

## بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب سیمان ساخته شده از اختلاط خاک اره صنوبر با سیمان پرتلند

اصغر تابعی<sup>۱</sup>، محسن جمالزاده<sup>۲</sup> و محمدمهدی پورایمان پرست<sup>۲</sup>

۱) گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا، ایران. نویسنده مسئول: tabei\_asr@yahoo.com

۲) دانشجوی کارشناسی مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده تربیت دبیر فنی صومعه‌سرا، صومعه‌سرا، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۵/۱۹

### چکیده

هدف از این تحقیق بررسی ساخت چند سازه چوب - سیمان با استفاده از خاک اره چوب صنوبر می‌باشد. در این مطالعه تعداد ۴۸ نمونه با نسبت‌های خاک اره به سیمان ۲ به ۱ و ۳ به ۲ و در دو اندازه ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ و ۵۰×۵۰×۵۰ میلی‌متر در آزمایشگاه دانشکده تربیت دبیر فنی صومعه‌سرا ساخته شد. پس از تعیین جرم و حجم نمونه‌ها، دانسیته آنها محاسبه گردید. مقاومت به فشار نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آزمونگر مقاومت، اندازه‌گیری شد. میانگین مقاومت فشاری نمونه‌ها برای بلوک‌هایی با اندازه بزرگ‌تر با نسبت‌های خاک اره به سیمان ۲ به ۱ و ۳ به ۲ به ترتیب ۱/۱۷ و ۱/۲۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع و برای نمونه‌هایی با ابعاد کوچک‌تر نیز، میانگین آن به ترتیب نسبت‌های ذکر شده ۰/۸۵ و ۰/۹۹ نیوتن بر میلی‌متر مربع به دست آمد. چند سازه‌های خیس شده صرف‌نظر از اثر نسبت‌ها، واکنشیده شدند و مقاومت فشاری برای نمونه‌های خیس شده حدود ۴۵ درصد نسبت به نمونه‌های خشک کمتر شد. بر این اساس چند سازه‌های ساخته شده برای به کار بردن در کف و سازه‌های دیواری با بار نیمه سنگین مناسب نبوده و به واسطه سبک وزن بودن آنها می‌توانند برای پانل‌های دیواری و تزئینات داخلی ساختمان و به ویژه در جاهایی که رطوبت حداقل می‌باشد، استفاده شوند.

**واژه‌های کلیدی:** چند سازه چوب - سیمان، خاک اره، سیمان پرتلند، مقاومت فشاری، جذب آب، واکنشیدگی.

### مقدمه

در طبقه‌بندی کلی این نوع محصولات می‌توان تنوع گسترده‌ای از این نوع فرآورده‌ها را چه از نظر شکل و چه از نظر کاربرد مشاهده کرد. فرآورده‌هایی که دارای دانسیته بالا هستند (۱/۵ تا ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) اغلب در مکان‌هایی که در معرض بارگذاری مستقیم بوده و نیاز به دوام و مقاومت بیشتری در برابر بار وارده دارند، استفاده می‌شوند. از آن جمله می‌توان به سطوح خارجی سقف ساختمان‌ها اشاره کرد. فرآورده‌هایی که دارای دانسیته کمتری هستند (۰/۵ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) به‌طور رایج در مکان‌هایی که جذب صوت و مقاومت در برابر آتش در آنها

چند سازه‌های چوب سیمان<sup>۱</sup> سال‌های زیادی است که در کشورهای مختلف جهان از نظر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی مورد مطالعه و استفاده قرار می‌گیرند. این فرآورده‌ها عمدتاً حاصل ترکیب سیمان با تعدادی از ضایعات حاصل از تولید فرآورده‌های جنگلی و نیز پسماندهای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی نظیر خاک اره، تراشه‌های چوب، پوشال‌های حاصل از رنده کردن چوب، باگاس، ساقه ذرت، کاه گندم، کلش برنج و... می‌باشند (Olorunnisola, 2007).

<sup>1</sup> Wood - Cement composites

که از آن جمله می‌توان به ثبات ابعادی خوب آنها در مقایسه با چوب ماسیو، تولید آنها در اکثر مناطق جهان با استفاده از مواد اولیه با کارایی نسبتاً کم و هزینه فرآوری به نسبت پایین اشاره کرد (Gong et al., 1993).

در کشور ما نیز سالیانه مقدار زیادی از ضایعات حاصل از تولید فرآورده‌های چوبی و فعالیت‌های کشاورزی ایجاد می‌شود که متأسفانه برنامه‌ریزی خاصی برای استفاده مجدد از آنها وجود ندارد. اغلب به این پسماندها به‌عنوان زباله غیر قابل استفاده نگریسته شده و برای از بین بردن آنها به روش‌هایی متوسل می‌شوند که به نظر می‌رسد از نظر زیست محیطی مشکلاتی را به وجود آورند. از جمله این پسماندها خاک اره<sup>۱</sup> تولید شده در کارخانجات و کارگاه‌های صنایع چوب و کاغذ کشورمان می‌باشد. به نظر می‌رسد به دلیل قدیمی بودن فناوری‌های اکثر این کارخانجات، میزان تولید آن در کشور ما، نسبت به سایر کشورهای دارای فناوری‌های مدرن بیشتر باشد. بنابراین، مطالعه در خصوص استفاده بهینه از این نوع پسماند لازم و ضروری می‌باشد، که از آن جمله می‌توان در خصوص پتانسیل استفاده از آن در ساخت چند سازه‌ها از جمله چوب سیمان بررسی‌هایی را انجام داد.

سیمان پرتلندی<sup>۲</sup> که عمدتاً در تولید این نوع فرآورده‌ها به کار برده می‌شود به‌عنوان اتصال‌دهنده ذرات چوب عمل می‌کند که البته لازم به ذکر است که نسبت چوب به سیمان، شکل و اندازه ذرات چوب، جهت‌گیری ذرات چوب، نوع و میزان مواد استخراجی چوب و برخی فاکتورهای دیگر می‌توانند بر روی اتصال

اهمیت دارد مورد استفاده قرار می‌گیرند (Wolfe & Gjinolli, 1996).

در سال‌های اخیر به دلایل متعدد، توجه مجددی بر روی تولید چند سازه‌های چوب سیمان، به ویژه با دانسیته کمتر متمرکز گردیده است. همان‌طور که اشاره شد چند سازه‌های چوب سیمان با دانسیته کمتر عمدتاً به‌عنوان دیوارهای داخلی و پانل‌های پوششی داخل سقف ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر، محل استفاده از آنها مکان‌هایی است که مطالبه از آنها ترکیبی از زیبایی، مقاومت در برابر آتش و جذب صوت می‌باشد. یکی از دلایلی که تولید این نوع چند سازه‌ها را در سال‌های اخیر با اهمیت کرده است، مسایل و احتیاط‌های زیست محیطی می‌باشد، زیرا تولید چنین فرآورده‌هایی علاوه بر آنکه ارزش افزوده‌ای به ضایعات تولید شده در جنگل، کشاورزی و کارخانجات، صنایع چوب و کاغذ می‌دهد، از باقی ماندن این نوع پسماندها در محیط و خطرات زیست محیطی آنها جلوگیری می‌نماید. علاوه بر آن، این محصولات به واسطه وجود سیمان در ساختارشان و بدون آنکه مواد سمی و شیمیایی خاصی در ترکیب آنها به‌کار رفته باشد، در مقابل فساد، حمله جانداران مخرب نظیر موربانه‌ها و سایر موارد آسیب رسان، ایمن هستند. این خود به دلیل عدم وجود مواد سمی می‌تواند از امتیازات زیست محیطی این نوع محصولات به‌شمار آید. به علاوه تجزیه و بازگشت به طبیعت پس از پایان طول عمر آنها و عدم آلودگی محیط نیز از دیگر امتیازات زیست محیطی آنها به‌شمار می‌آید (Wolfe & Gjinolli, 1999).

