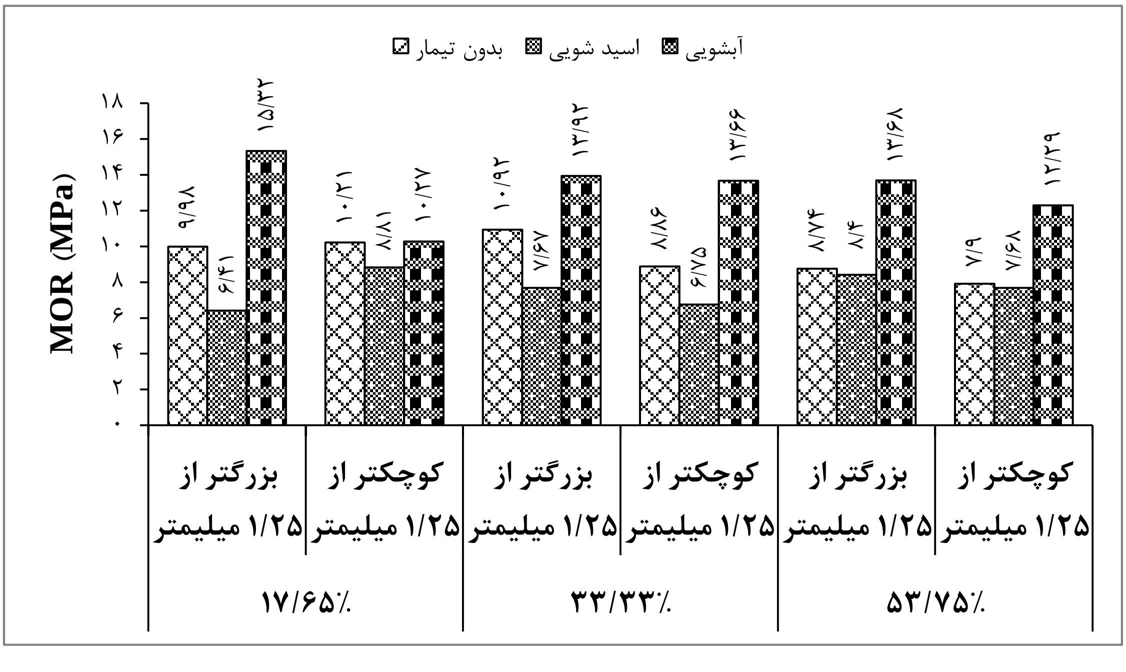
شکل ۴- تأثیر مستقل نسبت پوسته، ابعاد ذرات و نوع تیمار بر مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی تخته‌خرده‌چوب

در شکل ۴ همچنین مشاهده می‌شود با افزایش ابعاد ذرات در لایه سطحی از ۱/۲۵> به ۱/۲۵< میلی‌متر مدول گسیختگی افزایش می‌یابد، به‌نحوی‌که بیشترین میزان مدول گسیختگی مربوط به ذرات با ابعاد ۱/۲۵< میلی‌متر برابر با ۱۰/۵۶۲ مگا پاسکال و کمترین میزان آن مربوط به ذرات با ابعاد ۱/۲۵> میلی‌متر برابر با ۹/۶۰۶ مگا پاسکال است. این نتایج توسط Mottet (۱۹۶۷) [۱۳] که عنوان کردند ذرات ریز به دلیل مقدار کم سلول‌های چوبی و الیاف کوتاه موجب کاهش مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته می‌شود، تأیید می‌گردد. به‌طورکلی، هرچه ابعاد ذرات خصوصاً طول ذرات بیشتر باشد، امکان جهت‌یابی ذرات بیشتر می‌شود. در صورت کوچک‌تر بودن طول، امکان قرار گرفتن ذرات در جهت Z بیشتر شده، این امر باعث کاهش میزان خمشی اما افزایش میزان چسبندگی داخلی می‌شود. امکان انتقال بهتر تنش (در آزمون خمشی) برای ذراتی که دارای طول بیشتر هستند مهیا می‌شود زیرا در طی بارگذاری تنش از سطوح فوقانی به سطوح تحتانی منتقل می‌شود. در طی این انتقال تنش تخته‌هایی که دارای

سطوح تماس بیشتر درنتیجه کاربرد ذراتی که با طول بیشتری هستند فراهم‌تر می‌شود و می‌توانند بار بیشتری را از سطح فشاری به سطح کششی منتقل نمایند.

