



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گنجان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل  
جلد بیست و سوم، ویژه‌نامه ۲، ۱۳۹۵  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## اثر کاربرد الیاف معدنی بر هیدراتاسیون و خواص تخته فیبر – گچ حاصل از الیاف کنف و باگاس

\*مرتضی ناظریان<sup>۱</sup>، میثم کامیاب<sup>۲</sup> و حسین کرمانیان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه فناوری سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران،  
<sup>۲</sup>دانشیار گروه علوم چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل،  
<sup>۳</sup>استادیار گروه فناوری سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۵

### چکیده

**سابقه تحقیق:** با توجه به مزایای خاص مواد لیگنوسلولزی، جایگزینی تقویت کننده‌های معدنی (الیاف شیشه و یا الیاف آزبست) توسط الیاف آلی مانند سیسال<sup>۱</sup>، خمیر کرافت یا فیبرهای سلولزی می‌تواند صورت گیرد. اما استفاده از الیاف طبیعی دارای معایبی می‌باشد که می‌تواند باعث کاهش سرعت گیرایی گچ که در نتیجه انحلال ترکیبات محلول در آب الیاف می‌باشد شود. این در حالی است که کمبود مواد چوبی در کشور، ارزان بودن و فراوانی منابع لیگنوسلولزی در طی فصول سال چند نمونه از دلایل عمده استفاده از ضایعات کشاورزی می‌باشد. از این رو، در این مطالعه امکان ساخت تخته فیبر- گچ از الیاف باگاس (*Saccharum officinarum L.*)، الیاف کنف (*Hibiscus cannabinus L.*) و الیاف شیشه صنعتی مورد بررسی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** نسبت الیاف باگاس و کنف هر کدام در سه سطح ۰، ۷/۵ و ۱۵ درصد و الیاف شیشه نیز در سه سطح ۰، ۳ و ۶ درصد به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر خواص مکانیکی و فیزیکی تخته فیبر- گچ با دانسیته اسمی  $1/10 \text{ g/cm}^3$  مورد بررسی قرار گرفت. فرآیند ساخت مورد استفاده فرآیند نیمه خشک بود. ابتدا آب حاوی اسید سیتریک (۹۹/۵ درصد آب + ۰/۰۵ اسید سیتریک ۱۰۰ درصد)

\*مسئول مکاتبه: [morteza17172000@yahoo.com](mailto:morteza17172000@yahoo.com)

بر روی الیاف خشک اسپری شد. پس از هم زدن ذرات ماده لیگنوسلولزی در یک همزن آزمایشگاهی به مدت ۵ دقیقه، گچ بر روی آن پاشیده و مجدداً در هم‌زن با دور گردش زیاد کاملاً با هم مخلوط شدند. سپس مخلوط در قالب چوبی با ابعاد  $30 \times 30$  سانتی‌متر ریخته شد و زیر پرس سرد با فشار حدود ۳ MPa به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. پس از خارج نمودن تخته‌ها به مدت ۵ روز به منظور متعادل‌سازی رطوبت در هوای آزاد نگهداری شدند. تخته‌ها برای تکمیل سخت‌سازی و رسیدن به مقاومت حداکثر در آن با درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت خشک شدند. خشک کردن تخته‌ها تا رطوبت ۵ الی ۷ درصد ادامه یافت. پس از اتمام فرایند ساخت، خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها آزمون و نتایج در قالب روش سطح پاسخ و بر اساس مدل رگرسیونی چند مرحله‌ای درجه دوم تحلیل گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که یک تطابق ایده‌آل بین مقادیر پیش‌بینی شده و داده‌های مشاهده شده وجود دارد، به طوری که با افزایش الیاف باگاس و کنف مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی افزایش و واکنشیدگی ضخامت و جذب آب بهبود یافت.

**نتیجه‌گیری:** نتایج آزمون تعیین میزان حرارت و نیز زمان هیدراتاسیون خمیر گچی نشان داد که با افزایش مواد استخراجی موجود در مواد لیگنوسلولزی میزان حرارت و زمان گیرایی مخلوط به ترتیب کاهش و افزایش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** تخته فیبر- گچ، هیدراتاسیون، خواص فیزیکی و مکانیکی، باگاس، کنف، الیاف شیشه

## مقدمه

پانل‌های دارای اتصال دهنده‌های معدنی کاربرد گسترده‌ای در کف‌سازی، پوشش داخلی دیوارها، سقف و دیوارهای جدا کننده (پارتیشن) دارند. این اوراق همانند تخته فیبر- گچ از پایداری خطی بهتری نسبت به دیگر پانل‌های مشابه بر پایه چوب یا دیگر مواد لیگنوسلولزی برخوردار بوده و هنگامی که در معرض آتش قرار می‌گیرند مقاومت بالاتری نسبت به سایر فراورده‌های چوبی از خود بروز می‌دهند. افزودن الیاف چوبی و یا لیگنوسلولزی تا حد معینی اثر تقویتی و بیش از آن تأثیر منفی خواهد داشت (۱۰). علاوه بر این، نحوه پراکنش الیاف در ترکیب تغییری در نتایج ایجاد نخواهد کرد

(۱۱). مقایسه نمونه‌های حاوی الیاف با نمونه‌های کنترل در بررسی که توسط راپوپورت و همکاران (۲۰۰۵) صورت گرفت نشان داد، اندازه ترک‌هایی که در اثر همکشیدگی ناشی از خشک شدن مشاهده می‌شود باریک‌تر بوده است (۲۵). در طی سالیان گذشته تلاش‌هایی برای اضافه کردن الیاف آلی به گچ انجام شده است، اما به‌طور عمده از الیاف معدنی مانند الیاف شیشه نیز استفاده گردیده است (۹). الیاف شیشه سبب افزایش ظرفیت بارگذاری خمشی کامپوزیت‌ها می‌شود (۱۹). الیاف شیشه استحکام و سختی مناسبی دارند، خواص مکانیکی خود را در دماهای بالا حفظ می‌کنند، مقاومت به رطوبت و خوردگی مناسبی دارند و نسبتاً ارزان هستند. تلاش‌هایی برای ارزیابی ارتباط اضافه کردن الیاف طبیعی در ماتریس گچ با خصوصیات مکانیکی ماده مرکب به‌دست آمده صورت گرفته است (۵ و ۱۸). بر اساس ویژگی‌های هر اتصال دهنده معدنی نظیر گچ و سیمان، بهبود خواص گچ و یا سیمان باید منجر به تولید یک محصول با خواص مکانیکی و مقاومت بالاتر در برابر رطوبت شود. در بهبود این خواص متغیرهای مختلفی می‌توانند دخالت داشته باشند. تجزیه و تحلیل مواد استخراجی موجود در ترکیبات آلی یکی از این موارد مهم می‌باشد که می‌تواند هیدراتاسیون اتصال دهنده‌های معدنی را به تأخیر بیندازد و بر چسبندگی داخلی و خواص مکانیکی اوراق چوب-گچ مؤثر باشد (۲۸). هاجمی و کامل (۱۹۹۰) در تحقیقی در مورد رابطه شیمیایی چوب و سیمان به مطالعه مواد استخراجی چوب و گیرایی چوب-سیمان پرداختند. بر اساس بررسی‌های آن‌ها، مواد استخراجی چوب ترکیبات پیچیده‌ایی شامل رزین، اسیدهای چرب، تریپن‌ها، فنول‌ها، تانن‌ها و قندها می‌باشند. این ترکیبات تا حدود زیادی از نظر ویژگی‌های انحلال‌پذیری و میزان آن‌ها در گونه‌های مختلف متفاوت هستند (۱۵). مهم‌ترین محدودیت برای بهبود خواص فرآورده‌های مرکب چوبی با اتصال دهنده‌های معدنی سازگاری بسیار متغیر بین چوب و اتصال‌دهنده معدنی است. عوامل متعددی می‌تواند بر این سازگاری مؤثر باشد. به‌عنوان مثال، انحلال‌پذیری مواد استخراجی در آب و یا محیط قلیایی (۱۶) گونه‌هایی که حاوی بیش از ۷ درصد از مواد استخراجی محلول در آب گرم باشند می‌توانند به‌عنوان گونه‌های ناسازگار در نظر گرفته شوند (۱۷). اجزاء شیمیایی تشکیل دهنده مواد استخراجی نیز می‌توانند هیدراتاسیون اتصال دهنده‌های معدنی را به تأخیر بیندازند. به‌منظور کاهش این ناسازگاری، انجام تیمارهای مختلف هیدروترمیک و یا شیمیایی به‌منظور حذف مواد استخراجی از چوب و نیز استفاده از مواد افزودنی شیمیایی پیشنهاد شده

