مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۷ شماره ۴، صفحه ۳۰۵-۲۹۳ (۱۴۰۱)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijwpr.2022.358407.1716
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350913.1401.37.4.3.4

اثر ژل نانو فیبر سلولز باکتری بر خواص کاربردی چندسازه باگاس - سیمان

علی حسن‌پور تیچی [۱*] و هادی غلامیان [۲]

[۱*]- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی چوب، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران، پست‌الکترونیک: hasanpoortichi@gmail.com

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۱

چکیده

در این تحقیق، اثر ژل نانو فیبر سلولز- باکتری به‌عنوان تقویت‌کننده بر خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی چندسازه ساخته شده از باگاس و سیمان بررسی شده است. عوامل متغیر درصد نانو که در سه سطح (۰، ۱ و ۳ درصد وزن سیمان)، نسبت ترکیب باگاس به‌عنوان ماده لیگنوسلولزی با سیمان پرتلند در سه سطح (۹۰:۱۰، ۲۰: ۸۰ و ۳۰:۷۰ درصد) برابر وزن خشک سیمان بود. دانسیته هدف ۱/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب و کلرید کلسیم به مقدار ۵ درصد برای تمام تیمارها، به‌عنوان عوامل ثابت در نظر گرفته شدند. خواص مکانیکی و فیزیکی کامپوزیت‌ها شامل مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته، چسبندگی داخلی، واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب و دانسیته تخته‌ها مطابق استاندارد DIN-EN-۶۳۴ اندازه‌گیری شدند. در این تحقیق برای بررسی خواص ریخت‌شناسی چندسازه و نحوه توزیع نانو، از سطح مقطع شکسته شده نمونه‌ها تصاویر میکروسکوپی (SEM) تهیه شد. نتایج نشان داد که تخته‌های ساخته شده با نانو فیبر سلولز، مقاومت‌های خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی بالاتری داشته‌اند. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش نانو، دانسیته، ثبات ابعادی تخته‌ها و حرارت هیدراتاسیون ملات سیمانی افزایش یافت. نتایج حاصل از عکس‌برداری میکروسکوپی (SEM) نشان داد که نانو فیبر سلولز می‌تواند خلل و فرج کامپوزیت را پر کرده و یک ساختار یکنواخت به وجود آورد و درنتیجه سبب بهبود مقاومت‌های تخته شود.

واژه‌های کلیدی: باگاس، دانسیته، مقاومت خمشی، نانو فیبر سلولز.

مقدمه

امروزه استفاده از مواد لیگنوسلولزی در ساخت کامپوزیت‌های سیمانی به دلیل تجدیدپذیر بودن، در دسترس بودن، قیمت پایین، سبکی و خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب، این کامپوزیت‌ها را به کامپوزیت‌های دوستدار محیط‌زیست تبدیل کرده است. این قبیل تخته‌ها کاربردهای گسترده‌ای در کف سازی، پوشش داخلی دیوارها، سقف و پارتیشن دارند. همچنین این کامپوزیت‌ها هنگامی که در معرض آتش قرار می‌گیرند مقاومت بالاتری نسبت به سایر فراورده‌های چوبی مانند تخته خرده چوب و MDF داشته و رنگ‌پذیری بالاتری از خود نشان می‌دهند. پسماندهای کشاورزی و صنایع مبلمان بخش زیادی از مواد لیگنوسلولزی را تولید می‌کنند که بلااستفاده هستند و این موضوع سبب نگرانی‌های زیست‌محیطی شده است. استفاده از این ضایعات در ساخت فراورده‌های چوبی مانند کامپوزیت‌های سیمانی می‌تواند این مشکل را کاهش دهد

(Hassanpoor tichi *et al.*, 2015; Golbabaei, *et al.*, 2017; Rowell, *et al.*, 1991).

تفاله نیشکر یا باگاس یکی از پسماندهای کشاورزی است که امروزه در کامپوزیت‌های معدنی با توجه به قابلیت‌هایی که در کشور ما از لحاظ کاشت این محصول وجود دارد مورد کاربرد قرار گرفته است. یکی از معایب اصلی کامپوزیت‌های سیمانی عدم گیرایی سیمان با مواد لیگنوسلولزی به دلیل وجود مواد استخراجی است. امروزه می‌توان با شستشوی مواد لیگنوسلولزی و همچنین استفاده از نانو این مشکل را تا حد زیادی کاهش داد و به افزایش فرایند گیرایی سیمان به مواد لیگنوسلولزی کمک کرد. ژل نانو سلولز باکتریال با فرمول شیمیایی $(C_5H_{10}O_5)n$ می‌باشد که در کاغذسازی، بسته‌بندی، نساجی، پزشکی، مهندسی پزشکی، داروسازی، آرایشی و بهداشتی، صنایع غذایی، کشاورزی، خودروسازی، ساختمان، ظروف ورزشی، مغناطیسی و الکترونیک، نفت، رنگ و پوشش و هوافضا کاربرد دارد.

Balea و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی استفاده از نانو سلولز در کامپوزیت‌های سیمانی پرداخته‌اند. آنان بیان کرده‌اند که استفاده از نانو سلولز مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی را بهبود می‌بخشد ولی معایب اصلی آن را قیمت بالای این نانو می‌دانند.

Guo و همکاران (۲۰۲۰) اثر نانو کریستال سلولز، نانو فیبر سلولز و نانو سلولز باکتریال را بر روی کامپوزیت‌های سیمانی بررسی کرده‌اند. مطابق با یافته‌های آنان هر سه نوع نانو کریستال سلولز سبب افزایش دانسیته، کاهش جذب آب، تأخیر در هیدراتاسیون سیمان، افزایش درجه هیدراتاسیون، کاهش تخلخل و هم‌کشیدگی، بهبود مقاومت مکانیکی و کاهش نفوذ یون سولفات و کلرید در کامپوزیت شده‌اند.

Mohammadkazemi و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی اثر نانوسلولز باکتریایی بر خواص کامپوزیت‌های فیبر - سیمان را بررسی کرده‌اند. در تحقیق آنان، اثر نانوسلولز باکتریایی در سه سطح (شاهد، پودر و ژل) به‌عنوان تقویت‌کننده و همچنین الیاف باگاس در ۶ و ۷ درصد برای ساخت کامپوزیت را مورد استفاده قرار داده‌اند. آنان به این نتیجه رسیدند که تخته‌های ساخته شده با ژل نانو سلولز مقاومت‌های بالاتری نسبت به نانو پودر سلولز و شاهد داشته‌اند.

Akhlaghi و Bagherpour (۲۰۲۰) به بررسی استفاده از نانو سلولز به‌عنوان تقویت‌کننده کامپوزیت الیاف – سیمان پرداختند.

