Archive of SID

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
میلاد خیری قوجه بیگلو
کارشناس ارشد سازه هیدرولیکی، واحد پارس‌آباد مغان، دانشگاه آزاد اسلامی، پارس‌آباد، ایران
عبدالله عنایتی تکله
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 $۱۸۵۰kg/m^3$ و حداقل مقاومت فشاری بتن سبک سازه‌ای را به $۱۷۰kg/cm^3$ 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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 خاکستربادی (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 خاکستربادی واکنش زایی بیشتری دارد. محققان بسیاری اثر استفاده از سبکدانه های طبیعی و مصنوعی و پوزولان‌ها را در خصوصیات بتن بررسی کرده‌اند. اما با تنوع نسبتا 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 خاکستربادی 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[1] 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 سنگدانه های طبیعی ساخته می‌شود، دارای نقاط ضعفی 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 سنگدانه های سبک موجب ساخت بتن سبک با وزن مخصوص ۱۶۰۰ kg/m^3 و مقاومت فشاری ۲۵ تا ۴۰ مگاپاسکال شده است و در ساخت آن ها 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 سنگدانه های 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 جداشدگی 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[2]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 اصلاعات مفید واقع بینانه ای جهت تخمین خدمت رسانی سازه های 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، مقاله ای 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 (گبرزیابیهر۳و 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

[1] Mehta
[2] Neves
[3] Gebregziabiher

www.SID.ir

Archive of SID

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 هیدراسیون 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 نیروگاه های 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 ۲۰-۱۵ ٪ 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 ترک های حرارتی کافی نیست. برای این منظور مقادیر بزرگتر از خاکستربادی ۳۵-۲۵٪ استفاده می‌شود. اگرچه ۳۵-۲۵٪ از جرم مواد سیمانی بسیار بالاتر از ۲۰-۱۵ ٪ 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 خاکستربادی 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 بالاخواهد بود (زندی، ۱۳۹۰) [۹]. اندازه‌گیری جمع‌شدگی خود به خودی بتن یکی از مسایل بسیار مهم در بتن‌های با مقاومت بالا است که پس از گیرش اولیه بتن اغاز می‌شود.جمع شدگی خود به خودی پدیده‌ای است که به علت هیدراتاسیون مصالح ساختمانی و مصرف شدن رطوبت داخل بتن و در نتیجه خشک‌شدگی خود به خودی ان بوجود می‌آید. در بتن‌های با مقاومت بالا مقدار این جمع‌شدگی به شدت افزایش می‌یابد (نیلفروشان، ۱۳۸۵) [۱۰]. دانستن زمان گیرش اولیه و نهایی بتن‌ها از نظر اجرایی بسیار مهم است. چرا که در برنامه‌یزی مرحله‌های متفاوت 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[1] ۱۹۹۰؛ ایرن[2]و همکاران، ۱۹۹۰) [۱۱ و ۱۲]. توافق عمومی بر این است که خاکستر بادی و سرباره زمان‌های گیرش بتن را به تاخیر می‌اندازد که با درصدهای جایگزین بیشتر این تاخیر طولانی‌تر می‌شود (سیواسوندرام[3] 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، نفوذناذیر 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 وحتی 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 نیروگاه های 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 ۲۰-۱۵٪ از جرم کل مواد سیمانی محدود می‌شود. معمولا 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 ترک های حرارتی کافی نیست. برای این منظور مقادیر بزرگتر از خاکستربادی ۳۵-۲۵٪ استفاده می‌شود. اگرچه ۳۵-۲۵٪ از جرم مواد سیمانی بسیار بالاتر از ۲۰-۱۵ ٪ 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 خاکستربادی با سیمان، تولید یک مخلوط بتن با کارایی بالا و

[1] Kruml
[2] Eren
[3] Sivasundaram

www.SID.ir

Archive of SID

پایداری بیشتر امکان‌پذیر می‌باشد که نشان‌دهنده کارایی بالا و استحکام فوق العاده و دوام بسیار بالا خواهد بود.

