Archive of SID

بررسی استفاده از خاکستر لاستیک بر خواص مکانیکی و دوام بتن شاتکریتی و مقایسه آن با بتن شاتکریتی دارای نانو سیلیس

محمد جواد رحیم پورکامی، کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه اراک، اراک، ایران
حمیدرضا توکلی*، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بابل، بابل، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: tavakoli@nit.ac.ir
دریافت: ۱۳۹٤/۰۳/۰٦ – پذیرش: ۱۳۹٤/۰۷/۱۵

چکیده

در ایران سالیانه درحدود ۱۵۰ هزارتن لاستیک فرسوده تولید می‌شود. امکان دفع این زباله‌ها در محیط‌زیست وجود ندارد، زیرا لاستیک اتومبیل با سرعت خیلی کمی تجزیه می‌شود وآلودگی‌های بسیار زیادی در محیط ایجاد می‌نماید، بنابراین استفاده بهینه از این ضایعات به یک ضرورت تبدیل شده است. در این تحقیق مقاومت کششی، خمشی و فشاری نمونه ۲۸ روزه و مقاومت فشاری ۷۰ روزه بتن شاتکریتی معمولی، بتن حاوی خاکستر لاستیک و همچنین بتن دارای نانو سیلیس در محیط اسیدی و بازی این نوع بتن مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور خاکستر لاستیک با درصدهای وزنی سیمان معادل ۱٪، ۲٪ و ۳٪ و نسبت آب به سیمان برابر ۰٫٤ ، ۰٫٤۵ و ۰٫۵ درصد در نظر گرفته شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد اضافه نمودن خاکستر لاستیک باعث بهبود خواص مکانیکی بتن شاتکریتی از جمله افزایش مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و مقاومت کششی آن می‌شود. همچنین مقاومت مکانیکی بتن شاتکریتی حاوی خاکستر لاستیک خیلی بیشتر از مقدار متناظر آن در بتن شاتکریتی معمولی و بتن دارای نانو سیلیس می‌باشد.

واژگان کلیدی: بتن شاتکریتی، خاکستر لاستیک، نانو سیلیس، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، مقاومت فشاری

۱- مقدمه

دوام و مقاومت سازه‌های بتنی در صنعت حمل و نقل از جمله پایه پل‌ها یا اسکله‌های دریایی، به علت حجم بار ترافیکی و قرارگیری در معرض عوامل محیطی، توجه زیادی را در علم تکنولوژی بتن به خود جلب کرده است (Ozyildirim, 1993) بنابراین تلاش‌های زیادی صورت گرفته است تا با استفاده کردن از افزودنی‌ها، مقاومت و دوام بتن بهبود یابد (Ozyildirim, 1993). امروزه، مصرف از مواد پلیمری رو به افزایش است، در حالی‌که بازنگشتن مجدد این مواد به چرخه تولید از مشکلات زیست‌محیطی محسوب می‌شود، براین اساس محققین در تلاش هستند به فناوری حیاتی در بازیافت لاستیک‌ها دست یابند. لاستیک‌ها حدود ۵ درصد وزن خودرو را تشکیل می‌دهند. در ایران سالانه حدود هفت میلیون حلقه انواع لاستیک سبک و سنگین مصرف می‌شود. لاستیک‌های فرسوده از جمله ضایعاتی به حساب می‌آیند که به دلیل پایداری زیاد، اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی بسیاری دارند و چهره طبیعت را زشت می‌کنند. لاستیک، یکی از عناصر مهم زندگی بشر بوده و استفاده از آن روز به روز در حال افزایش است. لاستیک‌های مستعمل، زباله‌های خاصی هستند که از لحاظ شیمیایی، اندازه، حالت و شکل با زباله‌های دیگر تفاوت دارند. این مواد، هیدروکربن‌های نسوخته بوده و گازهای سمی را وارد محیط زیست می‌کنند. در کشورهای صنعتی از لاستیک‌های فرسوده به عنوان سوخت جایگزین در صنایعی چون تولید سیمان استفاده می‌شود. برخلاف دیگر مواد زاید جامد، تایرهای زاید را نمی‌توان بدون انجام عملیات مقدماتی دفن کرد، از طرف دیگر، تایرهایی که در طبیعت رها می‌شوند، خطرات جدی برای محیط زیست و سلامت انسان‌ها ایجاد می‌کنند. استفاده مجدد از

* - نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

تایرهای فرسوده، راه حل جالب و مناسبی برای کاهش ضایعات، قیمت‌ها و افزایش کیفیت و ایمنی محیط زندگی به حساب می‌آید. در سالهای اخیر پژوهشگران دریافته‌اند که چنانچه بتوان مواد را در مقیاس‌های کوچکتر تهیه کرد، پیوندهایی که ماده با ابعاد کوچک با فازهای اطراف خود برقرار می‌کند، به مراتب قویتر از مقیاس‌های بزرگتر است (Oriakhi,2000). بر این اساس شاخه جدیدی از کامپوزیت‌ها، ارایه و توسعه یافته است. نانوکامپوزیت ماده مرکبی است که حداقل یکی از فازهای تشکیل دهنده آن دارای ابعاد نانو (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) باشد. نانو کامپوزیت‌ها در مقایسه با سایر کامپوزیت‌ها، به دلیل داشتن خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مطلوب‌تر، کاربردهای وسیع‌تری دارند. (Luo, Daniel, 2003) در صنعت بتن، سیلیس یکی از معروف‌ترین موادی است که نقش مهمی در چسبندگی و پرکنندگی بتن با عملکرد بالا ایفا می‌کند. محصول معمولی همان سلیکیافیوم یا میکرو سیلیکا می‌باشد که دارای قطری در حدود ۰/۱ تا ۱ میلی‌متر می‌باشد و دارای اکسید سیلیس حدود۹۰٪ می‌باشد. می‌توان گفت که میکرو سیلیکا محصولی است که در محدوده بالاتر از اندازه نانو متر جهت افزایش عملکرد کامپوزیت مواد سیمانی به کار برده می‌شود. به عبارت دیگر، محصول نانو سیلیس متشکل از ذراتی هستند که دارای شکل گلوله ای بوده و با قطر کمتر از ۱۰۰ نانو متر به صورت ذرات خشک خاکستر یا معلق در مایع محلول قابل انتشار می‌باشند، که مایع آن معمول‌ترین نوع محلول نانو سیلیس می‌باشد، نانو سیلیس معلق در بتن کاربردهای چند منظوره از جمله خاصیت ضد سایش، ضد لغزش، ضد حریق، ضد انعکاس سطوح دارد (Theng,1979). خطیب و بایومی (۱۹۹۹)، نشان دادند که با افزایش خرده لاستیک، مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد. به طوری که در مقایسه با بتن شاهد با مقاومت ۲۸روزه برابر ۳۸ مگاپاسکال، با افزودن خرده لاستیک به بتن مقاومت فشاری آن به ۳/٦ مگاپاسکال و برای مخلوط با جایگزینی ۱۰۰٪ خرده لاستیک، به ۳/۲ مگا پاسکال کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده کاهش ۹۰ درصدی در مقاومت می‌باشد. نرخ کاهش مقاومت در بتن ۷ روزه خیلی کمتر از مقاومت ۲۸ روزه گزارش شده است. نکته قابل توجه دیگر این است که با افزودن خرده لاستیک درشت‌دانه نسبت به خرده لاستیک ریزدانه به بتن، مقاومت فشاری بتن کاهش بیشتری می‌یابد. این محققین با مطالعه گسیختگی و سطح مقطع نمونه‌های گسیخته شده سه دلیل برای کاهش مقاومت در مخلوط‌های بتنی حاوی لاستیک ارایه کرده‌اند:

الف: از آنجا که دانه‌های لاستیکی قابلیت ارتجاعی بیشتری نسبت به خمیر سیمان محاط به آن دارند؛ در حین بارگذاری، ترکها ابتدا در اطراف دانه‌های لاستیکی در مخلوط ایجاد می‌شوند که باعث شتاب دادن به گسیختگی ماتریس سیمان - لاستیک می‌شود.