همچنین با توجه به آنالیز و طبقه‌بندی ذرات ساقه کلزا مشخص گردید که بیشترین فراوانی عرض ذرات با ابعاد ۱/۲۵> میلی‌متر در بازه ۰/۱۷۷ تا ۰/۲۰۱ میلی‌متر قرار دارد. این بدین معنی است که ذرات با ابعاد طول و عرض مناسب‌تری در این بازه قرار دارند که موجب افزایش مدول گسیختگی می‌شوند؛ زیرا میزان مدول گسیختگی در تخته‌ها با افزایش پهنای ذرات خرده چوب مورداستفاده در ساخت آن‌ها افزایش می‌یابد ولی جایی که پهنای ذرات خرده چوب به طول ذرات نزدیک می‌شود، مدول گسیختگی کاهش می‌یابد [۱۴].

در شکل ۴ مشهود است که مدول گسیختگی در اثر تیمار آبشویی بهبود و در اثر تیمار اسید شویی کاهش یافته است، به‌نحوی‌که بیشترین میزان مدول گسیختگی مربوط به تیمار آبشویی برابر با ۱۳/۱۹ مگا پاسکال و کمترین میزان آن مربوط به تیمار اسید شویی برابر با ۷/۶۲ مگا پاسکال است. کاهش مقاومت‌ها در اثر تیمار اسید شویی می‌تواند به دلیل کاهش و تخریب همی سلولزها و سلولز باشد [۱۵]. از سوی دیگر کاهش تعداد گروه‌های هیدروکسیل و افزایش گروه‌های استیل که هیدروفوب است براثر تیمار اسید شویی باعث کاهش میزان پیوندهای هیدروژنی درنتیجه آب گریزی سطوح ذرات در کربوهیدرات‌ها درنتیجه وجود گروه‌های استیل شده که می‌تواند درکنارکاهش درجه پلیمریزاسیون (Dp) سلولز، در کاهش مقاومت‌ها نقش داشته باشد.



شکل ۵- تأثیر متقابل نسبت پوسته و ابعاد ذرات و نوع تیمار بر مدول گسیختگی تخته‌خرده‌چوب

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر متقابل نسبت پوسته و ابعاد ذرات و نوع تیمار بر مدول گسیختگی تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از ذرات ساقه کلزا و چوب صنوبر در سطح اعتماد ۹۹٪ دارای اختلاف معنی‌دار است (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود بیشترین میزان مدول گسیختگی مربوط تخته‌های با نسبت پوسته برابر ۱۷/۶۵٪، ذرات با ابعاد ۱/۲۵< میلی‌متر و تیمار آبشویی و برابر با ۱۵/۳۲ مگا پاسکال و کمترین میزان آن مربوط تخته‌های با نسبت پوسته برابر ۱۷/۶۵٪، ذرات با ابعاد ۱/۲۵< میلی‌متر و تیمار اسید شویی و برابر با ۶/۴۱ مگا پاسکال است.

