تأثیر نحوه اختلاط ترکیبات زئولیت در فرآیند ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط بر خواص فیزیکی و مکانیکی

بهنام غلامپور[۱]
کامبیز پورطهماسی[۲*]
مهدی جنوبی[۲]
رضا اولادی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

[۲] استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

[۳] دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:
pourtahmasi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۳

چکیده

در این تحقیق، تأثیر میزان و جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت بر عملکرد فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر دانسیته متوسط مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، نمونه‌های تخته فیبر دانسیته متوسط با ابعاد ۱۶×۴۰۰×۴۰۰ میلی‌متر با دانسیته ۰/۷۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب با استفاده از ترکیبات زئولیت در سطوح اختلاط (۱، ۲/۵ و ۵ درصد بر مبنای وزن خشک الیاف) و سه جایگاه اختلاط (اختلاط با الیاف، اختلاط با رزین و اختلاط با الیاف چسب‌زنی شده) تولید شد. سپس، آزمون‌های فیزیکی (جذب آب و واکشیدگی ضخامت) و آزمون‌های مکانیکی (چسبندگی داخلی و مقاومت خمشی) بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. بر اساس نتایج، به‌طورکلی، استفاده از ترکیبات زئولیت در تمامی سطوح و جایگاه‌های اختلاط به استثنای اختلاط با رزین سبب بهبود ثبات ابعادی (کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت) و تقویت خواص مکانیکی گردید. در این میان، خواص فیزیکی و مکانیکی بهینه در اثر استفاده از ترکیبات زئولیت در سطوح ۲/۵ و ۵ درصد در اختلاط با الیاف چسب‌زنی شده حاصل شد.

واژگان کلیدی: پاشش ثبات ابعادی، پُرکننده، فرآورده مرکب چوبی، مقاومت خمشی.

مقدمه

تخته فیبر دانسیته متوسط یکی از رایج‌ترین فرآورده‌های مرکب چوبی است که از طریق اتصال الیاف چوبی با کمک رزین تحت فشار و حرارت پرس تولید می‌شود [۱]. این محصول، دارای سطح نرم و قابلیت ماشین‌کاری آسان به عنوان پانلی ایده‌آل به عنوان پوشش نازک در مصارف داخلی مورد استفاده قرار گرفته است [۲]. در دهه‌های اخیر، تخته فیبر دانسیته متوسط به عنوان یکی از مواد مصرفی، نقش مهمی در بخش ساختمان به ویژه در طراحی داخلی داشته است [۳]. از این رو، تولید جهانی تخته فیبر دانسیته متوسط در سال‌های اخیر رشد سریعی داشته و میزان تولید آن در سال ۲۰۱۹ میلادی، به ۱۰۰ میلیون مترمکعب می‌رسد [۴]. با هدف بهبود ویژگی‌های تخته فیبر دانسیته متوسط، از روش‌ها و مواد مختلف قبل یا در حین فرآیند ساخت، جهت تقویت خواص فیزیکی، مکانیکی و سایر ویژگی‌ها استفاده می‌شود [۵-۶]. به‌عنوان‌مثال، نسبت مشخصی از پرکننده[1] به الیاف اضافه می‌شوند [۷]. در ادامه به تحقیقات انجام شده با موضوع بررسی تأثیر افزودن مواد معدنی به عنوان پرکننده بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر دانسیته متوسط پرداخته خواهد شد. نتایج تولید تخته فیبر دانسیته متوسط با استفاده از کربنات کلسیم به میزان ۲۰،۱۰ و

[1] Filler

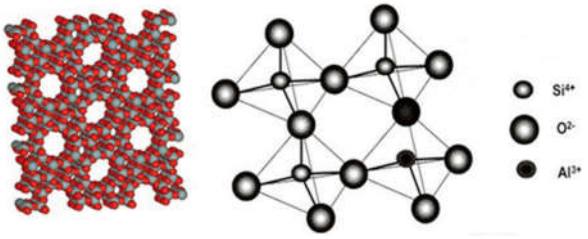
۳۰ درصد بر مبنای وزن خشک الیاف، حاکی از عدم تأثیر افزودن پرکننده بود. کاهش مقاومت‌ها، به دلیل کاهش نقاط انتقال تنش الیاف-الیاف[1] به واسطه میزان بالای استفاده از پرکننده بود [۸]. بررسی استفاده از ولاستونیت در مقیاس میکرومتری، با نسبت رزین اوره فرمالدئید: ولاستونیت ۹ به ۱ جهت تولید تخته فیبر دانسیته متوسط نشان داد با افزایش میزان نانو ولاستونیت تمامی خواص مکانیکی شامل مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی و چسبندگی داخلی کاهش یافت [۹]. استفاده از بوراکس پنتاهیدرات[2]معدنی در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط در سه سطح ۳، ۶ و ۹ درصد به صورت اختلاط با الیاف، حاکی از افزایش خواص مکانیکی و بهبود خواص فیزیکی هم‌زمان با افزایش سطح استفاده از بوراکس پنتاهیدرات بود [۱۰]. در مطالعه‌ای، تأثیر کلسیت با ماده جامد ۱/۵ و ۳ درصد بر ویژگی‌های تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته شده از الیاف چوب بلوط (۷۵ درصد) و چوب کاج (۲۵ درصد) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی و مقاومت به پیچ خوری تخته-های ساخته شده بود [۱۱]. اثر مواد معدنی (پرلیت، دولومیت و سپیولیت) و سطوح مصرف (۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ درصد بر مبنای وزن خشک الیاف) در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط مورد بررسی قرار گرفت. افزایش میزان ماده معدنی، اثر منفی بر خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی ضخامت و خواص مکانیکی شامل مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی داشت [۷].