۲- شرح آزمایش

برنامه آزمایشگاهی شامل ۷ طرح اختلاط اصلی می‌باشد. بدین صورت که مقدار مصالح لیکا، اسکوریا، سیمان، پلیمر و آب در طرح ها ثابت و در مقابل مقدار مصالح میکروسیلیس، خاکستربادی، پرلیت، ماسه متغییر بوده و در هر طرح به مقدار ۲۵ تا ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب روند کاهش و افزایش مصالح می‌باشد. 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 (برزیلی) تهیه شد و از کل نمونه‌ها به مدت های ۴۲ و ۹۰ روز در داخل آب مراقبت و نگهداری شده است. به طوری که نمونه‌های مکعبی در سن ۴۲ و ۹۰ روزه و نمونه‌های استوانه‌ای در سن ۴۲ روزه مورد آزمایش مقاومت قرار گرفته اند. کل جوابهای آزمایش مقاومت شامل ۱۴۰ مورد می‌باشد. برای انجام آزمایش در مرحله اول، پرلیت را مطابق با مقدار پیش‌بینی شده برای استفاده در طرح، با ترازوی دیجیتالی وزن نموده و داخل یک ظرف میریزم، سپس آب را بر روی پرلیت به اندازه‌ای میریزیم که کاملا درون آب به صورت شناور باشد تا کاملا اشباع شود، پس از ۲۴ ساعت ماندن در آب پرلیت را بر روی الک نمره ۱۰۰ قرار میدهیم تا آب اضافی خارج شود، سپس مقادیر مورد نیاز لیکا، میکروسیلیس، اسکوریا، الیاف فلزی، تالک، ماسه، آب، سیمان، خاکستر بادی، پلیمرو فوق روان کننده برای اختلاط را با ترازو اندازه می‌گیریم.

قبل از شروع به انجام آزمایش درون قالب‌ها را تمیز می‌کنیم تا هیچ گونه بتن اضافی از آزمایشات قبلی درون قالب‌ها نمانده باشد. سپس درون قالب‌ها را جهت جلوگیری از چسبندگی بتن به دیواره قالب روغن کاری می‌نماییم بعد از این کار شروع به مخلوط کردن مواد و مصالح و تهیه بتن طبق طرح اختلاط می‌کنیم. 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، خاکستربادی را درون میکسر ریخته و میکسر را روشن می‌کنیم تا چند دور بچرخد و مصالح با همدیگر خوب مخلوط شود، آب را کم‌کم به مخلوط اضافه می‌کنیم و همراه با این کار پلیمر مورد استفاده که مخلوطی از $\frac{1}{3}$ چسب بتن و $\frac{1}{3}$ پلیمر پایه آب می‌باشد را با پرلیت اشباع شده مخلوط نموده و خوب هم میزنیم پلیمر و پرلیت و فوق روان‌کننده را به میکسر میریزیم تا مواد به خوبی مخلوط شوند. پس از آماده شدن بتن آزمایش اسلامپ را انجام می‌دهیم و آب را تا حدی به مخلوط اضافه می‌کنیم که بتن اسلامپ ۳ سانتی‌متر را داشته باشد. در مرحله بعد بتن را درون قالبهای مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ که قبلا تمیز و روغن کاری شده اند میریزم و بر روی دستگاه ویبره‌میزی در حدود ۲ الی ۳ ثانیه قرار می‌دهیم بعد از این کار سطح نمونه‌ها را صاف و صیقلی می‌کنیم و در این حالت نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در آزمایشگاه نگه می‌داریم، سپس نمونه‌ها را از قالب‌ها بیرون آورده و وزن کرده و به مدت ۴۲ روز درون آب در شرایط آزمایشگاهی عمل‌آوری و نگهداری میکنیم. تعدادی از نمونه‌ها در سن ۲۸ روزه و تعدادی دیگر در سن ۴۲ روزه با دستگاه بتن‌شکن مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفته و نتیجه مقاومت حاصله از نمونه‌ها ثبت شده‌اند. لازم به ذکر است که نمونه‌ها 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 می‌باشد. بدین‌صورت که مقدار مصالح لیکا، اسکوریا، الیاف‌فلزی، سیمان، پلیمر و آب در طرح‌ها ثابت و در مقابل مقدار مصالح میکروسیلیس، خاکستربادی، پرلیت، ماسه متغییر بوده است. کل جوابهای آزمایش مقاومت شامل ۱۴۰ مورد می‌باشد.

