تحقیقات بتن
سال دهم، شمارهٔ چهارم
زمستان ۹۶
ص ۱۲۲ – ۱۱۱
تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۲۰

یادداشت پژوهشی

بررسی ویژگی بتن حاوی خاکستر پوسته جو همراه با نانوسیلیس

شهریار شهبازپناهی *
استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج

چکیده

در این تحقیق با ساخت مخلوط های بتنی با درصدهای مختلف خاکستر پوسته جو برای جایگزینی در سیمان وهمچنین با اضافه کردن نانوسیلیس با انجام آزمایشهای مقاومت فشاری، مقاومت کششی، و درصد جذب آب، مقدار بهینه متفاوت جایگزین در بتن پیشنهاد می شود. در این مطالعه ویژگی های مقاومتی بتن بر روی مخلوط های بتن ساخته شده با درصدهای متفاوتی از خاکستر پوسته جو (۵، ۱۰، ۱۵و ۲۰ درصد) - و بتن کنترل (بدون خاکستر) و مقایسه نتایج آنها با هم بررسی می شود. همچنین، نانوسیلیس به میزان ٦ درصد وزن سیمان به مخلوط با درصدهای متفاوتی از خاکستر پوسته جو (۵، ۱۰، ۱۵و ۲۰ درصد) - و بتن کنترل اضافه می گردد. نتایج حاکی از آن است که افزودن خاکستر پوسته جو تا ۱۵درصد باعث بهبود پارامترهای مقاومتی بتن می شود. همچنین مشاهده گردید بکار بردن ٦ درصد نانو سیلیس به همراه ۱۰ درصد پوسته جو، باعث افزایش ۲۰ در صدی مقاومت ۷ روزه و ۱۸ درصدی مقاومت ۲۸ روزه نسبت به نمونه کنترل حاوی نانو سیلیس می شود.

واژه‌های کلیدی: خاکستر پوسته جو، نانوسیلیس، بتن، مقاومت فشاری، مقاومت کششی.

* نویسنده مسئول: sh.shahbazpanahi@iausdj.ac.ir

۱- مقدمه

ساخت و سازها که امروزه در سراسر دنیا انجام می‌شود، چند جنبه دارد: این فعالیت‌ها، یا برای احداث یک بنای جدید است که قبلاً وجود خارجی نداشته است و بنا به مقتضیات زمان و مکان و بنا به‌دلایلی مثل افزایش روز افزون جمعیت و نیاز این جمعیت تازه وارد به فضاهای مسکونی، اداری، و... ساخت آن اجتناب ناپذیر شده است و یا اینکه برای بازسازی و مرمت یک بنای قدیمی است که در سال‌ها یا دهه‌های قبل ساخته شده و تحت تأثیر عوامل طبیعی و غیر طبیعی مختلف دچار تخریب شده است. در بعضی موارد هم لازم است که سازه کاملاً تخریب شده و از اول ساخته شود. هرکدام از انواع ساخت و سازهای فوق، در عصر حاضر در بسیاری از کشورها خصوصاً در کشور ایران، روندی رو به رشد داشته و خواهد داشت و این یعنی افزایش مصرف مصالح ساختمانی در جهان و در راس آن‌ها مصالحی پرمصرف مثل بتن و فولاد و سیمان. بنابراین افزایش سرمایه‌گذاری و افزایش مصرف سوخت در کارخانه‌های تولیدی مصالح را پیش رو خواهیم داشت. که در این میان فرایند تولید بتن به‌دلیل اینکه دارای بالاترین حجم تولید در بین تمام مصالح ساختمانی در جهان است، اهمیت بسیار بالایی دارد. پس باید شرایط تولید، مواد اولیه و مواد مضاف بتن و مهم‌تر از همه سیمان و جای‌گزین‌های مناسب برای آن در تولید بتن مورد مطالعه کاملاً علمی قرار گیرند، تا هم از نظر بهبود مشخصات بتن و افزایش مقاومت آن پیشرفت‌هایی حاصل شود و هم از نظر اقتصادی در هزینه‌ها صرفه جویی گردد. یکی از بهترین راهکارهای موجود، یافتن جای‌گزینهای مناسب برای سیمان مصرفی در بتن است و در این زمینه استفاده از منابع و مصالح طبیعی و در راس آن‌ها ضایعات ومواد اضافی کشاورزی می تواند ایده بسیار کارآمد و پرثمری باشد. اما در سالهای اخیر با پیشرفت سریع بشر در حوزه مسایل فنی و اجرایی در بخش ساختمان سازی و با تحقیقات صورت گرفته در زمینه مصالح ساختمانی و به‌کار گیری مواد طبیعی و بهسازی مصالح ساختمانی مصنوعی، نوآوری‌ها و ابتکارات تازه و بسیار سودمندی صورت گرفته است. یکی از بهترین ره یافتها، سوزاندن و خاکستر کردن مواد زاید محصولات کشاورزی مثل پوسته و ساقه برنج ودر نهایت جایگزینی خاکستر حاصل از سوزاندن مواد فوق بجای سیمان مصرفی در تولید بتن و در نتیجه افزایش میزان سیمان تولیدی و کاهش قیمت آن است [۱].