علاوه بر امتیازات زیست محیطی مزایای دیگری نیز برای این نوع چند سازه‌ها وجود دارد

<sup>1</sup> Sawdust

<sup>2</sup> Portland cement

نصیری و همکاران (۱۳۹۰)، در بررسی امکان استفاده از الیاف باگاس در ساخت چند سازه فیبر-سیمان با استفاده از دو تیپ سیمان ۲ و ۵، مقدار الیاف ۴ و ۱۰ درصد و ۳ سطح ماده تقویت کننده کلرید کلسیم با درصدهای ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد بر مبنای وزن خشک سیمان، به این نتیجه رسیدند که استفاده از دو تیپ سیمان ۲ یا ۵ تاثیر معنی‌داری بر خواص مکانیکی و فیزیکی چند سازه‌های حاصل ندارد. آنها همچنین نتیجه گرفتند که افزایش الیاف و نیز افزایش بیش از اندازه کلرید کلسیم (بیش از ۷/۵ درصد) باعث تضعیف مقاومت‌های مکانیکی و افزایش جذب آب<sup>۴</sup> و واکنشیدگی ضخامتی محصول می‌گردد.

Wolfe & Gjinolli (1996) مطالعه پایه‌ای را به منظور ارزیابی خصوصیات مکانیکی چند سازه‌های چوب سیمان ساخته شده با ترکیب سیمان و چوب‌های تراشه‌ای کم‌ارزش برای کاربردهای مهندسی انجام دادند. نتایج آنها حاکی از این بود که چند سازه‌های چوب سیمان حاصل، قابلیت کاربردهای ساختمانی را دارند. برخلاف مقاومت نسبتاً کم آنها در مقایسه با دیگر مصالح ساختمانی، به نظر می‌رسید که این چند سازه‌ها مقاومت کافی و پایداری خمشی خوبی جهت به کارگیری آنها به عنوان بخش داخلی و پرکننده پانل‌های دیواری داشتند.

Zziwa et al. (2006) در ارزیابی بلوک‌های چند سازه‌ای حاصل از اختلاط خاک اره کاج با سیمان پرتلند با نسبت چوب به سیمان ۳ به ۲ و ۲ به ۱ و ذرات چوب با قطر ۲/۵ تا ۳/۵ میلی‌متر و اندازه‌گیری وزن، حجم و محاسبه دانسیته و نیز اندازه‌گیری مقاومت فشاری<sup>۵</sup> آنها به این نتیجه

ذرات و شکل‌گیری فرآورده‌ها و به تبع آن بر روی مقاومت‌ها و قابلیت‌های آنها تاثیرگذار باشند ( Frybort et al., 2008; Olorunnisola, 2007; ) (Wolfe & Gjinolli, 1999) که معمولاً در مطالعات ساخت این فرآورده‌ها سعی می‌گردد اثر این فاکتورها مورد بررسی قرار گیرد.

آموسی و همکاران (۱۳۸۵)، در بررسی امکان استفاده از کامپوزیت‌های سبک چوب - سیمان در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر سوانح طبیعی، فرآورده‌های چوب - سیمان از اختلاط ۶۰ درصد سیمان و ۴۰ درصد رشته چوب صنوبر<sup>۱</sup> با ۳ سطح ۳، ۵ و ۷ درصد ماده تقویت‌کننده کلرید کلسیم درست کردند. دانسیته چند سازه‌های حاصل به ترتیب درصد ماده تقویت‌کننده، ۰/۹۵، ۰/۹۸ و ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد. مدول گسیختگی چند سازه‌ها نیز با افزایش دانسیته به واسطه بالارفتن سطح استفاده از کلرید کلسیم زیادتر شد. همچنین در بررسی اثر مستقل ماده تقویت‌کننده بر واکنشیدگی ضخامت<sup>۲</sup> میزان آن را در سطوح ۳، ۵ و ۷ درصد کلرید کلسیم به ترتیب ۱/۵۱، ۱/۳۲ و ۱/۰۷ درصد به دست آوردند. آنها نتیجه گرفتند که افزایش درصد ماده افزودنی باعث بهبود فرآیند هیدراتاسیون<sup>۳</sup> و خنثی شدن عوامل محدود کننده گیرایی سیمان و ایجاد اتصال قوی‌تر در سطح مشترک ذرات چوب و سیمان می‌شود. آنها در نهایت به این نتیجه رسیدند که این چند سازه‌ها به دلیل سبک وزن بودن و داشتن برخی ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی مناسب می‌توانند در بخش‌هایی از ساختمان مورد استفاده قرار گیرند.

<sup>1</sup> Populus Sp.

<sup>2</sup> Thickness swelling

<sup>3</sup> Hydration

<sup>4</sup> Water absorption

<sup>5</sup> Compressive strength

موادی مانند ماسه یا خاک سنگ با اینکه واکنش پذیری را کاهش می‌دهد، ولی در کنار آن، خصوصیات عایق بودن و قدرت نگهداری میخ یا پیچ را نیز کاهش می‌دهد.

این مطالعه نیز با هدف ساخت بلوک‌ها یا به عبارت دیگر آجرهای چند سازه‌ای حاصل از اختلاط خاک اره صنوبر و سیمان پرتلند تیپ ۲، در دو نسبت چوب به سیمان ۳ به ۲ و ۲ به ۱ و تعیین وزن، دانسیته، مقاومت فشاری و جذب آب آنها و نیز مطالعه امکان‌سنجی استفاده از خاک اره که به مقدار زیادی در کارخانجات و کارگاه‌های صنایع چوب تولید می‌شود، انجام شد. البته با توجه به اینکه چنین مطالعاتی در کشور بسیار کم انجام شده است و پژوهش‌هایی که در این مورد در خارج از کشور انجام شده بیشتر مربوط به خاک اره سوزنی برگان بوده است، بنابراین پژوهش حاضر به صورت یک تحقیق مقدماتی انجام گرفت تا با توجه به نتایج آن مطالعات تکمیلی‌تری انجام پذیرد.

### مواد و روش‌ها

#### مواد

در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان خزر استفاده شد. علت انتخاب سیمان پرتلند تیپ ۲ به این دلیل بود که این نوع سیمان معمولاً در استفاده‌های عمومی مورد مصرف قرار می‌گیرد و دستیابی به آن در بازار راحت‌تر از سایر تیپ‌های سیمان می‌باشد. همچنین از خاک اره گونه صنوبر تولید شده در یک کارخانه چوب‌بری نیز استفاده شد. ذرات خاک اره مورد استفاده، بلندی در حدود ۱ میلی‌متر و قطر بین ۰/۵ تا ۰/۷ میلی‌متر داشتند. از دلایل انتخاب این گونه برای کاربرد در این تحقیق این بود که گونه مذکور در

رسیدند که این چند سازه‌ها برای در معرض قرار گرفتن بار وارده مستقیم و حتی سازه‌های دیواری با بار نیمه سنگین مناسب نیستند، ولی به دلیل وزن سبک به صورت تکه‌های تزئینی می‌توانند برای چارچوب دیوارهای داخلی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین آنها با خیس نمودن این فرآورده‌ها و اندازه‌گیری مجدد مقاومت فشاری نمونه‌ها به این نتیجه رسیدند که مقاومت آنها در مکان‌های مرطوب حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد.