ب: به دلیل فقدان چسبندگی بین دانه‌های لاستیکی و خمیر سیمان، دانه‌های لاستیکی نرم را می‌توان به صورت حفره‌هایی در مخلوط بتن فرض کرد. این افزایش حفرات در بتن باعث کاهش در مقاومت می‌شود.

ج: مقاومت بتن معمولی به میزان زیادی وابسته به نوع سنگدانه‌ها، دانسیته، ابعاد و سختی سنگدانه‌ها می‌باشد. از آنجا که سنگدانه‌ها با دانه‌های لاستیکی جایگزین شده‌اند؛ کاهش در مقاومت فشاری طبیعی به‌نظر می‌رسد (Khatib,Bayomy, 1999).

الیوارس و همکاران در سال ۲۰۰۲ با جایگزینی ۵ و ۳/۵ درصد حجمی لاستیک بازیافتی در یک ماتریس سیمان، مشاهده کردند که افزودن این میزان لاستیک تأثیر چندانی بر روی مقاومت فشاری و همین طور الاستیسیته ندارد (Olivars, Barluenga, Witoszek, 2002). تاپکو ریزدانه سنگی را با ریزدانه لاستیکی و درشت دانه سنگی را با درشت دانه لاستیکی جایگزین کرد. مقاومت فشاری استوانه‌ای ٦ ماهه بتن شاهد ۳۳/٦۷ مگا پاسکالی، با افزودن ۱۵، ۳۰، ٤۵ درصد ریزدانه لاستیکی به ترتیب به ۲۰/۳۳، ۱۱/۰٦و۷/۱٦ مگاپاسکال و با افزودن همین مقدار درشت‌دانه لاستیکی به ۱۵/۷۵، ۱۰/۸۲و ۲/۷۲ مگاپاسکال کاهش یافت. این مسأله نشان می‌دهد که درشت‌دانه لاستیکی کاهش مقاومت بیشتری را نسبت به ریزدانه لاستیکی از خود نشان می‌دهد. آنها همچنین گزارش دادند که نمونه‌ها بعد از گسیختگی، بار قابل توجهی را تحمل می‌کنند و جابه‌جایی‌های قابل توجهی را بدون از هم پاشیدن کامل متحمل می‌شوند؛ که این جابه‌جایی‌ها و تغییر شکل‌ها، عمدتاً بعد از باربرداری، قابل بازگشت می‌باشد (Topcu, 1995). تحقیقات نشان می‌دهد که اگر دانه‌های لاستیکی سطح خشن‌تری داشته باشند یا پیش عمل‌آوری روی آنها انجام شود؛ چسبندگی بهتری بین آنها با مخلوط بتنی ایجاد می‌شود و بنابراین ممکن است

www.SID.ir

Archive of SID

منجر به ایجاد مقاومت فشاری بالاتری شود. پیش عمل‌آوری می‌تواند از شستن دانه‌های لاستیکی با آب یا اسید یا غیره باشد (Rostami, Llepore, Silverstraim, Zundi, 1993).

