نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۵ شماره ۲، صفحه ۱۵۱-۱۳۸، (۱۳۹۹)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2020.341978.1602
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0913.1399.35.138.71.2.1603.32

کاربرد باگاس در چندسازه پایه گچی تقویت‌شده با نانو ولاستونیت

علی حسن‌پور تیچی[1*]، فرداد گلبابائی[2] و حبیب‌الله خادمی‌اسلام[3]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده شهید هاشمی‌نژاد، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان مازندران، ایران
پست الکترونیک: hasanpoortichi@gmail.com

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

۳- استاد، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۹

چکیده

در این تحقیق به بررسی اثر نانو ولاستونیت بر خواص فیزیکی، مکانیکی و مرفولوژی چندسازه ساخته‌شده از باگاس و گچ پرداخته شد. نسبت اختلاط باگاس به گچ، در سه سطح (۴۰:۶۰، ۳۰:۷۰ و ۲۰:۸۰ درصد) و نانو ولاستونیت در سه سطح صفر، ۳ و ۷ درصد به‌عنوان عوامل متغیر این تحقیق در نظر گرفته شد. ضخامت تخته‌های آزمونی ۱۶ میلی‌متر و دانسیته کیک تمام تخته‌ها به مقدار $1/10 gr/cm^3$ بود. سپس خواص مکانیکی و فیزیکی نمونه‌ها شامل مدول‌گسیختگی، مدول‌الاستیسیته، چسبندگی داخلی، جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری و دانسیته تخته‌ها مطابق استاندارد DIN-EN-۶۳۴ و مقاومت به آتش (درصد کاهش وزن) طبق استاندارد ISO-۱۱۹۲۵ اندازه‌گیری شدند. در این تحقیق برای اندازه‌گیری حرارت هیدراتاسیون از یک ترموکوپل و فلاکس استفاده شد. برای بررسی حد مشترک بین باگاس - گچ و نحوه پراکنش نانو، تصاویر میکروسکوپی (SEM) از سطح شکست نمونه‌ها تهیه شد. نتایج نشان داد که با افزایش باگاس در اختلاط، مدول‌گسیختگی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی کاهش و جذب آب و درصد کاهش وزن تخته‌ها در معرض شعله آتش افزایش یافت. استفاده از نانو ولاستونیت تا سطح ۷ درصد سبب بهبود کلیه خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه گردید. همچنین عکس‌برداری میکروسکوپی (SEM) نشان داد که حد مطلوب نانو ولاستونیت می‌تواند حفره‌های خالی به وجود آمده در اثر هیدراتاسیون گچ را پر کرده و یک ساختار یکنواخت به وجود آورد.

واژه‌های کلیدی: باگاس، چسبندگی داخلی، گچ، نانو ولاستونیت.

مقدمه

استفاده از مصالح سبک (آجر و بلوک) درعین‌حال مستحکم از ملزومات خانه‌سازی صنعتی می‌باشد. فراورده‌های چوبی با اتصال معدنی از قبیل سیمان و گچ می‌تواند این نیاز را برآورده کند. توسعه و پیشرفت پانل‌های چوب گچ در هر کشور به قابلیت در تأمین مواد اولیه مورد نیاز آن، یعنی چوب یا مواد لیگنوسلولزی و مواد معدنی مربوط می‌شود. کشورهای درحال‌توسعه مانند ایران، به دلیل رشد جمعیت و تقاضا برای مواد مرکب چوبی با کمبود منابع جنگلی مواجه‌اند، ازاین‌رو به‌کارگیری سایر منابع لیگنوسلولزی مانند پسماند کشاورزی در ساخت این کامپوزیت‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است (Karade,2010; Rowell, *et al*., 1991). از مزایای استفاده از

پسماند کشاورزی می‌توان به دوره رشد کوتاه، امکان برداشت سالانه، سهولت عمل‌آوری، هزینه پایین آن نسبت به درختان جنگلی و کاهش فشار بر روی قطع درختان جنگلی اشاره کرد (Rowell, *et al*., 1991).

یکی از این پسماندهای کشاورزی، باگاس می‌باشد. باگاس پسماند فیبری و باقیمانده حاصل از فشردن گیاه نی‌شکر و فرایند تولید شکر است. بخشی از باگاس برای تولید گرما و استفاده در فرایند تولید شکر سوزانده می‌شود، بخشی به زمین کشاورزی به‌عنوان کود بازگردانده می‌شود و بخش دیگر برای تولید انواع مختلف فراورده‌های مرکب چوبی به‌کار می‌رود (Karade, 2010).

Hosseinkhani (۲۰۱۴) **در بررسی امکان ساخت تخته چوب گچ با استفاده از ضایعات هرس نخل (خرده چوب و فیبر به‌عنوان تقویت‌کننده)** اعلام نمود که با افزایش الیاف ضایعات هرس نخل مقاومت مکانیکی و فیزیکی نسبت به خرده چوب ضایعات هرس نخل افزایش یافت.

Kamyab و Nazerian (۲۰۱۵) مقایسه‌ای بین خواص تخته‌های چوب گچ تولیدی با دو ماده لیگنوسلولزی حاصل از ضایعات باگاس و کاه گندم انجام دادند. آنان بیان کردند تخته‌هایی که از درصد بالاتری از ذرات باگاس ساخته شدند مقاومت بالاتری داشته‌اند.

Hassanpoortichi و همکاران (۲۰۱۹) اثر نانو ژل ولاستونیت بر خواص فیزیکی، مکانیکی و مورفولوژیکی چندسازه باگاس – سیمان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد با افزایش نانو ولاستونیت، مقاومت مکانیکی و فیزیکی بهبود یافت. Nazerian و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی کاربرد الیاف معدنی بر هیدراتاسیون و خواص تخته فیبر– گچ حاصل از الیاف کنف و باگاس را ارزیابی کرده‌اند. آنان به این نتیجه رسیدند که استفاده از الیاف کنف در مقایسه با الیاف باگاس به دلیل مواد استخراجی کمتر، حرارت هیدراتاسیون بالاتر و مدت زمان هیدراتاسیون کمتری از خود نشان داد.