از طرفی نوسان قیمت سیمان که در اکثر موارد روند افزایشی داشته است، در مقطع های زمانی مختلف همواره مشکلات عدیده ای را برای انجام صحیح و به موقع پروژه های خرد و کلان سازه ای کشور بوجود آورده است [۲]. از سوختن موادزاید کشاورزی که متشکل از فیبر، مواد معدنی مثل اکسید آهن(Fe_2O_3)، اکسید آلومینیوم(Al_2O_3) خاکستری تولید می شود که حاوی سیلیس است که بسته به درجه حرارت سوختن، به صورت کوارتز، کرسیتو بالیت(Crystobalite) و تردیمیت (Tridymite) تولید می شود. که در واکنش با آهک یک ترکیب چسبنده بنام سیلیکات کلسیم تولید می کند که این محصول در بهبود مشخصات و مقاومت بتن ساخته شده تاثیر عمده ای دارد [۳]. بهره گیری از پوزولانها به منظور کاهش مصرف سیمان به عنوان یکی از راهکارهای کاهش آلودگیهای تولیدی در فرآیند تولید سیمان پرتلند مطرح میباشد. در همین راستا، یکی از پوزولانهایی که از دیرباز مورد توجه بوده، خاکستر حاصل پوسته برنج میباشد که نتایج قابل قبولی را در بهبود دوام و مشخصات مکانیکی بتن نشان داده است. به منظور بهبود کیفیت این نوع پوزولان، روشهای مختلفی ارائه شده است. اما خاکستر پوسته جو، barley husk ash (BHA) ، هم دارای سیلیس است [۴] ومی تواند بعنوان پوزولان در بتن استفاده شود. اما تحقیقات خیلی کمی بر روی اثرات خاکستر پوسته جو بر روی خواص مکانیکی بتن انجام شده است. پوسته جو محصول فرعی تولید جو می باشد و در صورتی که به‌صورت کنترل شده سوزانده شود پوزولان مناسبی برای استفاده در بتن خواهد شد.

از طرفی، امروزه استفاده ازنانو در سازه های ساختمانی بدلیل دوام و مقاومت افزایش یافته است. این مواد که اندازه های بسیار ریزی دارند می‌توانند تأثیراتی شیمیایی و فیزیکی متفاوتی در بتن به‌وجود آورند. یافتن طبقه جدیدی از مصالح ساختمانی با عملکرد بالا، خواص جدید و متفاوت نسبت به مواد معمولی هدف نهایی از بررسی مواد در مقیاس نانو می باشد. در تعریف عملکرد این مواد در بتن می‌توان گفت علم کنترل خواص ماده در مقیاس نانوکه می‌تواند تحولی اساسی درخواص بتن سخت شده و ناحیه پلاستیک منحنی بار- تغییر مکان بتن بوجود آورد [۵]. ابعاد این مواد ۱۰ تا ۱۰۰ نانو متر است این ریزی ابعاد باعث می‌شود خصوصیات بتن سخت شده از جمله مقاومت فشاری و کششی

افزایش یابد. اکسیدهای متفاوت ازقبیل نانوتیتانیم، نانو سیلیس، نانو اکسید آهن، نانو آلومینیا می‌توانند برای بهبود خواص مکانیکی وفیزیکی بتن مورد استفاده واقع شوند [۶].مثلا تحقیقات نشان داده است که نانو تیوب کربن دوام وطول عمر بتن را افزایش می‌دهد. همچنین خواص میکانیکی از قبیل مقاومت فشاری بتن در اثر وجود نانوتیتانیم افزایش می‌یابد. دلیل آن مصرف سریع هیدرواکساید کلسیم است ، که خیلی سریع در مدت هیدراتاسیون سیمان پرتلند شکل می گیرد. بعضی از محقیقین بر این باورند که نانوتیتانیم به کنترل کریستال شدن هیدرواکساید کلسیم کمک می کند و همین امر باعث بهبود خواص میکانیکی بتن می شود [۷]. تحقیقات نشان میدهد یکی ازکاربردهای نانو اکسید تیتانیوم یک واکنش فتوشیمیایی است که به نام فتوکاتالیستی شناخته میشود. در اثر این فرایند، سطوح حاوی نانو اکسید تیتانیوم می‌توانند در اثر تابش خورشید در مجاورت آب باران تمیزنگه داشته شود. پس در حالت کلی، نانوها درسطوح خارجی ساختمان‌ها وجاده های پر تردد قابل استفاده است. پوششهای نانو میتواند به‌عنوان کاهنده خسارت ناشی از آلودگی هوا مورد استفاده قرار بگیرد.البته، موانع اصلی در استفاده از تکنولوژی نانو در بتن قیمت بالا، تجربه کافی ووجوداستاندارد مخصوص برای استفاده در بتن می باشد [۸]. سیلیس یکی از معروفترین موادی است که نقش مهمی در چسبندگی و پر کنندگی بتن دارد. نانو سیلیس متشکل از ذراتی هستند که ظاهری گلوله‌ای شکل با قطرکم می باشد و به‌صورت افزودنی در آب بتن یا به‌صورت پودر مورد استفاده واقع می شود [۹ و ۱۰]. خواص نانو سیلیس در بتن عبارتند از:خاصیت ضد سایش ، ضد لغزش، ضد حریق و ضد انعکاس سطوح. محقیقین نشان دادند واکنش مواد نانو سیلیس با هیدرواکسید کلسیم بسیار سریع انجام گرفته و مقدار بسیار کم این مواد همان تأثیر پوزلانی را در سنین اولیه دارا می باشد. نانو سیلیس ،با تأثیر پرکننده، حفره های بین دانه های سیمان را پر می کند،پس باتقاضای کم آب اختلاط، چگالی بتن بیشترمی شود. می توان گفت نانو سیلیس عملکرد پوزلانی دارد. دونوع مکانیسم واکنش درمدت زمان هیدراتاسیون در بتن همراه با نانو سیلیس ممکن است رخ دهد.اولا، هیدراتاسیون سیمان با افزایش نانوسیلیس شتاب می یابد [۱۱]. ثانیا با اضافه کردن نانو، هیدروسیلیکات کلسیم اضافه تولید میشود ودرفضای متخلخل بتن جا می گیرد [۱۲].

بنابراین نانوسیلیس قابل استفاده تر، مقاوت فشاری بالا تر، با دوامترو سازگار با محیط زیست است. در خمیر سیمان با اضافه کردن نانوسیلیس شتاب هیدراتاسیون سیمان بالا می‌رود و در لحظات اولیه هیدرواکسید کلسیم زودتر شکل می‌گیردکه این ناشی از افزایش سطح تماس است [۱۳ و ۱۴]. تحقیقات زیادی در مورد کاربرد نانو سیلیس در بتن انجام گرفته است [۱۵-۱۹] اما از ترکیب نانو سیلیس با خاکستر پوسته جو در بتن اطلاع زیادی در دست نیست.

