

بررسی اثر نانوسیلیس و نوع ماده لیگنوسلولزی بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های چوب-سیمان

- ❖ فرانک محمد کاظمی؛ دانشجوی دکتری علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ کاظم دوست‌حسینی؛ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ علی‌اکبر عنایتی؛ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ محمد آذافلاح؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

در این مطالعه اثر نانوسیلیس در چهار سطح ۰، ۱، ۲، و ۳ درصد وزنی سیمان و اثر نوع ماده لیگنوسلولزی بر خواص فیزیکی و مکانیکی صفحات چوب-سیمان ساخته‌شده از کارتن کهنه و پوسته برنج بررسی شده است. در مجموع، هشت تیمار و از هر تیمار سه تکرار تخته ساخته شد. نمونه‌ها مطابق استاندارد DIN EN ۶۳۴ تهیه و خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها شامل مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته، مقاومت برشی موازی سطح، سختی، جذب آب، و واکنش ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که در حالت استفاده از نانوسیلیس، تخته‌های کارتن کهنه با ۱ درصد، و تخته‌های پوسته برنج با ۲ درصد نانوسیلیس بالاترین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته را داشتند. مقاومت برشی موازی سطح و سختی در تخته‌های حاوی ۲ درصد نانوسیلیس بیشتر بوده است. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از پوسته برنج در ساخت تخته‌ها در مقایسه با کارتن کهنه جذب آب را کاهش داد.

واژگان کلیدی: پوسته برنج، خواص فیزیکی و مکانیکی، سیمان، کارتن کهنه، نانوسیلیس

مقدمه

امروزه علم مهندسی ساختمان به سمت استفاده از مصالح سبک‌تر و مستحکم پیش می‌رود. چوب-سیمان یکی از انواع صفحات فشرده چوبی است که توسعه فناوری این فرآورده در هر منطقه به مواد اولیه مورد نیاز آن، یعنی چوب یا مواد لیگنوسولوزی و سیمان، مربوط می‌شود. به‌علاوه، این امر به کشورهای فاقد امکانات لازم برای تولید رزین‌های سنتزی امکان تولید فرآورده‌های کامپوزیت با اتصال معدنی را می‌دهد. از طرفی، با توجه به افزایش جمعیت و تقاضا برای مواد مرکب چوبی، به‌ویژه در کشورهایی مثل ایران که با محدودیت منابع جنگلی مواجه‌اند، لزوم به‌کارگیری سایر منابع لیگنوسولوزی مانند پسماندهای گیاهان کشاورزی و انواع کاغذهای باطله در ساخت این فرآورده‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است.

کارتن کهنه (OCC)^۱ حاوی مقادیر چشمگیری الیاف چوبی است که بی‌هیچ عمل‌آوری خاصی می‌تواند به‌عنوان ماده اولیه مناسب برای تولید صفحات چوب-سیمان و سایر فرآورده‌های مرکب چوبی استفاده شوند. گفتنی است سالانه بیش از هجده میلیون تن انواع مقوای کارتنی در جهان تولید می‌شود [۱]. محققان به بررسی خواص تخته‌های چوب-سیمان سه‌لایه ساخته‌شده از کاغذ باطله و خاک اره پرداختند [۲]. نتایج نشان داد که با افزایش دانسیته تخته‌ها مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته، و پایداری ابعاد افزایش می‌یابد. در مطالعه استفاده از پسماندهای کشاورزی شامل پوسته برنج، پوسته بادام‌زمینی، پوست نارگیل، و باگاس در ساخت پانل‌های سیمانی گزارش شده که صفحات سیمانی ساخته‌شده از پوسته برنج، بادام‌زمینی، و پوست نارگیل عکس‌العمل منفی کمتری بر مقاومت‌های سیمان پرتلند دارند [۳].

