

اثر ماده لیگنوسلولزی بر فرایند هیدراتاسیون، ویکات و خواص مکانیکی تخته خرده‌چوب-گچ

- ❖ **میشم کامیاب***؛ کارشناس ارشد گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
- ❖ **مرتضی ناظریان**؛ دانشیار گروه فناوری کاغذ و سلولز، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی؛ دانشیار گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

چکیده

در این مطالعه امکان ساخت تخته خرده‌چوب-گچ (GBPB) از ذرات باگاس (*Saccharum ossicinarum l.*) و کاه گندم (*Oryza sativa l.*) با نسبت سطوح مختلف و نسبت گچ: مواد لیگنوسلولزی بررسی شد. نسبت باگاس: کاه گندم از ۱:۰۰ تا ۰:۹۳/۷۵، ۶/۲۵:۸۷/۵، ۱۲/۵:۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰:۷۵/۲۵ و ۱۰۰:۰:۷۵/۲۵ در GBPB آزمایشگاهی با استفاده از دو نسبت گچ به مواد لیگنوسلولزی (LR : G) یعنی ۱:۲/۷۵ و ۱:۳/۲۵ با دانسیته ۱/۰۵ و ۱/۲۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب ساخته شد. مقاومت خمشی (MOR)، مدول الاستیسیته (MOE) و چسبندگی داخلی (IB) تخته‌ها و همچنین فرایند هیدراتاسیون خمیر گچ بررسی شد و تحلیل آماری و تحلیل واریانس به منظور بررسی امکان ساخت از پسماندهای کشاورزی در تولید GBPB تجاری انجام گرفت. بررسی هیدراتاسیون نشان داد که مواد لیگنوسلولزی که دارای مواد استخراجی بیشتری هستند سبب کاهش دمای هیدراتاسیون و افزایش زمان سخت شدن ماده معدنی خواهند شد. نتایج تجربی نشان دادند که مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته تخته‌های حاوی ۰، ۶/۲۵ و ۱۲/۵ درصد کاه گندم با نسبت ۱:۲/۷۵ بیشتر از پانل‌های ساخته‌شده بود. به‌طور کلی، تخته‌هایی که از درصد بیشتر ذرات باگاس در ساختشان استفاده شده، مقاومت مطلوب‌تری دارند و پاسخگوی مناسبی در زمینه رفع احتیاجات هستند.

واژگان کلیدی: باگاس، تخته خرده‌چوب-گچ، خواص مکانیکی، کاه گندم، هیدراتاسیون.

مقدمه

سالانه مقادیر زیادی از منابع لیگنوسلولزی حاصل از ضایعات محصولات کشاورزی مانند کاه گندم و باگاس در عرصه‌های کشت تولید می‌شود. این مواد زاید را می‌توان به عنوان ماده اولیه جایگزین مواد معدنی یا آلی برای تولید کامپوزیت چوب-معدنی در نظر گرفت. ترکیب الیاف پشم معدنی اثری قوی بر سازگاری بین چوب و مواد لیگنوسلولزی و سیمان و نتایج خواص مکانیکی حاصل نشان داده شده است. به خوبی شناخته شده است که درهم‌روی مکانیکی تأثیر مهمی در فرایند چسبندگی پانل‌های چوب-معدنی دارد [۱]. با توجه به وجود لایه‌های مومی و سیلیکاتی پوشش ساقه گندم، که سبب ممانعت از تماس مستقیم کافی بین الیاف گندم می‌شود، استفاده از مواد حاصل به عنوان مواد فیبر خام برای تولید پانل محدود شده است [۲]. علاوه بر این، کاه ناشی از این مواد ساختارهای توخالی و لوله‌ای دارد. وقتی که کاه به ذرات کوچک خرد می‌شود، برخی از ذرات خرد نمی‌شوند و به شکل لوله باقی می‌مانند که مانع رسیدن ماده معدنی به سطوح داخلی کاه می‌شوند [۳]. برخی از اشکالات تخته خرده‌چوب-گچ، تمایل برای افزایش جذب رطوبت به دلیل هیگروسکوپیک بودن گچ و چوب است [۴]. به عنوان ماده ساختمانی، تخته خرده‌چوب-گچ باید واکنشیدگی ضخامت (TS) کم و خواص مکانیکی خوبی برای اطمینان از ثبات ابعاد داشته باشد. پانل‌های گچی تقویت شده با عناصر چوبی و سلولزی دارای خواص مکانیکی همچون مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه در حد مطلوب‌اند.

پخت گچ سبب واکنش‌های شیمیایی بین آب و

همی‌هیدرات سولفات کلسیم ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) موجود در فرمولاسیون گچ شده است. گندم و باگاس از مقادیر کمتر لیگنین و مقادیر بیشتر مواد استخراجی تشکیل شده‌اند. وجود مواد استخراجی حاوی قند، مورفولوژی و اندازه بلورهای هیدرات ساخته شده و هیدرات آسیب دیده در اطراف ذرات معدنی دهیدرات، مانع سخت شدن یا موجب تأخیر در آن و سبب تأثیر بر چسبندگی ماده معدنی با چوب می‌شود [۱، ۵، ۶]. از سوی دیگر، سخت شدن اولیه گچ به طور معمول حدود ۱۰ دقیقه طول می‌کشد که برای پاسخگویی به درخواست تولید بیش از حد کوتاه است [۷]. در واقع، گسترش و فشار فرایند ممکن است مانع رسیدن درجه حرارت هیدراتاسیون مخلوط گچ-چوب-آب به بالاترین نقطه خود و تکمیل سخت شدن مخلوط شود [۸]. علاوه بر این، به نظر می‌رسد pH عصاره آبی که از مواد لیگنوسلولزی استخراج می‌شود تا حد زیادی بیشتر از چوب است. گونه‌های با pH بیشتر از ۴/۹ در نظر گرفته شده سازگارند. از سوی دیگر، گونه‌های با pH کمتر از ۳/۹ ناسازگار در نظر گرفته شده‌اند که در این وضعیت، مواد استخراجی و pH بالا می‌تواند به عنوان کندکننده طبیعی عمل کنند و سبب تأخیر در سخت شدن اولیه تیمار مخلوط شوند.