استفاده از خاکستر پوسته جو به‌عنوان جای‌گزین بخشی از سیمان باعث صرفه جویی هزینه در صنعت ساختمان می‌شود وبا عمل آوری مناسب و مصرف بهینه آن ویژگی های مقاومتی بتن را به میزان قابل توجهی بهبود می بخشد.

در این تحقیق با ساخت مخلوط های بتنی با درصدهای مختلف خاکستر پوسته جو برای جای‌گزینی در سیمان وهمچنین با اضافه کردن نانوسیلیس انجام آزمایشهای مقاومت فشاری، مقاومت کششی، و درصد جذب آب، مقدار بهینه متفاوت در بتن پیشنهاد می شود. در این مطالعه ویژگی-های مقاومتی بتن بر روی مخلوط های بتن ساخته شده با درصدهای متفاوتی از خاکستر پوسته جو (۵، ۱۰، ۱۵و ۲۰ درصد) - و بتن کنترل (بدون خاکستر) و مقایسه نتایج آن‌ها با هم بررسی می‌شود.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح

۲-۱-۱- آماده سازی خاکستر پوسته جو

ابتدا پوسته جو از جو(شکل۱) کنده می‌شود. سپس پوسته جو خشک می شود و بعد از آن در یک کوره معمولی سوزانده می شود (شکل۲) که حاصل خاکستری به رنگ تیره می باشد این حالت نشان دهنده وجود درصد بالای کربن می باشد که از خاصیت پوزولانی آن می کاهد. سپس این خاکستر در یک کوره مخصوص با دمای زیاد حدود ۳ ساعت سوزانده و به خاکستر اجازه داده می شود در دمای اتاق سرد شود(شکل۳) . این روش سرد کردن باعث افزایش سطح ویژه و خاصیت پوزولانی می شود و حاصل خاکستری،BHA ، به رنگ روشن می شود. خاکستر فوق برای مخلوط شدن با سیمان دو بار آسیاب می‌گردد.

شکل ۱- جو وپوسته

شکل ۲- پوسته جو سوخته شده

۲-۱-۲- نانوسیلیس

در این تحقیق از نانو سیلیس آمورف کلوئیدی محلول در آب با غلظت ۵۰ درصد استفاده شده است.این نانو سیلیس محصول شرکت صنایع نانو سیلیس ایساتیس می باشد. خصوصیات شیمیایی این مواد شامل ۹۴/۰۶ درصد Sio_2، ۰/۱ درصد CaO، ۰/۰۲۶ درصد SO_2، ۰/۰۳۷ درصد ، ۰/۰۹درصد MgO و ۰/۱۳ در صد Al_2O_3 می باشد. خصوصیات فیزیکی محلول آن مایع با رنگ شفاف و وزن مخصوص ۱۲۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.

شکل۳- خاکسترپوسته پس از یک بار آسیاب

۲-۱-۳- سیمان و سنگ‌دانه‌ها

در این تحقیق سیمان پرتلند تیپ یک کارخانه سیمان بیجار با وزن مخصوص ۳/۱۷گرم بر سانتیمتر مکعب و نرمی بلین۰ ۲۸۸ سانتیمترمربع بر گرم مورد استفاده قرارگرفته است. سیمان تولیدی این شرکت تمام خواص سیمان تیپ یک را دارا می‌باشد با این تفاوت که از کلاس مقاومتی بالاتری برخوردار است،به عبارت دیگر مطابق تعریف استاندارد ملی ایران(۳۸۹) مقاومت ۲۸ روزه این نوع سیمان بایستی حداقل ۳۲۵ کیلوگرم برسانتی متر مربع باشد. تجربیات نگارنده نشان می‌دهد که سیمان مورد استفاده در این تحقیق از نظر مرغوبیت و سلامت در محدوده ی قابل قبول قرار دارد.

در طرح اختلاط بتن، از سنگ‌دانه‌های شکسته بعنوان درشت دانه و از ماسه رودخانهای طبیعی به عنوان ریز دانه استفاده شده است از شن با چگالی۲/۷ و بیشینه بعد دانه ای ۱۲ میلیمترو درصد جذب آب ۱۲/۳ درصد مورد استفاده قرار گرفته است .ماسه دارای چگالی نسبی ۲/۲۲ و درصد جذب آب ۱۲/۵ درصد می باشد. در شکل ۴ مصالح سنگی نشان داده شده است.

شکل ۴- مصالح سنگی

۲-۱-٤- فوق روان کننده

از یک افزودنی فوق روان کننده بتن، مایعی بر پایه نفتالین سولفونات است که برای مصرف خاص در بتن بهینه گردیده است، استفاده شده است. این فوق روان کننده برای ساخت بتنی کارا و خود متراکم شونده در شرایط نرمال از نظر گیرش و ساخت بتنی با کاهش اساسی در نسبت آب به سیمان و افزایش کلی مقاومتها به‌ویژه مقاومت‌های اولیه نسبتا بالا فرموله شده است.

۲-۲-نسبت‌های اختلاط

جهت رسیدن به اهداف تحقیق طرح اختلاط با استفاده از موادنانوسیلیس و خاکستر پوسته جو جهت ساخت بتن استفاده گردید که در همه طرح های ساخته شده نسبت آب به سیمان، عیار سیمان و نوع دانه بندی ثابت در نظر گرفته شده است. در طرح ها سعی شده است تمامی شرایط ثابت نگه داشته شوند تنها میزان جایگزینی مواد و خاکستر پوسته جو متفاوت باشند. خاکستر پوسته جو جای‌گزین سیمان بوده و به مقدار افزودن آن از میزان سیمان کاسته شده است.

خاکستر پوسته جو ، در مقادیر مختلف بصورت د رصدی از وزن سیمان در مخلوطهای بتن مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام آزمایش مخلوط بتن در نطر گرفته شد که یک مخلوط بدون خاکستر پوسته جو به عنوان مخلوط کنترل و ۴ مخلوط دیگر به ترتیب با ۵، ۱۰، ۱۵و ۲۰د رصد وزن سیمان با خاکستر پوسته جو بجای سیمان (Replacement) ساخته شد.