وقتی آب و چوب به سیمان افزوده می‌شوند، pH تا ۱۲/۵ افزایش می‌یابد که تجزیه و انحلال اجزای تشکیل‌دهنده چوب به‌ویژه مواد استخراجی را ممکن

می‌کند. این ترکیبات مانع گیرایی و هیدراتاسیون سیمان و باعث کاهش مقاومت فرآورده می‌شود [۴]. به‌همین منظور، تحقیقات گسترده‌ای در جهت استفاده از مواد افزودنی مختلف برای افزایش سازگاری مواد لیگنوسولوزی با سیمان پرتلند انجام شده است [۵، ۶]. اما در سال‌های اخیر، استفاده از نانو ذرات در ساخت مواد با خواص کاربردی جدید، در زمینه‌های مختلف علمی گسترش یافته است. سیلیس از اجزای تشکیل‌دهنده پوزولان‌ها از جمله سیمان پرتلند است که می‌تواند با هیدروکسید کلسیم واکنش داده و ژل سیلیکات کلسیم تولید کند. سرعت واکنش‌های پوزولانیک به سطح واکنش بستگی دارد. بنابراین، افزودن نانوسیلیس با سطح ویژه بالا به سیمان برای بهبود خواص پانل‌های چوب-سیمان امکان‌پذیر است [۷]. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که ذرات نانوسیلیس نه تنها دوستدار محیط زیست‌اند، بلکه نتایج بهتری در مقایسه با میکروسیلیس داشته‌اند [۸].

تحقیق حاضر با توجه به کمبود چوب و پتانسیل‌هایی که از نظر پسماندهای گیاهان کشاورزی و کاغذهای باطله در کشور ما وجود دارد و نیز به‌منظور تولید مصالح ساختمانی با خواص کاربردی مطلوب و هزینه کم صورت گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه خواص کاربردی صفحات چوب-سیمان ساخته‌شده از کارت‌ن کهنه و پوسته برنج و نیز تعیین مقدار بهینه نانوسیلیس در ساخت این پانل‌هاست.

مواد و روش‌ها

از دو نوع ماده لیگنوسولوزی شامل کارت‌ن کهنه و پوسته برنج در ساخت پانل‌های چوب-سیمان استفاده شد. نوع سیمان به‌کاررفته نیز پرتلند نوع ۲ و ساخت کارخانه سیمان آبیگ بود. کارت‌ن کهنه به‌صورت تصادفی از فروشگاه‌های شهر کرج، و پوسته برنج نیز از یکی از کارخانه‌های برنج‌کوبی استان گیلان تهیه شد. کارت‌ن کهنه و پوسته برنج هر یک با استفاده از شبکه ۱/۵ میلی‌متر آسیاب شدند. مواد افزودنی شامل نانوسیلیس

و کلرید کلسیم به ترتیب ساخت کارخانه Plasmachem و Merk آلمان بودند. عوامل متغیر در این بررسی شامل: نوع ماده لیگنوسولوزی در دو سطح (کارتن کهنه و پوسته برنج) و مقدار نانوسیلیس در چهار سطح (۰، ۱، ۲، و ۳ درصد وزنی سیمان) بود.

خصوصیات نانوسیلیس به کاررفته شامل: سطح ویژه: $20 \pm 200 \text{ g/m}^2$ ، قطر ذرات: ۱۴-۷ نانومتر، مقدار SiO_2 : بیش از ۹۹/۸ درصد، دانسیته: ۵۰ g/L، pH در پراکنش ۴ درصد: ۴/۷-۳/۷، رنگ و حالت: سفید و پودری شکل بود.

در ساخت تخته های حاوی کارتن کهنه، کلرید کلسیم به مقدار ۵ درصد وزنی سیمان استفاده شد. آب، نانوسیلیس، و کلرید کلسیم با نسبت های مشخص با دستگاه مخلوطکن Black & Decker ترکیب و به مواد لیگنوسولوزی و سیمان افزوده شدند. سپس کیک به طور یکنواخت داخل قالبی با ابعاد $35 \times 27 \times 4$ سانتی متر ریخته شد و سپس با پرس نوع Burkle LA-۱۶۰ در شرایط سرد به مدت ۱۰ دقیقه در فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تا رسیدن به ضخامت نهایی ۱۲ میلی متر تحت قید فشرده گردید. شایان ذکر است دانسیته کلیه تخته ها

