امکان استفاده از زئولیت به‌عنوان کند سوزکننده تخته‌خرده‌چوب حاصل از تفاله نیشکر

ثریا رمضانی[۱]
مهدی جنوبی[۲]
سیما سپهوند[۳*]
داود افهامی سیسی[۴]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، کرج، ایران

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

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

[۴] استادیار، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:
seppahvand.s@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳

چکیده

هدف از این پژوهش امکان استفاده از زئولیت به‌عنوان کندسوزکننده تخته‌خرده‌چوب حاصل از تفاله نیشکر (باگاس) می‌باشد. در این تحقیق، خواص مکانیکی، خواص فیزیکی، مقاومت به آتش و آزمون رنگ‌سنجی CIE $L^*a^*b^*$ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از زئولیت منجر به افزایش مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مقاومت به ضربه تخته‌خرده‌چوب‌های حاصله شد. اما میزان چسبندگی داخلی تخته‌خرده‌چوب‌های حاصل کاهش یافت. بعلاوه، استفاده از ماده زئولیت به‌عنوان یک ماده کندسوز کننده باعث افزایش مقاومت به آتش شد. همچنین نتایج خواص فیزیکی نشان داد که زئولیت باعث کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت در ۲ ساعت غوطه‌وری گردید. درحالی‌که میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت طی ۲۴ ساعت غوطه‌وری افزایش یافت. نتایج نشان داد که زئولیت موجب تغییر رنگ با افزایش Δl شده و درنهایت باعث افزایش سفیدی و روشنایی سطح نمونه‌ها می‌گردد زئولیت منجر به کاهش پارامترهای برافروختگی، کاهش جرم در اثر سوختگی و میزان سطح کربونیزه شده شد و زمان آتش‌گیری را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داد. و دوام شعله و کاهش وزن را به‌شدت کاهش می‌دهد. درمجموع با توجه به مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده افزودن زئولیت می‌توان به‌عنوان یک تیمار کندسوز کننده در نظر گرفته شود.

واژگان کلیدی: تخته‌خرده‌چوب، باگاس، زئولیت، خواص مکانیکی، خواص فیزیکی، آزمون کندسوزی.

مقدمه

با افزایش جمعیت میزان مصرف چوب و محصولات چوبی افزایش می‌یابد. با توجه به کمبود چوب در ایران و همچنین طرح صیانت از جنگل‌های شمال که میزان برداشت سالیانه چوب از یک هکتار جنگل نباید بیشتر از یک مترمکعب باشد. کشور با کمبود چوب مواجه خواهد گردید. بنابراین، در صورت استفاده از مواد لیگنوسلولزی بازیافت شده نیاز به منابع چوبی بکر کاهش‌یافته، باعث برگشت سرمایه و صرفه اقتصادی می‌شود. از طرفی از آلودگی محیط‌زیست و پراکنده شدن زباله‌ها در محیط جلوگیری می‌کند. بنابراین بازیافت مواد لیگنوسلولزی امری ضروری و غیرقابل‌انکار می‌باشد [۱]. در دهه‌های اخیر، به دلیل افزایش جمعیت، افزایش میزان تقاضا برای تولید صفحات فشرده چوبی و کاهش شدید منابع جنگلی استفاده از پسماند محصولات زراعی افزایش‌یافته است. عمده‌ترین پسماند محصولات زراعی در ایران باگاس نیشکر، ساقه پنبه، ساقه و کاه غلاتی همچون گندم، جو، بامبو، برنج و ذرت می‌باشند که در حال حاضر درصد بالایی از آن سوزانده و یا به‌عنوان کود آلی در مزارع باقی

می‌ماند [۲]. بنابراین کمبود مواد اولیه خام جنگلی برای استفاده در صنایع چوب و کاغذ موجب شده است تا تحقیقات گسترده دانشگاهی در زمینه استفاده از پسماندهای محصولات زراعی، انجام شود. نتایج این نشان می‌دهد که ضایعات لیگنوسلولزی حاصل از پسماند کشاورزی در بسیاری موارد قابلیت استفاده در صنایع چوب و کاغذ را دارا می‌باشند [۲]. از طرفی دیگر، با توجه به اینکه استفاده از چوب نسبت به سایر مصالح ساختمانی دارای مزایای زیست‌محیطی، فیزیکی و مکانیکی زیادی است اما دارای معایبی نیز می‌باشد به‌طوری‌که در محیط‌های کنترل نشده دچار تغییر ابعاد می‌شود. از آنجائی که چوب یک ماده آلی و لیگنوسلولزی است که مستعد تخریب توسط عوامل مخرب زنده (قارچ‌ها، حشرات و باکتری‌ها) است، از طرفی چون چوب هدایت حرارتی ضعیفی دارد خیلی زود آتش‌گرفته و شعله‌ور می‌شود [۳]. لذا، ساخت و پیدایش فرآورده‌های مرکب حاصل از مواد لیگنوسلولزی تا حد زیادی معایب مرتبط با چوب را کاهش داده است. فرآورده‌های مرکب حاصل از مواد لیگنوسلولزی در اندازه‌های دلخواه در ابعاد زیاد و خواص همگن ساخته می‌شوند؛ اما معایب مرتبط بادوام طبیعی مواد لیگنوسلولزی بدون تیمار حفاظتی همچنان پابرجا خواهد بود [۲]. یکی از عوامل مهم تخریب فیزیکی تخته خرده‌چوب آتش است؛ در حقیقت، مواد لیگنوسلولزی و فرآورده‌های مرکب آن در برابر آتش مقاومت خوبی از خود نشان نداده و سبب کاهش کاربرد آن‌ها در مصارف مختلف می‌شود. ازاین‌رو بالا بردن پایداری آن‌ها در برابر آتش و یا به عبارتی به تأخیر انداختن اشتعال آن‌ها از ضروریات کاربردشان در ساخت سازه‌های مواد لیگنوسلولزی محسوب می‌شود. بنابراین، برای کند سوز کردن این مواد باید عناصر تشکیل‌دهنده آن‌ها را از تماس با اکسیژن مصون نمود و یا اینکه با استفاده از مواد مختلف انتقال حرارت را به لایه‌های درونی چوب و یا فرآورده‌های مرکب کند کرد [۴]. لازم به ذکر است که خاصیت آب‌دوستی مواد لیگنوسلولزی از یک‌سو منجر به تخریب بیولوژیکی و تضعیف استحکام آنها می‌شود و از سویی دیگر در طراحی و عملکرد کندسوزکننده و جذب رطوبت به مواد لیگنوسلولزی برای کاهش سرعت سوختن، مفید است. لذا، در طراحی مواد کندسوزکننده علاوه بر جذب رطوبت، باید اثرات این مواد روی پوسیدگی، چسبندگی، پوشش‌دهی، دوام، افزایش طول عمر، ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی موردتوجه قرار گیرد [۵]. به‌عبارت‌دیگر، یک ماده حفاظتی مناسب علاوه بر اینکه باید مواد لیگنوسلولزی را در شرایط محیطی مختلف محافظت کند باید بدون خطر برای انسان و محیط‌زیست باشد. همچنین ماده استفاده‌شده باید در برابر آبشویی پایدار بوده و درنهایت مقرون‌به‌صرفه باشد [۶]. بنابراین انتخاب کند سوز کننده-ای که طبیعی باشد از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد [۷]. زئولیت ماده‌ای معدنی که عمدتاً از آلومینوسیلیکات تشکیل‌شده است. این ماده از دسته کانی‌های رسی است که همچون سایر کانی‌های رسی از پایه هیدروسیلیکات-های آلومینیوم همراه با برخی کاتیون‌ها و اکسیدهای فلزات قلیایی و قلیایی خاکی تشکیل‌شده است. این کمپلکس بلوری سیلیکاتِ زنجیره‌های گسترده و پیوسته-ایی را به وجود میاورند که با توجه به نحوه اتصال و قرارگیری آن‌ها در کنار یکدیگر شبکه‌ای از فضاهای خالی و حفره‌های قفسه مانندی را تشکیل می‌دهند که قطر آن‌ها بین ۰/۵ تا ۱/۲ نانومتر می‌رسد [۸]. وجود پرشمار این قفسه‌های کوچک خالی به همراه حضور برخی کاتیون‌های فلزی قلیایی و قلیایی خاکی، ویژگی‌های منحصربه‌فرد جذب، تعویض کاتیونی، غربال مولکولی و خواص کاتالیستی را به وجود می‌آورند، این ویژگی‌ها باعث می‌شود زئولیت‌ها را از دیگر انواع رس‌ها متمایز کند [۹]. در حقیقت، زئولیت علاوه بر خواص منحصربه‌فرد ذکرشده فوق، به دلیل اینکه دارای ساختار اسفنجی و مقاومت مکانیکی و شیمیایی زیاد می‌باشد. لذا، امکان یک بازه وسیعی از کاربردهای پرشمار در صنایع کشاورزی، پرورش دام و طیور و آبزیان، پتروشیمی، پالایشگاه‌ها، تصفیه آب، تصفیه فاضلاب، تصفیه هوا، بوگیر، کاغذسازی، از بین بردن قارچ‌ها و انگل‌ها، جداسازی و تخلیص گازها (تولید گاز اکسیژن)، داروسازی، صنایع اتمی و ... را فراهم نموده است [۱۰]. Vaziri(۲۰۱۵) تأثیر استفاده از مقادیر متفاوت ماده پرکننده زئولیت (از نوع آنالیسم) و کربنات کلسیم در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد بر ویژگی‌های کاغذ روزنامه را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که

