

ساخت بتن سبک با استفاده از دانه‌های چوبی

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی امکان ساخت بتن سبک و مقاوم و تأثیر درصدهای مختلف چوب و سیلیس بر خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی آن‌ها انجام شد. ذرات چوب به صورت دانه‌بندی و در ۵ سطح صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد و ذرات سیلیس در مقیاس نانومتری و میکرومتری در ۴ سطح صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد بر مبنای وزن خشک سیمان متغیرهای این تحقیق بودند. فرآیند اختلاط مواد به صورت دستی انجام شد و خمیر سیمان تولیدشده به درون قالب‌های مکعب مربع شکل با اضلاع ۵ سانتی‌متر ریخته شد. جهت متراکم کردن ژل سیمان از میز ویبره استفاده شد. بعد از ساخت بتن‌ها خواص فیزیکی شامل جذب آب، ضریب انتشار رطوبت و دانسیته مطابق با استاندارد ASTM و خواص مکانیکی شامل مقاومت فشاری و شاخص مقاومت فشاری مطابق با آیین‌نامه بتن ایران (آبا) انجام شد. طیف‌سنجی مادون قرمز جهت بررسی تأثیر ذرات سیلیس بر بتن‌های ساخته شده انجام شد. میکروسکوپ الکترونی پویشی جهت مطالعه رفتار ریخت‌شناسی بتن‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش چوب، دانسیته، مقاومت فشاری و شاخص مقاومت فشاری کاهش یافت درحالی‌که جذب آب و ضریب انتشار رطوبت نمونه‌ها افزایش یافت. با افزایش سیلیس تا ۳ درصد، مقاومت فشاری و شاخص مقاومت فشاری افزایش یافت و افزودن مقادیر بیشتر سیلیس تأثیر منفی بر روی این خواص داشت. جذب آب نمونه‌ها با افزودن سیلیس تا ۳ درصد کاهش و پس از آن افزایش یافت. دانسیته نمونه‌ها با افزایش سیلیس افزایش یافت. با افزایش سیلیس تا ۳ درصد ضریب انتشار رطوبت کاهش یافت اما پس از آن و با افزایش بیشتر سیلیس ضریب انتشار رطوبت افزایش یافت. طیف‌سنجی مادون قرمز نشان داد که در اثر افزودن سیلیس پیک مربوط به گروه هیدروکسیل کاهش یافت. نتایج میکروسکوپ الکترونی پویشی حاکی از پراکنش مناسب ذرات سیلیس در سطح ۳ درصد بود.

واژگان کلیدی: بتن سبک، نانو سیلیس، مقاومت فشاری، میکروسکوپ الکترونی پویشی.

سعید اسمعیلی مقدم^{۱*}
 مجتبی جعفری صمیمی^۲
 سید مجتبی سیدزاده اطاقسرائی^۳
 محمد رضوی^۴
 سید رضا سیدزاده اطاقسرائی^۵

^۱ دانشجوی دکتری فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج ایران.

^۲ استادیار گروه عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران

^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران

^۴ دانش‌آموخته کارشناسی عمران-خاک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران

^۵ دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-سازه، دانشگاه شمال، آمل، ایران

مسئول مکاتبات:

saeed.am17358@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۱

ساختمان را تشکیل می‌دهد. از این رو یکی از فاکتورهای مهم در طراحی ساختمان‌ها، کاهش وزن ساختمان از طریق استفاده از مصالح سبک است [۱]. از آنجایی که قسمت عمده

مقدمه

بسیاری از نواحی ایران بر روی کمر بند زلزله قرار گرفته است. نیروهای جانبی زلزله قسمت عمده نیروهای وارد بر

از اختلاط خاکاره و سیمان پر تلند ساختند و به مطالعه خواص آن پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با افزایش میزان خاکاره، مقاومت فشاری به دلیل کاهش دانسیته چندسازه‌ها کاهش یافت اما جذب آب در چندسازه افزایش یافت [۶]. Younesi-Kordkheili و همکاران (۲۰۱۶)، خواص چندسازه چوب سیمان حاصل از الیاف چوب و پلی‌پروپیلن را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با افزایش درصد الیاف چوب، مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه کاهش اما جذب آب در چندسازه افزایش یافت [۷]. Nasiri و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی امکان استفاده از باگاس در ساخت صفحات الیاف-سیمان پرداختند. آن‌ها از درصدهای مختلف باگاس به عنوان عامل متغیر استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با افزایش الیاف مقاومت‌های مکانیکی چندسازه ساخته شده کاهش یافت [۸]. Mohammad Kazemi و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی تأثیر درصدهای مختلف نانو سیلیس بر خواص پانل‌های چوب سیمان پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با افزایش نانو سیلیس تا محدوده مشخصی مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته، مقاومت برشی موازی سطح و سختی افزایش یافت؛ اما افزودن زیاد نانو سیلیس باعث کاهش مقاومت‌های مکانیکی چوب سیمان شد [۹]. Abdolali Sarbandi و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی تأثیر مقدار الیاف باگاس و نانو سیلیس بر مقاومت خمشی چندسازه الیاف-سیمان پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با افزایش نانو سیلیس و الیاف تا محدوده مشخصی، مقاومت خمشی چندسازه افزایش یافت اما افزودن بیشتر نانو سیلیس و الیاف مقاومت‌های مکانیکی را کاهش داد [۱۰].

نکته‌ای که باید به آن اشاره کرد این است که فناوری ساخت بتن با صفحات چوب سیمان کاملاً متفاوت است. کاربردهای بتن با چندسازه‌های چوب سیمان نیز متفاوت است. بیشترین کاربرد چندسازه‌های چوب سیمان، به‌کارگیری آن‌ها به‌عنوان نماهای ساختمان است در حالی که کاربردهای بتن بسیار زیاد است و اگر بتن سبک مقاومت خوبی داشته باشد از آن می‌توان به‌عنوان تیر و ستون در ساختمان نیز استفاده کرد. نوآوری که در این تحقیق نسبت به سایر پژوهش‌هایی که در رابطه با فرآورده‌های مرکب چوب سیمان صورت گرفته این است که در این تحقیق

ساختمان‌ها را بتن و مواد سیمانی تشکیل می‌دهند، بنابراین به کار گرفتن از بتن‌های سبک و با مقاومت بالا در مصالح سازه‌ای و غیرسازه‌ای بسیار حائز اهمیت است. استفاده از بتن سبک، منجر به کاهش بار مرده ساختمان شده و در هنگام بروز زلزله آثار تخریبی کمتری به وجود خواهد آمد؛ زیرا نیروهای زلزله به‌صورت تابعی از وزن ساختمان عمل می‌کنند [۲]. روش‌های مختلفی برای سبک‌سازی بتن وجود دارد، به‌عنوان مثال می‌توان از مواد حباب‌زا و یا فوم‌زا برای این منظور استفاده نمود. یکی از مشکلاتی که این‌گونه مواد ایجاد می‌کنند علاوه بر هزینه زیاد آن‌ها، کاهش زیاد مقاومت‌های مکانیکی بتن است. از این‌رو به نظر می‌رسد استفاده از الیاف طبیعی مثل چوب راه‌حل مناسبی جهت سبک‌سازی بتن باشد. چوب به دلیل دانسیته پایین، مقاومت بالا و قیمت ارزان نسبت به سایر الیاف، ماده خوبی برای تقویت کردن بتن‌های سبک است. ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که افزودن چوب به دلیل عدم سازگاری بین چوب (آلی) و سیمان (معدنی) ممکن است مقاومت‌های مکانیکی بتن را کمی کاهش دهد اما کاهش دانسیته در اثر افزودن چوب تقریباً بر این عیب سرپوش می‌گذارد [۳]. همان‌طور که گفته شد با افزایش چوب ممکن است خواص مکانیکی بتن به دلیل کاهش دانسیته کمی کاهش یابد، اما قسمتی از این کاهش مقاومت را می‌توان توسط راه‌کارهایی جبران نمود. یکی از این راه‌کارها استفاده از نانو ذرات است. یکی از پرمصرف‌ترین نانو ذرات در مورد بتن، نانو ذرات سیلیس است که با اندازه کوچک خود و قابلیت واکنش‌پذیری فوق‌العاده بالایی که دارد، از طریق افزایش بلورینگی بتن موجب افزایش مقاومت‌های مکانیکی آن می‌شود [۴، ۵]. در طی سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در مورد چندسازه‌های چوب سیمان و تأثیر استفاده از مقادیر چوب، سیلیس انجام شده است که در اینجا به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

Golbabaei (۲۰۱۵)، به بررسی خواص آجر چوب سیمان از خاکاره چوب پرداخت. در ساخت این چندسازه‌ها از درصدهای مختلف خاکاره، شامل ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد استفاده شد و مشخص گردید که با افزایش درصد خاکاره، مقاومت فشاری و دانسیته کاهش یافت در حالی که جذب آب در چندسازه‌ها افزایش یافت [۳]. Tabei و همکاران (۲۰۱۱)، چندسازه چوب سیمان را

سیلیس با اندازه ابعاد ۱۵۰ میکرومتر و نانو سیلیس که مشخصات آن در جدول ۲ آمده است هر دو از شرکت وند شیمی ساختمان تهیه گردید. شکل ۱، مواد مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

روش‌ها

ساخت بتن

ضایعات چوب صنوبر دلتوئیدس از کارخانه چوب‌بری تهیه گردید و به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون با درجه حرارت ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس الک‌های شماره ۴، ۸، ۱۶، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ به ترتیب روی هم قرار گرفتند و چوب‌های باقی‌مانده بر روی هر الک، به‌عنوان مش استاندارد مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای این تحقیق عبارت‌اند از: ۱- درصد چوب در ۵ سطح، ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد. ۲- درصد سیلیس در ۴ سطح، ۰، ۳، ۶ و ۹ درصد بر مبنای وزن خشک سیمان و به‌صورت افزودنی. لازم به توضیح است که از این مقدار سیلیس، ۹۰ درصد آن میکرو سیلیس بوده و ۱۰ درصد آن نانو سیلیس. ثابت‌های این تحقیق شامل دانه‌بندی چوب بود که برای همه تیمارها ثابت و مطابق با جدول ۱ بود. همچنین، مقدار آب که به‌صورت تجربی و برای رسیدن به اسلامپ^۱ موردنظر در نظر گرفته شد که به‌طور معمول ۴۰ درصد وزن خشک سیمان بود اما در تیمارهای با درصد چوب بالا مقدار کمی آب برای رسیدن به اسلامپ موردنظر افزایش پیدا کرد؛ بنابراین ۲۰ تیمار مختلف و از هر تیمار ۳ نمونه مکعبی شکل در ابعاد ۵×۵×۵ سانتی‌متر و در کل ۶۰ نمونه مطابق با آیین‌نامه بتن ایران (آبا) ساخته شد.