آلبانو و همکاران مقاومت فشاری بتن حاوی مقادیر لاستیک با بعدهای مختلف و عمل‌آوری‌های متفاوت را مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که مقاومت فشاری بتن حاوی خرده لاستیک در مقایسه با بتن معمولی کاهش شدیدی دارد. به طوری که در کامپوزیت‌های حاوی ۵ درصد لاستیک با ابعاد ۰/۵۹ میلی‌متر، حدود ٦۰ درصد کاهش مقاومت مشاهده کردند؛ و با افزایش محتوای لاستیک به ۱۰ درصد وزنی، مقاومت فشاری ۸۸ درصد کاهش یافت. آنها عامل این کاهش را سوراخ‌های ریز موجود در دانه‌های لاستیکی ذکر کردند که معمولاً با آب پر شده و موجب ایجاد حفراتی در مخلوط می‌شدند (Raghvan, Huynh, Ferraris, 1998). الدین و سینوسی نیز درشت‌دانه موجود در بتن را با خرده لاستیک و ماسه موجود در بتن را با خاکستر لاستیک جایگزین کردند. در این تحقیق لاستیک‌های فرسوده مورد استفاده توسط آب، پیش عمل‌آوری شده بودند. همانطور که مشاهده می‌شود حداکثر مقاومت فشاری با ۱۰۰ درصد جایگزینی درشت‌دانه‌های سنگی با خرده‌های لاستیک، به میزان ۸۵ درصد می‌باشد. اما تأثیر جایگزینی ماسه با ریزدانه‌های لاستیکی، مقاومت فشاری حداکثر ٦۵ درصد کاهش می‌یابد (Eldin, Senouci, 1993). های هیون در سال ۱۹۹٦ خرده‌های لاستیک با ابعاد ٤/۷۵ میلی متر تا ۱۰ درصد وزنی نسبت به سیمان به مخلوط بتن اضافه کردند و تغییر چندانی در مقاومت فشاری مشاهده نکردند (Huynh, Raghavan, Ferraris, 1996).

تحقیقات انجام شده توسط تانتالا و همکاران در مورد طاقت با ساخت نمونه‌های بتنی شاهد (کنترل) و بتن حاوی ۹۵ و ۱۰ درصد حجمی لاستیک به جای سنگدانه درشت انجام گردید. (طاقت به عنوان جذب انرژی شناخته می‌شود که مساحت زیر نمودار تنش کرنش نشانگر جذب انرژی می‌باشد) نتایج نشان داد که طاقت بتن حاوی لاستیک بالاتر از نمونه شاهد گزارش می‌شود(Tantala,Lepore, Zandi, 1996). راگوان و همکاران به این نتیجه رسیدند که استفاده از لاستیک مستهلک در بتن، توانایی نمونه برای تحمل بار اضافی بعد از حداکثر بار، آن را بهبود می‌بخشد. بتن حاوی لاستیک ریز شده علت ایجاد پل بین دو سطح شکسته شده از دو نیم شدن نمونه تحت شکست خمشی جلوگیری می‌کند (Raghvan, Huynh, Ferraris, 1998). گوالیوس نتایجی در مورد کاهش مدول دینامیک الاستیسیته و سختی بتن با افزایش مقدار لاستیک در بتن گزارش کردند. ماده بدست آمده تردی کمتری داشت. همچنین ظرفیت میرایی نمونه که به عنوان مقیاسی در توانایی ماده برای کاهش ارتفاع لرزش آزاد در داخل نمونه مطرح می‌باشد، با افزایش مقدار لاستیک کاهش می‌یابد.

تاها و همکاران (۲۰۰۳) درصدهای مختلفی از خرده لاستیک‌های ۵ تا ۲۰ میلی متر را به بتن افزودند. در این تحقیق نیز با جایگزینی ۱۰۰ درصد حجمی درشت دانه‌های سنگی با خرده لاستیک، مقاومت فشاری به میزان ۷۵ درصد کاهش یافت. آنها همچنین تأثیر قابل توجه خرده‌های لاستیک بر روی مقاومت فشاری بتن را مربوط به تغییر شکل و اندازه ناحیه انتقال از مجاورت سنگدانه‌ها به مجاورت خرده‌های لاستیک بیان کرده‌اند (Taha,Wahab, 2003).

در سال‌های اخیر پژوهشگران دریافته‌اند که چنان‌چه بتوان مواد را در مقیاس‌های کوچک‌تر تهیه کرد، پیوندهایی که ماده با ابعاد کوچک با فازهای اطراف خود برقرار می‌کند، به مراتب قوی‌تر از مقیاس‌های بزرگ‌تر است (Oriakhi,2000). بر این اساس شاخه جدیدی از کامپوزیت‌ها، ارایه و توسعه یافته است. نانو کامپوزیت ماده مرکبی است که حداقل یکی از فازهای تشکیل دهنده آن دارای ابعاد نانو (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) باشد (Luo , Daniel, 2003). نانو کامپوزیت‌ها در مقایسه با سایر کامپوزیت‌ها، به دلیل داشتن خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مطلوب‌تر، کاربردهای وسیع‌تری دارند. و در صنایع هوانوردی، اتومبیل‌سازی، لاستیک، ارتباطات، صنایع شیمیایی، متالوژی، داروسازی، بهداشت و علوم بیولوژیکی و فناوری‌های انرژی کاربرد دارد (Theng,1979).