زئولیت به عنوان ماده‌ای ارزان قیمت و فراوان به واسطه شباهت ساختار و عملکرد به کانی‌های رُسی قابلیت استفاده به عنوان پرکننده در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط را دارا می‌باشد [۱۲]. زئولیت در سال ۱۷۵۶ میلادی، توسط معدن‌شناس سوئیسی الکس فردریک کرونستد[3]شناسایی شد [۱۳]. زئولیت‌ها آلومینوسیلیکاته-های با ساختار سه بعدی باز، متشکل از SiO_4 و AlO_4 چهاروجهی که از طریق اتم‌های اکسیژن تشکیل حفرات درون کریستاله منظم می‌دهند [۱۴]. زئولیت‌ها، رایج‌ترین ترکیبات معدنی در میان سنگ‌ها هستند. ساختار زئولیت-ها از ساختارهای چهاروجهی TO_4 ساخته شده است که در آن T نشان دهنده اتم سیلیس و آلومینیوم است [۱۵]. سطح داخلی زئولیت به شدت قابل‌دسترس است و می‌تواند بیش از ۹۸ درصد کل سطح را تشکیل دهد. مساحت سطحی معمولاً بین۳۰۰ الی ۷۰۰ گرم بر متر مربع است [۱۶]. تابه‌حال، ۲۳۵ نوع ساختار زئولیت (طبیعی یا سنتز شده) شناسایی شده است. به هر یک از این ساختارها یک کُد سه حرفی توسط اتحادیه بین‌المللی زئولیت اختصاص داده شده است (کد FAU،BEA ، MOR، HEU، MFI، CHA و LTA).

بررسی اثر استفاده از زئولیت به میزان ۴، ۸ و ۱۲ درصد بر مبنای وزن خشک رزین در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط با الیاف راش و کاج و رزین اوره و ملامین فرمالدئید انجام و نتایج حاکی از افزایش ثبات ابعاد، بهبود خواص مکانیکی (مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی و چسبندگی داخلی)، بهبود شاخص اکسیژن محدود شده در اثر افزایش میزان استفاده از زئولیت بود [۱۲]. نتایج بررسی فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته شده از الیاف چوب راش (۴۰ درصد)، بلوط (۳۰ درصد) و کاج (۳۰ درصد)، زئولیت با اندازه ذرات ۲۷۵ میکرومتر در سه سطح ۳، ۶ و ۹ درصد حاکی از افزایش قابل توجه مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی و اثر منفی زئولیت بر چسبندگی داخلی، واکشیدگی ضخامت و جذب آب بود [۱۷]. به دلیل وجود منابع عظیم زئولیت در ایران، تحقیقات علمی در این زمینه حائز اهمیت است، چراکه منجر به استفاده از منابع طبیعی کشور شده و کاهش وابستگی به کشورهای خارجی به عنوان تأمین کنندگان انواع نهاده‌های گران قیمت را در پی دارد. استفاده از زئولیت‌ها در صنایع کشاورزی و محیط‌زیست مترادف است با حداکثر استفاده از مواد خام و ارزان قیمت محلی و حداقل کاربرد محصولات وارداتی که باید با صرف هزینه‌های گزاف خریداری شوند [۱۸]. لذا در این بررسی، امکان استفاده از ترکیبات زئولیت جهت جایگزینی با ماده چوبی و بررسی اثر جایگاه اختلاط و مقدار مصرف ترکیبات حاوی زئولیت بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

[1] fiber-to-fiber stress transfer point
[2] borax pentahydrate
[3] Axel Fredrick Cronsted

تخته فیبر دانسیته متوسط مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.



شکل ۱-ساختار زئولیت [۱۵]

مواد و روش‌ها

مواد

الیاف مخلوط پهن‌برگ به میزان ۱۲۰ کیلوگرم (بر مبنای وزن مرطوب) از کارخانه پارس نئوپان نشتارود تهیه شد (شکل ۲). الیاف تهیه شده به مدت ۳ روز در محیط کارگاه صنایع چوب دانشگاه تهران هوا خشک گردید. طی این مدت جابجایی الیاف به روش دستی به منظور ایجاد شرایط بهینه جریان هوا انجام شد. پس از جمع‌آوری الیاف در کیسه‌های پلاستیکی در بسته، اندازه‌گیری رطوبت نهایی الیاف، با نمونه‌برداری تصادفی و اندازه‌گیری وزن خشک شده در خشک‌کن آزمایشگاهی به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۲±۱۰۳ درجه سانتی‌گراد انجام شد. بر این اساس، رطوبت نهایی الیاف ۹ درصد به دست آمد. آنالیز عنصری الیاف در مرکز متالورژی رازی انجام شد و بر این اساس، میانگین میزان کربن و اکسیژنِ الیاف به ترتیب به میزان ۴۵/۸۷ و ۵۴/۱۳ درصد بود.

شکل ۲- الیاف مخلوط پهن برگان

رزین اوره فرمالدئید به میزان ۱۵ کیلوگرم از کارخانه پارس نئوپان نشتارود تهیه شد. لازم به ذکر است رزین مصرفی کارخانه پارس نئوپان از رزین سازان آمل می‌باشد. به منظور حفظ شرایط بهینه نگهداری، رزین در مدت ساخت در آزمایشگاه تحت شرایط دمایی معتدل نگهداری شد. میزان ماده جامد چسب ۶۵ درصد بود. ترکیبات زئولیت از شرکت صنعتی شیمیایی پاک بلور نارین تهیه شد (شکل ۳-الف). برای آماده‌سازی، ابتدا به وسیله دستگاه آسیاب با مش ۰/۵ آسیاب شد. سپس، محتوای آسیاب‌شده از الک با مش ۴۰، ۶۰ و ۸۰ عبور داده شدند و محتوای زیر الک ۸۰ جمع‌آوری و درون زیپ کیپ در بسته نگهداری شدند (شکل ۳-ب). آنالیز توزیع اندازه ذرات مطابق استاندارد ASTM C1070-01 به وسیله دستگاه Fritsch Analystte22در پژوهشگاه مواد و انرژی انجام شد. بر این اساس اندازه ذرات کوچکتر از ۱۵۸ میکرومتر بود. آنالیز عنصری ترکیبات زئولیت در جدول ۱ قابل‌ملاحظه است. کلرید آمونیوم (NH_4Cl) شرکت نوترون با درصد خلوص ۹۹/۵ درصد با جرم مولکولی ۵۳/۴۹ گرم بر مول و دانسیته ۱/۵۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب تهیه و به میزان ۱ درصد وزن خشک رزین مورد استفاده قرار گرفت.