اگرچه در ایران تحقیقاتی درباره استفاده از منابع لیگنوسلولزی مختلف بر چسبندگی خواص تخته خرده‌چوب-سیمان صورت گرفته، تأثیرات این مواد بر ویژگی‌های تخته خرده‌چوب-گچ به صورت بسیار محدودی بررسی شده است. براساس مطالعات صورت گرفته در داخل کشور، از کامپوزیت چوب-گچ از کاه گندم که جزء منابع لیگنوسلولزی فصلی است استفاده چندانی صورت نگرفته است. در این تحقیق

و ۱/۲۰ گرم بر سانتی متر مکعب با عدم قطعیت ± 0.04 ساخته شدند.

جدول ۱. نسبت‌های گندم/ باگاس و گچ: الباف لیگنوسلولزی در تولید تخته خرده چوب-گچ

تخته	درصد گندم	درصد باگاس	گچ: الباف لیگنوسلولزی
A	۰	۱۰۰	۱:۳/۷۵
B	۶/۲۵	۹۳/۷۵	۱:۳/۷۵
C	۱۲/۵۰	۸۷/۵	۱:۳/۷۵
D	۲۵	۷۵	۱:۳/۷۵
E	۵۰	۵۰	۱:۳/۷۵
F	۷۵	۲۵	۱:۳/۷۵
G	۱۰۰	۰	۱:۳/۷۵
H	۰	۱۰۰	۱:۳/۲۵
I	۶/۲۵	۹۳/۷۵	۱:۳/۲۵
J	۱۲/۵۰	۸۷/۵	۱:۳/۲۵
K	۲۵	۷۵	۱:۳/۲۵
L	۵۰	۵۰	۱:۳/۲۵
M	۷۵	۲۵	۱:۳/۲۵
N	۱۰۰	۰	۱:۳/۲۵

آزمون هیدراتاسیون^۱

بررسی آزمون هیدراتاسیون بر روی تیمارهای مورد نظر برای ارزیابی سازگاری مواد مورد استفاده با گچ و میزان دمای تاییده شده از ترکیب فرایند و اختلاط با آب با استفاده از روش استاندارد ASTM C 186-83 (1983) صورت گرفت. زمان سخت شدن نهایی^۲ و دمای نهایی^۳ تیمارها اندازه گیری و به شکل گراف ارائه گردید. تیمارها و ترکیبات استفاده شده در آزمون هیدراتاسیون به همراه کد در جدول ۲ آورده شده است.

امکان استفاده از این ماده آلی بررسی شده است. هدف این مطالعه، بررسی میزان دما و مدت زمان سخت شدن گچ در هنگام اختلاط با مواد آلی و تعیین خواص مکانیکی تخته خرده چوب-گچ (GBP) تولید شده از کاه گندم و ذرات باگاس در نسبت‌های مختلف با استفاده از دو نسبت مواد لیگنوسلولزی به گچ بود.

مواد و روش‌ها

مواد

ماده مورد استفاده باگاس (*Saccharum ossicinarum*) از نواحی جنوب غربی ایران تهیه شد. کاه گندم (*Oryza sativa L.*) از مزارع شهرستان زابل پس از آسیاب توسط خردکن‌ها جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. اندازه ظاهری ذرات باگاس و کاه گندم به صورت یکسان با طول متوسط ۸-۳ و ضخامت ۱-۰/۴ میلی‌متر برای کاربرد در ساخت تخته خرده چوب-گچ در نظر گرفته شد. ماده اتصال‌دهنده معدنی استفاده شده، گچ کارخانه امید سمنان بود.

عوامل متغیر و ثابت

در تحقیق صورت گرفته اثر عوامل متغیر مستقل بر خواص مکانیکی تخته‌ها بررسی شد. این عوامل شامل میزان اختلاط مواد لیگنوسلولزی باگاس و کاه گندم در هفت سطح (۰:۱۰۰، ۶/۲۵:۹۳/۷۵، ۱۲/۵:۸۷/۵، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰) و مقدار ماده اولیه لیگنوسلولزی نسبت به ماده اتصال‌دهنده معدنی (گچ) در دو سطح ۱:۳/۲۵ و ۱:۳/۷۵ بود که در مجموع ۱۴ تیمار به دست آمد (جدول ۱). از هر تیمار سه تکرار و در مجموع ۴۲ تخته ساخته شد. تخته‌های نهایی در ابعاد ۱۲ × ۳۵ × ۳۵ سانتی متر و دانسیته اسمی ۱/۰۵ گرم بر سانتی متر مکعب

1. Hydration test
2. Setting time max
3. Temperature max

جدول ۲. تیمارهای آزمون هیدراتاسیون

G.W	a. گچ + آب
G. A 0.05	b. گچ + اسیدسیتریک ۰/۰۵
G. A 0.05. B	c. گچ + اسیدسیتریک ۰/۰۵ + خرده باگاس
G. A 0.05 BCE	d. گچ + اسیدسیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی باگاس با شست‌وشوی آب سرد
G. A 0.05 BHE	e. گچ + اسیدسیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی باگاس با شست‌وشوی آب گرم
G. A 0.05. WS	f. گچ + اسیدسیتریک ۰/۰۵ + کاه گندم
G. A 0.05 WSCE	g. گچ + اسیدسیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی کاه گندم با شست‌وشوی آب سرد
G. A 0.05 WSHE	h. گچ + اسیدسیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی کاه گندم با شست‌وشوی آب گرم

آنالیز بیومتریکی الیاف

به منظور اندازه‌گیری خواص بیومتری الیاف لیگنوسلولزی از روش فرانکلین (۱۹۵۴) [۱۱] استفاده شد. برای هر نمونه طول و قطر ۷۰ عدد از الیاف مواد لیگنوسلولزی اندازه‌گیری شد.

