بررسی تأثیر الیاف فولادی و نانوسیلیس بر خواص مکانیکی بتن سبک ساخته شده با ترکیب‌های مختلف لیکا و پرلیت

یعقوب محمدی*[1] و محسن داداشی[2]

[1] دانشیار گروه مهندسی عمران،دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی
[2] کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی

(دریافت: ۹۵/۳/۱۹، پذیرش: ۹۵/۱۱/۹، نشر آنلاین: ۹۵/۱۱/۱۰)

چکیده

با توجه به این که وزن سازه باعث افزایش نیروهای وارده به خصوص نیروهای جانبی مثل زلزله می‌باشد، پس به این دلیل هرقدر بتوانیم در مسیر سبک‌سازی ساختمان گام برداریم همان قدر توانسته‌ایم در برابر نیروی زلزله وارد بر سازه مقاوم باشیم. از آن‌جا که بررسی اثر هم‌زمان الیاف فولادی و نانوسیلیس با ترکیب‌های مختلف لیکا و پرلیت نتیجه‌گیری را بسیار دشوار می‌کند، در این مقاله از درصد بهینه لیکا و پرلیت حاصل از تحقیقات انجام شده (شفق‌نیا، ۱۳۹۲) استفاده کرده و به بررسی اثر الیاف فولادی و نانوسیلیس روی ترکیب‌ها می‌پردازیم. بدین منظور برای بررسی تأثیر الیاف فولادی و نانوسیلیس بر خواص مکانیکی بتن سبک ساخته شده، در مجموع ۱۲ طرح اختلاط از ترکیب نسبت‌های حجمی مختلف دو سبکدانه لیکا و پرلیت همراه با الیاف فولادی و نانوسیلیس ساخته شد و درنهایت میزان مناسب به کارگیری الیاف فولادی و همچنین طرح اختلاط بهینه برای ترکیب لیکا و پرلیت برای حصول بتن سبک سازه‌ای با مقاومت بهینه تعیین گردید.

کلیدواژه‌ها: الیاف فولادی، بتن سبک، پرلیت، خواص مکانیکی، لیکا، نانوسیلیس.

۱- مقدمه

از معایب اساسی بتن می‌توان به بالا بودن وزن مخصوص، مقاومت کششی پایین نسبت به مقاومت فشاری آن و دوام کم در مقابل عوامل خورنده اشاره کرد (مستوفی نژاد، ۱۳۸۲). با توجه به این‌که وزن سازه باعث افزایش نیروهای جانبی مثل نیروی زلزله می‌شود پس باید به دنبال راه‌کارهای مناسب برای کم کردن نیروی زلزله باشیم. برای ساختن بتن سبک تحقیق حاضر از ترکیب سبکدانه‌های لیکا و پرلیت استفاده شده است. پرلیت سبکدانه‌ای است که دارای وزن‌مخصوص پایینی می‌باشد، این ویژگی باعث می‌شود وزن‌مخصوص بتن را بطور قابل ملاحظه‌ای پایین بیاورد ولی از آنجایی که مقاومت این نوع سبکدانه پایین است پس در نتیجه باعث ایجاد افت شدیدی در مقاومت بتن شده و باعث عدم استفاده سازه‌ای آن می‌گردد. لیکا سبکدانه‌ای است که نسبت به پرلیت دارای وزن مخصوص بالاتری بوده وباعث ایجاد بتن سنگین-تری نسبت به بتن پرلیتی می‌شود. ولی مقاومت بتن ساخته شده بیشتر از مقاومت بتن ساخته شده با پرلیت است (Christy و Francis، ۲۰۱۲). قصد داریم با ساختن نمونه‌های بتنی با ترکیب درصدهای مختلف حجمی لیکا و پرلیت با یکدیگر و انجام آزمایش بر روی آن‌ها به بتن سبکی دست یابیم که هم از نظر وزن‌مخصوص و هم از نظر مقاومت شرایط و ضوابط بتن سبک‌سازه ای را ارضا کرده و نسبت به سایر ترکیب‌ها مقاومت بیشتری را حاصل شود. بتن سبک با وجود رفع کردن مشکل بالا بودن وزن‌مخصوص بتن معمولی، خود نیز دارای معایبی است که باعث می‌شود استفاده از این نوع بتن به برخی از موارد خاص محدود شود، مشکلاتی همچون پایین بودن مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی نسبت به بتن معمولی، پایین بودن دوام در مقابل عوامل خورنده. در این تحقیق ما سعی داریم تأثیر افزودن نانوسیلیس و الیاف فولادی بر روی این مشکلات بتن سبک را مطالعه کنیم. نانوسیلیس با بهبود ساختار بتن باعث افزایش مقاومت فشاری، خمشی و کششی و مقاومت آن در برابر سایش می‌شود. همچنین

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس:
آدرس ایمیل: yaghoubm@uma.ac.ir (ی. محمدی)، dadashi@gmail.com (م. دادشی).

به دلیل پر کردن منافذ آن، سبب کاهش نفوذپذیری در بتن گشته و به دنبال آن دوام بتن در مقابل عوامل خورنده افزایش می‌یابد (Quercia و Brouwers، ۲۰۱۰) و (Zenan و Deyu، ۲۰۰۷). از سوی دیگر به کارگیری الیاف باعث کوچک شدن و هم‌راستا شدن ترک‌ها شده و با پل‌زنی بین میکروترک‌ها باعث افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی می‌شد (Güneyisi و Gesoglu، ۲۰۱۵).

۲- مواد و مصالح مصرفی

۲-۱- سیمان

برای ساختن نمونه‌های بتنی از سیمان پرتلند پوزولانی کارخانه سیمان اردبیل که دارای وزن مخصوص ۳۱۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد استفاده شده است.

۲-۲- آب

در این تحقیق از آب آشامیدنی شهر اردبیل برای طرح اختلاط بتن استفاده شده است.

۲-۳- سنگدانه

سنگدانه‌های درشت مصرفی از معدن جبال آستارا واقع در گردنه حیران روستای گیلده تهیه شده است.

۲-۴- سبکدانه‌ها

۲-۴-۱- پرلیت

پرلیت مصرفی از کارخانه گسترش پرلیت آذربایجان واقع در شهرک صنعتی شهرستان بستان‌آباد تهیه گردید که دارای وزن مخصوص برابر با ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و محدوده دانه‌بندی آن بین ۵-۰ میلی‌متر می‌باشد.

۲-۴-۲- لیکا

لیکای مصرفی نیز از کارخانه‌ی لیکای ایران واقع در کیلومتر ۱۰۵ جاده تهران- ساوه در شهرستان زرندیه استان مرکزی تهیه گردید که دارای وزن مخصوص برابر با ۱۲۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و محدوده دانه‌بندی آن بین ۵-۰ میلی‌متر می‌باشد.

