

ساخت بلوک‌های چوب سیمان با استفاده از خاکستر سبوس برنج و الیاف لیگنوسلولزی

کامران پورهوشیار ضیابری^۱، جواد ترکمن^۲، علیرضا عشوری^۳ و یحیی همزه^{۴*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- استادیار، گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه سرا

۳- دانشیار، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران

۴- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

پست الکترونیک: hamzeh@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۱

چکیده

در این تحقیق با استفاده از الیاف لیگنوسلولزی به همراه خاکستر سبوس برنج، بلوک‌های سیمانی سبک ساخته شد و اثر نوع و مقدار هر یک از مواد بر خواص مکانیکی و فیزیکی نمونه‌ها بررسی شد. بدین منظور از سه نوع الیاف شامل کارتن‌های بازیافتی باطله (OCC)، خمیر کرافت (بکر) و خمیر تخته فیبر در مقدار ثابت ۲۵ درصد وزن مواد جامد بلوک و از خاکستر سبوس برنج در سه مقدار صفر، ۲۵ و ۵۰ درصد سیمان به همراه ۵ درصد کلرید کلسیم در قالب طرح فاکتوریل دو عامله ۳×۳ و با سه تکرار، مجموعاً ۲۷ بلوک سیمانی تهیه شد و دانسیته، مقدار جذب آب و مقاومت فشاری آنها مقایسه شد. تحلیل آماری مقاومت فشاری بلوک‌ها نشان داد که اثر هر سه نوع الیاف در سطح ۵ درصد معنی‌داری است. به طوری که بلوک‌های ساخته شده از الیاف بازیافتی دارای بیشترین دانسیته و مقاومت فشاری و همچنین کمترین مقدار جذب آب بودند. البته اثر مقدار خاکستر سبوس برنج بر خواص بلوک‌ها نشان داد با افزایش مقدار خاکستر از صفر درصد به ۵۰ درصد، دانسیته بلوک‌ها کاهش می‌یابد، ولی بهترین نتایج جذب آب و مقاومت فشاری در میزان ۲۵ درصد خاکستر سبوس برنج حاصل شد. بررسی اثر متقابل مواد استفاده شده بر خواص بلوک‌ها نیز نشان داد که مقدار خاکستر سبوس برنج و نوع الیاف بر هم اثر معنی‌داری دارند و مطلوب‌ترین بلوک‌ها با استفاده از الیاف کاغذ بازیافتی و مقدار خاکستر سبوس به مقدار ۲۵ درصد سیمان حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: بلوک سیمانی سبک، الیاف لیگنوسلولزی، خاکستر سبوس برنج، مقاومت فشاری، خواص فیزیکی.

مقدمه

زیاد است و از چهار جزء اصلی شامل آهک، اکسید آلومینیوم، اکسید سیلیسیم و اکسید آهن تشکیل شده است. یکی از مسائل عمده در تولید صفحات چوب‌سیمان عدم سازگاری گونه‌های چوبی با سیمان پرتلند و محدودیت‌های اتصال ذرات چوب با سیمان است.

یکی از اتصال‌دهنده‌های معدنی که در ساخت پانل‌های چوبی کاربرد صنعتی یافته و در مقیاس گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، سیمان پرتلند است. سیمان پرتلند پودر نرمی است که میل ترکیبی آن با آب

موجب بهبود واکنش سیمان با چوب‌های مختلف و افزایش مقاومت اتصال‌های آن می‌شود (Rodriguez de Sensale, 2006; Turgut, 2012). با توجه به ترکیب شیمیایی خاکستر سبوس برنج که حاوی مقدار زیادی سیلیس است، از مخلوط آن و آهک یک نوع ماده چسباننده هیدرولیکی شبیه سیمان ساخته شده است (Ajiwe et al., 2000). از هر تن سبوس برنج حدود ۴۰ کیلوگرم خاکستر به دست می‌آید که شامل ۸۸-۸۵ درصد سیلیس است. البته در درجه حرارت‌های مختلف خاکستر کردن، مقدار سیلیس تولید شده هم متفاوت است، بنابراین باید سبوس برنج در درجه حرارت بهینه سوزانده شود تا مقدار سیلیس حداکثر شود (Ramezani pour et al., 2009). میکرو سیلیس یک سوپر پوزولان است که در صورت کاربرد درست و به مقدار مناسب، تأثیر بسیار قابل توجهی در افزایش مقاومت و دوام سازهای بتنی دارد. پوزولان‌ها ترکیبات سیلیسی یا سیلیسی-آلومینیومی هستند که به تنهایی فاقد قابلیت چسبانندگی بوده و یا دارای ارزش چسبانندگی کمی هستند، اما به شکل ذرات بسیار ریز و در مجاور رطوبت طی واکنش شیمیایی با هیدروکسید کلسیم، ترکیب‌هایی با خاصیت سیمانی و چسبندگی در دمای معمولی ایجاد می‌کنند. برای اینکه خاکستر سبوس برنج فعالیت پوزولانی داشته باشد باید سبوس برنج در دمای مناسبی سوزانده شود. بر اساس یافته‌های محققان اگر خاکستر سبوس برنج در حرارت ۷۰۰ درجه سلسیوس یا پایین‌تر از آن تهیه شود، حداکثر فعالیت پوزولانی را خواهد داشت و علاوه بر آن در هزینه و مصرف سوخت نیز صرفه‌جویی می‌شود (Ramezani pour et al., 2009).