الف ب

شکل ۳- ترکیبات زئولیت (الف) پیش از آماده‌سازی، (ب) پس از آماده‌سازی

جدول ۱- آنالیز عنصری ترکیبات زئولیت

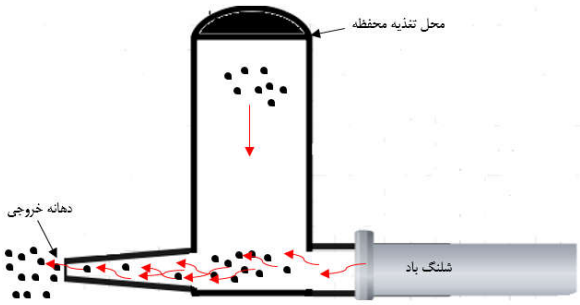
عنصر	درصد
اکسیژن	۴۴/۷۱
کربن	۳۸/۶
سیلیس	۱۲/۹۱
آلومینیوم	۳/۶۴
گوگرد	۰/۱۵

روش‌ها

ساخت نمونه‌های تخته فیبر دانسیته متوسط بر اساس جدول ۲ با دانسیته هدف ۰/۷۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب به ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر مربع با ضخامت ۱۶ میلی‌متر با استفاده از ۱۲ درصد رزین اوره فرمالدئید (بر اساس وزن خشک الیاف) انجام شد. برای کنترل ضخامت تخته‌های ساخته شده، قالب فلزی با ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر مربع تهیه و کیک در داخل آن تشکیل و آماده‌سازی شد. فرآیند پرس تحت فشار مؤثر ۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ دقیقه انجام شد. در تیمارهای اختلاط زئولیت با الیاف و اختلاط زئولیت با الیاف چسب‌زنی شده، فرآیند پاشش به صورت پنوماتیکی از درون محفظه محتوی زئولیت طی ۵ مرحله رهاسازی انجام شد (شکل ۴). در تیمار اختلاط ترکیبات زئولیت با رزین، فرآیند اختلاط زئولیت با رزین، از طریق سرمته همزن به مدت ۱ دقیقه انجام شد (شکل ۵).

جدول ۲- جدول تیمارهای مطالعه

زئولیت (درصد)	جایگاه اختلاط
۱	اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف
۲/۵	
۵	
۱	اختلاط ترکیبات زئولیت با رزین اوره فرمالدئید
۲/۵	
۵	
۱	اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف چسب‌زنی شده
۲/۵	
۵	



شکل ۴-شماتیک دستگاه پاشش ترکیبات زئولیت

شکل ۵- اختلاط رزین و ترکیبات زئولیت

پس از برش و آماده‌سازی، نمونه‌های آزمونی به مدت دو هفته در اتاق کلیما جهت تعدیل رطوبتی و آماده شدن برای انجام آزمون، قرار گرفتند. به دلیل اهمیت ثبات ابعادی و خواص مکانیکی در کاربردهای تعریف‌شده برای تخته فیبر دانسیته متوسط آزمون‌های ذیل بر روی نمونه-های آزمونی تهیه شده از تخته‌های تولید شده انجام شد.

آزمون‌های فیزیکی

بررسی واکشیدگی ضخامت و جذب آب ۲۴ ساعت با ۳ تکرار از هر تخته و مجموعاً ۹ تکرار برای هر تیمار بر روی نمونه‌های با ابعاد ۵۰×۵۰ میلی‌مترمکعب مطابق استاندارد EN 317 انجام شد. میانگین مقادیر با مقدار استاندارد EN 622-5 برای تخته فیبر دانسیته متوسط با ضخامت ۱۶ میلی‌متر در شرایط مصرف خشک مقایسه گردید.

آزمون‌های مکانیکی

چسبندگی داخلی

بررسی چسبندگی داخلی نمونه‌ها مطابق با استاندارد EN 319 با ۳ تکرار از هر تخته و مجموعاً ۹ تکرار برای هر تیمار بر روی نمونه‌های با ابعاد ۵۰×۵۰ میلی‌متر انجام با استفاده از دستگاه WOLPERT در آزمایشگاه مکانیک چوب دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. میانگین مقادیر با مقدار استاندارد EN 622-5 برای تخته فیبر دانسیته متوسط با ضخامت ۱۶ میلی‌متر در شرایط مصرف خشک مقایسه گردید.

مقاومت خمشی

اندازه‌گیری مقاومت خمشی با ابعاد ۱۶×۵۰×۳۳۰ (ضخامت×عرض×طول) میلی‌متر مطابق با استاندارد EN 310 و مقایسه با مقادیر استاندارد EN 625-5 انجام شد. آزمون با استفاده از دستگاه INSTRON 1186 در آزمایشگاه فرآورده‌های مرکب چوبی بخش علوم چوب و فرآورده‌های موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انجام شد. مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی به ترتیب مطابق رابطه ۱ و ۲ مورد محاسبه قرار گرفت. میانگین مقادیر با مقدار استاندارد EN 622-5 برای تخته فیبر

دانسیته متوسط با ضخامت ۱۶ میلی‌متر در شرایط مصرف خشک مقایسه گردید.

$$MOE=\frac{P_{pl}\times l^3}{4bt^3\Delta l} \quad (۱)$$

P_{pl}: نیروی حد تناسب (نیوتن)

l: طول دهانه (میلی‌متر)

b: عرض نمونه (میلی‌متر)

t: ضخامت نمونه (میلی‌متر)

Δl: تغییر طول (میلی‌متر)

MOE: مدول الاستیسیته (نیوتن بر میلی‌متر مربع)

$$MOR=\frac{3P_u l}{2bt^2} \quad (۲)$$

P_u: نیروی حداکثر (نیوتن)

l: طول دهانه (میلی‌متر)

b: عرض نمونه (میلی‌متر)

t: ضخامت نمونه (میلی‌متر)

MOR: مدول گسیختگی (نیوتن بر میلی‌متر مربع)

آنالیز داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل نتایج در قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمون فاکتوریل چند عامله با استفاده از تجزیه واریانس توسط نرم افزار SPSS ۲۶ انجام و میانگین داده‌ها توسط آزمون تجزیه واریانس یک طرفه مقایسه و گروه‌بندی شدند.