در نظر گرفته شد. پس از پرس، تخته ها به مدت ۲۴ ساعت تحت قید قرار گرفتند. بعد از گیرایی اولیه، به منظور گیرایی نهایی و به حداقل رساندن سرعت خشک شدن، تخته ها در اتاقک مخصوصی با دمای حدود 20°E و رطوبت نسبی بالای ۹۰ درصد به مدت ۲۰ روز نگهداری شدند. پس از این مدت تخته ها کناره بری شدند و به مدت ۲۸ روز در اتاقک کلیما با دمای $20 \pm 1^\circ\text{E}$ و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد قرار گرفتند. سپس نمونه های آزمونی بر اساس استاندارد DIN EN ۶۳۴، ۱ part، ۲ [۹] تهیه و خواص فیزیکی و مکانیکی آنها شامل مقاومت خمشی، مقاومت چسبندگی داخلی، جذب آب، واکنش پذیری ضخامت، و سختی (به روش برینل) اندازه گیری شدند. آزمایشات مکانیکی با استفاده از دستگاه Instron ۴۴۸۶ با سرعت بارگذاری ۱۰ میلی متر در دقیقه انجام گرفت. برای تحلیل و بررسی داده ها از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) و نرم افزار SPSS استفاده شد. گروه بندی میانگین ها نیز با آزمون چنددامنه دانکن (DMRT) انجام شد.

نتیجه

جدول ۱ تجزیه واریانس اثر عوامل متغیر بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ها را نشان می دهد.

جدول ۱. تجزیه واریانس (مقادیر F) اثر عوامل متغیر بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ها

منبع تغییرات	مدول گسیختگی	مدول الاستیسیته	مقاومت برشی موازی سطح	جذب آب پس از ۲ ساعت غوطه وری	جذب آب پس از ۲۴ ساعت غوطه وری	سختی
نوع ماده لیگنوسولوزی	** ۱۰/۶	** ۳۵/۷	ns ۲/۱	** ۴۷/۵	** ۱۹/۹	** ۱۸۱
مقدار نانوسیلیس	ns ۰/۹۹	ns ۰/۸۴	* ۱/۸۵	ns ۱/۰۲	ns ۱/۲۶	** ۷/۵
نوع ماده لیگنوسولوزی * مقدار نانوسیلیس	** ۱۱/۳	* ۲/۷	** ۱۲/۸	ns ۰/۸۶	ns ۰/۵۹	ns ۲/۴

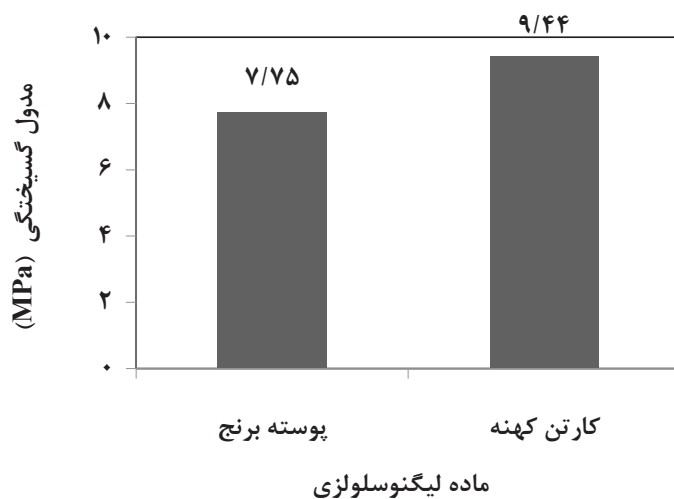
۱ درصد نانوسیلیس با مدول گسیختگی $10/18 \text{ MPa}$ ، و تخته‌های پوسته برنج با ۲ درصد نانوسیلیس و مدول گسیختگی $10/57 \text{ MPa}$ بهترین نتیجه را داشتند.