ساخت تخته‌های آزمایشی

فرایند مورد استفاده فرایند نیمه خشک (نسبت وزنی آب به گچ ۰/۴) بود. ابتدا اسیدسیتریک ۰/۰۵ (۰/۹۵) آب + ۰/۰۵ اسید سیتریک ۱۰۰ درصد) روی الیاف خشک افشانه شد. پس از مرطوب کردن کامل ذرات ماده لیگنوسلولزی گچ بر روی آن پاشیده و در یک همزن با دور گردش قوی کاملاً با هم مخلوط شد تا مخلوط یکنواخت و همگن ماده لیگنوسلولزی-گچ مرطوب به دست آید. سپس این مخلوط همگن در قالب چوبی با ابعاد ۳۵×۳۵ سانتی متر به دقت ریخته شد تا تغییرات ضخامت در تخته نهایی اتفاق نیفتد. سپس یک زیر پرس سرد با فشار حدود ۳ MPa قرار گرفت. مدت زمان قرار گرفتن تخته‌ها در فشار ثابت نگه‌داشته شده توسط گیره ۲۴ ساعت بود. پس از باز کردن گیره‌ها، تخته‌های ساخته شده به منظور تکمیل فرایند هیدراتاسیون به مدت ۲۴ ساعت درون کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد. در ادامه، پس از خارج کردن تخته‌ها از کیسه‌های

نسبت‌های وزنی مختلف ۳۰۰ گرم گچ: ۱۵۰ میلی‌لیتر آب: ۱۵ گرم ماده لیگنوسلولزی برای تیمارهای c و f و ۳۰۰ گرم گچ: ۱۵۰ میلی‌لیتر آب برای تیمارهای a, b, d, e, g و h بودند. این نسبت‌ها براساس نسبت بهینه آب به گچ توسط Simatupang و Lu (۱۹۸۵) تعیین شده‌اند [۹].

آزمون ویکات^۱

سخت شدن خمیر یک شاخص خوب از درجه تبدیل واکنش هیدراتاسیون است. آزمون ویکات شامل تکامل قوام دوغاب، پس از زمان اولیه و سخت شدن نهایی است. نسبت‌های وزنی مختلف ۳۰۰ گرم گچ: ۱۵۰ میلی‌لیتر مایع: ۱۵ گرم ماده لیگنوسلولزی برای تیمارهای c و f و ۳۰۰ گرم گچ: ۱۵۰ میلی‌لیتر مایع برای تیمارهای a, b, d, e, g و h بود. برای کامپوزیت‌های حاوی الیاف، زمان سخت شدن اولیه در معرض تغییرات ناشی از این واقعیت بود که دسته‌ای از الیاف می‌تواند از نفوذ سوزن جلوگیری کند. زمان سخت شدن نهایی پارامتر قابل اطمینان تری برای چنین موادی بود. علاوه بر این، درصد الیاف کم به اندازه کافی (کمتر از ۱۰ درصد وزنی) برای به دست آوردن اطلاعات سازگار با این روش منظور می‌شود [۱۰].

(L/D) مواد اولیه به طور مستقیم بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب معدنی تأثیرگذارند، در این بخش ویژگی های بیومتری مواد اولیه مورد استفاده شامل باگاس و کاه گندم اندازه گیری و با هم مقایسه شد. همان طور که در جدول ۳ دیده می شود الیاف باگاس در مقایسه با الیاف گندم طول بیشتری داشتند.

جدول ۳. ویژگی های بیومتری الیاف لیگنوسلولزی

ضریب لاغری (L/D)	میانگین قطر ذرات (µm)	میانگین طول ذرات (mm)	گونه
۶۸/۸	۲۲/۱ (۳/۱۱)	۱/۵۲ (۰/۳۵۸)*	باگاس
۸۴/۳	۱۴/۷ (۲/۶۳)	۱/۲۴ (۰/۵۱۵)	کاه گندم

* اعداد درون پرانتز میزان انحراف معیار از میانگین داده های به دست آمده است.

ضریب لاغری^۳ الیاف گندم نسبت به الیاف باگاس بیشتر است. دیواره فیبر گندم دارای ضخامت زیادند؛ بنابراین از سفتی بیشتر و انعطاف کمتر برخوردارند. در صورتی که دیواره فیبر باگاس دارای طول زیاد و پراکنش اندازه ذرات بیشتری است. ذرات کاه گندم نیز دارای طول کوتاه و قطر ذرات کم اند. به طور کلی، کاه گندم دارای ذرات کوچک تر نسبت به دیگر الیاف بود. در تحقیقات صورت گرفته طول الیاف باگاس ۱/۳۸ میلی متر، قطر الیاف ۱۸ میکرون و ضریب لاغری ۷۶ [۱۴] همچنین، متوسط طول و قطر الیاف باگاس به ترتیب ۱-۱/۵ میلی متر و ۲۰ میکرون و ضریب لاغری بین ۷۰-۵۰ گزارش شده است [۱۵].

فرایند هیدراتاسیون

اثر نوع ماده لیگنوسلولزی و مواد استخراجی به کار برده شده در فرایند هیدراتاسیون گچ- مواد لیگنوسلولزی به منظور اندازه گیری دقیق دمای هیدراتاسیون کامپوزیت

پلاستیکی، تخته ها به مدت ۶۰ دقیقه به منظور متعادل سازی رطوبت در هوای آزاد نگهداری شدند. تخته ها پس از تکمیل فرایند سخت شدن دارای ۱۶ تا ۲۰ درصد رطوبت بودند. به همین منظور تخته ها در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴ ساعت خشک شدند. خشک کردن تخته ها تا رطوبت ۱ تا ۲ درصد ادامه یافت. خشک کردن بیشتر سبب کاهش مقاومت تخته ها می شود. بعد از خشک کردن، نمونه آزمون های مکانیکی (مدول الاستیسیته، مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی) بر اساس استاندارد EN تهیه و آزمایش شد [۱۲، ۱۳].

تجزیه و تحلیل آماری

ساخت تخته ها در قالب طرح آماری فاکتوریل صورت گرفت. با استفاده از تحلیل آماری و تحلیل واریانس (ANOVA) اثر مستقل فاکتورهای نسبت باگاس: کاه گندم و دو نسبت گچ به مواد لیگنوسلولزی (LR : G) یعنی ۱:۳/۲۵ و ۱:۲/۷۵ به ترتیب با دانسیته ۱/۰۵ و ۱/۲۰ گرم بر سانتی متر مکعب و همچنین اثر متقابل آنها بررسی شد. پس از حصول نتایج، مقایسه میانگین ها نیز با روش دانکن در سطح آماری ۰/۰۵ برای انتخاب بهترین تیمار در ساخت تخته خرده چوب-گچ تعیین شد.