دانسیته حجمی فاکتور مهم تأثیر گزاری بر روی ضریب

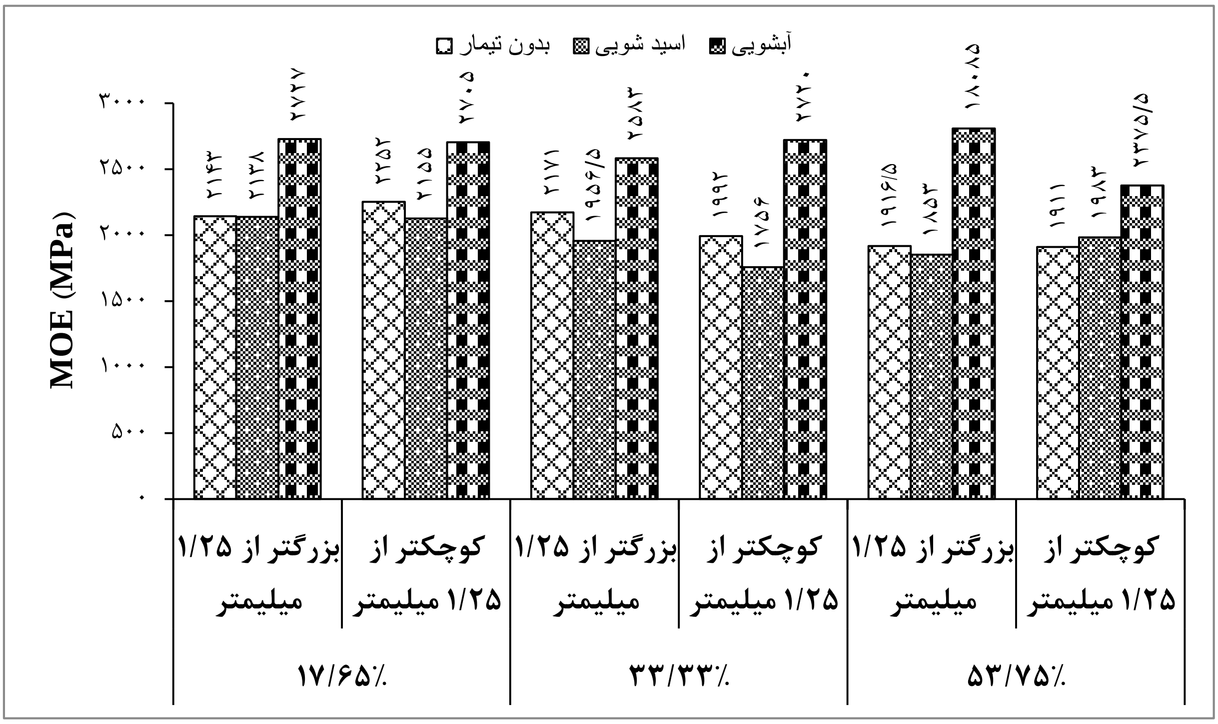
فشردگی است. معلوم شده است که ذرات کوچک‌تر نسبت به بزرگ‌تر، از وزن مخصوص ظاهری بیشتری برخوردار است. این امر به دلیل این واقعیت است که در ذرات کوتاه‌تر، ساختار متراکم‌تر بین ذرات وجود دارد. از سوی دیگر، ذرات درشت‌تر دارای ساختار بازتر و متخلخل‌تر بین ذرات است که نتیجه آن وزن مخصوص ظاهری کمتر است. لایه سطحی تخته‌های ساخته‌شده با ذرات ۱/۲۵< میلی‌متر دارای ضریب فشردگی بیشتری نسبت به ذرات با ابعاد ۱/۲۵> میلی‌متر است (جدول ۲ و شکل ۲). ضریب فشردگی بیشتر، تماس کافی بین خرده چوب‌ها را به وجود آورده و پیوندهای قوی بین آن‌ها توسعه می‌دهد.

