

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال هشتم / شماره سی و یکم / زمستان ۱۴۰۰

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric PowerPlant
8th Year/ No. 31/ March 2022

مطالعه‌ی آزمایشگاهی مقاومت ضربه‌ای و مدول الاستیسیته بتن قلیافعال تحت دمای محیط، مصرفی در سدهای بتنی

محمدحسین منصورقناعی^۱

مرتضی بیک لریان^{۲*}

علیرضا مردوخ پور^۳

چکیده

انتخاب نوع بتن مصرفی و استحکام بالا در سازه سدهای بتنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق آزمایشگاهی به تولید بتن قلیافعال سرباره‌ای حاوی ۰، ۴ و ۸ درصد نانوسیلیس و ۱ و ۲ درصد الیاف پلی‌الفین در ۵ طرح اختلاط پرداخته شده است. یک طرح اختلاط نیز از بتن کنترل حاوی سیمان پرتلند، به‌منظور مقایسه با نتایج آزمون‌های حاصل از بتن قلیافعال ساخته شد. آزمون‌های مدول الاستیسیته، مقاومت ضربه‌ای چکش افتان و تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه بر روی نمونه‌های بتنی انجام شد. در این راستا، افزودن نانوسیلیس به بتن قلیافعال موجب بهبود (در طرح ۴ نسبت به طرح ۲) در آزمون مدول الاستیسیته و انرژی جذب شده در آزمون ضربه به ترتیب به میزان ۱۳/۴۲ و ۳۶/۳۶ درصد گردید، این برتری با افزودن الیاف به ترکیب بتن قلیافعال، به ترتیب به میزان ۷/۰۵ درصد و ۸/۲۶ برابر ارتقا یافت. نتایج حاصل از آزمون SEM در همپوشانی با سایر نتایج تحقیق پیش رو قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی

بتن قلیافعال، مقاومت ضربه‌ای، مدول الاستیسیته، سرباره کوره آهن‌گدازی، نانوسیلیس.

^۱ گروه مهندسی عمران، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.

^{۲*} گروه مهندسی عمران، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران. M.biklaryan@iauc.ac.ir

^۳ گروه مهندسی عمران، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

مقدمه

ترکیبات شبه سیلیکاتی شامل کلسیم، منیزیم، آلومینیم و سیلیس است و در ترکیب با بتن از چسبندگی بالایی برخوردار است. از طرفی با افزودن نانو ذرات سیلیس به ترکیب بتن قلیافعال، ضمن تسریع فرایند ژئوسپارش^۴، این ذرات به افزایش حجم تولید ژل‌های هیدراته شده کمک شایانی می‌کند. تحقیقات سایرین نشان داده است که نانو ذرات به علت اندازه ذرات بسیار کوچک و سطح ویژه بالای آنها، خصوصیات ویژه‌ای را در طرح اختلاط بتن از خود نشان می‌دهد (لی^۵ و همکاران، ۲۰۰۴). در نمونه‌های بتنی حاوی نانوسیلیس، ریزترک‌های بسیار کمتری مشاهده می‌گردد که نانوسیلیس در این حالت به عنوان ماده‌ای پرکننده عمل می‌کند تا فضاهای داخل اسکلت ریزساختار سخت شده خمیر قلیافعال را پر کند و باعث افزایش فشردگی آن شود (دب^۶ و همکاران، ۲۰۱۵؛ شی^۷ و همکاران، ۲۰۰۶). بهبود مقاومت (آداک^۸ و همکاران، ۲۰۱۷) و مدول الاستیسیته با استفاده از نانوسیلیس در بتن قلیافعال دیده شده است (اکنک^۹ و همکاران، ۲۰۱۹). به کارگیری الیاف در بتن، از طریق پل زدن بین صفحات ترک خورده، به بهبود مقاومت بتن در برابر بارهای وارده کمک می‌کند. در ضمن الیاف در موضعی کردن ناحیه ترک‌ها و عدم انتشار ترک به سایر نقاط در ترکیب بتن مشارکت ویژه‌ای دارد. ارزیابی مصرف همزمان نانوسیلیس و الیاف فولادی در بتن قلیافعال نشان‌دهنده رابطه خوب بین آنها است (گل‌سان^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۹؛ تیر و اوزاکان^{۱۱}، ۲۰۱۸). تحقیقات نشان داده است که الیاف پلی‌الفین^{۱۲} با جلوگیری از اتصال منافذ و اتصال کانال‌های جریان در بتن، آن را تقویت کرده و از پوسته شدن آن جلوگیری می‌کند (یوسف‌وند و همکاران، ۲۰۱۹). در این پژوهش آزمایشگاهی، ساخت نمونه‌های بتن قلیافعال با برتری خواص مکانیکی در آزمون‌های مقاومت ضربه‌ای و مدول الاستیسیته، نسبت به بتن معمولی به عنوان طرحی نوآورانه مطرح می‌باشد. از طرفی کاهش مصرف منابع معدنی طبیعی، مصرف سوخت‌های فسیلی همچون کاهش انتشار گاز سمی CO₂ در جو، بعنوان سایر نوآوری‌ها در این پژوهش معرفی می‌شود.