مشخصات و نسبت‌های حجمی طرح های اختلاط در جدول زیر ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۱)- مقدار نسبت‌های حجمی هفت طرح اختلاط

طرح اختلاط	مقدار لیکا (kg/m^3)	مقدار اسکوریا (kg/m^3)	مقدار پرلیت (kg/m^3)	مقدار آب (kg/m^3)	مقدار ماسه (kg/m^3)	مقدار میکروسیلیس (kg/m^3)	مقدار خاکستر بادی (kg/m^3)	مقدار پلیمر (kg/m^3)	مقدار تالک (kg/m^3)	مقدار سیمان (kg/m^3)	مقدار الیاف فلزی (kg/m^3)
۱	۳۰۰	۳۷۰	۲۰۰	۲۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۵	۳۰	۸۵	۴۵۰	۳۰
۲	۳۰۰	۳۷۰	۱۵۰	۲۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۲۵	۳۰	۷۵	۴۵۰	۳۰
۳	۳۰۰	۳۷۰	۱۰۰	۲۲۵	۱۵۰	۷۵	۵۰	۳۰	۶۰	۴۵۰	۳۰
۴	۳۰۰	۳۷۰	۷۵	۲۲۵	۱۷۵	۵۰	۷۵	۳۰	۵۰	۴۵۰	۳۰
۵	۳۰۰	۳۷۰	۵۰	۲۲۵	۲۰۰	۵۰	۷۵	۳۰	۴۰	۴۵۰	۳۰
۶	۳۰۰	۳۷۰	۲۵	۲۲۵	۲۲۵	۲۵	۱۰۰	۳۰	۲۵	۴۵۰	۳۰
۷	۳۰۰	۳۷۰	–	۲۲۵	۲۵۰	۲۵	۱۰۰	–	–	۴۵۰	۳۰

جدول (۲)-مقدار نسبت‌های درصدی طرح های اختلاط

طرح اختلاط	درصد لیکا	درصد اسکوریا	درصد پرلیت	درصد آب	درصد ماسه	درصد میکروسیلیس	درصد خاکستر بادی	درصد پلیمر	درصد تالک	درصد سیمان	درصد الیاف فلزی
۱	۱۶	۲۰	۱۰/۵	۱۲	۲/۵	۵	۱/۵	۱/۵	۵	۲۳/۵	۱/۵
۲	۱۶/۳	۲۰/۳	۸	۱۲/۳	۵	۴/۹	۱/۶	۱/۶	۴	۲۳/۴	۱/۶
۳	۱۶/۴	۲۰/۵	۵	۱۲/۳	۸/۳	۴	۲/۵	۱/۶	۳/۳	۲۳/۵	۱/۶
۴	۱۶/۴	۲۰/۵	۴	۱۲/۳	۱۰	۲/۵	۴	۱/۶	۲/۶	۲۳/۵	۱/۶
۵	۱۶/۷	۲۰/۹	۲/۵	۱۲/۵	۱۰/۸	۲/۵	۴	۱/۷	۱/۷	۲۵	۱/۷
۶	۱۶/۵	۲۰/۷	۱/۷	۱۲/۴	۱۲/۴	۱/۷	۴/۸	۱/۷	۱/۷	۲۳/۷	۱/۷
۷	۱۷/۲	۲۱/۵	–	۱۲/۸	۱۴/۶	۱/۴	۵/۱	–	–	۲۵/۵	۱/۷

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

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

www.SID.ir

Archive of SID

۳- نتایج

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

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

مقدارآب 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 نمونه‌های مکعبی در سن ۴۲ روزه