سطح ویژه برای ذرات ریزتر (۱/۲۵> میلی‌متر) بزرگ‌تر از ذرات درشت‌تر (۱/۲۵< میلی‌متر) است (جدول ۲). مصرف چسب عمدتاً تحت تأثیر سطح ویژه از ذرات چوب قرار دارد. با افزایش سطح ویژه معمولاً مقدار مصرف چسب به ازای واحد سطح را افزایش می‌دهد که باعث می‌شود تا خواص مکانیکی تخته‌ها کاهش یابد. با توجه به ثابت بودن مقدار رزین با افزایش سطح ویژه ذرات با ابعاد ۱/۲۵> میلی‌متر، بعضی از سطوح ذرات به دلیل کمبود رزین، آغشته نشده و اتصالات کاملی به وجود نخواهد آمد که نهایتاً منجر به کاهش مدول گسیختگی می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر مستقل نسبت پوسته، ابعاد ذرات و نوع تیمار بر مدول الاستیسیته تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از ذرات ساقه کلزا و چوب صنوبر در سطح اعتماد ۹۹٪ دارای اختلاف معنی‌دار است (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود مدول الاستیسیته تخته‌ها با نسبت پوسته ٪۵۳/۷۵ بهبود و با نسبت پوسته ٪۵۳/۷۵ کاهش می‌یابد، به‌نحوی‌که بیشترین میزان مدول الاستیسیته ۲۳۴۸/۵ مگا پاسکال و کمترین میزان آن ۲۱۴۱/۲۵ مگا پاسکال است. با افزایش ابعاد ذرات از ۱/۲۵> به ۱/۲۵< میلی‌متر نیز مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد. به‌نحوی‌که بیشترین میزان مدول الاستیسیته مربوط به ذرات با ابعاد ۱/۲۵< میلی‌متر برابر با ۲۲۵۵/۲۸ مگا پاسکال و کمترین میزان آن مربوط به ذرات با ابعاد ۱/۲۵> میلی‌متر برابر با ۲۲۰۲/۲۲ مگا پاسکال است. این می‌تواند درنتیجه افزایش سطح ویژه ذرات با ابعاد ۱/۲۵> میلی‌متر نسبت به ذرات با ابعاد ۱/۲۵< میلی‌متر باشد که باعث شده است تا جذب رزین زیادتر شود (جدول ۲). مدول الاستیسیته در اثر تیمار آبشویی بهبود و در اثر تیمار اسید شویی کاهش می‌یابد، به‌نحوی‌که بیشترین میزان مدول الاستیسیته مربوط به تیمار آبشویی برابر با ۲۶۵۳/۲۵ مگا پاسکال و کمترین میزان آن مربوط به تیمار اسید شویی برابر با ۱۹۶۸/۶۷ مگا پاسکال است. تحلیل طیف‌های FT-IR آشکار کردند که تخریب همی سلولزها، حذف گروه‌های استیل و تولید اسیدهای آلی در اثر تیمار اسید شویی زیاد می‌شود و شدت جذب مربوط به گروه‌های هیدروکسیل کاهش می‌یابد (شکل ۳). کاربرد این اسیدها تخریب همی سلولزها و نیز بخشی از سلولز را تسریع کرده و می‌تواند باعث کاهش مقاومت‌های ساقه کلزا تیمار شده شود از جمله مدول الاستیسیته شود [۱۵]. همچنین مشاهده می‌شود که در اثر تیمار آبشویی مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد. دلیل این امر نیز می‌تواند احتمالاً به دلیل افزایش قابلیت فشردگی خرده‌های ساقه کلزا به دلیل حذف مواد آب‌گریز مومی و تأثیرگذاری بیشتر بخارآب به‌عنوان یک نرم‌کننده (پلاستیزر) قوی زیر پرس گرم باشد که موجب بالا رفتن تراکم لایه‌های سطحی تخته‌ها و بهبود مدول الاستیسیته می‌شود [۱۶].

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر متقابل نسبت ضخامت لایه سطحی به‌کل ضخامت، ابعاد ذرات و نوع تیمار بر مدول الاستیسیته تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از ذرات ساقه کلزا و چوب صنوبر در سطح اعتماد ۹۹٪ دارای اختلاف معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین میزان مدول الاستیسیته مربوط به تخته‌های با نسبت ضخامت لایه سطحی به‌کل ضخامت ٪۵۳/۷۵، ذرات با ابعاد (۱/۲۵< میلی‌متر) و تیمار آبشویی برابر با ۲۸۰۸/۵ مگا پاسکال و کمترین میزان آن مربوط به تخته‌های با نسبت پوسته ٪۳۳/۳۳، ذرات با ابعاد (۱/۲۵> میلی‌متر) و تیمار اسید شویی برابر با ۱۷۵۶ مگا پاسکال است (شکل ۶).