تولید و مصرف سیمان معمولی همواره با چالش‌هایی از قبیل، عوارض زیست محیطی و استحکام پایین در محصول نهایی همراه بوده است. تحقیقات نشان می‌دهد که کارخانه‌های تولیدکننده سیمان مسئول انتشار حدود ۵ درصد از کل گاز سمی دی‌اکسیدکربن (CO₂) وارد شده به جو کره زمین می‌باشند (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۸). از این رو دانشمندان به فکر یافتن ماده‌ای جایگزین با سیمان در بتن بودند تا ضمن کاهش عوارض محیط زیستی، دارای خواص مقاومتی بالاتر از بتن معمولی باشد. در این راستا مواد پوزولانی^۱ قلیایی مانند سرباره کوره آهن‌گدازی و نانوسیلیس که حاوی حجم زیادی از ذرات آلومینوسیلیکاتی است، مطرح گردید. جایگزینی سیمان با این پوزولان‌ها آلودگی محیط زیستی را کاهش می‌دهد، خواص مکانیکی و دوام بتن را بهبود می‌بخشد و نیاز قابل توجه از سیمان را کاهش می‌دهد (ریو^۲ و همکاران، ۲۰۱۳؛ مهدی پور و همکاران، ۲۰۲۰). محصول نهایی حاصل از جایگزینی این نوع از ترکیبات با سیمان، ساختار بتن قلیافعال نام گرفت. بتن قلیافعال در ابتدا توسط محقق فرانسوی بنام ژوزف داویدویتس^۳ در سال ۱۹۷۲ میلادی مطرح شد (داویدویتس، ۲۰۰۸). در این نوع از بتن به منظور ایجاد واکنش شیمیایی مناسب و عملکرد مطلوب در فرایند ژئوپلیمریزاسیون، از محلول‌های قلیایی مانند سیلیکات کلسیم و هیدرواکسیدکلسیم استفاده می‌گردد. ژل‌هایی نظیر سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) که حاصل محصول فرایند شیمیایی مصالح آلومینوسیلیکاتی و محلول قلیایی هستند، عامل اصلی چسبندگی و پرکنندگی در ترکیب بتن می‌باشند. حجم و تراکم این ژل‌ها نقش بسزایی در بهبود خواص مکانیکی و دوام بتن قلیافعال دارد. این ژل‌ها از طریق پر کردن فضاها و حفره‌های موجود در بخش کلان ساختار و ریزساختار بتن به بهبود تراکم و افزایش خواص در بتن کمک می‌کنند. سرباره کوره آهن‌گدازی دان شده به عنوان یک ماده معدنی افزودنی که خاصیت سیمانی و پوزولانی دارد، دارای

⁸ Adak

⁹ Ekinci

¹⁰ Gülşan

¹¹ Their and Özakça

¹² Polyolefin fibers

¹ Pozzolanic material

² Ryu

³ Joseph Davidovits

⁴ Geopolymerization

⁵ Li

⁶ Deb

⁷ Shih

ساخت نمونه و برنامه آزمایشگاهی

مصالح مصرفی

در تحقیق آزمایشگاهی مقاله پیش رو، سرباره کوره آهن‌گدازی محصولی از شرکت ذوب آهن اصفهان با وزن مخصوص ۲۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب با مدول الاستیسیته ۱/۲ پاسکال، تحت استاندارد ASTM C989/C989M مورد مصرف قرار گرفت. از نانوسیلیس تولید شده شرکت ایوونیک اینداستریز^۱ آلمان با خلوص ۹۹/۸ درصد، وزن مخصوص ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و قطر ذرات ۷ الی ۱۴ نانومتر استفاده گردید. الیاف پلی‌الفین موج‌دار تحت استاندارد ASTM D7508/D7508M، دارای مقاومت کششی ۵۰۰ نیوتن بر میلی‌متر مکعب، نسبت طول به عرض ۳۷/۵، محصول شرکت ایتالیایی دوروچم خاورمیانه^۲ در ترکیب بتن قلیافعال مورد استفاده قرار گرفت. سیمان مصرفی در تهیه طرح اختلاط بتن معمولی از نوع پرتلند تیپ II، محصول شرکت صنایع سیمان گیلان سبز (دیلمان)، تولید شده تحت استاندارد ISIRI 389 مورد استفاده قرار گرفت. سنگدانه‌های مصرفی در ترکیب بتن معمولی و بتن قلیافعال محصول کارخانه‌های شن و ماسه شهرستان لاهیجان بودند که به لحاظ کیفیت در محدوده استاندارد ASTM C33 قرار داشتند.

محلول قلیایی مصرفی در ساخت بتن قلیافعال، ترکیبی از هیدرواکسیدسدیم (NaOH) و سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) با نسبت سیلیکات به هیدرواکسید ۲/۵ و غلظت مولاریته ۱۲، وزن مخصوص ترکیبی ۱۴۸۳ کیلوگرم بر متر مکعب، قرار داشت. تحقیقات نشان داده است که بتن‌های قلیافعال دارای کارایی پایین می‌باشند لذا برای جبران این نقیصه ابرروان‌کننده از نوع پلی کربوکسیلات نرمال، محصولی از شرکت دوروچم خاورمیانه با نام تجاری Flowcem R700 و وزن مخصوص ۱۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، تحت استاندارد ASTM C494 مورد استفاده قرار گرفت. آب مصرف شده به‌منظور ساخت طرح‌های اختلاط تحقیق پیش رو (مصرفی در ترکیب بتن کنترل و ساخت محلول قلیایی)، از آب شرب شهر لاهیجان بود، این آب دارای pH در محدوده ۶/۵ الی ۷/۵ و وزن مخصوص kg/m^3 ۱۰۰۰ است.