نسبت آب به سیمان بتن ۰/۴۵در تمامی مخلوطهای بتنی ثابت نگه داشته شد. نانوسیلیس به میزان ۶ درصد وزن سیمان به مخلوط اضافه می گردد. این مقدار نانوسیلیس جایگزین سیمان نمی شود و فقط جهت مطالعه تاثیر نانو سیلیس همراه با پوسته جو به مخلوط اضافه می گردد (Additive). مقدار ثابتی از فوق روان کننده در مخلوطهای بتنی مورد استفاده قرار گرفته است. ابتدا میزان آب مربوط به جذب آب سنگدانه ها به آن اضافه شده و تا ۲ دقیقه با سرعت بالای میکسر مخلوط گردید. سپس خاکستر پوسته جو به تدریج به مصالح سنگی افزوده شده و مخلوط گردید. پس از آن سیمان به اختلاط اضافه شده و به مدت ۲ دقیقه میکس شد(شکل ۵).

شکل ۵- بتن تازه

درنهایت، فوق روان کننده با باقی‌مانده آب طرح اختلاط ترکیب و در مدت ۲ دقیقه به بتن افزوده شد و بتن تا رسیدن به کارائی به مدت ۲ دقیقه دیگر با سرعت زیاد میکسرمخلوط گردید(شکل۵).

در نمونه هایی که نانو سیلیس اضافه می گردد، مقداری از فوق روان کننده لازم در ساخت نمونه ها، به محلول کلوئیدی نانوسیلیس اضافه شد و سپس به مخلوط اضافه گردید. برای نمونه برداری از قالب های ۱۰*۱۰*۱۰ سانتیمتر استفاده گردید(شکل۶). تمامی نمونه های بتنی در مخزن آب در دمای درجه ۵۰ سانتی گراد تا زمان مورد نظر عمل آوری شده اند(شکل ۷). جهت ارزیابی تأثیر خاکستر پوسته جو، چهار سن ۷، ۱۴، ۲۸ و ۶۰ روزه مورد بررسی قرار گرفتند. نسبتهای اختلاط بتن حاوی مقادیر مختلفی از خاکستر پوسته جو در جدول ۱ ارائه گردیده است.

شکل۶- نمونه های ۱۰*۱۰*۱۰ سانتیمتر

شکل ۷- عمل آوری نمونه ها

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمایش بتن تازه

قابلیت روانی بتن با به‌دست آوردن میزان جریان اسلامپ بر حسب میلی‌متر در جدول ۲ ارائه گردیده است.اسلامپ برای بتن کنترل به

میزان ۷۳۰ میلیمتر تخمین زده شده است که با افزودن ۵ درصد و ۱۰ درصد خاکستر پوسته جو به مخلوط به ۶۵۰ و ۶۲۰ میلیمتر تغییر خواهد نمود وبا افزودن ۱۵ درصد خاکستر پوسته جو به ۶۰۰ میلیمتر رسیده اما با افزودن ۲۰ درصد خاکستر پوسته جو در ۶۰۰ میلیمتر ثابت می‌مانند. این به دلیل تخلخل خاکستر پوسته جو و نقش بیشتر فوق روان کننده ها در این حالت است .در جدول۲ مشاهده می‌شود که در نمونه‌های حاوی نانو سیلیس به علت ریزی بالاتر نسبت به سیمان و خاکستر پوسته جو ، تقاضای آب نسبت به بتن کنترل و بتن باخاکستر پوسته جو افزایش می یابد. استفاده هم‌زمان از خاکستر پوسته جو و نانو سیلیس توانسته است باعث افزایش اسلامپ در مقایسه با استفاده تنها از خاکستر پوسته جو گردد.

شکل۸- آزمایش مقاومت فشاری

جدول ۱- نسبت های اختلاط بتن حاوی مقادیر مختلف خاکستر پوسته جو و نانو سیلیس

کد طرح	نسبت آب به سیمان	سیمان Kg/m^۳	آب Kg/m^۳	BHA Kg/m^۳	نانو سیلیس Kg/m^۳	شن Kg/m^۳	ماسه Kg/m^۳
Control	۰/۴۵	۴۳۰	۱۹۳	۰	۰	۱۰۵۵	۷۵۰
BHA $_5$	۰/۴۵	۴۰۸/۵	۱۹۳	۲۱/۵	۰	۱۰۵۵	۷۵۰
BHA $_{10}$	۰/۴۵	۳۸۷	۱۹۳	۴۳	۰	۱۰۵۵	۷۵۰
BHA $_{15}$	۰/۴۵	۳۶۵/۵	۱۹۳	۶۴/۴	۰	۱۰۵۵	۷۵۰
BHA $_{20}$	۰/۴۵	۳۴۴	۱۹۳	۸۶	۰	۱۰۵۵	۷۵۰
Control N_6	۰/۴۵	۴۳۰	۱۹۳	۰	۲۵/۸۰	۱۰۵۵	۷۵۰
BHA $_5$N $_6$	۰/۴۵	۴۰۸/۵	۱۹۳	۲۱/۵	۲۴/۵۱	۱۰۵۵	۷۵۰
BHA $_{10}$N $_6$	۰/۴۵	۳۸۷	۱۹۳	۴۳	۲۳/۲۲	۱۰۵۵	۷۵۰
BHA $_{15}$N $_6$	۰/۴۵	۳۶۵/۵	۱۹۳	۶۵/۴	۲۱/۹۳	۱۰۵۵	۷۵۰
BHA $_{20}$N $_6$	۰/۴۵	۳۴۴	۱۹۳	۸۶	۲۲/۶۶	۱۰۵۵	۷۵۰