پژوهش‌های بعمل آمده در این مورد نیز نشان داده که با افزودن خرده چوب به سیمان در الگوی هیدراتاسیون سیمان اختلالاتی به وجود می‌آید (Naghizadeh et al., 2011). این مشکلات به دلیل وجود مواد استخراجی محلول در آب در بسیاری از چوب‌ها و همچنین همی سلولزهای حل شده از مواد لیگنوسولوزی در جریان ساخت چوب-سیمان است که سبب کاهش گیرایی سیمان و کاهش کیفیت چندسازه حاصل می‌شوند (Moslemi and Lim, 1984). چوب‌های پهن‌برگان معمولاً بیشتر از سوزنی‌برگان در فرایند هیدراتاسیون اختلال ایجاد می‌کنند (Frybort et al., 2008). برای کاهش این مشکلات و اثرات محدود کننده چوب بر گیرایی سیمان، راه‌های متفاوتی ارائه گردیده که از جمله آنها می‌توان به خارج کردن قندها و سایر مواد استخراجی محلول در آب از مواد لیگنوسولوزی با پیش استخراج یا افزودن ترکیبات شیمیایی مناسب به مخلوط چوب-سیمان اشاره کرد (Frybort et al., 2008). برخی از محققان با افزودن ترکیبات سیلیس به سیمان، گیرایی آن را تحت تأثیر قرار داده و خواص کاربردی پانل‌های چوب سیمان را بهبود بخشیده‌اند (Naghizadeh et al., 2012). یکی از منابع سیلیس، خاکستر حاصل از پسماندهای لیگنوسولوزی است. البته در گیاهانی مانند برنج، سیلیس به صورت فعال توسط ریشه جذب شده و در بخش‌هایی مانند ساقه و برگ ذخیره می‌شود و کارکردهای مختلفی از جمله ایجاد استحکام، ایجاد سلامت در گیاه و افزایش مقاومت آن در برابر آفات دارد. سیلیس موجود در خاکستر حاصل از پسماندهای لیگنوسولوزی ساقه برنج و یا خاکستر پوسته برنج با هیدروکسید کلسیم آزاد شده در فرایند هیدراتاسیون سیمان واکنش داده و با قلیایی کردن محیط

در تحقیقی که به منظور سبک‌سازی بلوک‌های سیمانی حفره‌دار و استفاده از خاک اره در ساخت آن انجام شد، مشخص شده که نسبت‌های مختلف خاک اره به سیمان سبب تفاوت در خواص فیزیکی و مکانیکی بلوک‌ها می‌شود. به طوری که بیشترین مقاومت فشاری مربوط به بلوک‌هایی با نسبت خاک اره به سیمان ۵۸ به ۴۲ درصد و کمترین مقدار واکنشیدگی ضخامت در بلوک‌های حاوی ۲۸ درصد خاک اره و ۷۲ درصد سیمان بوده است. همچنین آنها دریافتند که نوع ماده افزودنی (کلراید کلسیم و کلراید منیزیم) تأثیر معنی‌داری بر خواص فیزیکی و مکانیکی بلوک‌ها نداشتند (Enayati et al., 2012).

در تحقیق دیگری، امکان استفاده از کاغذ روزنامه باطله در ساخت پانل‌های الیاف-سیمان بررسی شده و مشخص شده است که پانل‌های ساخته شده با نسبت سیمان به الیاف ۹۰ به ۱۰ درصد و مصرف ۵ درصد کلراید کلسیم دارای بیشترین مقاومت خمشی و کمترین میزان واکنشیدگی ضخامت در ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب بودند (Tabarsa et al., 2012).

یکی از مسائل حائز اهمیت در تولید و خواص کاربردی پانل‌های الیاف - سیمان، گیرایی سیمان در حضور الیاف لیگنوسلولزی است که تحت تأثیر عوامل زیادی از قبیل فرایندهای خمیرسازی، تکنیک‌های ساخت، رنگبری الیاف، نسبت الیاف به سیمان و میزان مواد افزودنی به‌عنوان تسریع‌کننده گیرایی و محدودکننده اثرهای نامطلوب ترکیب‌های چوب بر میزان گیرایی سیمان است. کاهش مواد استخراجی محلول در آب و همی سلولزهای چوب و سایر مواد لیگنوسلولزی که در جریان فرایندهای مختلف تهیه خمیر کاغذ روی می‌دهد، می‌تواند سبب بهبود

گیرایی پانل‌های الیاف - سیمان شود (Nasiri et al., 2011).