طرح اختلاط، ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها

استاندارد مجزا برای تهیه و تنظیم طرح اختلاط بتن قلیافعال موجود نمی‌باشد، لذا در این پژوهش آزمایشگاهی به پیروی از سایر تحقیقات در حوزه ساخت بتن قلیافعال (دب و همکاران، ۲۰۱۵)، از طرح اختلاط بتن معمولی تحت توصیه کمیته ACI 211.1-89، برای ساخت بتن قلیافعال استفاده گردید. در این راستا طرح اختلاط نمونه‌های بتنی براساس جدول (۱) تهیه و تنظیم گردید.

به‌منظور ساخت نمونه‌های بتنی در این پژوهش آزمایشگاهی، ابتدا مصالح خشک به داخل دستگاه مخلوط کن در حال گردش ریخته شدند و فرایند ترکیب مصالح به مدت ۲ دقیقه به طول انجامید، سپس آب و محلول قلیایی به فراخور نیاز هر طرح به مخلوط اضافه گردید و ترکیب مصالح به مدت ۳ دقیقه دیگر ادامه پیدا کرد تا حدی که ترکیب همگن از بتن تازه حاصل گردید. در پایان زمان سپری شده از ترکیب بتن، مخلوط بتن تهیه شده در قالب‌های از پیش روغن‌کاری شده در سه مرحله ریخته شد و در هر مرحله با ۲۵ ضربه میله متراکم گردید. پس از سپری شدن ۲۴ ساعت اولیه از زمان بتن‌ریزی و نگهداری نمونه‌ها در محیط خشک در دمای اتاق (۲۰ الی ۲۵ درجه سلسیوس)، نمونه‌ها از قالب جداسازی شده و نمونه‌های بتن کنترل (حاوی سیمان پرتلند) تا زمان انجام آزمون در داخل آب آهک در دمای اتاق نگهداری گردید، نمونه‌های بتن قلیافعال پس از جداسازی از قالب، به‌منظور بهبود خواص استحکامی به مدت ۴۸ ساعت درون کوره الکتریکی تحت دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند.

در این راستا گزارش شده است که مقاومت بتن قلیافعال با افزایش دمای عمل‌آوری افزایش می‌یابد (احسانی و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین بررسی‌ها نشان داده است که مخلوط‌های بتن قلیافعال تحت عمل‌آوری در حرارت ۶۰ درجه سلسیوس در ۲۴ ساعت اولیه، توانسته پس از ۳ روز، بیش از ۷۵ درصد از مقاومت ۲۸ روزه، بین ۶۰ الی ۸۵ مگاپاسکال را کسب نمایند (پراسانا و پازانی^۳، ۲۰۱۵). در ادامه پس از پایان فرایند عمل‌آوری حرارتی، نمونه‌های بتن قلیافعال تا هنگام انجام آزمون در دمای اتاق و در محیط خشک نگهداری شدند.

³ Prasanna and Pazhani

¹ Evonik Industries

² Durocem Italy

جدول (۱): مشخصات طرح اختلاط بتن

طرح	نوع بتن	kg/m ³						
		سیمان	آب	محلول قلیایی	سرباره	نانوسیسیس	الیاف	شن
۱	پرتلند	۴۵۰	۲۰۲/۵	۰	۰	۰	۰	۱۰۰۰
۲	قلیافعال	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۵۰	۰	۰	۱۰۰۰
۳	قلیافعال	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۳۲	۱۸	۰	۱۰۰۰
۴	قلیافعال	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۱۴	۳۶	۰	۱۰۰۰
۵	قلیافعال	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۳۲	۳۶	۹/۲	۱۰۰۰
۶	قلیافعال	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۳۲	۳۶	۱۸/۴	۱۰۰۰

روش‌های آزمون و استانداردها

آزمون مقاومت ضربه‌ای از نوع وزنه افتان در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه بر اساس استاندارد ACI 544-2R انجام پذیرفت. این آزمون در رسته بررسی خواص مکانیکی بتن قرار دارد و معیار خوبی برای ارزیابی سازه‌های در معرض بارهای ضربه ای می‌باشد. مطابق با استاندارد ذکر شده در این آزمون، وزن چکش ۴/۵۴ کیلوگرم و ارتفاع سقوط وزنه ۴۵/۷ سانتی متر و اندازه گوی فلزی به قطر ۶/۳۵ سانتی متر است. برای انجام آزمایش، نمونه‌های دیسکی پس از طی سن عمل‌آوری و طی فرایند حرارتی تعیین شده، در داخل دستگاه ضربه، درست در زیر وزنه افتان به نحوی قرار می‌گیرند که گوی فلزی دقیقاً در مرکز نمونه قرار گیرد، سپس تعداد ضرباتی که به صورت هماهنگ برای بروز اولین ترک (N_1) و گسیختگی نهایی (N_2) توسط شمارنده‌ای که در قسمت فوقانی دستگاه تعبیه شده است ثبت می‌گردد. در این آزمون می‌توان میزان جذب انرژی^۱ نمونه‌های بتنی در برابر ضربه‌های چکش افتان را در لحظه شکست نمونه محاسبه نمود. در این راستا انرژی شکست برای بروز اولین ترک (E_1) و گسیختگی نهایی (E_2) بر حسب ژول از طریق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$\text{Impact Energy (En)} = N \times W \times H \quad (1)$$