به علاوه، مدول الاستیسیته تخته‌های ساخته شده از کارتن کهنه $48/26$ درصد بیشتر از تخته‌های ساخته شده از پوسته برنج بود (شکل ۳)؛ ضمن اینکه مقدار نانوسیلیس بر این ویژگی معنی دار نشد (جدول ۱).

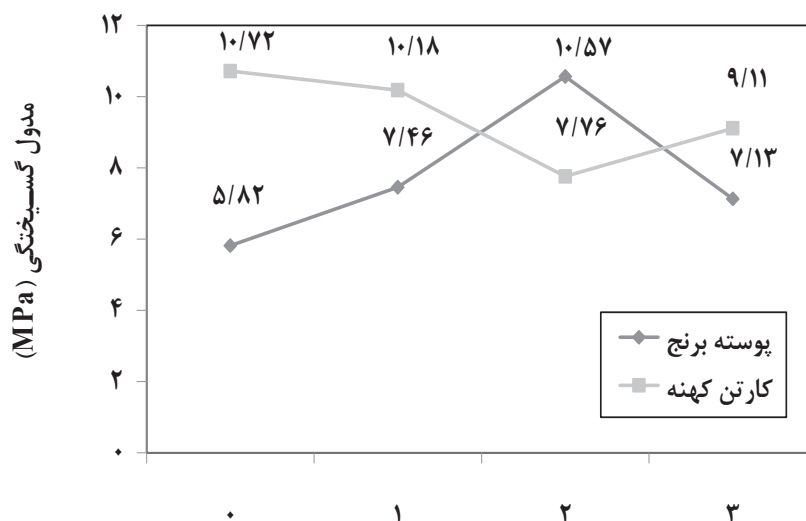
اثر متقابل عوامل متغیر بر مدول الاستیسیته در سطح ۵ درصد معنی دار بود (شکل ۴).

بر اساس نتایج به دست آمده از این بررسی، اثر مستقل نوع ماده لیگنوسولوزی و اثر متقابل هر یک از عوامل متغیر بر مدول گسیختگی در سطح ۱ درصد معنی دار بوده است. تخته‌های ساخته شده از کارتن کهنه به مقدار $21/8$ درصد مدول گسیختگی بیشتری از تخته‌های ساخته شده با پوسته برنج داشتند (شکل ۱).

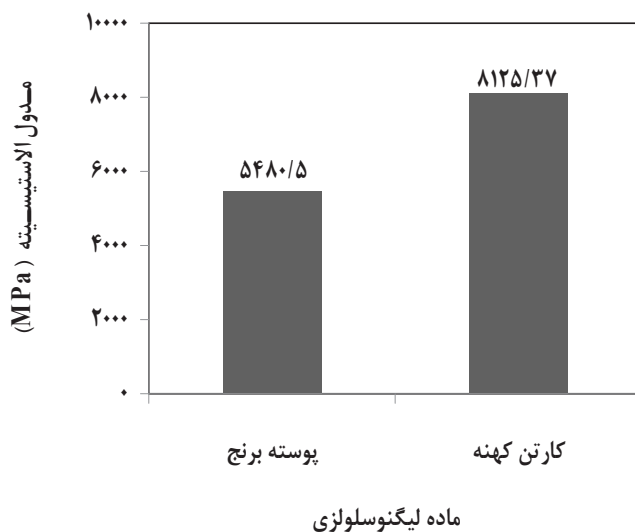
شکل ۲ اثر متقابل عوامل متغیر بر مدول گسیختگی را نشان می‌دهد که در سطح ۱ درصد معنی دار بوده است. در حالت استفاده از نانوسیلیس تخته‌های کارتن کهنه با