مقدار ماندگاری ماده پرکننده زئولیت (۵۹/۱۷ درصد) بیشتر از کربنات کلسیم (۲۲/۵ درصد) است. بعلاوه، کاغذ دارای ۱۰ درصد ماده پرکننده زئولیت در مقایسه با کربنات کلسیم ۳۰ درصد خواص فیزیکی و مکانیکی بیشتر است. همچنین، یکی از نتایج مهم این تحقیق کاهش هزینه‌های تولید و آلودگی‌های پساب به دلیل ماندگاری زیاد ماده پرکننده زئولیت بود [۱۱]. Çavdar (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر زئولیت به‌عنوان پرکننده در تخته فیبر دانسیته متوسط با رزین‌های اوره فرمالدئید و ملامین فرمالدئید پرداختند. آنها در تحقیقاتشان از سه غلظت ۴ و ۸ و ۱۲ درصد زئولیت بر اساس وزن خشک چسب استفاده کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که خواص مکانیکی نمونه‌های تخته فیبر دانسیته متوسط با نسبت افزایش زئولیت بهبود یافت. علاوه بر این، ثبات ابعادی نمونه‌ها نیز افزایش یافت. اما افزودن زئولیت تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر منحنی‌های وزن‌سنجی حرارتی و گرماسنجی پویشی تفاضلی نداشت. درنهایت، خواص کلی تخته فیبر دانسیته متوسط با ملامین فرمالدهید بیشتر از تخته فیبر دانسیته متوسط با اوره فرمالدهید بود [۱۲]. با توجه به مباحث ارائه‌شده، هدف از این تحقیق استفاده بهینه و اقتصادی از زئولیت به‌عنوان کندسوزکننده در ساخت تخته خرده چوب حاصل از تفاله نیشکر و بررسی ویژگی‌های حرارتی، مقاومت به آتش، فیزیکی و مکانیکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

بقایای نیشکر (باگاس) و مخلوط خرده چوب‌های ضایعات چوب شامل خرده‌های حاصل از گونه‌های جنگلی اعم از راش، توسکا، افرا و صنوبر که به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده تخته استفاده شدند از صنایع چوب استان خریداری شد. رزین اوره‌فرمالدهید از کارخانه شموشک گرگان تهیه شد. خصوصیات آن در جدول ۱ ذکرشده است. همچنین از کاتالیزور کلرورآمونیوم ۲۰ درصد به میزان ۱ درصد وزن خشک چسب به‌عنوان سخت‌کننده و به‌منظور جلوگیری از متصاعد شدن گاز اوره و کاهش زمان پلیمر شدن چسب استفاده شد. بعلاوه، از پودر زئولیت ($Al_2O_{34}SiO_2H_2O$) که از شرکت نانوشل- آمریکا تهیه شد برای کند سوز کردن تخته خرده چوب‌ها استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات رزین اوره فرمالدهید

شکل ظاهری	pH	درصد جامدات	ویسکوزیته (cp)	ژل تایم (S)	دانسیته (gr/cm^3)
مایع (سفید)	۸/۵	۶۲± ۱	۳۵۰± ۱۰	۵۹ ۰±/۵	۱/۲۷۰± ۰/۰۱

تهیه تخته‌خرده‌چوب

ابتدا ضایعات چوب و ماده لیگنوسلولزی (باگاس) توسط آسیاب دیسکی به اندازه‌های استاندارد خرد شدند. سپس خرده چوب‌ها توسط دستگاه خشک‌کن با درجه حرارت ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خشک شدند. در این مرحله برای جلوگیری از جذب رطوبت محیط توسط ذرات، آن‌ها را در داخل کیسه‌های ضخیم نایلونی ریخته و بسته‌بندی شدند. در مرحله بعد، خرده چوب‌ها با استفاده از خشک‌کن آزمایشگاهی با دمای ۲ ± ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تا رطوبت حدود ۴ درصد، خشک گردیدند. به‌طوری‌که پس از تعیین رطوبت خرده‌ها، رطوبت تراشه‌های چوب ۳/۲ درصد و رطوبت بقایایی باگاس ۳/۸ درصد اندازه‌گیری شد و این میزان رطوبت در محاسبه رطوبت کیک خرده چوب مدنظر قرار گرفت [۱۳]. با استفاده از همزن مکانیکی زئولیت در دو سطح (صفر و ۵ درصد) با چسب اوره فرمالدهید مخلوط شد. سپس، خرده چوب‌ها توسط چسب اوره - فرمالدهید به میزان ۱۲ درصد وزن خشک خرده چوب‌ها به‌وسیله چسب‌زن آزمایشگاهی چسب زنی شدند. در مرحله‌ی بعد، ذرات چسب خورده به صورت کاملاً یکنواخت در داخل قالب پخش شدند و برای فشرده-سازی کیک و ساخت تخته‌ها از پرس گرم هیدرولیکی استفاده شد. فشار اعمال شده در پرس ۳ مگا پاسکال، رطوبت نهایی تخته خرده چوب ۱۲ درصد، دمای پرس ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، زمان پرس ۹ دقیقه، ضخامت اسمی تخته‌ها ۱۶ میلی‌متر، دانسیته اسمی تخته-

ها ۰/۷۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و سرعت بسته شدن ۴/۵ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. درنهایت، جهت یکنواخت شدن رطوبت و متعادل‌سازی تنش‌های داخلی، تخته‌خرده‌چوب‌های ساخته‌شده به مدت دو هفته در اتاق مشروط سازی در دمای ۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵-۶۰ درصد نگهداری شدند [۱۳]. پس‌ازاین مدت تخته‌ها بر اساس استاندارد DIN68763 برای تهیه نمونه‌های آزمونی برش داده شدند، سپس مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی با استفاده از دستگاه مکانیکی (INSTRON)، مقاومت به ضربه با استفاده از دستگاه (Amsler)، جذب آب و واکشیدگی ضخامت مطابق با استاندارد EN 317 اندازه‌گیری شدند.

آزمون کندسوز شوندگی

نمونه‌های تیمار شده در دستگاه آزمون آتش بر اساس استاندارد ISO11925 مورد آزمون قرار گرفتند. وزن اولیه نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱۰ گرم اندازه‌گیری شد. زاویه دهانه نازل آتش تا نمونه ۴۵ درجه و فاصله آن تا تخته‌خرده‌چوب ۵ میلی‌متر و به فاصله ۳۰ میلی‌متر از لبه پایین نمونه قرار گرفت. آزمون با فشارثابت گاز شهری به مدت ۱۲۰ ثانیه انجام شد. زمان با کرونومتر دیجیتال با دقت ۰/۱۰ ثانیه ثبت شد. شاخص‌های زمان شعله‌وری و زمان افروختگی برحسب ثانیه محاسبه شد. سطح کربونیزه برحسب سانتیمتر مربع با نرم‌افزار ImageJ محاسبه شد. در پایان برای محاسبه درصد کاهش وزن ناشی از سوختن، وزن نمونه‌ها در هر مرحله قبل و بعد از آزمون آتش توزین گردید و با استفاده از معادله ۱ مقدار درصد کاهش وزن نمونه‌های آزمونی محاسبه گردید.

$$LS_t = \frac{W_t - W_o}{W_t} \qquad (۱)$$

(LSt) کاهش وزن برحسب درصد،
(Wt) وزن نمونه قبل از آزمون آتش و
(Wo) وزن خشک بعد از آزمون آتش

آزمون رنگ سنجی

خصوصیات رنگ سطح پوشش‌ها (قبل و بعد از حرارت دادن) بر اساس استاندارد ASTM D 2244 اندازه‌گیری شد. در اندازه‌گیری رنگ سنجی، مشخصات رنگ نمونه‌ها بر اساس پارامترهای L*,a* و b* بیان می‌شود که L* نشان‌دهنده میزان روشنایی است و مقدار آن از صفر برای سیاه تا ۱۰۰ برای سفید متغیر است a* و b* نشان‌دهنده خلوص رنگ هستند که+a* برای قرمز (+۶۰) و -a* برای رنگ سبز (۶۰) که+b* برای رنگ زرد (+۶۰) و -b* برای رنگ آبی (۶۰) تعیین‌شده است. مشخصات رنگ‌ها اندازه‌گیری و تغییرات آن‌ها با استفاده از معادله‌های ۲ محاسبه شد.

$$\Delta L^* = L_2^* - L_1^* \qquad (۲)$$
$$\Delta a^* = a_2^* - a_1^*$$
$$\Delta b^* = b_2^* - b_1^*$$
$$\Delta E^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$$

(ΔE) مقدار کلی تغییر رنگ نمونه‌ها، (Δa^*)، (ΔL^*) و (Δb^*) تغییرات a* و b* نمونه‌ها در اثر اضافه کردن زئولیت

طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه[۱] (FT-IR)

هدف اصلی در استفاده از آنالیز اشعه مادون‌قرمز، اندازه‌گیری و بررسی تغییرات صورت گرفته در ترکیبات شیمیایی تخته‌خرده‌چوب است که تحت تأثیر حرارت پرس قرار گرفتند. بدین منظور طیف FT-IR در یک دستگاه اسپکتروفوتومتر تبدیل فوریه Spectrometer مدل Varian 660-IR استفاده گردید. کلیه طیف‌ها طی ۱۶ پیمایش با قدرت تفکیک ۴ cm^{-1} در محدوده ۴۰۰ cm^{-1} تا ۴۰۰۰ cm^{-1} ثبت شد.

[۱] Fourier Transform Infrared spectroscopy

آنالیز آماری

برای تحلیل داده‌ها از برنامه آماری SPSS (ورژن ۲۰,۰) استفاده شد. داده‌ها به روش تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفتند و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

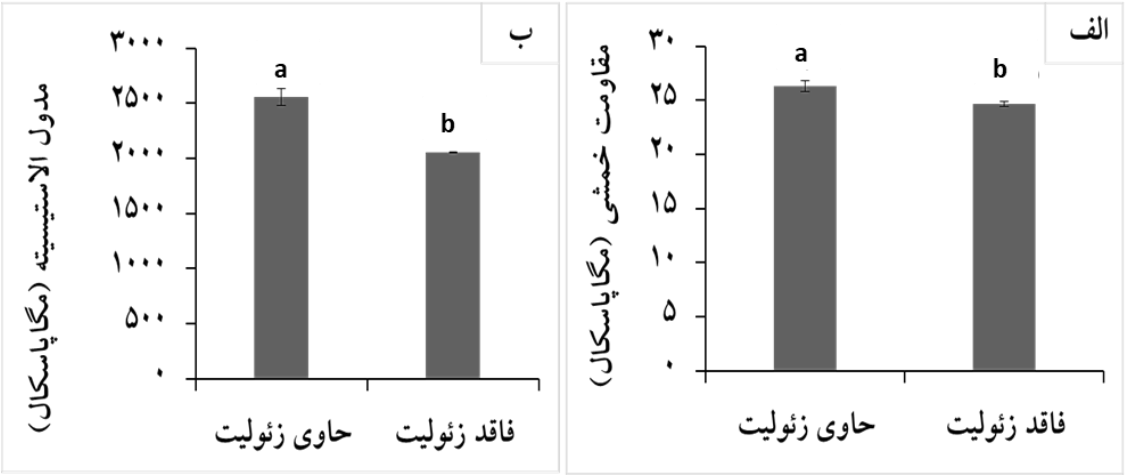
نتایج و بحث

خواص مکانیکی

مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته

نتایج مربوط به مقاومت خمشی تخته فشرده باگاس، در شکل ۱ (الف) نشان داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقاومت خمشی ازنظر آماری در سطح اطمینان آماری ۹۵ درصد معنی‌دار شد و مطابق با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در دو گروه مجزا قرار گرفت. در واقع، مقاومت خمشی تخته‌ها در اثر افزودن زئولیت ۶/۳ درصد افزایش یافت. به‌طورکلی، ذرات زئولیت با منشأ آلومینوسیلیکاتی که دارند تحت تأثیر حرارت، فشار پرس و همچنین رطوبت موجود در ذرات باگاس به‌واسطه افزودن چسب می‌توانند با گروه‌های هیدروکسیل ذرات باگاس واکنش هیدروژنی برقرار کنند و به‌واسطه تشکیل این نوع پیوندها، مقاومت الیاف به‌خصوص مقاومت خمشی افزایش می‌یابد. همچنین وجود ذرات زئولیت منجر به متراکم شدن یا به‌عبارتی‌دیگر کم شدن میزان تخلخل سطوح تخته می‌شوند و ازآنجایی‌که مقاومت خمشی عموماً وابسته به مقاومت لایه‌های سطحی تخته می‌باشد، لذا، باعث افزایش مقاومت خمشی می‌شود [۱۵].

نتایج مربوط به مدول الاستیسیته تخته فشرده باگاس، در شکل ۱ (ب) نشان داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مدول الاستیسیته از نظر آماری در سطح اطمینان آماری ۹۵ درصد معنی‌دار شد و مطابق با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در دو گروه مجزا قرار گرفت. مدول الاستیسیته تخته‌ها در اثر افزودن زئولیت ۱۹/۷۶ درصد افزایش یافت. براساس نتایج مشخص شد که افزودن زئولیت منجر به افزایش مدول الاستیسیته می‌شود. زئولیت ماده‌ای سخت‌تر از چوب است و وقتی که به تخته-خرده‌چوب اضافه می‌گردد بنابراین مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر، زئولیت در حقیقت منشأ معدنی و محکم‌تر از چوب است و انتظار بر این است که همین عامل منجر به افزایش مدول الاستیسیته تخته فشرده باگاس در اثر افزودن زئولیت شده باشد [۱۶].

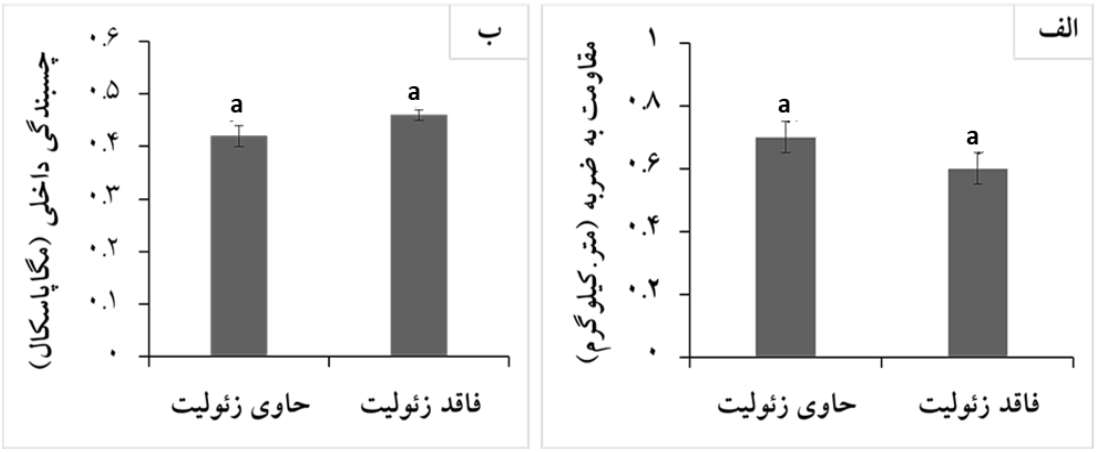


شکل ۱. تأثیر زئولیت بر الف) مقاومت خمشی و ب) مدول الاستیسیته تخته فشرده باگاس

مقاومت به ضربه و چسبندگی داخلی

مقاومت در برابر ضربه بیان‌کننده مقدار انرژی لازم برای شکست است و مادهایی که در مقابل شکست مقاومت بیشتری از خود نشان دهد، از قدرت جذب انرژی بیشتری برخوردار خواهد بود [۱۷]. براساس نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین داده‌های مربوط به مقاومت‌های به ضربه و چسبندگی داخلی تخته فشرده باگاس، آزمون دانکن آنها را در یک گروه قرار داده و اختلاف میانگین‌های حاصل از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ (الف) مشاهده

می‌شود مقاومت به ضربه تخته‌ها در اثر افزودن زئولیت ۱۴/۲۸ درصد افزایش یافت. این افزایش می‌تواند به‌این‌علت باشد که زئولیت به خاطر اینکه به‌طور یکنواختی در سطح تخته توزیع‌شده است. بنابراین باعث ایجاد اتصالات عرضی و شبکه سه‌بعدی بین تخته خرده چوب و چسب شده است و همین عامل باعث افزایش مقاومت به ضربه تخته خرده حاصله شده است [۱۸]. نتایج مربوط به چسبندگی داخلی تخته فشرده باگاس، در شکل ۲ (ب) نشان داده‌شده است. ملاحظه می‌شود که چسبندگی داخلی تخته‌ها در اثر افزودن زئولیت ۸/۶۹ درصد کاهش یافت. حضور ذرات زئولیت در کیک ذرات به‌خصوص در لایه سطحی باعث شد تا در هنگام پرس و به‌تبع آن هنگام تشکیل تخته در داخل پرس، تخلخل موجود در تخته به‌واسطه حضور زئولیت کاهش یابد. ازاین‌رو بافت متراکم در سطوح تخته مانع انتقال حرارت مناسب برای منعقد شدن چسب در لایه میانی تخته شود. لذا، چسبندگی داخلی که وابسته به منعقد شدن مناسب چسب در لایه میانی می‌باشد کاهش می‌یابد [۱۹]. در تحقیقی Hu و همکاران (۲۰۲۰) روی ماده معدنی مونت موریلونیت (MMT) به‌عنوان یک افزودنی معدنی جهت کند سوز کردن شعله در تخته خرد چوب‌ها استفاده کردند به این نتیجه رسیدند که ماده کند سوز کننده استفاده شده باعث کاهش چسبندگی داخلی نمونه‌ها می‌گردد [۲۰].

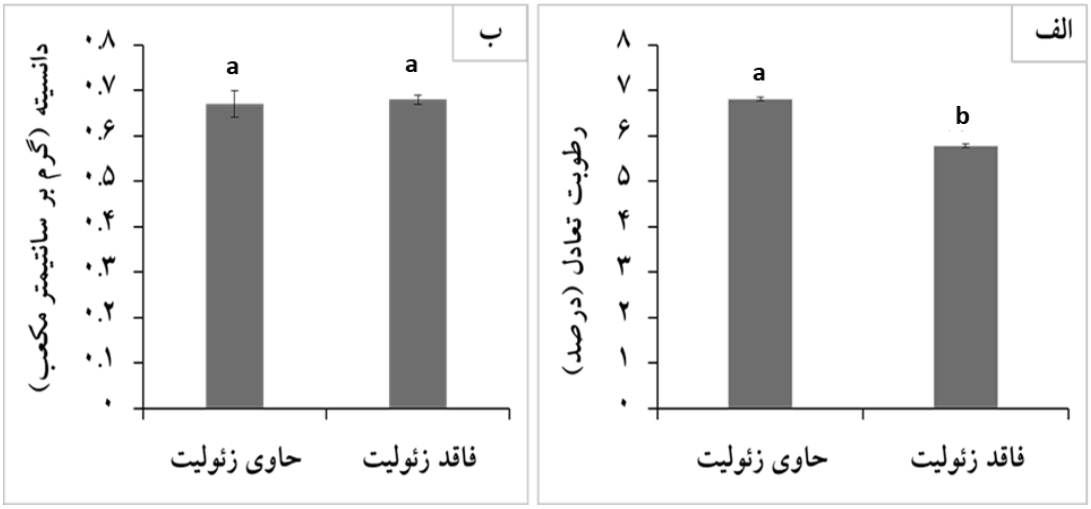


شکل ۲. تأثیر زئولیت بر الف) مقاومت به ضربه و ب) چسبندگی داخلی تخته فشرده باگاس

خواص فیزیکی

رطوبت تعادل و دانسیته

نتایج رطوبت تعادل نشان داد که رطوبت تعادل تخته‌ها در اثر افزودن زئولیت ۱۵/۱۲ درصد افزایش یافت (شکل ۳، الف). دلیل افزایش رطوبت تعادل تخته حاوی زئولیت نسبت به تخته فاقد زئولیت می‌تواند به دلیل ماهیت قطبی ماده معدنی زئولیت باشد. بعلاوه، آزمون دانکن میانگین مقادیر رطوبت تخته فشرده باگاس را در دو گروه مجزا قرار داده است. همچنین نتایج مربوط به دانسیته تخته فشرده باگاس، در شکل ۳ (ب) نشان داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود دانسیته تخته‌ها در اثر افزودن زئولیت ۱/۴۷ درصد کاهش یافت. اما این کاهش معنی‌دار نبوده و آزمون چند دامنه‌ای دانکن آنها را در یک گروه قرار داده است.