فرآیند ساخت مطابق با استاندارد بتن ایران (آبا) بوده و از میز ویبره برای متراکم کردن بتن استفاده شده، درحالی‌که در صفحات چوب سیمان عمل متراکم کردن توسط پرس انجام می‌شود. علاوه بر آن در اکثر تحقیقات گذشته از خاکاره و یا تراشه‌های چوب به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌شد در صورتی‌که در این تحقیق از دانه‌های چوب از مش ۸ تا مش ۱۰۰ به‌صورت مخلوط استفاده گردید. هدف از انجام این تحقیق، تولید فرآورده سیمانی سبک اما مقاوم برای کاربردهای مصالح سازه‌ای در ساختمان است؛ بنابراین با توجه به این‌که امروزه غالباً از بتن‌های سنگین برای مصارف سازه‌ای ساختمان استفاده می‌شود، انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از ذرات چوب صنوبر دلتوئیدس، با دانسیته ۰/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌عنوان ماده لیگنوسلولزی استفاده گردید. اندازه ذرات به‌صورت دانه‌بندی و مطابق با جدول ۱ است. هدف از استفاده ذرات چوب به‌صورت دانه‌بندی این بود که مش‌های درشت، نقش تقویت‌کننده و مش‌های ریز نقش پرکننده را در بتن ایفا کنند. از مش‌های درشت‌تر شامل مش ۴ و بالاتر استفاده نشد چون مطابق با آیین‌نامه بتن ایران (آبا) بزرگ‌ترین اندازه اسمی دانه‌ها نباید از یک‌پنجم کوچک‌ترین بعد قالب بتن بزرگ‌تر باشد. لازم به ذکر است که ذرات چوب از ضایعات موجود در کارخانه چوب‌بری جمع‌آوری گردید و پس از غربال کردن مورد استفاده قرار گرفتند. سیمان مورد استفاده از نوع سیمان پرتلند و تیپ ۱ بود که از کارخانه سیمان سبزوآر تهیه گردید. میکرو

جدول ۱- دانه‌بندی ذرات چوب

| مش ۸ | مش ۱۶ | مش ۳۰ | مش ۵۰ | مش ۱۰۰ |
|---------|---------|---------|---------|--------|
| ۳۵ درصد | ۲۰ درصد | ۳۰ درصد | ۱۲ درصد | ۳ درصد |

جدول ۲- مشخصات محلول نانو سیلیس

| اندازه ذرات (nm) | نوع محلول | سطح ویژه (m ² /g) | گرانروی (CP) | دانسیته (Kg/L) | اسیدیته | غلظت (%) |
|------------------|-----------|------------------------------|--------------|----------------|---------|----------|
| ۷۰-۱۰۰ | آب | ۲۴۰ | ۱۵ | ۱/۴ | ۹/۱ | ۵۰ |

^۱ Slamp



شکل ۱- مواد مورداستفاده در این تحقیق

سپس به مدت ۲۸ روز مطابق با آیین‌نامه بتن ایران (آبا) در داخل آب قرار گرفتند. بتن ساخته‌شده و نحوه ساخت آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری‌ها

جذب آب نمونه‌ها طی ۴۳۲ ساعت غوطه‌وری در آب محاسبه گردید. بدین صورت که بعد از خارج شدن نمونه‌ها از قالب، بعد از فرآیند ساخت وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد، سپس نمونه‌ها به داخل ظرف آب قرار داده شدند. در زمان‌های موردنظر، نمونه‌ها از داخل آب خارج شدند و بعد از پاک کردن آب اضافی از روی سطحشان وزن آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد. این کار تا جایی ادامه پیدا کرد که دیگر تغییری در وزن نمونه‌ها مشاهده نشد. در نهایت میزان جذب آب نمونه‌ها طبق رابطه مربوطه مطابق با استاندارد (2003) ASTM C67-03a [۱۱] محاسبه گردید. دانسیته نمونه‌ها نیز بلافاصله پس از خروج از قالب از تقسیم وزن به حجم نمونه‌ها تعیین گردید.

برای ساخت نمونه‌ها مواد توسط ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. ابتدا ماده چوبی (همه مش‌ها) به داخل ظرفی ریخته شد و مقدار یک‌سوم آب موردنظر برای هر تیمار بر روی چوب ریخته شد تا بخش زیادی از تقاضای جذب آب (کوتاه‌مدت) دانه‌های چوبی برآورده شود. این کار برای آن انجام شد تا دانه‌های چوبی از ژل سیمان آبی (آب قابل‌توجهی) جذب نکرده و در گیرش سیمان خللی وارد نکنند. سپس میکروسیلیس و سیمان باهم مخلوط شدند و به داخل ظرف ریخته شدند و توسط دست کاملاً هم زده شد. نانو سیلیس نیز با دوسوم آب باقی‌مانده مخلوط گردید و به ژل بتن اضافه شد. مدت‌زمان مخلوط شدن حدود ۱۵۰ ثانیه برای هر تیمار بود. سپس ژل به دست‌آمده در قالب‌های مکعبی شکل به ابعاد ۵×۵×۵ سانتی‌متر ریخته شد (جداره‌های قالب توسط روغن‌سوخته مرطوب شد تا اثر اصطکاک حداقل شود) و به مدت ۱۲۰ ثانیه بر روی میز ویبره مدل SCL-SD8-12 قرار گرفت تا به تراکم موردنظر برسد. قالب‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آزمایشگاه نگهداری شدند و پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از قالب خارج شدند و ابتدا توزین شدند و



شکل ۲- بتن ساخته شده و نحوه ساخت آن‌ها، نمونه بتن (بالا سمت چپ)، قالب حاوی بتن (بالا سمت راست)، میز ویبره و ویبره کردن بتن (پایین سمت چپ)، وزن نمونه بتن (پایین سمت راست)

است. با بهره‌گیری از این رابطه و با استفاده از شیب قسمت خطی منحنی M_t/M_{sat} در برابر $t^{0.5}/L$ می‌توان نمودار ضریب پخش را رسم نمود. پس از رسم نمودار، مربع ضریب X معادله رگرسیون در عدد پی ضرب شده و بر ۱۶ تقسیم می‌شود تا ضریب انتشار رطوبت محاسبه شود.

$$\frac{M_t}{M_{sat}} = K t^n \quad (1)$$

$$\text{LOG} \left\{ \frac{M_t}{M_{sat}} \right\} = \text{LOG}(K) + n \text{LOG}(t) \quad (2)$$

$$\frac{M_t}{M_{sat}} = \frac{4}{L} \left(\frac{D}{\pi} \right)^{0.5} t^{0.5} \quad (3)$$

بعد از خارج شدن نمونه‌ها از داخل آب، به مدت ۷ روز در هوای آزاد مطابق با استاندارد بتن ایران (آبا) قرار گرفت تا کمی از رطوبت نمونه‌ها کاسته شود. سپس مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده توسط دستگاه

ضریب انتشار رطوبت با استفاده از شیب منحنی جذب آب و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود؛ که در آن M_t جذب آب در زمان t ، M_{sat} میزان رطوبت اشباع، K و n نیز ضریب‌های ثابت هستند. برای محاسبه ضریب انتشار رطوبت، ابتدا باید مشخص نمود که رفتار جذب آب طولانی مدت فرآورده مرکب مطابق با نظریه فیک باشد. برای این منظور می‌توان از رابطه ۲ که لگاریتم رابطه ۱ است بهره گرفت. اگر نمودار لگاریتم زمان در برابر لگاریتم M_t/M_{sat} رسم شود، ضریب X که از معادله رگرسیون آن حاصل می‌شود مقدار n خواهد بود. اگر مقدار n در این رابطه کمتر از ۰/۵ باشد نشان‌دهنده پیروی رفتار جذب آب ماده مرکب با نظریه فیک است. پس از اطمینان از پیروی رفتار جذب آب طولانی مدت فرآورده مرکب از قانون فیک، می‌توان ضریب انتشار رطوبت را محاسبه نمود. با استفاده از رابطه ۳ ضریب انتشار رطوبت قابل محاسبه است؛ که در اینجا L ضخامت نمونه برحسب متر و D ضریب انتشار رطوبت برحسب مترمربع بر ثانیه

گرفت. در نهایت تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی از طریق شدت طیف و جذب در نواحی مختلف انجام شد.