Senelwa *et al.* (2008) در مطالعه‌ای تحت عنوان «توسعه بلوک‌های تولیدی از اختلاط سیمان با خاک اره جهت بهره‌برداری از پسماندهای فرآوری چوب در کنیا» و ساخت نمونه‌های آزمونی این چند سازه‌ها با اختلاط خاک اره سرو، سیمان پرتلند معمولی، ماسه طبیعی، خاکستر، خاک سنگ، خاک رس و آب با نسبت‌های تعیین شده و اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی، جذب آب و فاکتورهای دیگر به این نتیجه رسیدند که خاک اره یک ماده پرکننده ایده‌آل برای تولید بلوک‌های بتنی سبک وزن ارزان می‌باشد که این بلوک‌ها می‌توانند در مکان‌هایی که بار زیادی بر آنها وارد نیست و همچنین پانل‌هایی که مقاومت فشاری آنها کم است، مورد استفاده قرار گیرند. چنین بلوک‌هایی سبک و متخلخل هستند و میخ و پیچ را به خوبی نگه می‌دارند. با این وجود آنها به این مورد نیز اشاره کردند که استفاده از خاک اره در کارهای ساختمانی معایبی نیز دارد، از جمله اینکه این مواد به واسطه تغییراتی که در رطوبت محیط ایجاد می‌شود تغییرات نسبی قابل توجهی را در خصوصیات‌شان تجربه می‌کنند. نامبردگان بیان می‌کنند که ویژگی‌های مقاومتی با افزایش مقدار سیمان استفاده شده بهبود می‌یابد و افزودن

نسبت‌های خاک اره به سیمان بر مبنای منابع و ملاحظات اقتصادی انتخاب شدند ( Senelwa *et al.*, 2008; Wolfe & Gjinolli, 1999; Zziwa *et al.*, 2006)، و ضمناً مناسب بودن این نسبت‌ها نیز بر مبنای آزمون سقوط مورد ارزیابی قرار گرفت (Zziwa *et al.*, 2006). بدین صورت که تعدادی از نمونه‌های آزمونی ساخته شده، پس از خشک شدن از ارتفاع تقریباً ۱ متری (نیم تنه) پرتاب شدند که در این صورت از هم پاشیدگی ساختمانی در آنها رخ نداد و بنابراین دو نسبت ذکر شده برای مطالعه انتخاب شدند. سپس مخلوط‌ها در قالب‌های شکل‌گیری ساخته شده، ریخته و عمل پرس دستی جهت فراهم کردن تراکم مورد نیاز به کمک گیره‌های نجاری به مدت ۲۴ ساعت صورت گرفت.

لازم به ذکر است که بلوک‌ها در ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر و ۵۰×۵۰×۵۰ میلی‌متری ساخته شدند. نمونه‌ها پس از پرس، در محیط آزمایشگاه و در دمای محیط به مدت ۷ روز در قالب ماندند و پس از خارج کردن از قالب به مدت ۲۸ روز دیگر برای اطمینان کامل از گیرایی سیمان در همان محیط باقی ماندند ( Senelwa *et al.*, 2008; Wolfe & Gjinolli, 1999; Zziwa *et al.*, 2006).

حجم نمونه‌ها از روی ابعاد اسمی نمونه‌ها برآورد شد و جرم نمونه‌ها با استفاده از مقیاس وزن کردن تعیین گردید. بدین ترتیب دانسیته بلوک‌ها از تقسیم جرم بر حجم محاسبه گردید. ۶ نمونه هوا خشک شده از هر اندازه از نمونه‌ها برای آزمون مقاومت فشاری استفاده شد، یعنی با استفاده از افزایش بار تدریجی بر روی نمونه‌ها و اندازه‌گیری مقاومت آنها مناسب بودن آنها برای استفاده در محیط‌های داخلی تعیین گردید. ۶ نمونه نیز در شرایط خیس برای مشخص کردن

واریته‌های مختلف قابلیت کاشت و رشد خوبی را در بسیاری از نقاط کشور دارد و به مقدار فراوان در صنعت چوب مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین پسماندهای ناشی از تبدیل آن به مصنوعات چوبی، می‌تواند به‌عنوان ماده اولیه محصولاتی مانند چوب - سیمان قرار گیرد.

### روش ساخت بلوک‌ها و آزمون آنها

ابتدا ذرات خاک اره چوب به مدت ۳ ساعت در آب گرم جوشانده و سپس شستشو شدند تا مواد استخراجی موجود در چوب خارج شده و در اتصال سیمان با ذرات چوب خللی ایجاد نکنند. چرا که وجود چنین موادی یا هیدراتاسیون سیمان و تشکیل پیوند بین سیمان و ذرات چوب را به تعویق می‌اندازند و یا اصلاً مانع این کار می‌شوند (Frybort *et al.*, 2008; Olorunnisola, 2007). خاک اره عاری از مواد استخراجی قابل حل در آب، به مدت دو هفته خشک گردید تا در نهایت به رطوبت حدود ۸ درصد رسید. ذرات چوب به کمک یک مخلوط‌کن، با سیمان، به نسبت چوب به سیمان ۳ به ۲ و ۲ به ۱ مخلوط گردید، بدون آنکه مواد افزودنی دیگری به آن اضافه شود. مقدار آب استفاده شده برای اختلاط سیمان و خاک اره از طریق آزمون و خطا و لمس کردن مخلوط با دست معین گردید. تقریباً ۱/۵ برابر وزن خشک خاک اره، آب مورد استفاده قرار گرفت که در این حالت، اسلامپ<sup>۱</sup> ملات مورد نظر در حدود ۴۰ میلی‌متر بود که نشان می‌داد در این نسبت اختلاط آب با سیمان و خاک اره، پخش‌شدگی ملات کم و به عبارتی قابل قبول است. علت استفاده از دو نسبت خاک اره به سیمان مختلف، مشخص کردن اثر مقدار سیمان بر روی مقاومت چند سازه‌ها بود.

<sup>۱</sup> Slump

اولیه آن از اندازه ثانویه کم شد و عدد حاصل بر اندازه اولیه تقسیم و در ۱۰۰ ضرب گردید. پس از پیدا کردن تک تک واکشیدگی ها، آنها با یکدیگر جمع شدند تا واکشیدگی حجمی به دست آید. تجزیه واریانس جهت نشان دادن اختلاف در مقاومت فشاری، دانسیته، وزن، جذب آب و واکشیدگی حجمی در ارتباط با نسبت های خاک اره به سیمان و سطوح متغیر مقدار رطوبت، به کمک نرم افزار آماری SAS و همچنین گروه بندی میانگین ها بر اساس آزمون T (LSD) در سطح  $\alpha = 0.05$  به کمک همان نرم افزار انجام گرفت.

### نتایج

#### دانسیته و وزن

میانگین وزن و دانسیته نمونه های آزمون برای بلوک های با اندازه  $100 \times 100 \times 100$  میلی متر برای نسبت خاک اره به سیمان ۲ به ۱ به ترتیب ۴۵۷/۵ گرم و ۰/۴۶ گرم بر سانتی متر مکعب و برای نسبت خاک اره به سیمان ۳ به ۲ به ترتیب ۵۰۷/۵ گرم و ۰/۵۱ گرم بر سانتی متر مکعب به دست آمد. برای نمونه های با ابعاد  $50 \times 50 \times 50$  میلی متر نیز میانگین این فاکتورها برای نسبت خاک اره به سیمان ۲ به ۱ به ترتیب ۵۶/۶۶ گرم و ۰/۴۵ گرم بر سانتی متر مکعب و برای نسبت خاک اره به سیمان ۳ به ۲ به ترتیب ۶۸/۳۳ گرم و ۰/۵۳ گرم بر سانتی متر مکعب به دست آمد.

در مقایسه آماری وزن و دانسیته نمونه ها به لحاظ نسبت خاک اره به سیمان در هر دو مورد، هم در نمونه های با ابعاد بزرگ و هم در نمونه های با ابعاد کوچکتر تفاوت معنی داری در سطح یک درصد احتمالات مشاهده شد (جداول ۱ و ۲).

در نسبت های ۳ به ۲، هم دانسیته و هم وزن از نسبت ۲ به ۱ بزرگتر بودند. این امر نشان دهنده

استفاده از آنها در محیط خارج از ساختمان مورد استفاده قرار گرفت. بدین معنی که نمونه ها در آب دمای  $20 \pm 5$  درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت غوطه ور شدند و بلافاصله پس از برداشتن از آب، مقاومت فشاری آنها به منظور آزمون صحت ساختاری آنها در شرایط مرطوب تعیین گردید (Zziwa et al., 2006). ۲۴ بلوک دیگر نیز برای بررسی جذب آب و واکشیدگی حجمی نمونه ها مورد استفاده قرار گرفت. آزمون مقاومت فشاری به کمک یک دستگاه آزمونگر مقاومت، ساخت شرکت بوش<sup>۱</sup> آلمان بر اساس استاندارد شماره [11] ASTM D1037-78 انجام گرفت. نمونه ها بین دو صفحه بارگذاری دستگاه قرار گرفتند و ماشین بر نمونه ها نیرو وارد کرد و به محض اینکه نمونه ها شکستند، حداکثر بار وارده بر واحد سطح هر نمونه یادداشت شد.