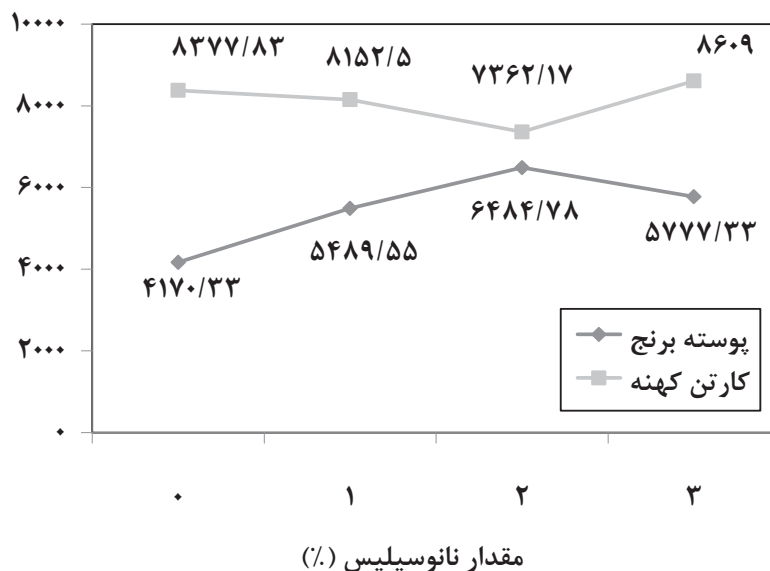
شکل ۱. اثر نوع ماده لیگنوسولوزی بر مدول گسیختگی



شکل ۲. اثر نوع ماده لیگنوسولوزی و مقدار نانوسیلیس بر مدول گسیختگی



شکل ۳. اثر نوع ماده لیگنوسولوزی بر مدول الاستیسیته



شکل ۴. اثر نوع ماده لیگنوسولوزی و مقدار نانوسیلیس بر مدول الاستیسیته

نانوسیلیس در یک گروه قرار گرفته اند.

مقاومت برشی موازی سطح تخته های ساخته شده از پوسته برنج و کارتن کهنه با ۲ درصد نانوسیلیس تقریباً برابر بودند (شکل ۶).

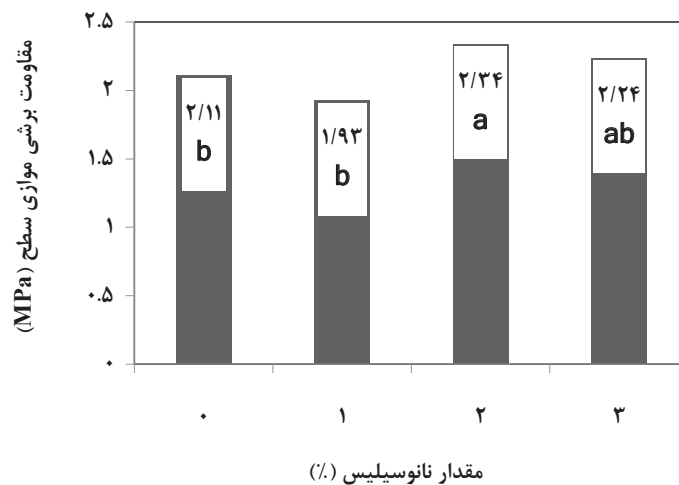
اثر مستقل عوامل متغیر بر سختی تخته های تیمارهای گوناگون و گروه بندی آنها در شکل ۷ آمده است که در سطح ۱ درصد معنی دار بودند. سختی تخته های

مقاومت چسبندگی داخلی نمونه ها به صورت مقاومت برشی موازی سطح اندازه گیری شد. شکل ۵ اثر مستقل مقدار نانوسیلیس را بر مقاومت برشی موازی سطح تخته ها نشان می دهد که در سطح ۵ درصد معنی دار بوده است. تخته های دارای ۲ درصد نانوسیلیس بیشترین مقاومت برشی را به مقدار ۲/۳۴ مگاپاسکال داشتند که با تخته های حاوی ۳ درصد