در بیان علت افزایش مدول الاستیسیته همچنین می‌توان گفت که احتمالاً براثر تیمار آبشویی زنجیره‌های سلولزی به همدیگر نزدیک شده و تشکیل پیوندهای شیمیایی جدید (که دارای انرژی پیوندی بالاتری نسبت به پیوندهای شکسته شده هیدروژن دارند) را می‌دهند [۱۷].



شکل ۶- تأثیر متقابل نسبت لایه سطحی به لایه میانی و ابعاد ذرات و نوع تیمار بر مدول الاستیسیته تخته‌خرده‌چوب

چسبندگی داخلی (IB)

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر مستقل نسبت لایه سطحی به لایه میانی و نوع تیمار بر چسبندگی داخلی تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از ذرات ساقه کلزا و چوب صنوبر در سطح اعتماد ۹۹٪ دارای اختلاف معنی‌دار است، اما تأثیر مستقل ابعاد ذرات معنی‌دار نیست (جدول ۳). چسبندگی داخلی تخته‌ها با نسبت پوسته ۵۳/۷۵٪ بهبود و با نسبت پوسته ۱۷/۶۵٪ کاهش می‌یابد، به‌نحوی‌که بیشترین میزان چسبندگی داخلی ۰/۰۶۲۸ مگا پاسکال و کمترین میزان آن ۰/۰۳۲۹ مگا پاسکال است (شکل ۴).

با افزایش نسبت پوسته (شکل ۴) به دلیل کاربرد ذرات ریزتر امکان مصرف درصد رزین در لایه‌های سطحی بیشتر می‌شود این در حالی است که میزان مصرف رزین با توجه به نسبت درصدی یکسان و مصرف رزین در کل تخته یکسان است باعث کاهش مصرف رزین در لایه میانی شده که نتیجتاً کاهش چسبندگی داخلی را سبب می‌شود.

به‌موازات افزایش ضریب شکل و ضریب ظاهری به دلیل کاهش چسبندگی عمود بر استقرار الیاف در ساقه مواد لیگنوسلولزی همچون کلزا درنتیجه کاهش میزان لیگنین امکان تحمل بار در کشش عمود بر سطح (چسبندگی داخلی) و حتی خمش کاهش می‌یابد. این امر باعث می‌شود تا تخته نه به دلیل گسیختگی ادهیژنی بلکه به دلیل گسیختگی کوهیژنی که درنتیجه ضعف در اتصال بین خود الیاف ذرات کلزا واقع است، بشکند. بدین ترتیب به ازای افزایش ضریب ظاهری امکان کاهش چسبندگی داخلی و حتی مدول گسیختگی ممکن گردد. با توجه به شکل ۲، با افزایش ابعاد ذرات و مقدار آن دانسیته لایه‌های سطحی کمتر اما توزیع پروفیل دانسیته در کل ضخامت تخته یکنواخت‌تر گردید. بالعکس، با کاهش ابعاد ذرات و مقدار آن در لایه‌های سطحی ضریب فشردگی و دانسیته لایه‌های سطحی افزایش یافت. این بدان معنی است که تراکم لایه‌های میانی بیش‌ازاندازه کاهش یافته است. این امر سبب می‌شود تا IB کاهش یافته و حتی در طی خمش، تخته بجای آنکه به‌صورت خمش خالص بشکند تحت تأثیر نیروی برشی (که شکست به شکل T یا Y ظاهر می‌شود) که مقدار آن خیلی کمتر از نیروی خمشی