جهت مطالعه ریخت‌شناسی بتن‌های ساخته‌شده از میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل AIS2300C، با ولتاژ ۲۰ کیلوولت و محدوده بزرگنمایی صفر تا ۶۰۰۰۰ برابر واقع در دانشکده علوم پایه دانشگاه صنعتی امیرکبیر استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب طرح فاکتوریل انجام شد و در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین سطوح از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. همچنین جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری بتن‌های ساخته‌شده به صورت خلاصه در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تأثیر ذرات سیلیس و ذرات چوب بر تمامی آزمون‌های مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای اختلاف معنی‌دار است.

TONIN DUSTRIE مدل 10877 Berlin Friedenau واقع در آزمایشگاه خاک وزارت راه و شهرسازی با سرعت بارگذاری ۰/۳۵ مگاپاسکال در ثانیه مطابق با استاندارد ۶۰۴۸ ایران انجام شد. نیروی اعمال‌شده در مرحله شکست توسط دستگاه برحسب کیلوگرم محاسبه شد و سپس بر سطح هر نمونه که حدود ۲۵ سانتی‌متر مربع (۵×۵ سانتی‌متر) تقسیم‌شده و مقدار تنش برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع محاسبه شد و در نهایت بر عدد ۱۰ تقسیم شد تا برحسب مگاپاسکال محاسبه شود. مقدار رطوبت نمونه‌ها در هنگام آزمون ۱۰ درصد بود. برای محاسبه شاخص مقاومت فشاری نیز از نسبت مقاومت فشاری به دانسیته استفاده شد.

جهت بررسی تغییرات شیمیایی ایجادشده در اثر افزودن سیلیس و چوب از طیف‌سنجی مادون قرمز استفاده گردید. برای این منظور از دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز، مدل TENSOR 27 ساخت کارخانه BRUKER آلمان واقع در دانشگاه زابل (آزمایشگاه علوم پایه) استفاده گردید. ابتدا مقداری از پودر بتن با ماده برمید پتاسیم به نسبت ۱ به ۴ مخلوط و به وسیله پرس دستی فشرده شد. سپس دیسک تولیدشده در داخل سلول دستگاه تحت تابش اشعه مادون قرمز در دامنه ۴۰۰ تا 4000 cm^{-1} قرار

جدول ۳- مقدار F و سطح معنی‌داری حاصل از تجزیه و تحلیل آماری

| آزمون‌ها | درصد چوب (A) | درصد سیلیس (B) | A×B |
|-------------------|--------------|----------------|----------|
| مقاومت فشاری | ۳۹۸۳ ** | ۱۲۶/۴۳۵ ** | ۸/۲۷۴ ** |
| دانسیته | ۶۰۶۲ ** | ۵۱/۵۰۴ ** | ۶/۳۷۸ ** |
| شاخص مقاومت فشاری | ۱۸۰۵ ** | ۱۰۶/۳۲۶ ** | ۴/۵۴۳ ** |
| جذب آب ۲ ساعتی | ۴۸۵/۶۸۹ ** | ۷۲/۲۴۵ ** | ۱/۵۶۸ ** |
| جذب آب ۲۴ ساعتی | ۵۱۳/۲۵۶ ** | ۸۳/۹۱۲ ** | ۱/۲۵۸ ** |
| جذب آب ۴۳۲ ساعتی | ۶۸۷/۴۵۳ ** | ۹۸/۴۷۹ ** | ۲/۰۵۹ ** |

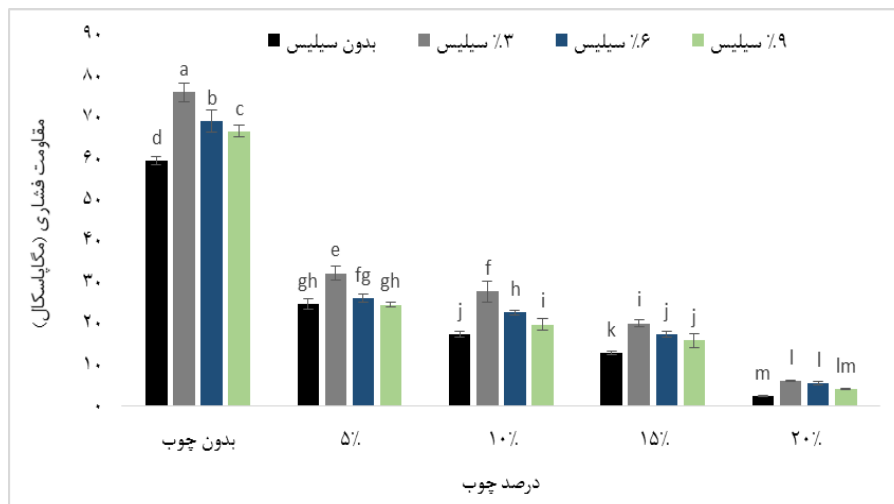
(**) معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

مقاومت فشاری بتن کاسته شد. با افزایش میزان سیلیس تا ۳ درصد مقاومت فشاری بتن‌های ساخته‌شده افزایش یافت اما افزودن مقادیر بیشتر سیلیس مقاومت فشاری بتن‌ها را کاهش داد. نوع شکست در تمامی نمونه‌ها به صورت خمشی-برشی بود (شکل ۴). کاهش مقاومت بتن در اثر افزایش درصد چوب را می‌توان به سه مکانیسم

شکل ۳، تأثیر متقابل سطوح مختلف ذرات سیلیس و ذرات چوب بر مقاومت فشاری بتن‌های ساخته‌شده را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل بیشترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه بدون چوب و ۳ درصد سیلیس و کمترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه حاوی ۲۰ درصد چوب و بدون سیلیس است. با افزایش میزان چوب از

کامپوزیت‌ها را کم کند منجر به کاهش خواص مکانیکی می‌شود [۱۳]. مکانیسم سوم مربوط به فصل مشترک ضعیف بین چوب و سیمان است [۱۴]. سیمان یک ماده معدنی و چوب یک ماده آلی و سرشار از فندها از جمله پلی‌اوزها است. در هنگام اختلاط چوب و سیمان، مواد قندی موجود در چوب، مانع عملکرد مناسب سیمان شده و فصل مشترک ضعیفی بین این دو فاز به وجود می‌آید. این سطح مشترک ضعیف، زیر بار فشاری مانع انتقال مؤثر تنش از سیمان به ذرات چوب که نقش تقویت‌کننده را دارند می‌شود [۱۴]؛ بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش درصد چوب، مقاومت فشاری بتن کاهش یابد.

عمده مرتبط دانست. مکانیسم نخست مربوط به کاهش دانسیته بتن در اثر افزودن درصد چوب است. از آنجایی که مقاومت بتن به‌طور مستقیم با دانسیته آن مرتبط است [۱۲] و از آنجایی که با افزایش درصد چوب، دانسیته بتن کاهش یافت بنابراین می‌توان انتظار داشت که با افزایش ذرات چوب، مقاومت فشاری بتن کاهش یابد. مکانیسم دوم به این موضوع مربوط می‌شود که افزودن چوب همگنی بتن را کاهش داده و فضاهای میکروسکوپی کوچکی در بتن ایجاد می‌کند که این منافذ میکروسکوپی در هنگام بار فشاری نقاط شروع ترک هستند، محققان معتقدند که افزودن مواد فیبری به صورتی که همگنی



شکل ۳- تأثیر متقابل سطوح ذرات سیلیس و ذرات چوب بر مقاومت فشاری بتن‌های ساخته‌شده

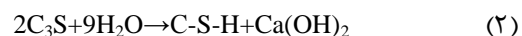
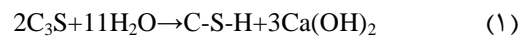
مشابهی را در رابطه با استفاده از نانوسولوز گزارش کرده‌اند [۹]؛ اما آنچه بیش از همه موارد باید در مورد تأثیر سیلیس بر افزایش خواص مکانیکی بتن مورد بررسی قرار گیرد شامل چهار مکانیسم عمده است. ۱- واکنش پوزولانی: در اثر ترکیب آهک موجود در سیمان و آب (هیدروکسید کلسیم) کریستال‌های هیدروکسید کلسیم Ca(OH)_2 تشکیل می‌شود (واکنش ۱ و ۲) که یک کریستال شش‌گوشه بوده و در میان ناحیه انتقالی بین دانه‌ها (در این تحقیق چوب) و ماتریس (سیمان) قرار دارد و این امر برای مقاومت بتن مضر است [۱۶، ۱۷، ۱۸]. نانو سیلیس به دلیل سطح ویژه بسیار بالای خود و همچنین به دلیل گروه‌های هیدروکسیل سطحی خود بسیار

افزایش مقاومت فشاری بتن در اثر استفاده از ۳ درصد سیلیس را این‌گونه می‌توان تحلیل نمود که سیلیس، به‌خصوص در مقیاس نانو به‌عنوان عامل هسته‌زا در بتن و کامپوزیت‌ها عمل می‌کند [۱۵]؛ بنابراین در اثر افزودن آن تا محدوده مشخصی میزان بلورینگی سیستم افزایش می‌یابد و به‌تبع آن مقاومت فشاری بتن نیز افزایش می‌یابد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که سیلیس توانایی برقراری پیوند هیدروژنی هم با سیمان و هم با آرد چوب را دارا است (شکل ۵). عقیده بر این است که در صورت تشکیل پیوند هیدروژنی بین ذرات چوب و سیلیس، سفتی ذرات چوب افزایش یافته و زیر بار فشاری تنش بیشتری را تحمل می‌نماید، پژوهشگران مورد