جدول ۲- خصوصیات مخلوطهای بتنی حاوی مقادیر مختلفی از خاکستر پوسته جو و نانو سیلیس

کد طرح	اسلامپ (میلیمتر)
Control	۷۳۰
BHA 5	۶۵۰
BHA 10	۶۲۰
BHA 15	۶۰۰
BHA 20	۵۹۰
Control N_6	۷۴۰
BHA $_5$N $_6$	۷۶۰
BHA $_{10}$N $_6$	۷۶۰
BHA $_{15}$N $_6$	۷۶۰
BHA $_{۲۰}$N $_6$	۷۶۰

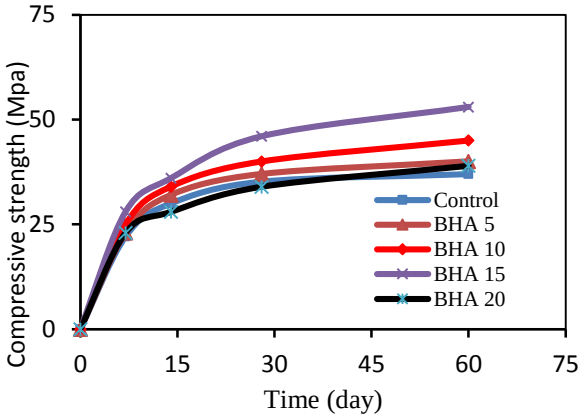
۳-۲ - مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری(شکل۹) با استفاده از نمونه های مکعبی ۱۰ سانتیمتری در سنین۷، ۲۸،۱۴ و ۶۰ روز انجام گردید.نمونه های آزمایشهای مقاومت فشاری مطابق با ASTM C 642 بوده است. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری برای سنین مذکور در شکل۹ و ۱۰ آمده است.

همانطور که در شکل ۹ مشخص است، اضافه کردن ۵ درصد و ۱۰ درصد خاکستر پوسته جو تنها، به ترتیب باعث افزایش ۵/۳ و ۸/۶ درصدی مقاومت فشاری در سن ۷ روزه، افزایش ۱۴/۷و۱۶/۳ درصدی مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه شده است. در حالی‌که اضافه کردن ۱۵ درصد خاکستر پوسته جو باعث افزایش ۳۱/۳

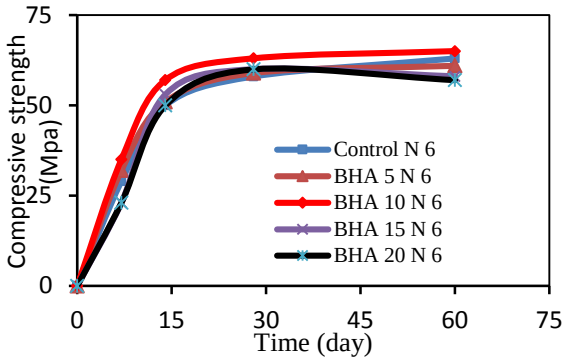
درصدی مقاومت فشاری در سن۷ روزه و افزایش۵۳/۴ درصدی مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه شده است. همچنین، اضافه کردن ۲۰ درصد خاکستر پوسته جو باعث کاهش ۱ درصدی مقاومت فشاری در سن۷روزه وکاهش ۱/۴ درصدی مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه شده است. دلیل این کاهش روند مقاومت نمونه حاوی ۱۵ درصدی به نسبت نمونه حاوی ۲۰ درصدی، می -تواند روند کاهشی آبگیری سیمان یا کم بودن مقدارسیمان جهت عمل هیدراتاسیون باشد.

پس باتوجه به نتایج آزمایش اضافه کردن ۱۵ درصد خاکستر پوسته جو مؤثر تر از اضافه کردن ۲۰ درصد خاکستر پوسته جواست . یکی دیگر از دلایل این اتفاق ممکن است که با اضافه کردن ۲۰ درصد خاکستر پوسته جو مقداری از عمل پوزولانی خاکستر پوسته جوانجام شده و بقیه آن باعث پوکی و در نتیجه کاهش مقاومت شود . پس اضافه کردن ۱۵ درصد خاکستر پوسته جو باعث افزایش مقاومت فشاری می شود و می‌تواند بصورت پوزولان عمل کند و جای‌گزین خوبی برای سیمان باشد.



شکل ۹- مقاومت فشاری بتن حاوی خاکستر پوسته جو بصورت مجزا

همانطور که در شکل ۱۰ مشخص است، بکار بردن ۶ درصد نانو سیلیس به همراه ۱۰ ٪ درصد پوسته جو، باعث افزایش ۲۰ در صدی مقاومت ۷ روزه و ۱۸ درصدی مقاومت ۲۸ روزه نسبت به نمونه کنترل حاوی نانو سیلیس می شود. دلیل این مورد آن است که واکنش تدریجی خاکستر پوسته جو با هیدرو اکسید کلسیم و قلیایی های حاصل از آبگیری سیمان باعث ایجاد ایجاد مقدار بیشتر ژل C-S-H , مسدود شدن فضاهای خالی، کاهش خلل و فرج شده ودرنتیجه افزایش مقاومت فشاری می شود.



شکل ۱۰- مقاومت فشاری بتن حاوی خاکستر پوسته جوو ۶ درصد نانو سیلیس و بصورت ترکیبی

همچنین با مقایسه شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود که افزودن نانو سیلیس به مخلوط بتن باعث می گردد Sio_2 فعال آن با محلول هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ آزاد موجود در منافذ موئین بتن ترکیب گردد و کریستال سیلیکات کلسیم نامحلول تولید نماید و در نهایت باعث تراکم ساختار خمیر سیمان و افزایش مقاومت بتن گردد.

