نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۵، شماره ویژه ۴، سال ۱۳۹۷، صفحه ۱۲۷ تا ۱۳۹

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

تأثیر افزودنی میکروسیلیس بر روی مقاومت فشاری و جذب آب بتن سبک سازه‌ای

شمسا بصیرت[1*]،محسن عمرانی[2]، بابک بهفروز[3]

۱-استادیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۳-مربی، دانشکده مهندسی عمران، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران

چکیده

با توجه به مسئله لرزه‌خیزی کشور ایران و تأثیر وزن سازه بر میزان نیروی زلزله وارد بر سازه نیاز به سبک سازی سازه‌ها است تا هزینه-های مربوط به طراحی و ترمیم سازه ها در برابر زلزله کاهش یابد. ساخت بتن سبک سازه‌ای با استفاده از مواد افزودنی مختلف امکان-پذیر است. از جمله افزودنی‌های بتن میکروسیلیس است که نقش موثری در بهبود مشخصات بتن دارد. در این مقاله ماده افزودنی با توجه به تأثیر مثبتی که بر مقاومت فشاری بتن می‌گذارد؛ به عنوان جایگزین قسمتی از سیمان مصرفی در طرح اختلاط بتن استفاده شده است. بررسی مقاومت فشاری بتن سبک با افزودنی میکروسیلیس به میزان ۴، ۸ و ۱۲ درصد وزنی سیمان، در سن‌های ۲۸، ۱۱۸ و ۱۴۸ روز و جذب آب نمونه‌های ۹۰ روزه از طریق مطالعه آزمایشگاهی انجام شده است. با بررسی مقاومت فشاری و نتایج حاصل مشاهده شد که مصرف میکروسیلیس تا ۱۲ درصد باعث افزایش مقاومت فشاری نسبت به طرح شاهد می‌گردد. مقدار بهینه میکروسیلیس مصرفی در تمامی سنین برابر ۸ درصد وزنی سیمان می‌باشد. با افزایش مصرف میکروسیلیس تا ۱۲ درصد نیز، جذب آب بتن نسبت بتن شاهد کاهش و در نهایت باعث کاهش تخلخل بتن سبک می‌شود. کلیه آزمایش‌های این مقاله در آزمایشگاه بتن دانشکده عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد انجام شده است.

کلمات کلیدی: بتن سبک، میکروسیلیس، مقاومت فشاری، جذب آب، مواد افزودنی

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/JSCE.2017.95976.1301
۱۳۹۶/۰۵/۳۱	۱۳۹۶/۰۸/۰۱	۱۳۹۶/۰۸/۱۴	۱۳۹۶/۰۸/۱۴	۱۳۹۷/۱۲/۲۸	doi: 10.22065/JSCE.2017.95976.1301

*نویسنده مسئول: شمسا بصیرت

پست الکترونیکی: Basirat.sh@gmail.com

Effect of Microsilica Additive on Compressive Strength and Water Absorption of Lightweight Concrete

Shamsa Basirat[1*], Mohsen Omrani[2], Babak Behforooz[3]

1-Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, NajafAbad Branch, Islamic Azad University, NajafAbad, Iran

2-M.Sc. Student in Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, NajafAbad Branch, Islamic Azad University, NajafAbad, Iran

3- Instructor, Faculty of Civil Engineering, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran

ABSTRACT

Concerning the issue of the seismicity of Iran and the effect of structure weight on the amount of earthquake load exerted on the structure, there is the need for stylization of structures in order to reduce the costs of designing and repairing structures against earthquakes. It is possible to build structural light-weight concrete by using different additive materials. Microsilica is of the additives of concrete, which is of a significant role in improving concrete characteristics. In this paper, as regards to the positive influence that the additive material puts on the concrete compressive strength, it has been used as a replacement of a part of the cement used in the concrete mix design. Investigation of the compressive strength of light-weight concrete with microsilica contents of 4, 8, and 12 weight percentage of cement at the ages of 28, 118, and 148 days and the water absorption of 90-day samples have been performed through experimental study. It was observed by investigating the compressive strength and the obtained results that using microsilica up to 12% leads to increase compressive strength relative to the control sample. The optimal amount of the used microsilica at all ages is equal to 8% of cement weight. In addition, by increasing of the consumable microsilica up to 12%, the concrete water absorption is reduced as compared to the control sample, and finally causes to reduce the porosity of the light-weight concrete. All the experiments during this study have been performed at the concrete laboratory of the civil engineering faculty of Islamic Azad University, Najaf Abad Branch.