Nasiri و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی امکان استفاده از الیاف باگاس در ساخت چندسازه فیبر - سیمان پرداختند. آنان در تحقیق خود از دو سطح باگاس (۴ و ۱۰ درصد) و از سیمان نوع ۲ و ۵ با مقادیر مختلفی کلرید کلسیم (۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد وزن خشک سیمان) استفاده کردند. تخته‌هایی که با سیمان پرتلند تیپ ۲، میزان الیاف ۴ درصد و کلریدکلسیم ۷/۵ درصد ساخته شدند بیشترین مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته، چسبندگی داخلی و کمترین واکشیدگی ضخامت را بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب داشتند.

Rangavar و همکاران (a ۲۰۱۶) به ارزیابی **اثر نوع سیمان بر هیدراتاسیون سیمان و خواص چندسازه چوب سیمان ساخته‌شده از ساقه آفتابگردان** پرداختند. عوامل متغیر در تحقیق آنها، نوع سیمان (تیپ ۲ و ۳) و نوع ماده لیگنوسلولزی (ساقه آفتابگردان و صنوبر) بود. آنان به این نتیجه رسیدند که تخته‌های ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۳ دارای مقاومت‌های مکانیکی و خواص فیزیکی (کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت) بهتری در مقایسه با تخته‌های ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۲ بودند. همچنین دریافتند که استفاده از ساقه آفتابگردان در مقایسه با خرده چوب صنوبر باعث کاهش مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی تخته‌ها شد.

Rangavar و همکاران (b ۲۰۱۶) به بررسی اثر نانو ولاستونیت بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب پلاستیک ساخته شده با ساقه آفتابگردان و چوب توسکا پرداختند. مقادیر مورد استفاده نانو ولاستونیت در این تحقیق ۰، ۳ و ۵ درصد بود که استفاده از ۵ درصد نانو ولاستونیت در اختلاط، سبب افزایش مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و پیچ‌خوری شد. همچنین تخته‌هایی که با ۵ درصد نانو ولاستونیت ساخته شدند، جذب آب و واکشیدگی ضخامت کمتری داشتند. Golbabaei و همکاران (۲۰۱۸) امکان استفاده از پسماند گیاهی را در تولید چوب سیمان مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق تخته‌های ساخته شده با کاه برنج، کاه گندم و ساقه پنبه به‌عنوان عوامل متغیر و تخته ساخته شده با خرده چوب صنوبر به‌عنوان شاهد بود. نتایج آنان نشان داد که تخته‌های ساخته شده با خرده چوب صنوبر از مقاومت‌های بالاتری نسبت به سایر تخته‌های برخوردار بودند. با توجه به تصویب طرح تنفس جنگل در کشور و ممنوعیت قطع درختان و همچنین نیاز به مصالح سبک ساختمانی، این تحقیق با هدف ساخت و تولید کامپوزیت‌های

پـایـه گچی از بـاگاس و تعیین مقدار بهینه نانوولاســـتونیت در ساخت این کامپوزیت‌ها انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، باگاس از کارگاه تولیدی شکر، واقع در استان مازندران، شهر بهنمیر جمع‌آوری شد و پس از شستشو با آب گرم، هوا خشک گردید (شکل ۱). گچ و نانو ولاستونیت مورد استفاده در این تحقیق به‌ترتیب از شرکت امید سمنان و شرکت تولید فراورده‌های صنعتی و معدنی ورد (VARD) تهیه شد.

اجزای تشکیل‌دهنده نانو ولاستونیت استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ نشان داده‌شده است. در این پژوهش عوامل متغیر، نسبت باگاس به گچ در سه سطح (۶۰:۴۰، ۷۰:۳۰ و ۸۰:۲۰ درصد) و مقدار نانو ژل ولاستونیت در سه سطح (۰، ۳ و ۷ درصد وزن سیمان) بود. با توجه به عوامل متغیر و ۳ تکرار در هر تیمار به‌طورکلی ۲۷ تخته آزمایشگاهی ساخته شد.

شکل ۱- باگاس مورد استفاده در این تحقیق

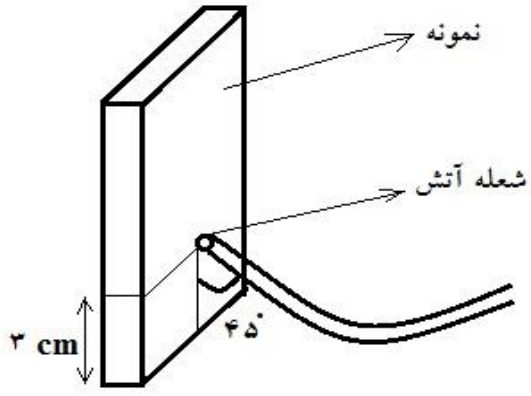
جدول ۱- اجزای تشکیل‌دهنده نانو ژل ولاستونیت
(Taghiyari *et al.*, 2013)

ترکیبات نانو ژل ولاستونیت	نسبت اختلاط (٪)
SiO_2	۴۶/۹۶
CaO	۳۹/۷
Fe_2O_3	۲/۷۹
Al_2O_3	۳/۹۵
TiO_2	۰/۲۲
K_2O	۰/۰۴
MgO	۱/۳۹
Na_2O	۰/۱۶
SO_3	۰/۰۵
آب	۴/۶۷

عوامل ثابت در این تحقیق، دانسیته کیک تخته‌ها (۱/۱۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و ابعاد تخته‌ها (۱۶×۴۰۰×۴۰۰ میلی‌متر) بود. با استفاده از فرمول دانسیته و حجم تخته‌ها، مقدار جرم مواد اولیه در هر تیمار محاسبه شد. سپس با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی نسبت تراشه‌های باگاس، گچ و نانو ولاستونیت مشخص گردید. مقدار آب مورد استفاده ۴۰ درصد وزن خشک گچ بود. ابتدا نانو ولاستونیت با آب مورد نیاز برای ساخت تخته مخلوط و بر روی باگاس پاشیده شد. پس‌ازآن پودر گچ روی تراشه باگاس پاشیده شده و به‌وسیله دستگاه مخلوط‌کن کاملاً مخلوط گردید. در ادامه، کیک حاصل از دستگاه میکسچر به‌طور یکنواخت داخل قالبی فلزی با ابعاد ۴×۴۵×۴۵ سانتیمتر ریخته شد و در زیر پرس

(Burkle- LA۱۶۰) در شرایط سرد (دمای محیط) به مدت ۲۴ ساعت با فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تا رسیدن به ضخامت نهایی ۱۶ میلی‌متر، تحت قید، فشرده گردید. پس از پرس، برای اینکه روند فرایند هیدراتاسیون کامل شود، تخته ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفتند. بعد از گیرایی اولیه، به‌منظور گیرایی نهایی و به حداقل رساندن درصد رطوبت تخته‌ها (۴-۶ درصد) و رسیدن به حداکثر مقاومت، تخته‌ها به مدت ۴ ساعت در آون با دمای حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. پس‌ازاین مدت، تخته‌ها با استفاده از اره گرد کناره‌بری شدند (شکل ۲).

