

بررسی آزمایشگاهی مقاومت فشاری بتن سبک سازه‌ای با فوق روان کننده بر پایه نفتالین (SN150)

سماانه بیرونی^۱، علی اکبر حکمت زاده^۲، داوود قانديان^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - سازه، مؤسسه آموزش عالی زند (samaane.birooni@gmail.com)

۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شیراز، (hekmatzadeh@sutech.ac.ir)

۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی اقلید، (ghaedian@ut.ac.ir)

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (*ghaedian@ut.ac.ir)

چکیده

با توجه به روند روزافزون استفاده از بتن سبک در جهان که به علت منافع حاصل از سبک نمودن ساختمان و در نتیجه کاهش بار مرده و نیروی زلزله‌ی وارد بر سازه‌ها و همچنین صرفه‌جویی در هزینه و فضا و و نیز عملکرد بهتر از نظر عایق‌بندی حرارتی و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌باشد؛ لزوم تولید بتن سبکی با مقاومت نسبتاً بالا و نیز مقرون به صرفه مشخص می‌گردد.

این پروژه تحقیقاتی حاصل نتایج آزمایشگاهی و تئوریک پیرامون نوع خاصی از سنگدانه سبک به نام لیکا و افزودن فوق روان کننده بر پایه نفتالین (SN150) است؛ در این پژوهش بتن سبکدانه از نظر ترکیب طرح اختلاط و مواد افزودنی شیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است؛ به این صورت که ۴ طرح اختلاط اصلی را از نظر مقادیرهای متفاوت آب به سیمان و افزودن درصد‌های متفاوت فوق روان کننده به میزان ۱/۵، ۱/۶۵ و ۱/۸ درصد‌های وزنی سیمان مورد آزمایش و بررسی قرار دادیم و نتایج نشان داد که بالاترین مقاومت فشاری نسبت به تمامی نمونه‌ها و طرح‌ها مربوط به طرح ۱ با فوق روان کننده ۸٪ SN1/8 با مقاومت ۲۳ مگاپاسکال بوده است و در طرح ۳ و ۴ نسبت به طرح شاهد کاهش مقاومت و در طرح ۲ افزایش مقاومت داشته‌ایم؛ با فوق روان کننده ۵٪ SN1/5 بهترین مقاومت فشاری در طرح ۱ با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال بوده است و در تمامی طرح‌ها نسبت به طرح شاهد افزایش مقاومت داشته‌ایم. با فوق روان کننده ۶۵٪ SN1/65 بهترین مقاومت فشاری مربوط به طرح یک و با مقاومت ۲۲/۸ مگاپاسکال بوده است و همه‌ی طرح‌ها ولی به میزان کمتری افزایش مقاومت داشته‌اند.

کلمات کلیدی: بتن سبک، لیکا، فوق روان کننده، نفتالین، مقاومت فشاری

۱. مقدمه

بتن معمولی که از سیمان پرتلند و سنگ‌دانه‌های طبیعی ساخته می‌شود، دارای یک‌سری نقاط ضعفی مثل وزن زیاد آن می‌باشد. که تلاش برای کاهش وزن بتن منجر به نوآوری جدید و ساخت بتن‌های سبک شده است. علی‌رغم مزیت‌های پرشماری که بتن دارا می‌باشد، اعضای بتنی به علت مقاومت کمتر بتن نسبت به فولاد، در مقایسه با اعضای فولادی دارای ابعاد بزرگ‌تری هستند و از این رو وزن اعضا در ساختمان‌های بتنی بخش قابل توجهی از بار وارده بر ساختمان را تشکیل می‌دهد. در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از محققین بر روی سبک سازی به استفاده از بتن با سنگ‌دانه‌های سبک در ساخت بناها معطوف شده است. به طوری که استفاده از مصالح طبیعی و مصنوعی سبک‌وزن، به عنوان یک راه حل مؤثر در جهت کاهش ابعاد سازه و به حداقل رساندن نیروی

زلزله وارد بر ساختمان و در نهایت افزایش سرعت و سهولت اجرا و اقتصادی شدن طرح مورد توجه است. لذا یکی از مشکلات اساسی بتن وزن نسبتاً زیاد آن است.

همانطور که گفته شد امتیازات قابل توجهی در کاهش وزن بتن وجود خواهد داشت که می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- کاهش وزن نیروی وارد بر سازه کاهش می یابد.
- ۲- المان‌های سازه‌ای کوچکتری مورد نیاز است
- ۳- صرفه جویی در هزینه و فضا
- ۴- مناسب از نظر معماری

۵- بعضی از المان‌ها صرفاً به عنوان جداکننده یا پرکننده هستند مانند تیغه‌ها و بلوک‌های ساختمانی

بتن‌های سبک سازه‌ای بتن‌هایی هستند که علی‌رغم دارا بودن چگالی کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مقاومت فشاری بیش از ۱۷ مگا پاسکال دارند. ساخت این بتن‌ها صرفاً با استفاده از سنگدانه‌های سبک و مقاوم امکان پذیر است و اولین بار در زمان روم باستان در معبد پانتئون و ورزشگاه کلوزیوم از پومیس که نوعی مصالح سبک است استفاده کرده‌اند هم‌چنین در اوایل قرن بیستم سبکدانه‌های مصنوعی تولید شدند و در سال ۱۹۷۰ ساخت بتن سبکدانه با مقاومت بالا آغاز شد [۱].