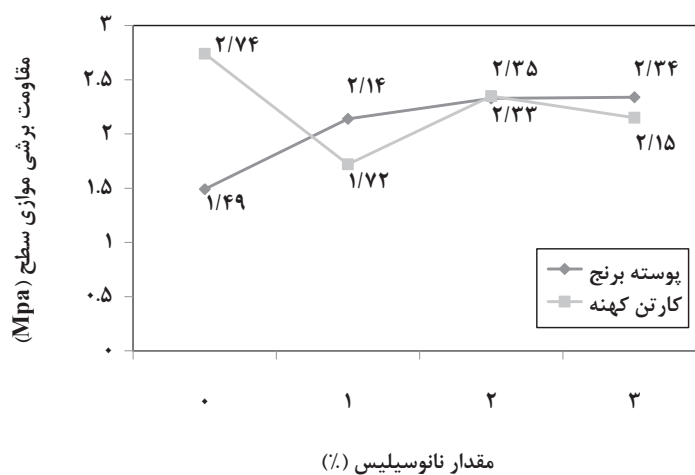
در آب نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، جذب آب تخته‌های کارتن کهنه-سیمان بیشتر از تخته‌های ساخته شده از پوسته برنج-سیمان بوده است. شایان یادآوری است که اثر عوامل متغیر بر واکنش پذیری ضخامت تخته‌ها معنی دار نبود.

ساخته شده از کارتن کهنه تقریباً دو برابر تخته‌های پوسته برنج-سیمان بود و تخته‌های حاوی ۲ درصد نانوسیلیس بیشترین سختی را داشتند.

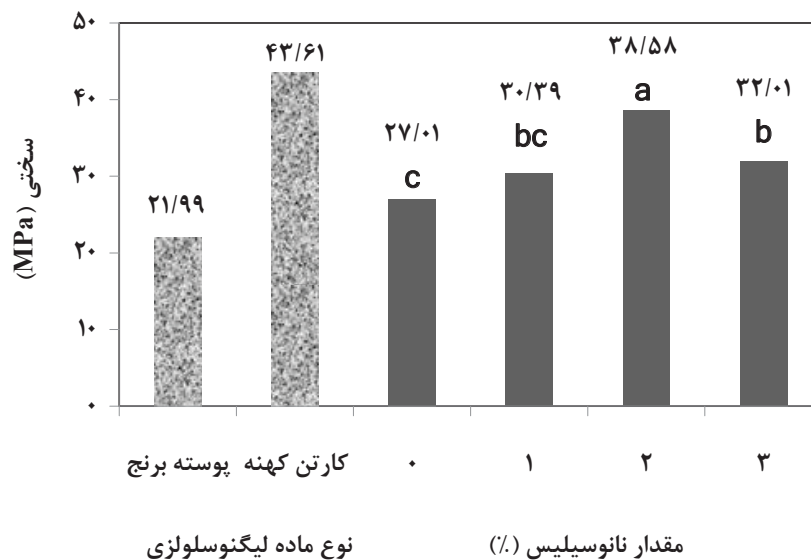
شکل ۸ اثر مستقل نوع ماده لیگنوسولوزی را بر جذب آب تخته‌ها پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری



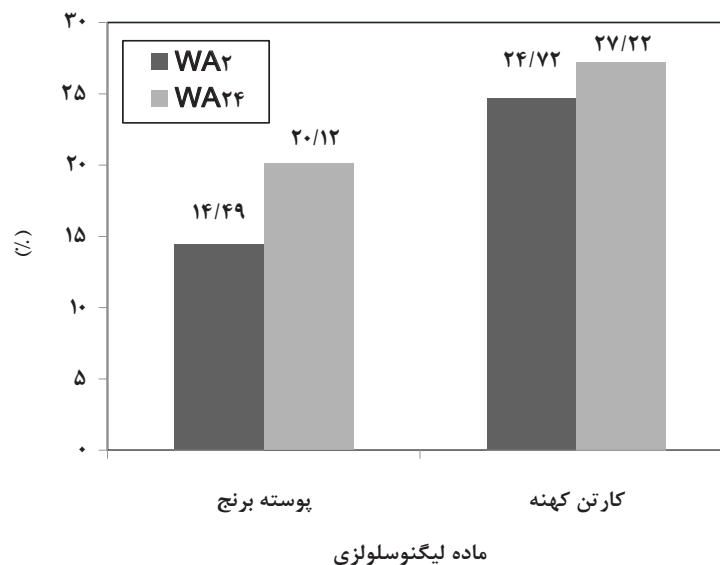
شکل ۵. اثر نانوسیلیس بر مقاومت برشی موازی سطح