۲-۵- الیاف فولادی

الیاف مصرفی از جنس فولاد به شکلی صاف و انتهای قلاب‌دار و محصول شرکت آلمان می‌باشد.

استفاده از چنین اشکالی به دلیل داشتن قلاب‌های انتهایی آن در افزایش مقاومت بیرون کشیدگی تأثیر زیادی دارد (Van chanh و Hoang، ۲۰۰۸). همچنین سایر مشخصات الیاف فولادی مصرفی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات الیاف فولادی

چگالی Kg/m³	مقاومت کششی	قطر mm	طول mm	نسبت طول به قطر
۷۸۰۰	N۲۲۹	۱	۵۰	۵۰

۲-۶- ماده افزودنی نانوسیلیس

نانوسیلیس پودری مورد استفاده در طرح‌های اختلاط مورد آزمایش، محصول شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان با مشخصات جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات نانوسیلیس پودری مصرفی در تحقیق

نام نانو مواد	(چگالی واقعی)	(سطح ویژه)	(اندازه)	(خلوص)
نانوسیلیکا	۲/۴g/cm³	۶۰۰-۱۸۰	۲۰-۳۰ mm	۹۹٪

۲-۷- فوق روان‌کننده

فوق‌روان‌کننده مورد استفاده در آزمایش‌ها، محصول شرکت فابیر (فناوران بتن ایران) با نام (Fabcrete-100) می‌باشد.

۲-۸- قالب‌های ساخت نمونه

برای انجام آزمایش مقاومت فشاری از قالب‌های مکعبی فلزی به ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری و برای انجام آزمایش مقاومت کششی از قالب‌های فلزی استوانه‌ای ۱۰×۲۰ سانتی‌متری استفاده گردید. قبل از بتن‌ریزی در داخل قالب‌های فلزی، آن‌ها را روغن‌کاری کرده تا هیچ گونه چسبندگی بین قالب و بتن به وجود نیاید.

۳- روش انجام آزمایش

برای رسیدن به درصد حجمی مناسب لیکا و پرلیت در ترکیب با یکدیگر، این دو سبکدانه را در سه طرح اختلاط با درصدهای حجمی ۵۰-۵۰، ۳۵-۶۵ و ۶۵-۳۵، به جای ماسه به کار بردیم تا با مقایسه کردن نتایج حاصل از آزمایش‌های مربوطه بر روی این سه طرح، به درصد بهینه ترکیب این دو سبکدانه برسیم. برای بررسی کردن تأثیر افزودن الیاف فولادی و نانوسیلیس بر روی نمونه‌های با درصدهای مختلف لیکا و پرلیت، به این طرح اختلاط‌ها نانوسیلیس به میزان ثابت ۲٪ وزنی سیمان و الیاف فولادی به میزان ۰/۴ و ۰/۸٪ حجم کل بتن، اضافه کردیم. باید ذکر گردد که دلیل استفاده مقدار ۲ درصدی نانوسیلیس به این گونه می‌باشد که طبق آزمایش صورت گرفته روی نمونه‌های حاوی ۵۰٪ لیکا و ۵۰٪ پرلیت با درصدهای مختلف نانوسیلیس (۳ و ۲ و ۱ درصد) به این نتیجه رسیده شده است که اضافه کردن

نانوسیلیس به مخلوط بتنی باعث ایجاد تغییراتی در مقاومت فشاری آن می‌گردد. به طوری که افزایش نانوسیلیس موجب افزایش نسبی در مقاومت فشاری ۲۸ روزه و ۹۰ روزه می‌شود. این تغییرات مقاومت با رساندن مقدار نانوسیلیس از ۱٪ به ۲٪ روند صعودی داشته ولی افزایش نانوسیلیس بیشتر از ۲٪، سبب می‌شود مقاومت فشاری با شیب بیشتری تنزل پیدا کند به طوری که از نمونه‌های شاهد نیز کمتر شود (شفق‌نیا، ۱۳۹۲).

جمعاً ۱۲ نوع طرح اختلاط و برای هر کدام از این طرح اختلاط‌ها ۶ نمونه مکعبی (۳ نمونه برای سن ۲۸ روزه بتن و۳ نمونه برای سن ۹۰ روزه بتن) و ۶ نمونه استوانه‌ای (۳ نمونه برای سن ۲۸ روزه بتن و ۳ نمونه برای سن ۹۰ روزه بتن) ساخته شده و مورد بررسی قرار گرفتند.

۴- نحوه ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها

پس از توزین اجزای تشکیل دهنده بتن ابتدا سیمان، لیکا و پرلیت را به خوبی با هم مخلوط کرده و سپس شن همراه با ۵۰ درصد آب را به آن اضافه گردید. در طرح‌هایی که حاوی الیاف فولادی می‌باشند الیاف نیز در این مرحله به مخلوط اضافه می‌شود و عمل اختلاط را ادامه دادیم تا مخلوط به صورت همگن درآید و در آخر آب باقی‌مانده همراه با ماده فوق روان‌کننده به تدریج اضافه شده عمل اختلاط را به مدت دو دقیقه ادامه دادیم.

در نهایت پس از ساخت مخلوط بتن آن را در قالب‌ها ریخته و متراکم کردیم. نمونه‌های موجود در قالب بعد از ۲۴ ساعت از قالب خارج شده و در محیط آب معمولی تا زمان رسیدن به سن دلخواه عمل‌آوری شدند. در شکل (۱) شرایط عمل‌آوری نمونه‌ها نشان داده شده‌اند.

۵- طرح‌های اختلاط مورد آزمایش

برای تعیین مقادیر اجزای تشکیل دهنده بتن سبک از روش حجم مطلق استفاده گردیده است. در جدول (۳) طرح‌های اختلاط مورد آزمایش برای یک مترمکعب بتن آورده شده است.

در جدول (۳) در ستون نام طرح، عدد اول نشانگر درصد حجمی لیکا، عدد دوم درصد حجمی پرلیت، عدد سوم نشانگر درصد نانوسیلیس (نسبت به وزن سیمان) و عدد چهارم نشانگر درصد حجمی الیاف فولادی (درصدی از حجم کل بتن) می‌باشد.

۶- بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌ها

نتایج حاصل از آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی در جدول شماره (۴) آورده شده است.

شکل ۱- عمل‌آوری نمونه‌ها

۶-۱- مقاومت فشاری

۶-۱-۱- مقایسه طرح‌های اختلاط دارای ۲٪ نانوسیلیس با طرح‌های بدون نانوسیلیس، بدون الیاف فولادی

نتایج آزمایش مقاومت فشاری مربوط به طرح‌های با ۲٪ نانوسیلیس، بدون الیاف فولادی در جدول شماره (۵) آورده شده است.

جدول ۳- طرح‌های اختلاط مورد آزمایش

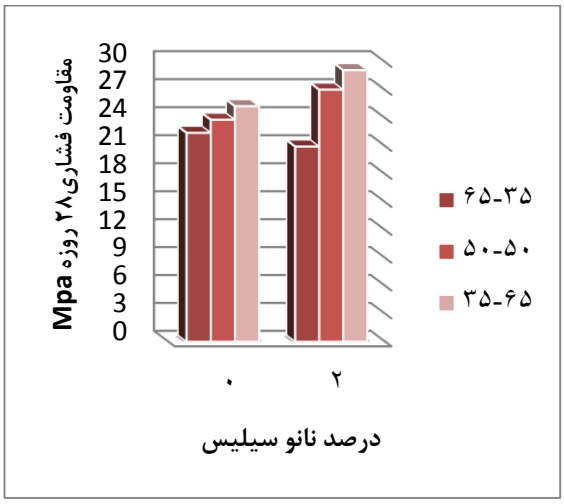
شماره طرح	نام طرح (درصد حجمی لیکا و پرلیت)	سیمان Kg/m³	آب Kg/m³	شن Kg/m³	سبکدانه (پرلیت) Kg/m³	سبکدانه (لیکا) Kg/m³	درصد نانوسیلیس	درصد الیاف فولادی	درصد فوق روان‌کننده
۱	۵۰-۵۰-۰-۰	۴۸۶	۲۳۲	۸۰۰	۴۸/۶	۱۹۶/۹	۰	۰	۲
۲	۵۰-۵۰-۲-۰	۴۷۶/۳	۲۳۲	۸۰۰	۴۸/۶	۱۹۶/۹	۲	۰	۲
۳	۵۰-۵۰-۲-۰/۴	۴۷۶/۳	۲۳۲	۸۰۰	۴۸/۶	۱۹۶/۹	۲	۰/۴	۲
۴	۵۰-۵۰-۲-۰/۸	۴۷۶/۳	۲۳۲	۸۰۰	۴۸/۶	۱۹۶/۹	۲	۰/۸	۲
۵	۳۵-۶۵-۰-۰	۴۸۶	۲۳۲	۸۰۰	۶۳	۱۳۷/۸	۰	۰	۲
۶	۳۵-۶۵-۲-۰	۴۷۶/۳	۲۳۲	۸۰۰	۶۳	۱۳۷/۸	۲	۰	۲
۷	۳۵-۶۵-۲-۰/۴	۴۷۶/۳	۲۳۲	۸۰۰	۶۳	۱۳۷/۸	۲	۰/۴	۲
۸	۳۵-۶۵-۲-۰/۸	۴۷۶/۳	۲۳۲	۸۰۰	۶۳	۱۳۷/۸	۲	۰/۸	۲
۹	۶۵-۳۵-۰-۰	۴۸۶	۲۳۲	۸۰۰	۳۳/۹	۲۵۶	۰	۰	۲
۱۰	۶۵-۳۵-۲-۰	۴۷۶/۳	۲۳۲	۸۰۰	۳۳/۹	۲۵۶	۲	۰	۲
۱۱	۶۵-۳۵-۲-۰/۴	۴۷۶/۳	۲۳۲	۸۰۰	۳۳/۹	۲۵۶	۲	۰/۴	۲
۱۲	۶۵-۳۵-۲-۰/۸	۴۷۶/۳	۲۳۲	۸۰۰	۳۳/۹	۲۵۶	۲	۰/۸	۲

جدول ۴- نتایج کلی حاصل از آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی

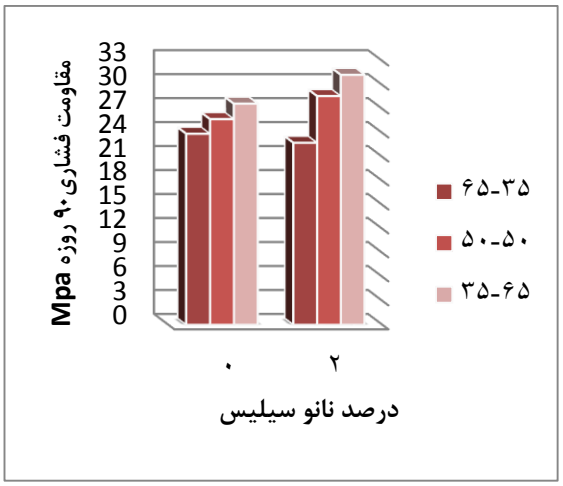
شماره طرح	نام طرح (لیکا و پرلیت)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه Mpa	مقاومت فشاری ۹۰ روزه Mpa	مقاومت کششی ۲۸ روزه Mpa	مقاومت کششی ۹۰ روزه Mpa	وزن مخصوص kg/m³
۱	۵۰-۵۰-۰-۰	۲۳/۸۳	۲۵/۷۲	۱/۹۸	۲/۱۶	۱۷۱۲
۲	۵۰-۵۰-۲-۰	۲۷/۰۵	۲۸/۶۰	۲/۲۸	۲/۴۵	۱۷۲۰
۳	۵۰-۵۰-۲-۰/۴	۳۰/۹۳	۳۲/۸۳	۲/۸۲	۳/۱۶	۱۷۳۱
۴	۵۰-۵۰-۲-۰/۸	۳۱/۳۹	۳۳/۲۳	۳/۴۵	۳/۵	۱۷۴۹
۵	۳۵-۶۵-۰-۰	۲۲/۴۳	۲۳/۸۹	۱/۸۲	۱/۹۹	۱۶۶۵
۶	۳۵-۶۵-۲-۰	۲۰/۹۶	۲۲/۷۶	۱/۸۹	۲/۰۴	۱۶۷۱
۷	۳۵-۶۵-۲-۰/۴	۲۲/۱۶	۲۴/۲۳	۲/۲۶	۲/۴۵	۱۶۹۴
۸	۳۵-۶۵-۲-۰/۸	۲۱/۶۹	۲۴/۶	۲/۴۴	۲/۳۸	۱۷۰۶
۹	۶۵-۳۵-۰-۰	۲۵/۲۸	۲۷/۶۵	۲/۲۲	۲/۴۲	۱۷۵۹
۱۰	۶۵-۳۵-۲-۰	۲۹/۱۴	۳۱/۲۶	۲/۶۵	۲/۸۵	۱۷۵۰
۱۱	۶۵-۳۵-۲-۰/۴	۳۲/۳۸	۳۶/۰۹	۳/۴۹	۳/۸	۱۷۶۷
۱۲	۶۵-۳۵-۲-۰/۸	۳۳/۹۵	۳۷/۰۸	۳/۸۵	۳/۹۶	۱۸۱۶

جدول ۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری مربوط به طرح‌های با ۲٪ نانوسیلیس، بدون الیاف فولادی