است (۳۰). مطالعات هدایت‌سنجی (کنداکتیومتری<sup>۱</sup>) نشان داده است که مواد استخراجی برای به تأخیر انداختن گیرایی گچ در سیستم، منجر به تأخیر کلی واکنش می‌شود. یک مطالعه تطبیقی از نفوذ اسید استیک و ترکیبات فنلی نشان داده است که این عوامل جزء اصلی کندکنندگی سرعت گیرایی گچ می‌باشند (۲۴). تقویت اتصال دهنده‌های معدنی (سیمان، گچ و خاک) به یک موضوع نگران‌کننده عمده در چند دهه اخیر تبدیل شده است. تلاش شده است تا از جایگزینی عوامل تقویت‌کننده معدنی (الیاف شیشه و یا الیاف آزبست) توسط الیاف آلی مانند سیسال، خمیر کرافت، یا الیاف سلولزی استفاده شود (۶). استفاده از الیاف طبیعی به دلیل وجود مواد استخراجی محلول در آب و قلیا باعث کاهش سرعت گیرایی گچ می‌شود (۷). کمبود مواد چوبی و جنگلی در کشور، ارزان بودن، فراوانی و تنوع منابع لیگنوسلولزی در طی فصول سال چند نمونه از دلایل عمده در استفاده از ضایعات کشاورزی می‌باشد. علاوه بر آن، امکان جایگزینی ضایعات کشاورزی با چوب می‌تواند به‌طور مؤثری به بهبود شرایط محیط‌زیست در نتیجه کاربرد صحیح از این منابع کمک کند. با توجه به موارد ذکر شده پژوهش‌های بسیاری بر روی استفاده از ضایعات کشاورزی صورت گرفته است. از یک طرف، با توجه به تفاوت در شکل و خصوصیات مورفولوژیک الیاف باگاس و کنف و ترکیبات شیمیایی کاملاً متفاوت و متمایز کنف و باگاس، تأثیرات آن‌ها بر روی خواص اوراق فشرده متفاوت خواهد بود. از طرف دیگر، در حالی که الیاف باگاس و کنف ترکیباتی آلی هستند، الیاف شیشه ترکیبی معدنی است. کاربرد هر کدام از این مواد با پایه‌های شیمیایی کاملاً متفاوت از هم قطعاً تأثیر متفاوتی هم بر روی خواص کامپوزیت‌های ساخته شده از این دو دسته مواد خواهد گذاشت. از این‌رو نه تنها نسبت وزنی الیاف باگاس به کنف، بلکه نسبت وزنی این مواد آلی به ماده معدنی الیاف شیشه و نیز نسبت وزنی این مواد با گچ تأثیرات متفاوتی را بر روی خواص تخته فیبر گچ خواهند داشت. از این‌رو، با انجام این پژوهش می‌توان نسبت وزنی مناسب الیاف باگاس به الیاف کنف، نسبت مناسب وزنی ماده آلی لیگنوسلولزی (باگاس و کنف) به ماده معدنی (الیاف شیشه)، نسبت وزنی مناسب هم‌زمان الیاف آلی و معدنی به گچ و ترکیب بهینه از کاربرد هر کدام از این متغیرهای مستقل مورد بررسی برای ساخت تخته فیبر- گچ را به دست آورد.

## مواد و روش‌ها

**مواد:** ماده مورد استفاده الیاف باگاس (تفاله نیشکر *Saccharum ossicinarum L.*) از نواحی جنوب غربی ایران تهیه گردید. همچنین، تعدادی گونی کنفی (*Hibiscus cannabinus L.*) فرسوده از یک انبار در شهرستان زابل تهیه شد. الیاف شیشه نیز به صورت رول تهیه گردید و به آزمایشگاه انتقال داده شد. ماده اتصال دهنده معدنی مورد استفاده گچ امید سمنان بود. ابتدا ذرات درشت گچ با الک ۴۰ مش جدا شدند و ذرات ریز برای ساخت نمونه آماده گردید.

**روش‌ها:** اثر عوامل متغیر مستقل شامل الیاف باگاس در سه سطح ۰، ۷/۵ و ۱۵ درصد، الیاف کنف در سه سطح ۰، ۷/۵ و ۱۵ درصد و الیاف شیشه نیز در سه سطح ۰، ۳ و ۶ درصد بر روی خواص مقاومتی تخته‌های ساخته شده مورد بررسی قرار گرفت. به منظور محاسبه میزان آب، پس از محاسبه میزان کل وزن گچ و الیاف بر اساس فرمول دانسیته و با توجه به نسبت کل وزن الیاف به اتصال دهنده برای هر تیمار (جدول ۳)، ۴۰ درصد از وزن اتصال دهنده آب به الیاف اضافه گردید. عوامل دیگر ساخت نظیر میزان آب (۴۰ درصد نسبت به وزن خشک گچ)، دانسیته تخته ( $1/10 \text{ g/cm}^3$ )، سرعت بسته شدن دهانه پرس ( $4/5 \text{ mm/s}$ )، فشار پرس ( $3 \text{ MPa}$ )، حرارت پرس ( $25^\circ \text{C}$ )، مدت پرس ( $48 \text{ h}$ )، ضخامت تخته ( $16 \text{ mm}$ ) و غیره ثابت در نظر گرفته شد. ابتدا آب حاوی اسید سیتریک ( $99/5$  درصد آب +  $0/05$  اسید سیتریک  $100$  درصد به منظور افزایش زمان گیرایی گچ و داشتن فرصت برای تشکیل کیک الیاف و پرس آن) بر روی الیاف خشک اسپری شد. پس از مرطوب نمودن کامل الیاف در یک همزن آزمایشگاهی به مدت ۵ دقیقه، گچ بر روی آن پاشیده و مجدداً در هم‌زن با دور گردش زیاد کاملاً با هم مخلوط شدند تا مخلوط یکنواخت و همگن الیاف-گچ مرطوب به دست آید. پس از استقرار صفحه فولادی به ضخامت حدود  $1/2$  سانتی‌متر و تثبیت قالب چوبی به ابعادی برابر با صفحه فولادی ( $35 \times 35 \text{ cm}$ ) بر روی آن، مخلوط همگن در قالب به دقت ریخته شد، تا تغییرات ضخامت در کیک و تغییر دانسیته در تخته نهایی اتفاق نیفتد. پس از خارج کردن کیک از قالب، صفحه فولادی دیگری با همان ضخامت و ابعاد صفحه زیری بر روی کیک استقرار یافت و سپس کیک همراه با صفحات فولادی در زیر پرس سرد قرار گرفت. پس از تثبیت گیره‌های U شکل در چهار طرف مجموعه تحت پرس و نهایتاً برداشت فشار دستگاه پرس، مجموعه کیک تحت فشار به همراه صفحات فولادی و گیره‌ها به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند. پس از باز نمودن گیره‌های U شکل، تخته‌های ساخته شده جهت تکمیل فرآیند هیدراتاسیون به مدت ۴۸ ساعت دیگر درون

کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. در ادامه، پس از خارج نمودن تخته‌ها از کیسه‌های پلاستیکی تخته‌ها به مدت ۵ روز به منظور متعادل‌سازی رطوبت در هوای آزاد نگهداری شدند. تخته‌ها بعد از سخت‌سازی دارای رطوبت بین ۱۶ تا ۲۰ درصد بودند، لذا برای رسیدن به مقاومت مطلوب بایستی خشک می‌شدند. بدین منظور تخته‌ها در آون با درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت و تهویه دائمی خشک شدند. خشک کردن تخته‌ها تا رطوبت ۵ الی ۷ درصد ادامه یافت. خشک کردن بیشتر باعث کاهش مقاومت تخته‌ها می‌شد. بعد از خشک کردن و برش، تهیه نمونه‌های آزمونی با ابعاد ۳۵×۵×۱/۶ cm برای آزمون خمش، ۵×۵×۱/۶ cm برای چسبندگی داخلی و ۱۰×۱۰×۱/۶ cm برای واکنشیدگی ضخامت و جذب آب انجام گردید. طبق استاندارد EN ۳۱۹ (۹)، EN ۳۱۰ (۱۰) و EN ۳۱۷ (۱۱) مقاومت خمش (MOR)، مقاومت چسبندگی داخلی (IB)، واکنشیدگی ضخامت (TS) و جذب آب (WA) نمونه‌ها تعیین شدند (آزمون تعیین مدول گسیختگی و چسبندگی داخلی توسط دستگاه تست مکانیکی HOUNS field H25ks انجام گرفت).

پس از انجام آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی، نتایج در قالب سطح پاسخ با استفاده از داده‌های تجربی که روابط ریاضی را براساس مدل رگرسیون از نوع چند جمله‌ای درجه دوم ارایه می‌کند تحلیل گردید. از این روش برای توسعه مدل ریاضی به صورت معادلات رگرسیون چندمتغیره برای خواص تخته‌های ساخته شده مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از روش سطح پاسخ، متغیرهای مستقل به‌عنوان توابعی از یک مدل ریاضی مدنظر قرار می‌گیرند. این مدل ریاضی به صورت معادله کلی چندجمله‌ای درجه دوم (رگرسیون) برای رویه پاسخ  $y$  نشان داده شده است (۱).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \epsilon. \quad (1)$$

تمام ضرایب محور مرکزی مکعب با استفاده از بسته نرم‌افزار آماری مینی‌تب طراحی شده به دست آمد. پس از تعیین معنی‌داری ضرایب (در سطح اعتماد ۹۵ درصد)، مدل نهایی تنها با استفاده از این ضرایب (۲۰) توصیف شد. برای سه متغیر، توصیه می‌شود از آزمون شش مرکزی استفاده شود (۴). از این رو تعداد کل آزمون موردنیاز برای سه متغیر مستقل (درصد الیاف باگاس، درصد الیاف کنف و درصد الیاف شیشه) بر اساس معادله  $2^n + (n \times 2) + k$  که  $n$  مساوی تعداد متغیرها و  $k$  تعداد تکرار در مرکز مکعب می‌باشد، برابر  $2^3 + (3 \times 2) + 6 = 20$  می‌باشد. پس از تجزیه و تحلیل رگرسیون، سطوح خطاهای پاسخ داده شده به دست آمد. تعداد متغیرهای مستقل به همراه کد و سطوح آن‌ها و طرح آزمونی استفاده شده در جداول ۱ و ۴ نشان داده شده است.

جدول ۱- کد و سطوح واقعی متغیرهای در نظر گرفته شده برای طرح آزمونی.

Table 1. Coded and actual levels of assumed variables for experimental design.