در رابطه (۱) مقادیر به شرح زیر تعریف می‌گردند:

N : تعداد ضربات برای ایجاد ترک اولیه

W : وزن چکش

H : ارتفاع سقوط وزنه

تصاویر میکروسکوپی اخذ شده از بخش ریزساختار بتن کمک شایانی به بررسی و ارزیابی میزان فعالیت شیمیایی اجزاء و تشخیص حجم ژل‌های هیدراته شده در بتن می‌کند، با استفاده از این تصاویر می‌توان عملکرد بتن را تحت شرایط مختلف ارزیابی نمود، از طرفی با تحلیل تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، نتایج حاصل از سایر آزمون‌ها راستی آزمایی می‌گردد. آزمون SEM در راستای بررسی بخش ریزساختار بتن قلیافعال به منظور تفسیر نتایج در سایر آزمون‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این آزمون در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه در دمای اتاق، توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی با مدل FEI Quanta200 انجام پذیرفت. در این راستا نمونه‌های بتنی خرد شده در داخل دستگاه قرار گرفتند و تصاویر با بزرگ‌نمایی مورد نظر ضبط و مورد بررسی ریزساختاری قرار گرفت.

آزمون مدول الاستیسیته بتن تحت استاندارد ASTM C469 بر روی نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد ۱۵×۳۰ سانتی متری در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه در دمای اتاق، توسط دستگاه جک بتن شکن انجام پذیرفت. در این راستا پس از سپری شدن سن عمل‌آوری، نمونه بتنی مورد نظر داخل قاب آزمایش مدول الاستیسیته بتن جانمایی گردید، سپس نمونه بتنی از مقطع ۱۵ سانتی متر به‌طور عمود بین دو صفحه دستگاه جک بتن‌شکن قرار گرفت. در ادامه بار اعمالی با سرعت بین ۰/۵ الی ۰/۹ کیلونیوتن بر ثانیه تا زمان تغییر شکل نمونه بر محور عمود آن وارد شد. در هنگام تغییر شکل نمونه، تغییر شکل طولی نمونه بتنی با استفاده از گیج یا کرنش سنج متصل به قاب اندازه‌گیری گردید.

¹ Energy absorption

نتایج آزمایشگاهی و تفسیر نتایج

نتایج آزمون مدول الاستیسیته

آزمون مدول الاستیسیته بتن به منظور مقایسه و ارزیابی نتایج حاصل از آزمون مقاومت ضربه‌ای چکش افتان، در این تحقیق انجام پذیرفت. همچنین این آزمون به منظور ارزیابی خواص مکانیکی بتن مورد توجه فراوان است. شکل (۱) نتایج حاصل از آزمون مدول الاستیسیته بتن را در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه نشان می‌دهد.

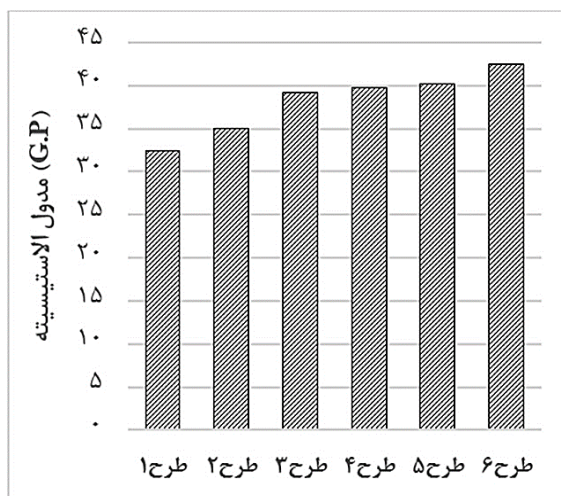
بر اساس این نتایج مشاهده می‌گردد که، کمترین (۳۲/۴۴) گیگاپاسکال) و بیشترین (۴۲/۵۱) گیگاپاسکال) میزان مدول الاستیسیته کسب شده به ترتیب متعلق به طرح ۱ شامل بتن کنترل حاوی سیمان پرتلند و طرح ۶ شامل بتن قلیافعال حاوی ۸ درصد نانوسیلیس و ۲ درصد الیاف پلی-الین می‌باشد، اختلاف کمترین و بیشترین مقدار مدول الاستیسیته کسب شده در بتن ۳۱/۰۴ درصد می‌باشد. افزودن ۸ درصد نانوسیلیس به بتن قلیافعال موجب بهبود مدول الاستیسیته (در طرح ۴ نسبت به طرح ۲) تا میزان ۱۳/۴۲ درصد در این نوع از بتن گردید.