تمام بتن‌های سبک سازه‌ای از خانواده بتن‌های سبکدانه می باشند که در آن برای کاهش وزن مخصوص بتن از سنگدانه‌های سبک استفاده شده است. به این دلیل بعضاً از عبارت بتن سبکدانه و بتن سبک سازه‌ای برای بیان یک مفهوم استفاده می‌شود. سنگدانه‌هایی که این شرایط را عموماً برآورد می‌کنند و طبق استاندارد ASTM-C330 برای ساخت بتن سبک سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، عمدتاً عبارتند از:

(الف) شیل، رس و اسلیت منبسط شده در کوره‌ی دوار

(ب) سنگدانه‌هایی که از فرآیندهای کلوخه‌ای شدن به دست می‌آیند.

(ج) روباره‌های منبسط شده

(د) پوک‌های معدنی

(ه) پوک‌های صنعتی

(و) خاکستر بادی پودر شده [۲]

کاربرد بتن سبکدانه پس از تولید سبکدانه‌های مصنوعی و فرآوری شده در اوایل قرن بیستم وارد مرحله جدیدی شد. در حدود سال ۱۹۱۷ هایدی در کانزاس ایالات متحده، روش تولید صنعتی رس منبسط شده را با استفاده از کوره استوانه‌ای چرخان ابداع نمود و این فرآورده هایدیت نام گرفت [۳]. بدلیل امکان فرآوری در تولید، این محصول دارای ویژگی‌های منحصر بفرد بوده و مورد استقبال فراوانی قرار گرفت. در این مدت بیش از ۱۵۰ پل و ساختمان در ایالات متحده و کانادا با این نوع بتن، مورد بهره برداری قرار گرفت. بزرگترین بنای بتن سبکدانه، ساختمان اداری ۵۲ طبقه با ارتفاع ۲۱۵ متر در هوستون تگزاس می باشد. در ایران پس از آگاهی از مزایای تولید سبکدانه در کشور واحد تولید لیکا توسط بخش خصوصی در سال ۱۳۵۸ راه اندازی شد. سبکدانه‌های لیکا معمولاً از ته نشینی مصالح طبیعی مانند رس، شیل و اسلیت که حاوی مقدار زیادی سیلیس می باشند، تشکیل می شوند. دو نوع از روش‌های تولید آن‌ها روش کوره دوار و روش رسوب گذاری است. در این دو روش مواد خام گرما داده می شود تا منبسط شوند. در فرایند انبساط، گرما تا زمانی ادامه می یابد تا گازهای درونی آن‌ها آزاد شده و مصالح به شکل نرم و انعطاف پذیر درآیند، ولی بطور کامل ذوب نشوند حباب‌های گازهای درونی، توده‌ای از سلول‌های هوای غیرمتصل به هم ایجاد کرده و پس از سرد شدن، این مواد در درون آن‌ها باقی می ماند. بنابراین مواد خام منبسط شده و سنگدانه‌هایی با وزن مخصوص پایین تر به دست می‌آیند. در بتن سبکدانه نسبت به بتن معمولی، پیوند بین سنگدانه و ماتریس قویتر است. خمیر سیمان به خاطر طبیعت متخلخل سنگدانه‌ها، به داخل آن نفوذ می کند. بنابراین ناحیه انتقالی واسطه بین سنگدانه‌ها و ماتریس وجود ندارد و در صورت وجود خیلی کوچک است. این موضوع از حیث پایداری بتن خیلی اهمیت دارد چون این ناحیه در بتن معمولی ضعیف ترین ناحیه است. لذا در سالهای اخیر و با بررسی دوام سازه‌های بتنی مسلح به ویژه در مناطق خورنده برای بتن، نظر اکثر کارشناسان و دست‌اندرکاران کارهای بتنی به این مسأله جلب شده است که مقاومت به تنهایی نمیتواند جوابگوی کلیه خواص مربوط به بتن به خصوص دوام آن باشد و لازم است در طراحی بتن برای مناطق مختلف علاوه بر مسأله مقاومت و تحمل بارها در طول مدت بهره‌دهی، پایداری و دوام آن نیز مد نظر قرار گیرد. همچنین توجه کمتری به تأثیرات احتمالی استفاده از افزودنی‌هایی با پایه‌های مختلف شیمیایی شده است. امروزه با توجه به پیشرفت علم ساختمان و نیاز به استفاده از بتن‌هایی با ویژگی‌های منحصر به فرد برای شرایط محیطی متفاوت آب و هوایی و کارکردی که سازه‌های بتنی با آن مواجه هستند، استفاده از افزودنی‌هایی که بتواند خواص بتن را متناسب با شرایط محیطی ارتقا بخشد، یا منجر به کاهش مصرف مواد تشکیل دهنده بتن (سیمان و غیره) گردد، و یا به هر نحوی ویژگی مثبتی در خواص بتن ایجاد نماید لازم و ضروری می‌باشد.

مواد افزودنی بتن با توجه به کاربردشان در ۲ دسته کلی طبقه بندی می شوند:

۱- مواد افزودنی معدنی (میکروسیکا، دوده سیلیسی و غیره) که معمولاً موادی هستند که جایگزین بخشی از سیمان معرفی می شوند و یکی از راه کارهای کاهش مصرف سیمان می باشند.

۲- مواد افزودنی شیمیایی (زود گیر کننده، دیر گیر کننده، حباب زاو یا ترکیبی از آنها و غیره) این مواد معمولاً با درصدهای مجاز توسط شرکت سازنده توصیه می گردد نسبت به وزن مواد سیمانی موجود ۲ طرح اختلاط مورد استفاده قرار می گیرند.