شماره طرح	نام طرح اختلاط	مقاومت فشاری ۲۸ روزه Mpa	مقاومت فشاری ۹۰ روزه Mpa
۱	۵۰-۵۰-۰-۰	۲۳/۸۳	۲۵/۷۲
۲	۵۰-۵۰-۲-۰	۲۷/۰۵	۲۸/۶۰
۵	۳۵-۶۵-۰-۰	۲۲/۴۳	۲۳/۸۹
۶	۳۵-۶۵-۲-۰	۲۰/۹۶	۲۲/۷۶
۹	۶۵-۳۵-۰-۰	۲۵/۲۸	۲۷/۶۵
۱۰	۶۵-۳۵-۰-۰	۲۹/۱۴	۳۱/۲۶



شکل ۲- مقاومت فشاری ۲۸ روزه مربوط به طرح‌های با ۲٪ نانوسیلیس، بدون الیاف فولادی



شکل ۳- مقاومت فشاری ۹۰ روزه مربوط به طرح‌های با ۲٪ نانوسیلیس، بدون الیاف فولادی

افزودن مقدار ۲٪ نانوسیلیس باعث افزایش در مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۰ روزه در نمونه‌های حاوی ۵۰٪ و ۶۵٪ لیکا گردیده ولی در نمونه‌های حاوی ۳۵٪ لیکا، افزایش نانوسیلیس باعث کاهش در مقاومت فشاری می‌شود.

با تحلیل جزئی‌تر نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری، بر روی نمونه‌ها و نمودار رسم شده در شکل (۲) در سن ۲۸ روزه می‌توان مشاهده کرد که با اضافه کردن نانوسیلیس به طرح شماره ۱، افزایش ۱۳/۵۱ درصدی در مقاومت فشاری را شاهد هستیم و اگر این مقدار نانو را به طرح شماره ۹ اضافه کنیم مقاومت فشاری به میزان ۱۵/۲۶٪ افزایش می‌یابد. ولی بر خلاف نمونه‌های شامل ۵۰٪ و ۶۵٪ لیکا در طرح شماره ۵ با افزودن نانوسیلیس، شاهد کاهش مقاومت فشاری به میزان ۶/۵٪ می‌باشیم که علت این امر همان طور که قبلاً اشاره شد به این سبب است که در طرح شماره ۵ به دلیل استفاده بیشتر پرلیت نسبت به لیکا و با توجه به این که درصد جذب آب پرلیت نسبت به لیکا بیشتر است مخلوط بتن ساخته شده حتی در غیاب نانوسیلیس نیز نسبت به طرح‌های دیگر از آب کمی برخوردار بود، حال با اضافه کردن مقدار ۲٪ نانوسیلیس و واکنش پوزولانی نانوسیلیس باعث شد با کمبود آب بیشتری مواجه شویم و از آنجایی که درصد فوق روان‌کننده آزمایش محدود بوده و برای همه طرح‌های اختلاط یکسان است و در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز نانوسیلیس، این مخلوط ساخته شده دارای تخلخل بیشتر و در نتیجه مقاومت کمتری نسبت به طرح‌های دیگر را ارائه داد.

روند افزایش و کاهش مقاومت فشاری ۹۰ روزه در طرح‌های موجود مانند روند تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۲۸ روزه می‌باشد ولی در سن ۹۰ روزه با افزودن ۲٪ نانوسیلیس به طرح شماره ۱ مقاومت فشاری به میزان ۱۱/۱۹٪ افزایش یافته و افزودن این مقدار نانو به طرح شماره ۹ باعث افزایش ۱۳/۰۵ درصدی می‌شود و درآخر اضافه کردن ۲٪ نانوسیلیس به طرح شماره ۵ باعث کاهش ۴/۷۳ درصدی مقاومت فشاری می‌گردد. با کمی دقت می‌توان مشاهده کرد که مواد نانوسیلیس در سن ۲۸ روزه نسبت به سن ۹۰ روزه تأثیر بیشتری در افزایش مقاومت فشاری دارند.

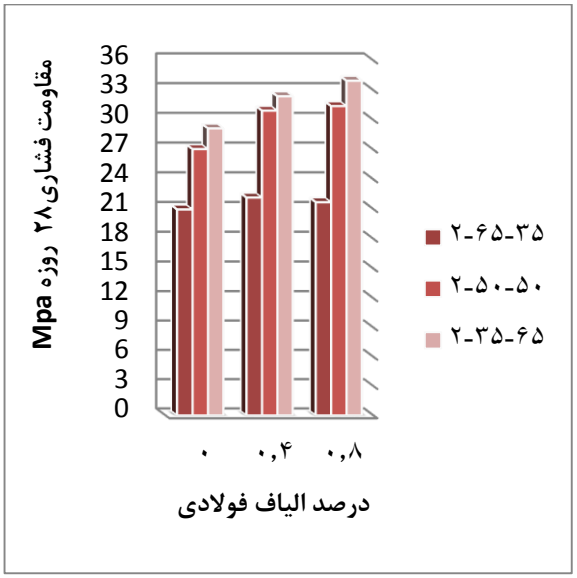
۶-۱-۲- مقایسه طرح‌های اختلاط دارای نانوسیلیس و الیاف فولادی

نتایج آزمایش مقاومت فشاری مربوط به طرح‌های دارای نانوسیلیس و الیاف فولادی در جدول (۶) آورده شده است.

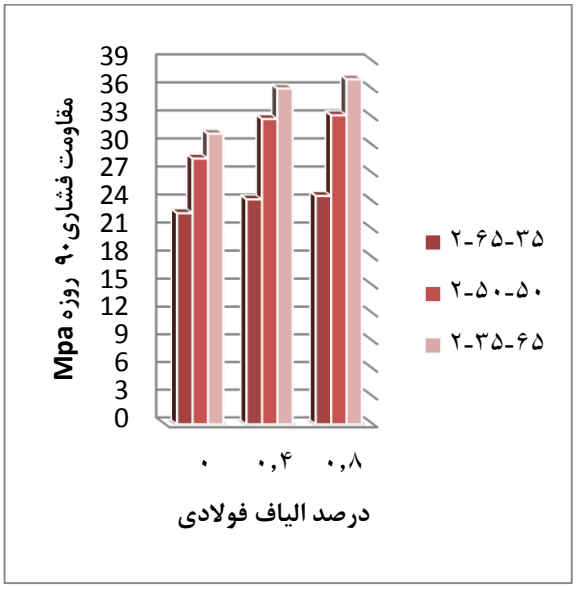
با توجه به شکل‌های (۴) و (۵) با افزایش درصد لیکا و افزایش درصد الیاف فولادی شاهد سیر صعودی در مقاومت فشاری هستیم، با دید جزئی‌تر می‌توان پی برد که در اینجا نکته قابل تأمل این می‌باشد که برای رسیدن از طرح شماره ۶ به طرح ۱۰ (جایگزینی لیکا از ۳۵ درصد به ۶۵ درصد) در سن ۲۸ روزه شاهد افزایش ۳۹ درصدی در مقاومت فشاری می‌باشیم که علت اصلی این تغییر چشمگیر به وجود آمده این می‌باشد که در طرح‌های شامل ۳۵٪ لیکا به علت وجود پرلیت زیاد و جذب آب بیشتر، مخلوط بتنی ما دارای آب کمتری بود که اضافه کردن نانوسیلیس باعث تشدید کمبود آب گردیده و نمونه‌ها شکلی متخلخلی به خود گرفته و مقاومت فشاری آن‌ها پایین آمده است.

به همین دلیل اختلاف مقاومت فشاری طرح ۶ و ۱۰ زیاد می‌باشد. این افزایش مقاومت در نمونه‌های ۹۰ روزه عدد ۳۷٪ را نشان می‌دهد. در نمونه‌های ۲۸ روزه با افزایش درصد الیاف فولادی در طرح‌های شامل ۵۰٪ و ۶۵٪ لیکا (طرح ۲ و ۱۰)، مقاومت فشاری سیر صعودی دارد. این افزایش مقاومت با افزایش درصد الیاف فولادی، در ابتدا دارای شیب تند بوده ولی با افزودن الیاف از ۰/۴ به ۰/۸ تغییرات چندانی در مقاومت نمونه‌ها مشاهده نمی‌گردد. در نمونه‌های دارای ۳۵٪ لیکا که به علت کم شدن آب مخلوط در اثر اضافه کردن ۲٪ نانوسیلیس مقاومت فشاری نمونه‌ها پایین آمده بود با اضافه کردن ۰/۴٪ الیاف فولادی به مخلوط فقط ۵/۷۲٪ افزایش مقاومت داشتیم، نکته جالب این می‌باشد که با رساندن الیاف فولادی به ۰/۸٪، مقاومت فشاری نسبت به نمونه بدون الیاف فقط ۳/۴۸٪ رشد داشته است، این امر نشان‌گر این است که نقطه‌ی اوج ما در الیاف ۰/۴٪ می‌باشد.

علت این امر را می‌توان به این صورت بیان کرد که به دلیل خشک بودن مخلوط در این طرح اختلاط (طرح شماره ۶) با افزودن الیاف فولادی و افزایش درصد الیاف از ۰/۴ به ۰/۸٪، مخلوط کردن الیاف با اجزای بتن دشوار بوده و این امر باعث می‌شود که درصد هوای محبوس شده در داخل بتن بیشتر شده و فضای خالی داخل مخلوط بتنی افزایش یابد، در نهایت بتنی متخلخل‌تری نسبت به طرح‌های دیگری ایجاد کرده و مقاومت فشاری کمتری را حاصل شود. و در نهایت به این نکته می‌توان اشاره کرد که بیشترین افزایش مقاومت فشاری به ازای ۰/۸٪ الیاف فولادی مربوط به طرح شماره ۱۲ بوده که مقدار این افزایش مقاومت ۱۶/۵٪ می‌باشد.



شکل ۴- مقاومت فشاری ۲۸ روزه مربوط به طرح‌های دارای نانوسیلیس و الیاف فولادی



شکل ۵- مقاومت فشاری ۹۰ روزه مربوط به طرح‌های دارای نانوسیلیس و الیاف فولادی

نمونه‌های ۹۰ روزه همانند نمونه‌های ۲۸ روزه با افزایش درصد الیاف فولادی در محدوده این تحقیق، طرح‌های شامل ۵۰٪ و ۶۵٪ لیکا (طرح ۲ و ۱۰) مقاومت فشاری سیر صعودی دارد در این سن نیز با افزودن الیاف فولادی به مخلوط بتنی افزایش مقاومت فشاری در ابتدا دارای شیب تند بوده ولی با افزودن الیاف از ۰/۴ به ۰/۸٪ تغییرات چندانی در مقاومت نمونه‌ها مشاهده نمی‌گردد.

جدول ۶- نتایج آزمایش مقاومت فشاری مربوط به طرح‌های دارای نانوسیلیس و الیاف فولادی

نام طرح	طرح اختلاط	مقاومت فشاری ۲۸ روزه Mpa	مقاومت فشاری ۹۰ روزه Mpa
۲	۵۰-۵۰-۲-۰	۲۷/۰۵	۲۸/۶۰
۳	۵۰-۵۰-۲-۰/۴	۳۰/۹۳	۳۲/۸۳
۴	۵۰-۵۰-۲-۰/۸	۳۱/۳۹	۳۳/۲۳
۶	۳۵-۶۵-۲-۰	۲۰/۹۶	۲۲/۷۶
۷	۳۵-۶۵-۲-۰/۴	۲۲/۱۶	۲۴/۲۳
۸	۳۵-۶۵-۲-۰/۸	۲۱/۶۹	۲۴/۶
۱۰	۶۵-۳۵-۲-۰	۲۹/۱۴	۳۱/۲۶
۱۱	۶۵-۳۵-۲-۰/۴	۳۲/۳۸	۳۶/۰۹
۱۲	۶۵-۳۵-۲-۰/۸	۳۳/۹۵	۳۷/۰۸

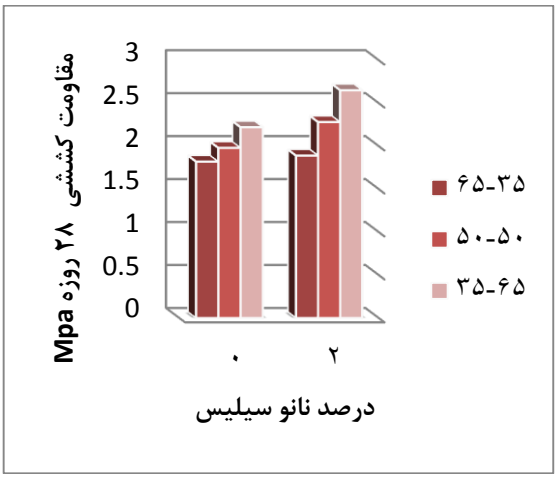
جدول ۷- نتایج آزمایش مقاومت کششی مربوط به طرح‌های با ۲٪ نانوسیلیس، بدون الیاف فولادی

نام طرح	طرح اختلاط	مقاومت کششی ۲۸ روزه Mpa	مقاومت کششی ۹۰ روزه Mpa
۱	۵۰-۵۰-۰-۰	۱/۹۸	۲/۱۶
۲	۵۰-۵۰-۲-۰	۲/۲۸	۲/۴۵
۵	۳۵-۶۵-۰-۰	۱/۸۲	۱/۹۹
۶	۳۵-۶۵-۲-۰	۱/۸۹	۲/۰۴
۹	۶۵-۳۵-۰-۰	۲/۲۲	۲/۴۲
۱۰	۶۵-۳۵-۲-۰	۲/۶۵	۲/۸۵

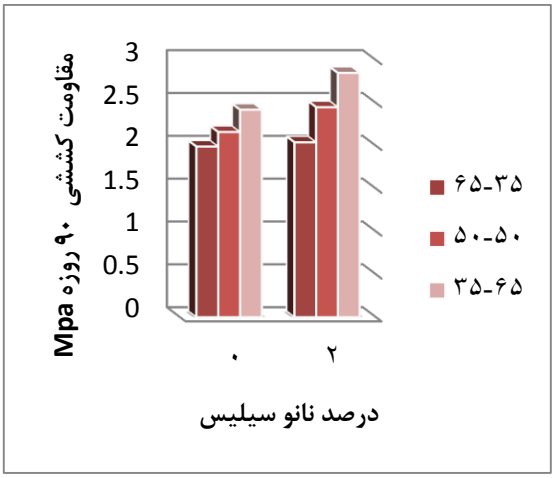
۶-۲- مقاومت کششی غیر مستقیم

۶-۲-۱- مقایسه طرح‌های اختلاط دارای ۲٪ نانوسیلیس با طرح‌های بدون نانوسیلیس، بدون الیاف فولادی

نتایج آزمایش مقاومت کششی مربوط به طرح‌های با ۲٪ نانوسیلیس بدون الیاف فولادی در جدول شماره (۷) آورده شده است.



شکل ۶- مقاومت کششی ۲۸ روزه مربوط به طرح‌های با ۲٪ نانوسیلیس، بدون الیاف فولادی



شکل ۷- مقاومت کششی ۹۰ روزه مربوط به طرح‌های با ۲٪ نانوسیلیس، بدون الیاف فولادی

همان‌طور که اشاره شد دلیل اصلی استفاده نانوسیلیس به میزان ۲٪ این می‌باشد که طبق تحقیق صورت گرفته شده بر روی بتن ساخته شده از ۵۰٪ لیکا و ۵۰٪ پرلیت به جای ماسه، به این نتیجه رسیده شده است که افزودن نانوسیلیس به مخلوط بتنی تا ۲٪ وزن سیمان باعث افزایش چشمگیر در مقاومت کششی و فشاری نمونه‌ها می‌گردد ولی با اضافه کردن نانو بیشتر از ۲٪ باعث ایجاد افت شدید در مقاومت‌های فشاری و کششی غیر مستقیم

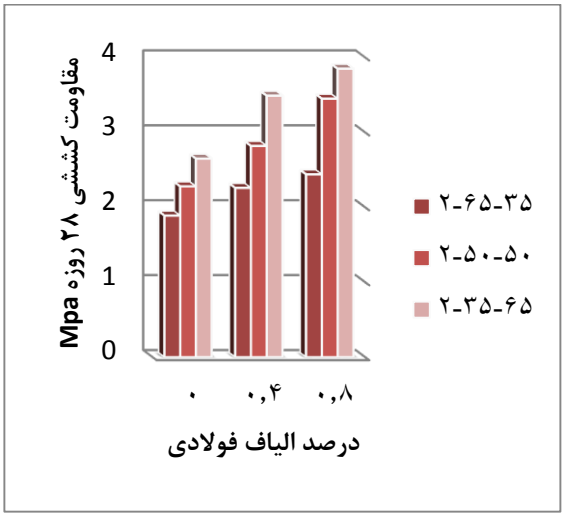
می‌گردد. با توجه به شکل (۶) که مربوط به نمونه‌ها در سن ۲۸ روزه می‌باشند، می‌توان مشاهده کرد که با اضافه کردن نانوسیلیس به مقدار ۲٪ وزن سیمان به طرح شماره ۱، افزایش ۱۵/۱۶ درصدی در مقاومت کششی را شاهد هستیم و اگر این مقدار نانو را به طرح شماره ۹ اضافه کنیم مقاومت کششی به میزان ۱۹/۳۶٪ افزایش می‌یابد. در نمونه‌های شامل ۶۵٪ پرلیت (طرح شماره ۵) همان‌گونه که در قسمت‌های قبل ذکر گردید، چون درصد پرلیت در این طرح نسبت به طرح‌های دیگر بیشتر بوده، بدون حضور نانوسیلیس نیز با کمبود آب مواجه هستیم. حال با اضافه کردن نانوسیلیس (رساندن به طرح شماره ۶) این کمبود آب بیشتر شده، از طرفی به علت ثابت نگه داشتن درصد فوق روان‌کننده نمی‌توان این کمبود آب را با افزایش مواد فوق روان‌کننده جبران کنیم و در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز نانوسیلیس، مقاومت کششی با افزودن مواد نانوسیلیس نه تنها افزایش نیافته بلکه کاهش نیز می‌یابد.

اگر بخواهیم روند افزایش و کاهش مقاومت کششی، ناشی از افزایش نانوسیلیس در نمونه‌ها را در سن‌های مختلف با هم مقایسه کنیم می‌توان دریافت که تأثیر نانوسیلیس در نمونه‌های ۲۸ روزه بیشتر از نمونه‌های ۹۰ روزه می‌باشد. این نتیجه به دست آمده در آزمایش مقاومت فشاری نیز صدق می‌کرد. این مطلب نشان می‌دهد که در کوتاه مدت نانوسیلیس تأثیر بیشتری بر خواص مکانیکی بتن دارد. ذرات نانوسیلیس به خاطر داشتن سطح مخصوص بسیار زیاد با هیدروکسیدکلسیم آزاد شده ناشی از عملیات هیدراسیون سیمان با آب به شدت واکنش داده و ژل سیلیکات کلسیم هیدراته شده تولید می‌کند، این امر باعث اثر بیشتر نانوسیلیس در کوتاه مدت می‌شود و می‌توان گفت که این امر یک نوع مزیت برای نانوسیلیس به حساب می‌آید Collepardi و همکاران (۲۰۰۷) نیز این امر را مورد بررسی قرار دادند.

۶-۲-۲- مقایسه طرح‌های اختلاط دارای نانوسیلیس و الیاف فولادی

نتایج آزمایش مقاومت کششی مربوط به طرح‌های دارای نانوسیلیس و الیاف فولادی در جدول (۸) آورده شده است.