در این تحقیق به منظور سبک‌سازی بلوک‌های سیمانی از سه نوع الیاف لیگنوسلولزی شامل الیاف کارتن بازیافتی، الیاف خمیر کرافت و الیاف آماده شده برای ساخت تخته فیبر به مقدار ثابت ۲۵ درصد وزنی مواد جامد بلوک سیمانی استفاده شد. به منظور کاهش اثرات نامطلوب الیاف استفاده شده بر هیدراتاسیون سیمان از خاکستر سبوس برنج در سه مقدار صفر، ۲۵ و ۵۰ درصد سیمان (درصد وزنی) به همراه ۵ درصد کلراید کلسیم استفاده شد و اثرات مستقل و متقابل متغیرهای مذکور بر خواص فیزیکی و مکانیکی بلوک‌های حاصل بررسی شد. اثر کاربرد منفرد الیاف لیگنوسلولزی و خاکستر سبوس برنج بر خواص نمونه‌های سیمانی و مقایسه آنها با بلوک‌های شاهد که نشان‌دهنده تغییرات زیاد خواص در اثر کاربرد منفرد الیاف و خاکستر سبوس برنج است در تحقیقات قبلی ارائه شده است، و هدف از این مقاله بررسی اثر همزمان نوع الیاف و مقدار خاکستر سبوس برنج بر خواص نمونه‌ها بود که با یکدیگر مقایسه شوند و بهترین ترکیب درصد مشخص شود.

مواد و روشها

در این تحقیق از مواد زیر استفاده شد:

- خمیر کاغذ قهوه‌ای بکر کاغذسازی چوکا با عدد کاپای حدود ۹۰ که به روش کرافت از چوب‌های پهن‌برگان (عمدتاً از صنوبر) با درجه روانی ml (CSF) ۶۲۰ تولید شده است.

کاهش حرارت هیدراتاسیون مصرف می‌گردد. زمان گیرایی این نوع از سیمان کندتر از سیمان تیپ ۱ بوده و در مرحله هیدراتاسیون حرارت کمتری تولید می‌کند، به همین دلیل این نوع سیمان برای بتن‌ریزی در مناطق گرمسیری مناسب است. در این پژوهش از سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان خزر با سطح ویژه $2600 \text{ cm}^2/\text{gr}$ و وزن مخصوص $3-3/25 \text{ t/m}^3$ استفاده شد.

خاکستر سبوس برنج

سبوس برنج مورد استفاده در این تحقیق از یک کارخانه شالیکوبی در صومعه‌سرا تهیه شد و طبق روش ارائه شده توسط رمضان‌پور و همکاران در درجه حرارت 700°C و مدت زمان یک ساعت به خاکستر تبدیل شد. ترکیب شیمیایی خاکستر سبوس برنج و مقایسه آن با سیمان پرتلند تیپ دو در جدول ۱ ارائه شده است.

- خمیر کاغذ باطله حاصل از کارتن‌های بازیافتی محلی (OCC^1)

- خمیر الیاف چوب که برای ساخت صفحات فیبری تولیدی در کارخانه فیبر حسن‌رود گیلان آماده شده بود.

- کلرید کلسیم پودری با جرم مولکولی ۱۴۷ و خلوص ۹۹ درصد، محلول در آب و با فرمول شیمیایی $\text{CaCl}_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ که از شرکت مرک آلمان تهیه و به‌عنوان تسریع‌کننده گیرایی سیمان استفاده شد.

- آب، کیفیت آب در بتن از آن جهت حائز اهمیت است که ناخالصی‌های موجود در آن ممکن است در گیرایی سیمان اثر گذاشته و اختلالاتی به وجود آورد. آب مناسب برای بتن آبی است که برای آشامیدن مناسب باشد و در این تحقیق از آب شیر آشامیدنی استفاده شد.

سیمان پرتلند تیپ ۲

نوع اصلاح شده‌ای از سیمان استاندارد است که به منظور افزایش مقاومت بتن در مقابل تهاجم سولفات‌ها و

جدول ۱- ترکیب شیمیایی خاکستر سبوس برنج و سیمان پرتلند تیپ ۲

(Habeeb & Mahmud, 2010)

سیمان پرتلند تیپ ۲ (%)	خاکستر سبوس برنج (%)	نوع ترکیب شیمیایی
۶۰-۶۷	۰/۶۷	اکسید کلسیم (CaO)
۱۷-۲۵	۸۸/۳۲	سیلیس (SiO_2)
۰/۱-۴	۰/۴۴	اکسید منیزیم (MgO)
۳-۸	۰/۴۶	اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)
۰/۵-۶	۰/۶۷	اکسید آهن (Fe_2O_3)
۱-۳	-	سولفات (SO_4)
۰/۵-۱/۳	۳/۱۳	اکسید سدیم و پتاسیم

تهیه بلوک‌های سیمانی

ابتدا خاکستر سبوس برنج به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس خشک شد تا آب فیزیکی خود را از دست دهد و بهتر آسیاب شود؛ سپس خاکستر خشک شده در آسیاب خرد شد و با الک مش ۴۰۰، غربال شد تا ذرات درشت آن حذف گردد. برای ساخت بلوک‌های سیمانی، ابتدا میزان سیمان، مقدار الیاف، کلراید کلسیم و خاکستر سبوس برنج محاسبه شد. پس از اختلاط الیاف، آب و سیمان با یکدیگر، کلراید کلسیم حل شده در آب و بعد خاکستر سبوس برنج به مخلوط اضافه شد و مخلوط حاصل با استفاده از همزن دستی به مدت ۵ دقیقه به خوبی هم زده شد. وزن آب در این مخلوط طبق فرمول ۱ محاسبه شد. در این فرمول C: وزن سیمان و F وزن الیاف است (Pereira et al., 2006).