چندسازه تولیدشده را به‌اندازه و شکل ذرات مرتبط دانستند و اشاره کردند که خاکاره به دلیل این‌که ذرات ریز با ضریب لاغری کمی است، مقاومت خوبی در چندسازه ایجاد نمی‌کند [۳]. به نظر می‌رسد گفته ایشان صحیح باشد چون در این تحقیق تغییر فرآیند ساخت و همچنین تغییر اندازه ذرات باعث افزایش مقاومت فشاری در حد ۴۰ مگاپاسکال گردید. Gong و همکاران (۱۹۹۳) ذکر کردند که مقاومت فشاری موردنیاز برای موادی که به‌صورت سنگ‌فرش مورد استفاده قرار می‌گیرند باید بین ۲۰ تا ۲۵ مگاپاسکال بوده و برای تیر و ستون این مقادیر باید ۲۰ تا ۳۵ مگاپاسکال باشد. همچنین برای مصالح ساختمانی مثل بلوک و آجر و ... میزان مقاومت فشاری باید ۴ تا ۷ مگاپاسکال باشد [۲۰]؛ بنابراین، در این تحقیق، نمونه‌های حاوی درصد چوب کم را می‌توان به‌عنوان عضو سازه‌ای نظیر تیر و ستون و نمونه‌های حاوی درصد‌های بالای چوب را می‌توان به‌عنوان مصالح ساختمانی نظیر بلوک استفاده کرد.

تأثیر متقابل سطوح سیلیس و ذرات چوب بر دانسیته بتن‌های ساخته‌شده در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین میزان دانسیته مربوط به نمونه بدون چوب و ۶ درصد سیلیس و کمترین میزان دانسیته مربوط به نمونه حاوی ۲۰ درصد چوب و ۹ درصد سیلیس است. با افزایش میزان چوب، دانسیته بتن کاهش یافت در صورتی که با افزایش سیلیس، دانسیته بتن‌ها افزایش یافت. از آنجایی که دانسیته چوب صنوبر (۰/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در مقایسه با دانسیته سیمان (بیش از ۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) است، بنابراین می‌توان انتظار داشت که با افزایش میزان چوب و به‌تبع آن کاهش میزان سیمان، دانسیته بتن کاهش یابد. افزودن سیلیس به مخلوط بتن نیز به‌صورت افزودنی بود بدون این‌که از مقدار چوب و سیمان کاسته شود؛ بنابراین با افزودن سیلیس نیز می‌توان انتظار افزایش دانسیته بتن را داشت. افزایش سیلیس که مخلوطی از ابعاد نانو و میکرو بود فضاهای ریز میکروسکوپی موجود در بتن را پوشش داده و با تشکیل کریستال سیلیکات کلسیم باعث متراکم‌تر شدن بتن و به‌تبع آن افزایش دانسیته شده است [۵].

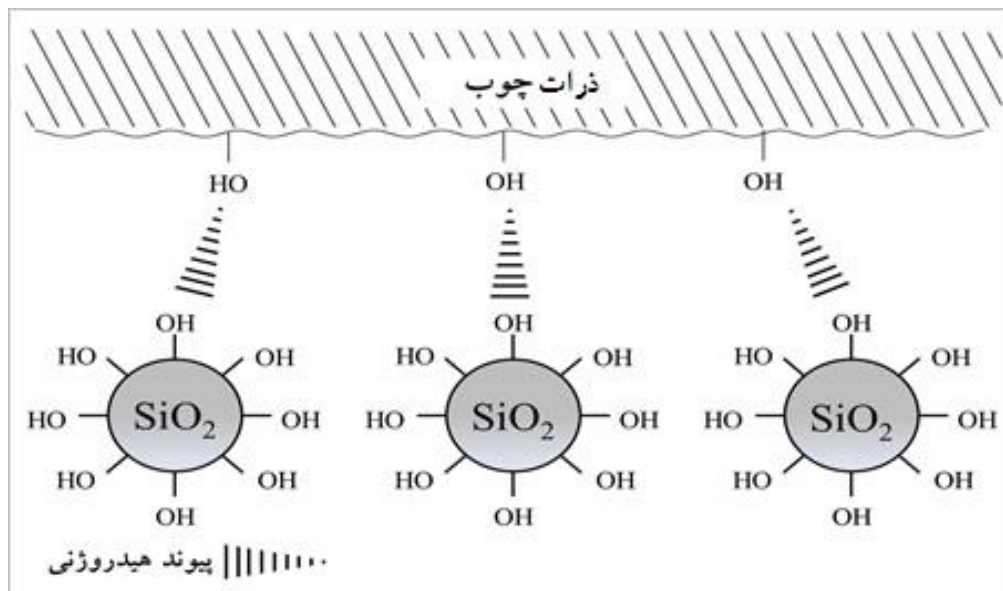
واکنش‌پذیر است. در نتیجه با Ca(OH)_2 به‌سرعت واکنش داده و کریستال سیلیکات کلسیم تشکیل می‌شود. در این رابطه پوزولانی (واکنش ۳)، اندازه و مقدار کریستال‌های هیدروکسید کلسیم کاهش می‌یابد و ژل متراکم و پر مقاومت C-S-H تشکیل می‌شود. این ژل با پر کردن فضاهای خالی و لوله‌های موبین موجود در بتن، مقاومت آن را افزایش خواهد داد [۵]. ۲- خاصیت پرکنندگی: حدود ۷۰ درصد محصولات هیدراسیون ژل کریستال سیلیکات کلسیم است که قطر تقریبی آن حدود ۱۰ نانومتر است و باعث ایجاد خاصیت پرکنندگی و به‌تبع آن افزایش مقاومت بتن می‌شود [۴]. ۳- عملکرد هسته اتمی: در داخل ساختمان ژل سیلیکات کلسیم، نانو سیلیس می‌تواند مانند یک هسته عمل کرده و یک پیوند قوی با آن برقرار نماید؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت که در هنگام بارهای مکانیکی، بتن مقاومت بیشتری داشته باشد [۱۹]. ۴- کنترل کریستال‌سازی: در صورتی که مقدار نانو ذرات مناسب باشد روند کریستال‌سازی کریستال‌هایی مثل Ca(OH)_2 در ناحیه انتقالی کاهش یافته و در نتیجه ماتریس خمیر سیمان یکنواخت‌تر و همگن‌تر خواهد بود [۱۶، ۱۷]؛ اما کاهش مقاومت فشاری بتن در اثر استفاده از مقادیر بالای سیلیس به نظر می‌رسد مربوط به پدیده انبوهش ذرات سیلیس باشد [۱۵]. می‌توان انتظار داشت که دلیل دیگر کاهش مقاومت آب‌دوست بودن ذرات سیلیس باشد. به‌طوری‌که در اثر استفاده از مقادیر بالای سیلیس، آب بیشتری در اختیار این ذرات قرار می‌گیرد و از سهم آب سیمان کاسته می‌شود؛ بنابراین در مقادیر بالای سیلیس، اتصال مؤثری بین چوب و سیمان به دلیل کمبود آب تشکیل نخواهد شد.



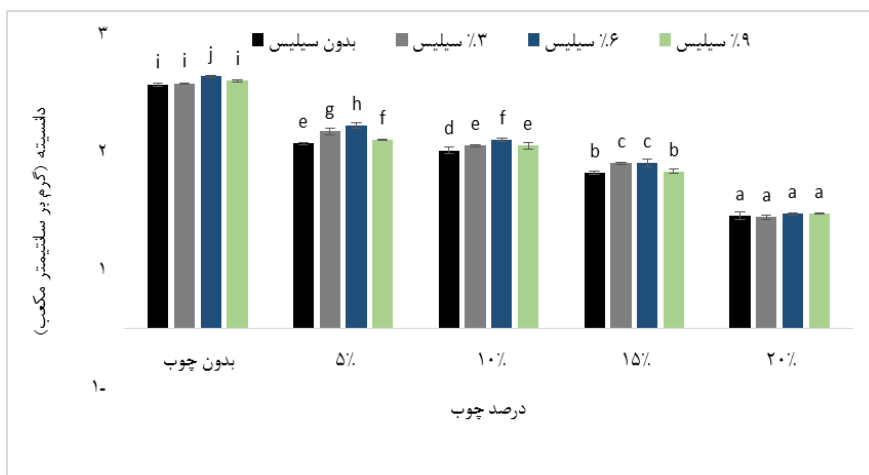
Golbabaei (۲۰۱۵)، حداکثر مقاومت آجر چوب سیمان که از خاکاره چوب ساخته شده بود را ۱/۷ مگاپاسکال گزارش کردند. ایشان دلیل مقاومت کم



شکل ۴- نوع شکست بتن تحت بار فشاری



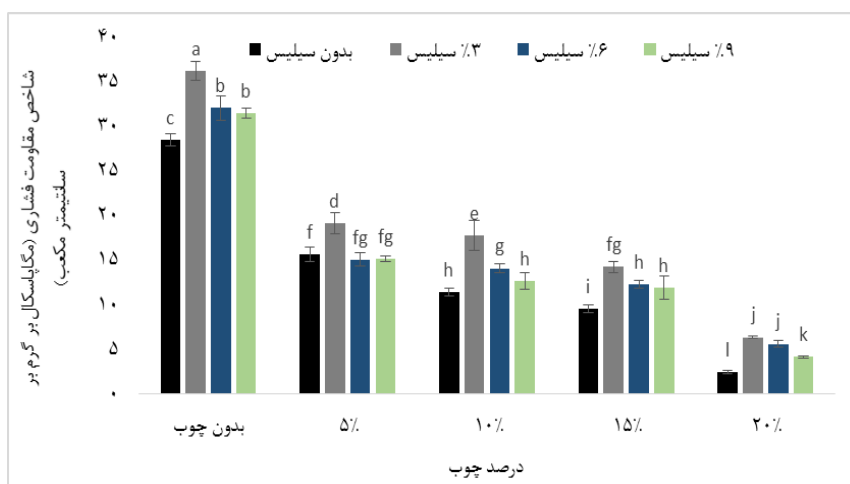
شکل ۵- برهمکنش گروه‌های آب‌دوست سیلیس با گروه‌های هیدروکسیل ذرات چوب [۱۵]



شکل ۶- تأثیر متقابل سطوح ذرات سیلیس و ذرات چوب بر دانسیته بتن‌های ساخته شده

است. بر اساس این شکل، بیشترین میزان این شاخص مربوط به نمونه بدون چوب و ۳ درصد سیلیس و کمترین آن مربوط به نمونه حاوی ۲۰ درصد چوب و فاقد سیلیس است. نتایج این آزمون حاکی از وابستگی شدید مقاومت فشاری بتن‌ها به دانسیته آن‌ها است.