پیشرفت علم شیمی و نیاز روز افزون صنعت ساختمان به مواد افزودنی شیمیایی جدید، منجر به تحول در صنایع تولید کننده مواد افزودنی شیمیایی بتن گردیده است به نحوی که در حال حاضر این صنعت در خصوص روان کننده‌ها پیشرفت‌های بسیاری را داشته است و افزودنی‌هایی با قدرت روان کنندگی بیشتری را به مرور زمان وارد بازار نموده است:

۱. روان کننده با پایه ملامین
۲. روان کننده با پایه لینگوسولفات
۳. فوق روان کننده با پایه نفتالین
۴. ابر روان کننده با پایه پلی کربوکسیلات [۴]

فوق روان کننده‌ها دومین نسل تولید شده در خصوص روان کننده‌های بتن می باشند که بر پایه نفتالین سولفونات بوده و برای بتن‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴ الی ۰/۴۵ به کار می روند. اولین نسل تولید شده افزودنی بتن روان کننده‌های بتن می باشند که بر پایه لینگوسولفونات بوده و معمولاً برای بتن‌های معمولی با نسبت آب به سیمان بیشتر از ۰/۴۵ کاربرد دارند. آخرین و جدیدترین نسل روان کننده، ابر روان کننده‌ها هستند که بر پایه پلی کربوکسیلات بوده و برای تولید بتن‌های ویژه از جمله بتن خود تراکم کاربرد دارند. این نوع روان کننده‌ها گران هستند و معمولاً برای بتن با نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۴ کاربرد دارند.

فوق روان کننده‌ها در اثر تماس با آب ایجاد بار منفی کرده و پس از جذب شدن بر روی ذرات سیمان مانع از نزدیک شدن این ذرات به یکدیگر می شوند و به این ترتیب در روانی و کارایی بتن موثرند. از طرفی، استفاده از این افزودنی در بتن نسبت آب به سیمان را بدون از دست رفتن کارایی بتن، کاهش می دهد و در این صورت بتن پر مقاومت و با دوام کافی جایگزین خواهد شد. و نیز قیمت فوق روان کننده بتن در مقایسه با قابلیت‌های زیاد و ایجاد بهبود خواص بتن از جمله افزایش مقاومت بتن مناسب و مقرون به صرفه می باشد.

فوق روان کننده نفتالین که در این پژوهش استفاده شده علاوه بر افزایش روانی بتن نقش به سزایی در تسریع زمان گیرش بتن و حصول مقاومت‌های اولیه و نهایی در زمان کوتاه‌تری دارد و اثرات منفی کاهش سریع دما روی بتن را از بین خواهد برد.

در این پژوهش با اضافه کردن درصد‌های متفاوت فوق روان کننده و نسبت‌های متفاوت آب به سیمان و به کارگیری سبکدانه‌ی لیکا به بهترین طرح اختلاط بتن سبک با فوق روان کننده بر پایه نفتالین (SN150) دست پیدا کردیم.

مستوفی نژاد و فرجبد در تحقیقی در سال ۱۳۸۲ خواص مکانیکی بتن سبک حاوی لیکا و پومیس و میکروسیلیس را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از ۱۰٪ میکروسیلیس در ساخت بتن سبک با هردو نوع سبکدانه هرچند که سبب بهبود مشخصه‌های مکانیکی نسبت به بتن‌های سبک معمولی شده است ولی این تاثیر چندان قابل ملاحظه نیست؛ به گونه‌ای که مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بین ۵ تا ۱۰٪ افزایش یافته است [۵].

سمیرا بیات کشکولی و همکارانش در سال ۱۳۸۹ در پژوهش " تعیین خواص مکانیکی بتن سبک دارای نانو ذرات سیلیسی برای تحلیل المان‌های سازه‌ای " ویژگی‌های مکانیکی بتن سبکدانه دارای نانو سیلیس با نسبت آب به سیمان بهینه را بررسی کردند و با بتن سبکدانه بدون نانو سیلیس مقایسه شد. نتایج حاکی از آن بود که بتن سبک سازه‌ای شامل سبکدانه لیکا و ماسه، حاوی ۳ درصد نانو سیلیس موجب افزایش ۴۷ درصدی مقاومت فشاری و ۲۶ درصدی مقاومت کششی نسبت به نمونه فاقد نانو سیلیس می شود [۶].

علی برومندزاده و همکارانش در سال ۱۳۹۵ در پژوهش " بررسی آزمایشگاهی مقاومت فشاری بتن سبک پر مقاومت تحت اثر فوق روان کننده " اثر مواد افزودنی فوق روان کننده بر روی خواص مکانیکی کوتاه مدت بتن‌های سبک با مقاومت بالا را مورد مطالعه قرار دادند. در کارهای آزمایشگاهی انجام شده در این پژوهش نسبت‌های مختلف فوق روان کننده به مصالح ساختمانی از ۰ تا ۳/۵ درصد آزمایش شد. نتایج نشان داد که استفاده از درصد‌های ۱/۵ تا ۲/۵ درصد فوق روان کننده بهترین نسبت برای فوق روان کننده می باشد و استفاده از درصد‌های بالاتر از این مقدار باعث کاهش مقاومت فشاری خواهد شد [۷].

Lee Jin Chai و همکارانش در سال ۲۰۱۷ در پژوهش "مقایسه‌ی خواص بتن تازه و سخت شده با وزن معمولی و دانه بندی سبک" نشان دادند که بتن OPBC^۱ به لحاظ خواص مکانیکی، کارایی و مقاومت بهتر از بتن لیکا عمل می‌کند. بتن لیکا ظرف مدت ۷ روز به نهایت مقاومت خود رسیده در حالی که بتن OPBC هم‌چنان با گذر زمان افزایش مقاومت دارد [۸].