$$W(\text{ml}) = 0.25 C (\text{g}) + 2.7 F (\text{g}) \quad (1)$$

سپس یک الیاف - سیمان بر اساس استاندارد ASTM C39-91 در قالب فلزی ریخته شد و با استفاده از ویراتور در سه مرحله حباب‌های هوا از آن خارج شد. برای جلوگیری از ترک سیمان، کیک فشرده شده جهت افزایش استحکام به مدت ۲۴ ساعت در قالب قرار گرفت. سپس بلوک‌ها از قالب خارج شدند و به مدت ۲۸ روز در محیطی با رطوبت نسبی بیش از ۹۸ درصد و دمای $20 \pm 2^\circ\text{C}$ نگهداری شد تا رطوبت آنها به آرامی کاهش یابد تا علاوه بر جلوگیری از تشکیل ترک‌های موئین، گیرایی آنها کامل شود. بعد از ۲۸ روز، خواص بلوک‌ها اندازه‌گیری شد.

بلوک‌های شاهد بدون استفاده از الیاف و خاکستر سبوس برنج و با ترکیب درصد وزنی ۵۰ درصد سیمان و ۵۰ درصد

الیاف، همانند نمونه‌های الیاف‌دار مطابق استاندارد ASTM C39-91 ساخته شدند و پس از خشک شدن همانند نمونه‌های الیاف‌دار، خواص آنها اندازه‌گیری شد.

عوامل متغیر در این تحقیق عبارتند از:

- ۱- میزان خاکستر سبوس برنج به صورت نسبت وزنی به سیمان در سه سطح صفر، ۲۵ و ۵۰ درصد
- ۲- نوع الیاف در سه نوع، خمیر کاغذ کرافت قهوه‌ای (بکر) کاغذسازی چوکا، خمیر کاغذ باطله حاصل از کارتن‌های بازیافتی محلی و خمیر تهیه پانل‌های فیبری تولید شده در کارخانه فیبر حسن‌رود گیلان.

عوامل ثابت عبارتند از:

- ۱- درصد الیاف (۲۵ درصد وزن بلوک)، کلراید کلسیم (۵ درصد وزن سیمان)
 - ۲- نوع سیمان (پرتلند ۲)
- با توجه به عوامل متغیر مذکور، ۹ تیمار حاصل شد و برای هر تیمار سه تکرار و در مجموع ۲۷ نمونه ساخته شد. پس از متعادل‌سازی نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز، مقاومت فشاری و مقدار جذب آب آنها به ترتیب بر اساس استاندارد (ASTM C39-91) و (DIN/EN 317) اندازه‌گیری شد. آزمون‌های مربوط به مقاومت فشاری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه بتن‌شکن شرکت تک‌آرما انجام شد. بارگذاری یک نقطه‌ای و سرعت بارگذاری 10 mm/min بود.

جذب آب نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب از رابطه زیر محاسبه شد. در این معادله W_0 ، W_{24} و WA_{24} به ترتیب وزن‌تر نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت، وزن خشک نمونه‌ها و میزان جذب آب بعد از ۲۴ ساعت است.

$$\% WA_{24} = \frac{W_{24} - W_0}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

نمونه‌ها نشان داد که روند تغییرات این ویژگی مخالف روند تغییرات دانسیته آنهاست، به طوری که نمونه‌های حاوی کارتن بازیافتی و الیاف تخته فیبر به ترتیب دارای کمترین مقدار (۲۳/۶۱ درصد) و بیشترین مقدار (۲۶/۶ درصد) جذب آب بودند. به طور کلی در فرایند تهیه خمیر کرافت، به علت کاربرد مواد شیمیایی زیاد و شرایط پخت شدیدتر، بخش زیادی از مواد استخراجی و همی سلولزهای چوب خارج می‌شوند، درحالی که در فرایند تهیه خمیر تخته فیبر عمدتاً از روش‌های مکانیکی استفاده می‌شود و ترکیبات شیمیایی چوب به طور کلی دست نخورده باقی می‌مانند. بنابراین، بیشتر بودن جذب آب در نمونه‌های حاصل از الیاف تخته فیبر را می‌توان به بیشتر بودن مقدار همی سلولزها و حضور مواد استخراجی محلول در آب در این نوع از مواد لیگنوسلولزی در مقایسه با خمیر کرافت بکر و الیاف بازیافتی نسبت داد که سبب کاهش گیرایی سیمان و عدم ایجاد ساختار بهینه در نمونه‌ها می‌شوند (Mohr et al., 2004).

اثر مستقل مقدار خاکستر سبوس برنج (شکل ۱) نشان داد که دانسیته همه بلوک‌ها در صفر درصد خاکستر در بالاترین مقدار ($0/99 \text{ g/cm}^3$) بود و با افزایش خاکستر کاهش یافته است. به علاوه اینکه اثر مستقل مقدار خاکستر سبوس برنج بر جذب آب نمونه‌ها نشان داد که استفاده از خاکستر سبوس برنج به مقدار ۲۵ درصد وزنی سیمان سبب کاهش جذب آب و افزایش آن از ۲۵ درصد به ۵۰ درصد، سبب افزایش مقدار جذب آب نمونه‌ها شده است. این موضوع می‌تواند به دلیل کاهش چسبندگی ذرات در بلوک به دلیل کاهش مقدار سیمان (ناشی از افزایش مقدار خاکستر) باشد که سبب تولید بلوک‌هایی با کیفیت کمتر شود که جذب آب بیشتری دارند.