جذب آب هر نمونه نیز بر اساس افزایش وزن هر نمونه بعد از قرار گرفتن در آب اندازه گیری شد. به این صورت که وزن خشک هر نمونه از وزن تر یا به عبارت دیگر از وزن بعد از غوطه وری در آب کم شده و بر وزن خشک آن تقسیم گردید، برای تعیین درصد، عدد حاصله در ۱۰۰ ضرب گردید. بدین ترتیب درصد واکشیدگی حجمی نیز با محاسبه کردن درصد واکشیدگی ضخامتی، درصد واکشیدگی طولی و درصد واکشیدگی عرضی بلوک ها و در نهایت جمع کردن آنها با یکدیگر تعیین شد. برای اندازه گیری واکشیدگی های مذکور، نمونه های مورد استفاده برای این کار، بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری در آب، از آب خارج شده و بعد از پاک کردن رطوبت سطح آنها، ابعاد آنها با دقت اندازه گیری شد. برای محاسبه هر کدام از واکشیدگی ها اندازه

<sup>1</sup> Bosh company

حدود ۰/۵ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشند و بنابراین در طبقه چند سازه‌های چوب سیمان سبک قرار می‌گیرند.

در مقایسه میانگین‌های وزن و دانسیته نسبت‌های خاک اره ۲ به ۱ با ۳ به ۲ نیز، گروه‌بندی‌ها حاکی از تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های آنها می‌باشد (جدول ۳).

آن است که هر چه درصد سیمان به‌کار رفته در ساختار چند سازه چوب - سیمان بالاتر رفته و درصد چوب مصرفی پایین‌تر بیاید، فرآورده حاصل متراکم‌تر و چگال‌تر خواهد بود. در هر صورت در هر دو نسبت اختلاط، با توجه به طبقه‌بندی این نوع محصولات بر اساس دانسیته، فرآورده‌های ساخته شده تقریباً دارای دانسیته

جدول ۱. تجزیه واریانس وزن، دانسیته و مقاومت فشاری در ارتباط با نسبت‌های خاک اره به سیمان در اندازه‌های بزرگ در حالت خشک

ویژگی	وزن	دانسیته	مقاومت فشاری
مقدار F	۲۳۰/۸۷**	۱۰۳/۳۱**	۲۱/۷۶**
سطح معنی‌داری	< ۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹
ضریب تغییرات	۱/۱۸۲	۱/۸۷۳	۲/۳۳۲

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۲. تجزیه واریانس وزن، دانسیته و مقاومت فشاری در ارتباط با نسبت‌های خاک اره به سیمان در اندازه‌های کوچک در حالت خشک

ویژگی	وزن	دانسیته	مقاومت فشاری
مقدار F	۱۸/۰۰**	۰/۰۱۷۸**	۰/۰۵۵۱**
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۱۷	< ۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴
ضریب تغییرات	۶/۶۲۰	۴/۱۶۵۲	۴/۸۴۷

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های وزن، دانسیته و مقاومت فشاری بین نسبت‌های خاک اره به سیمان در هر دو اندازه بزرگ و کوچک\*

نسبت خاک اره به سیمان	وزن (gr)	دانسیته (gr/cm <sup>3</sup> )	مقاومت فشاری (N/mm <sup>2</sup> )	نسبت خاک اره به سیمان	وزن فشاری (gr)	دانسیته (gr/cm <sup>3</sup> )	مقاومت فشاری (N/mm <sup>2</sup> )
۳ به ۲ بزرگ	۵۰۷/۵a	۰/۵۱a	۱/۲۵a	۳ به ۲ کوچک	۶۸/۳۳a	۰/۵۳a	۰/۹۹a
۲ به ۱ بزرگ	۴۵۷/۵b	۰/۴۶b	۱/۱۷b	۲ به ۱ کوچک	۵۶/۶۶b	۰/۴۵b	۰/۸۵b
LSD	۷/۳۳	۰/۰۱۲	۰/۰۳۶	LSD	۵/۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۵۷

\* حروف غیرمشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون T (LSD) می‌باشد.

### مقاومت فشاری

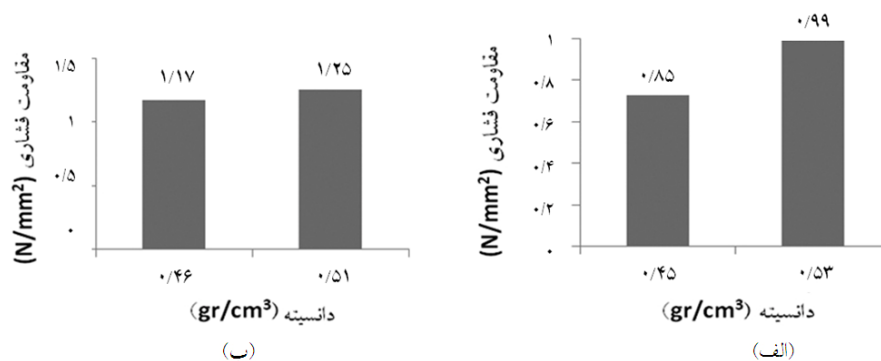
با نتایج به دست آمده برای مقاومت فشاری بلوک‌های ساخته شده، به نظر می‌رسد ویژگی‌های مقاومتی این فرآورده‌ها قابل مقایسه با مواد سیمانی یا بتنی معمولی و همچنین قابل مقایسه با چوب نرمال صنوبر نباشد.

میانگین مقاومت فشاری برای نسبت‌های خاک اره به سیمان ۲ به ۱ در حالت خشک برای

اندازه‌های کوچک و بزرگ به ترتیب ۰/۸۵ و ۱/۱۷ نیوتن بر میلی مترمربع و برای همان نسبت در حالت تر در اندازه‌های کوچک و بزرگ به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۶۳ نیوتن بر میلی مترمربع به دست آمد. میانگین همین ویژگی برای نسبت‌های خاک اره به سیمان ۳ به ۲ نیز در حالت خشک برای اندازه‌های کوچک و بزرگ به ترتیب ۰/۹۹ و ۱/۲۵ نیوتن بر میلی مترمربع و برای حالت تر هم

فشار وارده بیشتر خواهد بود ( Frybort *et al.*, 1999; Wolfe & Gjinolli, 2008)، پس وجود سیمان بیشتر به تراکم تر بودن بلوک کمک خواهد کرد. اختلاف مقادیر مقاومت فشاری بین نمونه‌های خشک و تر با نسبت‌های خاک اره به سیمان مساوی در هر دو نسبت و اندازه در سطح ۱ درصد احتمالات معنی دار بوده است (جدول ۴). بلوک‌های غوطه‌ور شده در آب به میزان ۴۵ درصد کاهش مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌های خشک داشتند. این موضوع نشان‌دهنده آن است که چند سازه‌های مذکور به وسیله رطوبت تحت تاثیر قرار گرفته و مقاومت فشاری آنها به طور معنی داری کاهش می‌یابد. بنابراین، استفاده از این نوع چند سازه‌ها در محیط‌های خارج از ساختمان یا به عبارت دیگر در محیط‌هایی که تحت تاثیر مستقیم رطوبت هستند نامناسب می‌باشد.