بدین منظور از نانو سلولز در حالت پودر، ژل و پوشش‌دهنده الیاف پلی‌پروپیلن به‌عنوان تقویت‌کننده در کامپوزیت سیمانی استفاده شد. آنان به این نتیجه رسیده‌اند که بتن‌هایی که از ۰/۵ درصد وزنی پودر نانو الیاف سلولزی ساخته شده‌اند مقاومت خمشی و فشاری بالاتری نسبت به نمونه‌های دیگر داشتند.

Shayestehkia و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی اثر نانو کریستال سلولز بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب سیمان پرداختند. عوامل متغیر در تحقیق آنان درصد نانو در پنج سطح (۰، ۰/۱، ۰/ ۲، ۰/ ۵ و ۱ درصد)، وزن سیمان و همچنین اختلاط خرده چوب با سیمان در سه سطح (۱ به ۳، ۱ به ۵ / ۳ و ۱ به ۴) برابر وزن خشک سیمان بود. آنان به این نتیجه رسیده‌اند که افزایش نانو کریستال سلولز در اختلاط‌ها باعث بهبود مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها شده است.

Shuzhen و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی بیان کردند که کامپوزیت‌های سیمانی ساخته شده از سلولز باکتریایی مقاومت‌های خمشی و فشاری بالاتری داشتند. همچنین سلولز باکتریایی باعث افزایش سرعت تولید ژل سیلیکات کلسیم هیدراته در هنگام هیدراتاسیون سیمان شده است.

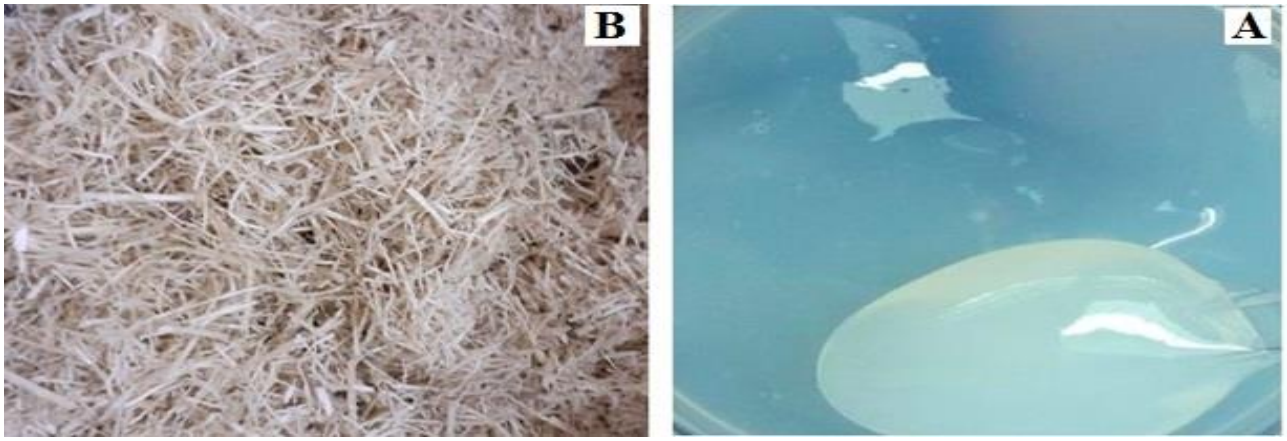
Tengfei و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای بیان کرده‌اند که با افزایش مقدار کم نانو کریستال‌های سلولز در سیمان، درجه هیدراتاسیون و مقاومت خمشی سیمان تا ۲۰ درصد افزایش یافت.

Hassanpoortichi و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای تأثیر نانو ولاستونیت بر روی چندسازه سیمان ساخته شده از الیاف خمیر کرافت را مورد بررسی قرار دادند. آنان به این نتایج رسیدند که مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی با افزایش نانو ولاستونیت در ملات سیمان افزایش یافتند. هدف از این

تحقیق، بررسی اثر نانو سلولز بر خواص کاربردی چندسازه باگاس- سیمان و همچنین تعیین مقدار بهینه نانو سلولز در ساخت این پانل‌هاست.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، باگاس مصرفی از کارگاه نی‌شکر واقع در استان مازندران، شهر بهنمیر جمع‌آوری شد و پس از شستشو با آب گرم، در هوا خشک گردید و توسط یک دستگاه سبزی خردکن به تراشه‌های قابل مصرف تبدیل شد (شکل ۱- A). همچنین نوع سیمان مصرفی از نوع پرتلند ۲ محصول شرکت سیمان آبیک قزوین بود. مواد افزودنی شامل نانو کریستال سلولز از شرکت دانش‌بنیان نانو نوین واقع در دانشگاه منابع طبیعی گرگان به‌صورت سوسپانسیون تهیه شد (شکل ۱-B). ویژگی‌های نانو ژل سلولز در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نانو ژل سلولز (A) و تراشه باگاس (B)

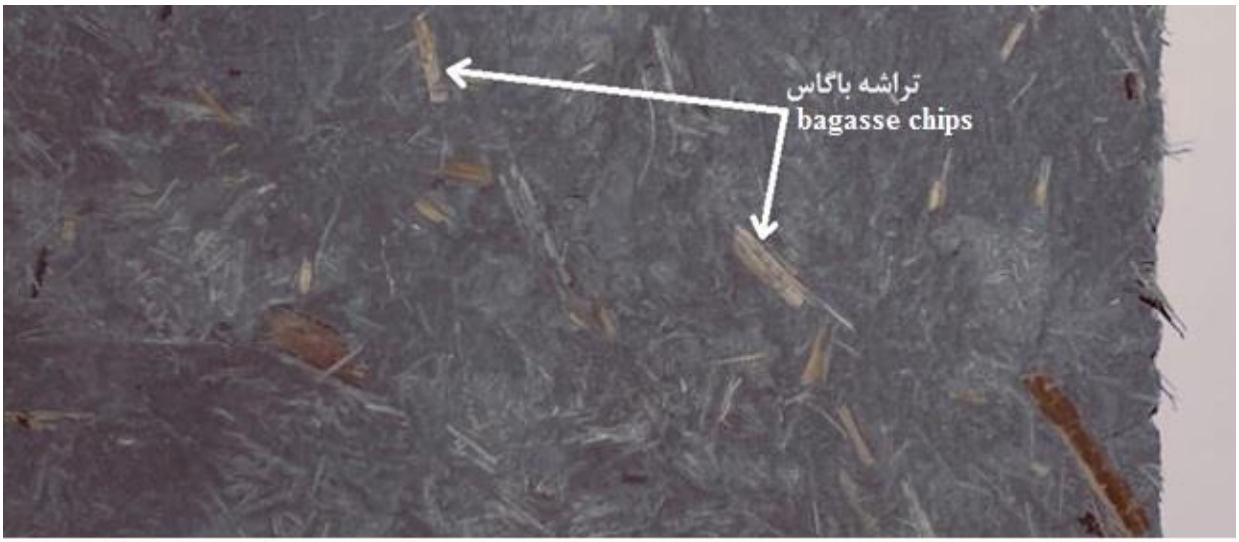
Figure 1. Nano gel cellulose (A) and bagasse chips(B).