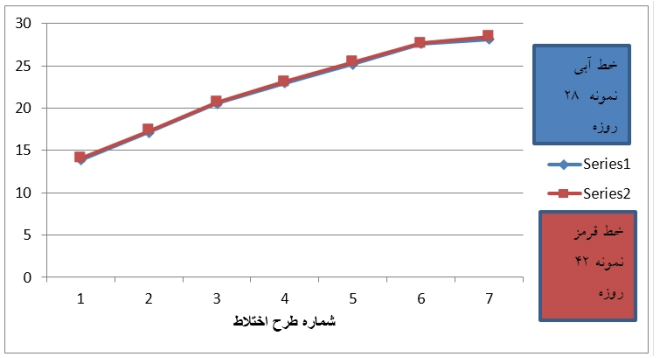
مقدارآب استفاده شده kg/m^3	w/c	اسلامپ CM	وزن مخصوص kg/m^3	مقاومت فشاری MPa
۲۲۵	۰/۵	۳	۱۳۸۵/۰۸	۱۴/۵
۲۳۰	۰/۵۱۱	۳	۱۴۳۲/۵	۱۷/۶۸
۲۳۸	۰/۵۲۸	۳	۱۴۸۳/۵۲	۲۱/۳۲
۲۴۰/۷۵	۰/۵۳۵	۳	۱۵۲۴/۰۱	۲۳/۸۷
۲۴۵/۵	۰/۵۴	۳	۱۵۴۹/۱۴	۲۶/۱
۲۳۰	۰/۵۴۶	۳	۱۵۷۵/۸۲	۲۸/۴۵
۲۵۰/۲	۰/۵۵۶	۳	۱۵۹۵/۰۸	۲۹/۲۲

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

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

www.SID.ir

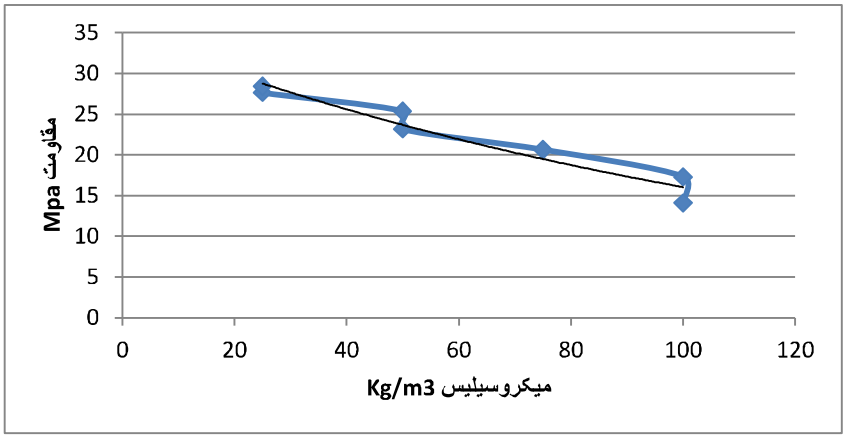
Archive of SID



نمودار۱– مقایسه مقاومت نمونه‌های مکعبی ۲۸ و ۴۲ روزه

در بررسی نتایج مقدار مقاومت نمونه‌های ۲۸ و۴۲ روزه تغییرات به صورت نمودارهای ۱ تا۴ و شیب خط مقاومت برای نمونه‌های ۲۷ روزه و ۴۲ روزه به ترتیب $R^2 =$ ۰/۹۷۲ و $R^2 =$ ۰/۹۷۵ می‌باشد. با توجه به نمودار ۱ مشاهده می‌شود که مقدار افزایش مقاومت در طول گذشت 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.