شاخص مقاومت فشاری در واقع نسبت مقاومت فشاری به دانسیته بتن را مشخص می‌کند. از آنجایی که دانسیته بتن‌های ساخته شده در اثر عوامل متغیر دائم در تغییر است، لازم بود تا شاخص مقاومت فشاری تعیین گردد. تأثیر متقابل سطوح سیلیس و چوب بر شاخص مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده در شکل ۷ نشان داده شده



شکل ۷- تأثیر متقابل سطوح ذرات سیلیس و ذرات چوب بر شاخص مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده

جذب آب بتن‌ها افزایش یافت. با افزایش سیلیس تا ۳ درصد جذب آب بتن کاهش یافت اما افزودن مقادیر بیشتر سیلیس جذب آب بتن‌ها را افزایش داد. لازم به توضیح است که جذب آب نمونه‌ها در اوایل دوره غوطه‌وری بسیار

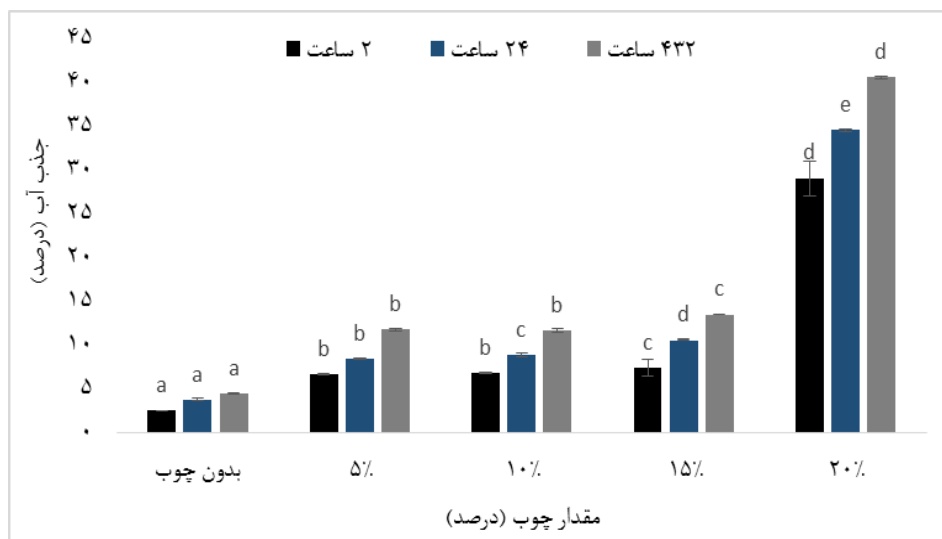
شکل‌های ۸ و ۹ تأثیرات مستقل سطوح چوب و سیلیس را به صورت جداگانه بر جذب آب بتن‌های ساخته شده در دوره‌های مختلف غوطه‌وری را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل‌ها با افزایش میزان چوب،

ترکیب اول آب‌دوست، اما گروه‌های سیلوکسان آب‌گریز هستند [۲۶]. از این رو نانو ذرات سیلیس دارای خاصیت قطبی و آب‌دوست هستند. دلیل کاهش جذب آب بتن در نمونه‌های حاوی سیلیس نسبت به نمونه فاقد سیلیس این است که هم چوب و هم سیلیس دارای گروه‌های هیدروکسیل هستند و این موضوع زمینه را برای تشکیل پیوند هیدروژنی بین این دو ماده فراهم می‌آورد (شکل ۷). در صورت تشکیل پیوند هیدروژنی بین این دو ماده، برخی از گروه‌های هیدروکسیل هر دو ماده عملاً از دسترس و تماس مولکول‌های آب خارج می‌شوند. به بیان دیگر، نوعی رقابت بین گروه‌های هیدروکسیل ذرات چوب و گروه‌های هیدروکسیل سیلیس برای تشکیل پیوند هیدروژنی برقرار است. ذرات چوب و سیلیس از شانس مولکول‌های آب در این رقابت می‌کاهد [۲۷، ۲۸، ۲۹]. از طرف دیگر همان‌طور که گفته شد فرآیندهای انتشار رطوبت به داخل فرآورده‌های مرکب چوبی از دو مکانسیم عمده ناشی می‌شود. انتشار مولکول‌های آب از طریق گروه‌های هیدروکسیل مواد لیگنوسولولزی و در نهایت انتشار مولکول‌های آب از طریق لوله‌های مویین موجود در بین اجزای تشکیل‌دهنده فرآورده‌های مرکب [۲۴، ۲۵]. سیلیکا از یک‌سو با تشکیل پیوند هیدروژنی با گروه‌های هیدروکسیل چوب و از سوی دیگر با مسدود کردن تعداد زیادی از لوله‌های مویین موجود در بتن، باعث کاهش جذب آب می‌شود؛ اما افزایش جذب آب بتن در اثر افزایش بیشتر سیلیس را این‌گونه می‌توان تحلیل نمود که پیوند هیدروژنی بین سیلیس و ذرات چوب به نظر می‌رسد در همان مقدار ۳ درصد سیلیس دارای حد اپتیمم بوده است و در اثر افزودن مقادیر بیشتر سیلیس نه تنها پیوندهای هیدروژنی جدیدی تشکیل نمی‌شود بلکه جذب آب بتن با ورود بیشتر یک ماده آب‌دوست (سیلیس) افزایش می‌یابد.

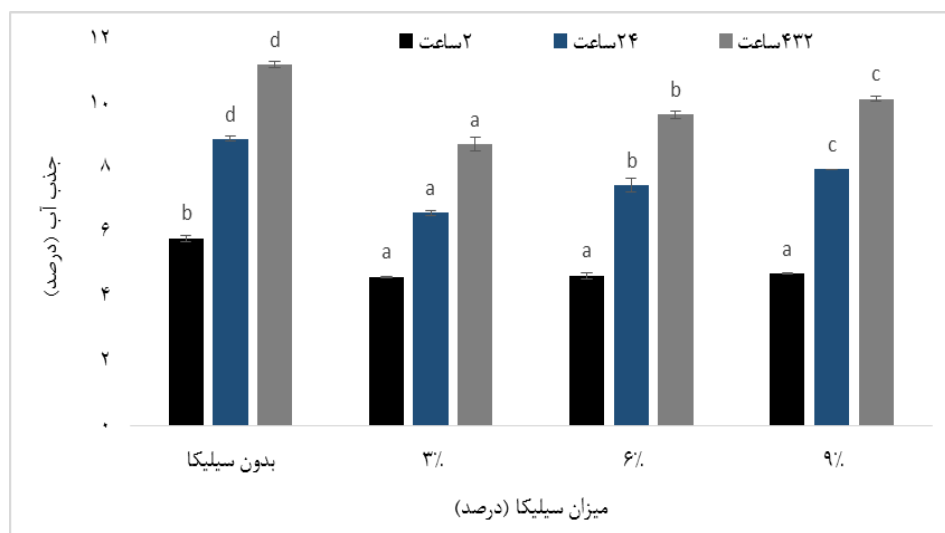
Golbabaei (۲۰۱۵)، حداقل جذب آب ۲۴ ساعتی آجر چوب سینان را ۴۹ درصد و حداکثر آن را ۷۰ درصد گزارش نمود. در این پژوهش حداکثر میزان جذب آب ۲۴ ساعتی بتن‌های ساخته شده ۳۴/۵ درصد و حداقل آن ۳/۷۵ درصد بود [۳]. به نظر می‌رسد تفاوت در شرایط ساخت، اندازه ذرات چوب و میزان تخلخل کم بتن‌های ساخته شده در این پژوهش باعث جذب آب کم آن‌ها شده باشد.