شکل ۲- تخته‌های آزمایشگاهی ساخته شده از باگاس و گچ



شکل ۳- سازوکار دستگاه آزمون آتش

خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها شامل مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته، چسبندگی داخلی، جذب آب، دانسیته و مقاومت به آتش مطابق با استاندارد Part۱,۲، DIN EN – ۶۳۴ تهیه و اندازه‌گیری شد.

تخته استفاده شده برای آزمون مقاومت به آتش مطابق با استاندارد ISO-۱۱۹۲۵ به ابعاد ۱۲×۱۰۰×۱۵۰ میلی‌متر تهیه شد (شکل ۴-الف). این تخته با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی وزن شد و بعد به مدت دو دقیقه در معرض شعله آتش قرار گرفت و پس‌ازآن تخته دوباره وزن شد و درصد کاهش وزن نمونه نسبت به وزن اولیه به‌عنوان میزان مقاومت به آتش در نظر گرفته شد (شکل ۳).

برای اندازه‌گیری حرارت هیدراتاسیون مخلوط باگاس – گچ در این تحقیق و همچنین بررسی اثر مقادیر مختلف نانو ولاستونیت و درصدهای مختلف باگاس بر حرارت هیدراتاسیون گچ و تعیین حداکثر درجه حرارت هیدراتاسیون و زمان آن، از یک فلاکس عایق استفاده شد. ابتدا درصدهای مختلفی از گچ، باگاس و نانو ولاستونیت با آب مخلوط شدند و بعد اختلاط حاصل در داخل ظرف پلی‌اتیلنی و بعد داخل فلاکس عایق قرار داده شد و تغییرات درجه حرارت آن با استفاده از ترموکوپل در فواصل زمانی دو ساعت به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری و ثبت شد. این روش برای کلیه تیمارها مورد استفاده قرار گرفت و اثر هریک بر حرارت هیدراتاسیون بررسی گردید.

آزمایش مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی با استفاده از دستگاه UNIVERSAL آزمایشگاه کارخانه آمل روکش واقع در شهرستان آمل انجام شد (شکل ۴-ب).

شکل ۴- تخته‌های قرار گرفته در معرض آتش (الف) و اندازه‌گیری مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته (ب)

نتایج خواص فیزیکی و مکانیکی با استفاده از نرم‌افزار SPSSتجزیه‌وتحلیل شد. برای این منظور نتایج در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از آزمون آماری فاکتوریل در دو سطح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد بررسی شدند. همچنین مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) انجام شد. برای بررسی اتصال بین تراشه‌های باگاس با گچ و نحوه پراکنش نانو، از عکس‌برداری میکروسکوپی (SEM) استفاده شد. در این تحقیق از دستگاه SEM دانشگاه امیرکبیر برای بررسی ریزساختاری چندسازه باگاس- گچ استفاده شده است.

نتایج

خواص مکانیکی

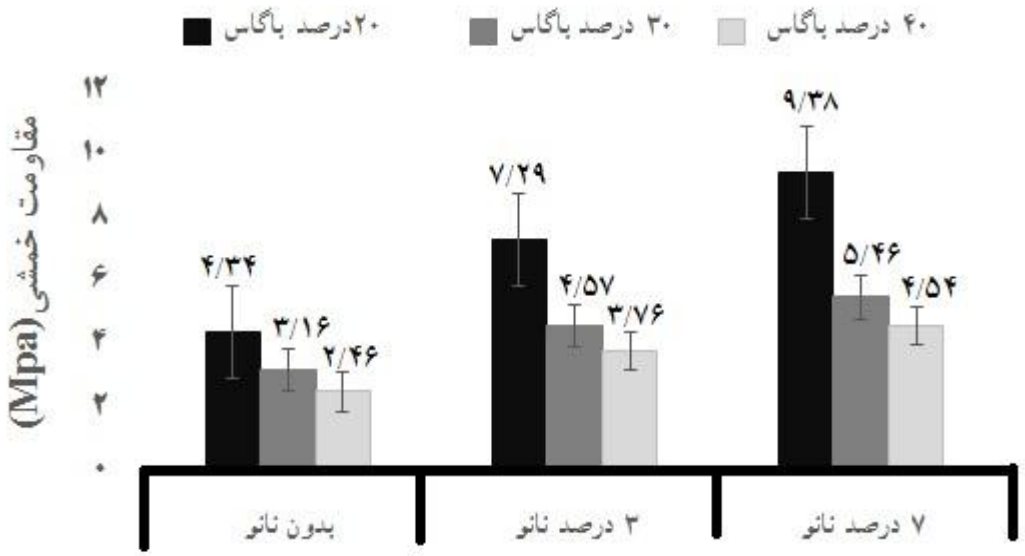
تجزیه واریانس اثر عوامل مستقل و متقابل بر روی مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی نمونه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. بر این اساس، اثر نسبت اختلاط و مقدار نانو ولاستونیت بر خواص مکانیکی در سطح اعتماد ۱ و ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). همان‌طور که در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ مشاهده می‌شود، بیشترین مقاومت مکانیکی مربوط به تخته‌های ساخته شده با ۷٪ نانو ولاستونیت و ۲۰ درصد باگاس با

۸۰٪ گچ است که مقدار آن به‌ترتیب برای مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی برابر ۹/۳۸، ۴۲۳۸ و ۰/۷۹ مگاپاسگال می‌باشد. از سوی دیگر کمترین مقدار مقاومت مکانیکی در تخته‌های ساخته شده با صفر درصد نانو ولاستونیت و ۴۰٪ باگاس با ۶۰٪ گچ مشاهده شد.