M.Rshad و همکارانش در سال ۲۰۱۸ در پژوهش "بررسی اجمالی دانه های رس منبسط شده سبک به عنوان مصالح ساختمانی" نشان دادند می‌توان تراکم انقباض مقاومت مکانیکی را کاهش داد اما قابلیت کارایی را افزایش داد [۹].

۲. سبکدانه‌ی لیکا:

مواد خامی که برای سنگدانه‌های سبک سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، معمولاً از ته نشینی مصالح طبیعی مانند رس، شیل و اسلیت که حاوی مقدار زیادی سیلیس می‌باشند، تشکیل می‌شوند. دو نوع از روش‌های تولید تولید آن‌ها روش کوره دوار و روش رسوب گذاری است. در هر دو روش فوق، آنقدر به مواد خام گرما داده می‌شود تا منبسط شوند. در فرایند انبساط، گرما تا زمانی ادامه می‌یابد تا گازهای درونی آن‌ها آزاد شده و مصالح به شکل نرم و انعطاف پذیر در آیند، اما به طور کامل ذوب نمی‌شوند. حباب گازهای درونی، توده‌ای از سلول‌های هوای غیرمتصل به هم ایجاد کرده و پس از سرد شدن، این مواد در درون آن‌ها باقی می‌مانند. بنابراین مواد خام منبسط شده و سنگدانه‌هایی با وزن مخصوص پایین‌تر به دست می‌آید [۱۰]. خصوصیات فیزیکی لیکای مورد استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ و تصویر آن در شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی لیکای مصرفی

نوع نمونه	نوع دانه‌بندی (mm)	میانگین وزن مخصوص ظاهری (kg/m ³)	درصد جذب آب (%)
لیکای سازه‌ای	۰ تا ۱۲	۶۰۰	۱۵



شکل ۱- تصویر لیکای مصرفی

۳. مواد افزودنی شیمیایی:

امروزه استفاده از افزودنی ها جهت تامین بهتر مشخصات مورد نظر بتن بسیار فراگیر شده است، از این مواد افزودنی، مواد کاهش دهنده آب، روان کننده و به ویژه فوق روان کننده ها بیش از دیگران در بتن با مقاومت بالا کاربرد دارند. همانطور که قبلا ذکر شد فوق روان کننده ها دومین نسل تولید شده در خصوص روان کننده های بتن می باشند که بر پایه نفتالین سولفونات فرمالدهید بوده این ماده خام از اولین موادی بود که به عنوان یک عامل کاهنده آب از دهه ۱۹۷۰ تاکنون با عملکرد گسترده در ترکیبات افزودنی ها مورد استفاده قرار گرفته است. این ترکیب که با عنوان پلی نفتالین سولفونات نیز شناخته میشود از صنایع شیمیایی به دست می آید. مشتقات نفت یا نفتالین زغال سنگ با استفاده از اسید سولفوریک غلیظ در دمای زیاد سولفوناته شده و سپس با فرمالدهید پلیمریزه شده و در مرحله بعد به نمک های سدیم و کلسیم تبدیل می گردد. این پلیمرها دارای وزن مولکولی نسبتا کمی بوده و تعداد واحدهای نفتالین سولفوناته شده آنها بین ۲ تا ۱۰ می باشد. به این ترتیب وزن مولکولی این پلیمرها در حدود ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ خواهد بود. معمولا با افزایش وزن مولکولی خواص ایجاد شده بهتر خواهد بود [۱۱]. از جمله خواص و اثرات آن می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. کاهش نسبت آب به سیمان در حدود ۱۲٪ الی ۲۰٪
 ۲. افزایش روانی بتن (افزایش اسلامپ)
 ۳. سهولت پمپاژ
 ۴. افزایش انسجام و کاهش نفوذ ناپذیری بتن
 ۵. جلوگیری از یخ زدگی بتن
 ۶. تسریع زمان گیرش اولیه و نهایی بتن و کاهش زمان باز نمودن قالب ها
 ۷. افزایش مقاومت فشاری بتن
 ۸. سازگاری با انواع سیمان های پرتلند غیر قابل اشتعال است.
- خصوصیات فوق روان کننده ی مورد استفاده شده در این تحقیق در جدول ۲ و تصویر آن در شکل ۲ آورده شده است.

جدول ۲- ویژگی های فوق روان کننده ی مصرفی

نام محصول	کد محصول	نوع ماده	رنگ	وزن مخصوص	PH	یون کلر	میزان و نحوه مصرف
فوق روان کننده و کاهنده ی آب بتن	SN150 بر پایه ی نفتالین سولفونات فرمالدهید	مایع	قهوه ای	1.17 ± 0.03	7 ± 1	کمتر از ۰/۱ درصد	به طور معمول بین ۰/۵ تا ۲ درصد وزنی سیمان