در صنعت بتن، سیلیس یکی از معروف‌ترین موادی است که نقش مهمی در چسبندگی و پرکنندگی بتن با عملکرد بالا ایفا می‌کند. محصول معمولی همان سلیکیافیوم یا میکروسیلیکا می‌باشد که دارای قطری در حدود ۰/۱ تا ۱ میلی‌متر می‌باشد و دارای اکسید سیلیس حدود ۹۰٪ می‌باشد. می‌توان گفت که میکروسیلیکا محصولی است که در محدوده بالای اشل اندازه نانو متر جهت افزایش عملکرد کامپوزیت مواد سیمانی به کار برده می‌شود یا محصول نانو سیلیس متشکل از ذراتی هستند که دارای شکل گلوله‌ای بوده و با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر به صورت ذرات خشک پودر یا به صورت معلق در مایع محلول قابل انتشار می‌باشند، که مایع آن معمول‌ترین نوع محلول نانو

www.SID.ir

Archive of SID

سیلیس می‌باشد، این نوع محلول در آزمایشات مشخص در بتن خودتراکم به کار گرفته شده است. نانو سیلیس معلق کاربردهای چند منظوره مانند خاصیت ضد سایش، ضد لغزش، ضد حریق، ضد انعکاس سطوح از خود نشان می‌دهد. (Naganuma, Kagawa, 2003).

مروری بر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد مطالعات اندکی در خصوص تاثیر خرده لاستیک بر خواص مکانیکی بتن انجام شده است که عمدتاً افزودن خرده لاستیک باعث کاهش مقاومت در بتن می‌شود، شایان ذکر است هیچگونه مطالعاتی در خصوص تاثیر استفاده از خاکستر لاستیک بر خواص مکانیکی بتن انجام نشده است و این تحقیق سعی بر بررسی این موضوع دارد.