ARTICLE INFO

Received: 22/08/2017
Revised: 23/10/2017
Accepted: 05/11/2017

Keywords:
Structural Light-weight Concrete,
Microsilica, Compressive strength,
water absorption,
Additional material

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2017.95976.1301

*Corresponding author: Shamsa Basirat
Email address: Basirat.sh@gmail.com

۱- مقدمه

بر اساس آیین نامه‌ی مؤسسه بتن امریکا (ACI 213R-03) بتن‌های سبک سازه‌ای بتن‌هایی هستند که ضمن دارا بودن چگالی کمتر از ۱۹۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری بیش از ۱۷ مگا پاسکال دارند[۱]. چگالی کمتر بتن سبک نسبت به بتن معمولی راه‌حلی مناسب برای کاهش مشکلات ناشی از وزن زیاد سازه‌های بتنی معرفی شده است. به همین دلیل استفاده از بتن سبک در ساخت سازه‌های مختلف مانند عرشه‌ی پل‌های با دهانه بلند، سقف ساختمان‌های بلندمرتبه، سکوهای شناور، قطعات پیش‌ساخته بتنی و موارد نظایر آن کاربرد گسترده‌ای یافته است. علت اعمال بارهای مختلف همچون بار زلزله به سازه و به دلیل ارتباط مستقیمی که نیروی ناشی از این بارها با وزن سازه دارد، سعی می‌گردد حتی‌الامکان وزن سازه را کمتر نمود تا اثر نیروهای مخرب بر سازه کمتر گردد. یکی از راه‌کارهای کم نمودن وزن سازه استفاده از مصالح سبک‌وزن در ساخت بتن می‌باشد [۲].

میکروسیلیس یا دوده‌ی سیلیسی، محصول فرعی کوره‌های الکتریکی تولید فلز سیلیسیم می‌باشد. میکروسیلیس حاصل، دارای ۸۰ درصد سیلیس با حالت غیر بلوری و به شکل ذرات بی‌نهایت ریز با قطر متوسط ۰/۱ میکرون است که حدود ۰/۰۱ قطر متوسط ذرات سیمان می‌باشد. این ریز بودن ذرات باعث افزایش سطح مخصوص آن در حد بسیار زیاد kg/m2 ۲۰۰۰۰ می‌شود [۳]. ریز بودن بیش ازحد ذرات میکروسیلیس و متراکم بودن توده‌ی مصالح باعث می‌شود مقدار آب لازم برای رسیدن به کارایی مناسب در بتن حاوی میکروسیلیس بیشتر از حد معمول باشد. بین مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن به یک کارایی مشخص و درصد میکروسیلیس جایگزین شده به‌جای سیمان در بتن یک رابطه‌ی خطی وجود دارد؛ بنابراین افزایش میزان میکروسیلیس، افزایش آب موردنیاز را در پی خواهد داشت [۴].

مقاومت بتن مهم‌ترین معیار برای ارزیابی کیفیت آن و مقاومت فشاری معیار اصلی برای طراحی اغلب سازه‌ها است، لذا بررسی تأثیر افزودن میکروسیلیس بر مقاومت بتن، از اهمیت بسزایی برخوردار است. همان‌طور که در مطالعه‌ها و بررسی‌های گذشته در زمینهٔ استفاده از میکروسیلیس به جای سیمان در بتن و بررسی مقاومت فشاری نیز بیان شد، تحقیق‌های گذشته نشان دادند، استفاده از میکروسیلیس به نحوه بسیار مطلوبی مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد.

Novokshchenov و Whitcomb نشان دادند که با استفاده از سبک دانه‌های سیلیسی منبسط شده با مصرف سیمان تا ۵۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب و میکروسیلیس تا ۲۰ درصد وزن سیمان، می‌توان به مقاومتی معادل ۷۰/۵ مگا پاسکال با وزن مخصوص ۱۸۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب دست یافت [۵]. Khaloo و Houseinian تأثیر میکروسیلیس روی مقاومت و دوام بتن را مورد ارزیابی قرار دادند. در تحقیق ایشان درصد استفاده از میکروسیلیس در طرح‌های اختلاط، از ۱ تا ۱۵ درصد و نسبت آب به سیمان از ۰/۳ تا ۰/۶ تغییر داده شد. ریزدانه و درشت‌دانه مورد استفاده از نوع رودخانه‌ای و به ترتیب با حداکثر اندازه ۵ و ۲۵ میلی‌متر بود. آزمایش‌های ایشان نشان داد که ۵ تا ۱۵ درصد جایگزینی سیمان با میکروسیلیس، مشخصات بتن را ارتقا می‌دهد. مقاومت ۲۸ روزه‌ی نمونه‌های دارای میکروسیلیس از ۲۰ تا ۴۰ درصد نسبت به نمونه‌های فاقد آن، افزایش نشان داد [۶]. Mazloom و همکاران با جایگزینی ۶، ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس به‌جای سیمان مصرفی با سنین ۷، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روز، میزان مقاومت فشاری برحسب مگا پاسکال اندازه‌گیری کردند که نتایج نشان می‌دهد میکروسیلیس تأثیر چشمگیری برافزایش مقاومت نمونه‌های بتنی داشته است. بیشترین تأثیر مربوط به استفاده از ۱۰ درصد میکروسیلیس بوده است. همچنین بیشترین افزایش مقاومت در نمونه‌های ۷ و ۲۸ روزه اتفاق میافتد [۷]. Shayan و Xu به بررسی استفاده از میکروسیلیس به همراه پوزولان طبیعی پودر شیشه در بتن پرداخته‌اند. در این تحقیق پودر شیشه به میزان ۱۵ درصد به همراه ۵ و ۱۰ درصد میکروسیلیس استفاده شده است. نتایج نشان داده که استفاده از میکروسیلیس به همراه پوزولان طبیعی پودر شیشه، باعث افزایش بیشتر مقاومت بتن نسبت به استفاده از پودر شیشه تنها و یا میکروسیلیس تنها، می‌شود. همچنین در مطالعهٔ ایشان نشان داده‌شده است که حالت بهینه برای استفاده از پوزولان طبیعی پودر شیشه و میکروسیلیس، استفاده از هر کدام به مقدار ۱۵ درصد وزنی سیمان بوده و استفاده بیشتر از میکروسیلیس و یا پوزولان باعث کاهش مقاومت می‌گردد [۸]. حسین‌علی بیگی و همکاران بررسی خصوصیات میکروسیلیس، پودر سنگ و سنگ‌دانه‌های سبک لیکا بر مقاومت فشاری، کششی، خمشی بتن سبک با مقاومت بالا پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده‌ی ایشان نشان می‌دهد که مصرف دانه‌های ریزتر در مخلوط بتن باعث افزایش وزن مخصوص و مقاومت فشاری می‌شود.