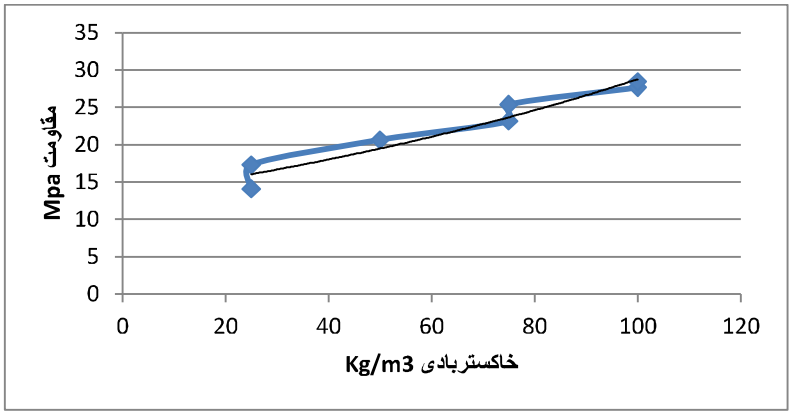
نمودار۲– میکروسیلیس– مقاومت فشاری

برای نتایج مقدارمیکروسیلیس و مقاومت فشاری تغییرات به صورت نمودار (۲) و معادله خطی به صورت $St =$۳۲/۳۳ – ۰/۱۶۴M و $R^2 =$ ۰/۹۵ 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 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 دانه های 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 خاکستربادی در روند کسب مقاومت نشان داده شده است.

www.SID.ir

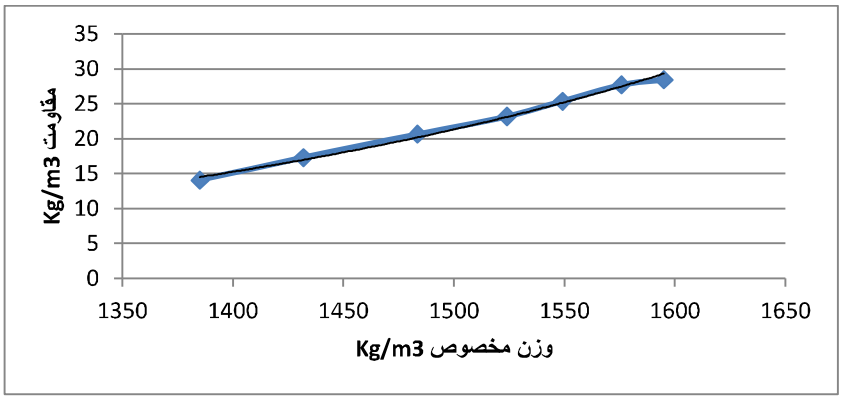
Archive of SID



نمودار۳- خاکستربادی- مقاومت فشاری

در بررسی نتایج مقدار خاکستر بادی و مقاومت فشاری تغییرات به صورت نمودار (۳) و معادله خطی به صورت $St = ۰/۱۶۴F + ۱۱/۸۳$ و $R^2 = ۰/۹۵$ می‌باشد.روند کسب مقاومت با افزایش مقدار خاکستربادی در طرح ها افزایش می یابد که بیانگر تاثیر مثبت این ماده در بتن هست و به بالا رفتن مقاومت بتن کمک می کند.از 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 خاکستربادی مقدار پرلیت کاهش یافته و ماسه جایگزین پرلیت گردیده است

در نمودار ۴ وزن مخصوص و مقاومت مورد بررسی قرار گرفته است.