در اندازه‌های کوچک و بزرگ به ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۶۷ نیوتن بر میلی مترمربع به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که در نسبت خاک اره به سیمان ۳ به ۲ در هر دو اندازه، میانگین مقاومت فشاری از نسبت ۲ به ۱ بیشتر می‌باشد، به طوری که در تجزیه واریانس انجام شده در هر دو مورد تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد قابل مشاهده می‌باشد (جدول ۱ و ۲). همچنین در مقایسه میانگین‌های مقاومت فشاری نمونه‌ها با یکدیگر نیز، گروه‌بندی میانگین‌ها نشان‌دهنده این تفاوت است (جدول ۳). بنابراین، می‌توان بیان نمود که هر چه دانسیته نمونه‌های آزمونی بیشتر شود، مقاومت آنها در برابر فشار افزایش می‌یابد (شکل ۱). به دلیل اینکه در دانسیته بالاتر، ماده در ساختار شبکه‌ای خود بیشتر متراکم بوده و بنابراین تحمل آن در برابر



شکل ۱. اثر دانسیته بر مقاومت فشاری، (الف) در نمونه‌های ۵۰×۵۰×۵۰ میلی متری، (ب) در نمونه‌های ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی متری

جدول ۴. تجزیه واریانس مقاومت فشاری در مقایسه حالت‌های خشک و تر در نسبت‌های خاک اره به سیمان مساوی

ویژگی	مقاومت فشاری (۲ به ۱ کوچک)	مقاومت فشاری (۲ به ۱ بزرگ)	مقاومت فشاری (۳ به ۲ کوچک)	مقاومت فشاری (۳ به ۲ بزرگ)
مقدار F	۶۷۰/۵۳**	۱۷۱۲/۳۱**	۳۳۲/۱۶**	۱۸۹۷/۵**
سطح معنی داری	< ۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات	۴/۰۶۶۳	۲/۴۹۸۸۲	۵/۷۰۴	۲/۳۸۲

\*\* معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد



دهنده تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های حاصل می‌باشد (جدول ۵).

در مقایسه میانگین مقاومت‌های فشاری نمونه‌های خشک و تر بین نسبت‌های خاک اره به سیمان مساوی، گروه‌بندی انجام شده نیز نشان

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های مقاومت فشاری نمونه‌های خشک و تر در نسبت‌های خاک اره به سیمان مساوی\*

نسبت خاک اره به سیمان (کوچک)	مقاومت فشاری (N/mm <sup>2</sup> )	نسبت خاک اره به سیمان (بزرگ)	مقاومت فشاری (N/mm <sup>2</sup> )	نسبت خاک اره به سیمان (کوچک)	مقاومت فشاری (N/mm <sup>2</sup> )	نسبت خاک اره به سیمان (بزرگ)	مقاومت فشاری (N/mm <sup>2</sup> )
۱ به ۲ خشک	۰/۸۵a	۲ به ۳ خشک	۰/۹۹a	۱ به ۲ خشک	a۱/۱۷	۲ به ۳ خشک	۰/۸۵a
۲ به ۱ تر	۰/۴۵b	۳ به ۲ تر	۰/۵۳b	۲ به ۱ تر	b۰/۶۳	۳ به ۲ تر	۰/۴۵b
LSD	۰/۰۳۴	LSD	۰/۰۵۶	LSD	۰/۰۲۹	LSD	۰/۰۳۴

\* حروف غیرمشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون T (LSD) می‌باشد.

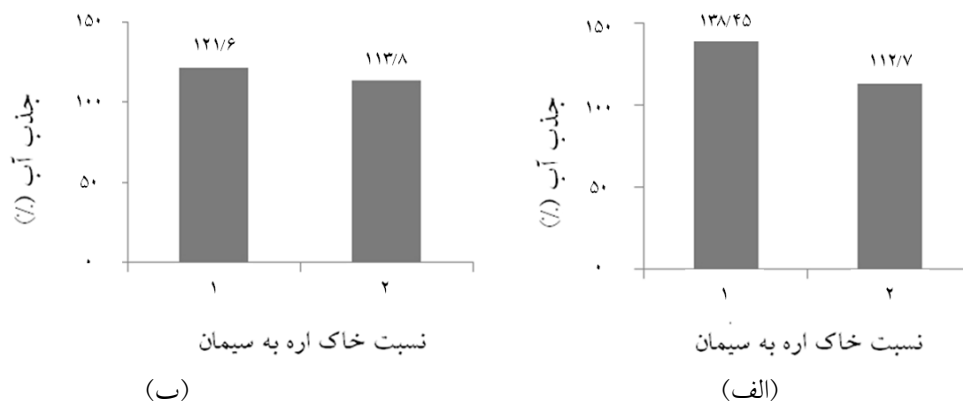
### جذب آب و واکنشیدگی حجمی

در این تحقیق جذب آب نمونه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس شکل ۲ (الف و ب) ملاحظه می‌شود که در هر دو اندازه درصد جذب آب در نمونه‌های دارای نسبت خاک اره به سیمان ۲ به ۱ از نمونه‌های با نسبت ۳ به ۲، بیشتر بوده است. بدین معنی که در نمونه‌هایی که برای بررسی جذب آب مورد استفاده قرار گرفتند در نمونه‌های دارای نسبت خاک اره به سیمان ۲ به ۱ در اندازه‌های کوچک و بزرگ میانگین وزن اولیه به ترتیب ۵۴/۱۷ و ۴۵۵/۸۳ گرم به دست می‌آید که پس از جذب آب، میانگین وزن آنها به ترتیب به ۱۲۹/۱۷ و ۱۰۱۰ گرم می‌رسد. بنابراین در نمونه‌های کوچک ۷۵ گرم و در نمونه‌های بزرگ ۵۵۴/۱۷ گرم افزایش وزن در اثر جذب آب مشاهده می‌شود که بر این اساس مشخص شد که هر واحد وزنی (هر گرم) بلوک‌های چوب - سیمان دارای نسبت ۲ به ۱ به‌طور میانگین، به ترتیب اندازه‌های کوچک و بزرگ ۱/۳۸۴ و ۱/۲۱۶ گرم آب جذب کرده‌اند که بر مبنای درصد، نمونه‌های کوچک و بزرگ به‌طور میانگین به ترتیب ۱۳۸/۴ و ۱۲۱/۶ درصد، جذب آب را نشان دادند. به همین ترتیب برای نمونه‌های دارای

نسبت خاک اره به سیمان ۳ به ۲ نیز در نمونه‌های کوچک و بزرگ میانگین وزن اولیه به ترتیب ۶۵/۸۳ و ۴۹۰ گرم به دست آمد که پس از جذب آب، میانگین وزن آنها به ترتیب به ۱۴۰ و ۱۰۴۷/۵ گرم رسید. بنابراین در نمونه‌های کوچک ۷۴/۱۷ گرم و در نمونه‌های بزرگ ۵۵۷/۵ گرم افزایش وزن در اثر جذب آب مشاهده شد که بر این اساس مشخص شد. هر واحد وزنی (هر گرم) بلوک‌های چوب - سیمان دارای نسبت ۳ به ۲، به‌طور میانگین به ترتیب اندازه‌های کوچک و بزرگ ۱/۱۲۷ و ۱/۱۳۸ گرم آب جذب کرده‌اند که بر مبنای درصد، نمونه‌های کوچک و بزرگ به‌طور میانگین، به ترتیب ۱۱۲/۷ و ۱۱۳/۸ درصد جذب آب نشان دادند.

بر این اساس می‌توان مشاهده کرد که هم در نمونه‌های کوچک و هم در نمونه‌های بزرگ هر دو نسبت، افزایش وزن بعد از جذب آب یا به عبارت دیگر مقدار آب جذب شده تقریباً به یک اندازه بوده است. اما با توجه به اینکه نمونه‌های با نسبت خاک اره به سیمان ۲ به ۱ وزن اولیه کمتری نسبت به نمونه‌های با نسبت ۳ به ۲ داشته‌اند، هر واحد وزن آنها آب بیشتری در مقایسه با هر واحد

وزن نمونه‌های با نسبت ۳ به ۲ جذب کرده است. در مقایسه آماری جذب آب نمونه‌ها بین ۱ درصد احتمالات مشاهده شده است (جدول ۶).