همچنین استفاده از پودر سنگ فقط باعث افزایش مقاومت خمشی تا ۴۰ درصد گردیده است اما تأثیری بر روی مقاومت فشاری نداشته است. بیشترین افزایش مقاومت فشاری مربوط به مصرف ۱۰ درصد میکروسیلیس در نمونه بتن بوده است [۹].

Sajedi و Shafigh با بررسی استفاده هم‌زمان از پودر سنگ و میکروسیلیس و لیکا، بتن سبک با وزن مخصوص ۱۹۸۴-۱۶۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب ساختند. نتایج ایشان نشان‌داد که مصرف میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری و پر کردن حفره‌های بتن شده و هر چه لیکای مصرفی ریزتر باشد باعث افزایش مقاومت فشاری و دانسیته می‌شود. وجود پودر سنگ باعث افزایش مقاومت پیچشی و کاهش تخلخل را بدون افزایش قابل‌ملاحظه در دانسیته نشان می‌دهد [۱۰]. Youm و همکاران در بررسی آزمایشگاهی خود نشان دادند که با استفاده از مصالح درشت و ریز سبک دانه، سیمان و میکروسیلیس می‌توان نمونه‌ای ۲۸ و ۹۱ روزه به ترتیب با مقاومت ۷۲/۳ و ۷۱/۶ و مقاومت کششی ۴/۴۷ و ۴/۵۲ مگا پاسکال دست یافت. دانسیته نمونه ۲۸ روزه معادل ۱۸۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. نتایج نشان دادند که افزایش میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری و کششی شده است [۱۱].

در این تحقیق با توجه به مطالعات گذشته و بررسی‌های آزمایشگاهی، میکروسیلیس به مقادیر ۴، ۸ و ۱۲ درصد وزنی سیمان استفاده شده است. از ضرورت انجام این تحقیق می‌توان به بررسی تأثیر میکروسیلیس در مدت زمان بیشتر (۱۱۸ و ۱۴۸ روز) بر روی مقاومت فشاری و همچنین رفتار جذب آب طرح‌های ۹۰ روزهٔ بتن سبک سازه‌ای نیز اشاره کرد.

۲- مشخصات مواد و مصالح

مواد سیمانی به کار رفته در این تحقیق، سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه اردستان اصفهان و میکروسیلیس کارخانه فروسیلیس ایران می‌باشد. مشخصات شیمیایی این مواد در جداول ۱ ارائه شده است. هم‌چنین مشخصات فیزیکی سیمان در جدول ۲ و میکروسیلیس در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۱: ترکیبات شیمیایی سیمان و میکروسیلیس [۱۲-۱۳]

ترکیب شیمیایی	سیمان	میکروسیلیس
SO_3	۱/۵±۰/۲	-
SiO_2	۲۲±۰/۴	۷۵-۹۸
Al_2O_3	۵±۰/۳	۰/۰۳-۵/۷۸
Fe_2O_3	۳/۸۲±۰/۲	۰/۰۶-۴/۵۴
CaO	۶۴±۰/۵	۰/۰۱±۰/۸۳
MgO	۱/۹±۰/۲	۰/۳۶±۰/۵۲
K_2O	۰/۴۹±۰/۲	۱/۱۵±۲/۰۲
Na_2O	۰/۲۵±۰/۱۵	۰/۱۷±۰/۲۳
Cl-	۰/۰۱۹±۰/۰۰۱	-
C_3A	۶/۵±۰/۱	-