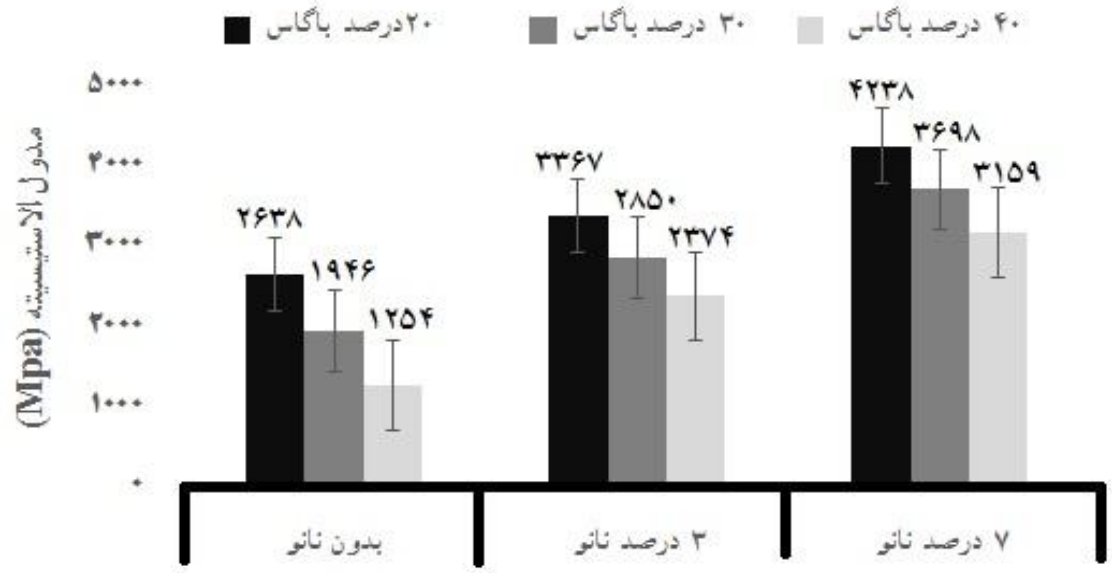
جدول ۲- مقادیر محاسبه شده F برای اثر مستقل و متقابل متغیرها بر خصوصیات مکانیکی تخته

منبع تغییرات	درجه آزادی	مقاومت خمشی (Mpa)	مدول‌الاستیسیته (Mpa)	چسبندگی داخلی (MPa)
نسبت باگاس به گچ	۲	۵۴۲/۰۷**	۵۴/۶۳**	۶۸/۷۴**
مقدار نانو ولاستونیت	۲	۲۴۶/۲۱**	۴۵/۰۱۲**	۲۶/۴۴*
نسبت باگاس به گچ × مقدار نانو ولاستونیت	۴	۵۴/۳۲ **	۳۳/۴۸*	۱۵/۳۹**

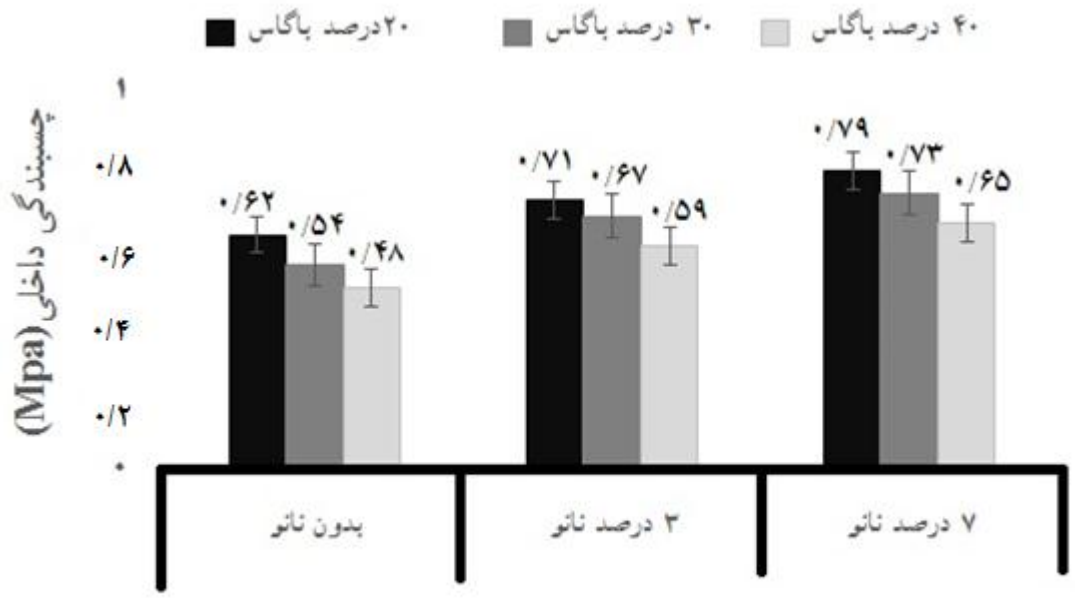
**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، *: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد



شکل ۵- تأثیر متقابل نسبت اختلاط تراشه باگاس، گچ و نانو ولاستونیت بر روی مقاومت خمشی



شکل ۶- تأثیر متقابل نسبت اختلاط تراشه باگاس، گچ و نانو ولاستونیت بر روی مدول‌الاستیسیته



شکل ۷- تأثیر متقابل نسبت اختلاط تراشه باگاس، گچ و نانو ولاستونیت بر روی چسبندگی داخلی