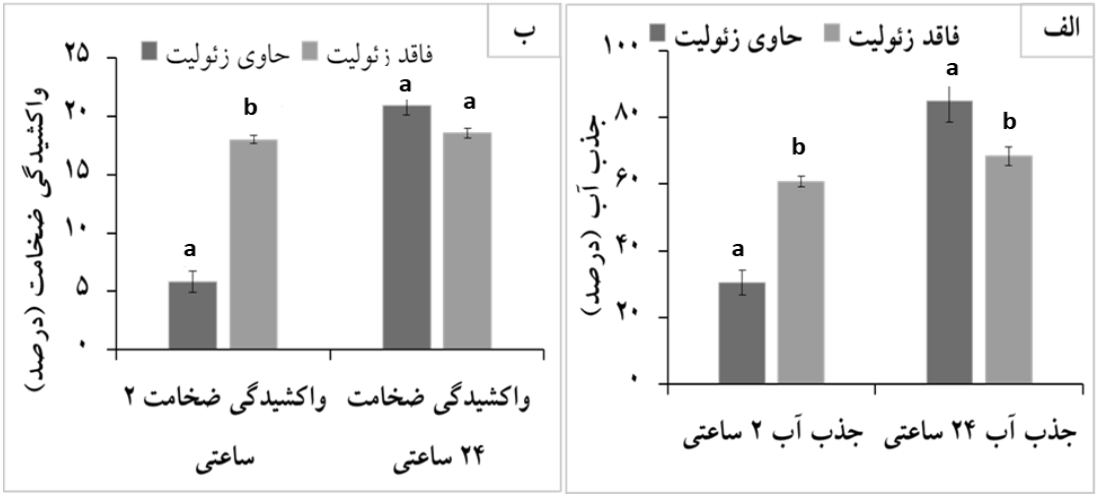


شکل ۳. تأثیر زئولیت بر الف) رطوبت تعادل و ب) دانسیته تخته فشرده باگاس

جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت

شکل ۴ (الف)، تأثیر زئولیت بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت تخته فشرده باگاس را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود جذب آب تخته‌ها در ساعات اولیه (۲ ساعت) براثر افزودن زئولیت به‌شدت (۵۰/۰۲ درصد) کاهش یافت. اما در ادامه روند جذب آب و رسیدن به ساعات پایانی جذب آب (۲۴ ساعت) نمونه حاوی زئولیت به‌شدت آب جذب کرد، این در حالی است که نمونه فاقد زئولیت، جذب آب کمی در فاصله بین ۲ تا ۲۴ ساعت داشت. به‌طورکلی، آزمون دانکن میانگین مقادیر جذب آب تخته فشرده ساخته‌شده را در فواصل ۲ تا ۲۴ در دو گروه مجزا قرار داده است (شکل ۴، الف) که این نتیجه بیانگر اختلاف معنی‌دار آنها در سطح اطمینان آماری ۹۵ درصد می‌باشد. براثر افزودن زئولیت، جذب آب ۲۴ ساعتی ۱۹/۴۷ درصد افزایش داشت. شکل ۴ (ب)، تأثیر زئولیت بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت تخته فشرده باگاس را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود واکشیدگی ضخامت تخته‌ها در ساعات اولیه (۲ ساعت) براثر افزودن زئولیت به‌شدت (۶۷/۷۲ درصد) کاهش یافت. اما در ادامه روند واکشیده شدن و رسیدن به ساعات پایانی آن (۲۴ ساعت) نمونه حاوی زئولیت به‌شدت واکشیده شد، این در حالی است که نمونه فاقد زئولیت، واکشیدگی ضخامت کمی در فاصله بین ۲ تا ۲۴ ساعت داشت. براثر افزودن زئولیت، واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعتی ۱۱/۲۷ درصد افزایش داشت. لازم به توضیح است که از ۲ به ۲۴ ساعت غوطه‌وری، نمونه حاوی زئولیت، ۷۲/۲ درصد اما نمونه فاقد زئولیت تنها ۲/۹۶ درصد واکشیدگی ضخامت داشتند. جذب آب در چندسازه‌های چوبی از طریق چندین سازوکار انجام می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: ۱- از طریق تخلخل موجود در چندسازه که به‌صورت آب آزاد در چندسازه نفوذ می‌کند و ۲- جذب آب از طریق گروه‌های هیدروکسیل اجزای سازنده چندسازه که این نوع جذب آب منجر به واکشیدگی ضخامت در چندسازه می‌شود [۲۱]. در حقیقت، ذرات زئولیت تخلخل موجود در تخته را کاهش داده به‌عبارتی‌دیگر تراکم تخته افزایش پیداکرده است. بنابراین، به‌واسطه همین کاهش تخلخل و افزایش تراکم، نفوذ آب به داخل تخته در ساعات اولیه غوطه‌وری با اختلال مواجه می‌شود. به‌طوری‌که در ساعات اولیه غوطه‌وری، جذب آب نمونه حاوی زئولیت تقریباً نصف جذب آب نمونه فاقد زئولیت می‌باشد. اما در ادامه ازیک‌طرف آبشویی ذرات زئولیت در تخته و از سوی دیگر ماهیت قطبی ذرات زئولیت منجر شد تا جذب آب یا به‌عبارت‌دیگر نفوذ آب به تخته با سرعت بیشتری انجام شود [۲۲]. بنابراین در مدت ۲۴ ساعت، الگوی جذب آب در تخته‌ها معکوس شد و نمونه حاوی زئولیت جذب آب بیشتری نسبت به نمونه فاقد زئولیت داشت. در این پژوهش، نتایج آزمون دانکن در مقایسه میانگین مقادیر واکشیدگی ضخامت در فاصله ۲ تا ۲۴ ساعت بیانگر آن است که تنها در ۲ ساعت، اختلاف این مقادیر معنی‌دار بوده و در دو گروه مجزا قرار گرفتند. این در حالی است که

مقادیر واکشیدگی ضخامت در ۲۴ ساعت معنی‌دار نبوده و مطابق با آزمون دانکن در یک گروه قرار داده شدند. در ساعات اولیه غوطه‌وری، تخلخل کم نمونه حاوی زئولیت مانع نفوذ بیش‌ازحد آب به داخل چندسازه گردید ازاین‌رو واکشیدگی ضخامت در نمونه حاوی زئولیت به دلیل اینکه آب کافی در الیاف وجود نداشت بسیار کمتر از نمونه فاقد زئولیت بود. اما در مدت ۲۴ ساعت، واکشیدگی ضخامت به‌واسطه آبشویی ذرات زئولیت و همچنین قطبی بودن زئولیت آب کافی در الیاف قرار گرفت و واکشیدگی ضخامت در نمونه حاوی زئولیت به‌شدت افزایش یافت [۲۱].