ذرات ریز نانوسیلیس در ترکیب با سایر مصالح، ضمن افزایش نقش چسبندگی، به خوبی می‌تواند حفره‌ها و منافذ مویینه بین لایه‌های موجود در ژل‌های هیدراته را پر نماید (لازم به ذکر است که ژل‌های هیدراته شده نظیر C-S-H محصول اصلی فرایند هیدراتاسیون در بتن معمولی و ژئوپلیمریزاسیون در بتن ژئوپلیمری می‌باشند که عامل اصلی ایجاد استحکام در بتن است)، همچنین این ذرات فضاهای ریز در نواحی انتقال بین سطحی (ITZ) حدفواصل سنگدانه‌ها (و الیاف) را پر می‌نمایند و از این طریق به بهبود میزان مدول الاستیسیته کسب شده نمونه بتنی کمک می‌کنند. در این راستا تحقیقات نشان داده است که وجود نانوسیلیس در بتن قلیافعال نه تنها تأثیر مثبتی بر خواص دوام آن دارد، بلکه واکنش قلیافعال را تسریع می‌بخشد، قلیایی بودن سیستم را کاهش می‌دهد و در نتیجه ضعف حضور الیاف مورد استفاده را کاهش می‌دهد (اسدی و همکاران، ۲۰۱۹). البته مطالعات نشان داده است که، به دلیل اندازه بسیار ریز نانو ذرات، استفاده بیش از حد مجاز از ذرات نانوسیلیس در ترکیب بتن می‌تواند منجر به چسبندگی این ذرات و ایجاد پدیده کلوخه‌های نانومتری

شود، در چنین شرایطی خصوصیات عملکردی از قبیل مدول الاستیسیته و مقاومت ضربه‌ای در بتن دچار افت خواهد شد. این موضوع در تحقیقات تاج الدینی نیز گزارش شده است (تاج الدینی، ۲۰۱۶).

افزودن ۲ درصد الیاف پلی‌الین به بتن قلیافعال در طرح ۶ موجب بهبود مدول الاستیسیته (نسبت به طرح ۴، بتن قلیافعال فاقد الیاف) تا ۷/۰۵ درصد شد. الیاف از طریق پل زندگی بین صفحات ترک خورده، ضمن کاهش ترک در ترکیب بتن، موجب موضعی کردن ناحیه ترک‌ها می‌گردد، در نتیجه نمونه بتنی می‌تواند در برابر ضربات و نیروهای وارده عملکرد بهتری را از خود نشان دهد. تجزیه و تحلیل $CMOD^1$ نشان داده است که الیاف پلی‌الین دارای خواص پیوندی مناسبی هستند و به دلیل سفتی مناسب می‌توانند قطعات بتن را پس از ترک اولیه در کنار یکدیگر نگه دارند (ادهیکاری^۲ و همکاران، ۲۰۱۹).

افزودن بیش از حد مجاز الیاف پلی‌الین به ترکیب بتن قلیافعال می‌تواند ضمن تجمع و عدم پراکندگی مناسب در ملات، موجب افت نتایج حاصله در آزمون‌های مدول الاستیسیته و مقاومت ضربه‌ای چکش افتان گردد. نتایج حاصل از آزمون مدول الاستیسیته در این پژوهش آزمایشگاهی ضمن پوشش نتایج حاصل از آزمون مقاومت ضربه‌ای چکش افتان، از همپوشانی خوبی با نتایج حاصل از آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی برخوردار است. شکل (۲) نمونه بتنی در حال انجام آزمون مدول الاستیسیته را نشان می‌دهد.

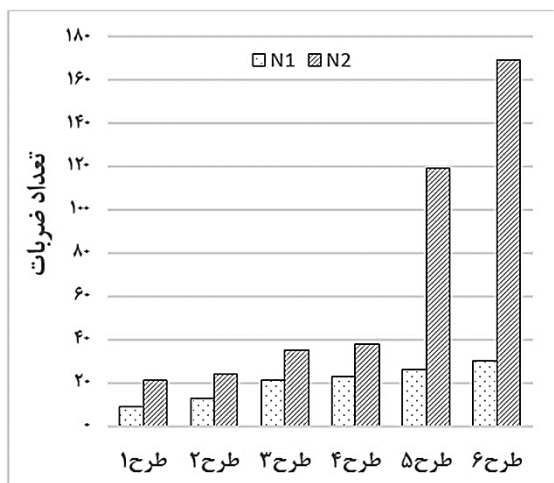


شکل (۱): نتایج آزمون مدول الاستیسیته

² Adhikary

¹ Crack Mouth Opening Displacement

انرژی در بروز شکست نهایی نمونه بتنی به ترتیب متعلق به طرح ۱ شامل بتن کنترل حاوی سیمان پرتلند و طرح ۶ شامل بتن قلیا فعال حاوی ۸ درصد نانوسیلیس و ۲ درصد الیاف پلی الفین است. این ارقام اختلاف ۸ برابری نسب به هم را نشان می‌دهد. افزودن ۸ درصد نانوسیلیس به ترکیب بتن قلیا فعال موجب بهبود نتایج تا میزان ۵۸/۳۳ درصد نسبت به طرح ۲ شامل بتن قلیا فعال فاقد نانوسیلیس گردید. این رقم در مقایسه با بتن کنترل به میزان ۸۰/۹۵ درصد به دست آمد. افزودن ۲ درصد الیاف پلی الفین به طرح بتن قلیا فعال موجب بهبود ۳/۴۴ برابری انرژی در بروز شکست نمونه (طرح ۶ نسبت به طرح ۴) گردید. کمترین (۲۴۴/۲۴ ژول) و بیشترین (۲۸۲۹/۱۵ ژول) میزان انرژی شکست نهایی (E_2-E_1)، نمونه‌های بتنی به ترتیب متعلق به طرح ۱ شامل بتن کنترل حاوی سیمان پرتلند و طرح ۶ شامل بتن قلیا فعال حاوی ۸ درصد نانوسیلیس و ۲ درصد الیاف پلی-الیفین بود. میزان انرژی شکست نهایی در نمونه‌های بتنی با افزودن الیاف و نانوسیلیس به طرح بتن قلیا فعال بهبود یافت. در این راستا افزودن ۸ درصد نانوسیلیس به ترکیب بتن قلیا فعال در طرح ۴، موجب بهبود انرژی شکست نهایی به میزان ۳۶/۳۶ درصد نسبت به طرح ۲ شامل بتن قلیا فعال فاقد نانوسیلیس گردید. این بهبود در مقایسه با بتن کنترل به میزان ۳۶/۱۴ درصد به دست آمد. افزودن ۲ درصد الیاف پلی الفین به ترکیب بتن قلیا فعال در طرح ۶، موجب بهبود انرژی کسب شده نهایی شکست به میزان ۸/۲۶ برابر نسبت به طرح ۴ شامل بتن قلیا فعال فاقد الیاف گردید. شکل (۵)، نمونه بتنی حاصل از آزمون مقاومت ضربه‌ای توسط چکش افتان را نشان می‌دهد.



شکل (۳): تعداد ترک اولیه و شکست در آزمون ضربه



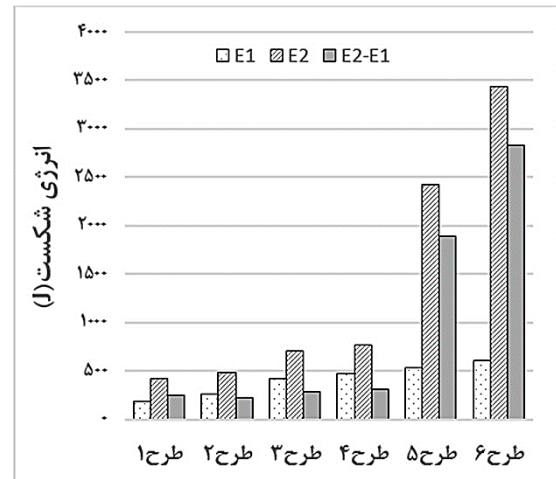
شکل (۲): بتن در حال انجام آزمون مدول الاستیسیته

نتایج آزمون مقاومت ضربه‌ای چکش افتان

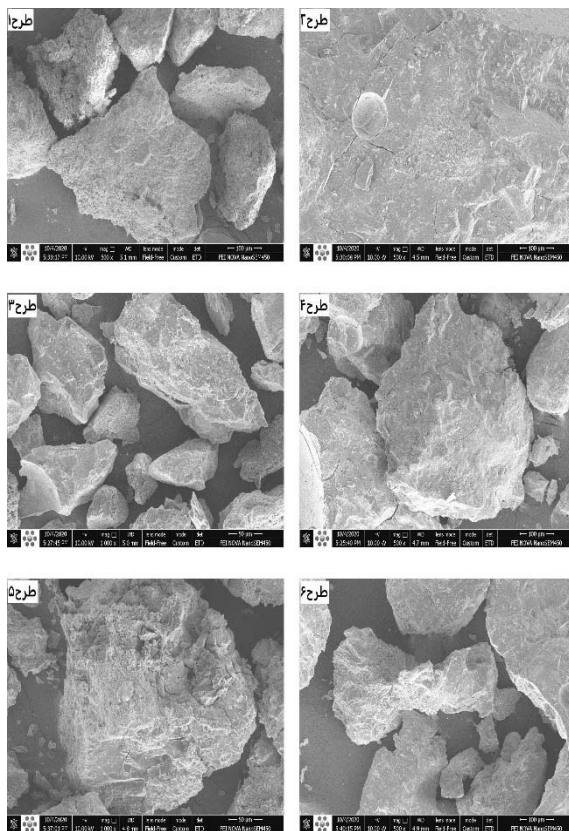
تعداد ضربات جهت بروز ترک اولیه (N_1) و شکست (N_2) نمونه بتنی در آزمون ضربه‌ای چکش افتان در شکل (۳) نشان داده شده است. کمترین (۲۱ ضربه) و بیشترین (۱۶۹ ضربه) تعداد ضربات لازم برای شکست در نمونه‌های بتنی به ترتیب متعلق به نمونه بتنی طرح ۴ (شامل بتن قلیا فعال حاوی ۸ درصد نانوسیلیس و ۲ درصد الیاف) و طرح ۱ (شامل بتن کنترل حاوی سیمان پرتلند) است که اختلاف ۸ برابری را دارا می‌باشد. افزودن ۸ درصد نانوسیلیس به ترکیب بتن قلیا فعال در طرح ۴، موجب بهبود ضربات اولیه و شکست نمونه بتنی به ترتیب به میزان ۷۶/۹۲ و ۵۸/۳۳ درصد نسبت به بتن طرح ۲ (بتن قلیا فعال فاقد نانوسیلیس) شده است. حضور الیاف پلی الفین در بتن قلیا فعال نقش برجسته‌ای در افزایش تعداد ضربات اولیه و شکست در نمونه‌های بتنی در معرض آزمون ضربه‌ای چکش افتان داشته است، به طوری که افزودن ۲ درصد الیاف در بتن طرح ۶ موجب بهبود تعداد ضربات در شکست نهایی نمونه بتنی به میزان ۳/۵ برابر نسبت به طرح ۴ شامل بتن قلیا فعال فاقد الیاف داشته است. این رقم در مقایسه با نتیجه بتن کنترل به میزان ۷ برابر رسید. شکل (۴)، میزان انرژی شکست برای ضربات اولیه (E_1)، ترک نهایی (E_2) و انرژی جذب شده نهایی (E_2-E_1) نمونه‌های بتنی در آزمون ضربه‌ای چکش افتان را نشان می‌دهد.

در این نتایج، برای تمام طرح‌ها انرژی لازم برای شکست (E_2) نمونه بتنی افزایش پیدا کرده است. در این راستا کمترین (۴۲۷/۴۳ ژول) و بیشترین (۳۴۳۹/۷۶ ژول) میزان

افزایش سرعت واکنش ژئوپلیمریزاسیون می‌شود، بنابراین در طی این فرایند مقدار بیشتری از ژل ژئوپلیمری آمورف در ماتریس بتن قلیافعال ایجاد می‌شود. این امر به نوبه خود نشان می‌دهد که نانو ذرات باعث جلوگیری از کاهش مقاومت ژئوپلیمری می‌شوند (خووان^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). در تصویر نمونه بتن کنترل حاوی سیمان پرتلند، وجود نواحی با رنگ سفید نشان از عدم مشارکت برخی از ذرات در فرایند پلیمریزاسیون است که این امر منجر به تضعیف ریزساختار بتن معمولی و تضعیف نتایج حاصل از آزمون‌ها در بتن معمولی نسبت به بتن قلیافعال شده است.



شکل (۴): انرژی شکست نمونه‌ها



شکل (۶): تصاویر SEM نمونه‌های بتن

نتیجه‌گیری

در این مقاله، به مطالعه آزمایشگاهی میزان مقاومت ضربه‌ای و مدول الاستیسیته بتن قلیافعال تحت دمای محیط در سن ۹۰ روز عمل‌آوری پرداخته شد. اهم نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر ارائه می‌گردد. بهبود نتایج حاصل از تمام آزمون‌ها بر روی بتن قلیافعال نسبت به بتن کنترل حاوی سیمان پرتلند مشهود است. افزودن نانوسیلیس و الیاف پلی‌الفین به ترکیب بتن قلیافعال



شکل (۵): نمونه بتنی حاصل از آزمون وزنه افتان

تصاویر حاصل از انجام آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی با مقیاس ۵۰ و ۱۰۰ میکرومتر بر روی ریزساختار نمونه‌های بتنی در پژوهش آزمایشگاهی تحقیق پیش رو، در شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه به این تصاویر مشاهده می‌گردد که در نمونه‌های بتن قلیافعال حاوی نانوسیلیس، با توجه به تولید حجم بالایی از ژل‌های هیدراته شده در ساختار بتن، این ژل‌ها به خوبی توانسته‌اند فضاها و حفرات موجود در ساختار بتن را پر نمایند و تراکم را در بتن بهبود ببخشند. در این راستا تحقیقات نشان داده است که در واکنش پوزولانی با تبدیل CH به ژل‌های هیدراته نظیر C-S-H، ریزساختارها در بتن متراکم شده و موجب همگنی در ترکیب بتن می‌گردد (هانگژیان^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). از طرفی تحقیقات نشان داده است که افزودن نانوسیلیس باعث

² Kwan

¹ Hongjian

8- Ekinci, E., Türkmen, İ., Kantarci, F., & Burhan Karakoç, M. (2019). The improvement of mechanical, physical and durability characteristics of volcanic tuff based geopolymer concrete by using nano silica, micro silica and Styrene-Butadiene Latex additives at different ratios. *Construction and Building Materials*, 201, 257-267.

9- Gülşan, M. E., Alzebaree, R., Rasheed, A. A., Niş, A., & Kurtoglu, A. E. (2019). Development of fly ash/slag based self-compacting geopolymer concrete using nano-silica and steel fiber. *Construction and Building Materials*, 211, 271-283.

10- Hongjian, D., Suhuan, D., & Liu, X. (2014). Durability performances of concrete with nano-silica. *Construction and building materials*, 73, 705-712.

11- Kwan, W. H., Ramli, M., Kam, K. J., & Sulieman, M. Z. (2012). Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties. *Construction and Building Materials*, 26(1), 565-573.

12- Li, H., Xiao, H., Yuan, J., & OU, J. (2004). Microstructure of cement mortar with nano-particles. *Composites Part B: Engineering*, 35(2), 185-189.

13- Mehdipour, S., Nikbin, I. M., Dezhampannah, S., Mohebbi, R., Moghadam, H., Charkhtab, S., & Moradi, A. (2020). Mechanical properties, durability and environmental evaluation of rubberized concrete incorporating steel fiber and metakaolin at elevated temperatures. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120126.

14- Nosrati, A., Zandi, Y., Shariati, M., Khademi, K., Aliabad, M. D., Marto, A., ... & Khorami, M. (2018). Portland cement structure and its major oxides and fineness. *Smart structures and systems*, 22(4), 425-432.

15- Prasanna Venkatesan, R., & Pazhani, K. (2016). Strength and durability properties of geopolymer concrete made with Ground Granulated Blast Furnace Slag and Black Rice Husk Ash. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(6), 2384-2391.

16- Ryu, G. S., Lee, Y. B., Koh, K. T., & Chung, Y. S. (2013). The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators. *Construction and building materials*, 47, 409-418.

17- Shih, J. Y., Chang, T. P., & Hsiao, T. C. (2006). Effect of nanosilica on characterization of Portland cement composite. *Materials Science and Engineering: A*, 424(1-2), 266-274.