دانسیته پانل‌ها با اندازه‌گیری وزن و ابعاد آزمون‌های تهیه شده به ترتیب به وسیله ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم و کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و با فرمول زیر محاسبه شد که در آن M و V به ترتیب وزن خشک نمونه و حجم نمونه خشک شده در شرایط محیطی بعد از ۲۸ روز است.

$$\text{Density} = \frac{M}{V} \quad (3)$$

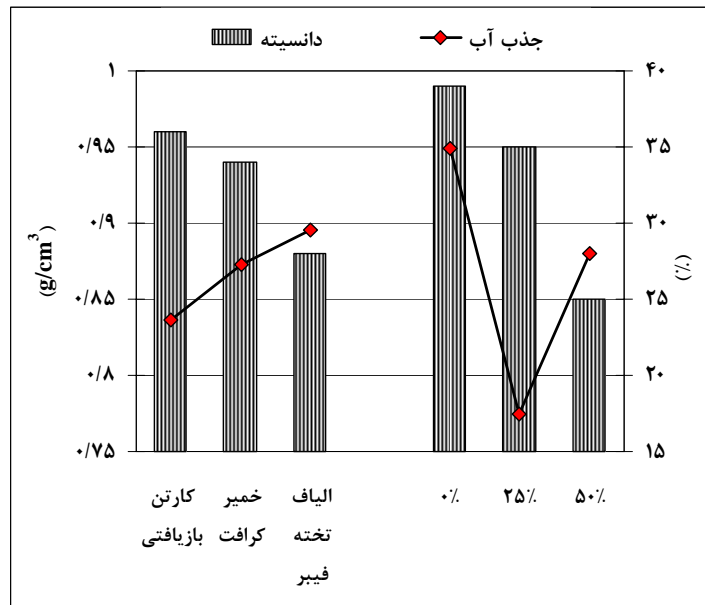
مقایسه آماری نتایج حاصل از ارزیابی خواص فوق در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با به کارگیری آزمون فاکتوریل انجام شد؛ و تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از تجزیه واریانس و آزمون دانکن انجام گردید.

نتایج

اثر درصد خاکستر و نوع الیاف بر دانسیته و جذب رطوبت نمونه‌ها

دانسیته بلوک‌های شاهد (بدون الیاف و خاکستر سبوس برنج) $2/2 \text{ g/cm}^3$ بود که در دامنه دانسیته بلوک‌های بتنی دانسیته زیاد ($2/4 \text{ g/cm}^3$) و بتن‌های سبک دانسیته کم ($1/75 \text{ g/cm}^3$) است. کاربرد الیاف و خاکستر سبوس برنج سبب کاهش دانسیته نمونه‌ها به کمتر از 1 g/cm^3 شد (شکل ۱) که نشان‌دهنده کاهش در حد ۵۰ درصد در دانسیته بلوک‌هاست.

اثر مستقل نوع الیاف بر دانسیته نمونه‌ها (شکل ۱) نشان داد که بلوک‌های حاوی الیاف خمیر OCC و الیاف تخته فیبر به ترتیب دارای بیشترین مقدار دانسیته ($0/96 \text{ g/cm}^3$) و کمترین مقدار دانسیته ($0/88 \text{ g/cm}^3$) بودند. همچنین، اثر مستقل نوع الیاف بر جذب آب



شکل ۱- اثر مستقل میزان خاکستر سبوس برنج (سمت راست) و نوع الیاف (سمت چپ) بر دانسیته و جذب آب نمونه‌های بلوک

اثر درصد خاکستر و نوع الیاف بر مقاومت فشاری بلوک‌ها مقاومت به فشار بلوک‌های ساخته شده از ۵۰ درصد سیمان و ۵۰ درصد شن و ماسه (kg/cm^2) ۶۳/۱۱ بود و طبق شکل ۳ کاربرد الیاف لیگنوسولوزی باعث این مقاومت به مقدار بیش از ۵۰ درصد شده است. همچنین، مشاهده می‌شود که بلوک‌های ساخته شده از الیاف بازیافتی دارای مقاومت‌های فشاری بهتری نسبت به بلوک‌های ساخته شده از الیاف تخته فیبر و خمیر کرافت بکر می‌باشند. البته در مقایسه اثر الیاف خمیر بکر کرافت