نتایج و بحث

واکشیدگی ضخامت و جذب آب

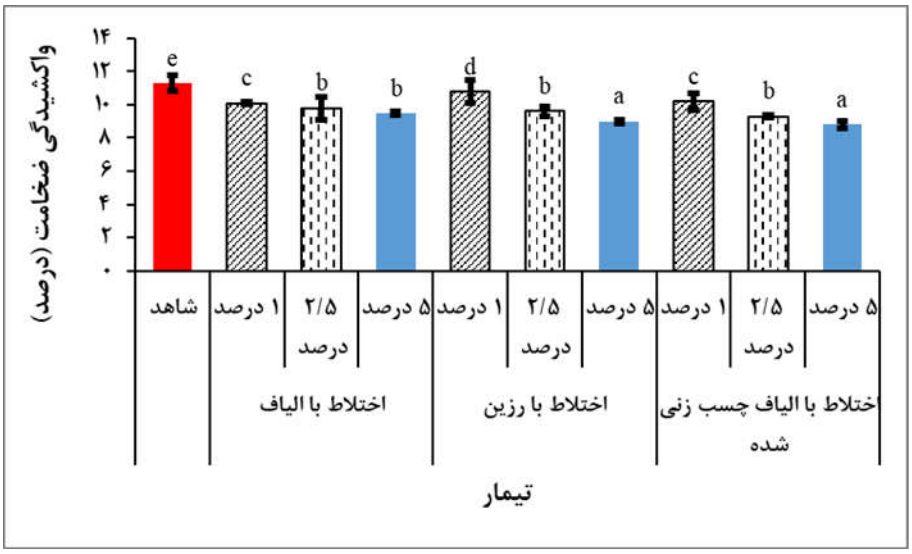
نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری آزمون‌های فیزیکی حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین مقادیر جذب آب و واکشیدگی ضخامت در تیمارهای مختلف بود (جدول ۳). شکل ۶، نتایج آزمون واکشیدگی ضخامت را نشان می‌دهد. در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف، با افزایش میزان ترکیبات زئولیت، میزان واکشیدگی ضخامت (نسبت به نمونه شاهد) کاهش یافت. در این میان، بیشترین کاهش واکشیدگی ضخامت در سطح اختلاط ۵ درصد به میزان ۱/۸ درصد مشاهده شد. بررسی روند نتایج در جایگاه اختلاط زئولیت با رزین، روند کاهش واکشیدگی ضخامت با افزایش میزان مصرف ترکیبات زئولیت را نشان داد. در این جایگاه اختلاط، میزان مصرف ۵ درصد زئولیت بیشترین اثر کاهش واکشیدگی ضخامت را به میزان ۲/۳ درصد به خود اختصاص داد. همچنین، در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف چسب‌زنی شده، واکشیدگی ضخامت روند کاهشی داشت. با افزایش میزان مصرف ترکیبات زئولیت از ۱ به ۲/۵ درصد و سپس از ۲/۵ درصد به ۵ درصد میزان واکشیدگی ضخامت به ترتیب به میزان ۰/۹ و ۰/۵ درصد کاهش یافت. به‌طورکلی، در بین تمامی تیمارها، بیشترین تأثیر در اختلاط با الیاف چسب‌زنی شده حاوی ترکیبات زئولیت ۵ درصد (به میزان ۲/۵ درصد) مشاهده شد.

شکل ۷، نتایج آزمون جذب آب را نشان می‌دهد. در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف، میزان جذب آب (نسبت به نمونه شاهد) هم‌زمان با افزایش میزان مصرف ترکیبات زئولیت، روند کاهشی نشان داد. بر این اساس، بیشترین کاهش در سطح اختلاط ۵ درصد به میزان ۱۹/۳ درصد مشاهده شد. در جایگاه اختلاط زئولیت با رزین، میزان جذب آب با افزایش میزان مصرف ترکیبات زئولیت از ۱ به ۲/۵ درصد و از ۲/۵ درصد به ۵ درصد به ترتیب به میزان ۵/۳ و ۵ درصد کاهش یافت. در این جایگاه اختلاط، میزان مصرف ۵ درصد زئولیت بیشترین اثر کاهش جذب آب (نسبت به نمونه شاهد) را به میزان ۲۵ درصد نشان داد. همچنین، در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف چسب‌زنی شده، روند کاهشی جذب آب وجود داشت. بیشترین میزان کاهش جذب آب نسبت به نمونه شاهد در تیمار اختلاط با الیاف چسب‌زنی شده به میزان ۵ درصد مشاهده گردید. در مطالعه اثر ماده معدنی بوراکس پنتاهیدرات در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط افزایش مصرف ماده از ۳ به ۶ درصد و سپس به ۹ درصد سبب بهبود ثبات ابعادی نمونه‌ها گردید [۱۰]. همچنین، استفاده از کلسیت در سطوح ۱/۵ و ۳ درصد در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط سبب کاهش واکشیدگی ضخامت و جذب آب نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد گردید [۱۱]. استفاده از زئولیت در سطوح ۴، ۸ و ۱۲ درصد در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط نشان داد با افزایش