خواص فیزیکی

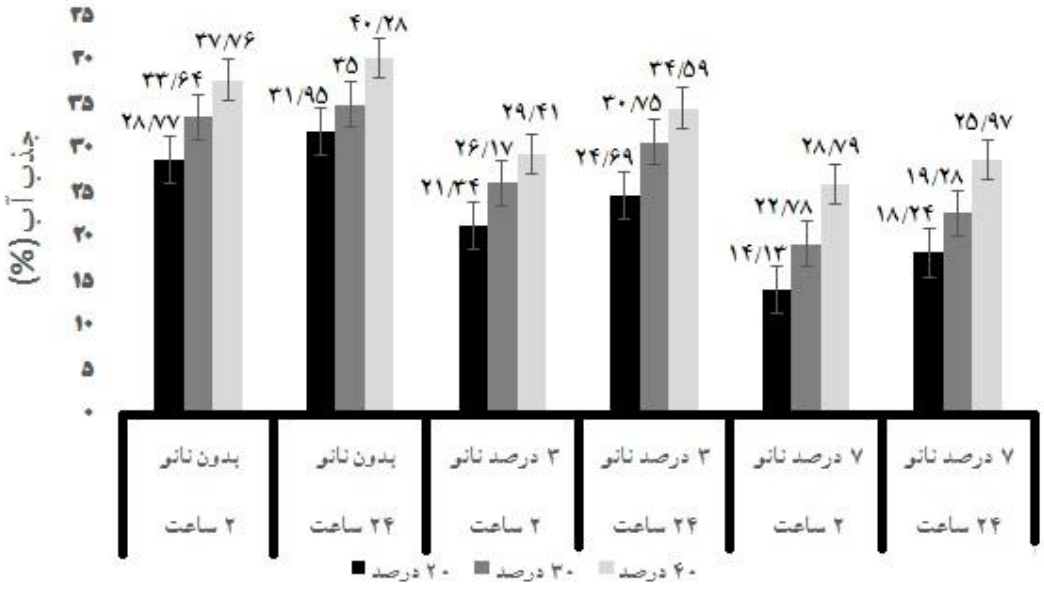
با توجه به جدول ۳، اثر عوامل مستقل و متقابل بر روی جذب آب، دانسیته و درصد کاهش وزن در دو سطح اعتماد ۱ و ۵٪ معنی‌دار است. استفاده از نانو ولاستونیت در اختلاط، سبب بهبود خواص فیزیکی تخته‌ها شد. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، کمترین مقدار جذب آب در هر دو حالت ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به تخته‌های با اختلاط ۲۰ درصد باگاس، ۸۰ درصد گچ با ۷ درصد نانو ولاستونیت می‌باشد. دانسیته تخته‌ها با کاهش باگاس و افزایش نانو ولاستونیت افزایش یافته است. تخته‌های دارای ۷ درصد نانو ولاستونیت و ۲۰ درصد تراشه نیشکر بیشترین دانسیته را به مقدار $1/3 gr/cm^3$ داشته‌اند (شکل ۹).

با افزایش میزان نانو ولاستونیت در اختلاط، مقاومت به آتش تخته‌ها افزایش یافته است، به‌طوری‌که کمترین درصد کاهش وزن در تخته‌های حاوی ۷ درصد نانو ولاستونیت و ۲۰ درصد باگاس با مقدار ۰/۳۲ درصد مشاهده شد. تخته‌هایی که بدون نانو ولاستونیت ساخته شده‌اند، کمترین مقاومت به آتش را از خود نشان داده‌اند (شکل ۱۰).

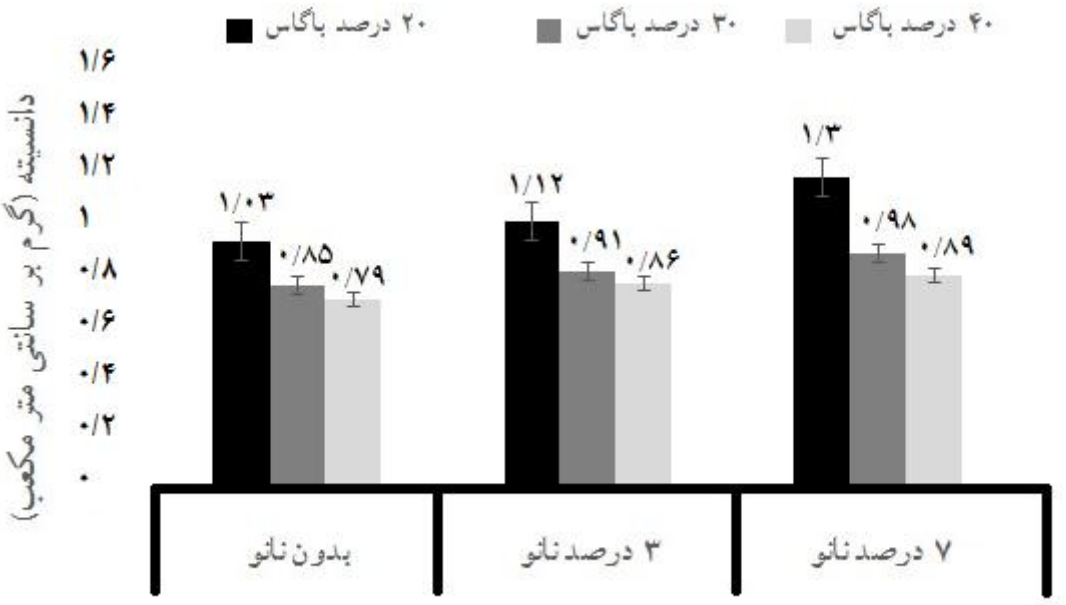
جدول ۳- مقادیر محاسبه شده F برای اثر مستقل و متقابل متغیرها بر خصوصیات فیزیکی تخته

منبع تغییرات	درجه آزادی	جذب آب (%)		دانسیته	کاهش وزن (%)
		۲ ساعت	۲۴ ساعت	gr/cm³	
نسبت باگاس به گچ	۲	۶۳۷/۲۳**	۸۵۶/۴۷**	۸۷/۹۵**	۷۶/۶۴**
مقدار نانو ولاستونیت	۲	۷۲۸/۱۴**	۳۶۷/۳۸**	۱۱۳/۱۹*	۹۴/۲۴*
نسبت باگاس به گچ × مقدار نانو ولاستونیت	۴	۳۴۱/۴۲*	۲۷۲/۹۳*	۴۳/۴۸*	۵۴/۴۳*

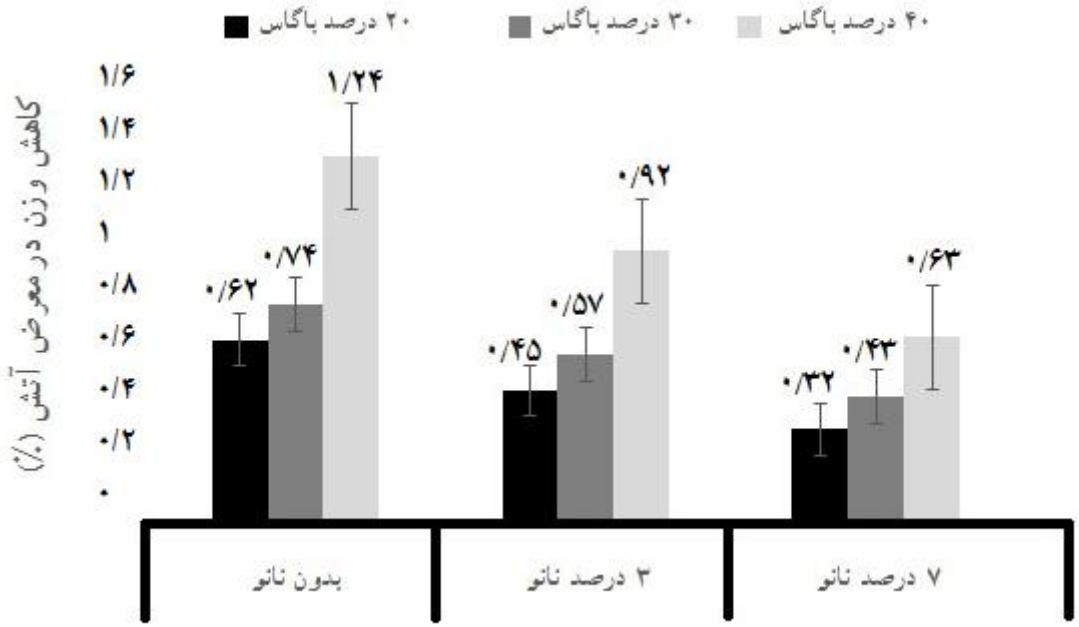
**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، *: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد



شکل ۸- تأثیر متقابل نسبت اختلاط تراشه باگاس، گچ و نانو ولاستونیت بر روی جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت



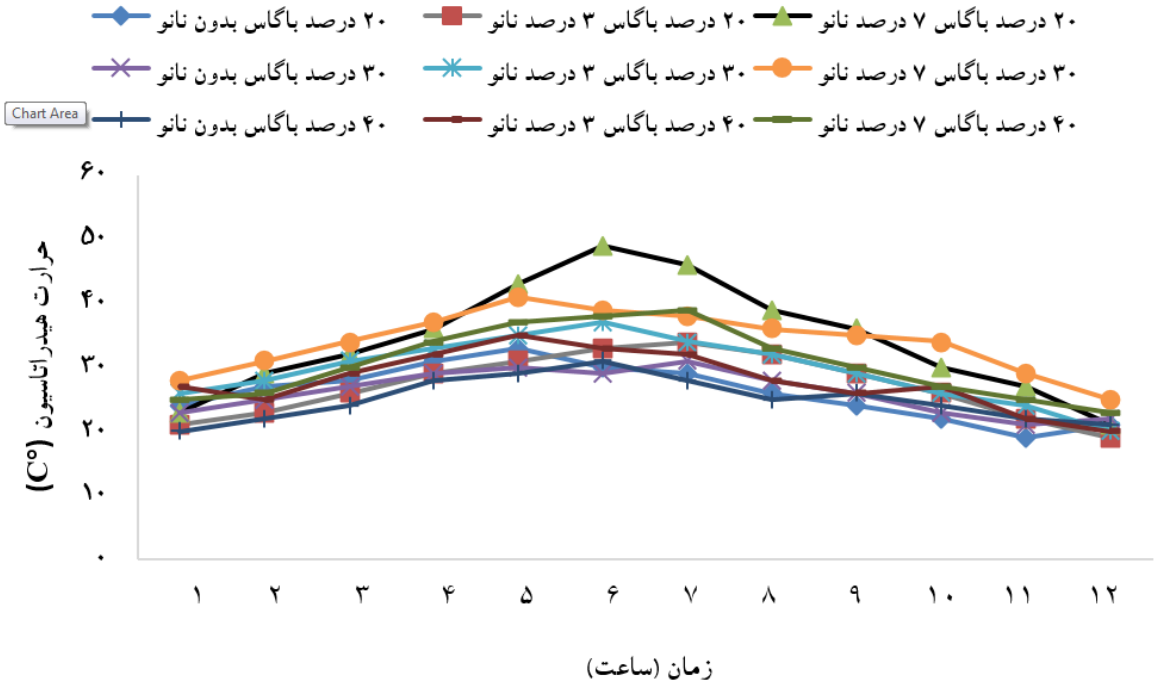
شکل ۹- تأثیر متقابل نسبت اختلاط تراشه باگاس، گچ و نانو ولاستونیت بر روی دانسیته



شکل ۱۰- تأثیر متقابل نسبت اختلاط تراشه باگاس، گچ و نانو ولاستونیت بر روی مقاومت به آتش