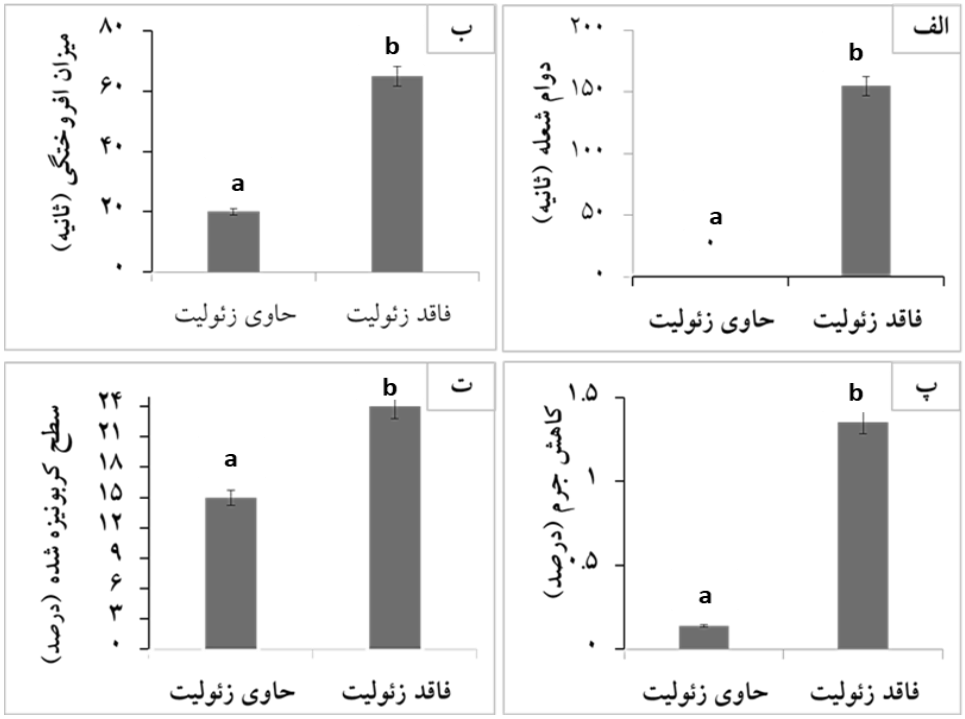
شکل ۴. تأثیر زئولیت بر الف) جذب آب و ب) واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت تخته فشرده باگاس

خواص آتش‌گیری

دوام شعله، میزان افروختگی، میزان کاهش جرم در اثر سوختگی و میزان سطح کربونیزه شده

زمان شعله‌وری یعنی مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا نمونه موردنظر شعله‌ور شود. زمان شعله‌وری مواد قابل‌احتراق، قسمت مهمی از فرآیندی است که هنگام وقوع آتش رخ می‌دهد [۲۳]. همان‌طور که در شکل ۵ (الف) نشان داده‌شده است، دوام شعله حاصل از آتش‌گیری تخته فشرده باگاس، در اثر افزودن زئولیت به‌شدت کاهش یافت و عملاً نمونه حاوی زئولیت پس از برداشتن شعله خارجی به سوختن ادامه نداد و بلافاصله خاموش شد. این در حالی است که نمونه فاقد زئولیت پس از برداشتن شعله خارجی، به‌طور میانگین به مدت ۱۵۵ ثانیه به سوختن خود ادامه داد. در واقع، زئولیت به دلیل منشأ معدنی خود و وجود ترکیبات آلومینوسیلیکاتی دارای خاصیت کندسوزکنندگی می‌باشد. در این مطالعه نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین شاخص‌های مقادیر دوام شعله، میزان افروختگی، میزان کاهش جرم (در اثر سوختن) و میزان سطح کربونیزه شده با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که این مقادیر در دو گروه مجزا قرار دارند و این نتیجه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آنها از نظر آماری در سطح اطمینان آماری ۹۵ درصد می‌باشد (شکل ۵، الف، ب، پ و ت). در این زمینه،Rassam و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود مبنی براثر ذرات بنتونیت بر کندسوز کردن MDF به نتایج مشابهی دست یافتند [۲۴]. زمان افروختگی در واقع سوختن بدون شعله است که وابسته به اکسیژن اتمسفر می‌باشد [۲۳]. شکل ۵ (ب) نشان می‌دهد که میزان برافروختگی یا به اصطلاح میزان گازش و دودی که پس از خاموش شدن نمونه از آن متصاعد می‌شود، در اثر افزودن زئولیت ۶۹/۲۳ درصد کاهش می‌یابد. Fazeli &Talaei(۲۰۱۸) در تحقیقات خود که به بررسی اثر تیمار حرارتی و اشباع اولیه چوب نراد با بوراکس بر مقاومت به آتش و رفتار حرارتی پرداختند به این نتیجه رسیدند که بوراکس باعث تأخیر در زمان برافروختگی می‌شود [۲۳]. همچنین در شکل ۵ (پ) مشاهده می‌شود، میزان کاهش جرم تخته فشرده باگاس در اثر فرآیند حاصل از سوختن، ۸۹/۶۳ درصد کاهش یافت. بعلاوه بر اساس شکل ۵ (ت)، میزان سطح کربونیزه

شده نمونه در اثر سوختگی، براثر افزودن زئولیت ۳۷/۵ درصد کاهش یافت. Akhtari و همکاران (۲۰۰۶) امکان استفاده از چهار نوع ماده شیمیایی مونوآمونیم فسفات، دی آمونیم فسفات، سولفات آمونیم و مخلوط مونوآمونیم فسفات و بوراکس (به نسبت ۷۰ به ۳۰) با غلظت ۱۲ درصد به‌عنوان مواد کند سوز کننده آتش برای کند سوز کردن چوب راش ایرانی را بررسی کردند. ۵۴/۸۳ درصد کاهش در درصد سطح کربونیزه شده داشته است [۲۵].



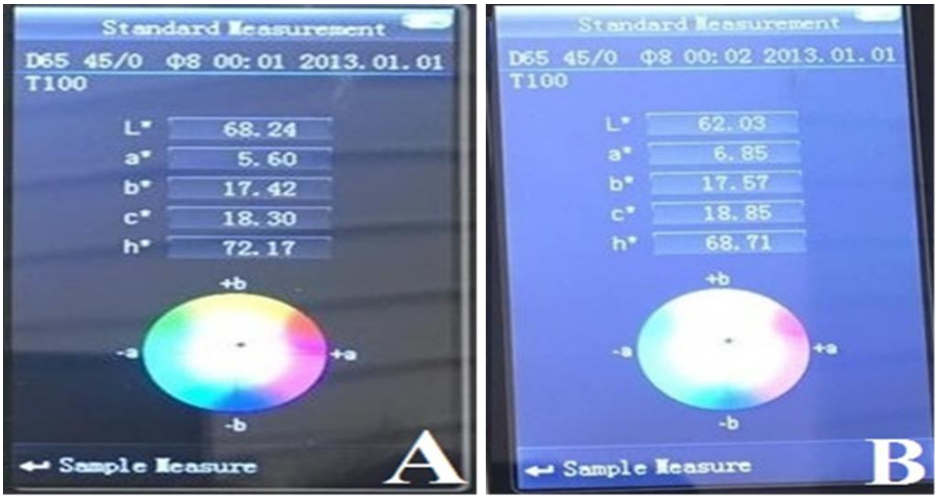
شکل ۵. تأثیر زئولیت بر الف) دوام شعله، ب) میزان افروختگی، پ) میزان کاهش جرم در اثر سوختگی و ت) میزان سطح کربونیزه شده تخته فشرده باگاس

میزان تغییر رنگ

با بهره‌گیری از دستگاه و مد رنگی CIE L*a*b* برای هر نمونه با کند سوز کننده زئولیت و بدون کند سوز کننده زئولیت میزان ضریب‌های L*a*b* مشخص گردید. نتایج حاصل در جدول ۲ و شکل ۶ (A و B) نشان داده‌شده است. همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است با افزودن زئولیت به تخته خرده چوب‌های تهیه‌شده از باگاس، تغییر رنگ با مقدار ۶/۳۴ حاصل گردیده است. تغییر رنگ صورت گرفته به دلیل افزایش میزان روشنی و سفید شدن نمونه‌های زئولیت زده و درنهایت تأثیر آن بر روی پارامتر L یا میزان روشنایی می‌باشد. Δa وΔb نشان‌دهنده خلوص رنگ می‌باشند. همان‌طور که از اعداد جدول مشخص است با اضافه کردن زئولیت به نمونه‌ها پارامتر a با مقدار ۱/۲۵- به سمت رنگ سبز و پارامتر b با مقدار ۰/۱۵- به سمت رنگ آبی با مقدار خیلی کم تمایل پیداکرده است (شکل ۶). بنابراین می‌توان گفت نمونه‌های با زئولیت از نمونه‌های شاهد (بدون زئولیت) روشن‌تر می‌باشند. این نتایج مطابق با مطالعات قبلی [۲۶] می‌باشد.