خالص است، بشکند [۱۶]. علاوه بر آن، ازیک‌طرف با کاهش میزان تراکم و فشردگی در لایه‌های میانی و به‌تبع آن افزایش فضای عایقی حاصل از افزایش خلل و فرج در لایه‌های میانی، سرعت انتقال بخار داغ از دو سطح بالایی و پایینی کاهش یافته و باعث تأخیر در رسیدن ذرات به نقطه تغییر شکل دائم (پلاستیک) و عدم ایجاد سطح همپوشانی مناسب و نیز انعقاد ناکامل رزین می‌شود. از طرف دیگر، با توجه به افزایش زیاد تراکم در لایه سطحی، سرعت انتقال حرارت از لایه‌های سطحی به لایه میانی نیز در پرس کند شده و انعقاد ناکامل رزین را در پی خواهد داشت [۱۸ و ۱۹].

سطح ساقه کلزا و به‌تبع آن خرده‌های کلزا پوشیده از لایه‌های مومی بوده که قادر به تر شدن و جذب رزین اوره فرمالدهید نخواهد بود. درنتیجه چسبندگی بین ذرات کم شده و چسبندگی داخلی تخته‌ها کاهش پیدا می‌کند. همچنین به دلیل اسیدی بودن ساقه کلزا و خرده چوب صنوبر، احتمال می‌رود به دلیل قرار گرفتن رزین مصرفی در محیط اسیدی، رزین قبل از اعمال حرارت و فشار کامل پرس پلیمر گردد و کارایی چسبندگی آن کاهش یابد.

چسبندگی داخلی در اثر تیمار آبشویی بهبود و در اثر تیمار اسید شویی کاهش می‌یابد (شکل ۴)، به‌نحوی‌که بیشترین میزان چسبندگی داخلی مربوط به تیمار آبشویی برابر با ۰/۰۷۰۸ مگا پاسکال و کمترین میزان آن مربوط به تیمار اسید شویی برابر با ۰/۰۴۹۱ مگا پاسکال است. یکی از دلایل اصلی افت چسبندگی داخلی در اثر تیمار اسید شویی را می‌توان کاهش گروه‌های هیدروکسیل و کاهش قطبیت ذرات ساقه کلزا عنوان کرد که در تضعیف چسبندگی نقش اساسی دارند [۲۰].

حضور محیط اسیدی و دمای بالا در طی ساخت از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار برافزایش سرعت انعقاد و بسپارش بهتر چسب می‌باشند. حضور اسیداستیک در اثر تیمار اسید شویی بر روی ذرات ساقه کلزا، برشدت و سرعت گیرایی و انعقاد چسب اثر گذاشته است. افزایش اسیدیته محیط واکنش چسب، سبب افزایش سرعت گیرایی و انعقاد پیش از موعد رزینو درنتیجه کاهش چسبندگی داخلی شده است [۲۱]. بااین‌وجود تمامی تخته‌های ساخته‌شده پایین‌تر از حد استاندارد EN (۰/۳۵ مگاپاسگال) است. علت این امر می‌تواند به دلیل عدم سازگاری بین رزین‌های فرمالدئیدی و ذرات با سطوح غیرقطبی کلزا باشد که اتصال ضعیفی بین آن‌ها ایجاد شده که منجر به کاهش چسبندگی داخلی می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، خواص مکانیکی تخته‌خرده‌چوب سه لایه تحت نسبت‌های مختلف پوسته (ضخامت لایه‌های سطحی به‌کل ضخامت تخته)، ابعاد ذرات و تیمار ذرات بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که با افزایش نسبت پوسته مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی افزایش می‌یابد، درحالی‌که مدول گسیختگی به دلیل مصرف ذرات ریز با نسبت کمتر در لایه‌های سطحی و فراهم شدن در هم‌روی مکانیکی، با کاهش نسبت لایه سطحی افزایش یافت. نتایج نشان داد با افزایش ابعاد ذرات از ۱/۲۵>به ۱/۲۵<میلی‌متر، به دلیل امکان جهت‌یابی بیشتر ذرات، مدول گسیختگی افزایش یافت. همچنین مدول الاستیسیته به دلیل افزایش سطح چسب خورده نسبت به سطح کل ذرات و تشکیل اتصالات بهتر بین ذرات با ابعاد بزرگ‌تر، افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از تیمار اسید شویی بیانگر کاهش مقاومت‌های خمشی در اثر تیمار اسید شویی است. دلیل این امر کاهش گروه‌های هیدروکسیل است که باعث کاهش میزان پیوندهای هیدروژنی و درنتیجه آب‌گریزی سطوح ذرات در کربوهیدرات‌ها شده که می‌تواند در کنار کاهش درجه پلیمریزاسیون سلولز، در کاهش مقاومت‌ها نقش داشته باشد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید که چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته‌شده پایین‌تر از حد استاندارد است. این امر به دلیل کاهش چسبندگی عمود بر استقرار الیاف در ساقه مواد لیگنوسلولزی همچون کلزا درنتیجه کاهش میزان لیگنین و نتیجتاً امکان تحمل بار در کشش عمود بر سطح (چسبندگی داخلی) کاهش یافته و حتی خمش نیز کاهش می‌یابد. این امر باعث می‌شود تا تخته نه به دلیل گسیختگی ادهیژنی بلکه به دلیل گسیختگی کوهیژنی که درنتیجه ضعف در اتصال بین خود الیاف ذرات کلزا واقع است، بشکند و درنهایت چسبندگی داخلی کاهش یابد. اگرچه مقاومت‌های خمشی از حد