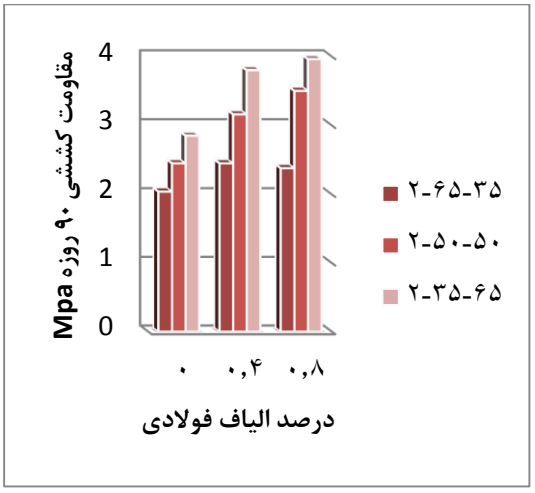
با توجه به شکل‌های (۸) و (۹) در حالت کلی می‌توان گفت که در طرح‌های شامل ۲٪ نانوسیلیس با افزایش درصد الیاف فولادی از ۰ به ۰/۸٪ شاهد سیر صعودی در مقاومت کششی هستیم، با دید جزئی‌تر می‌توان پی‌برد که در مقاومت کششی همانند مقاومت فشاری، رسیدن از طرح شماره ۶ به طرح ۱۰ (جایگزینی لیکا از ۳۵٪ به ۶۵٪) در سن ۲۸ روزه و ۹۰ روزه، شاهد افزایش چشمگیری در مقاومت کششی می‌باشیم. در نمونه‌های ۲۸ روزه با افزایش درصد الیاف فولادی در هر سه طرح شامل درصد های مختلف لیکا و پرلیت، شاهد افزایش چشمگیر در مقاومت کششی هستیم.



شکل ۸- مقاومت کششی ۲۸ روزه مربوط به طرح‌های دارای نانوسیلیس و الیاف فولادی

جدول ۸- نتایج آزمایش مقاومت کششی مربوط به طرح‌های دارای نانوسیلیس و الیاف فولادی

نام طرح	طرح اختلاط	مقاومت کششی ۲۸ روزه Mpa	مقاومت کششی ۹۰روزه Mpa
۲	۵۰-۵۰-۲-۰	۲/۲۸	۲/۴۵
۳	۵۰-۵۰-۲-۰/۴	۲/۸۲	۳/۱۶
۴	۵۰-۵۰-۲-۰/۸	۳/۴۵	۳/۵
۶	۳۵-۶۵-۲-۰	۱/۸۹	۲/۰۴
۷	۳۵-۶۵-۲-۰/۴	۲/۲۶	۲/۴۵
۸	۳۵-۶۵-۲-۰/۸	۲/۴۴	۲/۳۸
۱۰	۶۵-۳۵-۲-۰	۲/۶۵	۲/۸۵
۱۱	۶۵-۳۵-۲-۰/۴	۳/۴۹	۳/۸
۱۲	۶۵-۳۵-۲-۰/۸	۳/۸۵	۳/۹۶



شکل ۹- مقاومت کششی ۹۰ روزه مربوط به طرح‌های دارای نانوسیلیس و الیاف فولادی

(الف)

(ب)

شکل ۱۰- نحوه شکست نمونه‌ها: الف) بدون الیاف فولادی، ب) دارای الیاف فولادی

باید به این نکته نیز توجه کرد که در طرح شماره ۶ شیب نمودار از الیاف ۰/۴ به ۰/۸٪ ملایم بوده و با افزودن الیاف از ۰/۴٪ به ۰/۸٪ تفاوت زیادی در مقاومت کششی مشاهده نمی‌گردد.

همانند نمونه‌های ۲۸ روزه با افزایش درصد الیاف فولادی در طرح‌های شامل ۵۰٪ و ۶۵٪ لیکا (طرح ۲ و ۱۰) مقاومت کششی سیر صعودی دارد، در این سن نیز با افزودن الیاف فولادی به مخلوط بتنی افزایش مقاومت کششی در ابتدا دارای شیب تند بوده ولی با افزودن الیاف از ۰/۴ به ۰/۸ تغییرات چندانی در مقاومت نمونه‌ها مشاهده نمی‌گردد. در نمونه‌های حاوی ۳۵٪ لیکا به علت دشوار شدن عمل اختلاط افزودن الیاف به بتن، نسبت به طرح‌های دیگر مقاومت کمتری را حاصل می‌شود.

۷- نتیجه‌گیری

۱- در ترکیب دو سبکدانه لیکا و پرلیت با یکدیگر و جایگزینی آن‌ها به جای ماسه، هر چقدر درصد حجم سبکدانه لیکا نسبت به پرلیت، در ترکیب این دو سبکدانه، بیشتر شود، وزن مخصوص نمونه‌ها بالا رفته و مقاومت فشاری و کششی افزایش می‌یابد.

۲- با افزایش درصد جایگزینی لیکا از ۳۵٪ حجم به ۶۵٪ حجم سبکدانه‌ها، ۵/۶٪ بر وزن مخصوص بتن می‌افزاید.

۳- افزودن الیاف فولادی به بتن، به طور میانگین، باعث افزایش حدوداً ۱۵ درصدی مقاومت فشاری و افزایش ۴۱ درصدی مقاومت کششی می‌شود. بیشترین افزایش مقاومت فشاری با افزایش الیاف فولادی، مربوط به طرح شماره ۱۲ (دارای ۶۵٪ لیکا و ۳۵٪) می‌باشد که افزودن الیاف فولادی به میزان ۰/۸٪ موجب افزایش ۱۸/۶ درصدی در مقاومت فشاری گشته و بیشترین افزایش در مقاومت کششی در اثر افزودن الیاف فولادی، مربوط به همان طرح ۱۲ بوده، که این افزایش الیاف فولادی به میزان ۰/۸٪ موجب افزایش ۴۵/۳ درصدی در مقاومت کششی شده است.

۴- در حالت کلی افزودن مقدار ۲٪ نانوسیلیس باعث افزایش در مقاومت فشاری و کششی ۲۸ و۹۰ روزه درنمونه‌های حاوی ۵۰٪ و ۶۵٪ لیکا گردیده ولی در نمونه‌های حاوی ۳۵٪ لیکا، در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز سیلیس، افزایش نانوسیلیس باعث کاهش در مقاومت می‌شود.

۵- نانوسیلیس در کوتاه مدت تأثیر بیشتری در افزایش مقاومت‌های فشاری و کششی دارد.

۶- طرح شماره ۱۲ با وزن مخصوص ۱۸۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری ۹۰ روزه ۳۷/۰۸ مگاپاسکال و مقاومت کششی ۹۰ روزه ۳/۹۶ مگاپاسکال، نسبت به ۱۱ نوع طرح اختلاط دیگر، به عنوان طرح اختلاط بهینه پیشنهاد می‌شود.

۸- مراجع

شفق‌نیا س، "بررسی تأثیر میکروسیلیس و نانوسیلیس بر خواص مقاومتی و دوام بتن سبک حاوی سبکدانه‌های لیکا و پرلیت در محیط سولفاته"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، ۱۳۹۲.

مستوفی‌نژاد د، "تکنولوژی وطرح اختلاط بتن"، انتشارات ارکان، چاپ ششم، اصفهان، ۱۳۸۲.

Choi j, Hino S, Yamaguchi K, “Influence of fiber reinforcement on strength and toughness of all-lightweight concrete”, Construction and Building Materials, 2014, 69, 381-389.

Christy A, Francis W, “The use of lightweight expended clay aggregate (LECA) as sorbent for PAHs removal from water”, Journal of Hazardous Materials, 2012, 217-218, 360-365.

Collepardi M, Ogoumah Olagot J, Troli R, Simonelli F, Collepardi S, “Combination of silica fume, fly ash and amorphous nano-silica in superplasticized high-performance concretes”, Enco, Engineering concrete, Ponzano, Veneto, Italy, 2007.

Güneyisi E, Gesoglu M, “Fracture behavior and mechanical properties of concrete with artificial lightweight aggregate and steel fiber”, Construction and Building Materials, 2015, 84, 156-168.

Quercia G, Brouwers HJH, **“**Applivation of nano-silica (ns) in concrete mixtures**”**, 8th fib Phd Symposium in Kgs, Lyngby, Denmark, 2010.

Van chanh N, Hoang K, “Influence of type of steel fiber on property of ultra-high performance concrete”, The 3rd ACF international conference-ACF/VCA, 2008.

Zenan Z, Deyu K, “Influence of nano-SiO2 addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume”, Construction and Building Materials, 2007, vol. 21, no. 3, pp. 539-545.

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 47 (2018), Issue 4 (Winter), 75-84

EXTENDED ABSTRACTS

The Effect of Steel Fibers and Nano-Silica on the Structural Lightweight Concrete Built with Different Combinations of Leca and Perlite

Yaghoub Mohammadi *, Mohsen Dadashi

Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil 5619911367, Iran

Received: 08 June 2016; **Accepted:** 28 January 2017

Keywords:
leca, lightweight concrete, Nano-silica, perlite, steel fiber

1. Introduction

In this paper, our concern is to produce light-weight concrete with using different ingredients in the concrete mix. Specimens were satisfied the density and strength regulators of structural lightweight concretes. The final aim is to increase ultimate strength and effects of added Nano-silica and steel fiber on the mechanical behavior. Nano-silica increases tensile compression and flexural strength with improving the concrete structure (Quercia et al. 2010). In the other hand, using steel fibers reduces the crack width and parallelize their orientation by bridging between microcracks (Qing et al. 2007).

2. Methodology

2.1. Modelling scenarios

After weighting of gradients, the cement, leca and perlite mixed properly and then gravels with 50% containing water added. In mixtures which involve steel fibers, we add steel fibers in this step and continue the mixing. Finally, after molding the concrete mixture we compress specimens properly and curing step began.

2.2. Finite Element Modeling

In preparing samples, coarse and fine aggregates with a maximum size of 12.5 mm 4.75 mm respectively were used in accordance to ACI 211. Pozzolanic cement and steel fiber with diameter of 0.02 micron and 50mm in length were introduced into mixer. For workability purpose, a super plasticizer was applied to fresh concrete.

3. Results and discussion

3.1. Compression strength

According to tables No 1, 2. adding Nano-silica to mixture No.1 increase 13.5% the 28th ultimate compression strength.

Adding this amount of Nano-silica to mixture No.9, result in 15.26% increase in compression strength. Increasing in steel fiber amount in mixtures (No. 2, 10) including 50% and 65% leca, result in considerable. Increasing in compression strength.

It must be noted, with increasing steel fiber amount, 0.4 to 0.8%, results shows abrupt increasing in strength at a lower percentage.

* Corresponding Author
E-mail addresses: yaghoubm@uma.ac.ir (Y. Mohammadi), dadashi@gmail.com (M. Dadashi).

Table 1. Results of Compression strength test related to mixtures with 2% Nano-silica,without steel fiber

$f'c$ (Mpa) 90 Days	$f'c$ (Mpa) 28 Days	Sample Name	Mix Nomber
25.72	23.83	50-50-0-0	1
28.60	27.05	50-50-2-0	2
23.89	22.43	35-65-0-0	5
22.76	20.96	35-65-2-0	6
27.65	25.28	65-35-0-0	9
31.26	29.14	65-35-2-0	10

Table 2. Results of Compression strength test related to mixtures with 2% Nano-silica and steel fiber

$f'c$ (Mpa) 90 Days	$f'c$ (Mpa) 28 Days	Sample Name	Mix Nomber
28.60	27.05	50-50-2-0	2
32.83	30.93	50-50-2-0.4	3
33.23	31.39	50-50-2-0.8	4
22.76	20.96	35-65-2-0	6
24.23	22.16	35-65-2-0.4	7
24.6	21.69	35-65-2-0.8	8
31.26	29.14	65-35-2-0	10
36.09	32.38	65-35-2-0.4	11
37.08	33.95	65-35-2-0.8	12

3.2. Tensile strength

According to table No. 3:

Increasing in steel fiber percentage concrete mixtures which have a different percentage of leca and perlite cause incredible increasing in tensile strength. It must be noted that in mixture No.6, increasing of steel fiber content from 0.4% to 0.8% cause negligible change in tensile strength.

Table 3. Results of Tensile strength test related to mixtures with 2% Nano-silica and steel fiber

Tensile strength Mpa 90 Days	Tensile strength Mpa 28 Days	Sample Name	Mix Nomber
2.45	2.28	50-50-2-0	2
3.16	2.82	50-50-2-0.4	3
3.5	3.45	50-50-2-0.8	4
2.04	1.89	35-65-2-0	6
2.45	2.26	35-65-2-0.4	7
2.38	2.44	35-65-2-0.8	8
2.85	2.65	65-35-2-0	10
3.8	3.49	65-35-2-0.4	11
3.96	3.85	65-35-2-0.8	12

4. Conclusion

1. With increasing in the weight ratio of leca/perlite density increase which leads to higher tensile and compression strength.
2. Adding Nano-silica in short-term shows higher increasing in compression and tensile strength.
3. In this research, mixture No.12, show optimum mixture design for higher strength.

5. References

Quercia G, Brouwers HJH, "Applivation of nano-silica (ns) in concrete mixtures", 8th fib PhD Symposium in Kgs, Lyngby, Denmark, 2010.

Qing Y, Zenan Z, Deyu K, Rongshen, "Influence of nano-SiO2 addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume", Construction and Building Materials, 2007, vol. 21, no. 3, pp. 539-545.

Nkansah M, Christy A, Barth T, Francis GW, "The use of lightweight expended clay aggregate (LECA) as sorbent for PAHs removal from water", Journal of Hazardous Materials, 2012, 217-218, 360-365.