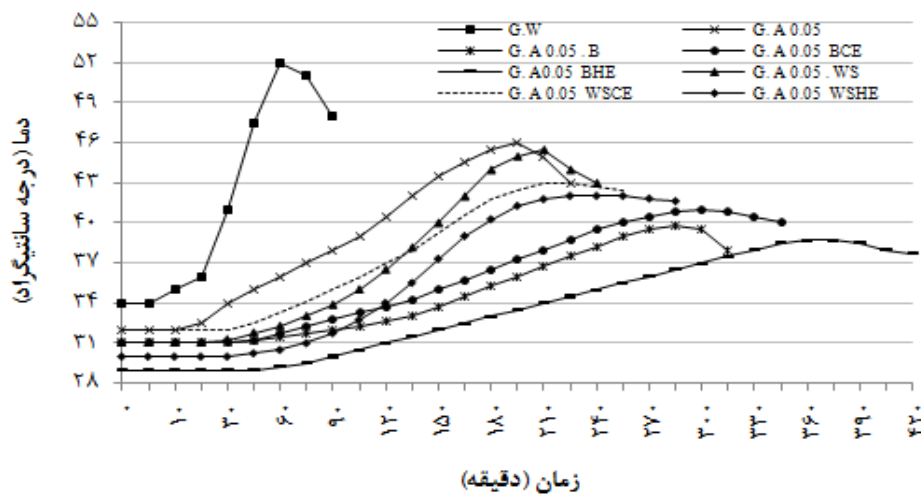
نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل بیومتری الیاف

در تحقیق صورت گرفته اندازه ظاهری طول و ضخامت ذرات آلی تهیه شده به ترتیب ۸-۳ و ۰/۹-۰/۳ میلی متر بود. از آنجا که ویژگی های بیومتری الیاف (طول^۱، قطر^۲،

لیگنوسولوزی با آب گرم مواد استخراجی بیشتری را در خود حل می‌کند که این عامل سبب روند تغییرات در دما و زمان سخت شدن فرایند هیدراتاسیون در حضور مواد استخراجی خواهد شد. به‌طور کلی، در ترکیبات حاوی مواد استخراجی بیشتر، زمان هیدراتاسیون بیشتر و دمای هیدراتاسیون کمتری مشاهده شد.

معدنی، زمان سخت شدن نهایی (t_{max}) و دمای نهایی (T_{max}) مخلوط گچ با ماده لیگنوسولوزی (باگاس و گندم) یا مخلوط گچ با مواد استخراجی حاصل از شست‌وشوی ماده لیگنوسولوزی با آب گرم و سرد اندازه‌گیری شد. از تجزیه و تحلیل نتایج و با توجه به شکل ۱ می‌توان نتیجه گرفت که شست‌وشوی ماده



شکل ۱. میزان دما و زمان آزمون هیدراتاسیون در تیمارهای مختلف

گرما می‌شود [۱۶]. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن نوع ماده خام لیگنوسولوزی یا مواد استخراجی محلول در آب حاصل از شست‌وشوی مواد لیگنوسولوزی دمای هیدراتاسیون کاهش و زمان سخت شدن نهایی افزایش می‌یابد. مواد استخراجی موجود در الیاف در اختلاط با مواد معدنی مانند سیمان و گچ طی فرایند هیدراتاسیون در دو روش توضیح داده شده است. در طول فرایند هیدراتاسیون گچ، سولفات کلسیم همانند هیدروکسید کلسیم در فرایند هیدراتاسیون سیمان pH خمیر را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، مواد استخراجی آزاد شده از الیاف گیاهی به‌طور کلی حالت اسیدی دارند و این مواد به‌دلیل وجود مواد قندی، خاکستر و غیره گیرایی ماده معدنی را به تأخیر می‌اندازند. بنابراین، برخی از

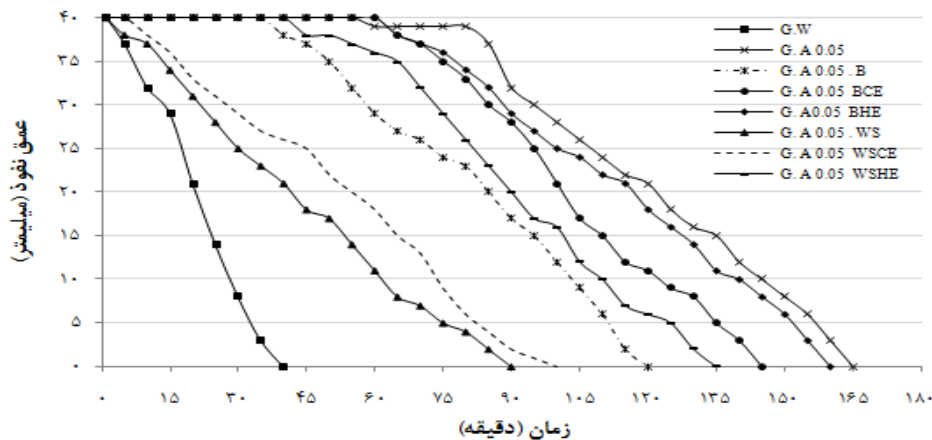
نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که زمان سخت شدن نهایی گچ در حضور ماده لیگنوسولوزی یا مواد استخراجی حاصل از شست‌وشوی ماده لیگنوسولوزی افزایش و از طرف دیگر، دمای نهایی مخلوط کاهش یافت. علاوه بر این، افزایش یا کاهش دمای هیدراتاسیون با توجه به زمان‌های مختلف به نوع ماده لیگنوسولوزی و مواد استخراجی وابسته است. به‌طور کلی، ماده لیگنوسولوزی که دارای مقدار کمتر یا بیشتری از مواد استخراجی باشد، به‌ترتیب به مقادیر بیشتر و کمتری از دمای هیدراتاسیون منجر خواهد شد. کاهش دمای پیشینه ممکن است ناشی از کاهش یک مقدار از ماده معدنی یا وجود مقدار جرم مشخصی از مواد لیگنوسولوزی باشد که به‌دلیل جذب آب، مانع تولید

اضافه شده به آب که توسط مخلوط ماده معدنی سیمان یا گچ تحت تاثیر نفوذ توانایی جذب و انسجام مولکولی بالا به صورت یک لایه نازک سطحی قابل جذب روی سطح دانه های سیمان یا گچ شکل می گیرد به طوری که ذرات کوچک گچ به دلیل ناپیوستگی در ساختار خود از دسترس آب خارج شده و به صورت هیدراته نشده باقی بمانند.

فرایند ویکات

اثرهای نوع ماده لیگنوسولوزی و مواد استخراجی بر زمان سخت شدن مخلوطی از مواد لیگنوسولوزی با گچ خالص یا خمیر گچ حاوی مواد استخراجی (شکل ۲) بررسی شد.

تغییرات در pH سیستم وجود خواهد داشت که ممکن است حل و ثبات ترکیبات هیدراته را تغییر دهد؛ از این رو ممکن است اثرهای منفی بر روند هیدراتاسیون داشته باشد [۱۷]. مرحله دوم، آزادسازی مواد قلیایی طی فرایند هیدراتاسیون ماده معدنی در اختلاط با همی سلولز و لیگنین موجود در الیاف است. در حقیقت، تحت تأثیر $Ca(OH)_2$ همی سلولز به ماده قندی قابل حل تجزیه می شود. هیدرولیز قلیایی همی سلولز و لیگنین در نتیجه تشکیل نمک های کلسیم لیگنین، پلی ساکارید و کاهش برخی مواد قندی است [۱۷]. این نمک های محلول یا رسوبات دخالت فیزیکی یا شیمیایی با هیدراتاسیون ماده معدنی دارند و حتی می توانند ترکیب و مورفولوژی فرآورده هیدراته را تغییر دهند [۱۷]. علاوه بر این، مواد قندی چوب مواد آب دوست سطحی فعال اند. مواد قندی



شکل ۲. آزمون ویکات: مقایسه عمق نفوذ و تیمارهای مختلف در زمان های اعلام شده

بین تیمارهای مورد آزمون (c, d, e, f, g, h) در شکل ۲ کمترین زمان سخت شدن مربوط به تیمار f (گچ + اسیدسیتریک ۰/۰۵ + کاه گندم) به میزان ۹۰ دقیقه بود. دلیل آن ممکن است مقدار کم مواد استخراجی موجود در ماده لیگنوسولوزی (کاه گندم) و تنوع ساختارهای نامنظم فیبری باشد. به عبارتی، هر چه

همی هیدرات گچ در حلال آب یک محلول قلیایی با pH بیشتر از ۱۲ خواهد داشت. سخت شدن خمیر گچ بدون هیچ گونه ماده افزودنی در حدود ۴۰ دقیقه طول کشید. برای تأخیر در سرعت گیرایی خمیر گچ از حلال اسیدی (اسید سیتریک ۰/۰۵) استفاده شد که زمان سخت شدن به ۱۶۵ دقیقه افزایش داده شد. در

گچ و ترکیبات محلول در آب الیاف می‌شود [۱۰].
مقاومت خمشی^۱ (MOR) و مدول الاستیسیته^۲ (MOE)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) بیانگر سطح معنی‌داری اثر مستقل نسبت مواد لیگنوسلولزی (نسبت ذرات باگاس: کاه گندم) و نسبت گچ: مواد لیگنوسلولزی (۱:۲/۷۵ و ۱:۳/۲۵ با دانسیته ۱/۰۵ و ۱/۲۰ گرم بر سانتی متر مکعب) است. به طوری که اثر مستقل نسبت باگاس: کاه گندم و نسبت گچ: مواد لیگنوسلولزی و اثر متقابل آنها در آزمون مکانیکی مدول گسیختگی (MOR) معنادار است. در صورتی که برای مدول الاستیسیته (MOE) تنها اثر مستقل نسبت باگاس: کاه گندم معنادار است و اثر مستقل نسبت گچ: مواد لیگنوسلولزی و اثر متقابل آنها معنادار نیست.

مقادیر به دست آمده برای مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته به ترتیب از ۵/۰۷ تا ۱۳/۲۶ MPa و ۲۴۸۱ تا ۴۹۹۲ MPa بود (شکل‌های ۳ و ۴ به انضمام استانداردهای EN 310 و BISON برای تخته خرده‌چوب-گچ).

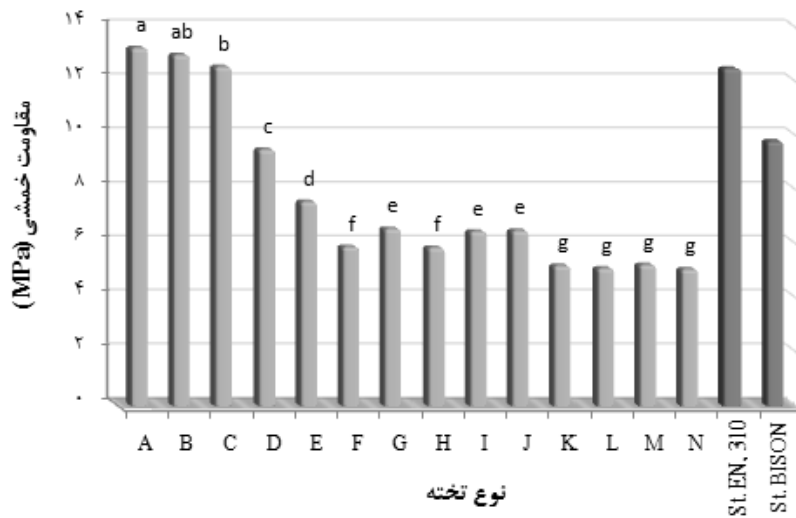
مقدار مواد استخراجی ماده لیگنوسلولزی موجود در خمیر گچ کمتر باشد، سخت شدن خمیر نیز سریع‌تر خواهد بود. از سوی دیگر، خمیر مخلوط گچ با خرده‌های باگاس به دلیل چگالی کم و ساختار اسفنجی باگاس، سبب افزایش جذب آب توسط دیواره سلولی شد.

افزایش جذب آب غلظت خمیر گچ را افزایش داد، به طوری که مانع نفوذ عمیق سوزن ویکات به درون مخلوط شد، در حالی که هیدراتاسیون گچ هنوز به طور کامل صورت نگرفته بود. در واقع ذرات کاه گندم و باگاس به عنوان پرکننده عمل می‌کنند و عامل اصلی کاهش مدت زمان سخت شدن است. علاوه بر این، در بین تیمارهای آزمایش شده، بیشترین تأخیر در زمان گیرایی مربوط به تیمار e (گچ + اسید سیتریک ۰/۰۵ با مواد استخراجی باگاس با شست‌وشوی آب گرم) با مقدار ۱۶۲ دقیقه است. مقدار مواد استخراجی محلول در خمیر گچ حاصل شست‌وشوی ماده اولیه باگاس با آب گرم به مدت ۳۰ دقیقه می‌تواند به عنوان یک عامل تأثیرگذار باشد. به طوری که استفاده از الیاف طبیعی سبب کاهش سرعت و تأخیر در گیرایی

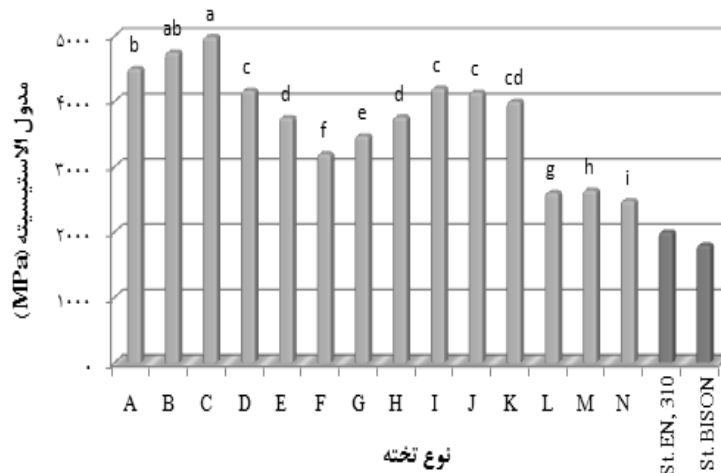
جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس متغیرها در آزمون‌های مکانیکی

ازمون‌های مکانیکی	اثر مستقل و متقابل متغیرها	میانگین مربعات	درجه آزادی	F	معناداری در سطح ۰/۰۵
مدول گسیختگی (MPa)	اثر مستقل نسبت باگاس: کاه گندم	۲۰/۶	۶	۲/۹۶	۰/۰۲
	اثر مستقل LR : G (دانسیته)	۱۷۵/۳۶	۱	۳۶/۵۸	۰/۰۰
	اثر متقابل	۱۰/۷۸	۶	۸۴/۱۹	۰/۰۰
مدول الاستیسیته (MPa)	اثر مستقل نسبت باگاس: کاه گندم	۲۷۱۹۲۰۵/۳۵	۶	۲۳۶۰/۱۸	۰/۰۰
	اثر مستقل LR : G (دانسیته)	۷/۵۳	۱	۰/۰۰	۰/۹۹۷
	اثر متقابل	۰/۲۱	۶	۰/۰۰	۱/۰۰
چسبندگی داخلی (MPa)	اثر مستقل نسبت باگاس: کاه گندم	۰/۱۵	۶	۲۷۸/۰۱	۰/۰۰
	اثر مستقل LR : G (دانسیته)	۰/۰۰۶	۱	۰/۲۷	۰/۶۱
	اثر متقابل	۰/۰۰۱	۶	۷/۳۷	۰/۰۰

1. Modulus of Rapture
2. Modulus of Elasticity



شکل ۳. مقایسه مقادیر مقاومت خمشی تخته‌های چوب-گچ



شکل ۴. مقایسه مقادیر مدول الاستیسیته تخته‌های چوب-گچ

۱:۲/۷۵ در ساخت تخته‌ها استفاده شد، به ترتیب بیشترین مقادیر MOR به دست آمد. در صورتی که در مقادیر بیشتر (۲۵ تا ۱۰۰ درصد) مقدار ماده اتصال‌دهنده به اندازه کافی سطح ذرات را پوشش نمی‌دهد و سبب کاهش مقاومت اتصالات می‌شود. افزایش مقدار ماده لیگنوسلولزی تا حدی می‌تواند سبب افزایش مقاومت‌های خمشی شود. این مواد به دلیل خاصیت الاستیکی خود می‌توانند تردی و شکنندگی کامپوزیت‌های گچی را تا حد مطلوبی کاهش دهد. ضریب لاغری الیاف باگاس و کاه گندم که در جدول ۳

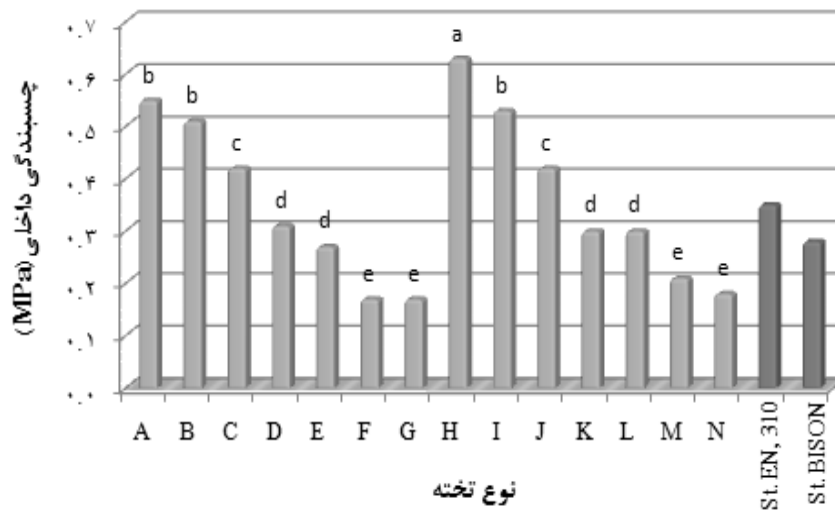
حد MOR قابل قبول مطابق با استاندارد EN 310 برابر ۱۲/۵ MPa است. افزایش نسبت گچ به مواد لیگنوسلولزی از ۱:۲/۷۵ به ۱:۳/۲۵ سبب افزایش سطح تماس ذرات لیگنوسلولزی شد. با توجه به داده‌های حاصل می‌توان نتیجه گرفت تخته‌هایی که از مقدار بیشتری گچ در آنها استفاده شده است، در مقایسه با نمونه‌هایی که اتصال‌دهنده معدنی ما کمتر در ساخت تخته‌ها استفاده شده است، MOR و MOE کمتری دارد. علاوه بر این، زمانی که از کاه گندم با نسبت‌های ۰، ۶/۲۵ و ۱۲/۵ درصد همراه با نسبت گچ به مواد لیگنوسلولزی

موجود در سطح لایه اولیه الیاف انحلال یافته و ضعیف شده و باعث کاهش استحکام در ارتباط بین الیاف می شود [۲۰]. در نتیجه، با افزایش مقدار گچ در مخلوط، تجزیه لیگنین و همی سلولزها افزایش می یابد و در نتیجه کامپوزیت شکنندگی بیشتری خواهد داشت. علاوه بر این، مطالعه‌ای نشان می دهد که می توان برای به دست آوردن ترکیبی مقاوم با خواص قابل قبول کامپوزیت چوب- معدنی با نخ پشمی و مواد چوب را به اندازه کافی در قالب قرار داد [۶]. نسبت پایین ذرات لیگنوسلولزی به گچ موجب کاهش مقاومت تخته‌ها می شود. با این حال، اگر مقدار گچ از حد معینی بیشتر باشد، فشردگی کاهش می یابد و ماده‌ای شکننده ایجاد خواهد شد.