۳-۳- مقاومت کششی غیر مستقیم بتن

این آزمایش براساس استاندارد ASTM-C496 با قالب های استاندارد استوانه ای به قطر ۱۵۰ میلی مترو ارتفاع ۳۰۰ میلی متر (شکل ۱۱) انجام شد. شد. نتایج این آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. مقادیر جدول ۲ نشان می دهد که با اضافه کردن ۱۵ درصد خاکستر پوسته جو مقاومت کششی غیر مستقیم بتن به اندازه۶۸٪ نسبت به نمونه کنترل افزایش داشته است. آزمایش نشان داد که با افزایش۲۰ درصدی خاکستر پوسته جو مقاومت کششی غیر مستقیم بتن کمتر از نمونه کنترل بود. در حین ازمایش نوع شکست این نمونه هم فرق می کرد. این نمونه بصورت ناگهانی با صدای انفجاری شکست. احتمالا دلیل آن، این است که چون خاکستر پوسته جو یک ماده متخلخل است و مقدار آن در این نمونه از سایر نمونه ها بیشتر بود (۲۰ درصد) ترک‌ها و تخلخل‌های در نمونه ایجاد می شد که سبب شکست از نوع مکانیک شکست (Fracture mechanics) بتن می باشد. مکانیک شکست که مبتنی بر روابط انرژی استوار است قادر است نرم شدگی کرنش در منطقه صدمه دیده بتن را بررسی نماید. رابطه بین تنش – کرنش نرم شدگی در بتن ترک خورده یکی از مباحث اصلی برای تعیین

رفتار غیر خطی بتن می باشد. تئوری شکست بتن ارائه شده با پیش بینی پاسخ شکست سازه های بتنی با سایز معمولی آغازو به سدها توسعه یافت. منطقه آسیب دیده درجلوی راس ترک به جهت استفاده از سنگ دانه و خاکستر پوسته جو می تواند دلیل این شکست باشد. لازم به ذکراست این آزمایش دوباره تکرار شد تا صحت این نوع شکست بار دیگر کنترل گردد و مقاومت کششی غیر مستقیم بتن نمونه حاوی ۲۰ درصد خاکستر پوسته جو باز هم کمتر از نمونه کنترل بهدست آمد.

ازطرفی با مقایسه نمونه کنترل(Control) وکنترل حاوی ۶ درصد نانو سیلیس(Control N6) نتیجه گرفته می‌شود که با افزودن نانوسیلیس مقاومت کششی غیرمستقیم افزایش می یابد. همچنین با افزایش درصد خاکستر پوسته جودر نمونه‌های حاوی نانو سیلیس ، نرخ افزایش مقدار مقاومت کششی غیرمستقیم به صورت صعودی افزایش پیدا می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش خاکستر پوسته جو با درصدهای ۵ ،۱۰و ۱۵ درصد، به ترتیب مقدار مقاومت کششی غیرمستقیم۶، ۱۳ و ۲۰ درصد افزایش می یابد.

جدول ۳- مقادیر آزمایش مقاومت کششی

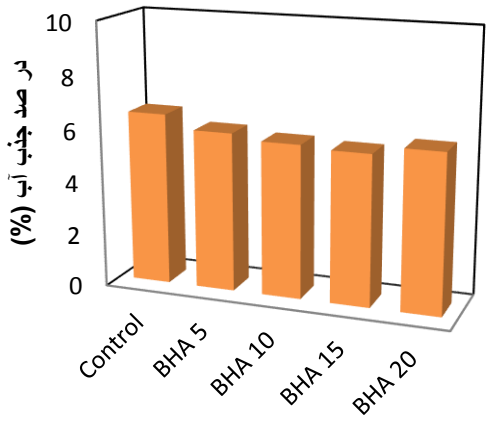
کد طرح	مقاومت کششی بتن(Mpa)
Control	۲/۳۰
BHA 5	۲/۵۳
BHA 10	۳/۱۱
BHA 15	۳/۸۸
BHA 20	۲/۲۲
Control N_6	۳/۲۳
BHA $_5N_6$	۳/۴۵
BHA $_{10}N_6$	۳/۶۷
BHA $_{15}N_6$	۳/۹۶
BHA $_{۲۰}N_6$	۳/۹۱

در مورد نمونه بتنی حاوی فقط ۲۰ درصد خاکستر پوسته جو شکستی شبیه شکست نمونه های دیگر رخ نداد و همچنین شکست آن شبیه نمونه ۲۰ درصد خاکستر پوسته جو حاوی نانو سیلیس صورت نگرفت. دلیل این امر احتمالا وجود نانو سیلیس است که چون ریز است تخلخل و ترک‌ها را پر می‌کند و همچنین سطح تماس زیادی با سیمان دارد وژل C-S-H بیشتری تولید می شود.

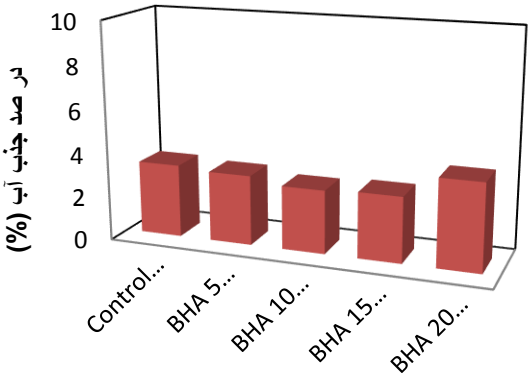
شکل ۱۱- نمونه مقاومت کششی بتن

۳-٤- درصد جذب آب

در شکل ۱۲درصد جذب آب نمونه‌های حاوی خاکسترپوسته جو به‌صورت مجزا در سن ۲۸ روزه ارائه گردیده است. مشاهده می گردد که به کارگیری ۱۵ درصد خاکستر پوسته جو منجر به کاهش درصد جذب آب می شود. حداکثر کاهش درصد جذب آب مربوط به این نمونه می باشد. همچنین مشاهده می‌گردد که به‌کارگیری ۱۵ درصد خاکستر پوسته جو تأثیر بیشتری بر بهبود درصد جذب آب نسبت به نمونه حاوی ۲۰ درصد خاکسترپوسته جو دارد.



. شکل ۱۲- درصد جذب آب نمونه های بتنی حاوی خاکستر جو بصورت مجزا

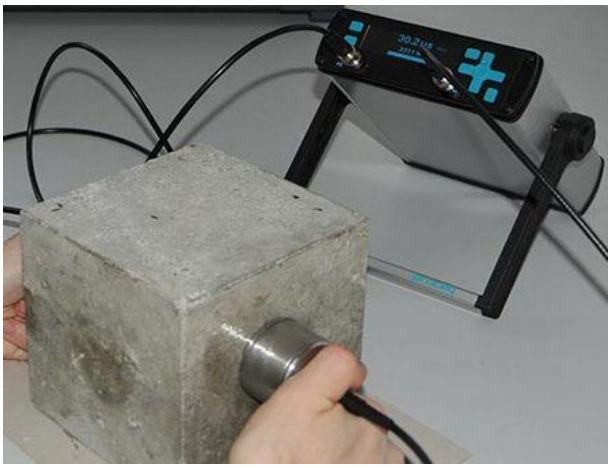


شکل ۱۳- درصد جذب آب نمونه های بتنی حاوی خاکستر پوسته جو همراه ۶ درصد نانو سیلیس

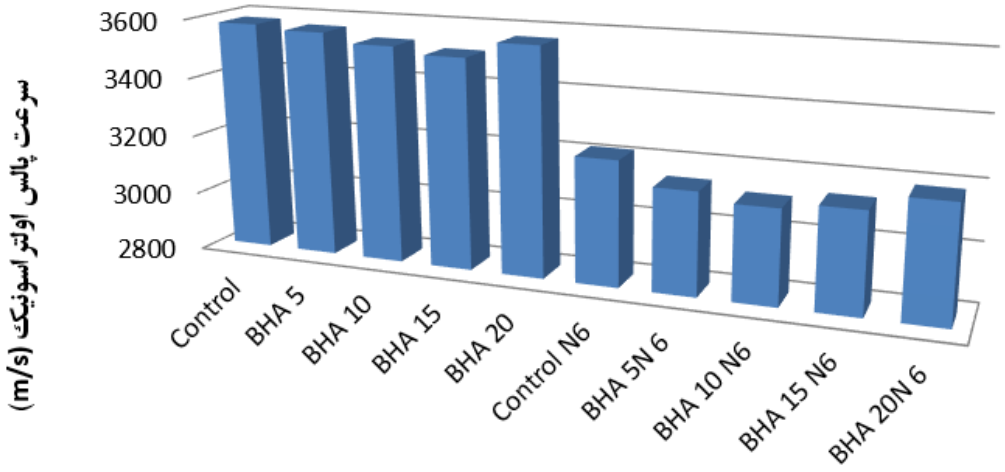
شکل ۱۳ نشان می‌دهد با ترکیب خاکستر پوسته جو و نانوسیلیس نیز می توان بتن هایی با جذب آب پایین ساخت. در مورد درصد جذب آب نیز طرح اختلاط ۱۵ درصد و ۶درصد نانوسیلیس کمترین میزان جذب آب را از خود نشان دادند که با نتایج مقاومت فشاری نیز مطابقت دارد. با توجه به شکل ۱۲و ۱۳ ، بکار بردن ۶ درصد نانو سیلیس ، کاهش ۴۸ درصدی جذب آب در ملات را دربر داشته است. دلیل آن می تواند این باشد که ترکها و تخلخل می تواند به‌وسیله دانه‌های ریز نانو سیلیس پر شده باشد.

۳-۵- سرعت پالس اولتراسونیک (UPV)

با استفاده از دستگاه غیر مخرب آلتراسونیک (شکل ۱۴) سرعت پالس اولتراسونیک محاسبه گردید. سرعت پالس اولتراسونیک برای مخلوطهای بتنی ۲۸ روزه در شکل ۱۵ رسم شده است. مشاهده می گردد که به کارگیری خاکستر پوسته جو منجر به کم شدن سرعت پالس اولتراسونیک شده است که این نشان می دهد ترکها و تخلخل نمونه های بتنی می توانند در اثر عمل پوزلانی خاکستر پوسته جو پر شده باشند. اما اگر از مقداری بیشتر باشد(۱۵ درصد) بصورت عکس عمل می کند. مثلا ۲۰ درصد خاکستر پوسته جو در بتن باعث می شود که سرعت پالس ماکزیمم، مقاومت فشاری کم و نوع شکست متفاوت باشد.کمترین مقدار سرعت پالس مربوط به نمونه ۱۰ درصد خاکستر پوسته جو و ۶ درصد نانو سلیس است. پس می توان گفت در نمونه خاکستر پوسته جو (بدلیل عمل پوزلانی) به همراه ۶ درصد نانو سلیس(بدلیل ریزی، سطح تماس بیشتر و وجود SiO2) سرعت پالس اولتراسونیک به نسبت نمونه کنترل حاوی نانو سیلیس(۶)Control N کمتر است.



شکل ۱۴- دستگاه غیر مخرب آلتراسونیک (UPV)



شکل ۱۵- سرعت پالس اولتراسونیک مخلوطهای بتن

٤- نتیجه‌گیری

بر اساس نتیجه آزمایشات و بررسی‌های انجام گرفته در این پژوهش می‌توان چنین نتیجه گرفت:

۱. نتایج حاکی از آن است که جای‌گزینی خاکستر پوسته جو تا ۱۵درصد باعث بهبود پارامترهای مقاومتیِ بتن می شود.
۲. باتوجه به نتایج آزمایش، اضافه کردن ۱۵درصد خاکستر پوسته جو از لحاظ بالابردن مقاومت کششی از اضافه کردن ۲۰درصد آن بهتر است .
۳. همچنین مشاهده گردید به‌کار بردن ۶ درصد نانو سیلیس به همراه ۱۰ درصد پوسته جو، باعث افزایش ۱۸ درصدی مقاومت ۲۸ روزه نسبت به نمونه کنترل حاوی نانو سیلیس می شود.
۴. مقادیر نشان می‌دهد که با اضافه کردن ۱۵ درصد خاکستر پوسته جو مقاومت کششی غیر مستقیم بتن به اندازه۶۸ درصد نسبت به نمونه کنترل افزایش داشته است.همچنین، نتیجه گرفته می‌شود که با افزودن نانوسیلیس مقاومت کششی غیرمستقیم افزایش می یابد.
۵. مشاهده می‌گردد که به‌کارگیری خاکستر پوسته جو منجر به کم شدن سرعت پالس اولتراسونیک شده است و کمترین مقدار سرعت پالس مربوط به نمونه ۱۰ درصد خاکستر پوسته جو و ۶درصد نانو سلیس می باشد.

۵- مراجع

[1] A. Khare and A. Tiw, "Investigation of strength of concrete containing locally available industrial and agriculture waste," International Journal of Science and Research, vol. 4, no. 5, pp. 2319-7064, 2015.

[2] A. Chakraborty and A. Goswam, "Conservation of environment by using fly ash and rice husk ash as a partial cement replacement in concrete," Journal of Energy Research and Environmental Technology, vol. 2, no. 1, pp. 9-11, 2015.

[3] G.C Isaia, A.L.G Gastaldini, and R. Moraes , "Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete," Cement and Concrete Composits, vol. 25, pp. 69-76, 2003.

[4] D. Vays, M. C. Vays, and J. Pitroda, "Utilization of barley husk ash in clay bricks in aspect of indian context: A literature review," International Journal of Civil, Structural,Environmental and Infrastructure Engineering, vol. 4, no. 1, pp. 61-68, 2014.

[5] H. Du, S. Du, and X. Liu, "Durability performances of concrete with nano-silica," Construction and Building Materials, vol. 73, pp. 705-712, 2014.

[6] N. Farzadnia, H. Noorvand, A. M. Yasin, and F. Aziz, "The effect of nano silica on short term drying shrinkage of POFA cement mortars," Construction and Building Materials, vol. 95, pp. 636-643, 2015.

[7] J. Montgomery , T. M. Abu-Lebdeh, and A. Sameer , "Effect of nano silica on the compressive strength of harden cement paste at different stages of hydration," American Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 2, pp. 166-177, 2016.

[8] D. V. Prasada Rao and V. Navaneethamma, "Influence of nano-silica on strength properties of concrete containing rice husk ash," International Journal of Advanced Research, vol. 3, no. 1, pp. 39-43, 2016.

[9] M. R. Karim, M. F. M. Zain, M. Jamil, and F. C. La, "Fabrication of a non using slag, palm oil fuel ash and rice husk ash with sodium hydroxide," Construction and Building Materials, vol. 49, p. 894, 2013.

[10] H. Biricik and N. Sarier, "Comparative study of the characteristics of nano silicasilica fume– and fly ash–incorporated cement mortars," Materials Research, vol. 17, no. 3, pp. 570-582, 2014.

[11] M. R. Taha and O. M. E. Taha, "Influence of nano-material on the expansive and shrinkage soil behavior," Journal of Nanoparticle Research , vol. 14, pp. 1190-1200, 2012.

[12] N. Farzadnia, A. A. Ali, and R. Demirboga, "Development of nanotechnology in high performance concrete," Advanced Materials Research, vol. 364, pp. 115-118, 2012.

[13] A.S.M. Abdul Awal and I.A. Shehu, "Evaluation of heat of hydration of concrete containing high volume palm oil fuel ash," Fuel, vol. 105, pp. 728–731, 2013.

[14] S. H. Bahmani, N. Farzadnia, A. Asadi, and B. B. Huat, "The effect of size and replacement content of nanosilica on strength development of cement treated residual soil," Construction and Building Materials, vol. 118, pp. 294-306, 2016.

[15] M.H. Zhang and J. Islam, "Use of nano-silica to reduce setting time and increase early strength of

concretes with high volumes of fly ash or slag," Construction and Building Materials, vol. 29 , pp. 573–580, 2012.

[16] A. M. Said , Zeidan MS, Bassuoni MT and Tian Y., A. M. Said, M. S. Zeidan, M. T. Bassuoni, and Y. Tian , "Properties of concrete incorporating nano-silica," Construction and Building Materials, vol. 36, pp. 838-844, 2012.

[17] F. Pacheco-Torgal , S Miraldo, Y. Ding, and j. A. Labrincha , "Targeting HPC with the help of nanoparticles: An overview," Construction and Building Materials, vol. 38, pp. 365-370, 2013.

[18] S. Naskara and A. K. Chakraborty, "Effect of nano materials in geopolymer concrete," Perspectives in Science, vol. 8, pp. 273–275, 2016.

[19] S. B. Sankar Rao, P. Mallesham, and R. Sri, "To study the influence of nano silica on the strength and durability of self compacting concrete," Imperial Journal of Interdisciplinary Research, vol. 3, no. 1, pp. 342-348, 2017.

Influence of Barley Husk Ash with Nano- Silica on the Concrete Behavior

S. Shahbazapanahi *
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Sanandaj Branch

Abstract

World-wide agricultural footprint is fast growing, with vast agricultural land cultivation and active expansion of the agro based industries. Agriculture is the most economic activity of Iran and other developing nations. In other hand, with the emergence of nanotechnology, inclusion of nano-materials in cementitous composites was a subject of many studies. Reportedly, nano materials enhance properties of cement matrix through several mechanisms. For example, nano- silica with high amount of SiO_2 increases the pozzolanic reaction rate and leads to a stronger interfacial transition zone and denser microstructure of the cement matrix. In this study, effects of barley husk ash with nano-silica on the concrete were investigated. Nine design mixes of barley husk ash separately or with six percent of nano- silica were casted for compression tests, tensile strength, and water absorption ratio. One of the major findings is that concrete that incorporates fifteen percent of barley husk ash weight of cement showed better mechanical properties than twenty percent. Also, it was found that with the addition of six percent of nano-silica with ten percent of barley husk ash, both compression tests and tensile strength increased. The results show that nano-silica decreases ultrasonic pulse velocity.

Keywords: Barley husk ash, nano-silica, concrete, compression strength, tensile strength.

* Corresponding Author: sh.shahbazpanahi@iausdj.ac.ir