جدول ۱- مشخصات و فرمول نانو ژل باکتریال سلولز

Table 1- Properties and formula of cellulose bacterial nano gel

فرمول formula	$(C_5H_{10}O_5)_n$
حالت ماده State of matter	ژل (۱ درصد) Gel (1%)
رنگ Color	سفید White
روش تولید Method of production	سنتز شیمیایی Chemical synthesis
قطر نانو فیبر Nanofiber diameter	متوسط ۴۰ نانومتر Average 40 nanometers
طول نانو فیبر Nanofiber length	۸۰۰ تا ۲۰۰ نانومتر 800 to 200 nanometers
درجه خلوص Degree of purity	≤99%
pH	7
دانسیته Density	15 g/cm^2

عوامل متغیر در این بررسی شامل نسبت تفاله نیشکر به سیمان در سه سطح (۹۰:۱۰، ۸۰: ۲۰ و ۷۰:۳۰ درصد) و مقدار نانو سلولز در سه سطح (۰، ۱ و ۳ درصد وزن سیمان) بود. در مراحل اولیه ساخت تخته‌ها ابتدا یک قالب چوبی به ابعاد ۱۲×۲۷۰×۳۵۰ میلی‌متر ساخته شد و بعد با توجه به دانسیته هدف (۱/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب) مقدار جرم مواد اولیه در هر تیمار محاسبه شد. در مرحله بعد با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی، نسبت آب، نانو ژل سلولز و کلرید کلسیم مشخص شد و پس از ترکیب کردن آنها در دستگاه مخلوط‌کن، این مواد به تفاله نیشکر و سیمان که از قبل نسبت وزنی آنها مشخص شده بود افزوده شدند. در ادامه، ملات حاصل از دستگاه مخلوط‌کن به‌طور یکنواخت داخل قالبی فلزی با ابعاد ۴×۲۷×۳۵ سانتیمتر ریخته شد و در زیر پرس (Burkle- LA ۱۶۰) تحت شرایط سرد به مدت ۱۰ دقیقه با فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تا رسیدن به ضخامت نهایی ۱۲ میلی‌متر، تحت قید فشرده گردید. بعد آن، تخته‌ها به مدت ۲۴ ساعت تحت قید قرار گرفتند. برای گیرایی نهایی و به حداقل رساندن سرعت خشک شدن، تخته‌ها در اتاقک مخصوصی با دمای حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بالای ۹۰ درصد به مدت ۲۰ روز نگه‌داری شدند. پس‌ازاین مدت تخته‌ها با استفاده از اره گرد کناره‌بری شدند و به‌مدت ۲۸ روز در اتاق کلیماتیزه با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار گرفتند (شکل ۳).



شکل ۳- تخته‌های سیمانی ساخته شده از تراشه باگاس

Figure 3. Cement boards made of bagasse chips

سپس، نمونه‌های آزمونی بر اساس استاندارد Part۱,۲ DIN EN-۶۳۴، تهیه و خواص فیزیکی و مکانیکی آنها شامل مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته، چسبندگی داخلی، واکشیدگی ضخامت و دانسیته اندازه‌گیری شدند.

آزمایش مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی با استفاده از دستگاه UNIVERSAL آزمایشگاه کارخانه آمل روکش واقع در شهرستان آمل با سرعت بارگذاری ۱۰ میلی‌متر در دقیقه انجام شد. در این تحقیق برای اندازه‌گیری حداکثر درجه حرارت و زمان هیدراتاسیون تیمارها از یک فلاسک عایق استفاده شد. ابتدا درصدهای مختلفی از سیمان، تراشه باگاس و نانو با آب مخلوط شدند و آنگاه ملات در داخل ظرف پلی‌اتیلنی و بعد در داخل فلاسک 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 هر یک بر حرارت هیدراتاسیون بررسی شد. برای بررسی و مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه در قالب طرح کاملاً تصادفی از نرم‌افزار SPSS در سطح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد استفاده شد؛ همچنین گروه‌بندی میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه دانکن (DMRT) انجام شد. در جدول ۲ علائم اختصاری تیمارها و توضیحات آن ذکر شده است.

جدول ۲- علائم اختصاری و توضیحات

Table 2 - Abbreviations and descriptions

شماره تیمار Treatment number	علائم اختصاری Abbreviations	توضیحات Descriptions
1	N 0% + C 90% + B 10%	بدون نانو + ۹۰ درصد سیمان + ۱۰ درصد باگاس No nano + Cement 90% + bagasse 10%
2	N 0% + C 80% + B 20%	بدون نانو + ۸۰ درصد سیمان + ۲۰ درصد باگاس No nano + Cement 80% + bagasse 20%
3	N 0% + C 70% + B 30%	بدون نانو + ۹۰ درصد سیمان + ۳۰ درصد باگاس No nano + Cement 70% + bagasse 30%
4	N 1% + C 90% + B 10%	۱ درصد نانو + ۹۰ درصد سیمان + ۱۰ درصد باگاس Nano 1% + Cement 90% + bagasse 10%
5	N 1% + C 80% + B 20%	۱ درصد نانو + ۸۰ درصد سیمان + ۲۰ درصد باگاس Nano 1% + Cement 80% + bagasse 20%
6	N 1% + C 70% + B 30%	۱ درصد نانو + ۷۰ درصد سیمان + ۳۰ درصد باگاس Nano 1% + Cement 70% + bagasse 30%
7	N 3% + C 90% + B 10%	۳ درصد نانو + ۹۰ درصد سیمان + ۱۰ درصد باگاس Nano 3% + Cement 90% + bagasse 10%
8	N 3% + C 80% + B 20%	۳ درصد نانو + ۸۰ درصد سیمان + ۲۰ درصد باگاس Nano 3% + Cement 80% + bagasse 20%
9	N 3% + C 70% + B 30%	۳ درصد نانو + ۷۰ درصد سیمان + ۳۰ درصد باگاس Nano 3% + Cement 70% + bagasse 30%

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای بررسی عکس‌برداری میکروسکوپی (SEM)، ابتدا نمونه‌ها به ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر برش داده شدند، سپس در مرحله بعدی نمونه‌ها با گردی از طلا پوشانده شد و تصویربرداری از آنها به کمک میکروسکوپ الکترونی انجام گردید. در این تحقیق از دستگاه SEM دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل مدل SNE- 4500M شرکت SEC کشور کره جنوبی استفاده شده است.