شکل ۲- تصویر فوق روان کننده ی مصرفی

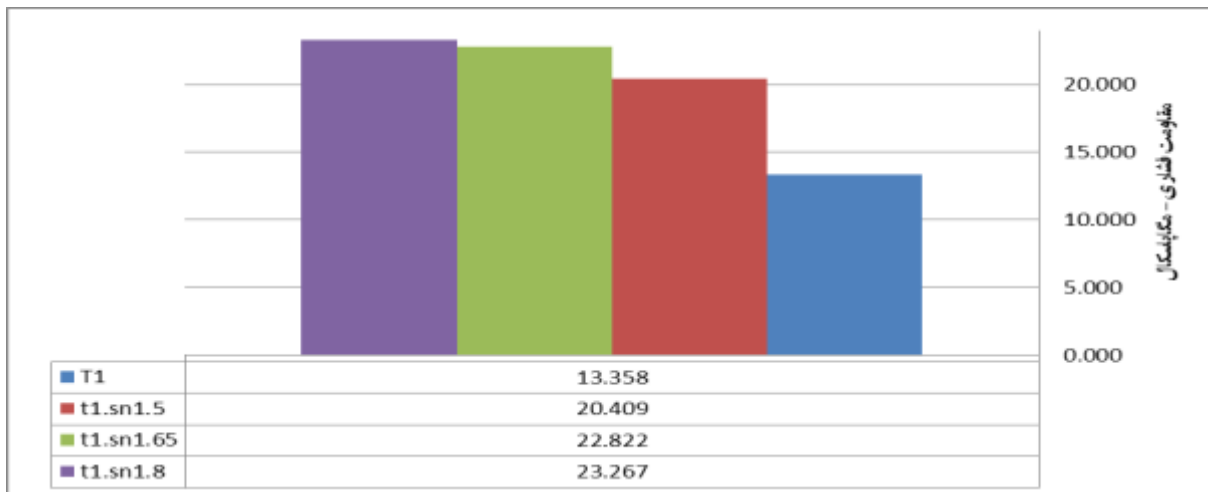
۴. طرح اختلاط و روند آزمایش:

در این پژوهش با ۴ طرح اختلاط نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، ۰/۵، ۰/۵۵ و افزایش ۱۰ درصدی خمیر سیمان با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ و به کارگیری پوکه لیکا و افزودن فوق روان کننده بر پایه نفتالین (SN(150) به میزان ۱/۵٪، ۱/۶۵٪، ۱/۸٪ بهترین مقاومت فشاری را مورد بررسی قرار دادیم به این صورت که در قالب‌های مکعبی ۱۵*۱۵*۱۵، سه لایه بتن به صورت حجمی ریخته شد و به هر لایه ۳۵ ضربه به وسیله کوبه وارد کردیم و هر نمونه را پس از ۲۴ ساعت که در قالب بود در حوضچه‌ی آب قرار دادیم و بعد از عمل آوری ۲۸ روزه نمونه‌ها را بیرون آورده و به مدت یک ساعت در هوای آزاد جهت خشک شدن نسبی نمونه‌ها قرار دادیم و سپس توسط جک بتن شکن مقاومت فشاری آنها اندازه‌گیری شد. در جدول ۳ طرح اختلاط نمونه‌های مورد آزمایش قرار داده شده آورده شده است.

جدول ۳- طرح اختلاط آزمونه‌ها

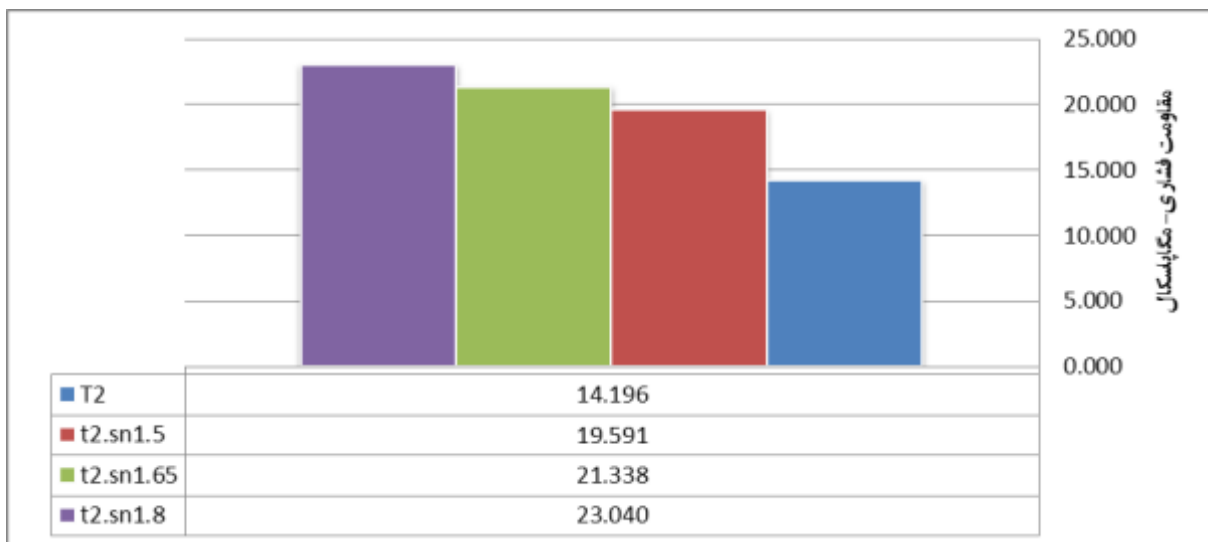
اسلامپ mm	w/c	آب	فوق روان کننده (gr)	فوق روان کننده %	سیمان	سیکدانه لیکا	ماسه	نام طرح
0	0.45	3.8	0	0	8.5	9	18	T1
100	0.45	3.8	127.5	1.5	8.5	9	18	t1.sn1.5
120	0.45	3.8	140	1.65	8.5	9	18	t1.sn1.65
150	0.45	3.8	153	1.8	8.5	9	18	t1.sn1.8
10	0.50	4.066	0	0	8.16	9	18	T2
110	0.50	4.066	122.4	1.5	8.16	9	18	t2.sn1.5
140	0.50	4.066	134.6	1.65	8.16	9	18	t2.sn1.65
170	0.50	4.066	146.88	1.8	8.16	9	18	t2.sn1.8
20	0.55	4.133	0	0	7.466	9	18	T3
130	0.55	4.133	111	1.5	7.466	9	18	t3.sn1.5
160	0.55	4.133	123	1.65	7.466	9	18	t3.sn1.65
180	0.55	4.133	134	1.8	7.466	9	18	t3.sn1.8
30	0.55	4.466	0	0	8.16	9	18	T4
150	0.55	4.466	122.4	1.5	8.16	9	18	t4.sn1.5
190	0.55	4.466	134.6	1.65	8.16	9	18	t4.sn1.65
210	0.55	4.466	146.88	1.8	8.16	9	18	t4.sn1.8