بیشتر از اواخر آن بود. انتظار می‌رود که سرعت بالای جذب آب در زمان‌های نخستین غوطه‌وری مربوط به پدیده انتشار^۲ باشد. مولکول‌های آب در زمان‌های نخستین غوطه‌وری با پدیده انتشار یا حرکت توده‌ای وارد لوله‌های مویین موجود در چندسازه می‌شوند [۷، ۲۱]. به عبارتی این نوع آب جذب شده را می‌توان به آب آزاد موجود در حفره‌های سلولی چوب تشبیه کرد که توسط پدیده انتشار و حرکت توده‌ای در چوب حرکت می‌کنند [۲۲]. با گذشت زمان و پر شدن لوله‌های مویین موجود در چندسازه، مواد آب‌دوست موجود در چندسازه شامل چوب از طریق گروه‌های هیدروکسیل اقدام به جذب رطوبت می‌نمایند اما مقدار این نوع جذب آب نسبت به جذب توده‌ای کمتر است به همین دلیل می‌توان انتظار داشت که روند جذب آب با گذشت زمان کمتر شود. این نوع آب جذب شده را می‌توان به آب آغشتگی موجود در چوب تشبیه کرد که با دیواره سلولی چوب پیوند هیدروژنی برقرار می‌کند. در نهایت در یک زمان مشخص جذب آب به دلیل اشباع شدن فضاها و همچنین مواد آب‌دوست ثابت می‌شود [۲۳]. فرآیندهای انتشار رطوبت به داخل چندسازه‌های چوبی از دو مکانسیم عمده ناشی می‌شود: انتشار مولکول‌های آب از طریق گروه‌های هیدروکسیل مواد لیگنوسولولزی و انتشار مولکول‌های آب از طریق لوله‌های مویین موجود در بین اجزای تشکیل‌دهنده فرآورده‌های مرکب [۲۴، ۲۵]. از طریق ۲ سازوکار عمده می‌توان علت افزایش جذب آب چندسازه‌ها را با افزایش میزان چوب را توجیه کرد. سازوکار نخست مربوط به این موضوع می‌شود که ذرات چوب دارای گروه‌های آب‌دوست هیدروکسیل هستند بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش میزان چوب، جذب آب نیز افزایش یابد. سازوکار دوم نیز مربوط به این موضوع می‌شود که با افزایش ذرات چوب از همگنی بافت چندسازه کاسته شده و فصل مشترک بین ذرات چوب و ژل سیمان، زمینه را برای ورود و حرکت توده‌ای آب به درون چندسازه فراهم می‌آورد [۷].

از نظر شیمیایی، سطح نانو ذرات سیلیس دارای گروه‌های شیمیایی هیدروکسی، هیدروژن متصل به گروه‌های هیدروکسی و گروه‌های سیلوکسان است. دو



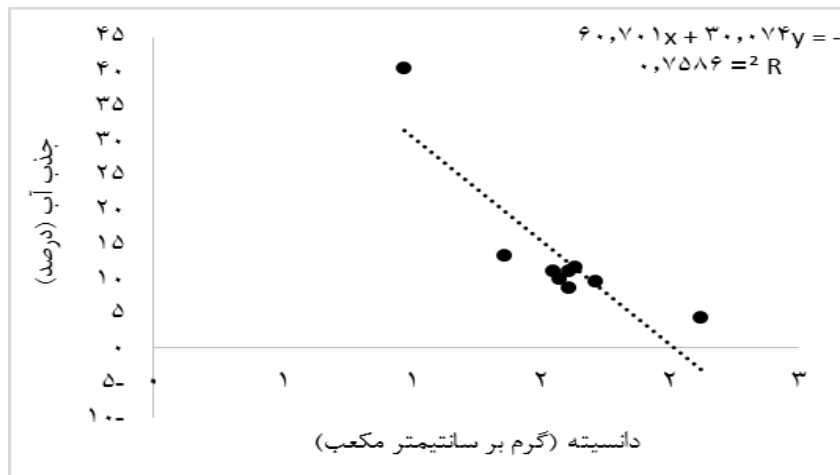
شکل ۸- تأثیر مستقل سطوح چوب بر جذب آب بتن در ساعت‌های مختلف غوطه‌وری



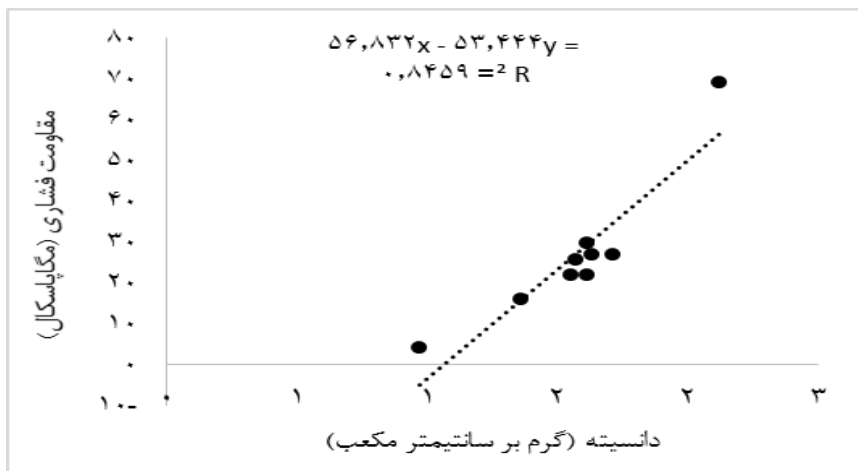
شکل ۹- تأثیر مستقل سطوح سیلیس بر جذب آب بتن در ساعت‌های مختلف غوطه‌وری

ساخته‌شده افزایش یابد. با افزایش دانسیته انتظار می‌رود که تراکم موجود در بتن نیز بیشتر شده و از شعاع لوله‌های مویین نامنظم موجود در بتن کاسته شود [۲۴]؛ بنابراین با افزایش دانسیته جذب آب که در ابتدا با حرکت توده‌ای وارد بتن می‌شود کاهش می‌یابد زیرا شعاع فضاهای خالی بتن با افزایش دانسیته کاهش یافته است.

شکل‌های ۱۰ و ۱۱، همبستگی دانسیته با جذب آب و مقاومت فشاری بتن‌های ساخته‌شده را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، با افزایش دانسیته مقاومت فشاری افزایش درحالی‌که جذب آب کاهش می‌یابد. اکثر خواص مکانیکی مواد مختلف خصوصاً بتن و فرآورده‌های مرکب با دانسیته آن‌ها رابطه مستقیم دارند [۳۰]؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت با افزایش دانسیته مقاومت فشاری بتن



شکل ۱۰- همبستگی دانسیته با جذب آب بتن



شکل ۱۱- همبستگی دانسیته با مقاومت فشاری بتن

موضوع باعث افزایش ضریب انتشار رطوبت در بتن شده است. دلیل کاهش ضریب انتشار رطوبت در نمونه حاوی ۳ درصد سیلیس را می‌توان به تشکیل پیوند هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل آرد چوب با ذرات سیلیس نسبت داد. با تشکیل پیوند هیدروژنی بین سیلیس و چوب، از سرعت جذب آب توسط بتن کاسته شده و به تبع آن ضریب انتشار رطوبت کاهش می‌یابد. درحالی‌که استفاده زیاد از سیلیس، باعث افزایش تعداد گروه‌های هیدروکسیل قابل واکنش شده و مجدداً ضریب انتشار رطوبت افزایش یافت [۱۵].

جداول ۴ و ۵، مقادیر ضریب انتشار رطوبت برای سطوح مختلف چوب و سیلیس را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان چوب، ضریب انتشار رطوبت افزایش یافت. با افزایش سیلیس تا ۳ درصد ضریب انتشار رطوبت کاهش یافت اما پس از آن و با افزایش بیشتر سیلیس مجدداً ضریب انتشار رطوبت افزایش یافت. ضریب انتشار رطوبت در واقع مشخص‌کننده سرعت جذب آب در فرآورده‌های مرکب است [۳۱، ۳۲]. با افزایش چوب که دارای خاصیت قطبی است، می‌توان انتظار داشت که سرعت جذب آب در چندسازه افزایش یابد و همین

جدول ۴- ضریب انتشار رطوبت و مؤلفه‌های آن برای سطوح مختلف چوب

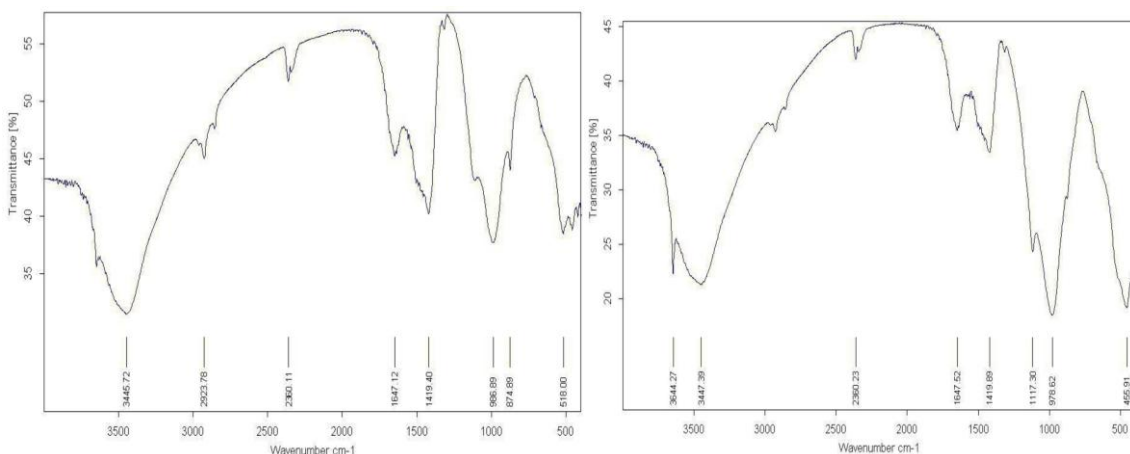
| نوع تیمار | مقدار n | زمان رسیدن به بیشینه جذب آب (ساعت) | بیشینه جذب آب (%) | ضریب انتشار رطوبت (m^2/s) |
|-------------|---------|------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| بدون چوب | ۰/۰۷ | ۷۲ | ۴/۱۳ | $۷/۰۶ \times 10^{-۸}$ |
| ۵ درصد چوب | ۰/۰۷ | ۳۳۶ | ۱۱/۷۶ | $۹/۶۱ \times 10^{-۸}$ |
| ۱۰ درصد چوب | ۰/۱۱ | ۴۳۲ | ۱۱/۳ | $۱/۹۶ \times 10^{-۷}$ |
| ۱۵ درصد چوب | ۰/۱ | ۴۳۲ | ۱۳/۵ | $۱/۵۸ \times 10^{-۷}$ |
| ۲۰ درصد چوب | ۰/۱۱ | ۴۳۲ | ۴۰/۵۵ | $۱/۹۶ \times 10^{-۷}$ |