نتایج

خواص مکانیکی

اثر عوامل مستقل و متقابل بر روی مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی نمونه‌ها در سطح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۴، ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار مقاومت مکانیکی مربوط به تخته‌های ساخته شده با ۳٪ نانو ژل سلولز و ۱۰٪ تفاله نیشکر با ۹۰٪ سیمان است که مقدار آن به‌ترتیب برای مقاومت خمشی،

مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی برابر ۱۳، ۴۹۰۰ و ۲/۶ مگاپاسگال می‌باشد. کمترین مقدار مقاومت مکانیکی در تخته‌های فاقد نانو و ۳۰٪ باگاس با ۷۰٪ سیمان مشاهده شد.

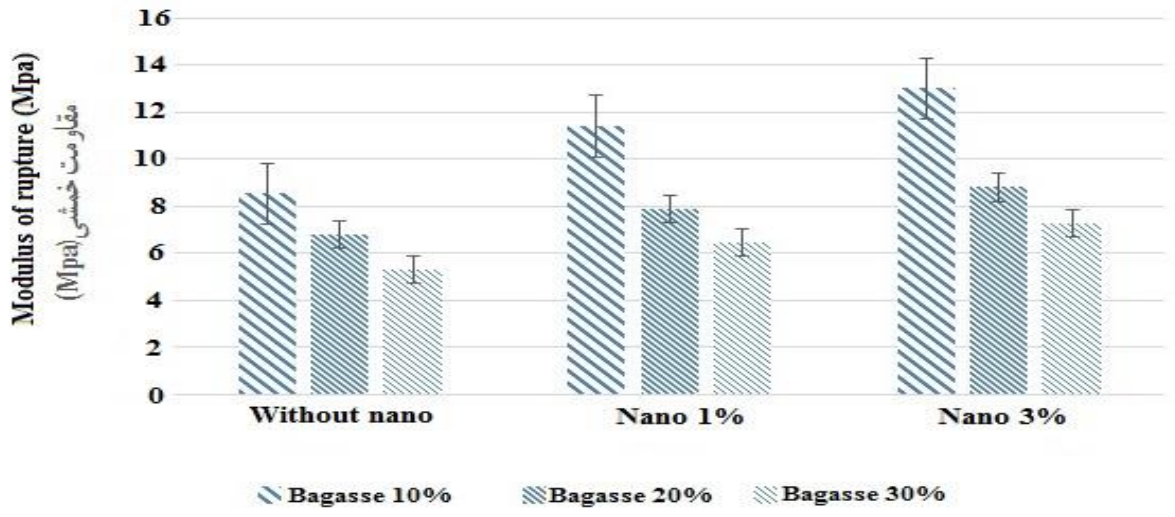
جدول ۳- مقادیر محاسبه شده F برای اثر مستقل و متقابل متغیرها بر خصوصیات مکانیکی تخته

Table 2- Calculated amounts of "f" for the independent and interaction effect of variables on the mechanical properties of the board

منبع تغییرات The source of the changes	درجه آزادی Degree of freedom	مقاومت خمشی (مگاپاسکال) Modulus of rupture (Mpa)	مدول‌الاستیسیته (مگاپاسکال) Modulus of elasticity (Mpa)	چسبندگی داخلی (مگاپاسکال) Internal bonding (Mpa)
نسبت باگاس به سیمان Ratio of bagasse to cement	2	1347.14**	748.47**	427.89**
مقدار نانو ژل سلولز The amount of nano gel cellulose	2	534.21**	1987.37*	74.43**
نسبت باگاس به سیمان × مقدار نانو ژل سلولز Ratio of bagasse to cement × The amount of nano gel cellulose	4	** 62.72	178.46**	37.69*

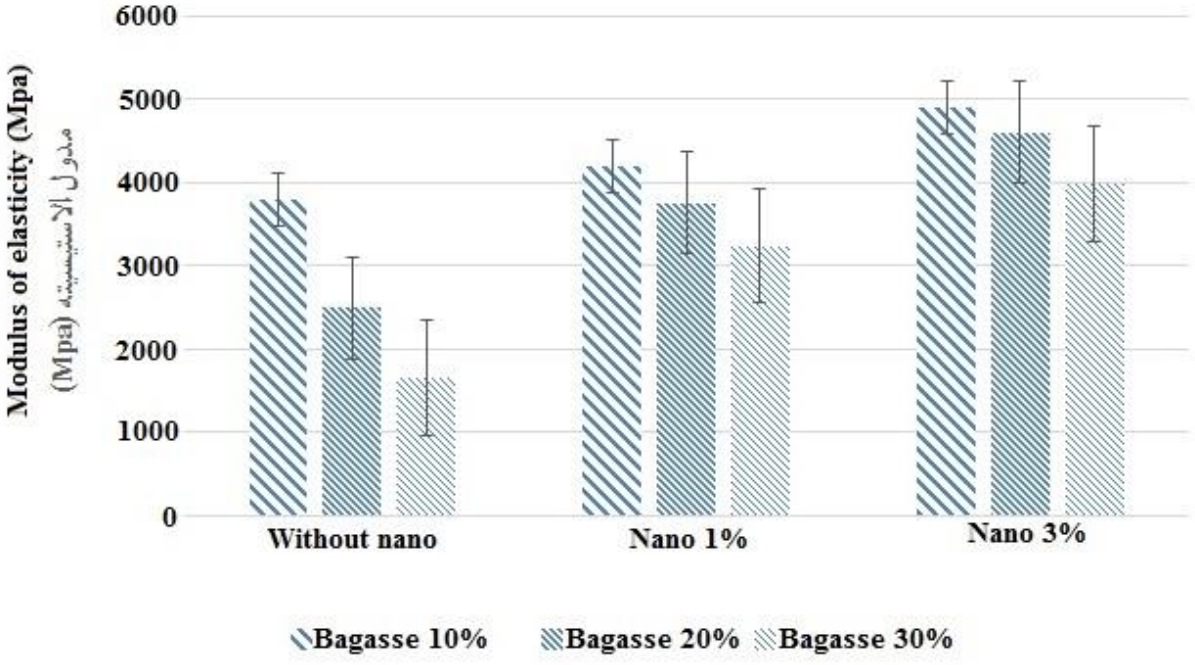
**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، *: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