جدول ۲. نتایج L, a, b نمونه‌های آزمایش

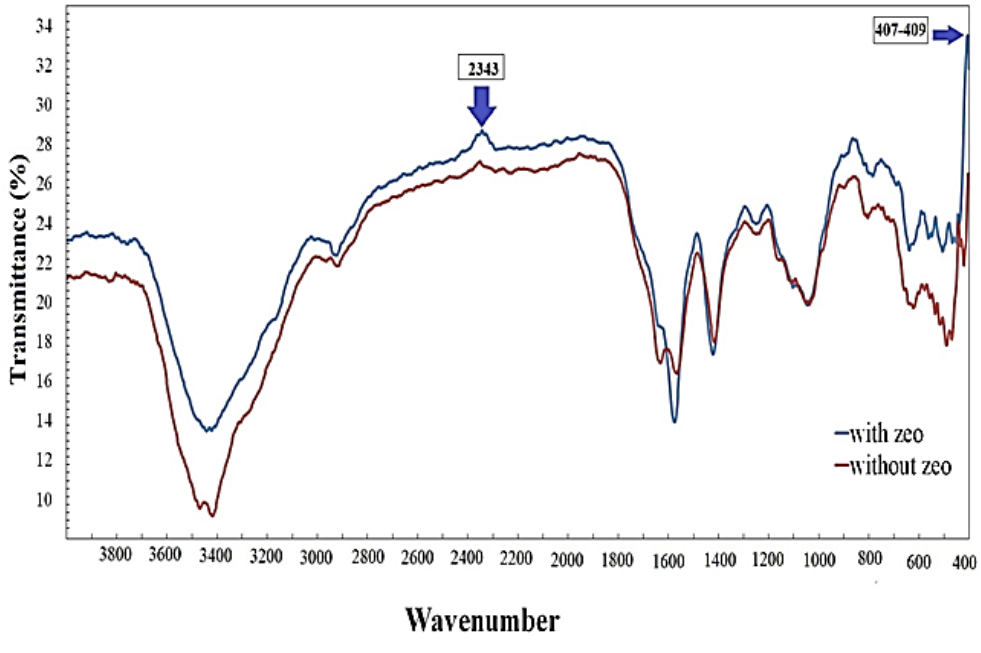
نمونه تیمار	l*	a*	b*	c*	h*
نمونه بدون زئولیت (شاهد)	۶۲/۰۳	۶/۸۵	۱۷/۵۷	۱۸/۸۵	۶۸/۷۱
نمونه با زئولیت	۶۸/۲۴	۵/۶۰	۱۷/۴۲	۱۸/۳۰	۷۲/۱۷



شکل ۶. نتایج آزمون رنگ، A) تخته خرده چوب با زئولیت و B) تخته خرده چوب بدون زئولیت

طیف‌سنجی زیر قرمز – تبدیل فوریه

طیف‌های FTIR مربوط به نمونه‌های شاهد (بدون زئولیت) و نمونه اشباع‌شده با زئولیت در طول‌موج بین $4000cm^{-1}$ - ۴۰۰ در شکل ۷ ارائه گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار جذب مربوط به باند اول $409-407cm^{-1}$ در نمونه آزمایش با زئولیت می‌باشد. همچنین در باند دوم تخته خرده‌چوب آغشته به ماده کندسوزکننده زئولیت $2343cm^{-1}$ است که بیشترین جذب را دارامی‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، شدت پیک در نمونه حاوی زئولیت نسبت به نمونه فاقد زئولیت افزایش پیداکرده است. در واقع، با توجه به شکل FTIR می‌توان عنوان کرد که افزایش جذب در نمونه‌هایی که با ماده زئولیت اشباع‌شده‌اند، نشان‌دهنده افزایش گروه‌های هیدروکسیل (OH) در اثر اشباع می‌باشد که منجر به کاهش خواص آب‌دوستی تخته خرده چوب‌های تولیدشده از باگاس شده است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده در بررسی واکشیدگی حجمی و اثر ضد واکشیدگی نشان داد نمونه‌هایی که با ماده زئولیت اشباع‌شده‌اند، زئولیت باعث افزایش واکشیدگی حجمی نمونه‌ها گردید و درنتیجه ثبات ابعادی کاهش‌یافته است. که این علت می‌تواند به دلیل افزایش رطوبت تعادل تخته خرده چوب و افزایش آب‌دوستی آن در اثر اشباع با مواد ضد آتش باشد [۲۱].



شکل ۷- طیف‌های FTIR نمونه‌های با زئولیت و بدون زئولیت

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای ساخت تخته خرده‌چوب حاصل از تفاله نیشکر از زئولیت به‌عنوان کندسوز کننده استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده از مقاومت خمشی نشان داد که در اثر افزودن کند سوز کننده زئولیت به نمونه‌ها مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مقاومت به ضربه افزایش می‌یابد. اما چسبندگی داخلی با افزودن زئولیت به نمونه‌ها کاهش می‌یابد. زیرا حضور زئولیت در سطح تخته‌ها مانع از انتقال حرارت به لایه‌های میانی می‌شود که این امر منجر به منعقد شدن چسب در لایه‌های میانی می‌شود. لذا، چسبندگی بین ذرات کاهش پیدا می‌کند. براثر افزودن ماده کند سوز کننده رطوبت تعادل نمونه‌ها به دلیل دوقطبی بودن این ماده معدنی نسبت به نمونه شاهد (بدون زئولیت) افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد افزودن زئولیت باعث کاهش دانسیته تخته‌های می‌شود. نتایج دوام شعله نشان داد تیمار با کند سوز کننده (زئولیت) زمان آتش‌گیری را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش و دوام شعله و کاهش وزن را به‌شدت کاهش می‌دهد. در مقابل نمونه بدون کند سوز کننده بعد از دور شدن شعله خارجی به سوختن خود ادامه داده و باعث تخریب بیشتر نمونه می‌شود. نتایج آزمون رنگ نشان داد که نمونه‌هایی که به کند سوز کننده زئولیت آغشته بودند دارای رنگ روشن و سفیدتر از نمونه‌های بدون زئولیت هستند که مقدار عددی پارامتر L این نتیجه را تأیید می‌کند. همچنین، بررسی نتایج FTIR نشان داد که افزودن ماده کند سوز کننده به تخته‌های تولیدشده از باگاس باعث کاهش خواص فیزیکی نمونه‌های تولیدشده می‌شود. در واقع، افزایش مقدار جذب در محدوده $۲۳۴۳cm^{-1}$ نمونه‌های اشباع‌شده نشان‌دهنده افزایش گروه‌های هیدروکسیل (OH) آزاد است.

سپاسگزاری

در پایان بر خود لازم می‌دانیم که از دانشگاه تهران به خاطر فراهم آوردن امکانات آزمایشگاهی برای انجام هرچه بهتر این تحقیق، تشکر و قدردانی نمائیم.