جدول ۲: مشخصات فیزیکی سیمان [۱۲]

مشخصه فیزیکی		مقدار
سطح مخصوص (سانتی مترمربع بر گرم)		۳۰۰۰±۵۰
زمان گیرش (دقیقه)	اولیه	۹۵±۵
	ثانویه	۱۵۰±۱۰
مقاومت فشاری (مگا پاسکال)	۳ روزه	≥ ۱۷
	۷ روزه	≥ ۲۷/۵
	۲۸ روزه	≥ ۳۷

جدول ۳: مشخصات فیزیکی میکروسیلیس [۱۳]

مشخصه فیزیکی	مقدار
حداقل اندازه دانه‌ها (میکرومتر)	۰/۰۳
حداکثر اندازه دانه‌ها (میکرومتر)	۰/۷۷
وزن مخصوص(کیلوگرم بر مترمکعب)	۱۷۳
سطح مخصوص (مترمربع بر کیلوگرم)	۱۴۰۰۰
چگالی	۲/۲۱

مصالح سنگی به کار رفته در این تحقیق شامل ماسه رودخانه‌ای شرکت قدس نجف آباد و سبک دانه لیکا محصول شرکت لیکای شهر ساوه می‌باشد. دانه بندی سنگ‌دانه‌های ماسه طبق استاندارد ASTM C33 و سبک دانه‌های لیکا طبق استاندارد ASTM C330 صورت پذیرفت. دانه بندی صورت گرفته ماسه و لیکای مصرفی به ترتیب در جداول ۴ و ۵ ارائه گردیده است.

لیکا به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد اعم از وزن کم، هدایت حرارتی پائین، افت صوتی مناسب، مقاومت در برابر آتش، دوام و پایداری شیمیایی یکی از پر مصرف‌ترین سبک‌دانه‌ها بوده که از جنس خاک رس منبسط شده می‌باشد [۱۴].

درصد جذب آب سنگ‌دانه‌های ماسه و سبک دانه‌های لیکای مصرفی بر اساس استاندارد ASTM C128 به ترتیب ۱/۵ و ۵ درصد به دست آمد. میزان رطوبت سطحی ماسه‌ی استفاده شده در این تحقیق طبق آزمایش انجام شده بر اساس استانداردASTM D2216-90، ۵/۵۹ درصد بوده است.

در این تحقیق از ابر روان کننده Power flow-WD که بر پایه پلی کربوکسیلات اتر، تهیه و تولید شده استفاده گردیده است. این ماده با قدرت کاهندگی شدید آب بتن و ایجاد روانی ایده آل، جهت ساخت بتن‌های توانمند مورد استفاده قرار می‌گیرد. Power flow دارای استاندارد EN 934-2 اروپا می‌باشد و تمام الزامات استاندارد ۲۹۳۰ ایران را بر آورده می‌کند. آب مصرفی در این تحقیق، از آب شرب شهر نجف آباد استفاده گردید.

جدول ۴: دانه بندی ماسه

اندازه الک		درصد عبوری تجمعی	محدوده مجاز درصد عبوری تجمعی طبق ASTM C33
شماره	اندازه (mm)		
۴	۴/۷۶	۱۰۰	۹۷-۱۰۰
۸	۲/۳۶	۹۹/۶۴۶	۸۵-۱۰۰
۱۶	۱/۱۸	۸۰/۲۷	۵۳-۸۷
۳۰	۰/۶	۴۲/۶۶۶	۲۸-۶۵
۵۰	۰/۳	۱۰/۷۰۶	۱۰-۳۴
۱۰۰	۰/۱۵	۵/۵۴۸	۳-۱۷
۲۰۰	۰/۰۷۵	۰	۰-۳

جدول ۵: دانه بندی لیکا

اندازه(mm)	درصد عبوری تجمعی	محدوده مجاز درصد عبوری تجمعی طبق ASTM C330
۱۲/۵۰	۱۰۰	۱۰۰
۹/۵۰	۸۰	۸۰-۱۰۰
۴/۷۶	۵	۵-۴۰
۲/۳۶	۰	۰-۲۰

۳- برنامه کار آزمایشگاهی

۳-۱- طرح اختلاط

مشخصات طرح اختلاط و مقادیر هر یک از مواد مصرفی در جدول ۶ ارائه شده است. طرح اختلاط مورد نظر با استفاده از کار تجربی انجام شده در گذشته [۱۰] و با سعی و خطا در آزمایشگاه به دست آمده است.