در طرح ۱ نتایج درصد‌های متفاوت فوق روان کننده را با هم مقایسه کردیم به این صورت که نمودار آبی نشان دهنده‌ی طرح شاهد ۱ (فاقد فوق روان کننده) با میانگین مقاومت فشاری ۱۳/۳۵۸ مگاپاسکال می‌باشد؛ نمودار قرمز نشان دهنده‌ی طرح ۱ با افزودن ۱/۵٪ فوق روان کننده با مقاومت فشاری ۲۰/۴۰۹ مگاپاسکال، نمودار سبز نشان دهنده‌ی طرح ۱ با افزودن ۱/۶۵٪ فوق روان کننده با مقاومت فشاری ۲۲/۸۲۲ مگاپاسکال و در آخر هم نمودار بنفش نشان دهنده‌ی طرح ۱ با ۱/۸٪ فوق روان کننده با مقاومت فشاری ۲۳/۲۶۷ مگاپاسکال می‌باشد. در شکل ۳ نمودارها و میانگین مقاومت فشاری آنها نشان داده شده است.



شکل ۳ - مقایسه میانگین مقاومت فشاری با درصدهای متفاوت فوق روان کننده در طرح ۱

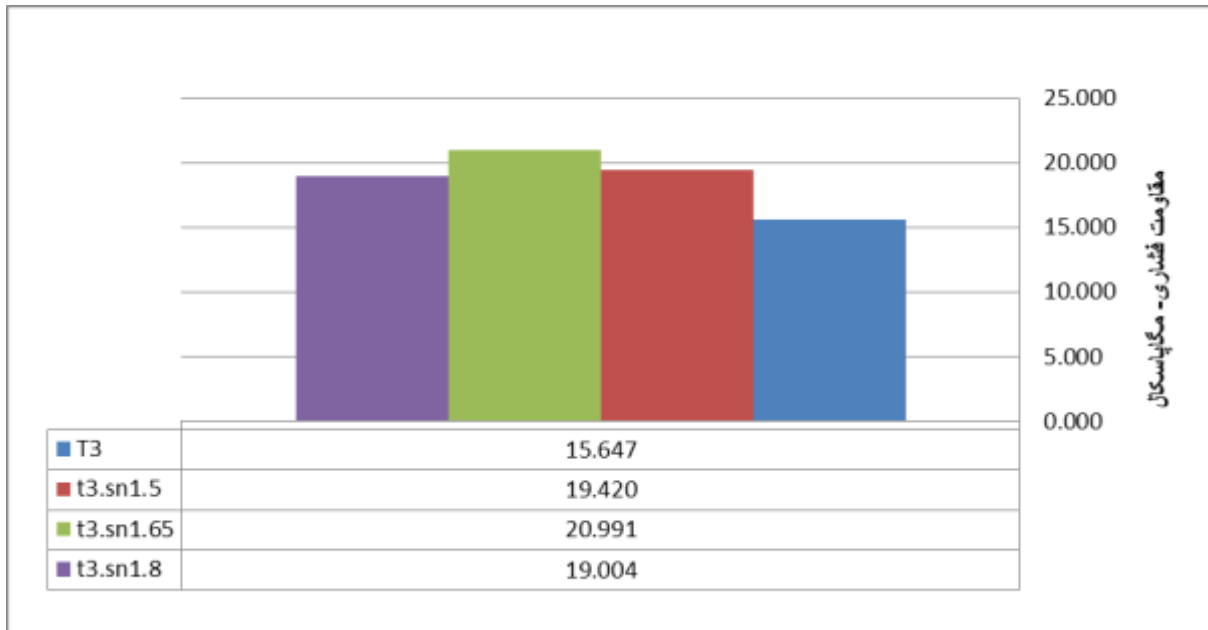
در طرح ۲ نیز نتایج درصدهای متفاوت فوق روان کننده را با هم مقایسه کردیم به این صورت که نمودار آبی نشان دهنده طرح شاهد ۲ (فاقد فوق روان کننده) با میانگین مقاومت فشاری ۱۴/۱۹۶ مگاپاسکال می باشد؛ نمودار قرمز نشان دهنده طرح ۲ با افزودن ۱/۵٪ فوق روان کننده با مقاومت فشاری ۱۹/۵۹۱ مگاپاسکال، نمودار سبز نشان دهنده طرح ۲ با افزودن ۱/۶۵٪ فوق روان کننده با مقاومت فشاری ۲۱/۳۳۸ مگاپاسکال و در آخر هم نمودار بنفش نشان دهنده طرح ۲ با ۱/۸٪ فوق روان کننده با مقاومت فشاری ۲۳/۰۴۰ مگاپاسکال می باشد. در شکل ۴ نمودارها و میانگین مقاومت فشاری آنها نشان داده شده است.