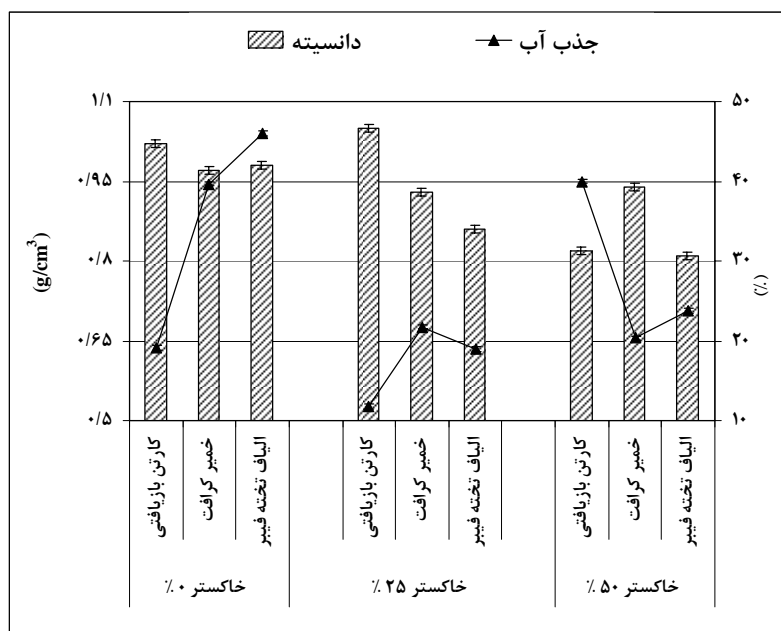
کاج و الیاف بازیافتی بر خواص صفحات الیاف - سیمان نیز نتایج مشابه‌ای حاصل شده است که در آن صفحات حاصل از الیاف بازیافتی ویژگی‌های مناسب‌تری را نسبت به صفحات حاصل از الیاف کرافت بکر داشته‌اند (Teixeira, 2012). این موضوع می‌تواند به کمتر بودن

اثر متقابل نوع الیاف و درصد خاکستر سبوس برنج (شکل ۲) بر دانسیته نمونه‌ها نشان داد که هنگام کاربرد الیاف خمیر کرافت و الیاف تخته فیبر، افزایش تدریجی مقدار خاکستر از صفر درصد به ۵۰ درصد سبب کاهش دانسیته بلوک‌ها شده است. این کاهش در بلوک‌های حاوی الیاف تخته فیبر بیشتر بود. ولی در بلوک‌های حاوی الیاف کارتن بازیافتی، بیشترین دانسیته بلوک‌ها در ۲۵ درصد خاکستر سبوس برنج حاصل شد.

به‌طورکلی، این نتایج نشان داد که بلوک‌های حاصل از الیاف کارتن بازیافتی دارای بیشترین دانسیته و کمترین مقدار جذب آب بودند و مناسب‌ترین مقدار خاکستر در هنگام کاربرد الیاف بازیافتی ۲۵ درصد سیمان است که سبب تولید بلوک‌هایی با کمترین جذب آب و بیشترین دانسیته شده است.

همی سلولزها و مواد استخراجی محلول در آب این نوع الیاف مرتبط باشد که مشکلات کمتری را در خصوص پدیده هیدراتاسیون و گیرایی سیمان ایجاد می‌کنند. بازیافت متوالی الیاف لیگنوسلولزی باعث پدیده استخوانی شدن این الیاف می‌شود که ضمن حذف برخی از

همی سلولزهای سبک، درجه کریستالین و سفتی الیاف را افزایش می‌دهد (Hubbe et al., 2007). این تغییرات سبب بهبود گیرایی سیمان، برهمکنش بهتر سیمان-الیاف و افزایش سفتی الیاف لیگنوسلولزی می‌شود که نتیجه آن بهبود مقاومت فشاری نمونه‌های چوب سیمان است.



شکل ۲- اثر متقابل نوع الیاف و میزان خاکستر سبوس برنج بر دانسیته و جذب آب نمونه‌ها

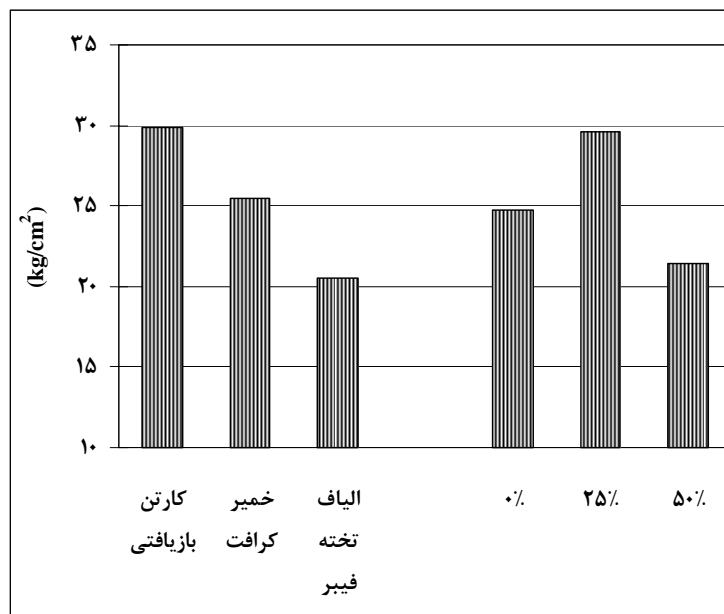
شده از هیدراتاسیون سیمان و تولید سیلیکات کلسیم آبدار مرتبط باشد که سبب بهبود مقاومت فشاری بتن می‌شود. همچنین، ذرات ریز خاکستر سبوس می‌تواند به‌عنوان میکروفیلر عمل کرده و سبب بهبود ساختار بتن و در نتیجه مقاومت فشاری آن شود (Habeb & Mahmud, 2010). رضانی‌پور و همکاران عنوان کرده‌اند که ذرات سیمان فضای بین ذرات ریز خاکستر سبوس برنج را پر کرده و ذرات درشت‌تری را ایجاد می‌کنند که بین ذرات درشت‌تر مانند ذرات شن و یا الیاف را پر می‌کنند. این موضوع سبب کاهش تعداد فضاهای خالی درشت در بتن