جدول ۵- ضریب انتشار رطوبت و مؤلفه‌های آن برای سطوح مختلف سیلیس

| نوع تیمار | مقدار n | زمان رسیدن به بیشینه جذب آب (ساعت) | بیشینه جذب آب (%) | ضریب انتشار رطوبت (m^2/s) |
|--------------|---------|------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| بدون سیلیس | ۰/۰۷ | ۷۲ | ۴/۲۶ | $۷/۰۶ \times 10^{-۸}$ |
| ۳ درصد سیلیس | ۰/۱۱ | ۳۳۶ | ۸/۷۴ | $۱/۹۶ \times 10^{-۷}$ |
| ۶ درصد سیلیس | ۰/۱۳ | ۴۳۲ | ۹/۶۵ | $۲/۳۷ \times 10^{-۷}$ |
| ۹ درصد سیلیس | ۰/۱۲ | ۴۳۲ | ۱۰/۱۵ | $۱/۹۶ \times 10^{-۷}$ |

مشاهده می‌شود، پیک مربوط به گروه‌های هیدروکسیل در باند ۳۴۴۵ به شدت کاهش یافته است. انتظار می‌رود که تشکیل پیوند هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل سیلیس و ذرات چوب باعث کاهش شدت پیک مربوط به این گروه‌ها در طیف‌سنجی مادون‌قرمز شده باشد. از سوی دیگر در نمونه حاوی ۳ درصد سیلیس (تصویر سمت راست) پیک جدیدی در باند ۱۱۱۷ تشکیل شده است که می‌توان انتظار داشت مربوط به پیوندهای Si-O-Si گروه‌های سیلوکسان سیلیس با C-O سلولز چوب باشد [۱۵].

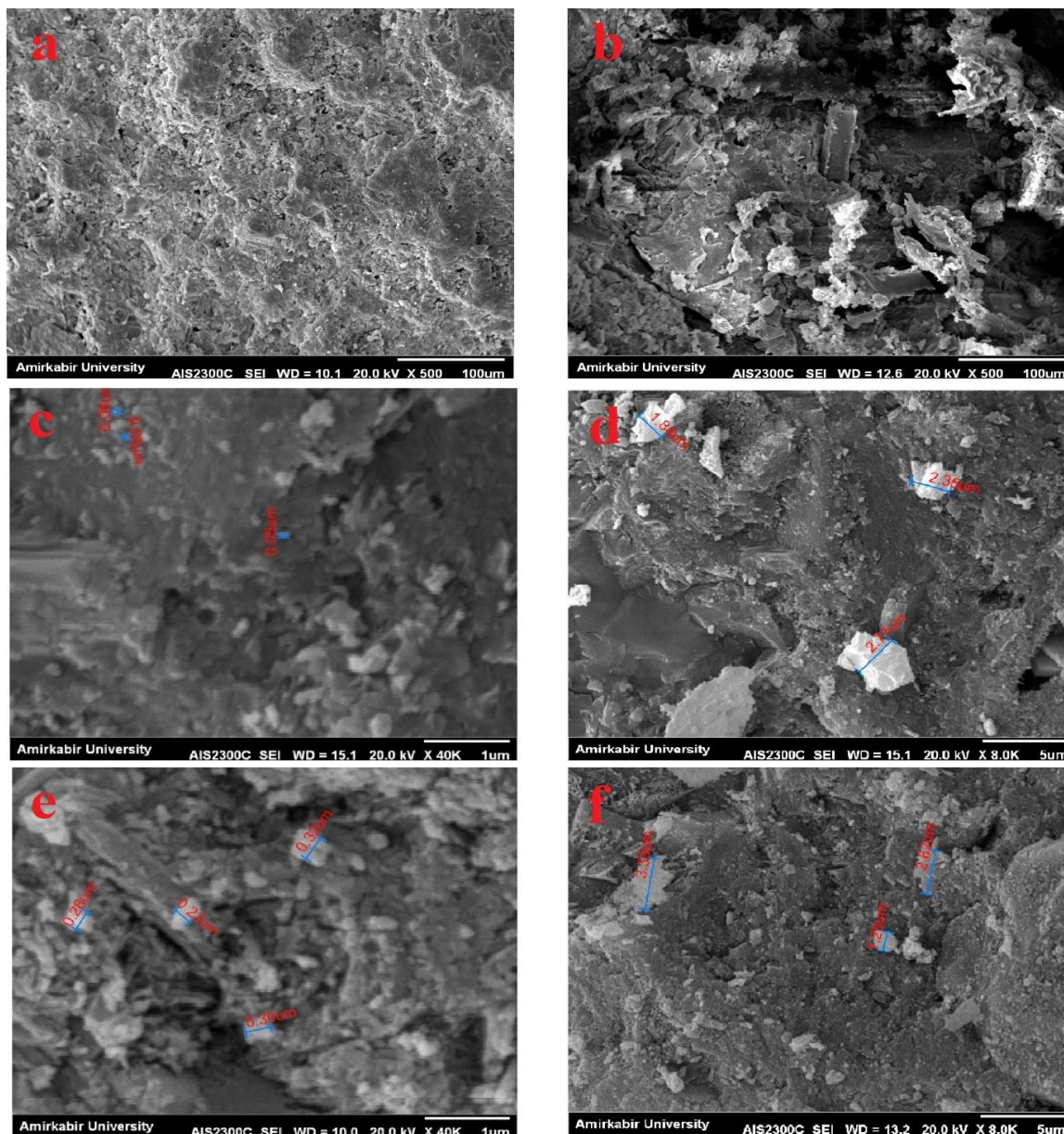
طیف‌سنجی مادون‌قرمز مربوط به نمونه‌های فاقد و حاوی سیلیس در شکل ۱۲ نشان داده شده است. در تصویر سمت چپ مربوط به نمونه فاقد سیلیس، پیک مربوط به ناحیه 3445cm^{-1} به ارتعاش کششی گروه‌های هیدروکسیل تعلق دارد. پیک ۲۹۲۳ مربوط به مد نامتقارن CH_2 کششی و ارتعاشات کششی C-H است. پیک کوچک ایجادشده در باند جذبی ۲۳۶۰ مربوط به گروه‌های آروماتیک C=C است. پیک موجود بر باند ۱۶۴۷ مربوط به ارتعاش خمشی گروه‌های هیدروکسیل است. در اثر افزودن سیلیس به بتن، همان‌طور که در تصویر سمت راست



شکل ۱۲- طیف‌سنجی مادون‌قرمز (FTIR)، نمونه فاقد سیلیس (چپ) و نمونه حاوی ۳ درصد سیلیس (راست)، (میزان چوب ۱۰ درصد)

افزودن سیلیس ابعاد ذرات در مقیاس نانومتری و میکرومتری تغییر کرده و این ابعاد بیشتر شده است. این موضوع نشان‌دهنده تجمع ذرات نانو و میکرو سیلیس در اثر استفاده از مقادیر زیاد سیلیس است. دلیل کاهش مقاومت‌های بتن در هنگام استفاده از مقادیر زیاد سیلیس به نظر همین پدید انبوهش ذرات باشد.

شکل ۱۳، تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی پوششی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزودن چوب به بتن، همگنی این ماده را کاهش داده و از تراکم بافت آن می‌کاهد. دلیل کاهش دانسیته و مقاومت‌های بتن و افزایش جذب آب آن در اثر افزودن چوب شاید مرتبط با همین موضوع باشد. از طرف دیگر با



شکل ۱۳- میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM)، نمونه فاقد چوب (a)، نمونه حاوی ۲۰ درصد چوب (b)، نمونه حاوی ۳ درصد سیلیکا با بزرگنمایی ۴۰ هزار برای نمایش نانو ذرات (c)، نمونه حاوی ۳ درصد سیلیکا با بزرگنمایی ۸۰۰ برای نمایش میکرو ذرات (d)، نمونه حاوی ۹ درصد سیلیکا با بزرگنمایی ۴۰ هزار برای نمایش نانو ذرات (e)، نمونه حاوی ۹ درصد سیلیکا با بزرگنمایی ۸۰۰ برای نمایش میکرو ذرات (f)

نتیجه‌گیری

اندازه ذرات، باعث افزایش مقاومت‌های مکانیکی شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نمونه‌های حاوی ۳ درصد سیلیس و ۵ تا ۱۰ درصد چوب به دلیل دانسیته کم و مقاومت قابل قبول از نظر استاندارد، به‌عنوان عضو سازه‌ای نظیر تیر و ستون و همچنین سقف ساختمان‌ها و نمونه‌های حاوی ۳ درصد سیلیس و ۱۵ و ۲۰ درصد چوب به‌عنوان مصالح سازه‌ای نظیر بلوک در ساختمان پیشنهاد می‌شوند.