اندازه‌گیری حرارت هیدراتاسیون

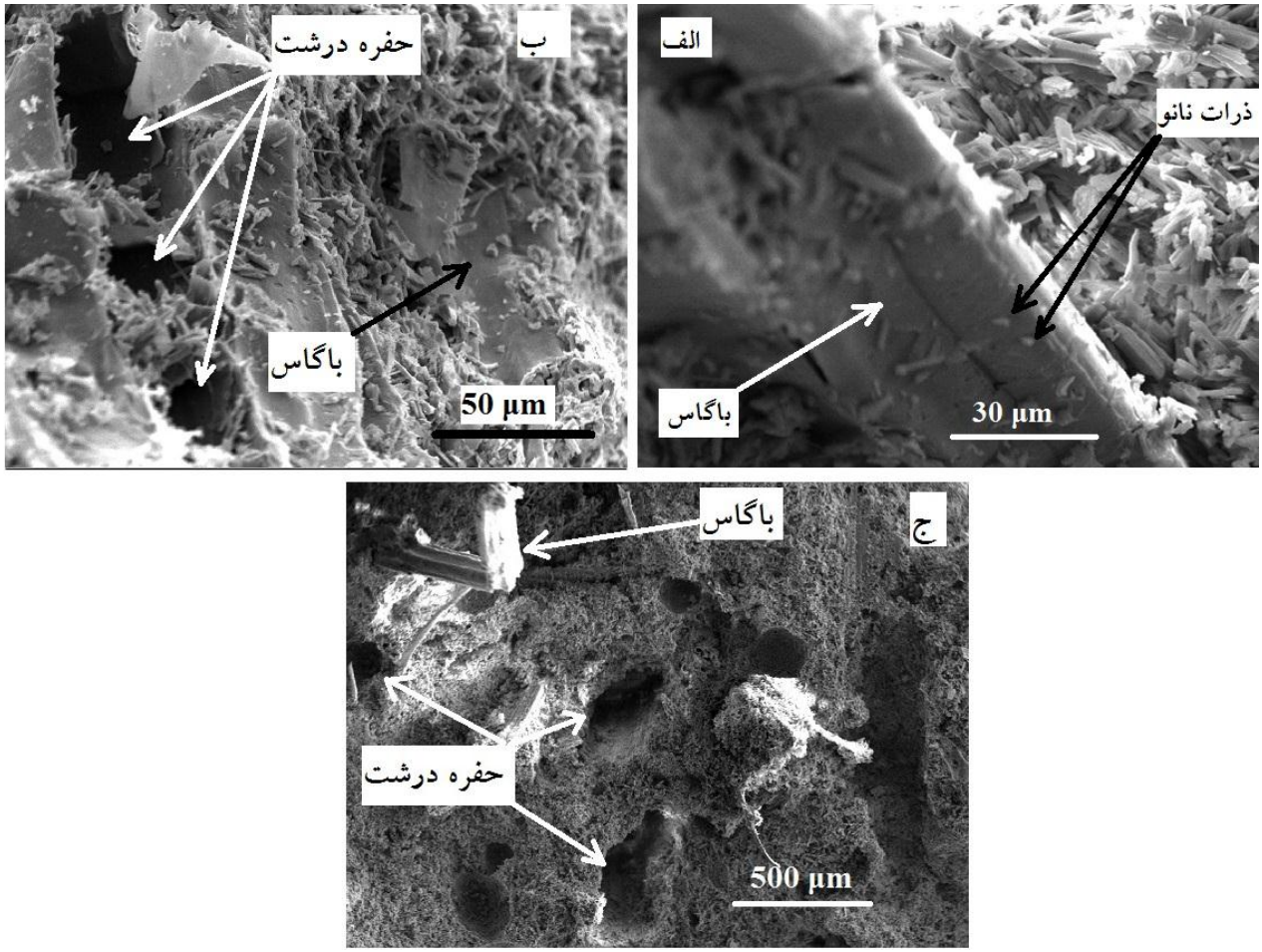
اندازه‌گیری حرارت هیدراتاسیون نشان داد که با افزایش نانو ولاستونیت، حرارت تولید شده از فرایند هیدراتاسیون گچ افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین حرارت تولید شده از فرایند هیدراتاسیون مربوط به تیمار ۷ درصد نانو ولاستونیت با ۲۰ درصد تراشه نیشکر بود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مواد لیگنوسلولزی، درجه حرارت هیدراتاسیون کاهش می‌یابد. کمترین حرارت تولیدشده از فرایند هیدراتاسیون مربوط به تیمار بدون نانو و ۴۰ درصد باگاس بود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- میزان دمای هیدراتاسیون گچ در تیمارهای مختلف

بررسی مورفولوژی چندسازه

برای تعیین نحوه پراکنش نانو و بررسی ریزساختاری از عکس‌برداری میکروسکوپی (SEM) استفاده شد. بر این اساس، مقادیر مختلفی از نانو ولاستونیت را در شکل ۱۲ مشاهده می‌کنید. افزایش نانو تا ۷ درصد، سبب کاهش حفره‌ها در تخته، بهبود چسبندگی بین ذرات باگاس و گچ شده و درنتیجه مقاومت مکانیکی و فیزیکی بهبود یافت. حضور نانو ولاستونیت در تخته‌ها و واکنش آن با کلرید کلسیم و سولفات کلسیم، باعث تولید ژل متراکم کلسیم سیلیکات هیدراته می‌شود (شکل ۱۲- الف). همان‌طور که در شکل ۱۲ الف مشاهده می‌شود نانو ولاستونیت سبب اتصال قوی‌تر و ناگسستنی بین تراشه نیشکر و گچ شده و درنتیجه خلل و فرج بین باگاس و گچ را پر کرده، بنابراین باعث افزایش ثبات ابعادی و دانسیته تخته‌ها گردیده است. در تخته‌هایی که نانو ولاستونیت حضور ندارد، پیوند مناسبی بین باگاس و گچ انجام نشده و حفره‌های درشتی مشاهده شده است (شکل ۱۲-ج).



شکل ۱۲- تصویر میکروسکوپی الکترونی چندسازه پایه گچی با حضور ۷ درصد نانو (الف)، ۳ درصد نانو (ب) و فاقد نانو (ج)

بحث

همان‌طور که در نتایج بالا مشاهده شد با افزایش نانو ولاستونیت، مقاومت مکانیکی و فیزیکی تخته‌ها بهبود یافت. معمولاً پسماندهای کشاورزی مانند باگاس حاوی مواد استخراجی هستند که این مواد از گیرایی سریع گچ می‌کاهند و سبب کاهش مقاومت‌های کامپوزیت می‌شوند. با افزایش نانو ولاستونیت در اختلاط، حرارت هیدراتاسیون دوغاب افزایش یافته و زمان هیدراتاسیون گچ کاهش یافته است؛ درنتیجه چسبندگی بهتری بین تراشه باگاس و گچ حاصل‌شده و مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی افزایش می‌یابد. سیلیس جزء ترکیبات اصلی نانو ولاستونیت می‌باشد و در اثر واکنش شیمیایی با ترکیبات گچ، سبب تشکیل ژل کلسیم سیلیکات هیدراته می‌شود. این ژل از نفوذ یون کلر، سولفات‌ها و مواد شیمیایی مخرب به داخل تخته‌ها جلوگیری می‌کند و سبب افزایش حرارت هیدراتاسیون، سرعت گیرایی گچ و مقاومت مکانیکی می‌گردد (Li *et al.*, 2004).

با افزایش تراشه باگاس در اختلاط، به دلیل میزان سلولز بالا و بافت اسفنجی و متخلخل آن جذب آب تخته‌ها افزایش یافت (Nazerian *et al.*, 2016) . ولی در نقطه مقابل، نانو ولاستونیت به دلیل خاصیت آب‌گریز بودن باعث کاهش جذب آب تخته‌ها گردید (ciullo,1997). همچنین نانو

ولاستونیت به دلیل سطح ویژه بالا، خلل و فرج درون تخته‌ها را پر کرده و مانع نفوذ آب به داخل تخته شد. درنتیجه جذب آب چندسازه کاهش و دانسیته آن افزایش یافت. این نتایج با بررسی‌های انجام شده توسط Hassanpoor Tichi و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

تخته‌هایی که با درصد نانو ولاستونیت بالاتری ساخته شده بودند در مقابل شعله آتش مقاومت بالاتری از خود نشان دادند و درصد کاهش وزن آنها کمتر بود. به دلیل وجود ترکیبات معدنی مانند سیلیس، تیتانیوم، منیزیم، کلسیم و آهن در نانو ولاستونیت، این نانو به‌طور ذاتی مقاومت به آتش بالایی دارد. همچنین به دلیل سرعت حرارتی بالای نانو ولاستونیت، گرما در یک نقطه نگه داشته نمی‌شود و با سرعت به نقطه دیگری که حرارت کمتری دارد، منتقل می‌شود که همین موضوع باعث شده که قابلیت آتش‌گیری تخته‌ها کاهش یابد (Taghiyari *et al.*, 2014). این دلایلی که عنوان شده سبب گردیده است که تخته‌هایی که با مقادیر بالاتری از نانو ولاستونیت ساخته شده‌اند، مقاومت به آتش بالاتری نسبت به تخته‌های فاقد نانو داشته باشند. بنابراین نتایج بالا با نتایج Haghighi Poshtiri و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد.