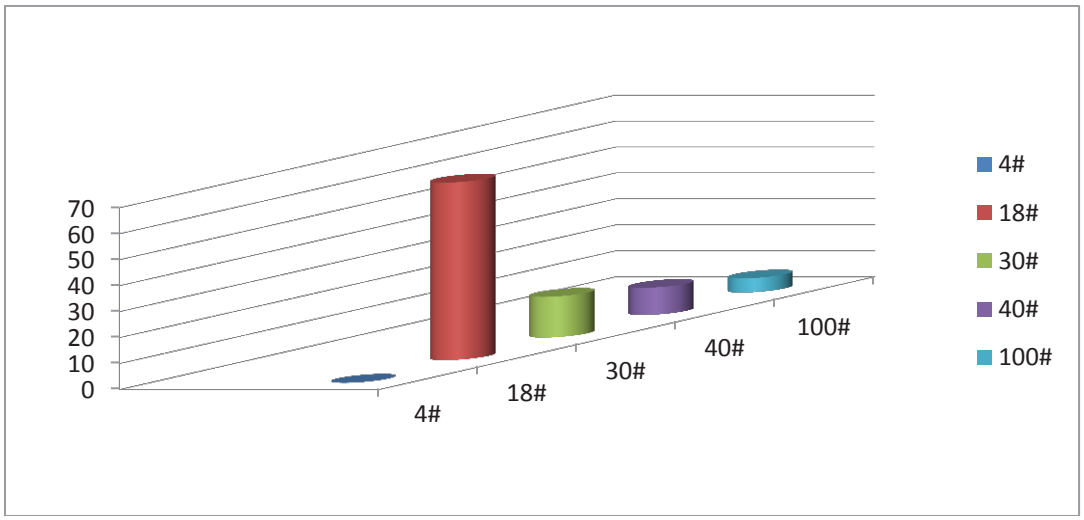
۲- مطالعات آزمایشگاهی

۲-۱- طرح اختلاط و مصالح مصرفی و آماده‌سازی نمونه‌ها

براساس استاندارد ASTM C192 جهت تهیه نمونه بتن شاتکریتی، نسبت سیمان به ماسه برابر ۱ به ۲/۳۵ و نسبت آب به سیمان معادل ۰/٤۷۵ در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است نسبت آب به سیمان باید به گونه ای باشد که در آزمایش میز جریان، روانی معادل ۵ ± ۱۱۰ باشد. پس از تهیه مقادیر مناسب آب، ماسه و سیمان، آن‌ها به شرح زیر با یکدیگر مخلوط شده‌اند:

پس از آماده کردن دستگاه و سوار کردن تیغه بر روی آن، مقدار آب لازم را در ظرف مخصوص ریخته، سیمان بدان افزوده شده است سپس دستگاه به مدت ۳۰ ثانیه با سرعتی معادل ۱٤۰ دور بر دقیقه (درجه ۱) روشن کرده و در این مدت ماسه داخل ظرف ریخته می‌شود. توجه به این نکته ضروری است که تیغه و ظرف، در ابتدای آزمایش باید کاملاً خشک باشند. پس از آن، همان‌طور که دستگاه با سرعت ذکر شده کار می‌کند، طی مدت زمان ۳۰ ثانیه سیمان تهیه شده تدریجاً به مخلوط اضافه می‌گردد. پس از سپری شدن این زمان (به عبارتی ۱ دقیقه بعد از روشن‌شدن دستگاه) سرعت آن را روی ۲۸۵ دور بردقیقه (درجه ۲) قرار داده و ۳۰ ثانیه دیگر دستگاه را روشن نگه می‌دارند. سپس آن را خاموش می‌کنند و طی ۱۵ ثانیه ملات چسبیده به تیغه و ته ظرف را با کاردک می‌تراشند، بعد از آن، به مدت ۱/۵ دقیقه سطح ظرف را می‌پوشانند تا از تبخیر سطحی جلوگیری شود. در پایان این زمان، مجدداً دستگاه را با سرعت ۲۸۵ دور بر دقیقه (درجه ۲) روشن می‌نمایند تا ملات را برای ۱ دقیقه دیگر مخلوط کند. ملات مورد نظر، آماده می‌شود نمودار دانه‌بندی مصالح بتن شاتکریتی مورد آزمایش مطابق نمودار ۱ می‌باشد.

قالب‌های آزمایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی باید کاملا تمیز و پوشیده از قشر نازکی روغن باشند. ملات را در سه لایه داخل قالب می‌ریزند و هر لایه را با ۲۵ ضربه متراکم می‌نمایند. پس از صاف کردن سطح نمونه‌ها با کاردک، آن‌ها را مدت ۰/۵ ± ۲٤ ساعت در دمای ۲ ± ۲۳ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی بیش از ۹۰ ٪ قرار می‌دهند. سپس آن‌ها را از قالب خارج می‌کنند و در مخزن آبی با درجه حرارت ۲ ± ۲۳ قرار می‌دهند.



نمودار ۱. دانه بندی سنگدانه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲- انجام آزمایش

نمونه‌های آزمایش کشش به طور مناسب بین فک‌های دستگاه قرار گرفته و تحت اثر بار کششی قرار می‌گیرند. با تقسیم مقدار نیروی گسیختگی بر سطح مقطع گسیختگی (۲/۵×۲/۵ سانتی‌متر مربع) مقدار مقاومت کششی نمونه‌ها به دست می‌آید. میانگین سه نمونه به عنوان مقاومت کششی سیمان منظور می‌گردد. اگر مقاومت نمونه‌ای بیش از ۱۵٪ با متوسط نتایج اختلاف داشته باشد، آن عدد نباید در میانگین گیری وارد شود. ابعاد نمونه‌های آزمایش خمش ۱۶×۴×۴ سانتی‌متر می‌باشد این نمونه‌ها طوری در دستگاه قرار گیرند که که بار دقیقاً بر وسط آن‌ها اعمال گردد. مقدار مقاومت خمشی از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$F = \frac{3PL}{2bd^2} \qquad (۱)$$