منابع

[1] Scorza, D., Marsavina, L., Carpinteri, A., Ronchei, C., and Vantadori, S., 2019. Size-effect independence of particleboard fracture toughness. Composite Structures, 229: 111374.

[2] Baharloee, F., Vaziri, W., Faraji, F., and Aminian, H., 2018. Investigate the possibility of using bagasse on particle board. 2th National Conference on Science and Technology of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran. Sam Iranian Institute for Organizing Knowledge and Technology Development Conferences, April 15. Tehran, p 1-6. **(In Persian)**

[3] Reinprecht, L., 2016. Wood Deterioration, Protection and Maintenance. John Wiley & Sons. 337p.

[4] Mantanis, G. I., Athanassiadou, E. T., Barbu, M. C. and Wijnendaele, K., 2018. Adhesive systems used in the European particleboard, MDF and OSB industries. Wood material science & engineering,13(2): 104-116.

[5] Saadatnia, M., Eshaghi, S. and Rostampour, A., 2015. Nondestructive evaluation of acoustical and mechanical properties of bagasse fiber composites by flexural vibration method (Lohe Sabz & Karoon factories). Iranian Journal of Wood and Paper Industries. 6(2): 217-226. **(In Persian)**

[6] Gonzalez-Garcia, S., Ferro, F. S., Silva, D. A. L., Feijoo, G., Lahr, F. A. R. and Moreira, M.T., 2019. Cross-country comparison on environmental impacts of particleboard production in Brazil and Spain. Resources, Conservation and Recycling. 150: 104434.

[7] Rangavar, H., Alavi Seresht, S.A., 2015. Investigation of the effect of nanolastononite, heavy polyethylene and polyvinyl chloride polymers and the structure of the board on the fire resistance of particle board made of pepper stalks and industrial particle board. Iranian Wood and Paper Sciences Research, 30 (3): 503-512. **(In Persian)**

[8] Mozafari, V. Rayatpisheh, M., 2018. Effect of calcium-enriched zeolite on some physiological characteristics of pistachio seedlings under salinity stress. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 6(4): 39-54. **(In Persian)**

[9] Ansari, A., Siddiqui, V., Khan, I., Akram, M., 2020. Effect of self-healing on zeolite-immobilized bacterial cementitious mortar composites. Self-Healing Composite Materials. From Design to Applications. Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, 239-257.

[10] Cooney, E., Booker, N., Shallcross, D., Stevens, G., 1999. Ammonia Removal from Wastewaters Using Natural Australian Zeolite. I. Characterization of the Zeolite. Separation Science and Technology 34: 2307–2327.

[11] vaziri, V., 2015. Effect of using of Zeolite and Calcium Carbonate fillers on newsprint paper Properties. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 21(4): 175-186. **(In Persian)**

[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, 101000.

[13] Habibi, M., 2020. The effect of bagasse bulk storage method on physical and mechanical properties of particle board. Iranian Journal of Wood and Paper Sciences. 34(1): 75-62. **(In Persian)**

[14] Zeleniuc, O., Brenci, L., Cosereanu, C., and Fotin, A., 2019. Influence of Adhesive Type and Content on the Properties of Particleboard Made from Sunflower Husks. Sunflower particleboard. BioResources, 14(3): 7316-7331.

[15] Younesi- Kordkheili, H., Honarbakhsh- Raof, A., 2017. The Effect of Nanoclay on Physical and Mechanical Properties of Particleboard Made from Urea-Kraft Lignin- Glyoxal Green Wood Adhesive. Iranian Journal of Wood and Paper Industries. 8(1): 119-129. **(In Persian)**

[16] Dehghan, M., Sadeghi Fard, A., dahmardeh, H. and Shahraki, A., 2019. Effect of poly lactic acid on physical and mechanical properties of wood plastic composite. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 10(2): 261-272.

[17] Bodig, J. and Jayne, B.A. 1982. Mechanics of wood and wood composites. 646p.

[18] Sefidrouh, M., Khazaian, A., Hosseinpol, M., Liaghat, G., Yousefi, H., 2018. Investigation of the impact resistance of the plywood made with adhesive enhanced with Cellulose Nanofibers. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 9(2): 263-275.

[19] Nazeriyan, M., Akbari, S., Farrokhpayam, S. and Nosrati Sheshkal, B., 2016. The influence of treatment and shelling ratio on the mechanical properties of particleboard manufactured from Canola (Brassica napus) stalk particles. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 7(2): 255-270. **(In Persian)**

[20] Hu, X., Sun, Z., Zhu, X. and Sun, Z., 2020. Montmorillonite-Synergized Water-Based Intumescent Flame Retardant Coating for Plywood. Journals Coatings, 10(2): 1-12.

[21] Najafi, A. and Khademi-Eslam, H., 2011. Lignocellulosic Filler/Recycled HDPE composites: Effect of filler type on physical and flexural properties. Bioresources.com, 6(3): 2411-2424.

[22] Mehranndish, M., Talaei, A. and Rezvani, M., 2020. Investigation of fire resistance in citric acid modified Paulownia wood and comparison with different burners. Iranian Wood and Paper Science Quarterly. 32(4): 562-547. **(In Persian)**

[23] Fazeli, A., Talaei, A., 2018. The effect of heat treatment and primary impregnation of Fir wood with borax on the fire resistance and thermal behavior. Wood and Forest Science and Technology Research, 25 (4):71-86. **(In Persian)**

[24] Rassam, Gh., Rangavar, H., and Nikkhah., 2015. The effect of nano-oxide metal treatment on the properties of medium density fiberboard made of sunflower fiber. Iranian Journal of Wood and Paper Sciences. 30(1): 97-109. **(In Persian)**

[25] Akhtari, M., Parsa Pajooh, D., Hooman Homsi, A., Aref Khani, M., 2006. Effect of fire retardants on Beech wood with Dipping and Lowry methods. Journal of Agricultural Sciences. 2: 461-449. **(In Persian)**

[26] Nine, M., Tran, D., Tung, T., and Kabiri, S., 2017. Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action. ACS Applied Materials and Interfaces, 9(11):10160–10168.

The possibility of using zeolite as a retarder of particleboard obtained from sugarcane pulp

Abstract

This study aims to use zeolite as a retarder of particleboards from sugarcane pulp (bagasse). In this study, mechanical properties, physical properties, fire resistance and CIE L * a * b * colorimetric test were investigated. The results of this study showed that the use of zeolite led to an increase in flexural strength, modulus of elasticity and impact resistance of the resulting particleboards. However, the internal adhesion of the resulting particleboard decreased. In addition, the use of zeolite as a flame retardant increased fire resistance. The results of physical properties also showed that zeolite reduced water absorption and thickness swelling in 2 hours of immersion. While water uptake and thickness swelling increased during 24 hours of immersion. The results showed that zeolite caused color change with increasing Δl and finally increased the whiteness and brightness of the surface of the samples. Zeolite reduced the combustion parameters, reduced the mass due to burn and the amount of carbonized surface and significantly increased the ignition time while drastically reduces flame retention and weight loss. In general, according to the measured parameters, the addition of zeolite can be considered as a slowing treatment.

Keywords: Particleboard, Bagasse, Zeolite, Mechanical properties, Physical properties, Fire retardancy.

S. Ramezani[1]
M. Jonoobi[2]
S. Sepahvand[3*]
D. Efhami sisi[4]

[1] MSc., Student, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

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

[3] Ph. D., Student, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

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

Corresponding author:
seppahvand.s@ut.ac.ir

Received: 2021/06/12
Accepted: 2021/09/04