متغیرها Variables	واحد units	کدگذاری سطوح متغیرها Coded levels of variables		
		-1	0	1
الیاف شیشه (X <sub>۱</sub> ) Fiber glass (X <sub>1</sub> )	%	0	3	6
الیاف کنف (X <sub>۲</sub> ) Kenaf fiber (X <sub>2</sub> )	%	0	7.5	15
الیاف باگاس (X <sub>۳</sub> ) Bagasse fiber (X <sub>3</sub> )	%	0	7.5	15

آنالیز شیمیایی: نمونه‌ها جهت آنالیز شیمیایی مواد لیگنوسلولزی بر اساس آیین‌نامه TAPPI استاندارد شماره‌های T 222 om-88 (۳۰) برای تعیین لیگنین، T 204 om-88 (۳۱) برای تعیین مواد استخراجی محلول در الکل- بنزن و T 211 om-85 (۳۲) برای تعیین خاکستر و سیلیس تهیه شدند. ذرات باگاس و کنف مستعمل جهت متعادل‌سازی رطوبت به مدت چند روز در هوای آزاد قرار گرفتند. سپس توسط آسیاب آزمایشگاهی به آرد تبدیل و با استفاده از دستگاه الک ارتعاشی با مش ۴۰- / +۸۰ درجه‌بندی شد و برای انجام آنالیز شیمیایی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- ترکیب شیمیایی ماده لیگنوسلولزی.

Table 2. Chemical composition of lignocellulosic material.

گونه Species	سلولز (درصد)	لیگنین (درصد)	خاکستر (درصد)	مواد استخراجی (درصد)	سیلیس (درصد)	سیلیس موجود در خاکستر (درصد)
	Cellulose	Lignin (%)	Ash (%)	Extractives (%)	Silica (%)	Silica in ash (%)
باگاس	47.6	23.2	1.7	4.1	0.9	42.9
کنف	57.1	12.4	5.5	2.9	-	-

آزمون هیدراتاسیون و مقاومت فشاری: آزمون هیدراتاسیون توسط روش فلاکس کالریمتری و بر روی تیمارهای موردنظر جهت ارزیابی سازگاری مواد مورد استفاده با گچ و میزان حرارت ساطع شده از ترکیب فرآیند و اختلاط با آب و همچنین تأثیر در زمان گیرایی نهایی ترکیب انجام گردید. تیمارها و ترکیبات آن‌ها به همراه کد در جدول ۱ آورده شده است. سخت شدن خمیر یک شاخص خوب از درجه تبدیل واکنش هیدراتاسیون می‌باشد. آزمون ویکات، شامل تکامل قوام دوغاب، پس از زمان

گیرایی اولیه و نهایی در طی تغییر عمق نفوذ سوزن دستگاه ویکات در طی گذشت زمان است که آن نیز انجام گردید. به‌واسطه آنکه ذرات استفاده شده در آزمون ویکات به صورت آرد می‌باشد تا بدین ترتیب تاثیر معنی‌داری بر روی نفوذ سوزن ویکات به دلیل ممانعت آن نگذارد، و با توجه به این‌که با آرد کردن عملاً میزان جذب آب بسیار زیاد می‌باشد، لازم است حد معینی از رواداری خمیر گچ با تغییر در میزان مصرف آب ایجاد شود و سپس آن مقدار مبنایی برای آزمون هیدراتاسیون یا تعیین شروع و خاتمه سخت‌سازی خمیر سیمانی یا گچی ایجاد گردد. از این‌رو، نسبت آب به گچ در این آزمون متفاوت از نسبتی بوده که در هنگام ساخت تخته‌ها تنظیم گردید. نسبت‌های وزنی مختلف شامل ۳۰۰g گچ، ۱۵۰ml آب و ۱۵g آرد ماده لیگنوسولوزی برای تیمارهای c، f و i و ۳۰۰g گچ، ۱۵۰ml آب خالص یا همراه با مواد استخراجی (که پس از ۲۴ غوطه‌وری الیاف در آب با حرارت  $30 \pm 21^\circ\text{C}$  به‌دست آمد) برای تیمارهای a، b، d، e، g، h، j و k بودند. برای نمونه‌های حاوی آرد الیاف یا بدون آن، زمان گیرش اولیه و نهایی که یک پارامتر قابل اطمینان برای تعیین سرعت هیدراتاسیون می‌باشد ثبت گردید. از تیمارهای ذکر شده همچنین نمونه‌هایی در قالب‌هایی به ابعاد  $20 \times 20 \times 30 \text{ mm}$  برای انجام آزمون مقاومت فشاری تهیه گردید.

### بحث و نتایج

آزمون هیدراتاسیون: اثر نوع ماده لیگنوسولوزی و ماده استخراجی محلول در آب این مواد بر روی فرآیند هیدراتاسیون خمیر گچ به‌منظور اندازه‌گیری دقیق زمان گیرایی نهایی ( $t_{\max}$ ) و حرارت بیشینه ( $T_{\max}$ ) خمیر گچی حاوی باگاس، کنف و یا الیاف شیشه همراه با مواد استخراجی و یا بدون آن مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان  $T_{\max}$  و  $t_{\max}$  تیمارهای مورد آزمون در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که زمان گیرایی نهایی گچ در طی رسیدن به حرارت بیشینه در حضور ماده لیگنوسولوزی و یا مواد استخراجی حاصل از شستشوی ماده لیگنوسولوزی افزایش (شکل ۱) و میزان حرارت بیشینه مخلوط کاهش یافته است. علاوه بر این، افزایش و یا کاهش درجه هیدراتاسیون با توجه به زمان‌های مختلف به نوع ماده لیگنوسولوزی و مواد استخراجی وابسته است. به‌طور کلی، کنف که دارای مقدار کمتری مواد استخراجی می‌باشد (جدول ۲) دارای دمای هیدراتاسیون بالاتر و مدت هیدراتاسیون کمتر بوده است.

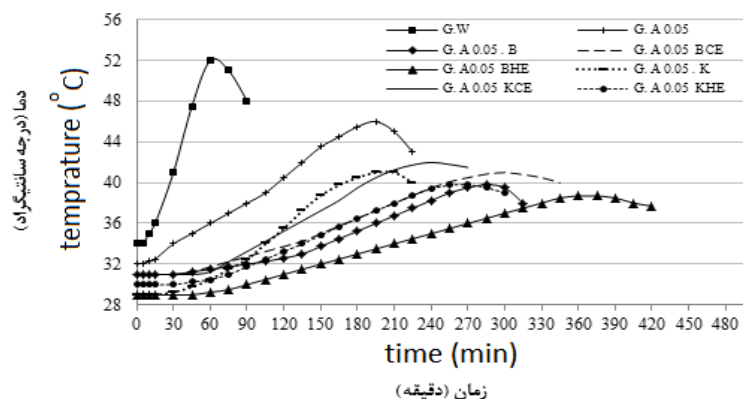


جدول ۳- حرارت حداکثر هیدراتاسیون و زمانی که در آن حرارت هیدراتاسیون به حداکثر می‌رسد.

Table 3. Maximum hydration temperature and time to reach the maximum temperature.

کد تیمار Treatment cod	نوع تیمار type treatment	حرارت بیشینه (°C) Maximum temperature(°C)	زمان گیرایی (دقیقه) Curing time (min)	تیمار treatment
G.W	گچ + آب gypsum+water	52	60	a
G. A 0.05	گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ gypsum+ citric acid 0.05	46	205	b
G. A 0.05. B	گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ + خرده باگاس gypsum+ citric acid 0.05+bagasse	40	285	c
G. A 0.05 BCE	گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی باگاس با شستشوی آب سرد gypsum+ citric acid 0.05+bagasse cold-water extractives	41	305	d
G. A 0.05 BHE	گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی باگاس با شستشوی آب گرم gypsum+ citric acid 0.05+bagasse hot water extractives	38	340	e
G. A 0.05. K	گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ + الیاف کنف gypsum+ citric acid 0.05+kenaf	41	195	f
G. A 0.05 KCE	گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی الیاف کنف با شستشوی آب سرد gypsum+ citric acid 0.05+kenaf cold water extractives	42	235	g
G. A 0.05 KHE	گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی الیاف کنف با شستشوی آب گرم gypsum+ citric acid 0.05+kenaf hot water extractives	39	280	h
G. A 0.05. G	گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ + الیاف شیشه gypsum+ citric acid 0.05+fiber glass	44	185	i
G. A 0.05 GCE	گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی الیاف شیشه با شستشوی آب سرد gypsum+ citric acid 0.05+fiber glass cold water extractives	44	178	j
G. A 0.05 GHE	گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی الیاف شیشه با شستشوی آب گرم gypsum+ citric acid 0.05+fiber glass hot water extractives	43	180	k

توجه: نسبت‌های وزنی مختلف ۳۰۰g گچ: ۱۵۰ml مایع: ۱۵g ماده لیگنوسولولزی برای تیمارهای c, f و i و ۳۰۰g گچ: ۱۵۰ml مایع برای تیمارهای a, b, d, e, g, h, j و k بودند. این نسبت‌ها بر اساس نسبت بهینه آب به گچ (۲۲) تعیین شده‌اند.



شکل ۱- میزان حرارت و زمان لازم هیدراتاسیون تیمارهای مورد آزمون (از الیاف شیشه صرف نظر شد).

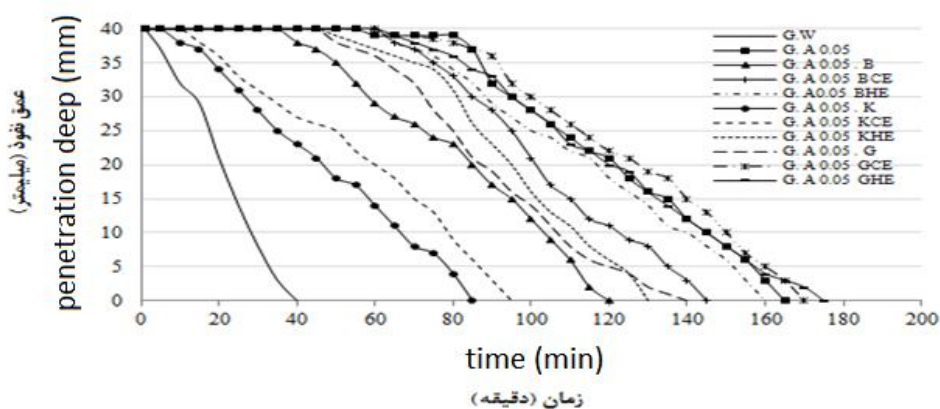
Figure 1. Hydration temperature and time treatments (there is no data for fiber glass).