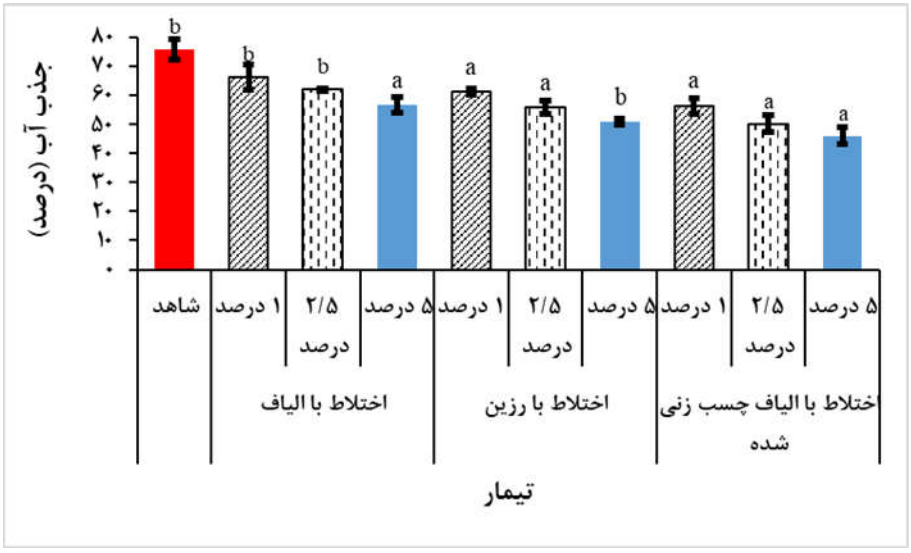
استفاده از زئولیت، ثبات ابعادی نمونه‌ها افزایش یافت [۱۲]. برهمکنش ساختار ممانعتی ایجاد شده توسط میکرو حفرات ترکیبات زئولیت، خاصیت آب‌دوستی این مواد و تشکیل پیوندهای شیمیایی در محیط سنتز ترکیبات زئولیت با رزین سبب کاهش دسترسی مولکول‌های آب به الیاف چوبی می‌شوند [۲۰-۱۹، ۱۲].

جدول ۳- تجزیه واریانس آزمون‌های فیزیکی

آزمون	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
واکشیدگی ضخامت	تیمار	۱۶/۳۶۱	۸	۲/۰۴۵	۱۰/۸۴۴	۰/۰۰۰**
	خطا	۳/۹۶	۲۲	۰/۱۸۹		
	کل	۲۹۲۸/۶۷۷	۳۰			
جذب آب	تیمار	۲۰۲۸/۶۶۴	۸	۲۵۳/۸۳	۲۹/۵۲۵	۰/۰۰۰**
	خطا	۱۸۰/۳۶۲	۲۲	۸/۵۸۹		
	کل	۱۰۳۹۱۸/۸۵۶	۳۰			



شکل ۶- واکشیدگی ضخامت MDF در حالت‌ها و نسبت‌های مختلف اختلاط زئولیت



شکل ۷- جذب آب MDF در حالت‌ها و نسبت‌های مختلف اختلاط زئولیت

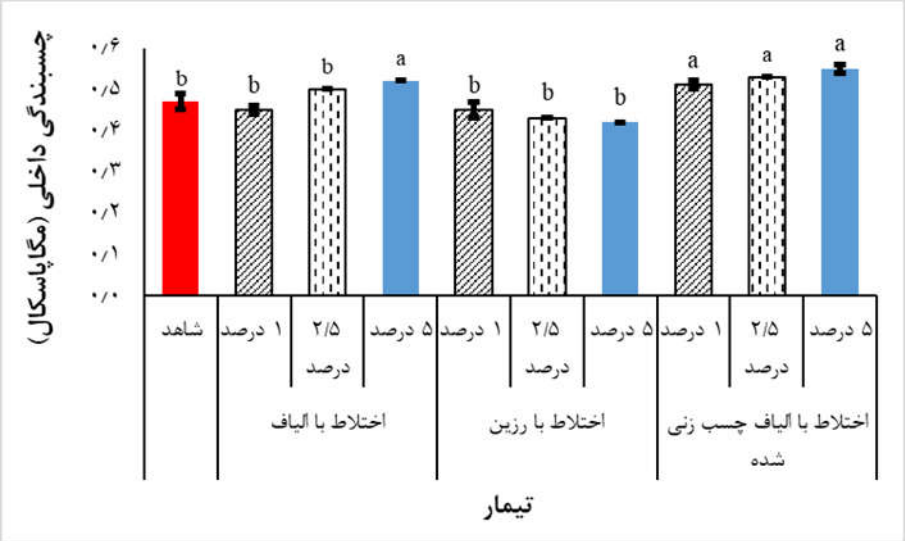
چسبندگی داخلی

بر اساس جدول ۴، نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین مقادیر چسبندگی داخلی در تیمارهای مختلف بود. در شکل ۸ نتایج آزمون چسبندگی داخلی ارائه‌شده است. در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف، افزایش میزان ترکیبات زئولیت و میزان چسبندگی داخلی، رابطه مستقیم داشتند. در این میان، بیشترین افزایش چسبندگی داخلی در سطح اختلاط ۵ درصد به میزان ۰/۰۵ مگاپاسکال مشاهده شد. با افزایش میزان مصرف ترکیبات زئولیت در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با رزین، روند کاهشی چسبندگی داخلی مشاهده گردید. در این جایگاه میان، بیشترین کاهش چسبندگی داخلی در میزان مصرف ۵ درصد ترکیبات زئولیت به میزان ۰/۰۵ مگاپاسکال رخ داد. همچنین، در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف چسب‌زنی شده، میزان چسبندگی داخلی با افزایش میزان مصرف ترکیبات زئولیت افزایش یافت. میزان افزایش چسبندگی داخلی در اثر افزایش میزان استفاده از ترکیبات زئولیت از ۱ به ۲/۵ درصد و سپس از ۲/۵ درصد به ۵ درصد به ترتیب به میزان ۰/۰۲ و ۰/۰۳ مگاپاسکال بود. به‌طورکلی، بیشترین میزان چسبندگی داخلی در اختلاط با الیاف چسب‌زنی شده به میزان ۵ درصد مشاهده گردید.