منابع مورد استفاده

-Ciullo, P.A. 1997. Industrial minerals and their uses. Noyes Publications, Westwood, USA. 640p. URL: https://www.elsevier.com/books/industrial-minerals-and-their-uses/ciullo/978-0-8155-1408-4

-DIN EN standard, NO. 634, 1995. Cement-bonded Particleboards. Specifications- general requirements; German version.

-Golbabaei, F., Salehi, K. and Hajihassani, R., 2018. Use of bagasse in the manufacture of reinforced wood-fiber cement composite. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 34(2): 302-311. (In Persian).

-Hassanpoortichi, A., Bazyar, B., Khademieslam, H., Rangavar, H. and Talaeipour, M., 2015. Effect of nano-wollastonite on microscopic, mechanical and physical properties of cement-wood fibers composite. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 3(4): 567–577. (In Persian).

-Hassanpoortichi, A., Bazyar, B., Khademieslam, H., Rangavar, H. and Talaeipour, M., 2019. Is Wollastonite Capable of Improving the Properties of Wood Fiber-cement Composite? BioResources Journal, 14(3): 6168-6178.

-Haghighi Poshtiri, A., Taghiyari, H. R., and Karimi, A. N. (2013). "The optimum level of nano-wollastonite consumption as fire -retardant in poplar wood (*Populus nigra*)," Int. J. Nano Dimension 4(2), 141-151.

-Hosseinkhani, H., 2014. Gypsum bounded board production reinfoced with Date Palm (Phoenix dactylifera L.) pruning residues fibers. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 30(1): 60–71. (In Persian).

-Karade, S.R., 2010. Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes. Construction and building materials, 24(8): 1323-1330.

-Kamyab, M., and Nazerian, M., 2015. Gypsum-bonded particleboard manufactured from agricultural based material. Forest Science and Practice, 69 (2): 419-432. (In Persian).

-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.

-Nazerian, M., Kamyab, M. and Kermaniyan, H., 2016. Application effect of mineral fibers on hydration and properties of gypsum-bonded fiberboard manufactured from kenaf and bagasse fibers. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 23 (2): 203-228. (In Persian).

-Nasiri, H., Varshoee, A. and Kargarfard, A., 2011. Investigation on the properties of cement-bagasse fiber composite as a structural material, Iranian journal of Wood and Paper Science Research (IJWPR) Article 7, Volume 26, Issue 2 - Serial Number 35, Spring 2011, Page 291-299. (In Persian).

-Rangavar, H., Kargarfard, A. and Hoseiny Fard, M.S., 2016 a. Investigation on Effect of cement types on the cement hydration and properties of wood-cement composites manufactured using sunflower stalk (Helianthus Annuus). Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31 (2), 336 – 348. (In Persian)

-Rangavar, H., Nourbakhsh, A. and Haji Hatamlo, S., 2016 b. The effect of nano-wollastonite on physical and mechanical properties of wood plastic composites made with sunflower stem waste and alder wood. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(4):684-694. (In Persian)

-Rowell, P.M., Youngquist, J.A. and Mcnatt, D., 1991. Agricultural fibers in composition panels. In Proceedings of the 27th International Particleboard Composite Materials Symposium.USA, 9-11 April:

-Taghiyari, H. R., Ghorbanali, M. and Tahir, P. M. D., 2014. Effects of the improvement in thermal conductivity coefficient by nano-wollastonite on physical and mechanical properties in medium-density fiberboard (MDF), BioResources 9(3), 4138-4149.

301-314.

-Taghiyari, H. R., Mobini, K., Sarvari Samadi, Y., Doosti, Z., Karimi, F., Asghari, M., Jahangiri, A. and Nouri, P., 2013. Effects of nano-wollastonite on thermal conductivity coefficient of medium-density fiberboard. Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology. 2(1): 1-5.

Application of bagasse in gypsum board -reinforced with nano-wollastonite

A. Hassanpoor Tichi [1*], F. Golbabaei[2] and H. Khademi Eslam [3]

1* -Corresponding Author, Assistant Prof, Dep. of Wood Science and Engineering, Technical Faculty of No. 2, Mazandaran Branch, Technical and Vocational University (TVU), Sari, Iran, Email: hasanpoortichi@gmail.com
2-M.Sc., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3-Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: Feb., 2020 Accepted: May, 2020

Abstract

In this study, the effect of nano-wollastonite addition on physical, mechanical and morphological properties of composites made of bagasse and gypsum was investigated. The mixing ratio of sugarcane to gypsum slurry was aadjusted at three levels (80:20, 70: 30 and 40: 60%) and nano-wollastonite at three levels of zero, 3 and 7% in the production of composite. . The thickness of the test boards was 16 mm and the density of all boards was constant at 1.10 gr/cm3. Then the mechanical and physical properties of the specimens including modulus of rupture, modulus of elasticity, internal bonding, water absorption after 2 and 24 hour immersion and density of boards were measured according to DIN-EN-634 and fire resistance (weight loss percentage) according to ISO 11925 Thermocouple and a flask were used to measure the hydration heat. Electron Microscopic images (SEM) were obtained from the fracture surface of the specimens to investigate the interface between bagasse-gypsum and nano-. The results showed that with increasing bagasse in the mixture, the modulus of rupture, modulus of elasticity and internal bonding decreased and water absorption and weight loss percentage of boards exposed to fire increased. Application of nano-wollastonite up to 7% improved all mechanical and physical properties of composites. Also, electron microscopic imaging (SEM) showed that at optimum level of nano-wollastonite the voids in gypsum hydration is filled and create a uniform structure.

Keywords: Bagasse, internal bonding, gypsum, nano-wollastonite.