کاهش درجه حرارت بیشینه ممکن است ناشی از وجود بافت اسفنجی جاذب رطوبت در مغزی و یا استخراجی نظیر مواد قندی و نشاسته‌ای موجود در مواد لیگنوسلولزی باشد که به دلیل جذب آب مانع از تولید گرما می‌شوند (۳۴). نتایج نشان می‌دهد که با افزودن مواد لیگنوسلولزی و یا مواد استخراجی محلول در آب حاصل از شستشوی این مواد لیگنوسلولزی درجه حرارت هیدراتاسیون کاهش و زمان گیرایی نهایی افزایش می‌یابد. در شکل ۱، در بین تیمارهای مورد آزمون از دو نوع ماده لیگنوسلولزی: باگاس و کنف، به همراه تیمارهای دارای مواد استخراجی حاصل از شستشو با آب گرم و سرد، بیشینه درجه حرارت هیدراتاسیون مربوط به تیمار گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی الیاف کنف با شستشوی آب سرد بود که درجه حرارت ۴۲ درجه سانتی‌گراد و زمان گیرایی نهایی ۲۳۵ دقیقه را نشان داد (شکل ۱). با توجه به این که مقدار ماده استخراجی موجود در باگاس بیش از حدود ۱/۵ برابر کنف می‌باشد (جدول ۲)، و با توجه به این که آبشویی گرم حاوی مقدار بیشتری از مواد استخراجی در آب است، کمینه درجه حرارت هیدراتاسیون مربوط به تیمار گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی الیاف باگاس با شستشوی آب گرم بود که درجه حرارت ۳۸ درجه سانتی‌گراد و طولانی‌ترین زمان گیرایی نهایی ۳۴۰ دقیقه را نشان داد.

از تجزیه و تحلیل نتایج جدول ۳ و شکل ۱ می‌توان نتیجه گرفت که شستشوی ماده لیگنوسلولزی با آب گرم مواد استخراجی بیشتری را در خود حل کرده که این عامل باعث تغییر روند درجه حرارت و زمان گیرایی فرآیند هیدراتاسیون در حضور مواد استخراجی خواهد شد. در طول فرآیند هیدراتاسیون گچ، سولفات کلسیم همانند هیدروکسید کلسیم در جریان اختلاط با آب در فرآیند

هیدراتاسیون pH خمیر گچی را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، مواد استخراجی آزاد شده از الیاف گیاهی به‌طور کلی حالت اسیدی دارند و همزمان به‌دلیل وجود مواد قندی و استخراجی گیرایی ماده معدنی را به تأخیر می‌اندازند. بنابراین، برخی از تغییرات در pH سیستم وجود خواهد داشت که ممکن است سرعت تشکیل ترکیبات هیدراته را تغییر دهد؛ از این رو می‌تواند اثرات منفی بر روند هیدراتاسیون داشته باشد (۲۹). مرحله دوم، آزاد سازی مواد قلیایی طی فرآیند هیدراتاسیون ماده معدنی در اختلاط با همی سلولز و لیگنین موجود در الیاف می‌باشد. تحت تأثیر آزاد شدن  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  همی سلولز به واحدهای قندی قابل حل تجزیه می‌شود. هیدرولیز قلیایی همی سلولز و لیگنین در نتیجه تشکیل نمک‌های کلسیم لیگنین، پلی‌ساکارید و کاهش برخی مواد قندی است (۲۹). این نمک‌های محلول و یا رسوبات مداخلات فیزیکی و یا شیمیایی با هیدراتاسیون ماده معدنی دارند و حتی می‌تواند ترکیب و مورفولوژی فرآورده هیدراته را تغییر دهد. علاوه بر این، مواد قندی چوب مواد آبدوست فعال هستند. مواد قندی اضافه شده به آب مخلوط ماده معدنی گچ همراه با سخت شدن، تحت تأثیر قابلیت جذب و انسجام مولکول باعث ایجاد یک لایه نازک از آب متراکم (دانسیفیه) شده که به شکل زله‌ای غیرقابل نفوذ می‌باشد بر روی سطح دانه‌های گچ می‌شود. ذرات کوچک گچ اگرچه به هم پیوسته و متراکم نیستند، خارج از دسترس آب می‌شوند. بنابراین، پیشرفت فرآیند هیدراتاسیون غیرممکن می‌شود و سرعت فرآیند هیدراتاسیون را کند می‌کند.

ویکات: اثر نوع ماده لیگنوسولوزی و مواد استخراجی بر روی زمان گیرایی خمیر گچ حاوی مواد لیگنوسولوزی و مواد استخراجی در طی آزمون ویکات در شکل ۲ نشان داده شده است.



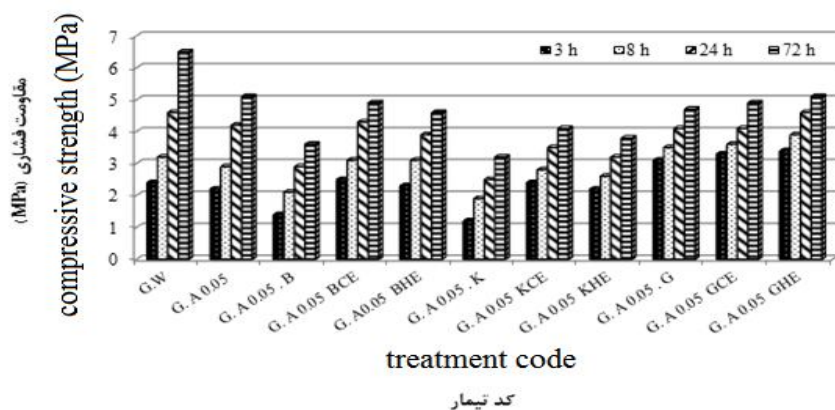
شکل ۲- آزمون ویکات: مقایسه نفوذ سوزن در تیمارها.

Figure 2. Vicat test: comparison of needle penetration into treatments.

در تر کیب آب و گچ و تشکیل همی هیدرات گچ یک خمیری قلیایی با pH بالاتر از ۱۲ تشکیل می‌شود. سرعت گیرایی گچ وابسته به میزان افزایش pH می‌باشد. زمان گیرایی خمیر گچ بدون هیچ گونه ماده افزودنی در حدود ۴۰ دقیقه به طول انجامید. جهت تأخیر در سرعت گیرایی خمیر گچ از حلال اسیدی (اسید سیتریک ۰/۰۵) استفاده شد که زمان سخت شدن به ۱۶۵ دقیقه افزایش یافت. در بین تیمارهای مورد آزمون پس از نمونه گچ خالص با آب کم‌ترین زمان گیرایی مربوط به تیمار f (گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ + کنف) به میزان ۸۵ دقیقه بود. دلیل این امر می‌تواند به علت حجم بالای الیاف، مقدار بیشتر سلولز و پایین بودن مواد استخراجی موجود در ماده لیگنوسولوزی (کنف) باشد. به عبارتی، هر چه میزان مواد استخراجی ماده لیگنوسولوزی موجود در خمیر گچ کمتر باشد زمان گیرایی خمیر نیز سریع‌تر خواهد بود. علاوه بر آن، خمیر مخلوط گچ با خرده‌های باگاس به دلیل چگالی پایین و ساختار اسفنجی باگاس منجر به افزایش جذب آب توسط دیواره سلولی شده است. افزایش جذب آب غلظت خمیر گچ را افزایش می‌دهد به طوری که مانع از عمق نفوذ سوزن و ویکات به درون مخلوط شده در حالی که، هیدراتاسیون گچ هنوز به‌طور کامل صورت نگرفته است. در واقع ذرات باگاس، کنف و شیشه به‌عنوان پرکننده عمل می‌کنند و عامل اصلی در کاهش مدت زمان گیرایی می‌باشد. مقدار مواد استخراجی محلول در خمیر گچ که حاصل از شستشوی ماده اولیه باگاس با آب گرم بوده به عنوان یک عامل تأثیرگذار می‌تواند واقع شود و زمان گیرایی گچ را به تأخیر بیندازد.

**مقاومت فشاری:** نتایج به‌دست آمده از آزمون مقاومت فشاری در شکل ۳ نشان داده شده است. محدوده مقاومت‌ها بین ۱ تا ۷ مگاپاسکال گزارش شد. مقاومت فشاری گچ خالص با حلال آب بیشترین مقدار را طی زمان‌های مشخص شده (۳، ۸، ۲۴ و ۷۲ ساعت) داشت.

نتایج حاصل از تیمارهای اندازه‌گیری شده نشان داد که با افزایش مدت زمان هیدراتاسیون مقاومت فشاری تیمارها افزایش خواهد یافت. بیشترین مقاومت‌ها در زمان ۷۲ ساعت بوده که بیشترین مقدار مربوط به تیمار گچ خالص (۶/۵ MPa) می‌باشد. افزودن اسید سیتریک ۰/۰۵ به‌عنوان کند کننده هیدراتاسیون کاهش مقاومت فشاری را در پی خواهد داشت. مقدار مقاومت فشاری گچ خالص با حلال اسیدسیتریک ۰/۰۵ پس از ۷۲ ساعت به مقدار ۵/۱ MPa کاهش یافت. این امر می‌تواند به دلیل به تأخیر انداختن فرآیند هیدراتاسیون نسبت داده شود و از تشکیل کامل شبکه بلوری گچ جلوگیری نماید. تیمارهایی که در آن‌ها مواد استخراجی می‌باشد مقاومت پایین‌تری دارند.



شکل ۳- مقایسه مقاومت فشاری تیمارهای مورد آزمون.

Figure 3. Comparison of compression strength of tested treatment.