شکل ۶. اثر نوع ماده لیگنوسولوزی و مقدار نانوسیلیس بر مقاومت برش موازی سطح



شکل ۷. اثر نوع ماده لیگنوسلولزی و مقدار نانوسیلیس بر سختی



شکل ۸. اثر نوع ماده لیگنوسلولزی بر جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری

مواد استخراجی الیاف کارتن کهنه نشان‌دهنده سازگاری بیشتر این الیاف با سیمان و افزایش حرارت هیدراتاسیون سیمان و بهبود اتصالات آن در مقایسه با پوسته برنج است. محققان در بررسی تأثیر درون‌چوب و برون‌چوب بر درجه حرارت هیدراتاسیون سیمان و مقاومت پانل‌های چوب-سیمان گزارش کرده‌اند که

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مدول‌گسیختگی و مدول‌الاستیسیته در تخته‌های ساخته‌شده از کارتن کهنه بیشتر از پوسته برنج است. در این بررسی مواد استخراجی (قابل حل در آب داغ) موجود در پوسته برنج و کارتن کهنه به ترتیب ۱۱/۰۴ و ۷/۳۱ درصد بودند. کمتر بودن

را تقویت می‌کند [۱۴]. مقاومت برشی موازی سطح در تخته‌های حاوی ۲ درصد نانوسیلیس بیشتر بود. نانوسیلیس به سبب سطح ویژه بالا ($250 \pm 20 \text{ m}^2/\text{g}$) واکنش‌پذیری بالایی دارد و موجب افزایش مقاومت برشی موازی سطح این تخته‌ها می‌شود. افزودن نانوسیلیس باعث کاهش کریستال‌های هیدروکسید کلسیم و بهبود اتصال ذرات چوب با سیمان می‌شود [۱۵]. مقدار سختی در تخته‌های ساخته‌شده از کارتن کهنه با ۲ درصد نانوسیلیس بیش از بقیه تیمارها بوده است. نانوسیلیس به سبب ساختار شبکه‌های سه‌بعدی، سختی و پایداری بالایی دارد؛ حفره‌ها و فضاهای خالی را پر می‌کند و سختی فرآورده را افزایش می‌دهد [۱۶]. تخته‌های ساخته‌شده از پوسته برنج، جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری پایین‌تری در مقایسه با تخته‌های حاوی کارتن کهنه داشتند. به علت حجیم‌بودن الیاف کارتن کهنه، برگشت ضخامت این تخته‌ها پس از پرس باعث افزایش جذب آب آن‌ها شده است. بیشتر بودن مواد معدنی و خاکستر پوسته برنج (۱۸/۵۸ درصد) در مقایسه با کارتن کهنه (۶/۰۲ درصد) نیز ممکن است علت دیگر کاهش جذب آب این تخته‌ها باشد.

حداکثر مقاومت خمشی با ماکزیمم درجه حرارت هیدراتاسیون سیمان رابطه مستقیم دارد [۱۰]. همچنین اثر متقابل عوامل متغیر نشان داد که افزودن نانوسیلیس به تخته‌های ساخته‌شده از پوسته برنج تا ۲ درصد باعث افزایش مقاومت‌های خمشی می‌شود. به نظر می‌رسد واکنش کلرید کلسیم، هیدروکسید کلسیم، و نانوسیلیس، حرارت لازم برای هیدراتاسیون سیمان و تشکیل ژل سلیکات کلسیم (C-S-H) را تأمین کرده و اثر منفی مواد استخراجی را تا حدود زیادی کاهش داده است [۱۱، ۱۲]. در این تخته‌ها با افزایش بیشتر نانوسیلیس تا ۳ درصد مقاومت‌های خمشی کاهش یافته که ممکن است به این علت باشد که مقدار نانوسیلیس بیشتر از مقدار مورد نیاز برای ترکیب با آهک تجزیه‌شده در طول فرایند هیدراتاسیون بوده و باعث کاهش مقاومت‌ها شده است [۱۳]. این در حالی است که در تخته‌های کارتن کهنه-سیمان با ۳ درصد نانو مقاومت‌های خمشی افزایش یافته است. با توجه به حجیم‌بودن الیاف، نانوسیلیس نقش پرکننده را ایفا کرده است. نانوسیلیس نه تنها به عنوان پرکننده باعث بهبود ساختار میکروسکوپی می‌شود، بلکه به عنوان یک فعال‌کننده، واکنش‌های پوزولانی