که در آن :

P: نیروی نشان داده شده توسط دستگاه بر حسب کیلوگرم

L: فاصله بین دو تکیه گاه بر حسب سانتی متر

b: عرض نمونه بر حسب سانتی متر

d: ارتفاع نمونه بر حسب سانتی متر

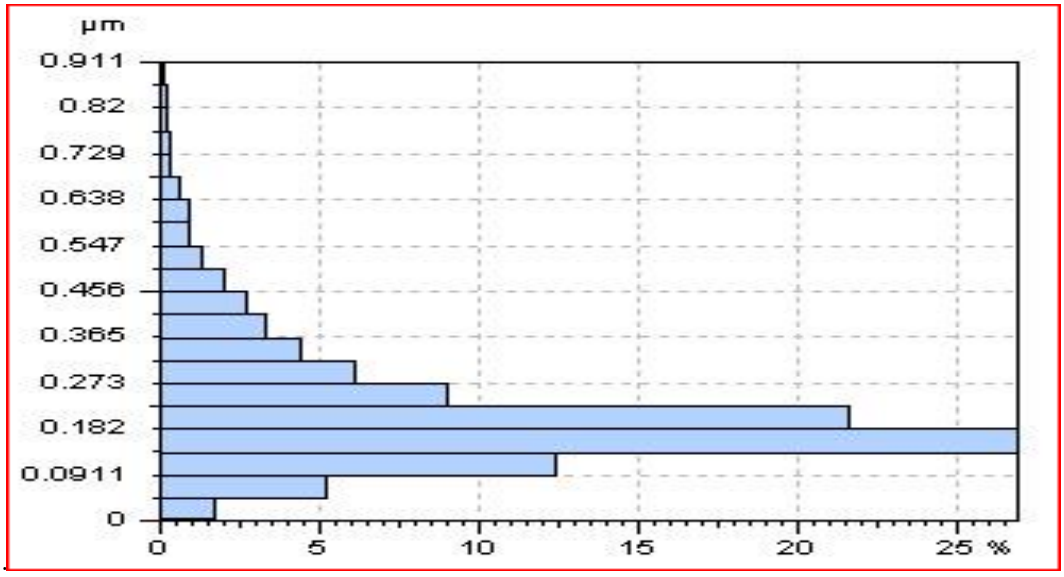
ابعاد نمونه‌ها برای تعیین مقاومت فشاری ۵×۵×۵ سانتیمتری می‌باشد که از تقسیم نیروی خوانده شده از دستگاه بر سطح مقطع مقاومت فشاری به دست می‌آید.

بر اساس آزمایش CHN مواد اصلی تشکیل دهنده خاکستر لاستیک مورد نظر مطابق جدول ۱ می‌باشد. ضمن اینکه این خاکستر لاستیک حاوی ۱۲٪ سیلیس و درصد ناچیزی از فلزات می‌باشد.