اثر مستقل مقدار خاکستر پوسته برنج بر مقاومت فشاری هم نشان می‌دهد که مقاومت فشاری در درصدهای مختلف خاکستر پوسته برنج در بلوک‌ها تفاوت معنی‌داری دارد. به‌طوری‌که با افزایش خاکستر سبوس برنج تا ۲۵ درصد وزن خشک سیمان، مقاومت فشاری نمونه‌ها زیادتر شده و بعد از آن با افزایش مقدار خاکستر سبوس برنج، مقاومت فشاری کمتر شده است. البته افزایش مقاومت فشاری بتن در اثر کاربرد خاکستر سبوس برنج می‌تواند به واکنش پوزولانی سیلیس آمورف موجود در ذرات پودری خاکستر سبوس برنج با Ca(OH)_2 تولید

هیدروکسید کلسیم حاصل می‌شود (Ramezaniapour *et al.*, 2009).

افزایش مقدار خاکستر سبوس برنج تا حد ۵۰ درصد وزنی سیمان سبب کاهش مقاومت‌ها شده که می‌تواند به علت زیاد بودن مقدار خاکستر در محیط و کاهش پیوستگی ساختار نمونه‌ها باشد.

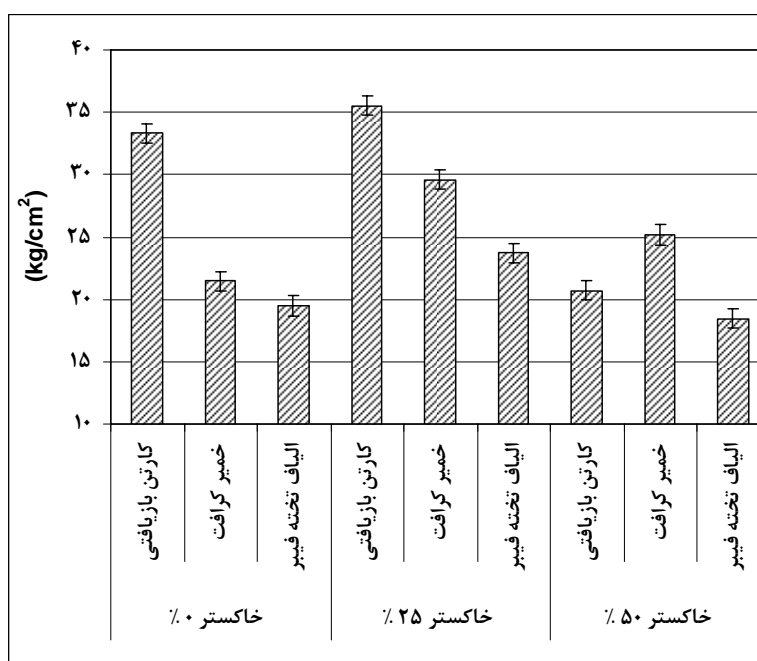
و تبدیل منافذ به هم پیوسته به منافذ جدا از هم شده و ساختار بتن هموزن تر و متراکم تر می‌شود که انتقال تنش بهتری را دارد. همچنین، افزودن این ذرات ریز به سیمان سبب ایجاد هسته‌های ریزی برای رسوب محصولات حاصل از هیدراتاسیون سیمان می‌شود که سبب تسریع واکنش‌های هیدراتاسیون و ریزتر شدن کریستال‌های



شکل ۳- اثر مستقل میزان خاکستر سبوس برنج (سمت راست) و نوع الیاف (سمت چپ) بر مقاومت فشاری نمونه‌ها

کمترین مقاومت مربوط به الیاف حاصل از الیاف تخته فیبر می‌باشد. اما در نمونه‌های حاوی ۵۰ درصد خاکستر سبوس برنج، بیشترین مقاومت در نمونه‌های حاصل از الیاف کرافت حاصل شد.

در شکل ۴ اثر متقابل نوع الیاف و میزان خاکستر سبوس برنج بر مقاومت فشاری نمونه‌ها نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که در مقادیر کاربرد صفر و ۲۵ درصد خاکستر سبوس برنج، مقاومت فشاری نمونه‌های حاصل از الیاف کارتن بازیافتی بیشترین مقدار است و



شکل ۴- اثر متقابل نوع الیاف و میزان خاکستر سبوس برنج بر مقاومت فشاری نمونه‌ها

بحث

فیبر است. به طوری که کمترین میزان جذب آب نیز مربوط به بلوک‌های حاوی الیاف بازیافتی و بیشترین آن مربوط به بلوک‌های حاوی الیاف تخته فیبر است. به علاوه اینکه میزان بهبود مقاومت فشاری و همچنین کاهش میزان جذب آب در بلوک‌های حاوی ۲۵ درصد خاکستر سبوس برنج بیشتر از سایر درصدها بود.