استاندارد بالاتر بوده است، اما تمامی تخته‌ها دارای مقاومت کشش عمود بر سطح پایین‌تر از حد استاندارد است، اما با توجه به سهولت تولید در ذرات با توزیع مناسب و نرمال می‌توان پیشنهاد داد که با کمک اعمال تیمارهای هیدروترمیک و یا شیمیایی مناسب و حذف مواد مومی مقاومت چسبندگی داخلی تخته‌ها را بهبود داد.

منابع

[1] Rangavar, H., Bazyar, B. and Akbari, H., 2013. Study on the possibility of particle board tree-layer manufacturing using chick-pea (*Cicer arietinum*) stem. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 28(2): 224-237. (In Persian).

[2] Miyamoto, K., Nemaha, S. and Suzuki, S., 2002. Effects of particle shape on linear expansion of particleboard. Journal of Wood Science, 48: 158-190.

[3] Hill, C., 2006. Wood Modification: Chemical, Thermal and Other process. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, Sussex, UK.

[4] Ohlmeyer, M. and Lukowsky, D., 2004. Wood-basedpanels produced from thermal treated wood –Properties and perspectives. In: Wood-frame housingdurability and disaster issues conference. Oct. 4–6, Las Vegas, USA, pp. 127-131.

[5] European Standard EN 310., 1996. “Wood based panels, determination of modulus of elasticity in bending and bending strength,” European Standardization Committee, Brussell.

[6] European Standard EN 319., 1996. Wood based panels, determination of tensile strength perpendicular to plane of the board. European Standardization Committee, Brussell.

[7] Neusser, H., Krames¸V., Haidinger¸ K. and Serentschy¸ W., 1969. The character of particle andits influence on quality of surface layers of particleboard. Holzforsch Und Holzverwest, 21(4):81-94

[8] Zhou, D., Zhang, L. and Guo, S., 2005. Mechanisms of lead biosorption on cellulose/chitin beads.Water Research, 39: 3755 –3762.

[9] Edoga, M.O., 2006. Comparative study of synthesis procedures for urea-formaldehyde resins (Part I). Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 72: 607 –17.

[10] Coates, J., 2000. Interpretation of infrared spectra, a practical approach. In: Meyers R, editor. Encyclopedia of Analytical Chemistry. John Wiley and Sons, Chichester, Sussex, UK.