شکل ۲. اثر نسبت خاک اره به سیمان بر جذب آب، (الف) در نمونه‌های ۵۰×۵۰×۵۰ میلی‌متر، (ب) در نمونه‌های ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر (۱ بیانگر نسبت ۲ به ۱ و ۲ بیانگر نسبت ۳ به ۲)

جدول ۶. تجزیه واریانس جذب آب و واکنشیدگی حجمی در ارتباط با نسبت‌های خاک اره به سیمان در اندازه‌های کوچک و بزرگ در حالت تر

ویژگی‌ها	جذب آب (اندازه کوچک)	واکنشیدگی حجمی (اندازه کوچک)	جذب آب (اندازه بزرگ)	واکنشیدگی حجمی (اندازه بزرگ)
مقدار F	۶۵/۴۱**	۲۵/۶۱**	۱۳/۰۵**	۱/۰۱ <sup>ns</sup>
سطح معنی‌داری	< ۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۴۷	۰/۳۳۸۹
ضریب تغییرات	۵/۷۸۱	۷/۴۱۴	۳/۲۱۹	۲۵/۴۹۲

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد؛ <sup>ns</sup> غیر معنی‌دار

در مقایسه میانگین‌های ویژگی مذکور نیز جذب آب بین نسبت‌های خاک اره به سیمان گروه‌بندی میانگین‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار مختلف در هر دو اندازه بوده است (جدول ۷).

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های جذب آب و واکنشیدگی حجمی بین نسبت‌های خاک اره به سیمان ۲ به ۱ و ۳ به ۲\*

نسبت خاک اره به سیمان (کوچک)	جذب آب (%)	نسبت خاک اره به سیمان (بزرگ)	جذب آب	نسبت خاک اره به سیمان (کوچک)	واکنشیدگی حجمی (%)	نسبت خاک اره به سیمان (بزرگ)	واکنشیدگی حجمی (%)
۱ به ۲	۱۳۸/۴a	۱ به ۲	a ۱۲۱/۶	۱ به ۲	۷/۱a	۱ به ۲	۳/۶۱a
۲ به ۳	۱۱۲/۷b	۲ به ۳	b ۱۱۳/۸	۲ به ۳	۶/۰۳b	۲ به ۳	۳/۱۱a
LSD	۹/۱۱	LSD	۴/۸۷۳	LSD	۰/۶۴	LSD	۱/۱۵

\* حروف غیرمشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون T (LSD) می‌باشد و حروف غیرمشابه به معنای عدم معنی‌داری است.

درصد افزایش حجم در نمونه‌های با ابعاد کوچکتر نسبت به نمونه‌های با ابعاد بزرگتر بیشتر می‌باشد (جدول ۸). با توجه به جذب آب بیشتری که نمونه‌های ۲ به ۱ داشتند، واکنشیدگی حجمی در

در بررسی واکنشیدگی حجمی نمونه‌ها نیز مشخص گردید که در هر دو نسبت و در هر دو اندازه، حجم نمونه‌ها و یا به عبارت دیگر، ابعاد نمونه‌ها تا حدودی افزایش پیدا کرده است که این

واکشیدگی‌ها در هر ۳ بعد در نمونه‌های کوچک بیشتر از نمونه‌های بزرگ بود. در مقایسه آماری واکشیدگی حجمی بین نسبت‌های خاک اره به سیمان، در نمونه‌های با اندازه بزرگ، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، درحالی‌که در نمونه‌های با اندازه کوچک این اختلاف در سطح ۱ درصد احتمالات معنی‌دار بود (جدول ۶). در مقایسه میانگین‌های فاکتور مذکور بین نسبت‌های ۲ به ۱ و ۳ به ۲، در اندازه‌های کوچک، میانگین‌های مذکور در دو گروه متفاوت و در اندازه‌های بزرگ در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۷).

این نمونه‌ها در کل، نسبت به نمونه‌های ۳ به ۲ در هر دو اندازه بیشتر بوده است. به عبارت دیگر در مقایسه تک تک واکشیدگی‌های ابعادی چوب - سیمان‌های ساخته شده با دو نسبت خاک اره به سیمان متفاوت، درصد واکشیدگی ضخامتی، طولی و عرضی در نمونه‌های با نسبت ۲ به ۱ از نمونه‌های با نسبت ۳ به ۲ تا حدودی بیشتر بود. در بین واکشیدگی‌های ضخامتی، طولی و عرضی نیز بیشترین درصد واکشیدگی در اکثر نمونه‌ها مربوط به واکشیدگی ضخامتی بود که البته همچنان که قبلاً نیز ذکر شد در کل درصد همه

جدول ۸. میانگین درصد واکشیدگی ضخامتی، طولی، عرضی و حجمی چند سازه‌ها در نسبت‌ها و اندازه‌های مورد آزمون

نسبت خاک اره به سیمان		اندازه	
۲ به ۳	۱ به ۲	کوچک	بزرگ
کوچک	بزرگ	کوچک	بزرگ
۲/۴۲	۱	۲/۶	۱/۲
۱/۸۱	۱	۲/۱	۱/۳۱
۱/۸	۱/۱۱	۲/۴	۱/۱
۶/۰۳	۳/۱۱	۷/۱	۳/۶۱

مورد استفاده برای اجزای اصلی ساختمان ۷ نیوتن بر میلی‌مترمربع و حداقل ۴ نیوتن بر میلی‌مترمربع می‌باشد (Senelwa et al., 2008). بر این اساس، چنین فرآورده‌هایی هیچ‌گاه نخواهند توانست در مکان‌هایی که نیاز به تحمل به فشار بالا باشد، دوام بیاورند. از این رو این فرآورده‌ها را نمی‌توان به‌عنوان مصالح اصلی در ساخت بناها و ساختمان‌ها به کار برد.

مقاومت مکانیکی چند سازه‌ها رابطه مستقیمی با نوع، استحکام و میزان پیوندهای تشکیل شده بین فازهای تشکیل دهنده آنها دارد. مثلاً در چند سازه‌های چوب - سیمان هرچه پیوندیابی بین ذرات چوب و سیمان، بیشتر و محکم‌تر باشد فرآورده‌های حاصل از مقاومت‌های مکانیکی

### بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده همان طور که قبلاً نیز ذکر شد به دلیل مقاومت فشاری پایین این فرآورده‌ها، آنها هیچ‌گاه نخواهند توانست با بلوک‌های سیمانی و یا با خود چوب نرمال از نظر این ویژگی رقابت نمایند. چرا که مقادیر مقاومت فشاری مورد نیاز برای موادی که به صورت سنگ فرش<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرند بین ۲۰ تا ۲۵ نیوتن بر میلی‌مترمربع، برای تیرها<sup>۲</sup> بین ۲۰ تا ۳۵ نیوتن بر میلی‌مترمربع، برای بتون مسلح<sup>۳</sup> بسته به بار مورد نظر تا حد ۶۵ نیوتن بر میلی‌مترمربع بوده (Gong et al., 1993) و برای مصالح ساختمانی

<sup>1</sup> Paving

<sup>2</sup> Beam

<sup>3</sup> Reinforced concrete

(2006). تحقیق فوق نشان دهنده آن است که با افزایش دانسیته که حاصل افزایش سیمان در ساختار چند سازه‌ها بوده، میزان مقاومت فشاری نیز افزایش داشته است. در تحقیق حاضر نیز همین اتفاق رخ داده است. اما در مقایسه مقادیر مقاومت فشاری دو پژوهش، میزان مقاومت فشاری فرآورده‌های حاصل در تحقیق حاضر کمتر می‌باشد. دو دلیل عمده که برای آن می‌توان بیان کرد اینکه اولاً چوب استفاده شده در پژوهش از نوع پهن‌برگان بوده و ثانیاً اندازه ذرات خاک اره به کار رفته در این پژوهش کوچک‌تر بوده است.