دانشیته نمونه‌های بدون الیاف و خاکستر سبوس برنج $2/2 \text{ g/cm}^3$ بود و کاربرد الیاف لیگنوسلولزی در بتن به میزان ۲۵ درصد وزن بتن، سبب کاهش دانسیته و سبک شدن آنها شده، به طوری که دانشیته نمونه‌های حاوی الیاف کمتر از 1 g/cm^3 است. البته از بین الیاف استفاده شده، مقاومت فشاری در بلوک‌های ساخته شده با خمیر الیاف بازیافتی بیشتر از بلوک‌های الیاف کرافت و الیاف تخته

fiber-cement composite board and determination of best quantities of additives. *Journal Indian Academy Wood Science*. 8(1):37-45.

- Naghizadeh, Z., Faezipour, M., Ebrahimi, Gh., Hamzeh, Y. 2012. Manufacture of lignocellulosic fiber-cement boards containing foaming agent. *Construction and Building Materials* 35:408-413.
- Nasiri, H., Varshoe, A. Kargarfard, A. 2011. Investigation on the properties of cement-bagasse fiber composite as a structural material. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 26(2): 291-299.
- Pereira, C., Caldeira Jorge, F., Ferreira, M.I.J.M., 2006. Characterizing the setting of cement when mixed with cork, blue gum, or maritime pine, grown in Portugal I: temperature profiles and compatibility indices. *Journal of Wood Science*. 52:311-317.
- Ramezani-pour, A. A., Mahdi khani, M., Ahmadibeni, Gh. 2009. The effect of rice husk ash on mechanical properties and durability of sustainable concretes. *International Journal of Civil Engineering*. 7(2): 83-91.
- Rodriguez de Sensale, G. 2006. Strength a concrete with rice husk ash. *Cement & Concrete Composites*. 28: 58-160.
- Tabarsa, T., Hossieni, M., Valizadeh, E. 2012. Investigation on the properties of cement fiberboard produced using waste paper. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 27(2): 338-347.
- Teixeira, D.E. 2012. Recycled old corrugated container fibers for wood-fiber cement sheets. *ISRN Forestry*. Article ID 923413: 1-8.
- Turgut, P. 2012. Manufacturing of building bricks without Portland cement. *Journal of Cleaner Production* 37:361-367.

منابع مورد استفاده

- Abood Habeeb, Gh., Bin Mahmud, H. 2010. Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material. *Materials Research*. 13(2): 185-190.
- Ajiwe, V.I.E., Okeke, C.A., Akigwe, F.C. 2000. A preliminary study of manufacture of cement from rice husk ash. *Bioresource Technology* 73:37-39
- Abood Habeeb, Gh., Bin Mahmud, H. 2010. Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material. *Materials Research*. 13(2): 185-190.
- Ajiwe, V.I.E., Okeke, C.A., Akigwe, F.C. 2000. A preliminary study of manufacture of cement from rice husk ash. *Bioresource Technology* 73:37-39
- Enayati, A.A., Nazerani Hooshmand, H., Doosthoseini, K., Jahan Latibari, A. Rahimi, S. 2012. Evaluation of the properties of wood sawdust-cement perforated blocks. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 27(2): 294-305.
- Frybort, S., Mauritz, R., Teischinger, A., Müller, U. 2008. Cement bonded composites - a mechanical review. *BioResources* 3(2): 602-626.
- Hubbe, M.A., Venditti, R.A., Rojas, O.J. 2007. What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A review. *BioResources* 2(4):739-788.
- Mohr, B.J., El-Ashkar, N.H., Kurtis, K.E. 2004. Fiber-cement composites for housing construction: state-of-the-art review. *NSF Housing Research Agenda. Workshop, Orlando, Florida, USA*, 112-128.
- Moslemi, A. A., Lim, Y. T. 1984. Compatibility of southern hardwoods with Portland cement. *Forest Product Journal*. 34: 22-26.
- Naghizadeh, Z., Faezipour, M., Ebrahimi, Gh., Hamzeh, Y. 2011. Fabrication of lignocellulosic

Fabrication of cement blocks using rice husk ash and lignocellulosic fibers

Pourhooshyar Ziabari, K¹, Torkaman, J.², Ashori, A.³ and Hamzeh, Y.^{4*}

1-M.Sc. Student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Somesara, Iran

3-Associate Professor, Department of Chemical Technologies, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran.

4*- Corresponding author, Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: hamzeh@ut.ac.ir

Received: Sept., 2012

Accepted: April, 2013

Abstract

Physical and mechanical properties of lightweight cement blocks made from lignocellulosic fibers and rice husk ash (RHA) were investigated. The cement blocks were made using three types of natural fibers including old corrugated container (OCC), virgin kraft pulp and fiberboard fibers representing 25% of dry weight of the block. Rice husk ash varied at 0, 25 and 50 WT% combined with 5 WT% CaCl₂. Density, water adsorption and compressive strengths of blocks were measured and compared using a factorial experiment with two factors at three levels. The results showed the significant effect of fiber type on the properties of blocks. OCC fibers provided the highest density and compressive strength and had the lowest water adsorption. The density of blocks reduced at higher dosage of RHA varied from 0 to 50%, and the lowest water adsorption and highest compressive strength was obtained at 25% RHA charge. The interactive effects of raw material on the properties of cement blocks were significant and the optimum properties were obtained with OCC fibers and RHA at 25%.

Key words: Lightweight cement blocks, lignocellulosic fibers, rice husk ash, compressive strength, physical properties.