مواد استخراجی فرآیند هیدراتاسیون گچ را به تأخیر انداخته و این عامل باعث نقص در تکمیل فرآیند هیدراتاسیون شده و مقاومت نهایی مخلوط سخت شده را کاهش می‌دهد. از طرفی، در یک نسبت ثابت چوب به گچ زمانی که از ماده کندکننده گیرایی مخلوط خمیر گچ استفاده شود، مقاومت فشاری نمونه حاصل کاهش خواهد یافت. به‌طور کلی، پایین‌ترین مقاومت مربوط به تیمار گچ با ذرات باگاس و کنف می‌باشد. مقادیر به‌دست آمده نشان می‌دهد زمانی که از ذرات لیگنوسولوزی در مخلوط مورد آزمون استفاده می‌شود، آن تیمار مقاومت پایین‌تری نسبت به تیمارهایی دارد که در ساخت مخلوط آن‌ها تنها از مواد استخراجی استفاده شده است. به‌عبارتی، با افزودن ذرات لیگنوسولوزی در مخلوط‌های مورد آزمون مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. در بین تیمارهایی که از ذرات لیگنوسولوزی استفاده شده به‌دلیل وجود کربوهیدرات‌های آبدوست مانند سلولز و همی سلولز و ساختار اسفنجی خود، آب مخلوط را جذب نموده و قبل از تکمیل فرآیند هیدراتاسیون سخت می‌شوند.

**نتایج فیزیکی:** تأثیر متغیرها شامل الیاف شیشه ( $X_1$ )، الیاف کنف ( $X_2$ ) و میزان الیاف باگاس ( $X_3$ ) بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر- گچ با استفاده از معادله رگرسیون از نوع چندجمله‌ای درجه دوم (رابطه ۱) برآورد گردید. مقادیر آزمون  $IB$ ،  $MOR$ ،  $TS_{24}$  و  $WA_{24}$  را می‌توان به‌عنوان یک تابع از متغیرهای ساخت تخته فیبر- گچ بیان نمود (جدول ۴).

جدول ۴- طرح آزمایشی ساخت تخته فیبر- گچ با کمک روش سطح پاسخ به‌همراه نتایج.

Table 4. Experimental design of manufacturing gypsum-bonded fiberboards with them properties.

No	کدگذاری متغیرها coded variables			مقدار واقعی متغیرها actual values of variables			نتایج results			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> (%)	X <sub>2</sub> (%)	X <sub>3</sub> (%)	MOR (MPa)	IB (MPa)	WA <sub>24</sub> (%)	TS <sub>24</sub> (%)
1	0	0	0	3	7.5	7.5	6.3	0.49	23	2.2
2	-1	-1	-1	0	0	0	1.9	-	-	0.23
3	-1	-1	1	0	0	15	5.5	0.63	21.5	1.9
4	1	-1	-1	6	0	0	4.8	0.77	19	0.7
5	0	0	0	3	7.5	7.5	6.4	0.44	24	1.9
6	-1	1	-1	0	15	0	5.9	0.61	32	2.7
7	0	0	0	3	7.5	7.5	6.1	0.45	22	2.2
8	0	0	0	3	7.5	7.5	6.5	0.46	20	2
9	0	0	0	3	7.5	7.5	6.3	0.48	22	2.1
10	0	0	-1	3	7.5	0	5.3	0.67	19.5	2.2
11	0	0	1	3	7.5	15	7.4	0.42	26	2.4
12	-1	1	1	0	15	15	6.7	0.41	36	3.1
13	0	1	0	3	15	7.5	8.1	0.41	34.3	2.9
14	0	-1	0	3	0	7.5	5	0.65	20	0.9
15	1	1	1	6	15	15	11	0.29	34.5	3.3
16	1	1	-1	6	15	0	9.3	0.37	27.5	2.9
17	1	-1	1	6	0	15	8.5	0.38	21	1.3
18	0	0	0	3	7.5	7.5	6	0.48	21	1.8
19	-1	0	0	0	7.5	7.5	5.6	0.52	22.5	2.3
20	1	0	0	6	7.5	7.5	8.7	0.37	20	1.9

توجه: X<sub>1</sub>: الیاف شیشه، X<sub>2</sub>: الیاف کنف، X<sub>3</sub>: الیاف باگاس.

Note: X<sub>1</sub>: fiber glass, X<sub>2</sub>: kenaf fiber, X<sub>3</sub>: bagasse fiber.

رابطه بین مقادیر TS و WA و متغیرهای ساخت برای واحدهای کدگذاری شده به‌دست آمده به

شرح زیر می‌باشد:

$$TS=2.03+0.95X_2+0.37X_3 \quad (۲)$$

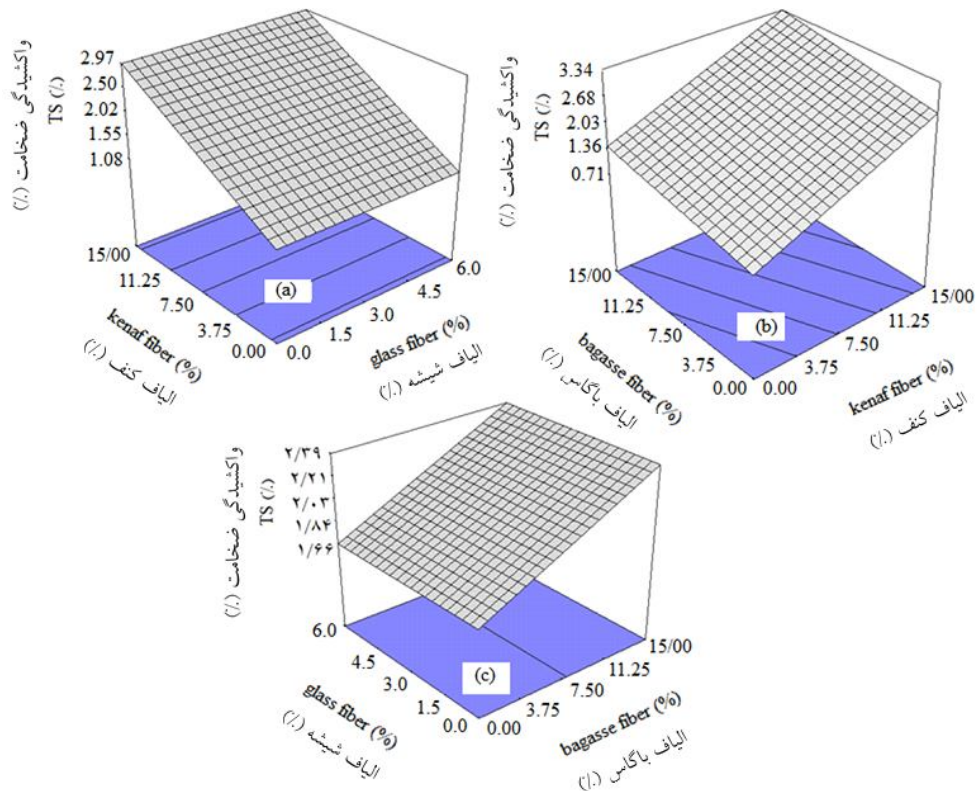
$$WA=22+6.68X_2+2.5X_3+4.18X_2^2 \quad (۳)$$

$$MOR= 6.34+1.66X_1+1.52X_2+1.2X_3+0.44X_1^2+0.21X_1X_2-0.59X_2X_3 \quad (۴)$$

$$IB= 0.48-0.094X_1-0.13X_2-0.12X_3+0.075X_3^2+0.054X_2X_3 \quad (۵)$$

به‌منظور به‌دست آوردن درک بهتری از نتایج، مدل‌های پیش‌بینی شده در شکل‌های سه بعدی ۴، ۵، ۶ و ۷ ارائه شده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود، یک تطابق ایده آل بین مقدار پیش‌بینی شده و داده‌های مشاهده شده ( $R^2=0/9$  برای TS و  $R^2=0/92$  برای WA) وجود دارد. نتایج به‌دست آمده از واکنش‌پذیری ضخامت (TS<sub>۲۴</sub>) و جذب آب (WA<sub>۲۴</sub>) به‌طور معنی‌داری ( $p<0/05$ ) تحت تأثیر متغیرهای

مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همبستگی مثبت بین مقدار الیاف باگاس ( $X_3$ ) و الیاف کنف ( $X_2$ ) در تخته‌ها نشان داد که الیاف مورد استفاده اثر قابل توجهی در مقدار TS و WA داشته است. مثبت بودن ضرایب خطی ( $X_2$  و  $X_3$ ؛ معادله ۲ و ۳) به معنای آن است که افزایش میزان الیاف باگاس و کنف منجر به افزایش TS و WA خواهد شد. الیاف معدنی (شیشه) در مقایسه با الیاف آلی (باگاس و کنف) مقاومت بالاتری به جذب آب دارند و از افزایش واکنش‌دهی ضخامت جلوگیری می‌کنند.