در مطالعه‌ای که آموسی و همکاران (۱۳۸۵) نیز بر روی ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی چوب - سیمان حاصل از اختلاط رشته چوب‌های صنوبر و سیمان پرتلند انجام دادند، با در نظر گرفتن نسبت چوب به سیمان (۴۰ درصد به ۶۰ درصد) و نیز نسبت آب ۶۰ درصد نسبت به وزن خشک سیمان، به واسطه استفاده از ماده تقویت‌کننده کلرید کلسیم، دانسیته فرآورده‌ها بالا رفته و به تبع آن مقاومت خمشی چند سازه‌های حاصل نیز افزایش داشته است که باز هم می‌توان اثر دانسیته بر مقاومت این نوع چند سازه‌ها را مثبت ارزیابی کرد. در تحقیق حاضر نیز با بالا رفتن دانسیته چند سازه‌ها به دلیل بالا بردن درصد سیمان مصرفی، مقاومت فشاری چند سازه‌های حاصل بالاتر رفته است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دادن دانسیته در این نوع فرآورده‌های مرکب به تقویت برخی از مقاومت‌های مکانیکی آنها منجر خواهد شد. بسته به نوع محصول و انتظاراتی که از محصول تولیدی می‌رود، می‌توان با افزودن مواد تقویت‌کننده یا به کار بردن سیمان بیشتر نسبت به چوب و یا اعمال هم زمان هر دو مورد، مقاومت‌ها را تقویت نمود.

بالاتری برخوردار خواهند بود. این امر نشان از تشکیل پیوند، تحت تاثیر عواملی مانند نوع سیمان، نسبت چوب به سیمان، نوع گونه چوبی یا ماده لیگنوسلولزی، نوع و میزان مواد استخراجی چوب یا ماده لیگنوسلولزی، اندازه و شکل هندسی ذرات چوب، جهت‌گیری ذرات چوب، درصد استفاده از مواد تقویت‌کننده و غیره دارد (Frybort *et al.*, 2008; Semple & Evans, 2004). بنابراین، می‌توان اذعان داشت که مقاومت کم بلوک‌های ساخته شده در این تحقیق به احتمال زیاد به شکل و اندازه ذرات چوب مربوط می‌شود. زیرا مشاهده شده که نرمه‌های خاک اره منجر به مقاومت ضعیف‌تر می‌شوند، در حالی که ذرات باریک و بلند ویژگی‌های مقاومتی بهتری ایجاد می‌کنند (Wolfe & Gjinolli, 1999). در سایر پژوهش‌ها صورت گرفته دیگر به این موضوع اشاره شده است که به کار بردن پهن‌برگان در ترکیب فرآورده‌های چوب سیمان، مقاومت فشاری آنها را کاهش می‌دهد (Gong *et al.*, 1993). بر این اساس، در بررسی نتایج مربوط به مقاومت فشاری بلوک‌های ساخته شده از خاک اره چوب کاج با قطر ۲/۵ تا ۳/۵ میلی‌متر با سیمان پرتلند توسط (Zziwa *et al.*, 2006) بلوک‌هایی با دانسیته ۰/۷ و ۰/۹۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب در اندازه‌های ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر و همچنین بلوک‌هایی با دانسیته ۰/۶۸ و ۰/۸۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب در اندازه‌های ۵۰×۵۰×۵۰ میلی‌متر ساخته شد که مقدار مقاومت فشاری این فرآورده‌ها برای تخته‌های با دانسیته بالا و پایین، برای اندازه‌های کوچک به ترتیب ۱/۹۸۶ و ۱/۶۱ نیوتن بر میلی‌متر مربع و برای اندازه‌های بزرگ به ترتیب دانسیته‌های ذکر شده ۲/۲۱ و ۱/۷۷۸ نیوتن بر میلی‌متر مربع به دست آمد (Zziwa *et al.*,

البته در این راستا اثر این عوامل را بر روی سایر خصوصیات نیز باید بررسی کرد تا در هر صورت با اختلاط مناسب مواد با یکدیگر، محصولی که مورد انتظار است تولید شود.

کاهش معنی‌دار مقدار مقاومت فشاری زمانی که نمونه‌ها در معرض رطوبت قرار می‌گیرند و نیز جذب آب و واکنشیدگی رخ داده در همه نمونه‌ها، صرف‌نظر از اثر نسبت خاک اره به سیمان بر این موضوع دلالت دارد که فرآورده‌های مرکب ساخته شده برای استفاده به‌عنوان موادی که در کف یا به صورت سنگ فرش به کار می‌روند (به ویژه در زمانی که مقاومت آنها تحت تاثیر منفی رطوبت قرار می‌گیرد) مناسب نیستند. این نوع چند سازه‌ها برای ساختن چارچوب‌های دیواری داخل ساختمان و همچنین دکوراسیون داخلی مانند دیوارها، سقف‌های کاذب، پارتیشن‌بندی‌ها و در جاهایی که هیچ نوع نفوذ رطوبت رخ نمی‌دهد، مناسب هستند. در این مورد نیز مقایسه نتایج حاصله با نتایج سایر پژوهشگران از جمله (2006) *Zziwa et al.* و (2008) *Senelwa et al.* مشابهت دارد. در تحقیق انجام گرفته توسط (2006) *Zziwa et al.* نمونه‌های ساخته شده در هر نسبت و اندازه بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، حدود ۴۰ درصد کاهش مقاومت فشاری داشته‌اند (Senelwa et al., 2008; Zziwa et al., 2006). در این پژوهش نیز این کاهش مقاومت پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب حدود ۴۵ درصد بوده است.

در بررسی جذب آب نمونه‌ها نیز همان گونه که دیده شد در نسبت خاک اره به سیمان ۲ به ۱ به دلیل بالا بودن درصد وزنی خاک اره نسبت به سیمان، جذب آب بالا بوده است که با تحقیقات دیگران کاملاً همخوانی دارد. (2000) Savastano

*et al.* در مطالعات خود بیان می‌دارند که وقتی مقدار ذرات چوب افزایش می‌یابد، جذب آب نیز افزایش می‌یابد، درحالی‌که دانسیته کاهش پیدا می‌کند. نصیری و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی امکان استفاده از الیاف باگاس در ساخت چند سازه فیبر - سیمان به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان الیاف باعث افزایش جذب آب می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هر چه درصد چوب مصرفی در ساختمان چند سازه‌های چوب - سیمان نسبت به سیمان بیشتر می‌شود، میزان جذب آب نمونه‌ها نیز بالاتر می‌رود که دلیل آن آب‌دوست بودن ذرات چوب می‌باشد.

همچنین در مقایسه واکنشیدگی ضخامتی این تحقیق با سایر پژوهش‌های انجام شده، می‌توان ملاحظه کرد که در این پژوهش نیز مانند سایر کارهای مشابه، در نمونه‌هایی که جذب آب بیشتری داشته‌اند واکنشیدگی ضخامتی بیشتر بوده است. به‌طور مثال در تحقیق آموسی و همکاران (۱۳۸۵) به‌طور مشخص، نمونه‌هایی که دارای جذب آب بالا بوده‌اند واکنشیدگی ضخامتی بالایی را نشان داده‌اند و با بالا رفتن دانسیته به دلیل افزایش درصد کلرید کلسیم این واکنشیدگی ضخامتی کمتر شده است. در این تحقیق نیز با افزایش دانسیته، کاهش واکنشیدگی ضخامتی و در کل، کاهش واکنشیدگی حجمی رخ داده است. از نظر میزان واکنشیدگی ضخامتی نیز درصد آن در تحقیق آموسی و همکاران (۱۳۸۵)، کمتر بوده است. دلیل آن این است که، در ساخت چند سازه مربوط به تحقیق ذکر شده، هم درصد سیمان بالاتر بوده و هم از ماده تقویت‌کننده کلرید کلسیم استفاده شده است که این موارد دلیلی بر اتصال مناسب‌تر سیمان با رشته چوب‌های صنوبر می‌باشد. بر این اساس فرآورده‌هایی تولید شده‌اند

سازه‌ها ترکیبات مهمی برای تزئین کردن محل‌های مسکونی می‌باشند (Senelwa *et al.*, 2008).