[11] Kumar, A., Gupta, A., Sharma, K.V. Nasir, M. and Ahamed Khan, T., 2013. Influence of activated charcoal as filler on the properties of wood composites. International Journal of Adhesion & Adhesives, 46: 34 –3.

[12] Colom, X., Carrasco, F., Pages, P. and Canavate, J., 2003. Effect of different treatments on the interface of HDPE/lingocelluloseic fiber composites. Composites Science and Technology, 63: 161-169.

[13] Mottet, A.L., 1967.The particle geometry factor. In: Maloney T. (editor). Proceedings of the W.S.U. particleboard symposium, No. 1, Pullman, Washangton, USA.

[14] Bhagwat, S., 1971 .Physical and mechanical variations in cottonwood and hickory flakeboards made from flakes of three sizes. Forest Products Journal, 21: 101–3.

[15] Windeisen, E., Bächle, H., Zimmer, B. and Wegener, G., 2009. Relations between chemical changes and mechanical properties of thermally treated wood. Holzforschung, 63(6): 773-778.

[16] Wong E.D., Zhang, M., Han, G., Kawai, S. and Wang, Q., 2000. Formation of the density profile and its effects on the properties of fiberboard. Journal of Wood Science, 46(3): 202-209.

[17] Hatefnia, H., Enayati, A.A., DoostHoseini, K. and AzadFallah, M., 2012. Effect of steam treatment on chemical changes of wood components. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 26(4): 682-698. (In Persian).

[18] Rathke, J., Sinn, G., Konnerth, J. and Müller, U., 2012. Strain measurements within fiberboards. Part I: inhomogeneous strain distribution within medium density fiberboards (MDF) loaded perpendicularly to the plane of the board. Materials, 5: 1115-1124.

[19] Wong, E.D., 1999. Effects of density profile on the mechanical properties of particleboard and fiberboard. Wood Reserch, 86:19-33.

[20] Mohebby, B., Ilbeighi, F. and Kazemi-Najafi, S., 2008. Influence of hydrothermal modification of fibers on some physical and mechanical properties of medium density fiberboard (MDF). Holz als Roh – und Werkstoff, 66(3): 213-218.

[21] Pizzi, A., 1983. Wood Adhesives, Chemistry and Technology. Marcel Dekker Inc., New York.

The influence of treatment and shelling ratio on the mechanical properties of particleboard manufactured from Canola (*Brassica napus*) stalk particles

Abstract

In this study, the effect of particle size in surface layers and shelling ratio on the mechanical properties of there-layered particleboard was investigated. The there-layered particleboards were manufactured from treated canola (Brassica napus) particle. The shelling ratio at three levels (2.82:16mm, 5.33:16mm and 8.6:16mm), particle sizes at two levels (>1.25 and <1.25 mm) and treatment type of particles at three levels (untreated, water-leached and acid-leached treatment) were selected as independent variables. The mechanical properties of panels i.e. modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), and internal bonding strength (IB) were tested according to the EN standards. Results showed that using the canola particles with the dimension of >1.25 mm in surface layers of panels caused an increase in MOR, MOE, IB. Besides, it was determined that increment in particle size on surface layers and using water – leached treatment improved the mechanical properties of panels. According to the results, with the usage of canola stalks particles treated with hot-water used in core layer, applying particles with the dimension of >1.25mm on surface layers of three-layered panels, shelling ratio of 2.82:16mm and 5.33:16mm, desirable MOR and MOE can be obtained.

Key words: Particle size, three-layered particleboard, particle treatment, mechanical properties, canola stalk.

S. Akbari[1]
M. Nazerian[2*]
S. R. Farrokhpayam[3]
B. Nosrati Sheshkal[4]

[1] MSc. Department of Wood and Paper Science and Technology, University of Zabol

[2] Associate professor, Department of Cellulose and Paper Technology, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Associate professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

[3] Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, University of Zabol

[4] Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, University of Zabol

Corresponding author:
morteza17172000@yahoo.com

Received: 2015/09/13
Accepted: 2015/12/23