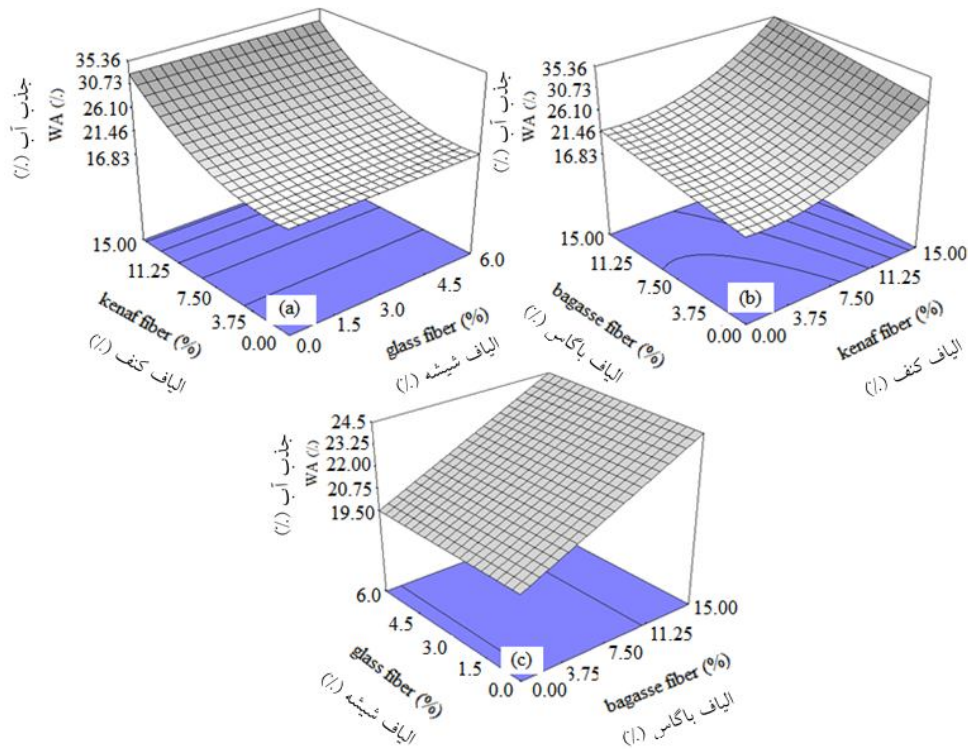
شکل ۴- اثر متغیرهای مورد استفاده بر واکنش‌دهی ضخامت (TS) تخته‌های ساخته شده از مدل معادله: (a) الیاف شیشه × کنف در سطح مرکزی الیاف باگاس، (b) الیاف کنف × باگاس در سطح مرکزی الیاف شیشه، (c) الیاف شیشه × باگاس در سطح مرکزی الیاف کنف.

Figure 4. mutual effect of variables on the TS of panels manufactured from equation model: (a) glass × kenaf fiber at the center level of bagasse fiber, (b) kenaf × bagasse fiber at the center level of glass fiber, (c) glass × bagasse fiber at the center level of kenaf fiber.

طبق استاندارد (BISON, 1987) BISON (Hz) (۲) و (EN 634-2 (CEN, 2007) (۳) میزان TS لازم ۱/۲ تا ۱/۸ درصد مشخص شده است. محدوده داده‌ها بین ۰/۷ تا ۳/۳ درصد برای TS و ۱۹ تا ۳۶ درصد برای WA بوده است. بیشترین درصد TS و WA مربوط به تخته فیبر- گچ با ۳/۳٪ حاوی ۶ درصد الیاف شیشه، ۱۵ درصد الیاف باگاس و ۱۵ درصد الیاف کنف می‌باشد. از طرف دیگر، کمترین درصد TS و WA مربوط به تخته فیبر- گچ با ۰/۷ درصد حاوی ۶ درصد الیاف شیشه و بدون استفاده از الیاف آلی می‌باشد. در واقع، TS و WA با میزان الیاف شیشه رابطه عکس دارد (شکل‌های ۴ و ۵).

الیافی که در برابر رطوبت و جذب آب از خود مقاومت نشان می‌دهند، در ساخت چند سازه‌ها علاوه بر افزایش مقاومت‌های خمشی باعث کاهش واکشیدگی ضخامت و جذب آب خواهد شد. البته در برخی شرایط نظیر استفاده از الیاف باگاس که در ساخت کامپوزیت منجر به افزایش جذب آب خواهد شد در برابر واکشیدگی ضخامت از خود مقاومت نشان خواهد داد (۲۳). میزان آبی که ذرات باگاس به خود جذب نموده اغلب به صورت آب آزاد بوده که در بین خلل و فرج و بافت اسفنجی شکل ذرات باگاس خواهد بود و تأثیر زیادی در اتصال شبکه الیاف و ماده معدنی نخواهد شد، به عبارتی الیاف باگاس در برابر افزایش حجم در زمان غوطه‌وری در آب مقاومت نسبتاً مطلوبی از خود نشان خواهند داد. همچنین، افزایش مقدار الیاف شیشه در ساخت تخته فیبر- گچ به طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش مقدار TS از ۱۵ درصد به ۳ درصد شد. با افزایش درصد الیاف، نسبت گچ مورد استفاده کاهش می‌یابد. گچ پس از سخت شدن تشکیل بلورهای کریستالی می‌دهد که در برابر افزایش حجم در هنگام جذب آب جلوگیری می‌نماید. در صورتی‌که، هر چه ماده معدنی گچ کمتر و درصد الیاف بیشتر باشد منجر به افزایش واکشیدگی ضخامت تخته فیبر- گچ تولیدی خواهد شد.





شکل ۵- اثر متغیرهای مورد استفاده بر واكشیدگی ضخامت (WA) تخته‌های ساخته شده از مدل معادله: (a) الیاف شیشه × کنف در سطح مرکزی الیاف باگاس، (b) الیاف کنف × باگاس در سطح مرکزی الیاف شیشه، (c) الیاف شیشه × باگاس در سطح مرکزی الیاف کنف.

Figure 5. mutual effect of variabls on the WA of panels manufactured from equation model: (a) glass ×kenaf fiber at the center level of bagasse fiber, (b) kenaf ×bagasse fiber at the center level of glass fiber, (c) glass×bagasse fiber at the center level of kenaf fiber.

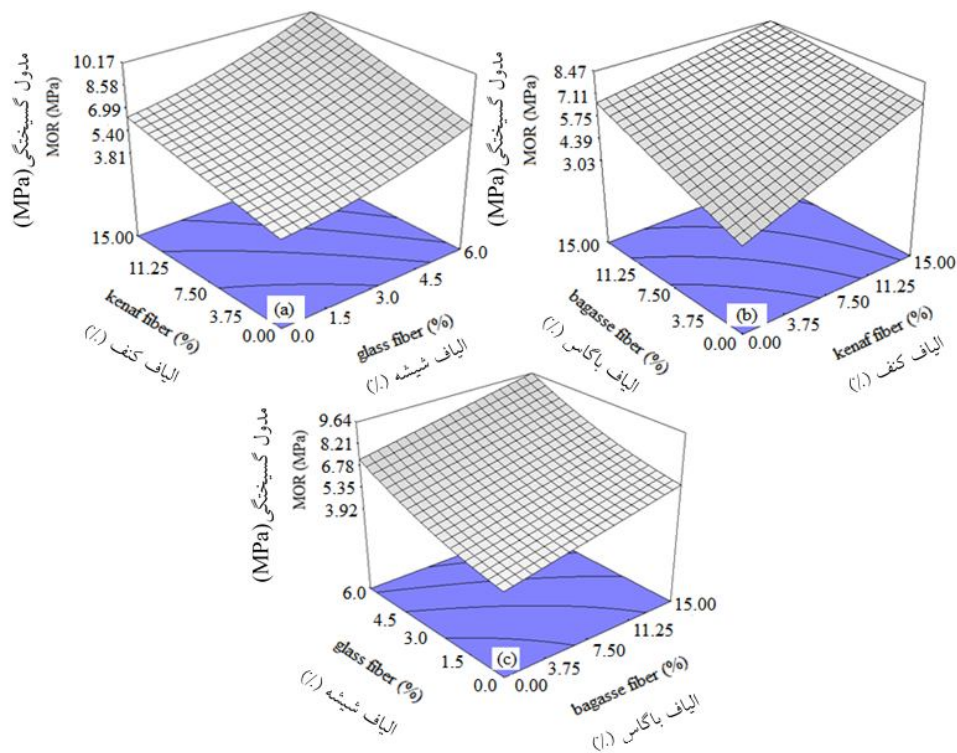
الیاف معدنی دارای بافت کربنی آب گریز بوده و در ساختار خود عاری از سلولز و همی سلولز می‌باشند که در جلوگیری از جذب آب مؤثر می‌باشد. با افزایش درصد الیاف شیشه میزان درصد جذب آب کاهش می‌یابد. بیش‌ترین جذب آب مربوط به الیاف کنف می‌باشد که دارای بیشترین درصد سلولز و کمترین مقدار لیگنین است. الیاف کنف بواسطه میزان سلولز بالا و الیاف باگاس به‌علت بافت اسفنجی و متخلخل (۲۳) قادر به جذب بالایی از آب خواهند بود. از طرف دیگر، الیاف معدنی به‌دلیل قطر کم نسبت به الیاف آلی قادر به مسدود کردن منافذ درون تخته شده و از نفوذ آب به درون خلل و

فرج تخته جلوگیری می‌نماید. الیاف آلی به دلیل وجود سطح ویژه بالا مکان‌های جذب آب را افزایش و با افزایش مصرف آن‌ها تخلخل تخته‌ها بالا رفته و راه برای ورود آب به فضای داخلی زیاد می‌گردد که منجر به افزایش جذب آب چند سازه می‌شود (۱۴ و ۲۶).

**خواص مکانیکی:** اثر الیاف باگاس، کنف و شیشه بر MOR و IB در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است. دامنه داده‌ها در محدوده ۱/۹ تا ۱۱ MPa برای MOR و ۰/۲۹ تا ۰/۷۷ MPa برای IB بوده است. با توجه به معادله ۴ و ۵ مشاهده می‌شود که ضریب خطی ( $\alpha_1$ ،  $\alpha_2$  و  $\alpha_3$ ) برای MOR مقادیر مثبتی را نشان می‌دهد که مبین آن است که افزایش الیاف شیشه، باگاس و کنف در ساخت چند سازه منجر به بالا رفتن MOR خواهد شد. در حالی که با توجه به ضرایب خطی منفی معادله ۵، با کاهش مقدار الیاف شیشه ( $X_1$ )، کنف ( $X_2$ ) و باگاس ( $X_3$ ) IB افزایش یافته است. بیشترین مقدار MOR مربوط به تخته ۱۵ به مقدار ۱۱ MPa (۶ درصد الیاف شیشه، ۱۵ درصد الیاف باگاس و ۱۵ درصد الیاف کنف) می‌باشد که برآورده‌کننده استاندارد (BISON (Hz) (1987) و EN 634-2 (2007) که برابر ۹ MPa است. کاربرد الیاف آلی مانند باگاس و کنف در ساخت تخته فیبر- گچ به منظور بهبود خواص مقاومتی از جمله (MOR) می‌باشد (شکل ۶). دلیل این امر را می‌توان در انعطاف و ضریب لاغری بالای این الیاف دانست (۱۷ و ۲۲). این موضوع باعث می‌شود تا تردی و شکنندگی کامپوزیت‌های گچی تحت تأثیر قرار گیرد. الیاف معدنی نظیر الیاف شیشه نیز به دلیل بالا بودن ضریب لاغری باعث بهبود مقاومت خمشی و سفتی کامپوزیت‌های بر پایه اتصال دهنده‌های معدنی نظیر گچ خواهد شد.