بررسی استفاده از بوراکس پنتاهیدرات در سه سطح ۳، ۶ و ۹ درصد در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط نشان داد افزایش مصرف این ماده سبب کاهش بهبود چسبندگی داخلی نمونه‌ها گردید [۱۰]. استفاده از کلسیت در دو سطح ۱/۵ و ۳ درصد در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط سبب افزایش چسبندگی داخلی گردید [۱۱]. استفاده از زئولیت در سطوح ۴، ۸ و ۱۲ درصد در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط نشان داد با افزایش استفاده از زئولیت، چسبندگی داخلی نمونه‌ها نیز افزایش یافت [۱۲]. در بررسی انجام شده در زمینه استفاده از زئولیت در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط مشخص شد با افزایش مصرف زئولیت از ۳ به ۶ درصد و سپس به ۹ درصد، چسبندگی داخلی نمونه‌ها کاهش یافت [۱۷]. یکی از دلایل افزایش چسبندگی داخلی، افزایش مساحت سطح اتصال و بهبود کیفیت اتصال الیاف به واسطه وجود میکروحفرات در ساختار ترکیبات زئولیت می‌باشد که سبب افزایش کارایی رزین در ایجاد چسبندگی بین الیاف چوبی می‌شوند [۲۲، ۲۱]. کاهش چسبندگی داخلی در تیمار اختلاط با رزین را می‌توان به واسطه تأثیر ترکیبات زئولیت بر افزایش اسیدیته رزین دانست. این امر سبب افزایش زمان ژله‌ای شدن رزین می‌شود که تأثیر مستقیم بر چسبندگی داخلی دارد [۹، ۲۳].

جدول ۴- تجزیه واریانس آزمون چسبندگی داخلی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
تیمار	۰/۰۵۵	۸	۰/۰۰۷		
خطا	۰/۰۰۳	۲۲	۰/۰۰۰	۵۰/۰۲	۰/۰۰۰**
کل	۷/۱۰۴	۳۰			



شکل ۸- چسبندگی داخلی MDF در حالت‌ها و نسبت‌های مختلف اختلاط زئولیت

مقاومت خمشی

نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری آزمون‌های مکانیکی حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مقاومت خمشی در تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد بود (جدول ۵). شکل ۹، مقادیر مدول الاستیسیته نمونه‌های آزمونی در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. مدول الاستیسیته نمونه‌های آزمونی در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف، با افزایش میزان ترکیبات زئولیت افزایش یافت. در این میان، بیشترین افزایش مدول الاستیسیته در سطح اختلاط ۵ درصد به میزان ۲۲۰ مگاپاسکال مشاهده شد. میزان مدول الاستیسیته در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با رزین نسبت به نمونه شاهد کمتر بود. در این جایگاه اختلاط با افزایش میزان مصرف ترکیبات زئولیت، روند افزایشی مدول الاستیسیته مشاهده گردید. همچنین، در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف چسب‌زنی شده، میزان مدول الاستیسیته با افزایش میزان مصرف ترکیبات زئولیت افزایش یافت. میزان افزایش مدول الاستیسیته با افزایش میزان ترکیبات زئولیت از ۱ به ۲/۵ درصد و سپس از ۲/۵ درصد به ۵ درصد به ترتیب به میزان ۱۶۸ و ۱۵۶ مگاپاسکال بود. به‌طورکلی، بیشترین افزایش در میزان مدول الاستیسیته نسبت به نمونه شاهد در تیمار اختلاط با الیاف چسب زنی شده به میزان ۵ درصد مشاهده گردید.

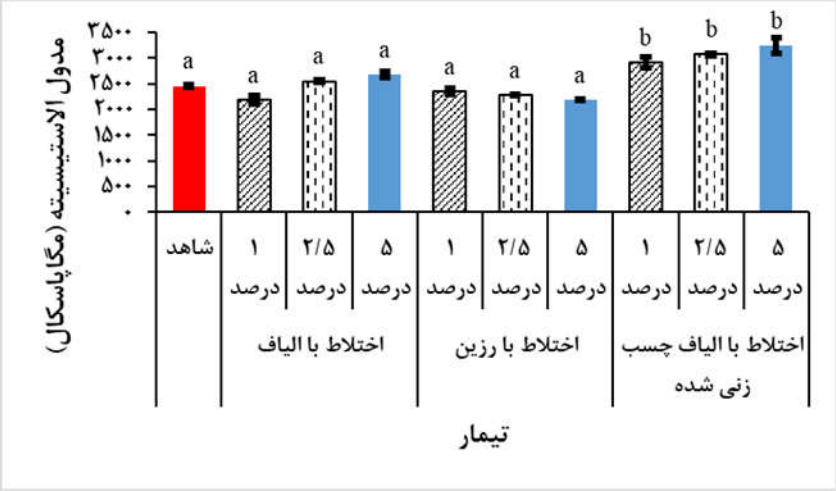
شکل ۱۰، مدول گسیختگی نمونه‌های آزمونی را نشان می‌دهد. در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف، با افزایش میزان ترکیبات زئولیت مدول گسیختگی افزایش یافت. در این میان، بیشترین افزایش مدول گسیختگی در سطح اختلاط ۵ درصد به میزان ۲/۷ مگاپاسکال مشاهده شد. در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با رزین، میزان مدول گسیختگی نسبت به نمونه شاهد بیشتر بود. بررسی روند نتایج، حاکی از افزایش مدول گسیختگی هم‌زمان با افزایش میزان مصرف ترکیبات زئولیت بود. در جایگاه اختلاط ترکیبات زئولیت با الیاف چسب‌زنی شده، میزان مدول گسیختگی با افزایش میزان مصرف ترکیبات زئولیت افزایش یافت. میزان افزایش مدول گسیختگی با افزایش میزان ترکیبات زئولیت از ۱ به ۲/۵ درصد و سپس از ۲/۵ درصد به ۵ درصد به ترتیب به میزان ۰/۹ و ۲/۵ مگاپاسکال بود. کمترین و بیشترین افزایش میزان مدول گسیختگی نسبت به نمونه شاهد به ترتیب در تیمار اختلاط با الیاف به میزان ۱ درصد و اختلاط با الیاف چسب زنی شده به میزان ۲/۵ درصد بود. بهبود مقاومت خمشی نمونه‌های تخته فیبر دانسیته متوسط تولید شده با افزایش میزان مصرف ماده معدنی بوراکس پنتاهیدرات گزارش شد [۱۰]. در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از کلسیت در سطوح ۱/۵ و ۳ درصد در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط سبب افزایش مقاومت خمشی نمونه‌ها نسبت به

نمونه شاهد گردید [۱۱]. با افزایش استفاده از زئولیت از ۴ به ۸ درصد و سپس به ۱۲ درصد در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط، مقاومت خمشی نمونه‌ها افزایش یافت [۱۲]. استفاده از زئولیت در سه سطح ۳، ۶ و ۹ درصد در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط سبب بهبود مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی نمونه‌ها گردید [۱۷].