References

- [1]. Cathie, K., and Guest, D. (2001). Guide to Waste Paper, Translated by Mirshokraei, S. A., Aej press, Tehran.
- [2]. Fuwape, J A. Fabiyi, J S., and Osuntuyi, E O. (2007). Technical assessment of three layered cement-bonded boards produced from wastepaper and sawdust. *Waste Management*, 27 (11): 1611-1616.
- [3]. Aggarwal, L.K., Agrawal, S.P., Thapliyal, P.C., and Karada, S.R. (2008). Cement-bonded composite boards with arhar stalks. *Cement and Concrete Composites*, 30: 44-51.
- [4]. Sandermann, W., and Kohler, R. (1964). Studies on inorganic-bonded wood materials. Part 4: A short test of the aptitudes of woods for cement-bonded materials. *Holzforschung*, 18: 53-59.
- [5]. Zhengtian, L., and Moslemi, A.A. (1985). Influence of chemical additives on the hydration characteristics of western larch wood–cement–water mixtures. *Forest Products Journal*, 35(7): 37-43.
- [6]. Doosthoseini, K., and Yazdi, M. (1996). The effects of chemical additives on the binding quality of Portland cement and aspen particles. *Iranian Journal of Natural Resources*, 48 (1): 47-58.
- [7]. Jo, B.W., Kim, C.H., Tae, G., and Park, J.B. (2007). Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles. *Construction and Building Materials*, 21: 1351-1355.
- [8]. Naji Givi, A., Abdul Rashid, S., Aziz, F.N.A., and Salleh, M.A.M. (2010). Experimental investigation of the size effects of SiO₂ nano-particles on the mechanical properties of binary blended concrete. *Composites: Part B*, 41(8): 673-677.
- [9]. DIN EN standard, NO. 634 (1995). Cement-bonded Particleboards. Specifications- general requirements; German version.
- [10]. Doosthoseini, K. (2007). Wood composite materials manufacturing, applications, University of Tehran press, Tehran.
- [11]. Li, H., Xiao, HG, Yuan, J., and Ou, J. 2003. Microstructure of cement mortar with nano-particles. *Composite. Part B*, 35: 185-189.
- [12]. Li, H., Xiao, H., and Ou, J. (2004). A study on mechanical and pressure-sensitive properties of cement mortar with nanophase materials. *Cement and Concrete Research*, 34(3): 435-438.
- [13]. Naji Givi, A., Abdul Rashid, S., Aziz, F.N.A., and Salleh, M.A.M. (2010). Experimental investigation of the size effects of SiO₂ nano-particles on the mechanical properties of binary blended concrete. *Composites: Part B*, 41(8): 673-677.
- [14]. Ji, T. (2005). Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO₂. *Cement and Concrete Research*, 35(10): 1943-1947.
- [15]. Wan Jo, B.B., Hyum Kim, C., and Hoon Lim. J. (2007). Investigating on the development of powder concrete with nano-SiO₂ particles. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 11(1): 37-42.
- [16]. Jinshu, S., Jianzhang, L., Wenrui, Z., and Derong, Z., (2007). Improvement of wood properties by urea-formaldehyde resin and nano-SiO₂. *Frontiers of Forestry in China*, 2(1): 104-109.