شکل ۴ - مقایسه میانگین مقاومت فشاری با درصدهای متفاوت فوق روان کننده در طرح ۲

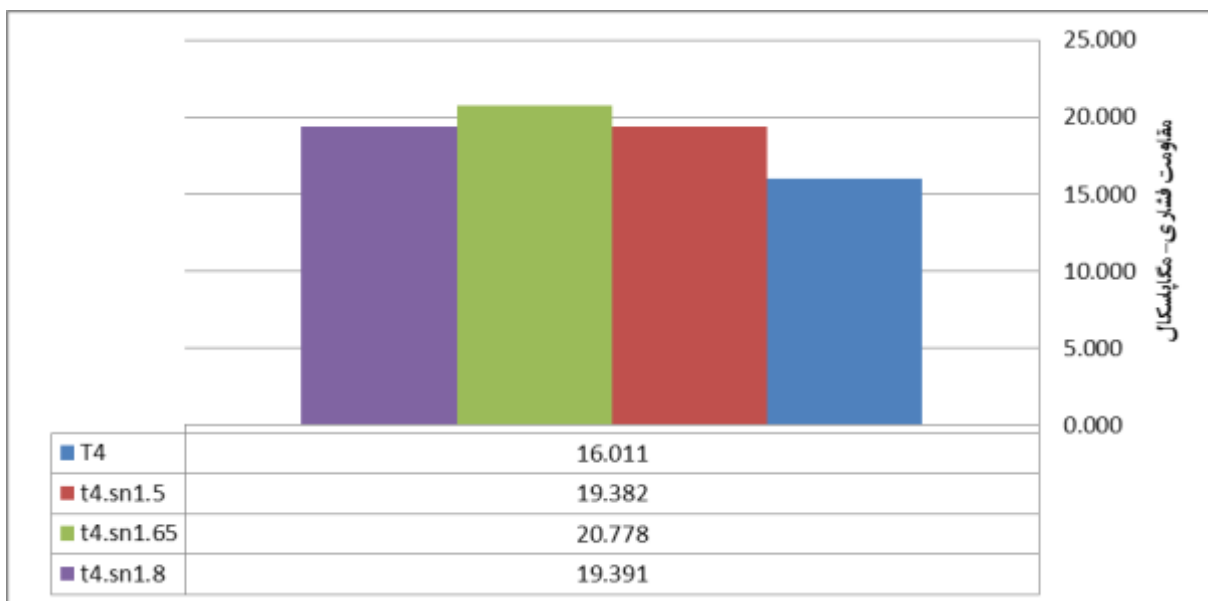
در طرح ۱ نتایج درصدهای متفاوت فوق روان کننده را با هم مقایسه کردیم به این صورت که نمودار آبی نشان دهنده طرح شاهد ۱ (فاقد فوق روان کننده) با میانگین مقاومت فشاری ۱۳/۳۵۸ مگاپاسکال می باشد؛ نمودار قرمز نشان دهنده طرح ۱ با افزودن ۱/۵٪ فوق روان کننده با مقاومت فشاری ۲۰/۴۰۹ مگاپاسکال

مگاپاسکال، نمودار سبز نشان‌دهنده‌ی طرح ۱ با افزودن ۱/۶۵٪ فوق روان کننده با مقاومت فشاری ۲۲/۸۲۲ مگاپاسکال و در آخر هم نمودار بنفش نشان‌دهنده‌ی طرح ۱ با ۱/۸٪ فوق رون کننده با مقاومت فشاری ۲۳/۲۶۷ مگاپاسکال می‌باشد. در شکل ۳ نمودارها و میانگین مقاومت فشاری آن‌ها نشان داده شده است.
میانگین مقاومت فشاری های طرح ۳ با درصد های متفاوت فوق روان کننده و نمونه شاهد (فاقد فوق روان کننده) در شکل ۵ قابل ملاحظه می‌باشد.



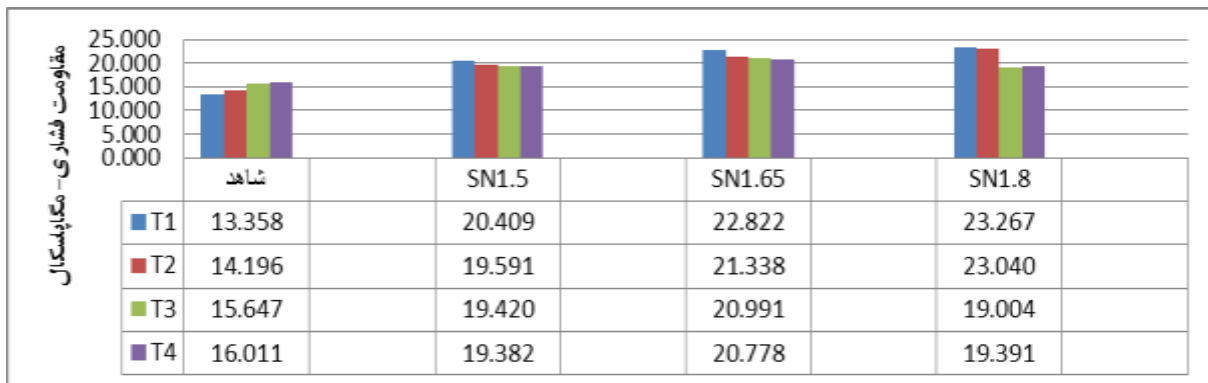
شکل ۵ - مقایسه میانگین مقاومت فشاری با درصد های متفاوت فوق روان کننده در طرح ۳

میانگین مقاومت فشاری های طرح ۴ با درصد های متفاوت فوق روان کننده و نمونه شاهد (فاقد فوق روان کننده) در شکل ۶ آورده شده است.