چسبندگی داخلی^۱ (IB)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) بیانگر معناداری اثر مستقل نسبت مواد لیگنوسلولزی (نسبت ذرات باگاس: کاه گندم) و اثر متقابل دو متغیر مورد استفاده است. علاوه بر این، نسبت گچ: مواد لیگنوسلولزی (۱:۲/۷۵ و ۱:۳/۲۵ با دانسیته ۱/۰۵ و ۱/۲۰ گرم بر سانتی متر مکعب) با توجه به نتایج تجزیه واریانس معنادار نیست. دامنه وسیعی از داده‌های IB از ۰/۱۷ تا ۰/۶۳ MPa بود (شکل ۵ به انضمام استانداردهای EN 319 و BISON برای تخته خرده چوب-گچ). مقدار حد استاندارد برای IB تخته‌های ساخته شده EN 319 (1993) بر اساس استاندارد ۰/۳۵MPa است.

نشان داده شده است به ترتیب ۶۷/۸ و ۸۴/۳ است. با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت هرچه مقدار کاه گندم نسبت به ذرات باگاس افزایش یابد، مقدار MOR افزایش یافته و همزمان کاهش تغییرات در میزان MOE نیز مشاهده خواهد شد. در نتیجه، افزایش مقدار کاه گندم از ۱۲/۵ درصد سبب کاهش مقاومت‌های خمشی خواهد شد. همیشه افزایش دانسیته موجب افزایش مقاومت‌ها نخواهد شد. در نتایج به دست آمده مشخص شد که افزایش مقدار گچ نسبت به ماده لیگنوسلولزی (۱:۳/۲۵) و همچنین افزایش دانسیته نهایی تخته، موجب کاهش مقاومت‌های خمشی شده است. گچ ماده‌ای ترد و غیر قابل الاستیک است و با افزایش این مقدار نسبت به ذرات آلی موجب کاهش مقاومت خمشی کامپوزیت نهایی خواهد شد [۱۹]. نه تنها مقدار کاه، بلکه سطح اتصال دهنده معدنی نیز اثر منفی زیادی بر MOR و MOE داشت، در حالی که کاهش مقاومت نمونه‌ها به دلیل کاهش نسبت سطح گچ به مواد لیگنوسلولزی از ۱:۳/۲۵ به ۱:۲/۷۵ خواهد بود. اختلاط مواد فیبری آلی مانند چوب به ماتریس گچ سبب بهبود مقاومت به شکنندگی و مقاومت خواص تخته-گچ می شود. در این شرایط با افزایش ذرات فیبری احتمال اعمال فشار بیشتر شده و همچنین توزیع یکنواخت‌تر فشار بین لایه‌های مختلف پانل امکان پذیر می شود. علاوه بر این، افزایش بیش از اندازه ذرات آلی نسبت به گچ، حجم ذرات را در مقایسه با گچ مورد استفاده افزایش می دهد و سبب افزایش تخلخل در پانل تولیدی می شود و بر خواص مکانیکی به شدت تأثیر می نهد و سبب کاهش مقاومت‌ها می شود. با توجه به تاثیر محیط فلیابی خمیر گچی با لیگنین و همی سلولزهای، دیواره بینابینی حاوی مقادیر فراوان لیگنین و نیز همی سلولز



شکل ۵. مقایسه مقادیر چسبندگی داخلی تخته‌های چوب-گچ

مقدار چسبندگی داخلی تخته‌ها با قدرت چسبندگی الیاف ارتباط دارد، به طوری که مقاومت مکانیکی بین ذرات گچ و کاه گندم به هم پیوسته به نسبت ضعیف است. در ظاهر، پوشش مومی کاه گندم مانع توسعه پیوندهای مکانیکی قوی با ماده معدنی خواهد شد. به نظر می‌رسد کاه گندم حاوی مقادیر بیشتری از مواد آب‌گریز (موم و غیره) نسبت به باگاس است. تخته‌های تولید شده با استفاده از بیشترین مقدار کاه گندم کمترین چسبندگی داخلی را در مقایسه با تخته‌های ساخته شده از ذرات باگاس نشان دادند؛ علت ممکن است قدرت کم بین ذرات کاه گندم و گچ برای تمایل به حفظ ثبات پیوند و در نتیجه کاهش چسبندگی داخلی باشد. در یک مقطع، سلول‌های ظاهری پوست از لایه مومی نازک پوشیده شده است [۲۱]. این لایه سبب کاهش ترشوندگی کاه با آب می‌شود و از نفوذ خمیر گچ به درون سلول‌های دیواره الیاف جلوگیری می‌کند و مانع اتصال مکانیکی خوب و به هم پیوسته بین ماتریس و ذرات شده و سبب از دست دادن چسبندگی می‌شود. بنابراین نتایج به دست آمده نشان داد که پانل‌های حاوی

در این مطالعه مشاهده شد که IB پانل‌های تولید شده تحت تأثیر متغیرهای مورد استفاده قرار گرفتند. کمترین مقدار IB به دست آمده در تخته با دانسیته ۱/۰۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و نسبت ۲/۷۵:۱ و حاوی ۱۰۰ درصد کاه گندم مشاهده شد. با کاهش دانسیته و افزایش مقدار ذرات لیگنوسلولزی، IB کاهش یافت. بیشترین مقدار IB به دست آمده از پانل‌های A، B، H و I است. تخته نوع H بیشترین مقدار IB را داشت، در حالی که F، G، M و تخته نوع N کمترین IB را داشتند. با توجه به مقادیر IB، به طور کلی حدود نیمی از انواع تخته‌ها مطابق با حداقل استاندارد مورد نیازند. نتایج نشان داد که تخته‌های A، B، C، و تخته نوع D که با استفاده از نسبت ۲/۷۵:۱ با ۰ تا ۲۵ درصد کاه گندم و تخته‌های نوع H، J، K و تخته نوع L ساخته شد، با استفاده از نسبت ۳/۲۵:۱ با ۰ تا ۲۵ درصد کاه گندم با حداقل استاندارد لازم برای تخته‌های کلاس عمومی توسط EN 319 مطابقت نشان داد. تخته‌های نوع A و H نیز براساس EN 319 حداقل استاندارد لازم برای درجه مبلمان را دارند و در شرایط خشک استفاده می‌شوند.