تأثیرات متقابل میزان درصد الیاف باگاس×کنف، الیاف باگاس×شیشه و کنف×شیشه نشان داده است که با افزایش میزان الیاف باگاس، کنف و شیشه مقاومت خمشی (MOR) نیز افزایش یافته است. میزان ضریب لاغری و قابلیت انعطاف‌پذیری این الیاف از مهم‌ترین عوامل در افزایش (MOR) می‌باشد. در صورتی که، کمترین مقدار مربوط به نمونه حاوی هر گونه فیبر می‌باشد (شکل ۶-a، b و c). میزان ضریب لاغری الیاف شیشه، باگاس و کنف به ترتیب بیش از ۳۰۰، ۶۸/۸ و ۱۵۰/۹ تعیین گردید (در نتایج ارایه نشد) که نشان می‌دهد ضریب لاغری الیاف شیشه نسبت به الیاف باگاس و الیاف کنف بسیار بالاتر است. مشاهده می‌شود که هر چه میزان الیاف شیشه در مقایسه با الیاف (باگاس و کنف) در ساخت تخته فیبر- گچ بیشتر به کار برده شود خصوصیات مقاومت خمشی (MOR) افزایش می‌یابد (شکل ۶-a و c). دلیل آن را می‌توان در به وجود آمدن یک شبکه قوی و کارآمد در اثر

ایجاد اتصال بین ذرات گچ و سطح الیاف شیشه دانست. این الیاف سازگاری بالایی با مواد معدنی دارند و منجر به اتصال نسبتاً قوی و مخلوط شدن مطلوبی با مواد معدنی می‌شوند (۱۷). استفاده از الیاف طبیعی نظیر باگاس در ترکیب با ذرات گچ در ساخت کامپوزیت تخته خرده چوب- گچ به دلیل انعطاف‌پذیری مطلوب منجر به افزایش مقاومت به خمش می‌گردد (۲۳). نتایج حاصل از تحقیقات گانسان و همکاران (۲۰۰۷) نشان داده است که به کار گرفتن الیاف در تولید چند سازه‌های الیاف-سیمان باعث بهبود خواص مکانیکی به‌ویژه مقاومت خمشی می‌گردد که دلیل آن را سطح تماس زیاد الیاف و ایجاد شبکه کارآمدتر و همچنین افزایش چسبندگی الیاف با ذرات سیمان ذکر کرده‌اند (۱۴).

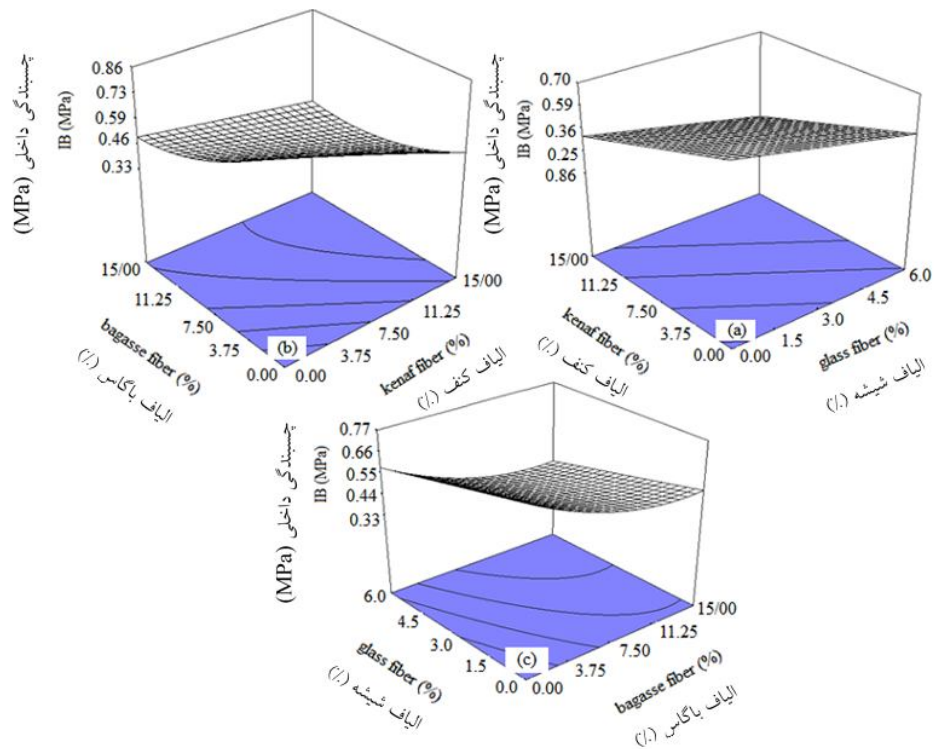


شکل ۶- اثر متغیرهای مورد استفاده بر واکنشیدگی ضخامت (MOR) تخته‌های ساخته شده از مدل معادله: (a) الیاف شیشه × کف در سطح مرکزی الیاف باگاس، (b) الیاف کف × باگاس در سطح مرکزی الیاف شیشه، (c) الیاف شیشه × باگاس در سطح مرکزی الیاف کف.

Figure 6. Mutual effect of variables on the MOR of panels manufactured from equation model: (a) glass × kenaf fiber at the center level of bagasse fiber, (b) kenaf × bagasse fiber at the center level of glass fiber, (c) glass × bagasse fiber at the center level of kenaf fiber.

تأثیرات متقابل میزان درصد الیاف باگاس × کنف، الیاف باگاس × شیشه و کنف × شیشه (شکل ۷-a، b و c) نشان داده است که با کاهش میزان الیاف باگاس، کنف و شیشه چسبندگی داخلی (IB) افزایش یافته است. مقاومت چسبندگی داخلی (IB) به مقدار ماده اتصال دهنده وابسته است. هر چه مقدار ماده معدنی اتصال دهنده بیشتر باشد مقاومت IB نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۴ علاوه بر IB بالای نمونه بدون الیاف، بیشترین IB مربوط به تخته فیبر- گچ با ترکیب ۶ درصد الیاف شیشه می‌باشد. پایین‌ترین IB مختص تخته فیبر- گچ با  $0/29 \text{ MPa}$  و ترکیب شرایط ۱۵ درصد الیاف باگاس، ۱۵ درصد الیاف کنف و ۶ درصد الیاف شیشه می‌باشد.

افزایش بیش از اندازه الیاف به دلیل کاهش سطح ماده معدنی در تماس با حجم الیاف مانع از تشکیل شبکه قوی بین الیاف و ماده معدنی خواهد شد (۸). الیاف شیشه در برابر مواد قلیایی مقاوم بوده و تأثیر قابل توجهی بر کیفیت چندسازه به دلیل فعالیت‌های سطحی آن و در نتیجه سازگاری مطلوب با ماده معدنی خواهد داشت. الیاف معدنی با توجه به میل بالای خود برای تشکیل پیوند با مواد معدنی شرایط چسبندگی عالی‌تر و قوی‌تری را برای چسبندگی بین چوب، الیاف و سیمان فراهم می‌سازد (۲۲). علاوه بر این، می‌توان دلیل دیگر افزایش مقاومت چسبندگی داخلی (IB) را افزایش مقدار گچ نسبت به الیاف آلی و معدنی در نظر گرفت. افزایش گچ باعث تشکیل شبکه‌های کریستالین بیشتر و قوی‌تری خواهد شد که الیاف با حجم و قطر پایین را به نحو مطلوبی پوشش می‌دهد. افزایش ذرات باگاس نسبت به ذرات کنف در ساخت پانل تخته فیبر- گچ به دلیل کاهش حجم ذرات آلی و همپوشانی مطلوب الیاف توسط ماده معدنی منجر به اتصال قوی بین ذرات شده و علاوه بر افزایش مقاومت چسبندگی داخلی که رابطه عکس با مقدار TS دارد قادر به بهبود TS نیز خواهد بود (۲۳).



شکل ۷- اثر متغیرهای مورد استفاده بر واکنشیدگی ضخامت (IB) تخته‌های ساخته شده از مدل معادله: (a) الیاف شیشه × کنف در سطح مرکزی الیاف باگاس، (b) الیاف کنف × باگاس در سطح مرکزی الیاف باگاس، (c) الیاف شیشه × باگاس در سطح مرکزی الیاف کنف.

Figure 7. Mutual effect of variables on the IB of panels manufactured from equation model: (a) glass × kenaf fiber at the center level of bagasse fiber, (b) kenaf × bagasse fiber at the center level of glass fiber, (c) glass × bagasse fiber at the center level of kenaf fiber.

### نتیجه گیری

بررسی فرآیند هیدراتاسیون گچ نشان داد که هر چه مواد استخراجی گونه‌های لیگنوسولوزی بیشتر باشد، زمان گیرایی خمیر گچ بیشتر خواهد بود و از طرف دیگر، میزان حرارت تولید شده حاصل از هیدراتاسیون گچ کاهش خواهد یافت.

بیشترین سرعت زمان گیرایی مربوط به تیمار گچ خالص با آب می‌باشد. علاوه بر این، در بین تیمارهایی که فقط از الیاف در خمیر گچ استفاده شده است، بیشترین زمان گیرایی مربوط به خمیر حاوی الیاف باگاس و کنف می‌باشد.

تولید تخته فیبر- گچ با استفاده از الیاف باگاس، الیاف کنف و الیاف شیشه به‌عنوان الیاف تقویت کننده باعث دوام و افزایش مقاومت‌های خمشی تخته‌های تولیدی خواهد شد. با افزایش الیاف باگاس و کنف در ساخت تخته فیبر با اتصال دهنده‌های معدنی مقدار واکنشیدگی ضخامت و جذب آب افزایش می‌یابد.