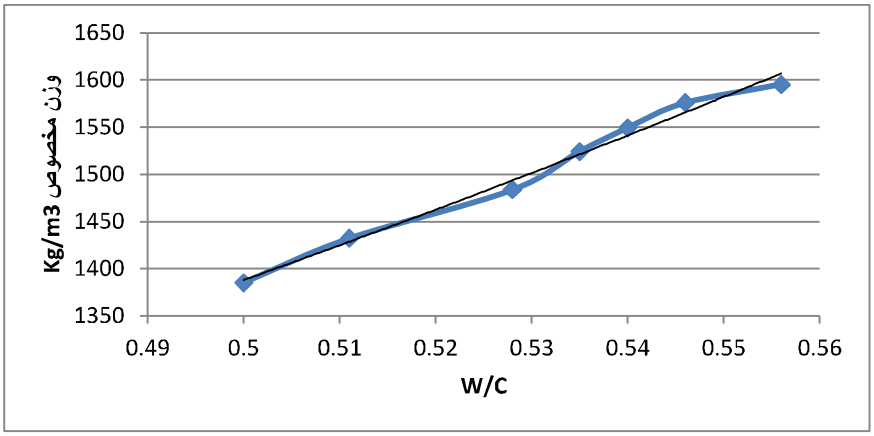


نمودار۴- وزن مخصوص- مقاومت فشاری

www.SID.ir

Archive of SID

در بررسی نتایج وزن مخصوص و مقاومت فشاری، تغییرات به صورت نمودار (۴) و معادله خطی به صورت :
$St = ۰/۰۶۹ \times \gamma - ۸۲/۱۲$ و $R^2 = ۰/۹۹۷$ می‌باشد. با افزایش مقدار وزن مخصوص، مقاومت فشاری نیز افزایش می‌یابد. با افزایش ماسه در طرح اختلاط وکاهش 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.
نمودار۵ تغییرات W/C و وزن مخصوص را نشان می‌دهد.



نمودار۵ – W/C – وزن مخصوص

برای نتایج نسبت آب به سیمان (w/c) و وزن مخصوص تغییرات به صورت نمودار (۵) بوده و معادله خطی به صورت:γ = ۳۸۷۹ w/c– ۵۵۲/۵ و $R^2 = ۰/۹۹۲$ می‌باشد.
با مشاهده نمودار مشخص می‌شود که با افزایشw/c، وزن مخصوص هم افزایش می یابد که تنها به خاطر افزایشw/c نیست. کاهش میکروسیلیس و افزایش خاکستربادی 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 خاکستربادی در بتن سبک باعث کاهش جذب آب می‌شود لذا انتظار می رفت 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 می شد و در حالت اشباع قرار می گرفت 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.

۴- نتیجه‌گیری

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 می یابد، 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 خاکستربادی در طرح ها افزایش می یابد 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 طرح ها بر روند کسب مقاومت نمونه ها تاثیر می گذارد، چنانکه با افزایش مقدار خاکستربادی مقدار پرلیت کاهش یافته و ماسه جایگزین پرلیت گردیده است. با افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

w/c، وزن مخصوص هم افزایش می یابد. از آن جایی که پرلیت جذب آب بیشتری نسبت به ماسه دارد همچنین میکروسیلیس جذب آب را افزایش داده و حضور خاکستربادی 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. 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 مستقیما تحت تاثیر قرار می‌دهد. با افزایش مقدار نسبت w/c، مقاومت فشاری نیز افزایش می‌یابد. با جایگزینی ماسه به جای پرلیت و افزایش مقدار ماسه و ثابت بودن مقدار سیمان در طرح ها نسبت آب به سیمان با افزایش جذب آب ماسه، افزایش می‌یابد. در نتیجه ریزدانه‌های مقاوم تر، مقاومت بیشتر را حاصل می‌کنند. با افزایش مقدار وزن مخصوص، مقاومت نیز افزایش می‌یابد. وزن مخصوص با وزن مصالح رابطه مستقیم داشته و با افزایش مقدار مصالح سنگی در واحد حجم بالا می‌رود، مقاومت بتن هم تابع مقاومت مصالح تشکیل‌دهنده آن است و با افزایش مقدار مصالح سنگی در واحد حجم بتن مقاومت افزایش می‌یابد. جذب آب بیشتر توسط مصالح و کاهش سیمان مصرفی در اختلاط بتن موجب افزایش نسبت آب به سیمان می‌شود و با افزایش مقدار مصالحی که آب بیشتری جذب می‌کنند همانند ماسه، وزن مخصوص افزایش می‌یابد. طبق نتایجی که از آزمایشات این تحقیق بدست آمده در حالت کلی می‌توان گفت که خاکستربادی 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 خاکستربادی قیمتی برابر با ۰.۶ قیمت میکروسیلیس را داردکه مقرون به صرفه می‌باشد.

۵- مراجع

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

۲- رم ضان 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, 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- Gebregziabiher, 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 ین 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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, Germi Branch, Islamic Azad University, Germi, 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 eight 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 concreteto170 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.

www.SID.ir