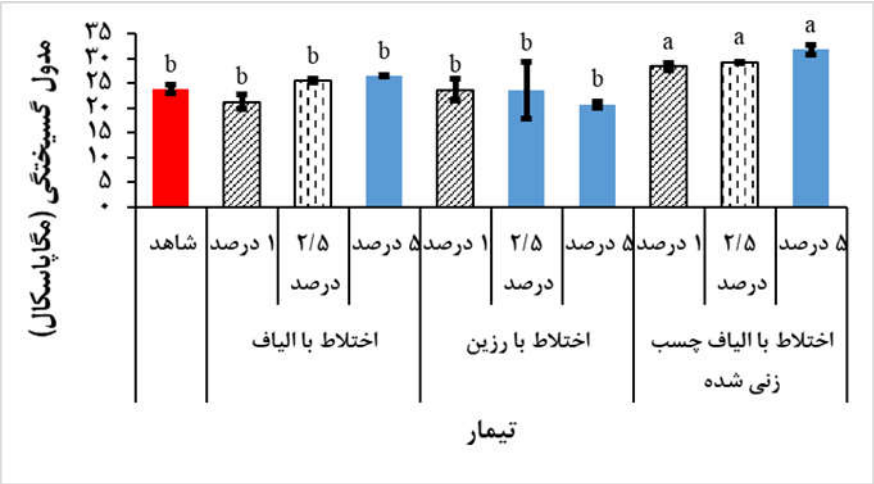
یکی از دلایل بهبود مقاومت خمشی در اثر استفاده از ترکیبات زئولیت، ماهیت آب‌دوستی این ماده می‌باشد. در اثر اعمال این ترکیبات جذب آب الیاف چوبی کاهش یافته و به همان نسبت جذب آب به واسطه ترکیبات زئولیت انجام می‌شود. در نتیجه، احتمال شکست الیاف در اثر رطوبت کاهش یافته و خواص مکانیکی بهبود می‌یابد [۲۰]. افزایش جزء سیلیسی سبب بهبود درهم رفتگی الیاف و بهبود خواص مکانیکی می‌شود [۲۴]. به دلیل دانسیته حجمی بالاتر ماده پرکننده در مقایسه با الیاف چوبی، با افزایش نسبت پرکننده، سفتی افزایش می‌یابد [۲۵،۲۶]. از دیگر دلایل بهبود مقاومت خمشی، کاهش تخلخل در ماتریس تخته در اثر استفاده از ترکیبات معدنی می‌باشد [۲۷].

جدول ۵- تجزیه واریانس مدول الاستیسیته

آزمون	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
مدول الاستیسیته	تیمار	۳۷۱۵۵۴۱/۶۹۱	۸	۴۶۴۴۲/۷۱	۸۹/۹۹۸	۰/۰۰۰**
	خطا	۱۰۸۳۷۲/۴۸	۲۲	۵۱۶۰/۵۹۴		
	کل	۲/۰۵۱×۱۰^۸	۳۰			
مدول گسیختگی	تیمار	۳۱۸/۳۹۷	۸	۳۹/۸	۸/۵۳۴	۰/۰۰۰**
	خطا	۹۷/۹۳۷	۲۲	۴/۶۶۴		
	کل	۲۰۲۲۳/۰۰۵	۳۰			



شکل ۹- مدول الاستیسیته MDF در حالت‌ها و نسبت‌های مختلف اختلاط زئولیت



شکل ۱۰- مدول گسیختگی MDF در حالت‌ها و نسبت‌های مختلف اختلاط زئولیت

نتیجه گیری

نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی گواهی بر بهبود نسبی ثبات ابعادی و افزایش نسبی خواص مکانیکی تخته فیبر دانسیته متوسط در اثر اعمال ترکیبات زئولیت در سطوح و فرآیندهای مختلف تولید می‌باشد. روند کاهش یا افزایش در خواص تخته‌های ساخته شده با درصدهای مختلف ترکیبات زئولیت متغیر بود. در این میان بر اساس نتایج، امکان استفاده از استفاده از سطوح ۲/۵ و ۵ درصد ترکیبات زئولیت در اختلاط با الیاف چسب‌زنی شده را به عنوان تیمارهای بهینه در تقویت خواص فیزیکی و مکانیکی انتخاب کرد. لذا، بر اساس نتایج حاصل و با در نظر گرفتن میزان و جایگاه اختلاط، می‌توان از ترکیبات زئولیت به عنوان ماده‌ای با منابع قابل دسترس و مقرون به صرفه جهت جایگزینی الیاف چوبی در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط استفاده نمود.

منابع

[1] Wang, J., Wang, F., Gao, Z., Zheng, M. and Sun, J., 2016. Flame retardant medium-density fiberboard with expanded vermiculite. BioResources, 11(3), pp.6940-6947.

[2] Ustaomer, D., Usta, M. and Hiziroglu, S., 2008. Effect of boron treatment on surface characteristics of medium density fiberboard (MDF). Journal of Materials Processing Technology, 199(1-3), pp.440-444.

[3] Pugazhenthi, N. and Anand, P., 2020. A Review on Mechanical Properties of Medium Density Fiberboard Prepared from Different Fiber Materials. Proceedings of ICDMC 2019, pp.321-333.

[4] Global forest products facts 2018. Food and organization.

[5] Zahed, R. and Gholamian, H., 2011. The Potential Use of Nanozycosil and Sodium Montmorillonite (NaMMT) Nanoclay to Decrease Water Absorption in MDF. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, *1*(2), pp.69-81.

[6] Fallah, P., Mohebbi, B. and Ilbeygi, F., 2011. Water Absorption and Thickness Swelling behavior of Medium Density Fiberboard Manufactured by Hydrothermally Treated Fibers. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, *1*(1), pp.1-11.

[7] Özdemir, F., 2019. Effect of mineral materials content as filler in medium density fiberboard. BioResources, 14(1), pp.2277-2286.