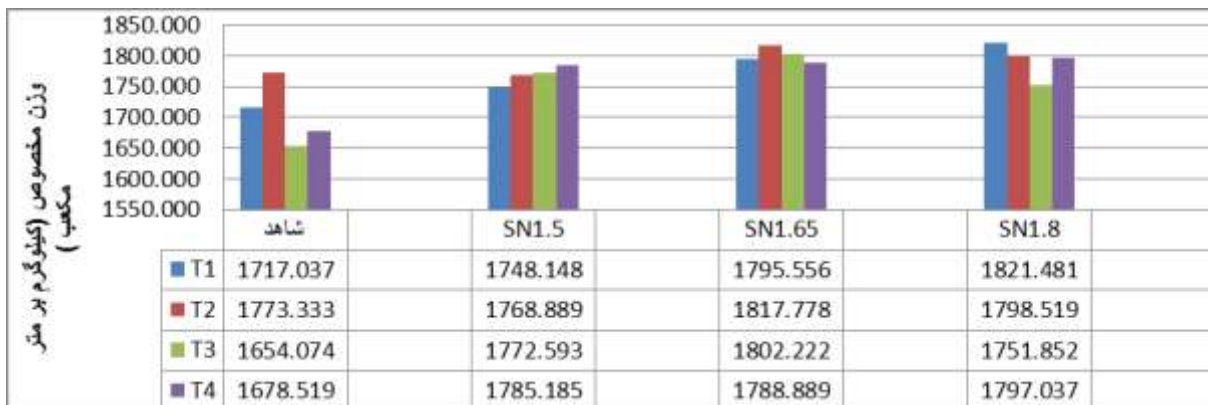
شکل ۶ - مقایسه میانگین مقاومت فشاری با درصد های متفاوت فوق روان کننده در طرح ۴

مقاومت فشاری‌های به دست آمده در هر ۴ طرح را با هم مقایسه کردیم و در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷- مقایسه مقاومت فشاری

وزن مخصوص آزمونه‌ها را در هر ۴ طرح با هم مقایسه کردیم و در شکل ۸ نشان داده‌ایم.



شکل ۸ - مقایسه وزن مخصوص

۵. نتیجه‌گیری و ارائه بهترین طرح اختلاط:

نتایج نشان داده شده حاکی از آن است که بالاترین مقاومت فشاری نسبت به تمامی نمونه‌ها و طرح‌ها مربوط به طرح ۱ با فوق روان کننده SN1/8% با مقاومت ۲۳ مگاپاسکال بوده است و در طرح ۳ و ۴ نسبت به طرح شاهد کاهش مقاومت و در طرح ۲ افزایش مقاومت داشته‌ایم؛ با فوق روان کننده SN1/5% بهترین مقاومت فشاری در طرح ۱ با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال بوده است و در تمامی طرح‌ها نسبت به طرح شاهد افزایش مقاومت داشته‌ایم. با فوق روان کننده SN1/65% بهترین مقاومت فشاری مربوط به طرح یک و با مقاومت ۲۲/۸ مگاپاسکال بوده است و همه‌ی طرح‌ها ولی به میزان کمتری افزایش مقاومت داشته‌اند.

۶. قدردانی

لازم میدانم از شرکت مهندسی مشاور سیوان سازان جنوب آزما و ساوانا بتن شیراز که همکاری لازم جهت انجام آزمایشات را مبذول فرمودند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

۷. مراجع

- [۱] نوروزی، م.، رحیمی، م.، ثابتی، م. (۱۳۹۶). "امکان سنجی، تولید و بررسی بتن سبک سازه‌ای با استفاده از مصالح (لیکا و ماسه) با مقاومت فشاری حدود ۴۴ مگاپاسکال". دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و مدیریت بحران.
- [۲] مقصودی، ا. (۱۳۹۲). "بررسی کلی بتن هبلکس". نشریه مهندسی عمران.
- [۳] حقیقی، ف.، طاهری امیری، م.، مسعودنژاد، م. (۱۳۹۳). "بررسی و مقایسه اقتصادی استفاده از بتن معمولی و بتن سبک در پروژه‌های ساختمانی". اولین کنگره ملی مهندسی ساخت و ارزیابی پروژه‌های عمرانی.
- [۴] کریمی نیا، م.، پیروی، م. (۱۳۹۱). "مقایسه تاثیر استفاده از روان کننده با پایه‌های پلی کربوکسیلات و نفتالین بر روی خواص مکانیکی بتن‌های سبک تولیدی با سنگدانه اسکوریا". چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران.
- [۵] مستوفی نژاد، د.، فرحب، ف. (۱۳۸۲). "بررسی خواص مکانیکی بتن سبک سازه‌ای با استفاده از مصالح موجود در ایران و میکروسلیس". ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران.
- [۶] بیات کشکولی، س.، شاه بیگ، ش.، تسنیمی، ع. (۱۳۹۰). "خصوصیات مکانیکی بتن سبک دارای نانوسلیس". اولین کنفرانس ملی بتن سبک.
- [۷] برومندزاده، ع.، توفیقی، م.، جمشیدی، م. (۱۳۹۵). "بررسی آزمایشگاهی اثر الیاف شیشه، پلی اتیلن و پلی پروپیلین بر بتن سبک سازه‌ای با مقاومت بالا". هشتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران.
- [8] Chai, L., Shafigh, P., Mahmud, H., Nomeli, M. (2017). "A comparison study of the fresh and hardened properties of normal weight and lightweight aggregate concretes". Journal of Building Engineering.
- [9] Rashad, A. (2018). "Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An overview". Construction and Building Materials, vol.170, pp 757-775.
- [۱۰] نادری، م.، بنیادی، ع. (۱۳۹۰). "مقایسه مقاومت‌های سطحی بتن سبک، بتن معمولی و بتن خود متراکم با به کارگیری روش پیچش". اولین کنفرانس ملی بتن سبک.
- [۱۱] درویش رحیمی، ک.، قایدیان، د. (۱۳۹۵). "تاثیر فاصله حمل بتن در کاهش مقاومت فشاری با فوق روان کننده‌های متفاوت". چهارمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری.