

ارزیابی رفتار مقاومت فشاری بتن سبک سازه‌ای متشکل از پرلیت، لیکا، الیاف فلزی و میکروسیلیس

حسین شاددل*

کارشناس ارشد سازه، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

میلاذ خیری قوجه بیگلو

کارشناس ارشد سازه هیدرولیکی، واحد پارس‌آباد مغان، دانشگاه آزاد اسلامی، پارس‌آباد، ایران

عبدالله عنایتی تکه

کارشناس ارشد سازه، واحد گرمی، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمی، ایران

h.shaddel1234@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۶/۲۰

چکیده:

با توجه به این که وزن سازه باعث افزایش نیروهای وارده به خصوص نیروهای جانبی مثل زلزله می‌باشد، پس به این دلیل هر قدر بتوانیم در مسیر سبک سازی ساختمان گام برداریم همان قدر توانسته‌ایم در برابر نیروی زلزله وارد بر سازه مقاوم باشیم. از آنجا که یکی از روش‌های تولید بتن سبک استفاده از دانه‌های سبک می‌باشد و با توجه به نقش این دانه‌ها در مقاومت بتن، ارائه طرح اختلاط بهینه برای بتن‌های سبکدانه اهمیت دارد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها بر روی ۱۴۰ نمونه، نشان از دستیابی به بتن سبک سازه‌ای طبق استاندارد ASTM C330 که حداکثر وزن مخصوص بتن سبک سازه‌ای را به 1850 kg/m^3 و حداقل مقاومت فشاری بتن سبک سازه‌ای را به 170 kg/cm^3 محدود می‌کند نشان می‌دهد. می‌توان با استفاده از پوزولان‌های با ذرات ریزتر و با تغییر در طرح اختلاط، وزن مخصوص و مقاومت فشاری نمونه‌ها را به طور صددرصد به حد تعریف شده طبق استاندارد ASTM C330 رساند.

کلید واژگان: پوزولان، بتن سبک، مقاومت فشاری، طرح اختلاط.

۱- مقدمه

امروزه از پوزولان‌ها در بتن به شکل گسترده‌ای استفاده می‌شود. پوزولان در واقع ماده‌ای طبیعی یا مصنوعی است که حاوی سیلیس فعال می‌باشد. مهم‌ترین مواد پوزولانی مورد استفاده عبارتند از دوده سیلیسی (Silica fume) و خاکستر بادی (Fly ash) که به صورت عمده و رده بندی شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این مواد بیشتر برای ارتقای خصوصیات مقاومتی و دوام بتن استفاده می‌شود. به خاطر ریزتر بودن اندازه ذرات دوده سیلیسی، این ماده نسبت به خاکستر بادی واکنش زایی بیشتری دارد. محققان بسیاری اثر استفاده از سبکدانه‌های طبیعی و مصنوعی و پوزولان‌ها را در خصوصیات بتن بررسی کرده‌اند. اما با تنوع نسبتاً زیاد سبکدانه‌ها و اینکه اکثر تحقیقات صورت پذیرفته نشان از عدم دستیابی مطمئن به بتن‌های سبکدانه سازه‌ای با استفاده از سبک دانه‌های موجود داخل کشور دارند، نیاز به تحقیق بیشتر در مورد بتن‌های سبکدانه سازه‌ای و تاثیر پوزولان‌ها بر این بتن‌ها احساس می‌شود. به همین دلیل در این تحقیق به تاثیر مقایسه ای میکروسیلیس و خاکستر بادی با استفاده از سبکدانه‌های پرلیت، لیکا و اسکوریا در تهیه بتن سبک سازه‌ای پرداخته شد.

واکنش‌های بین سیمان و آب، دلیل اولیه گیرش بتن است و بنا به دلایل مختلف از جمله وجود سنگدانه‌ها، زمان گیرش بتن با زمان گیرش سیمانی که بتن با آن ساخته می‌شود، هماهنگی ندارد. پدیده‌های سفت شدن، گیرش و سخت شدن، نمودهای فیزیکی واکنش‌های پیش رونده هیدراسیون سیمان است (مهتا، ۱۹۹۳) [۱].

اگرچه پدیده گیرش مرتبط با خاصیت بتن تازه است لیکن در خواص بتن سخت شده از جمله مقاومت و دوام نمی‌تواند بی‌تاثیر باشد. بتن معمولی، که از سیمان پرتلند و سنگدانه‌های طبیعی ساخته می‌شود، دارای نقاط وضعی است که تلاش برای کاهش آنها، منجر به نوآوری در ساخت بتن‌های با مقاومت بالا شده است. امروزه استفاده از بتن‌های با مقاومت زیاد در نقاط متفاوت جهان به طور گسترده‌ای افزایش یافته است. برای بالا بردن خواص مهندسی این بتن‌ها استفاده از مواد معدنی متفاوت رایج گشته است. برای افزایش نسبت مقاومت به وزن بتن، دو راه حل وجود دارد: ۱- استفاده از مصالح با چگالی کم ۲- افزایش مقاومت. استفاده از روش اول در ۷۰ سال گذشته با موفقیت همراه بوده است، به طوری که استفاده از سنگدانه‌های سبک موجب ساخت بتن

سبک با وزن مخصوص 1600 kg/m^3 و مقاومت فشاری ۲۵ تا ۴۰ مگاپاسکال شده است و در ساخت آن‌ها از مواد کاهنده آب (روان‌کننده‌ها یا فوق روان‌کننده‌ها) و پوزولان‌ها استفاده می‌شود. امروزه فعالیت برای افزایش نسبت مقاومت به وزن بتن، به موارد فوق محدود نمی‌شود و هنوز تلاش برای ساخت سنگدانه‌های سبک با مقاومت زیاد به منظور به دست آوردن بتن‌های با وزن کم و مقاومت زیاد به طور همزمان ادامه دارد. از فوق روان‌کننده‌ها، نه تنها به منظور افزایش مقاومت بتن، بلکه از آن برای تولید بتن روان در ساخت بتن‌های حجیم و پر فولاد نیز استفاده می‌شود. استفاده از فوق روان‌کننده‌ها علاوه بر کاهش نسبت آب به سیمان، موجب آن می‌شود که جداسازی سنگدانه‌ها نیز اتفاق نیفتد. این بتن‌ها که دارای کارایی زیادی هستند و بتن روان نیز نامیده می‌شوند، حتی در هوای گرم نیز به وسایل مکانیکی برای تراکم نیاز ندارند. استفاده از فوق‌روان‌کننده‌ها سبب شده است که بتن، کاربردهای جدیدی پیدا کند (رمضان پور، ۱۳۶۹) [۲]. نوس ۲ و همکاران (۲۰۱۵) در رابطه با ارزیابی مقاومت بتن کربناته از طریق اندازه‌گیری نفوذپذیری هوا و در مورد طرحی بر پایه اجرا و تعیین بتن مقاوم که موثرترین راه بوده و استفاده از آن افزایش یافته است بررسی‌هایی انجام داده‌اند. در هر صورت جهت دستیابی به سختی، مقاومت با مشخصات مربوطه بایستی در محل ارزیابی گردد. این بررسی می‌تواند اصلاحات مفید واقع بینانه‌ای جهت تخمین خدمت رسانی سازه‌های بتنی جدید ساخته شده را ارائه دهد [۳].

فرخزاد و همکاران (۲۰۱۶) در مورد محدوده دانه‌بندی مناسب برای ساخت بتن خودتراکم با استفاده از پارامترهای طبقه بندی خاک، مقاله‌ای ارائه نموده‌اند. بدین مضمون که امروزه از بتن خودتراکم به دلیل دارا بودن خواص تازه و سخت شده مناسب، به صورت انبوه در پروژه‌های عمرانی استفاده می‌شود [۴]. بر اساس مطالعات صورت گرفته، اضافه کردن سرباره باعث کاهش نرخ تولید گرما می‌گردد. مادامی که هیدروکسید کلسیم حاصل از واکنش‌های سیمانی به مقدار کافی در محیط حضور داشته باشد، سرباره می‌تواند به‌طور مستقل وارد واکنش شده، اما در درصد‌های جایگزینی بالای سرباره، واکنش‌های پوزولانی به دلیل کمبود هیدروکسید کلسیم به حالت سکون خواهند رسید (گبرزیابیهر^۳ و همکاران، ۲۰۱۴) [۵]. نیلی و صالحی (۲۰۱۰) تحقیقی آزمایشگاهی بر روی جایگزینی درصد‌های مختلف مواد مکمل سیمانی و توسعه حرارت هیدراسیون انجام داده است. در

³ Gebregziabihier

¹ Mehta

² Neves

عملیات اجرایی از بیل انتقال، در قالب ریختن، متراکم کردن و پرداخت سطحی به طور کامل موثر است. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که زمان‌های گیرش بتن به نسبت آب به مواد سیمانی، دمای اولیه بتن و دمای عمل آوری آن، مقدار، منبع و نوع افزودنی و همین گونه ترکیبات سیمان وابسته است (کرومل^۱؛ ایرن^۲ و همکاران، ۱۹۹۰) [۱۱] و [۱۲]. توافق عمومی بر این است که خاکستر بادی و سرباره زمان‌های گیرش بتن را به تأخیر می‌اندازد که با درصد‌های جایگزین بیشتر این تأخیر طولانی‌تر می‌شود (سیواسوندرام^۳، ۱۹۸۹) [۱۳]. میکروسیلیس به منظور تقویت مقاومت‌های مکانیکی، تراکم، افزایش دوام در برابر سیکل‌های یخ‌بندان و انجماد و کاهش نفوذپذیری به بتن در حال ساخت افزوده می‌شود. این ماده علاوه بر آن که برای ساخت بتن‌های با مقاومت بالا، آب بند، نفوذناپذیر و پردوام و ملات‌های ویژه کاربرد دارد، در بتن‌هایی که کاهش ترک‌های پلاستیک و ارتقاء نسبی مقاومت‌های کششی و خمشی بتن مد نظر است توصیه می‌گردد. همچنین در شرایطی که بتن در معرض ضربه و بارهای متناوب دینامیکی است استفاده از میکروسیلیس توصیه می‌شود. میکروسیلیس نه تنها با بالا بردن مقاومت بتن در برابر عوامل مخرب فیزیکی و شیمیایی محیطی و حتی عوامل مخرب داخلی بتن، عمر سرویس‌دهی سازه را به حداکثر می‌رساند، بلکه از آسیب‌های احتمالی دراز مدت ناشی از عدم دقت در کیورینگ مناسب طی ساعات اولیه پس از ریختن بتن تا حدود زیادی می‌کاهد. خاکستر بادی یک محصول فرعی مهم از نیروگاه‌های سوخت زغال سنگ می‌باشد که به خوبی به عنوان یک ماده پوزولانی یا به عنوان یک جزء از مخلوط سیمان پرتلند یا به عنوان ماده افزودنی معدنی در بتن استفاده می‌شود. در بعد تجاری دوزهای خاکستر بادی به ۱۵-۲۰٪ از جرم کل مواد سیمانی محدود می‌شود. معمولاً این مقدار از خاکستر بادی دارای اثرات مفیدی در اقتصاد، کارآمدی و هزینه بتن می‌باشد اما برای افزایش دوام در مقابل حمله سولفونات، گسترش سیلیس قلیایی و ترک‌های حرارتی کافی نیست. برای این منظور مقادیر بزرگتر از خاکستر بادی ۲۵-۳۵٪ استفاده می‌شود. اگرچه ۲۵-۳۵٪ از جرم مواد سیمانی بسیار بالاتر از ۱۵-۲۰٪ است اما به اندازه کافی برای طبقه بندی مخلوط به عنوان بتن حجیم کافی نمی‌باشد. با توجه به تحقیقات انجام شده با جایگزینی ۵۰٪ یا بیشتر خاکستر بادی با سیمان، تولید یک مخلوط بتن با کارایی بالا و

بررسی تأثیر نسبت آب به سیمان بر حرارتزایی بتن، مشاهده گردید که کاهش نسبت آب به سیمان سبب کاهش حرارتزایی گردیده‌است، دلیل اصلی این مسئله کاهش میزان آب لازم جهت هیدراتاسیون مصالح سیمانی است. همچنین در بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶ خاکستر بادی هم از حیث حرارتزایی در پائین‌ترین سطح می‌باشد و هم از لحاظ مقاومتی از میزان قابل قبولی برخوردار است. جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن، موجب ترک خوردگی آن، به خصوص در کفها و اعضای نازک سازه‌ای می‌شود [۶]. امروزه برای جبران این ضعف، از بتن بدون جمع شدگی استفاده می‌شود. در ۲۰ سال اخیر، از سیمان منبسط شونده و یا مواد افزودنی منبسط شونده، برای ساخت بتن جبران کننده جمع شدگی استفاده می‌شود (قدسی، ۱۳۸۴) [۷]. خاکستر بادی یک محصول فرعی مهم از نیروگاه‌های سوخت زغال سنگ می‌باشد که به خوبی به عنوان یک ماده پوزولانی یا به عنوان یک جزء از مخلوط سیمان پرتلند یا به عنوان ماده افزودنی معدنی در بتن استفاده می‌شود (یدالهی، ۱۳۸۷) [۸]. در بعد تجاری دوزهای خاکستر بادی به ۱۵-۲۰٪ از جرم کل مواد سیمانی محدود می‌شود. معمولاً این مقدار از خاکستر بادی دارای اثرات مفیدی در اقتصاد، کارآمدی و هزینه بتن می‌باشد اما برای افزایش دوام در مقابل حمله سولفونات، گسترش سیلیس قلیایی و ترک‌های حرارتی کافی نیست. برای این منظور مقادیر بزرگتر از خاکستر بادی ۲۵-۳۵٪ استفاده می‌شود. اگرچه ۲۵-۳۵٪ از جرم مواد سیمانی بسیار بالاتر از ۱۵-۲۰٪ است اما به اندازه کافی برای طبقه بندی مخلوط به عنوان بتن حجیم کافی نمی‌باشد. با توجه به تحقیقات انجام شده با جایگزینی ۵۰٪ یا بیشتر خاکستر بادی با سیمان، تولید یک مخلوط بتن با کارایی بالا و پایداری بیشتر امکان پذیر می‌باشد که نشان دهنده کارایی بالا و استحکام فوق العاده و دوام بسیار بالا خواهد بود (زندى، ۱۳۹۰) [۹]. اندازه‌گیری جمع شدگی خود به خودی بتن یکی از مسایل بسیار مهم در بتن‌های با مقاومت بالا است که پس از گیرش اولیه بتن آغاز می‌شود. جمع شدگی خود به خودی پدیده‌ای است که به علت هیدراتاسیون مصالح ساختمانی و مصرف شدن رطوبت داخل بتن و در نتیجه خشک شدگی خود به خودی آن بوجود می‌آید. در بتن‌های با مقاومت بالا مقدار این جمع شدگی به شدت افزایش می‌یابد (نیلفروشان، ۱۳۸۵) [۱۰]. دانستن زمان گیرش اولیه و نهایی بتن‌ها از نظر اجرایی بسیار مهم است. چرا که در برنامه‌ی مرحله‌های متفاوت

³ Sivasundaram

¹ Kruml

² Eren

بایداری بیشتر امکان پذیر می باشد که نشان دهنده کارایی بالا و استحکام فوق العاده و دوام بسیار بالا خواهد بود.

۲- شرح آزمایش

برنامه آزمایشگاهی شامل ۷ طرح اختلاط اصلی می باشد. بدین صورت که مقدار مصالح لیکا، اسکوریا، سیمان، پلیمر و آب در طرح ها ثابت و در مقابل مقدار مصالح میکروسیلیس، خاکستریادی، پرلیت، ماسه متغییر بوده و در هر طرح به مقدار ۲۵ تا ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب روند کاهش و افزایش مصالح می باشد. از هر اختلاط ۱۰ نمونه مکعبی و ۵ نمونه استوانه ای جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری و ۵ نمونه استوانه ای دیگر جهت انجام آزمایش مقاومت کششی به روش غیر مستقیم (برزبلی) تهیه شد و از کل نمونه ها به مدت های ۴۲ و ۹۰ روز در داخل آب مراقبت و نگهداری شده است. به طوری که نمونه های مکعبی در سن ۴۲ و ۹۰ روزه و نمونه های استوانه ای در سن ۴۲ روزه مورد آزمایش مقاومت قرار گرفته اند. کل جوابهای آزمایش مقاومت شامل ۱۴۰ مورد می باشد. برای انجام آزمایش در مرحله اول، پرلیت را مطابق با مقدار پیش بینی شده برای استفاده در طرح، با ترازوی دیجیتالی وزن نموده و داخل یک ظرف میریزیم، سپس آب را بر روی پرلیت به اندازه ای میریزیم که کاملاً درون آب به صورت شناور باشد تا کاملاً اشباع شود، پس از ۲۴ ساعت ماندن در آب پرلیت را بر روی الک نمره ۱۰۰ قرار میدهم تا آب اضافی خارج شود، سپس مقادیر مورد نیاز لیکا، میکروسیلیس، اسکوریا، الیاف فلزی، تالک، ماسه، آب، سیمان، خاکستر بادی، پلیمر و فوق روان کننده برای اختلاط را با ترازو اندازه می گیریم.

قبل از شروع به انجام آزمایش درون قالب ها را تمیز می کنیم تا هیچ گونه بتن اضافی از آزمایشات قبلی درون قالب ها نمانده باشد. سپس درون قالب ها را جهت جلوگیری از چسبندگی بتن به دیواره قالب روغن کاری می نمایم بعد از این کار شروع به مخلوط کردن مواد و مصالح و تهیه بتن طبق طرح اختلاط می کنیم. بدین صورت که در ابتدا بر روی

الیاف فلزی آب میریزیم تا خوب به هم خورده و پخش شود سپس لیکا، میکروسیلیس، اسکوریا، الیاف فلزی، تالک، ماسه، سیمان، خاکستریادی را درون میکسر ریخته و میکسر را روشن می کنیم تا چند دور بچرخد و مصالح با همدیگر خوب مخلوط شود، آب را کم کم به مخلوط اضافه می کنیم و همراه با این کار پلیمر مورد استفاده که مخلوطی از $\frac{1}{3}$ چسب بتن و $\frac{1}{3}$ پلیمر پایه آب می باشد را با پرلیت اشباع شده مخلوط نموده و خوب هم میزنیم پلیمر و پرلیت و فوق روان کننده را به میکسر میریزیم تا مواد به خوبی مخلوط شوند. پس از آماده شدن بتن آزمایش اسلامپ را انجام می دهیم و آب را تا حدی به مخلوط اضافه می کنیم که بتن اسلامپ ۳ سانتی متر را داشته باشد. در مرحله بعد بتن را درون قالبهای مکعبی $15 \times 15 \times 15$ که قبلاً تمیز و روغن کاری شده اند میریزیم و بر روی دستگاه ویبره میزی در حدود ۲ الی ۳ ثانیه قرار می دهیم بعد از این کار سطح نمونه ها را صاف و صیقلی می کنیم و در این حالت نمونه ها را به مدت ۲۴ ساعت در آزمایشگاه نگه می داریم، سپس نمونه ها را از قالب ها بیرون آورده و وزن کرده و به مدت ۴۲ روز درون آب در شرایط آزمایشگاهی عمل آوری و نگهداری می کنیم. تعدادی از نمونه ها در سن ۲۸ روزه و تعدادی دیگر در سن ۴۲ روزه با دستگاه بتن شکن مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفته و نتیجه مقاومت حاصله از نمونه ها ثبت شده اند. لازم به ذکر است که نمونه ها ۲۴ ساعت قبل از آزمایش مقاومت از آب بیرون آورده شده تا آب اضافی سطح نمونه در حالت طبیعی خشک شده تا مقاومت حاصله به درستی تعیین گردد. برنامه آزمایشگاهی شامل ۷ طرح اختلاط اصلی می باشد. بدین صورت که مقدار مصالح لیکا، اسکوریا، الیاف فلزی، سیمان، پلیمر و آب در طرح ها ثابت و در مقابل مقدار مصالح میکروسیلیس، خاکستریادی، پرلیت، ماسه متغییر بوده است. کل جوابهای آزمایش مقاومت شامل ۱۴۰ مورد می باشد. مشخصات و نسبت های حجمی طرح های اختلاط در جدول زیر ارائه شده است.

جدول (۱)- مقدار نسبت‌های حجمی هفت طرح اختلاط

مقدار الیاف فلزی (kg/m ³)	مقدار سیمان (kg/m ³)	مقدار تالک (kg/m ³)	مقدار پلیمر (kg/m ³)	مقدار خاکستر بادی (kg/m ³)	مقدار میکروسیلیس (kg/m ³)	مقدار ماسه (kg/m ³)	مقدار آب (kg/m ³)	مقدار پرلیت (kg/m ³)	مقدار اسکوریا (kg/m ³)	مقدار لیکا (kg/m ³)	طرح اختلاط
۲۰	۴۵۰	۱۵	۲۰	۲۵	۱۰۰	۵۰	۲۲۵	۲۰۰	۲۷۰	۲۰۰	۱
۲۰	۴۵۰	۷۵	۲۰	۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۲۲۵	۱۵۰	۲۷۰	۲۰۰	۲
۲۰	۴۵۰	۶۰	۲۰	۵۰	۷۵	۱۵۰	۲۲۵	۱۰۰	۲۷۰	۲۰۰	۳
۲۰	۴۵۰	۵۰	۲۰	۷۵	۵۰	۱۷۵	۲۲۵	۷۵	۲۷۰	۲۰۰	۴
۲۰	۴۵۰	۴۰	۲۰	۷۵	۵۰	۲۰۰	۲۲۵	۵۰	۲۷۰	۲۰۰	۵
۲۰	۴۵۰	۲۵	۲۰	۱۰۰	۲۵	۲۲۵	۲۲۵	۲۵	۲۷۰	۲۰۰	۶
۲۰	۴۵۰	-	-	۱۰۰	۲۵	۲۵۰	۲۲۵	-	۲۷۰	۲۰۰	۷

جدول (۲)- مقدار نسبت‌های درصدی طرح‌های اختلاط

درصد الیاف فلزی	درصد سیمان	درصد تالک	درصد پلیمر	درصد خاکستر بادی	درصد میکروسیلیس س	درصد ماسه	درصد آب	درصد پرلیت	درصد اسکوریا	درصد لیکا	طرح اختلاط
۱/۵	۲۴/۵	۵	۱/۵	۱/۵	۵	۲/۵	۱۲	۱۰/۵	۲۰	۱۶	۱
۱/۶	۲۴/۴	۴	۱/۶	۱/۶	۴/۹	۵	۱۲/۳	۸	۲۰/۳	۱۶/۳	۲
۱/۶	۲۴/۵	۳/۳	۱/۶	۲/۵	۴	۸/۳	۱۲/۳	۵	۲۰/۵	۱۶/۴	۳
۱/۶	۲۴/۵	۲/۶	۱/۶	۴	۲/۵	۱۰	۱۲/۳	۴	۲۰/۵	۱۶/۴	۴
۱/۷	۲۵	۱/۷	۱/۷	۴	۲/۵	۱۰/۸	۱۲/۵	۲/۵	۲۰/۹	۱۶/۷	۵
۱/۷	۲۴/۷	۱/۷	۱/۷	۴/۸	۱/۷	۱۲/۴	۱۲/۴	۱/۷	۲۰/۷	۱۶/۵	۶
۱/۷	۲۵/۵	-	-	۵/۱	۱/۴	۱۴/۶	۱۲/۸	-	۲۱/۵	۱۷/۲	۷

جدول (۳)- مقدار مواد استفاده شده در طرح‌های اختلاط

مقدار الیاف فلزی (kg)	مقدار سیمان (kg)	مقدار تالک (kg)	مقدار پلیمر (kg)	مقدار خاکستر بادی (kg)	مقدار میکروسیلیس (kg)	مقدار ماسه (kg)	مقدار آب (kg)	مقدار پرلیت (kg)	مقدار اسکوریا (kg)	مقدار لیکا (kg)	طرح اختلاط
۱	۱۵	۳	۱	۱	۳	۱/۵	۷/۵	۶/۵	۱۲/۵	۱۰	۱
۱	۱۵	۲/۵	۱	۱	۳	۳	۷/۵	۵	۱۲/۵	۱۰	۲
۱	۱۵	۲	۱	۱/۵	۲/۵	۵	۷/۵	۳	۱۲/۵	۱۰	۳
۱	۱۵	۱/۵	۱	۲/۵	۱/۵	۶	۷/۵	۲/۵	۱۲/۵	۱۰	۴
۱	۱۵	۱	۱	۲/۵	۱/۵	۶/۵	۷/۵	۱/۵	۱۲/۵	۱۰	۵
۱	۱۵	۱	۱	۳	۱	۷/۵	۷/۵	۱	۱۲/۵	۱۰	۶
۱	۱۵	-	-	۳	۱	۸/۵	۷/۵	-	۱۲/۵	۱۰	۷

۳- نتایج

است که در جدول های ذکر شده علاوه بر مقاومت، مقدار آب استفاده شده در طرح، نسبت W/C، اسلامپ و وزن مخصوص بدست آمده از آزمایش نیز بیان شده است. در جدول ۱ مشخصات و نسبت های حجمی هفت طرح اختلاط ارائه شده است.

در ابتدا میانگین نتایج حاصل از مقاومت فشاری نمونه های مکعبی در سن های ۲۸ و ۴۲ روزه در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. لازم به ذکر

جدول(۴)- میانگین نتایج مقاومت فشاری نمونه های مکعبی در سن ۲۸ روزه

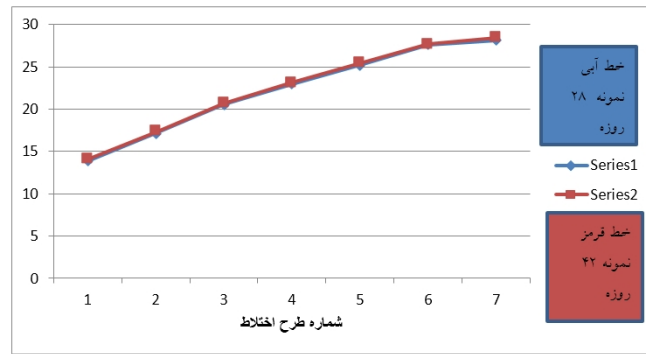
مقدار آب استفاده شده kg/m ³	w/c	اسلامپ CM	وزن مخصوص kg/m ³	مقاومت فشاری MPa
۲۲۵	۰/۵	۳	۱۳۸۵/۰۵	۱۴/۳۴
۲۳۰	۰/۵	۳	۱۴۳۲/۰۷	۱۷/۱۶
۲۳۸	۰/۵۱۱	۳	۱۴۸۳/۲	۲۱/۱۹
۲۴۰/۷۵	۰/۵۳۵	۳	۱۵۲۴/۵۸	۲۳/۶۴
۲۴۳	۰/۵۴	۳	۱۵۴۷/۷۵	۲۵/۸۸
۲۴۵/۵	۰/۵۴۶	۳	۱۵۷۵/۰۲	۲۵/۲۸
۲۵۰/۲	۰/۵۵۶	۳	۱۵۹۵/۴۲	۲۸/۹۲

جدول(۵)- میانگین نتایج مقاومت فشاری نمونه های مکعبی در سن ۴۲ روزه

مقدار آب استفاده شده kg/m ³	w/c	اسلامپ CM	وزن مخصوص kg/m ³	مقاومت فشاری MPa
۲۲۵	۰/۵	۳	۱۳۸۵/۰۸	۱۴/۵
۲۳۰	۰/۵۱۱	۳	۱۴۳۲/۵	۱۷/۶۸
۲۳۸	۰/۵۲۸	۳	۱۴۸۳/۵۲	۲۱/۳۲
۲۴۰/۷۵	۰/۵۳۵	۳	۱۵۲۴/۰۱	۲۳/۸۷
۲۴۵/۵	۰/۵۴	۳	۱۵۴۹/۱۴	۲۶/۱
۲۳۰	۰/۵۴۶	۳	۱۵۷۵/۸۲	۲۸/۴۵
۲۵۰/۲	۰/۵۵۶	۳	۱۵۹۵/۰۸	۲۹/۲۲

در نمودار ۱ مقاومت نمونه های مکعبی ۲۸ و ۴۲ روزه با همدیگر مقایسه شده است:

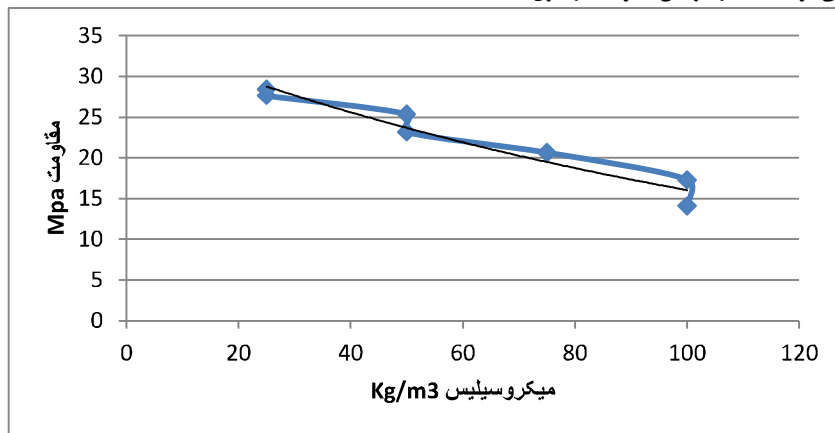
با توجه به ضرورت موضوع در ابتدا نمودارهای مربوط به مقاومت ترسیم و مورد بررسی قرار داده شده است.



نمودار ۱- مقایسه مقاومت نمونه‌های مکعبی ۲۸ و ۴۲ روزه

مدت زمان ۲۸ و ۴۲ روز با شرایط مراقبتی و نگهداری یکسان ناچیز بوده و مقاومت‌های یکسانی دارند. در نمودار ۲ تاثیر میکروسیلیس در روند کسب مقاومت نشان داده شده است.

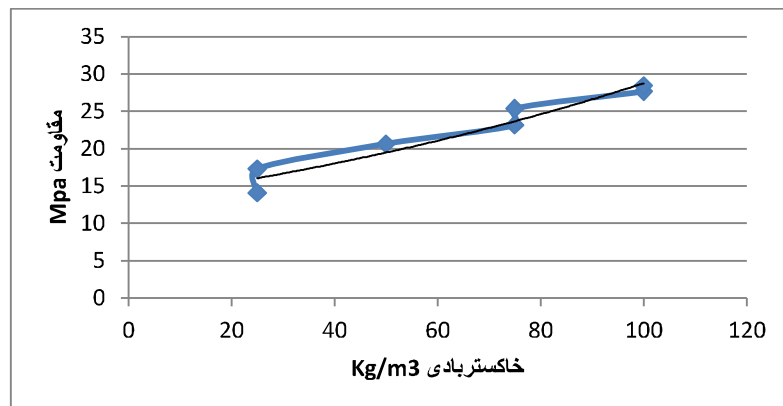
در بررسی نتایج مقدار مقاومت نمونه‌های ۲۸ و ۴۲ روزه تغییرات به صورت نمودارهای ۱ تا ۴ و شیب خط مقاومت برای نمونه‌های ۲۷ روزه و ۴۲ روزه به ترتیب $R^2 = 0.972$ و $R^2 = 0.975$ می‌باشد. با توجه به نمودار ۱ مشاهده می‌شود که مقدار افزایش مقاومت در طول گذشت



نمودار ۲- میکروسیلیس - مقاومت فشاری

گردیده است. مقاومت دانه‌های پرلیت از ماسه، و لیکا و اسکوریا از شن کمتر می‌باشد. حتی در بررسی سطح شکست نمونه‌ها تحت آزمایش مقاومت فشاری، عبور خط شکست از وسط دانه‌های پرلیت، اسکوریا و لیکا به وضوح دیده می‌شد در حالی که در بتن معمولی سطح شکست دانه‌های شن را دور می‌زند. در نمودار ۳ تاثیر خاکستریادی در روند کسب مقاومت نشان داده شده است.

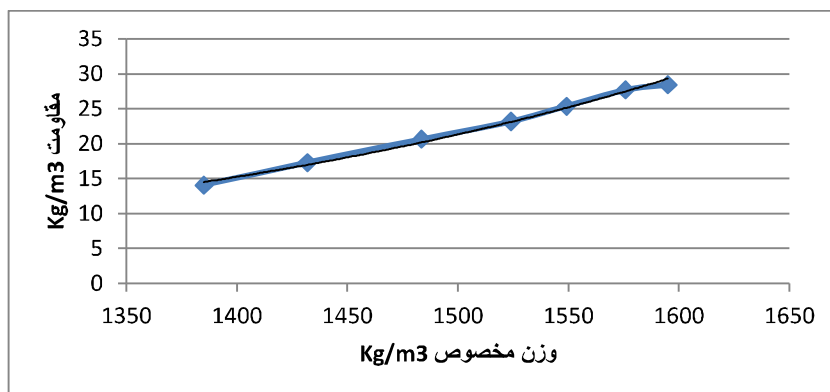
برای نتایج مقدار میکروسیلیس و مقاومت فشاری تغییرات به صورت نمودار (۲) و معادله خطی به صورت $M = 0.164 - 0.00033St$ و $R^2 = 0.95$ می‌باشد. کاهش روند مقاومت با افزایش مقدار میکروسیلیس در طرح‌ها در نمودار (۲)، تنها به دلیل افزایش میکروسیلیس نمی‌تواند باشد و با توجه به ثابت ماندن مقدار اسکوریا، الیاف فلزی، لیکا، سیمان، مقدار متغییر ماسه و پرلیت در طرح‌ها بر روند کسب مقاومت نمونه‌ها تاثیر بسزایی گذاشته چنانکه با افزایش مقدار میکروسیلیس مقدار ماسه کاهش یافته و پرلیت جایگزین ماسه



نمودار ۳- خاکستریادی- مقاومت فشاری

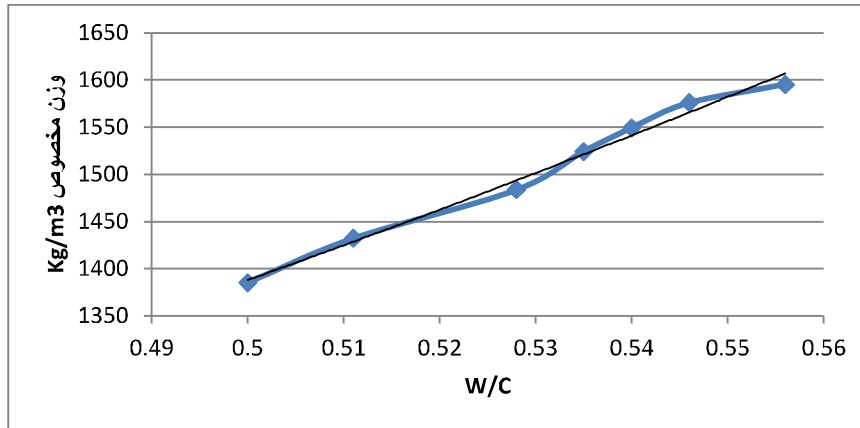
طرفی با ثابت ماندن مقدار اسکوریا، الیاف فلزی، لیکا، سیمان، مقدار متغییر ماسه و پرلیت در طرح‌ها بر روند کسب مقاومت نمونه‌ها تاثیر می‌گذارد چنانکه با افزایش مقدار خاکستریادی مقدار پرلیت کاهش یافته و ماسه جایگزین پرلیت گردیده است در نمودار ۴ وزن مخصوص و مقاومت مورد بررسی قرار گرفته است.

در بررسی نتایج مقدار خاکستر بادی و مقاومت فشاری تغییرات به صورت نمودار (۳) و معادله خطی به صورت $R^2 = 0/95$ و $St = 0/164F + 11/83$ می‌باشد. روند کسب مقاومت با افزایش مقدار خاکستریادی در طرح‌ها افزایش می‌یابد که بیانگر تاثیر مثبت این ماده در بتن هست و به بالا رفتن مقاومت بتن کمک می‌کند. از



نمودار ۴- وزن مخصوص- مقاومت فشاری

طرح اختلاط و کاهش مقدار ریزدانه های سبک وزن بتن حاصله افزایش می‌یابد و از آن جایی که مقاومت ماسه بیشتر از ریزدانه‌های سبک می‌باشد در نتیجه افزایش مقاومت مشاهده می‌شود.
نمودار ۵ تغییرات W/C و وزن مخصوص را نشان می‌دهد.



نمودار ۵ - W/C - وزن مخصوص

در بررسی نتایج وزن مخصوص و مقاومت فشاری، تغییرات به صورت نمودار (۴) و معادله خطی به صورت:
 $R^2 = 0.997$ و $St = 0.069 \times \gamma - 82/12$ می‌باشد. با افزایش مقدار وزن مخصوص، مقاومت فشاری نیز افزایش می‌یابد. با افزایش ماسه در

۴- نتیجه گیری

مقدار افزایش مقاومت در طول گذشت مدت زمان ۲۸ و ۴۲ روز با شرایط مراقبتی و نگهداری یکسان ناچیز بوده و مقاومت‌های یکسانی دارند. روند کسب مقاومت با افزایش مقدار میکروسیلیس در طرح‌ها کاهش می‌یابد، چون در اکثر آزمایشات این ماده عاملی برای بالا رفتن مقاومت بوده لذا با توجه به مقدار متغییر ماسه و پرلیت در طرح‌ها و ثابت ماندن سایر مصالح با افزایش مقدار میکروسیلیس مقدار ماسه کاهش یافته و پرلیت جایگزین ماسه گردیده است. مقاومت کمتر دانه‌های پرلیت از ماسه منجر به کاهش مقاومت می‌شود. حتی در بررسی سطح شکست نمونه‌های تحت آزمایش مقاومت فشاری، عبور خط شکست از وسط دانه‌های پرلیت، اسکوریا و لیکا به وضوح دیده می‌شد، در حالی که در بتن معمولی سطح شکست دانه‌های شن را دور می‌زند. روند کسب مقاومت با افزایش مقدار خاکستریادی در طرح‌ها افزایش می‌یابد که بیانگر تاثیر مثبت این ماده در بتن هست و به بالا رفتن مقاومت بتن کمک می‌کند. از طرفی با ثابت ماندن مقدار اسکوریا، لیکا، الیاف فلزی، سیمان. مقدار متغییر ماسه و پرلیت در طرح‌ها بر روند کسب مقاومت نمونه‌ها تاثیر می‌گذارد، چنانکه با افزایش مقدار خاکستریادی مقدار پرلیت کاهش یافته و ماسه جایگزین پرلیت گردیده است. با افزایش

برای نتایج نسبت آب به سیمان (W/C) و وزن مخصوص تغییرات به صورت نمودار (۵) بوده و معادله خطی به صورت: $W/C = 552/5 - 2879$ و $R^2 = 0.992$ می‌باشد.

با مشاهده نمودار مشخص می‌شود که با افزایش W/C ، وزن مخصوص هم افزایش می‌یابد که تنها به خاطر افزایش W/C نیست. کاهش میکروسیلیس و افزایش خاکستریادی و جایگزینی ماسه با پرلیت در هر مرحله از اختلاط می‌باشد. از آن جایی که پرلیت جذب آب بیشتری نسبت به ماسه دارد و همچنین میکروسیلیس جذب آب را افزایش داده و حضور خاکستریادی در بتن سبک باعث کاهش جذب آب می‌شود لذا انتظار می‌رفت که با بالا رفتن وزن مخصوص که ناشی از بیشتر شدن مقدار ماسه هست، W/C کاهش یابد. حال دلیل این که چرا نتیجه آزمایش عکس می‌باشد. باید یک نکته مهم در انجام آزمایش را به خاطر داشته باشیم که پرلیت قبل از مخلوط شدن با مصالح دیگر جهت تشکیل نمونه مورد آزمایش برای بتن به مدت ۲۴ ساعت غرقاب می‌شد و در حالت اشباع قرار می‌گرفت یعنی پرلیت آب مورد نیاز خود را از آب مصرفی در طرح جذب نمی‌کرد و در بین مصالح مصرفی در طرح اختلاط جذب آب پرلیت بیشتر از همه بوده و افزایش و کاهش پرلیت، آب مصرفی در اختلاط را مستقیماً تحت تاثیر قرار می‌دهد.

Construction and Building Materials, 82: 304–309.

4- Farokhzad R, Yaseri S, Entezarian MH, Yavari A, (2016). Investigating Effects of Sulfates on Compressive Strength of Different Types of Pozzolan Concrete and Measuring Penetration Rate by Ultrasound Tests at Different Ages, Journal of Concrete Research, 9, 1:113-130.

5- Gebregziabihier, B., Thomas, R., Peethamparan, S. "Very early-age reaction kinetics and microstructural development in alkali-activated slag," Cement and Concrete composite, Vol. 55: 91-102. 2014.

6- M. Nili; A. M. Salehi, Effect of Heat Curing in Core and Surface of Massive Concrete Structures on long term Strength of High Strength Concrete, construction and building materials, 2010, Vol. 37, pp. 406-424.

۷- قدسی، ع. بررسی خواص مکانیکی بتن‌های سبک لیکا و پامیس تفتان حاوی الیاف فولادی و پلی پروپیلن. پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران، ایران، ۱۳۸۴.

۸- یدالهی، م. تهیه بتن سبک مقاومت بالا و ارزیابی اقتصادی آن. پایان نامه کارشناسی ارشد علم و صنعت، تهران، ایران، ۱۳۸۷.

۹- زندی، ی. تکنولوژی پیشرفته بتن، تبریز: انتشارات فروزش، ۱۳۹۰.

۱۰- نیلفروشان، ا. خواص مکانیکی و مقاومت در برابر یخ کلراید بتن سبکدانه سازه ای. رساله ی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۵.

11-Kruml F. Setting process of concrete. In: Wierig H-J, editor. Properties of fresh concrete, Proceedings of the RILEM Colloquim, Hanover: Chapman & Hall, 1990. P.10-16.

12- Eren O, Brooks JJ, Celik T. Setting of fly ash and slag-cement concrete as affected by curing temperature. Cement, Concrete, and Aggregates 1995;17(1):11-7.

13- Sivasundaram V, Carett GG, Malhotra VM. Properties of concrete incorporating low quantity of cement and high volume of lowcalcium fly ash. In: Malhotra VM, editor. Proceedings of Third International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Trondheim, Norway, ACI SP 114, vol. 1. 1989. P.

W/C، وزن مخصوص هم افزایش می یابد. از آن جایی که پرلایت جذب آب بیشتری نسبت به ماسه دارد همچنین میکروسیلیس جذب آب را افزایش داده و حضور خاکسترزادی در بتن سبک باعث کاهش جذب آب می شود لذا انتظار می رفت که با بالا رفتن وزن مخصوص که ناشی از بیشتر شدن مقدار ماسه هست، W/C کاهش یابد. پرلایت آب مورد نیاز خود را از آب مصرفی در طرح جذب نمی کرد و در بین مصالح مصرفی در طرح اختلاط جذب آب پرلایت بیشتر از همه بوده و افزایش و کاهش پرلایت آب مصرفی در اختلاط را مستقیماً تحت تاثیر قرار می دهد. با افزایش مقدار نسبت W/C، مقاومت فشاری نیز افزایش می یابد. با جایگزینی ماسه به جای پرلایت و افزایش مقدار ماسه و ثابت بودن مقدار سیمان در طرح ها نسبت آب به سیمان با افزایش جذب آب ماسه، افزایش می یابد. در نتیجه ریزدانه های مقاوم تر، مقاومت بیشتر را حاصل می کنند. با افزایش مقدار وزن مخصوص، مقاومت نیز افزایش می یابد. وزن مخصوص یا وزن مصالح رابطه مستقیم داشته و با افزایش مقدار مصالح سنگی در واحد حجم بالا می رود، مقاومت بتن هم تابع مقاومت مصالح تشکیل دهنده آن است و با افزایش مقدار مصالح سنگی در واحد حجم بتن مقاومت افزایش می یابد. جذب آب بیشتر توسط مصالح و کاهش سیمان مصرفی در اختلاط بتن موجب افزایش نسبت آب به سیمان می شود و با افزایش مقدار مصالحی که آب بیشتری جذب می کنند همانند ماسه، وزن مخصوص افزایش می یابد. طبق نتایجی که از آزمایشات این تحقیق بدست آمده در حالت کلی می توان گفت که خاکسترزادی نقش موثرتری را نسبت به میکروسیلیس در افزایش مقاومت بتن سبک با طرح اختلاط ذکر شده، داشته و جذب آب بتن را بالا برده است و به لحاظ اقتصادی خاکسترزادی قیمتی برابر با ۰.۶ قیمت میکروسیلیس را دارد که مقرون به صرفه می باشد.

۵- مراجع

1- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M. "Concrete Structures, properties and materials, 'Englewood cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1993.

۲- رمضان پور، ع. ، شاه نظری، م. تکنولوژی بتن. تالیف نویل، ۱۳۶۹.

3-Neves R, Sena da Fonseca B, Branco F, de Brito J, Castela A, Montemor M.F, (2015), Assessing concrete carbonation resistance through air permeability measurements,

Behavior Pattern of Compressive and Tensile Strength of Structural Lightweight Concrete Consisting perlite, Leca and Steel Fiber

Hossein Shaddel*

Master of civil engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

Milad Kheyry ghojehbigli

Master of civil engineering, Parsabad Moghan Branch, Islamic Azad University, Parsabad, Iran

Abdollah Enayati Tekleh

Master of civil engineering, Germe Branch, Islamic Azad University, Germe, Iran

Abstract:

Considering that the weight of the structure increases the forces involved, especially the lateral forces such as earthquakes, so for this reason, as far as we can take the building path, we have been able to withstand earthquake resistance to the structure. Since, one of the commonly used methods for producing the light weight concrete, utilizes the light weight aggregates with significant role in the concrete strength, proposing the optimized mix-design for the light weight concrete appears to be important. The result of experiments on 140 samples are representative of achieving to structural lightweight concrete according to ASTM C330 Standard which limits the specific gravity of structural light weight concrete to 1850 kg/cm^3 and limits the minimum compressive strength of structural lightweight concrete to 170 kg/cm^3 . Specific gravity and compressive strength of samples could be reached to defined limitation according to ASTM C330 Standard by using the very little particles of pozzolans and by changing in mix design.

Keywords: Pozzolan, Structural lightweight concrete, Compressive strength, Mix design.