**: Significant at 99% confidence level, *: Significant at 95% confidence level



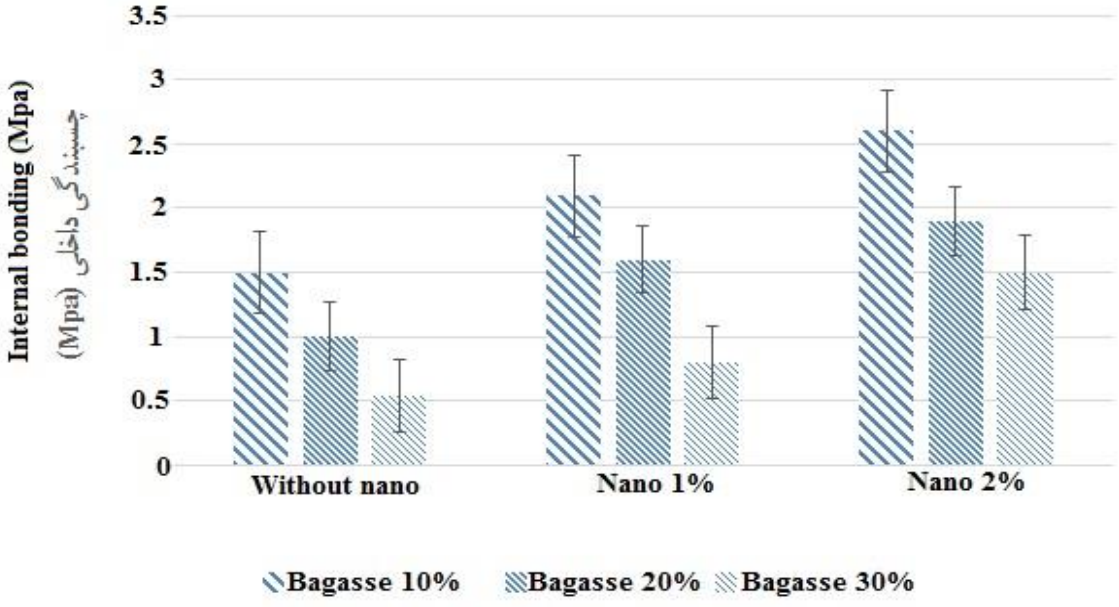
شکل ۴- تأثیر متقابل نسبت اختلاط باگاس، سیمان و نانو ژل سلولز بر روی مقاومت خمشی

Figure 4. Interaction of bagasse mix ratio, cement and cellulose nano gel on modulus of rupture



شکل ۵- تأثیر متقابل نسبت اختلاط باگاس، سیمان و نانو ژل سلولز بر روی مدول‌الاستیسیته

Figure 5. Interaction of bagasse mix ratio, cement and cellulose nano gel on modulus of elasticity



شکل ۶- تأثیر متقابل نسبت اختلاط باگاس، سیمان و نانو ژل سلولز بر روی چسبندگی داخلی

Figure 6. Interaction of bagasse mix ratio, cement and cellulose nano gel on internal bonding

خواص فیزیکی

در جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل مستقل و متقابل بر روی واکشیدگی ضخامت و دانسیته تخته‌ها نشان داده شده است. کمترین مقدار واکشیدگی ضخامت در تخته‌های با اختلاط ۱۰ درصد باگاس، ۹۰ درصد سیمان با ۳ درصد نانو سلولز مشاهده شده است (شکل ۷). در ارتباط با دانسیته تخته‌ها با افزایش نانو ژل سلولز از ۰٪ به ۳٪ افزایش یافته است. تخته‌های دارای ۳ درصد نانو سلولز و ۱۰ درصد باگاس، بیشترین دانسیته را به مقدار ۱/۳۸ gr/cm^3 داشته‌اند (شکل ۸).

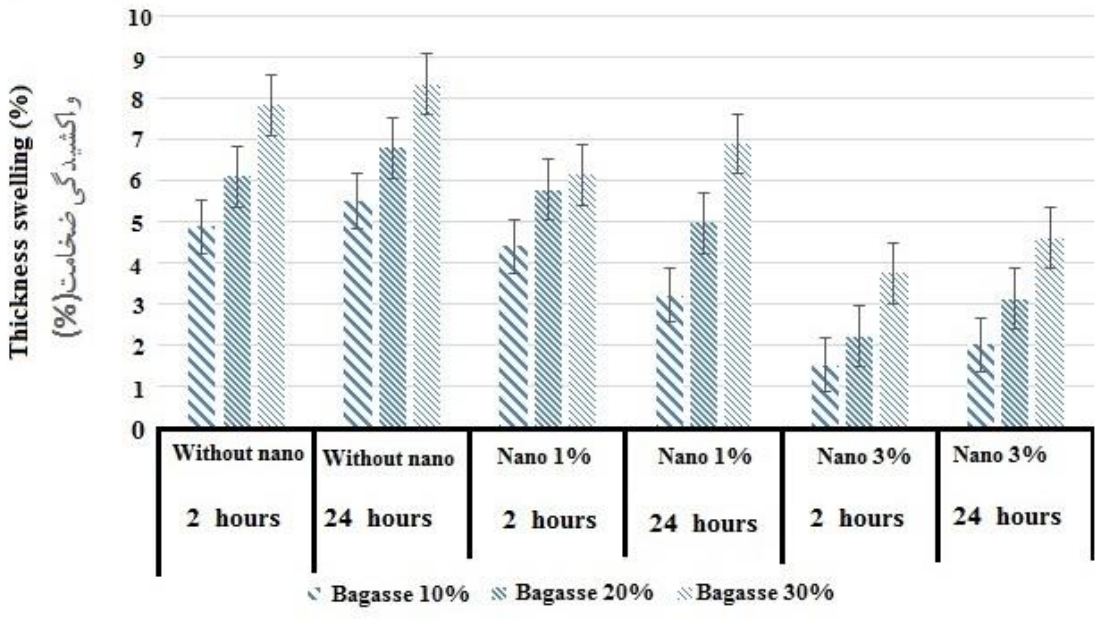
جدول ۳- مقادیر محاسبه شده F برای اثر مستقل و متقابل متغیرها بر خصوصیات فیزیکی تخته

Table 3- Calculated amounts of "F" for the independent and interaction effect of variables on the mechanical properties of the board

منبع تغییرات The source of the changes	درجه آزادی Degree of freedom	واکشیدگی ضخامت (%) Thickness swelling (%)		دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Density (gr/cm^3)
		۲ ساعت 2 hours	۲۴ ساعت 24 hours	
نسبت باگاس به سیمان Ratio of bagasse to cement	2	673.47**	841.35**	217.34**
مقدار نانو ژل سلولز The amount of nano gel cellulose	2	758.27**	514.71**	72.41*
نسبت باگاس به سیمان × مقدار نانو سلولز Ratio of bagasse to cement × The amount of nano gel cellulose	4	432.78**	257.84**	41.52^{ns}