18- Tajodeni, M. (2016). , In vitro evaluation of the effect of adding nanosilica with different specific surfaces on physical and mechanical parameters of soil-cement aggregates. *Sharif Journal of Civil Engineering*, 24-2(1/1), 13-22.

19- Their, J. M., & Özakça, M. (2018). Developing geopolymer concrete by using cold-bonded fly ash aggregate, nano-silica, and steel fiber. *Construction and Building Materials*, 180, 12-22.

20- Yousefvand, M., Sharifi, Y., & Yousefvand, S. (2019). An Analysis of the Shear Strength and Rupture Modulus of Polyolefin-Fiber Reinforced Concrete at Different Temperatures. *Journal of civil Engineering and Materials Application*, 3(4), 225-233..

موجب بهبود نتایج حاصل از کلیه آزمون‌ها در این پژوهش گردید. در این راستا افزودن تا ۸ درصد نانوسیلیس به ترکیب بتن قلیافعال در طرح ۴ موجب بهبود مدول الاستیسیته بتن تا ۱۳/۴۲ درصد نسبت به طرح ۲ شامل بتن قلیافعال فاقد نانوسیلیس گردید. افزودن تا ۲ درصد الیاف پلی‌الفین به ترکیب بتن قلیافعال در طرح ۶ موجب بهبود مدول الاستیسیته تا ۷/۰۵ درصد نسبت به طرح ۴ شامل بتن قلیافعال فاقد الیاف گردید. در آزمون مقاومت ضربه‌ای بر اساس ضربات چکش افتان، تعداد ضربات و انرژی لازم برای بروز شکست در نمونه بتنی نسبت به ضربات و انرژی ترک اولیه، روند افزایشی را به دنبال داشت. افزودن ۸ درصد نانوسیلیس به ترکیب بتن قلیافعال در طرح ۴ موجب بهبود در انرژی نهایی شکست (E_2-E_1) به میزان ۳۶/۳۶ درصد نسبت به طرح ۲ شامل بتن قلیافعال فاقد نانوسیلیس گردید. افزودن ۲ درصد الیاف پلی‌الفین در ترکیب بتن قلیافعال در طرح ۶، موجب بهبود در انرژی نهایی شکست به میزان ۸/۵۹ برابر نسبت به طرح ۴ شامل بتن قلیافعال فاقد الیاف گردید. نتایج حاصل از آزمون SEM، نشان از بهبود تراکم در ریزساختار بتن قلیافعال با افزودن ذرات نانوسیلیس به ترکیب این نوع از بتن بود. در نمونه‌های بتن قلیافعال حاوی الیاف پلی‌الفین، کاهش حجم ریزترک‌ها مشهود است.

References

- 1- Adak, D., Sarkar, M., & Mandal, S. (2017). Structural performance of nano-silica modified fly-ash based geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 135, 430-439.
- 2- Assaedi, H., Alomayri, T., Shaikh, F., & Low, I. M. (2019). Influence of nano silica particles on durability of flax fabric reinforced geopolymer composites. *Materials*, 12(9), 1459. (in Persian)
- 3- Adhikary, S. K., Rudzionis, Z., Balakrishnan, A., & Jayakumar, V. (2019). Investigation on the mechanical properties and post-cracking behavior of polyolefin fiber reinforced concrete. *Fibers*, 7(1), 8.
- 4- Davidovits, J. (2008). Geopolymer chemistry and application 2nd ed. *Institut Géopolymère, France*.
- 5- Deb, P. S., Sarker, P. K., & Barbhuiya, S. (2015). Effects of nano-silica on the strength development of geopolymer cured at room temperature. *Construction and building materials*, 101, 675-683.
- 6- Deb, P., Nath, P., & Sarker, P. (2015). Drying shrinkage of slag blended fly ash geopolymer concrete cured at room temperature. *Procedia Engineering*, 125, 594-600.
- 7- Ehsani, A., Nili, M., & Shaabani, K. (2017). Effect of nanosilica on the compressive strength development and water absorption properties of cement paste and concrete containing Fly Ash. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(5), 1854-1865.

Experimental study of impact strength and modulus of elasticity of reinforced concrete under ambient temperature, used in concrete dams

Mohammadhossein Mansourghanaei¹

Morteza Biklaryan^{*2}

Alireza Mardookhpour³

Abstract

The choice of concrete consumption and high strength in the structure of concrete dams is of particular importance. In this laboratory research, slag alkaline concrete containing 0, 4 and 8% nanosilica and 1 and 2% polyolefin fibers has been produced in 5 mixing designs. A design of control concrete containing Portland cement was prepared to compare with the test results of reinforced concrete. Modulus of elasticity, impact resistance of falling hammer and scanning electron microscope images were performed on concrete samples at 90 days of processing age. Addition of nanosilica to reinforced concrete improved (Module 4 compared to Scheme 2) in the modulus of elasticity test and the energy absorbed in the impact test by 13.42% and 36.36%, respectively. This superiority was increased by 7.5% and 8.26 times by adding fibers to concrete, respectively. The results of the SEM test overlap with other results.

Keywords

Active alkali concrete, Impact resistance, Modulus of elasticity, Blast furnace slag, Nanosilica.

¹ Department of Civil Engineering, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.

² *Department of Civil Engineering, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran. M.biklaryan@iauc.ac.ir

³ Department of Civil Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.