۵۰ درصد کاه گندم یا بیشتر، IB کمتری در مقایسه با پانل‌های ساخته شده با باگاس خالص دارند. به عنوان مثال با افزایش محتوای لایه سطحی ذرات باگاس، سطح بیرونی مومی نسبت به سطح ذرات به طور کلی کاهش می‌یابد، به طوری که ممکن است اتصال قوی بین ذرات رخ دهد و IB بهبود یابد.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که تولید چوب-گچ با استفاده از باگاس یا مخلوطی از باگاس و کاه گندم به عنوان الیاف تقویت کننده، موجب دوام و افزایش مقاومت‌های تخته‌های تولیدی خواهد شد. کاه گندم سبب کاهش خواص مکانیکی تخته خرده‌چوب-گچ و کاهش درصد جذب آب خواهد شد. علاوه بر این، وجود مقادیر بیشتر

گندم در طی تولید سبب افزایش واکنشیدگی ضخامت می‌شود که این موضوع ممکن است به دلیل وجود موم و ساختار لوله‌ای کاه گندم باشد که مانع اتصال بین ماده معدنی و ذرات می‌شود. از طرف دیگر، علت تغییر خواص مقاومتی تخته‌های ساخته شده را می‌توان افزایش یا کاهش نسبت مواد لیگنوسلولوزی به گچ دانست. کاهش مواد لیگنوسلولوزی نسبت به گچ، به دلیل افزایش تردی و شکنندگی تخته تولیدی، به کاهش MOR و MOE منجر شده است. با این حال، چندسازه‌هایی که از مقدار کمتر گچ تولید شده‌اند، جذب آب بیشتر و نیز واکنشیدگی ضخامتی بیشتری خواهند داشت. بر این اساس، به دلیل محدود بودن سطح پوشش توسط گچ، IB نیز کاهش پیدا خواهد کرد.

References

- [1]. Ahn, W.Y., and Moslemi, A.A. (1980). SEM examination of wood-Portland cements bonds. *Journal of Wood Science*, 13 (2): 77-82.
- [2]. Sauter, S.L. (1996). Developing composites from wheat straw. 30th International Particleboard/Composite Material Symposium. April 2-5 Washington State University, Pullman, WA, USA, pp. 197-214.
- [3]. Li, X., Cai, Z., Winandy, J. E., and Basta, A.H. (2010). Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries, *Bioresource Technology*, 101 (12): 4662–4666.
- [4]. Deng, Y., Furuno, T., and Uehara, T. (1998). Improvement on the properties of gypsum particleboard by adding cement. *Journal of Wood Science*, 44 (2): 98-102.
- [5]. Simatupang, M.H., Kasim, A., and Seddig, N. (1988). Influence of wood extractives on the setting of gypsum. *Mitteilung der Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holz wirtschaft*, Hamburg, November, Germany, pp. 311-319.
- [6]. Simatupang, M.H. (1991). Inorganic binder for wood composites: feasibility and limitations. *Wood Adhesive Forest Product Society*, pp. 169-176.
- [7]. Qian, F., Yuhe, D., Hyunjoong, K., Wen, L., Zhiwu, S., Yonggang, J., Lin, X., and Sumin, K. (2007). Observation and analysis of gypsum particleboard using SEM. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater*, 22 (1): 44-47.
- [8]. Hachmi, M., and Moslemi, A.A. (1989). Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives. *Forest Product Journal*, 39 (6): 55-58.
- [9]. Simatupang, M.H., and Lu, X.X. (1985). Influence of wood extractives on hardening of gypsum plaster and on the manufacture of gypsum-bonded particleboards. *Holz als Rohund Werkstoff*, 43 (8): 325-331.
- [10]. Dalmay, P., Smith, A., Chotard, T., Sahay-Turner, P., Gloaguen, V., Krausz, P. (2010). Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: influence of hemp or flax fibres on the properties of set gypsum. *Journal of Materials Science*, 45: 793–803.
- [11]. Franklin, G.L., (1954). Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, 155: 51–59.
- [12]. EN, 310. (1993). Wood based panels, determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. European Standardization Committee, Brussels.
- [13]. EN, 319. (1993). Particleboards and fiberboards, determination of tensile strength. European Standardization Committee, Brussels.
- [14]. Mahajan, S., and Bhatt, O.P. (2001). Physical strength properties of standard test sheets made from bagasse and bamboo. In *Paper International*, 5 (3): 1-5.
- [15]. Atchison, J.E., and McGovern, J.N. (1993). History of paper and the importance of agricultural residues fiber. Atlanta, GA, TAPPI Press.
- [16]. 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 Product Journal*, 52 (3): 77–81.
- [17] 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.

- [18]. Roberts, M.H. (1967). Effect of admixtures on the composition of the liquid phase and the early hydration of reactions in Portland cement paste. Proceedings of the International Symposium on Admixtures for Mortar and Concrete. Jun. 1 Brussels, Belgium, pp. 5-29.
- [19]. Deng, Y., and Furuno, T. (2002). Study on gypsum-bonded particleboard reinforced with jute fibers. *Holzforschung*, 56 (4): 440-445.
- [20]. Aggarwal, L.K., Agrawal, S.P., Thapliyal, P.C., and Karade, S.R. (2008). Cement-bonded composite boards with arhar stalks. *Cement & Concrete Composites*, 30 (1): 44-51.
- [21]. Mantanis, G., and Berns, J. (2001). Strawboards bonded with urea-formaldehyde resins. 35th International Particleboard/Composite Material Symposium. April 2-5 Washington State University, Pullman, WA, USA, pp. 137-144.