صرف‌نظر از مقاومت به فشار کم چند سازه‌های حاصل، سبک بودن آنها مزیت خوبی برای آنها به حساب می‌آید. چرا که این ویژگی، قابلیت استفاده از آنها را در صنعت ساختمان به ویژه در جاهایی که تحمل بار وجود ندارد آشکار می‌سازد. به‌طور کلی استفاده از این محصولات در بخش‌هایی از ساختمان که در بالا به آن اشاره شد باعث کاهش جرم ساختمان و در نتیجه کاهش ضررهای جانی و مالی در برابر زمین‌لرزه‌ها خواهد شد. همچنین با توجه به اینکه این محصولات عایق‌های خوبی نیز هستند می‌توانند در کاهش مصرف انرژی در ساختمان نیز مؤثر باشند.

البته لازم به یادآوری است که مطالعه سایر ویژگی‌های مقاومتی چند سازه‌های حاصل از اختلاط خاک اره با سیمان مانند مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی، سختی و مقاومت برشی نیز باید قبل از استفاده از آنها مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین باید امکان تقویت این فرآورده‌ها به منظور بهبود میزان مقاومت آنها مورد پژوهش قرار گیرد.

#### منابع

- ۱) آموسی، ف.، احمدی، م.، مرادی، ع.، و مظفری، ع.، ۱۳۸۵. بررسی امکان استفاده از کامپوزیت‌های سبک چوب - سیمان در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر سوانح طبیعی. دومین کنفرانس مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی، ۸ صفحه.
- ۲) نصیری، ح.، ورشوئی، ع.، و کارگرفرد، ا.، ۱۳۹۰. بررسی خواص چند سازه ساخته شده از سیمان - الیاف باگاس به منظور کاربرد در صنعت ساختمان. تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، جلد ۲۶ (۳۵): ۲۹۹-۲۹۱.

که دارای ساختمان متراکم‌تر و درصد خلل و فرج کمتر بوده است، در نتیجه دارای میزان واکنشیدگی ضخامتی کمتری بوده‌اند. (Eusebio *et al.*, 2000). نیز در این خصوص در تحقیقات خود ذکر کرده‌اند که با افزایش سطح پوشش‌دهی سیمان بر روی ذرات چوب واکنشیدگی ضخامتی کمتر می‌شود.

برای تقویت ویژگی‌های مقاومتی و ثبات ابعادی این محصولات، احتمالاً استفاده از برخی از مواد افزودنی مانند  $CaCl_2$ ،  $MgCl_2$ ، ماسه، خاک سنگ، خاکستر، خاک رس و مواد دیگر مؤثر خواهد بود. البته باید به این نکته نیز توجه کرد که ممکن است در اثر استفاده از این مواد، برخی دیگر از خصوصیات آنها مانند عایق صوت بودن و قدرت نگهداری میخ و پیچ و... کاهش یابد (Semple & Evans, 2004; Senelwa *et al.*, 2008).

شکست زود هنگام این چند سازه‌ها در اثر فشار، حاکی از آن است که مخلوط خاک اره - سیمان تا اندازه‌ای ویژگی‌های پلاستیسیته<sup>۱</sup> را نمایش می‌دهند (Zziwa *et al.*, 2006). هنگام شکسته شدن این چند سازه‌ها در اثر بارگذاری، این فرآورده‌ها کاملاً خرد و لهیده نمی‌شوند، درحالی‌که در آجرهای سیمانی یا بتنی معمول، شکسته شدن در هنگام بارگذاری به‌طور کامل اتفاق می‌افتد. این اتفاق بدین معنی است که این چند سازه‌ها ویژگی جذب انرژی خوبی دارند. بنابراین، آنها می‌توانند رفتار بهتری از نظر انعطاف‌پذیری در مقابل لرزش‌های ملایم مانند زمین‌لرزه‌های ملایم داشته باشند (Semple & Evans, 2004; Senelwa *et al.*, 2008). به همین دلیل است که در کشوری مثل ژاپن این چند

<sup>1</sup> Plasticity

- research and development corporation, Australia, 71 p.
- 9) Senelwa, K., Etiegni, L., Orori, B., Kirongo, B. B., Ototo, G.O., Okwara-Obanda, D., Mugwero, R., Monda, H., and Khadambi, E., 2008. Development of sawdust-cement blocks for gainful utilization of wood processing residues in Kenya. Proceedings of 4<sup>th</sup> annual international forest product utilization conference. Moi University, July 29-Aug1, Section IV, pp. 135-143.
  - 10) Wolfe, R. W., and Gjinolli, A., 1996. Assessment of cement-bonded wood composites as means of using low-valued wood for engineered applications. Proceedings of the international wood engineering conference, October 28-31, New Oreland, 3: 74-81.
  - 11) Wolfe, R. W., and Gjinolli, A., 1999. Durability and strength of cement- bonded wood particle composites made from construction waste. Forest Products Journal, 49 (2): 24-31.
  - 12) Zziwa, A., Kizito, S., Banana, A. Y., Kaboggoza, J. R. S., Kambu, R. K., and Sseremba, O. E., 2006. Production of composite bricks from sawdust using Portland cement as a binder. Uganda Journal of Agricultural Sciences, 12 (1): 38-44.
  - 3) Eusebio, D. A., Soriano, F. P., Cabangon, R. J., and Evans, P. D., 2000. Manufacture of low – cost wood cement composites in the Philippines using plantation – grown Australian species: I. Eucalyptu, Wood – cement composites in the Asia Pacific region, Canberra, Australia, 105–114.
  - 4) Frybort, S., Muritz, R., Teischinger, A., and Muller, U., 2008. Cement bonded composites – A mechanical review. Bioresources, 3 (2): 602–626.
  - 5) Gong, A., Kamdem, D. P., and Harichandran, R., 1993. Compression tests on wood-cement particle composites made of CCA-treated wood removed from service.
  - 6) Olorunnisola, A. O., 2007. Effects of particle geometry and chemical accelerator on strength properties of rattan-cement composites. African Journal of Science and Technology, 8 (1): 22-27.
  - 7) Savastano, H., Warden, P. G., and coutts, R. S. P., 2000. Brazilian waste fibers as reinforcement for cement – based composites. Cement concreet comp, 22(5): 379-384.
  - 8) Semple, K. E., and Evans, P. D., 2004. Wood-cement composites-suitability of Western Australian mallee eucalypt, blue gum and melaleucase. Rural industries

## An Investigation of Some Physical and Mechanical Properties of the Wood-Cement Made of Poplar Sawdust and Portland Cement Mix

A. Tabei<sup>1\*</sup>, M. Jamalzadeh<sup>2</sup>, and M. M. Pourimanparast<sup>2</sup>

1) Assistant Professor, Department of, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran. Corresponding Author: [tabei\\_asr@yahoo.com](mailto:tabei_asr@yahoo.com)

2) B. Sc. Student, Department of Wood and Paper Engineering, Somesara, Technical Faculty, Somesara, Iran

### Abstract

This study was conducted with the objective of investigating the feasibility of making wood-cement using Poplar sawdust and Portland cement. A total of 48 bricks were made in the laboratories of Technical Teacher Training Faculty of Somesara based on ratios of sawdust to cement (3:2 and 2:1) and 100×100×100 and 50×50×50mm dimensions. Mass and volume of samples were measured and then density of bricks was calculated. The composites were tested for compressive strength using testing machine. The mean compressive strength values were 1.17 N/mm<sup>2</sup> and 1.25 N/mm<sup>2</sup> for 100×100×100mm composites with sawdust to cement ratios of 2:1 and 3:2 respectively, and 0.85 N/mm<sup>2</sup> and 0.99 N/mm<sup>2</sup> for 50×50×50mm composites with sawdust to cement ratios of 2:1 and 3:2 respectively. Soaked composites swelled irrespective of the sawdust to cement ratio. The compressive strength for the soaked bricks was approximately 45% of the dry weight strength. The composite bricks were found to be unfit for paving and medium heavy load wall construction. Due to their light weight, by imparting decorative mosaics they can be used for interior wall paneling and decoration, where minimal wetting is experienced.

**Keywords:** Wood-Cement Composite, Sawdust, Portland Cement, Compressive Strength, Water Absorption, Swelling.