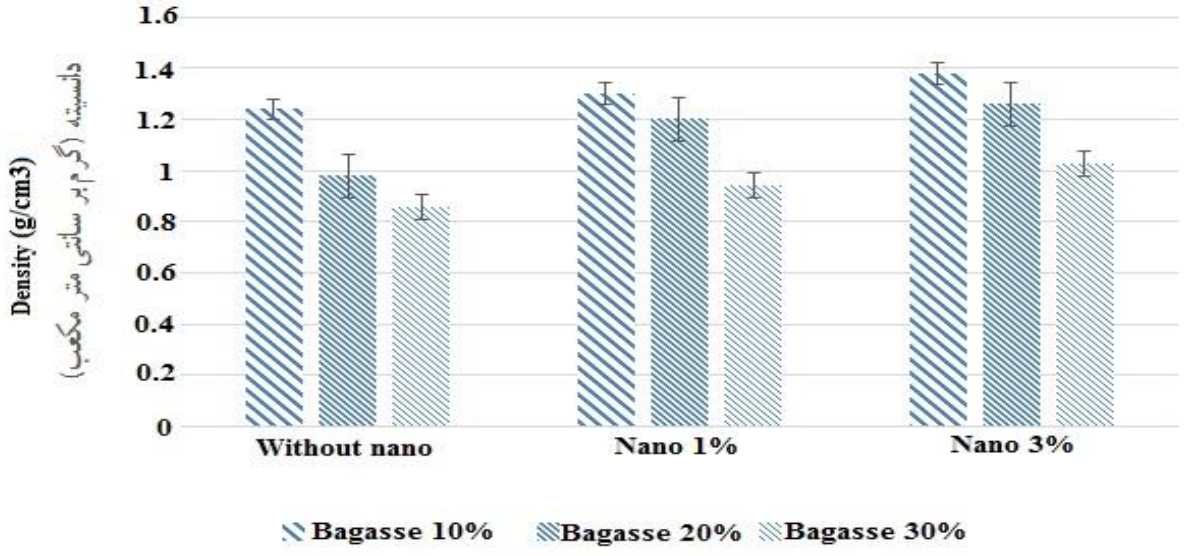
**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، *: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری

**: Significant at 99% confidence level, *: Significant at 95% confidence level ns: Lack of meaning



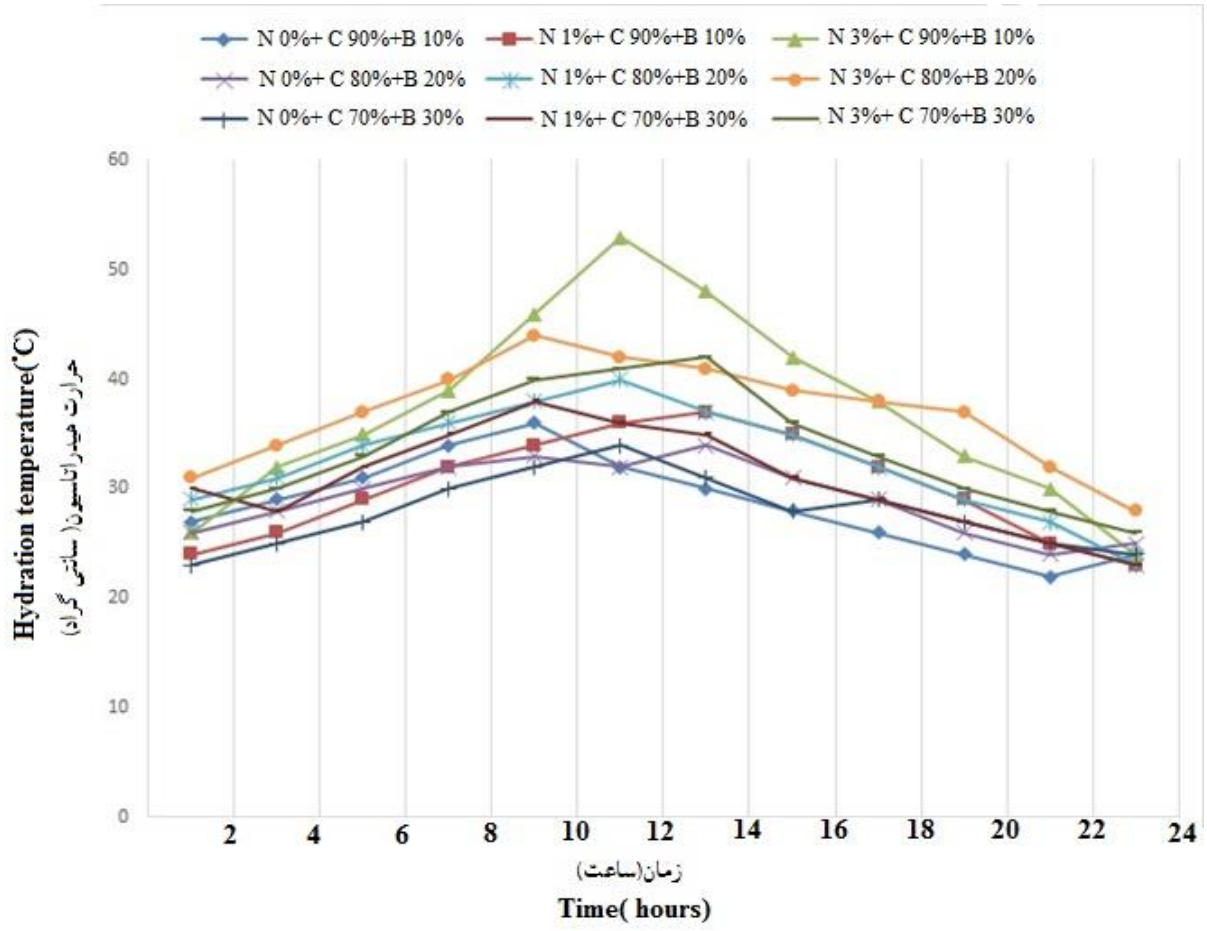
شکل ۷- تأثیر متقابل نسبت اختلاط باگاس، سیمان و نانو سلولز بر روی واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت

Figure 7. Interaction of bagasse mix ratio, cement and cellulose nano gel on thickness swelling after 2 h and 24 h immersion in water



شکل ۸- تأثیر متقابل نسبت اختلاط باگاس، سیمان و نانو سلولز بر روی دانسیته

Figure 8. Interaction of bagasse mix ratio, cement and cellulose nano gel on density

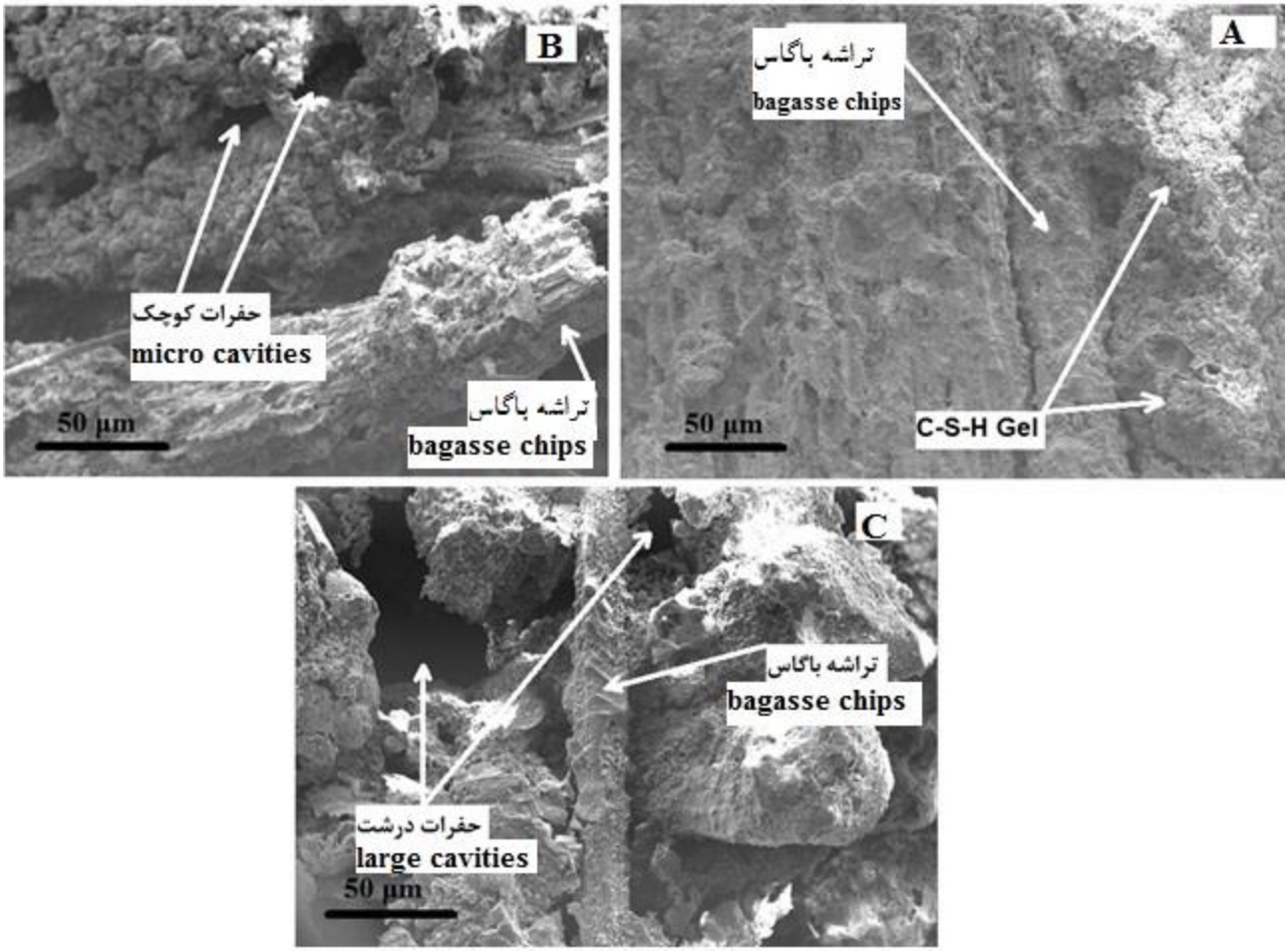


شکل ۹- میزان دمای هیدراتاسیون سیمان در تیمارهای مختلف

Figure 9. Cement hydration temperature in different treatments

اندازه‌گیری حرارت هیدراتاسیون ملات سیمان، باگاس و نانو سلولز

اندازه‌گیری حرارت هیدرتاسیون نشان داد که با افزایش نانو ژل سلولز حرارت تولید شده از فرایند هیدراتاسیون سیمان افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین حرارت تولید شده از فرایند هیدرتاسیون سیمان مربوط به ملات ۵ درصد نانو ژل سلولز با ۱۰ درصد تراشه باگاس بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش تراشه باگاس درجه حرارت هیدراتاسیون کاهش یافت. کمترین حرارت تولید شده از ملات حاوی ۳۰ درصد تراشه باگاس بود (شکل ۹).



شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپی از سطح شکست، A: تخته‌های حاوی ۳ درصد نانو سلولز، B: تخته‌های حاوی ۱ درصد نانو، C: تخته‌های فاقد نانو سلولز

Figure 10. Microscopic images of refractive surfaces, A: Boards containing 3% nano cellulose, B: Boards containing 1% nano cellulose C; Boards without- nano cellulose (c).

بررسی میکروسکوپی

عکس‌برداری میکروسکوپی (SEM) از سطح شکست تخته‌ها برای بررسی مرفولوژی استفاده شده است. در شکل ۱۰ مقادیر مختلفی از نانو ژل سلولز را در تخته‌ها مشاهده می کنید. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده شده است، افزایش نانو سلولز از صفر به ۳ درصد سبب بهبود چسبندگی بین

باگاس و سیمان می‌گردد که می‌تواند به مقاومت مکانیکی و فیزیکی بالاتر تخته‌ها منجر شود. حضور نانو سلولز در تخته‌ها و واکنش این نانو با هیدروکسید کلسیم، سبب تولید زیاد ژل متراکم کلسیم سیلیکات هیدراته می‌شود (شکل ۱۰- A). این ژل از نفوذ یون کلر، سولفات‌ها و مواد شیمیایی مخرب به داخل تخته‌ها جلوگیری کرده و باعث کاهش نفوذپذیری، دوام و خودترمیمی بین سیمان و باگاس می‌گردد. همچنین این تصاویر نشان می‌دهد که نانو سلولز باعث انسجام، اتصال محکم‌تر و قوی‌تر بین باگاس و سیمان شد، درنتیجه خلل و فرج داخل تخته را پر کرده است و باعث افزایش ثبات ابعادی و دانسیته تخته‌ها شده است؛ اما در شکل ۱۰-C مشاهده گردید که عدم حضور نانو سلولز در تخته‌ها باعث ایجاد حفره‌های درشت و سبب اتصال ضعیف بین باگاس و سیمان شد.

بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تخته‌های حاوی نانو ژل سلولز مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و چسبندگی داخلی بالاتری داشتند. یکی از دلایلی که می‌توان در مورد افزایش مقاومت مکانیکی با افزایش نانو سلولز اشاره کرد، این است که نانوسلولز گروه‌های OH در دسترس زیادی دارد و ازآنجایی‌که ماتریکس سیمان و الیاف سلولز هر دو آب‌دوست هستند، تمایل زیادی به برقراری پیوندهای شیمیایی با یکدیگر دارند. اتصالات قوی بین سلولز و سیمان باعث افزایش مقاومت‌های مکانیکی تخته‌ها می‌شود. ازآنجایی که گروه‌های هیدروکسیل نانوسلولز فراوان و در دسترس هستند، درنتیجه سبب تسریع در تولید ژل کلسیم سیلیکات هیدراته کرده و سرعت واکنش‌های هیدراتاسیون سیمان افزایش یافت (Mohammadkazemi *et al.*, 2015).

زمانی که از نانو سلولز در تخته‌ها استفاده شده است به علت جلوگیری نفوذ یون کلر، سولفات‌ها و مواد شیمیایی مخرب در عمق تخته‌ها باعث افزایش دوام و خودترمیمی بین سیمان و باگاس شده، درنتیجه مقاومت مکانیکی افزایش یافته است (Guo *et al.*, 2020).

همچنین به علت ساختار، نانو سلولز سطح ویژه بالایی داشته و حرارت هیدراتاسیون سیمان را افزایش می‌دهد؛ که همین موضوع سبب گیرایی سریع‌تر و بهتر باگاس با سیمان شده و درنتیجه مقاومت‌های مکانیکی تخته افزایش یافته است. این نتایج با بررسی‌های انجام شده توسط Shayestehkia و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد.

در کامپوزیت‌های حاوی ۵ درصد نانو ژل سلولز، واکشیدگی ضخامت تخته‌ها در مقایسه با تخته‌های فاقد نانو کاهش یافت.

در تخته‌های حاوی نانو سلولز به دلیل توزیع یکنواخت نانو سلولز در ماتریس سیمان و تراشه‌های باگاس، سبب تراکم بیشتر کامپوزیت شده و به‌تبع آن فضای خالی کمتری برای نفوذ آب به داخل تخته باقی می‌ماند، درنتیجه باعث کاهش واکشیدگی ضخامت می‌شود. ولی تراشه‌های باگاس به دلیل ساختار اسفنجی و ویژگی‌های آب‌دوستی سبب کاهش ثبات ابعادی تخته‌ها شد. نانو ژل سلولز انرژی سطحی بیشتری داشته و به‌دلیل افزایش سطح تماس بین سیمان و تراشه باگاس، باعث تقویت سطح مشترک و پر کردن خلل و فرج احتمالی درون تخته شده، درنتیجه دانسیته تخته را افزایش داده است. این موضوع در عکس‌برداری میکروسکوپی کاملاً مشهود است (شکل ۱۰-A). نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق با نتایج hassanpoor tichi و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد.

منابع مورد استفاده

- Akhlaghi, M. A., Bagherpour, R. and Kalhori, H., 2020. Application of bacterial nanocellulose fibers as reinforcement in cement composites. Construction and Building Materials. 241: 118061.

Balea, A., Fuente, E., Blanco, E. and Negro, C., 2019. Nanocelluloses: Natural-Based Materials for Fiber-Reinforced Cement Composites. A Critical Review. Polymers. 11. 1- 33.

- DIN EN standard, NO. 634, 1995. Cement-bonded Particleboards. Specifications- general requirements; German version.
- Dell Inc. Dell Statistica, version 13; Data Analysis Software System; Dell Inc.: Landolock, TX, USA, 2016.
- Golbabaei, F., Nourbakhsh, A., Kargarfard, A. and

Hajihassani, R., 2017. Investigation on the properties of cement-fiber board produced using waste newsprint. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 32(3): 450-461.
- 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.
- Guo, A., Sun, Z., Sathitsuksanoh, N. and Feng, H., 2020. A Review on the Application of Nanocellulose in Cementitious Materials. Nanomaterials, 10, 1-25.
- Mohammadkazemi, F., Doosthoseini, K., Ganjian, E. and Azin, M., 2015. Effects of Bacterial Nanocellulose on Properties of Fiber-Cement Composites and Durability to Freeze-Thaw Cycling. Concrete Research Quarterly Journal. 7(2): 47–56. (In Persian).
- Shayestehkia, M., Khademi Eslam, H., Bazyar, B., Rangavar, H. and Taghiyari, H. R., 2020. Effects of using cellulose nanocrystal in wood cement composite blendf on physical and mechanical poroperties of wood cement board. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 35(3): 271–282. (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:301-314.
- Shuzhen, L., Ning, C., Zhonghua, P., Yanhua, P., Taifu, H. "Preparation and Properties of Bacterial Cellulose Reinforced Cement composites". China Powder Science and Technology, 4, 016, 2011.
- Tengfei Fu, Montes, F. Suraneni, P. Youngblood, J. and Weiss, J. 2017. The Influence of Cellulose Nanocrystals on the Hydration and Flexural Strength of Portland CemePastes.

The effect of the bacteriacellulose nano fiber gel on the properties of bagasse - cement composite

A. Hassanpoor Tichi [1*] and H. Gholamiyan [2]

1* -Corresponding Author, Assistant Professor, Department of wood industry, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran, Email: hasanpoortichi@gmail.com
2-Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: April, 2022 Accepted: Aug., 2022

Abstract

In this study, the effect of bacteriacellulose nano fiber gel as reinforcement on physical, mechanical and morphological properties of composites made of bagasse and cement was studied. Nano fiber in three levels (0, 1 and 3% by weight of cement), the mixing ratio of bagasse as lignocellulosic material - Portland cement, in three levels (90:10, 80:20, 70:30%) were the variable factors. The target density of 1.1 g/cm^3 and 5% calcium chloride were kept constant for all treatments. The mechanical and physical properties of composites including modulus of rupture, modulus of elasticity, internal bonding, thickness swelling after 2 h and 24 h immersion in water and density of boards were measured according to the standard DIN-EN-634. In this study, the morphological charecteristics of composites and the distribution of nano fibers was investigated using SEM microscopic images) taken from the fractured cross-section of the samples. The results showed that boards made using bactericellulose nano fiber are exhibit higher modulus of rupture, modulus of elasticity and internal bonding. The results also showed that with increasing nano fiber, the density, dimensional stability of the boards and heat hydration of cement mortar increased. The results from SEM microscopic imaging showed that bacteriacellulose nanofiber can fill the pores of the composite and create a uniform structure, thus improved strength of the boards.

Keywords: Bagasse, density, modulus of rupture, bacteriacellulose nano fiber.