[8] Ozyhar, T., Depnering, T., Ridgway, C., Welker, M., Schoelkopf, J., Mayer, I. and Thoemen, H., 2020. Utilization of inorganic mineral filler material as partial replacement for wood fiber in medium density

fiberboard (MDF) and its effect on material properties. European journal of wood and wood products, 78(1), pp.75-84.

[9] Taghiyari, H.R., Esmailpour, A., Majidi, R., Morrell, J.J., Mallaki, M., Militz, H. and Papadopoulos, A.N., 2020. Potential use of wollastonite as a filler in UF resin based medium-density fiberboard (MDF). Polymers, 12(7), p.1435.

[10] Çamlıbel, O. and Akgül, M., 2021. The use of borax pentahydrate of ınorganıc fıller ın medıum densıty fıberboard productıon. Maderas-Cienc Tecnol, 23, pp.1-18.

[11] Camlibel, O., 2021. Effect of Calcite Addition on Technical Properties and Reduction of Formaldehyde Emissions of Medium Density Fiberboard. BioResources, 16 (2).

[12] Çavdar, A.D., 2020. Effect of zeolite as filler in medium density fiberboards bonded with urea formaldehyde and melamine formaldehyde resins. Journal of Building Engineering, 27, p.101000.

[13] Cubillos Lobo, J.A., 2005. Heterogeneous asymmetric epoxidation of cis-ethyl cinnamte over Jacobsen's catalyst immobilized in inorganic porous materials (Doctoral dissertation, Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2005).

[14] Golomeova, M. and Zendelska, A., 2016. Application of some natural porous raw materials for removal of lead and zinc from aqueous solutions. Microporous and mesoporous materials, 24.

[15] Li, Y., Li, L. and Yu, J., 2017. Applications of zeolites in sustainable chemistry. Chem, 3(6), pp.928-949.

[16] Payra, P. and Dutta, P.K., 2003. Zeolites: a primer. In Handbook of zeolite science and technology (pp. 1-24). CRC press.

[17] Camlibel, O., 2020. Mechanical and formaldehyde-related properties of medium density fiberboard with zeolite additive. BioResources, 15(4), p.7918.

[18] Mahrokh, A., Ghotbi, V., Azizi, F., Moghadam, A. and Gholamhoseeini, M., 2019. Application of Natural Zeolites as a Strategy to Optimize Input Consumption for Sustainable Agriculture. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 8(1), pp.77-89.

[19] Lu, L., Wang, Y., Li, T., Wang, S., Yang, S., Qing, Y., Li, X., Wu, Y. and Liu, M., 2021. Calcium carbonate modified urea–formaldehyde resin adhesive for strength enhanced medium density fiberboard production. RSC advances, 11(40), pp.25010-25017.

[20] Moghadam, S.I., Shamsian, M., Kashkouli, A.B. and Kord, B., 2015. Evaluation of effect of Nano SiO2 on the physical, mechanical and morphological properties of hybrid nano composite from polypropylene-wood flour. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 30(2), pp.266-277.

[21] Lim, H.M., Jung, J.S., Kim, B.Y. and Lee, S.H., 2006. Application of zeolites on cellulose fiber. In Key Engineering Materials (Vol. 317, pp. 777-780). Trans Tech Publications Ltd.

[22] Bilgin, O., 2017. Technologic Tests of Turkey-Gordes Zeolite Minerals. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 5(5), pp.252-265.

[23] Ozyhar, T., Depnering, T., Ridgway, C., Welker, M., Schoelkopf, J., Mayer, I. and Thoemen, H., 2020. Utilization of inorganic mineral filler material as partial replacement for wood fiber in medium density fiberboard (MDF) and its effect on material properties. European journal of wood and wood products, 78, pp.75-84.

[24] Çavdar, A.D., 2020. Effect of zeolite as filler in medium density fiberboards bonded with urea formaldehyde and melamine formaldehyde resins. Journal of Building Engineering, 27, p.101000.

[25] Cavdar, A.D., Torun, S.B., Ertas, M. and Mengeloglu, F., 2019. Ammonium zeolite and ammonium phosphate applied as fire retardants for microcrystalline cellulose filled thermoplastic composites. Fire Safety Journal, 107, pp.202-209.

[26] Ng, C.W., Yip, M.W. and Lai, Y.C., 2018. The Study on the Effects of Sodium Silicate on Particleboard Made from Sugarcane Bagasse. In Materials Science Forum (Vol. 911, pp. 66-70). Trans Tech Publications Ltd.

[27] Bezerra, E.M., Joaquim, A.P., Savastano Jr, H., John, V.M. and Agopyan, V., 2006. The effect of different mineral additions and synthetic fiber contents on properties of cement based composites. Cement and Concrete Composites, 28(6), pp.555-563.

Effect of Mixing Zeolite Compounds procedure on the Manufacturing Process of Medium Density Fiberboard on Physical and Mechanical Properties

Abstract

In this research, the effect of zeolite compounds levels and positions on physical and mechanical properties of medium density fiberboard was investigated. For this purpose, medium density fiberboard samples with dimensions of 400 ×400 × 16 mm, and density of 0.75 g/cm^3 were produced in different mixing levels (1, 2.5 and 5 % based on the dry weight of fibers) and three mixing positions (mixed with fibers, resin, and glued fibers). Then, Physical tests (water absorption and thickness swelling) and mechanical tests (internal bonding and bending strength) were performed on the samples. Based on the results, in general the use of zeolite compounds in all levels and mixing positions except for mixing with resin, improved dimensional stability (water absorption and thickness swelling) and strengthened mechanical properties. In the meantime, the optimum physical and mechanical properties of the samples were achieved by using zeolite compounds at the levels of 2.5 and 5 w% in the mix of glued fibers.

Keywords: dimensional stability, filler, wood composite, bending strength.

B. Gholampoor[1]
K. Pourtahmasi[2*]
M. Jonoobi[2]
R. Oladi[3]

[1] Ph.D Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

[2] Professor, Department of Wood and Paper Science and technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

[3] Associate Prof, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
pourtahmasi@ut.ac.ir

Received: 2023/02/26
Accepted: 2023/04/02