مقایسه اثر نوع ماده لیگنوسلولزی بر واکنشیدگی ضخامت نشان داده است که بیش‌ترین واکنشیدگی ضخامت مربوط به تخته‌های ساخته شده با بالاترین درصد الیاف کنف و الیاف باگاس می‌باشد و کم‌ترین میزان واکنشیدگی ضخامت را علاوه‌بر نمونه فاقد الیاف، تخته‌های ساخته شده با ۶ درصد الیاف شیشه داشته است.

#### منابع

1. Balasubramanian, M., Jayabalan, V., and Balasubramanian, V. 2008. A mathematical model to predict impact toughness of pulsed current gas tungsten arc welded titanium alloy [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35(9/10): 852-858.
2. BISON WOOD-CEMENT BOARD. Bison - Report 1978. p.10.
3. EN 634-2. 2007. Cement-bonded particleboards- Specifications- Part 2: Requirements for OPC bonded particleboards for use in dry, humid and external conditions.
4. Cochran Cox, G.M. 1962. *Experimental design* [M]. New Delhi: Asia Publishing House.
5. Coutts R.S.P. 1990. Banana fibers as reinforcement for building products. *Journal of Materials Science Letters*, 9(10): 1235-1236.
6. Coutts, R.P.S., Ni, Y., and Tobias, B.C. 1994. Air-cured bamboo pulp reinforced cement, *Journal of Materials Science Letters*. 13(4): 283-285.
7. Dalmay, P., Smith, A., Chotard, T., Sahay-Turner, P., Gloaguen, V., and Krausz, P. 2010. Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: influence of hemp or flax fibers on the properties of set gypsum. *J. Material Science* 45: 793-803.
8. Deng, Y., and Furuno, T. 2001. Properties of gypsum particleboard reinforced with polypropylene fibers. *J. Wood Science*, 47(6): 445-450.
9. EN 319. 1999. *Standard Test Methods for Determination of tensile strength*. European Standardization Committee, Brussels.
10. EN 310. 1999. *Standard Test Methods for Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength*. European Standardization Committee, Brussels.

11. EN 317. 1999. Standard Test Methods for Determination of swelling in thickness after immersion. European Standardization Committee, Brussels.
12. Eve, S., Gomina, M., Gmouh, A., Samdi, A., Moussa, R., and Orange, G. 2002. Development of gypsum-bonded particleboard manufacture. *Journal of the European Ceramic Society*. 22: 2269.
13. Frybort, S., Mauritz, R., Teischinger, A., and Muller, U. 2008. Cement bonded composites- a mechanical review. *BioResources*. 3(2): 602-626.
14. Ganesan, K., Rajagopal, K., and Thangavel, K. 2007. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement and Concrete Composites*. 29: 515-524.
15. Hachmi, M., and Campbell, A.G. 1990. Wood-cement chemical relationship, in: *Fiber and particleboards Bonded with Inorganic Binders*. A.A. Moslem (ed.), Forest Products Research Society, Madison, Wisconsin, Pp: 43-47.
16. Hachmi, M., and Moslemi, A.A. 1989. Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives. *Forest Product J*. 39(6): 55-58.
17. Hachmi, M., Moslemi, A.A. 1990. Effect of wood pH and buffering capacity on wood- cement compatibility. *Holzforschung*. 44(6): 425-430.
18. Hernandez-Olivares, F., Oteiza, I., deVillanueva, L. 1992. Development of gypsum-bonded particleboard manufacture. *Composite Structure* 22(3): 123-129.
19. Karsten, L., Thomas, H., and Helge, G. 1990. Development of gypsum-bonded particleboard manufacture in Europe. *Forest Products J*. 40(6): 37-40.
20. Lakshminarayanan, A.K., and Balasubramanian, V. 2009. Comparison of RSM with ANN in predicting tensile strength of friction stir welded AA7039 aluminium alloy joints. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 19: 9-18.
21. Marzuki, A.R., Rahim, S., Hamideh, M., Raslan, R.A. 2011. Effect of wood:cement ratio on mechanical and physical properties of three-layered cement-bonded particleboards from *leucaena leucocephala*. *J. Tropical Forest Science*. 23(1): 67-72.
22. Mashima, M., Kousa, K., and Ohno, S. 1994. *Fiber reinforced cement and concrete (in Japanese)*. Gihoudou Press, Pp: 165-182.
23. Nazerian, M., and Kamyab, M. 2013. Gypsum-bonded particleboard manufactured from agricultural based material. *Forest Science and Practice*. 15(4): 325-331.

24. Pascal, B., Philippe, G., René, G., and Bernard, G. 2004. The influence of wood aqueous extractives on the hydration kinetics of plaster. *Cement and Concrete Research*, 35(11): 2081-2086.
25. Rapoport, J.R., and Shah, S.P. 2005. Cast-in-Place Cellulose Fiber-reinforced Cement Paste, Mortar, and Concrete. *ACI Materials Journal*. 102: 299-305.
26. Semple, K.E., Cunningham, R.B., and Evans, P.D. 2002. The suitability of five western Australian mallee eucalypt species for wood-cement composites. *Industrial Crops and Products*. 16: 89-100.
27. Simatupang, M.H., and Lu Xi Xian. 1985. Influence of wood extractives on hardening of gypsum plaster and on the manufacture of gypsum-bonded particleboards. *Holz als Roh und Werkstoff*. 43: 325-331.
28. Simatupang, M.H., Lange, H., Kasim, A., and Seddig, N. 1988. Influence of wood species on the setting of cement and gypsum. In: Moslemi AA, Hamel MP (eds) (1989) International conference on fiber and particleboard bonded with inorganic binder. *Idaho, USA*, Pp: 33-42.
29. Singh, S.M. 1979. Investigations into the causes of poor strength of Portland cement bonded lignocellulosic materials. *Journal of the Indian Academy of Wood Science.*, 10(1): 15-19.
30. TAPPI Standarts. 1988. Acid insoluble lignin in wood and pulp, T 222 om-88, Atlanta, USA.
31. TAPPI Standarts. 1988. Wood extractives in ethanol-benzene mixture, T 204 om-88, Atlanta, USA.
32. TAPPI Standarts. 1988. Ash in wood and pulp, T 211 om-85, Atlanta, USA.
33. Zhengtian, L., and Moslemi, A.A. 1985. Influence of chemical additives on the hydration characteristics of western larch wood-cement-water mixture. *Forest Products J.* 1985; 35 (7/8):37-43.
34. Zhou, Y., and Kamdem, D.P. 2002. Effect of cement/wood ratio on the properties of cement-bonded particleboard using CCA treated wood removed from service. *Forest Products J.* 52(3): 77-81.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 23 (2), 2016  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## **Application effect of mineral fibers on hydration and properties of gypsum-bonded fiberboard manufactured from kenaf and bagasse fibers**

**\*M. Nazerian<sup>1,2</sup>, M. Kamyab<sup>3</sup> and H. Kermaniyan<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Associate Prof., Dept., of Cellulose and Paper Technology, Faculty of Energy Engineering and New Technology, Shahid Beheshti University, <sup>2</sup>Associated Prof., Dept., of Wood and Paper Science, University of Zabol, <sup>3</sup>M.Sc. Student, Wood and Paper Science, Natural Resources Faculty, University of Zabol, <sup>4</sup>Assistant Prof., Dept., of Cellulose and Paper Technology, Faculty of Energy Engineering and New Technology, Shahid Beheshti University

Received: 02/28/2016 ; Accepted: 09/05/2016

### **Abstract**

**Background and aims:** With respect to the special advantages of lignocellulosic materials, substitution of mineral reinforcement agents (fiber glass, asbestos and etc.) by organic-based fibers such as sisal, cellulosic fibers can be performed. However, using these natural fibers has some defects which could decrease curing and hardening speed of gypsum due to dissolution water-soluble extractives of fiber, while wood material's shortages in country, cheapness and abundance of lignocellulosic resources during the seasons of the year are some reasons of using agricultural waste. Hence, in this research the possibility of gypsum-bonded fiberboard production from bagasse, kenaf and synthetic fiber (fiber glass) was investigated.

**Materials and methods:** Any of bagasse fiber and kenaf fiber at three levels of 0, 7.5 and 15% (based on the dry weight of panels) and fiber glass at three levels of 0, 3 and 6% as effective variables on the physical and mechanical properties of gypsum-bonded fiberboard manufactured with gypsum to inorganic or organic fibers ratio of 1:2.75 and nominal density of 1.10g/cm<sup>3</sup> were evaluated. Production methods of panels was semi-dry process. At first, water containing citric acid (99.50% water+0.5% acid) was sprayed on the dry fibers. After agitating fibers in the laboratory blender for 5min, gypsum was added to fibers and mixed together in the blender with high circuit speed again. Then, admixture poured into the wood mould with a dimension of 30×30 cm and pressed under cold press with pressure

---

\*Corresponding author: [morteza17172000@yahoo.com](mailto:morteza17172000@yahoo.com)

of 3MPa for 48 hours. After discharging, panels were treated at the fresh air condition for 5 days in order to climatization. Then, panels set in oven dryer with temperature of 50°C for 5 hours in order to complete hardening and reach to maximum strength. Drying the panels continued to 5-7% humidity. After ending manufacture process, physical and mechanical properties of panels tested and result was analyzed by response surface methodology based on second order polynomial regression model. Finding: results showed that there is a good conformity between predicted and estimated values, so with increasing bagasse and kenaf fibers MOR and IB increased.

**Results:** Results of determination of hydration temperature and time of gypsum paste test showed that with increasing extractives of lignocellulosic materials temperature and hardening time of complex decreased and increased, respectively.

**Keywords:** Gypsum-bonded fiberboard, Hydration, Physical and mechanical properties, Bagasse, Kenaf, Fiber glass