جدول ۶: مقادیر مصالح مورد استفاده بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب

آب	ابر روان کننده	پودر سنگ	لیکا	ماسه	میکروسیلیس	سیمان	W/C	نوع مخلوط	علامت اختصاری
۲۰۸	۳/۵	۱۶۵	۲۳۴/۲	۵۵۴	-	۴۹۵	۰/۴۵	سیمان	C
۲۰۸	۳/۵	۱۶۵	۲۳۴/۲	۵۵۴	۱۹/۸	۴۷۵/۲	۰/۴۵	سیمان+ ۴٪ میکروسیلیس	CS4
۲۰۸	۳/۵	۱۶۵	۲۳۴/۲	۵۵۴	۳۹/۶	۴۵۵/۴	۰/۴۵	سیمان+ ۸٪ میکروسیلیس	CS8
۲۰۸	۳/۵	۱۶۵	۲۳۴/۲	۵۵۴	۵۹/۴	۴۳۵/۶	۰/۴۵	سیمان+ ۱۲٪ میکروسیلیس	CS12

شکل‌های (۱) تا (۳) نمونه‌هایی که با سعی و خطا و تغییر در مقدار نسبت آب به سیمان ساخته شده‌اند را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونهٔ ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ در شکل (۱) تراکم پذیری مناسبی نداشته است؛ دلیل این امر عدم روانی مناسب ملات و آب کافی بوده است. همچنین نمونه‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۴ در شکل (۲) با اینکه ملات بتن روانی تقریباً مناسب‌تری نسبت به نمونه‌ی ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ داشته است اما باز هم تراکم پذیری مناسب و مقاومت کافی حاصل نگردید. با تغییر نسبت آب به سیمان به ۰/۴۵ در شکل (۳)، نمونه مورد نظر با تراکم و مقاومت مناسب حاصل شد.

شکل ۱: نمونهٔ با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵

شکل ۲: نمونهٔ با نسبت آب به سیمان ۰/۴

شکل ۳: نمونهٔ با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵

در طرح اختلاط مورد استفاده از میکروسیلیس با مقادیر ۴، ۸ و ۱۲ درصد وزن سیمان استفاده شده است. برای بررسی تأثیر میکروسیلیس بر روی بتن سبک، یک طرح اختلاط نیز فاقد میکروسیلیس آورده شده است.

۳-۲- ساخت نمونه‌ها

مصالح با ویژگی‌های موردنظر طبق آن‌چه در ASTM C192 آمده، با هم مخلوط شدند. برای سنجش مقاومت فشاری نمونه‌ای بتن سبک در سنین ۲۸، ۱۱۸ و ۱۴۸ روز و با وجود ۴ طرح اختلاط برای هر طرح اختلاط و هر سن، ۳ نمونه به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر ساخته شده است.

بنابراین ۱۲ نمونه برای سن ۲۸ روز، ۱۲ نمونه برای سن ۱۱۸ روز و ۱۲ نمونه برای سن ۱۴۸ روز و همچنین برای آزمایش جذب آب، ۱۲ نمونه برای سن ۹۰ روز ساخته شد. در کل ۴۸ نمونه بتن سبک ساخته شد. شکل (۴) نمونه آماده شده بتن پس از مخلوط شدن و ریخته شده در قالب را نشان می‌دهند.

شکل ۴: بتن ریخته شده در قالب

برای به حداقل رساندن خطای انسانی در اندازه‌گیری پارامترهای فوق، میانگین متغیرهای مورد نظر از اندازه‌گیری سه نمونه‌ی هر طرح اختلاط انجام شد. در آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره نیرو در یک جهت به نمونه بتنی وارد می‌شود و تحت فشار تک محوره، ترک‌های تقریباً موازی جهت بار وارد بر نمونه وارد می‌شود. شکستن و تعین مقاومت فشاری نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM C109-80 انجام شد [۱۵]. شکل (۵) نحوه‌ی شکست یک نمونه ۲۸ روزه که را نشان می‌دهد.

شکل ۵: نمونه تحت فشار

۴- نتایج و بحث

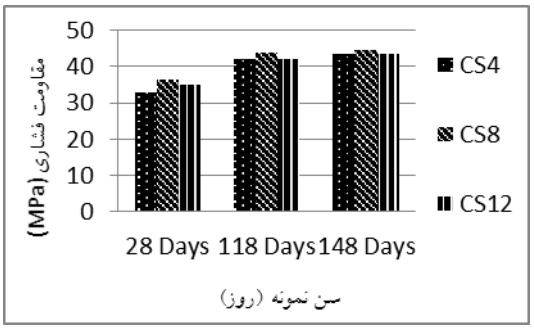
۴-۱- مقاومت فشاری

میزان مقاومت فشاری با سنین و طرح اختلاط مشخص در جدول ۷ ارائه شده است. همچنین میزان تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها نسبت به بتن شاهد در جدول ۸ و نسبت به نمونه ۲۸ روزه در جدول ۹ آورده شده است. با توجه به نتایج جدول (۷) و نتایج مقاومت نمودار میله‌ای نشان می‌دهد که مقدار ۴، ۸ و ۱۲ درصد میکروسیلس باعث افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد شده

است. همچنین بیشترین افزایش مقاومت مربوط به نمونه‌های حاوی ۸ درصد در تمامی سنین میکروسیلیس بوده است. نمودار میله‌ای طرح‌های حاوی میکروسیلیس در شکل ۶ و نمودهای روند تغییرات مقاومت فشاری بر حسب درصد در شکل های ۷ تا ۹ ارائه شده است.

جدول ۷: مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸، ۱۱۸ و ۱۴۸ روزه

شناسه طرح اختلاط	میزان مقاومت فشاری بر حسب مگا پاسکال		
	۲۸ روزه	۱۱۸ روزه	۱۴۸ روزه
C	۲۸/۲۷	۳۱/۵	۳۲/۱
CS4	۳۲/۸	۴۲/۲	۴۳/۵
CS8	۳۶/۵	۴۳/۸	۴۴/۵
CS12	۳۵	۴۲	۴۳/۶



شکل ۶: مقاومت فشاری طرح‌های حاوی میکروسیلیس

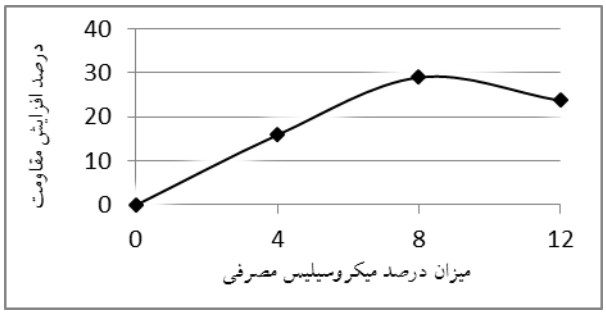
بیشترین روند کسب مقاومت در سن ۲۸ تا ۱۱۸ بوده است و از سن ۱۱۸ تا ۱۴۸ تغییر بسیار ناچیزی داشته‌اند که بیشترین افزایش روند کسب مقاومت مربوط به طرح CS4 در سن ۱۱۸ روزه بوده که مقدار ۲۵ درصد افزایش مقاومت نسبت به نمونه ۲۸ روزه داشته است.

جدول ۸: تغییرات مقاومت فشاری نسبت به بتن شاهد

شناسه طرح اختلاط	میزان افزایش یا کاهش مقاومت فشاری بر حسب درصد		
	۲۸ روزه	۱۱۸ روزه	۱۴۸ روزه
C	-	-	-
CS4	۱۶/۰۲۴	۳۳/۹۷	۳۵/۵۱
CS8	۲۹/۱۱۲	۳۹/۰۵	۳۸/۶۳
CS12	۲۳/۸۰۶	۳۳/۳۳	۳۵/۸۳

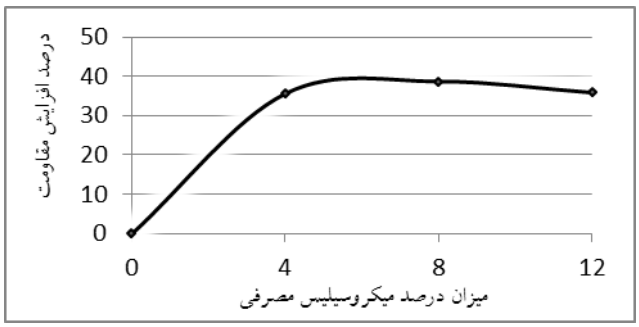
با توجه به شکل‌های ۷ تا ۹ روند تغییرات مقاومت فشاری طرح‌های حاوی میکروسیلس، نشان دهنده مشابهت روند تغییرات در تمامی سنین بتن می‌باشد. نمونه‌های بتن سبک ۲۸ روزهٔ حاوی ۴، ۸ و ۱۲ درصد میکروسیلیس نسبت به نمونهٔ طرح شاهد به ترتیب با افزایش مقاومت ۱۶، ۲۹/۱ و ۲۳/۸ درصدی همراه بوده است. نمونه‌های ۱۱۸ روزه نیز نسبت به طرح شاهد به ترتیب افزایش مقاومت ۳۳/۹۷، ۳۹/۳ و ۳۳/۳ درصدی داشته‌اند. همچنین نمونه‌های ۱۴۸ روزه نسبت به طرح شاهد به ترتیب با افزایش مقاومت ۳۵/۵، ۳۸/۶۳ و ۳۵/۸۳ درصدی همراه بوده است. در سن ۲۸ روز نمونهٔ حاوی ۱۲ درصد میکروسیلیس نسبت به ۴ درصد میکروسیلیس افزایش مقاومتی حدود ۸ درصد داشته است اما در سنین ۱۱۸ و ۱۴۸ روزه افزایش مقاومتی بسیار نزدیک به هم داشته‌اند که این بیانگر روند مثبت نمونهٔ حاوی ۴ درصد میکروسیلیس نسبت به ۱۲ درصد میکروسیلیس در مدت زمان بیشتر می‌باشد.

همان‌طور که از نتایج و منحنی‌ها مشاهده می‌شود طرح CS8 بیشترین افزایش مقاومت را در این گروه نسبت به طرح شاهد داشته است.



شکل ۷: درصد تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه

شکل ۸: درصدتغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های ۱۱۸ روزه



شکل ۹: درصدتغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های ۱۴۸ روزه

جدول ۹: افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های ۱۱۸ و ۱۴۸ روزه نسبت به ۲۸ روزه

شناسه طرح اختلاط	میزان افزایش مقاومت فشاری بر حسب درصد	
	۱۱۸ روزه	۱۴۸ روزه
C	**۱۱/۴۳**	**۱۳/۵۵**
CS4	**۲۸/۶۶**	**۳۲/۶۲**
CS8	**۲۰**	**۲۱/۹۲**
CS12	**۲۰**	**۲۴/۵۷**

همچنین از نتایج جدول (۹) مشاهده می‌شود که بیشترین رشد مقاومت طرح‌ها در سن ۱۱۸ و ۱۴۸ روزه نسبت به ۲۸ روزه مربوط به طرح‌های CS4 می‌باشد.

۴-۲- وزن مخصوص

وزن مخصوص نمونه‌های بتن سبک در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰: وزن مخصوص طرح‌های اختلاط بتن سبک

شناسه طرح اختلاط	وزن مخصوص (kg/m^3)
C	۱۹۵۶
CS4	۱۹۲۳
CS8	۱۹۱۱
CS12	۱۸۹۹

در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود که تمامی طرح‌ها دارای وزن مخصوصی در محدودهٔ وزن مخصوص بتن سبک می‌باشند.

جدول ۱۱: میزان جذب آب نمونه‌های ۹۰ روزه

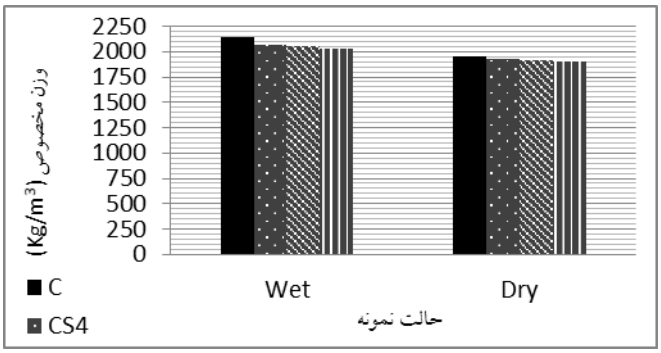
شناسه طرح اختلاط	وزن نمونه‌های ۹۰ روزه		میزان جذب آب بر حسب درصد
	نمونه خشک	نمونه مرطوب	
C	۱۹۵۶	۲۱۳۸	۹/۳
CS4	۱۹۲۳	۲۰۶۹	۷/۶
CS8	۱۹۱۱	۲۰۵۱	۷/۳۳
CS12	۱۸۹۹	۲۰۳۲	۷

۴-۳- جذب آب

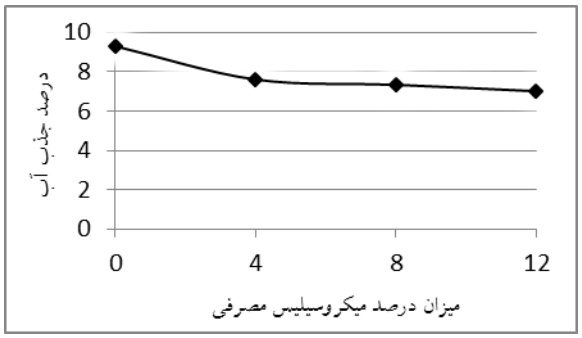
در این آزمایش نمونه‌های عمل‌آوری شده، پس از قرار گ گرفتن در دمای ۱۱۰ درجه در گرم‌خانه به مدت ۲۴ ساعت وزن می‌شوند (وزن خشک اولیه). با ثبت زمان به مدت تقریباً ۷۲ ساعت داخل آب غوطه‌ور می‌شوند تا به یک وزن ثابت برسند. سپس از داخل آب خارج شده، سطح آن‌ها خشک و سپس وزن می‌شوند (وزن نمونه مرطوب). معمولاً پس از گذشت یک روز روند تغییرات وزن نمونه‌ها اندک است. مقدار درصد جذب آب نمونه‌ها در هر زمان با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۳].

$$\text{درصد آب جذب شده} = \frac{M - M_0}{M_0} \times 100 \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، وزن نمونه مرطوب وزن نمونه مرطوب با M و وزن نمونه خشک با M_0 بیان شده‌اند. میزان جذب آب نمونه‌های ۹۰ روزه در جدول ۱۱ آورده شده است. نمودار میله‌ای جذب آب طرح‌های اختلاط حاوی میکروسیلیس در شکل (۱۰) آورده شده است. همچنین نمودار روند تغییرات جذب آب بر حسب درصد در شکل (۱۱) ارائه شده است.



شکل ۱۰: نمودار وزن مخصوص طرح‌های حاوی میکروسیلیس در حالت خشک (Dry) و اشباع از آب (Wet)



شکل ۱۱: نمودار روند تغییرات جذب آب طرح‌های حاوی میکروسیلیس نسبت به طرح شاهد بر حسب درصد

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی تاثیر افزودنی میکروسیلیس بر مشخصات بتن سبک پرداخته شد. مقادیر مقاومت فشاری و جذب آب با استفاده از بتن شاهد که فاقد افزودنی بوده مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نتایج مشاهده شده در آزمایشات، می‌توان گفت اضافه کردن دانه‌های سبک لیکا و میکروسیلیس به بتن سبک مقاومت بتن را بالا می‌برد. همچنین استفاده از میکروسیلیس تا ۱۲ درصد وزنی

سیمان در بتن سبک باعث افزایش مقاومت فشاری نسبت به طرح شاهد می‌شود، اما میکروسیلیس تا ۱۲ درصد وزنی سیمان در بتن سبک باعث کاهش جذب آب نسبت به طرح شاهد می‌شود. میزان بهینه مصرفی میکروسیلیس در بتن سبک ۸ درصد وزنی سیمان می‌باشد.

بتن سبک حاوی میکروسیلیس تا ۱۲ درصد جایگزینی سیمان با افزایش مقاومت مناسبی در سنین ۱۱۸ و ۱۴۸ نسبت به ۲۸ روز از خود نشان داده‌اند. بیشترین کاهش جذب آب مربوط به طرح حاوی ۱۲ درصد میکروسیلیس نسبت به طرح شاهد می‌باشد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی درصدهای متفاوتی از میکروسیلیس در طرح اختلاط و استفاده از سنگدانه های متفاوت مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

[1] ACI Committee 213; "Guide for Structural Lightweight-aggregate Concrete"; American Concrete Institute, 2014.

[2] Shakarchizadeh; M; Alilibar; N; Jalili; M; "Handbook for lightweight aggregate concrete"; Elm-o-Adab Publication, First edition, Tehran, 2016.

[3] Ramazanianpour; A; Peydayesh; M; "Concrete durability and the role of pozzolanic cements"; Publication of Building and Housing Research Center, Publication No. 274, First edition, Winter 1997.

[4] Bagheri; A; "heat-generating of concrete containing microsilica"; Proceedings of the International Seminar on the Application of Silica Soot in Concrete, Building and Housing Research Center, Tehran, April 1997.

[5] Novokshchenov; V; Whitcomb; W; "How to Obtain High Strength Concrete Using Low Density Aggregate"; ACI SP, USA, 1990, pp. 121-133.

[6] Khaloo; A.R; Houseinian; M.R;"Evaluation of properties of silica fume for use in Concrete"; International Conference on Concretes. Dundee, Scotland,1999.

[7] Mazloom; M; Ramezanianpour; A.A; Brooks, J.J; "Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete"; Cement & Concrete Composites, Vol. 26, 2004, pp. 347-357.

[8] Shayan; A; Xu; A; "Performance of Glass Powder as a Pozzolanic Material in Concrete: A Field Trial on Concrete Slabs"; J. Cement and Concrete Research, vol.36, 2006, pp.457–468.

[9] HosseinAli Beigi; M; Hosseinian; S.B; Shafigh; Payam; "building high-strength light-weight concrete using light-weight aggregates, rock powder, and microsilica"; Engineering Faculty Publication, vol. 19, 2007, no. 1 (Civil Engineering), pp. 127-134.

[10] Sajedi; F; Shafigh; P; "High Strengh Lightweight Concrete Using Leca, Silica Fume, and Limestone"; Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 37, 2012, pp. 1885-1893.

[11] Youm; K.S; Moon; J; Young Cho; J; Kim,; J.J; "Experimental Study on Strength and Durability of Lightweight Aggregate Concrete Containing Silica Fume"; Construction and Building Materials, Vol. 114, 2016, pp. 517-527.

[12] www.ardestancement.com

[13] First stage report of evaluating microsilica of Iran's ferrosilis Factory and its application in concrete, Building and Housing Research Center, 1997.

[14] Mohammadi Tehrani, F; "Comprehensive Manual of Leca"; Leca Company, Tehran, 1998.

[15] ASTM; C; 109/C 109M-02; "Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens)"; ASTM