در این تحقیق، امکان ساخت بتن سبک با استفاده از ذرات چوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش میزان چوب خواص فیزیکی و مکانیکی دچار افت شدند اما افزودن سیلیس تقریباً این افت خواص را جبران نمود. یکی از چالش‌های بزرگ تحقیقات مرتبط با چندسازه‌های چوب سیمان، مقاومت‌های مکانیکی ضعیف آن‌هاست. در این تحقیق، تغییر فرآیند ساخت و تغییر در

منابع

- [1] Naseri, H., Afshin, H. and Tufani milani, A., 2014. Investigation into mechanical properties of fibers reinforced lightweight concrete precast panels. *Concrete research journal*, 7 (2): 7-15.
- [2] Rahmanpour, M. and Afshin, H., 2016. The combined retrofitting of reinforced light structural concrete beams in near joint by using of steel plates and CFRP jacket under cycling loads. *Concrete research journal*, 9 (1): 71-82.
- [3] Golbabaie, F., 2015. Investigation on cement brick production containing wood sawdust. *Iranian journal of wood and paper science research*, 30 (3): 457-465. (In Persian).
- [4] Jonoobi. M., Rahamin, H. and rafieyan, F., 2015. Cellulose nanocrystal properties and their applications. *Iranian Journal of wood and paper industries*, 6(1):167-192. (In Persian).
- [5] Sadr Momtazi, A., Kohani Khoshkbijari, R. and Lotfi Omran. O., 2015. Mechanical and durability properties of self-compacting concrete containing nano silica particles considering optimum percentages of fibers. *Concrete research journal*, 8 (2): 19-34.
- [6] Tabei, A., Jamalzadeh, M. and Pourimanparast, M.M., 2011. An investigation of some physical and mechanical properties of the wood-cement made of poplar sawdust and portland cement mix. *Journal of renewable natural resources research*, 2 (4): 39-54.
- [7] Younesi-Kordkheili, H., Naghdi, R. and Honarbakhsh Raouf, A., 2016. Investigation on some of physical and mechanical properties off polypropylene fiber/wood/cement composites. *Iranian journal of wood and paper industries*, 7 (2): 207-217. (In Persian).
- [8] Nasiri, H., Varshoe, A. and 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. (In Persian).
- [9] Mohammadkazemi, F., Douthoseyni, K., Enayati, A.A. and Azadfallah, M., 2013. Effect of nano silica and Type of lignocellulosic material on physical and mechanical properties of wood-cement panels. *Journal of forestry and wood products*, 66 (2): 193-201. (In Persian).
- [10] Abdolali Sarbandi, M., Bolhasani, M., Bilba, K. and Ashjary, R., 2010. Investigation of the effect nano silica and eucalyptus fiber on MOR of fiber-cement composite products. *International congress of wood and paper industries*, Chalous, p. 103.
- [11] Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, Book of Standards Volume: 04.05.

- [12] Arisoy, B. and Wu, H.C., 2008. performance of a fiber reinforced lightweight concrete panel. Institution of civil engineering, 2 (1): 157-162.
- [13] Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S., 2008. Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites; effect of coupling treatment and nano clay. Journal of polymer environment, 21 (2): 1567-1582.
- [14] Wei, Y.M. and Tomita, B., 2001. Effects of five additive materials on mechanical and dimensional properties of wood cement-bonded boards. Wood science, 47 (1): 437-444.
- [15] Ismaeilimoghadam, S., Masoudifar, M., Nosrati, B. and Shamsian, M., 2016. Effect of inorganic nanoparticles on mechanical and morphological properties of wood flour-polypropylene nano composit. Drewno, 59 (196): 127-137.
- [16] Li, H., Xiao, H.G., Yuan, J. and Ou, J., 2005. Micro structure of cement mortar with nano-particle. Composites: Part B, 35 (1): 185-189.
- [17] Ji, T., 2005. Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO₂. Cement and concrete research, 35 (1): 1943-1947.
- [18] Li, G. and Zhao, X., 2003. Properties of concrete incorporating fly ash and ground granulated blast-furnace silage. Cement and concrete composites, 25 (2): 293-299.
- [19] Bahadori, H. and Hosseini, P., 2012. Reduction of cement consumption by the aid of silica nano-particles (investigation on concrete properties). Journal of civil eng manage, 18 (3): 416- 425.
- [20] Gong, H.Y., Zhang, Y.J., Quan, J. and Che, S.W., 1993. Preparation and properties of cement based piezoelectric composites modified by CNTs. Current Applied Physics, 11 (1): 653-656.
- [21] Younesi Kordkheili, H., Farsi, M. and Rezazadeh, Z., 2013. Physical, mechanical and morphological properties of polymer composites manufactured from carbon nanotubes and wood flour. Composites part B, 44 (1): 750-755.
- [22] Enayati., A.A. 2009., Wood physics, 317p. (In Persian).
- [23] Kord, B., Taghizadeh Haratbar, D., Malekian, B. and Ismaeilimoghadam, S., 2016. Effect of chemical modification of wood flour on long-term hygroscopic behavior of polypropylene composites. Journal of thermoplastic composite materials, 29 (4): 577-588.
- [24] Md Akil, H., Cheng, L.W., Mohd Ishak, Z.A., Abu Bakar, A. and Abd Rahman, M.A., 2009. Water absorption study on pultruded jute fibre reinforced unsaturated polyester composites. Composite science and technology, 69 (11-12):1942-1948.
- [25] Dhakal, H., Zhang, Z. and Richardson, M., 2007. Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. Composite science and technology, 67 (7-8): 1674-1683.
- [26] Quercia, G., Spiesz, P., Husken, G. and Brouwers, J., 2012. Effects of Amorphous Nano silica addition on mechanical and durability performance of scc mixture. International congress on durability of concrete, 8-12.
- [27] Roohani, M., Kord, B., Motie, N. and Sharari, M., 2014. Biodegradattiion behaviiors off cellullose nanocrysttalls --PVA nanocomposiittes. Iranian journal of wood and paper industries, 5 (2): 1-13. (In Persian).
- [28] Roohani, M., Habibi,Y., Belgacem, N.M., Ebrahim, G., Karimi, A.N. and Dufresne, A., 2008. Cellulose whiskers reinforced polyvinyl alcohol copolymers nanocomposites. European polymer journal, 44 (8):2489-2498.

- [29] Kord, B., Jari, E., Najafi, A. and Tazakorrezaie, V., 2014. Effect of nano clay on the decay resistance and physico-mechanical properties of natural fiber reinforced plastic composites against white-rot fungi (*Trametes Versicolor*). Journal of thermoplastic composite materials, DOI: 0892705714563343.
- [30] Kamyab, M. and Nazerian, M., 2016. Effect of lignocellulosic materials on hydration process and mechanical properties of particle board-chalk. Journal of forestry and wood products, 69 (2): 419-432.
- [31] Najafi, A. and Khademi-Eslam, H., 2011, Lignocellulosic filler/recycled HDPE composites: effect of filler type on physical and flexural properties. Bioresources, 6 (3):2411-2424.
- [32] Kazemi, S., Kiaeifar, A., Tajvidi, M. and Hamidinia, E., 2007. Water absorption behavior and thickness swelling rate of composites from sawdust and recycled plastics. Journal of reinforced plastic and composites, 26 (3): 341-348.

Construction of lightweight concrete with wooden seeds

Abstract

This research was aimed to investigate the possibility of making resistant light concrete and the effects of different levels of wood and silica on its physical, mechanical and morphology. Granulated wood particles in 5 levels of 0, 5, 10, 15 and 20% and silica particles in scales of nanometers and micrometers in 4 levels of 0, 3, 6 and 9% based on dry weight of cement were the variables of this research. Mixing process was done manually and cement paste was produced in a square cube mold with 5 cm sides. To amass the gel of cement, a vibrating table was used. After making concrete, physical properties including water absorption, moisture diffusion coefficient and density were measured in accordance with ASTM standard and mechanical properties including compressive strength and compressive strength index were measured according to the regulations for concrete in Iran (ABA). Infrared spectroscopy were done to evaluate the impact of silica particles. Scanning electron microscope was used to study the morphology of concrete. The results showed that by increasing the amount of wood, density, compressive strength and compressive strength index decreased while water absorption and moisture diffusion coefficient increased. An increase in silica content up to 3 percent increased compressive strength and compressive strength index. However, addition of more silica had a negative impact on the properties. Water absorption of samples decreased by adding silica to 3 percent and then it increased. Density of samples increased with increasing silica. With increasing silica to 3 percent, moisture diffusion coefficient decreased but then the moisture diffusion coefficient increased with increasing silica. Infrared spectroscopy showed that by addition of silica, peak related to hydroxyl group was reduced. The results of scanning electron microscope showed a good distribution of silica particles (3%) on the surface.

Key words: lightweight concrete, nano silica, compressive strength, scanning electron microscopy.

S. Ismaeilimoghadam^{1*}
M. Jafari Samimi²
S. M. Seyedzadeh Otaghsaraei³
M. Razavi⁴
S. R. Seyedzadeh Otaghsaraei⁵

¹ Ph.D. Student, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Assistant prof., Civil engineering-structures, Islamic Azad university central Tehran branch, Tehran, Iran

³ M.Sc., Civil engineering-structures, Islamic Azad university central Tehran branch, Tehran, Iran

⁴ Bachelor of Civil-soil Islamic Azad university central Tehran branch, Tehran, Iran

⁵ M.Sc. Student, Civil engineering-structures, University of Shomal, Amol, Iran

Corresponding author:
saeed.am17358@gmail.com

Received: 2017/01/19

Accepted: 2017/06/11