ماده تشکیل دهنده	درصد مواد
N	۰/۹۸۲
C	۷۲/۳٤
S	۳/۳۱۶
H	۲/۸۶۳

جدول ۱. مواد تشکیل دهنده خاکستر لاستیک

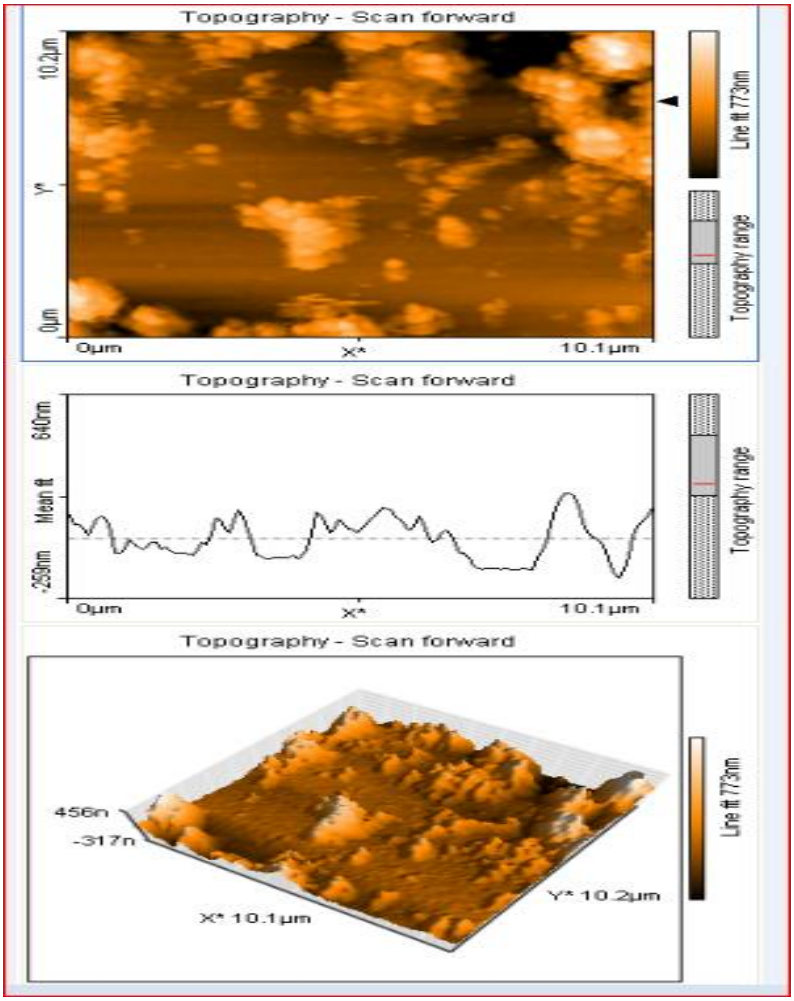
با وزن کردن درصدی از این ماده در حالت خشک و بعد با قرار دادن آن در محیط اشباع، به مدت ۲٤ ساعت این ماده در محیط طبیعی قرار گرفته تا آب اضافی چسبیده به آن گرفته شود و با وزن کردن آن وزن اشباع آن به دست آمده، با توجه به وزن‌های به دست آمده درصد جذب آب این ماده تا معادل ۸۰٪ می‌باشد. با عکسبرداری در حد نانو از این خاکستر شکل ساختاری و اندازه ذرات تشکیل دهنده آن مطابق عکس‌های ۱و۲ می‌باشد. با توجه به این عکس‌ها می‌توان دریافت اندازه ذرات خاکستر در مقیاس میکرو قرار می‌گیرد.



شکل ۱. اندازه ذرات خاکستر

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. اسکن توپوگرافی ذرات

جدول۲. نتایج مقاومت ۲۸ روزه بتن حاوی خاکستر لاستیک

مقاومت فشاری	میانگین نیروی فشاری	مقاومت کششی	میانگین نیروی کششی	مقاومت خمشی	میانگین نیروی خمشی	درصد وزنی خاکستر لاستیک	درصد نسبت آب به سیمان
540	13.5	55	330.5	210.375	561	1	40
608	15.2	55.63	347.7	201.75	538	2	40
560	14	51.6	322.5	202.875	541	3	40
520	13	52.32	327.5	183	488	1	45
608	15.2	49.44	309	173.625	463	2	45
552	13.8	48.16	301	204.9375	546.5	3	45
432	10.8	49.44	309	192.9375	514.5	1	50
616	15.4	39.36	246	189.75	506	2	50
480	12	51.36	321	185.625	495	3	50

۳- نتایج آزمایش‌ها

قابل توجه می‌باشد که از نظر حجمی نانو سیلیس با این اوزان قابل مقایسه با اوزان خاکستر لاستیک در این تحقیق است. نتایج آزمایش مقاومت ۲۸ روزه مطابق جدول ۲،۳و۴ می‌باشد.

www.SID.ir

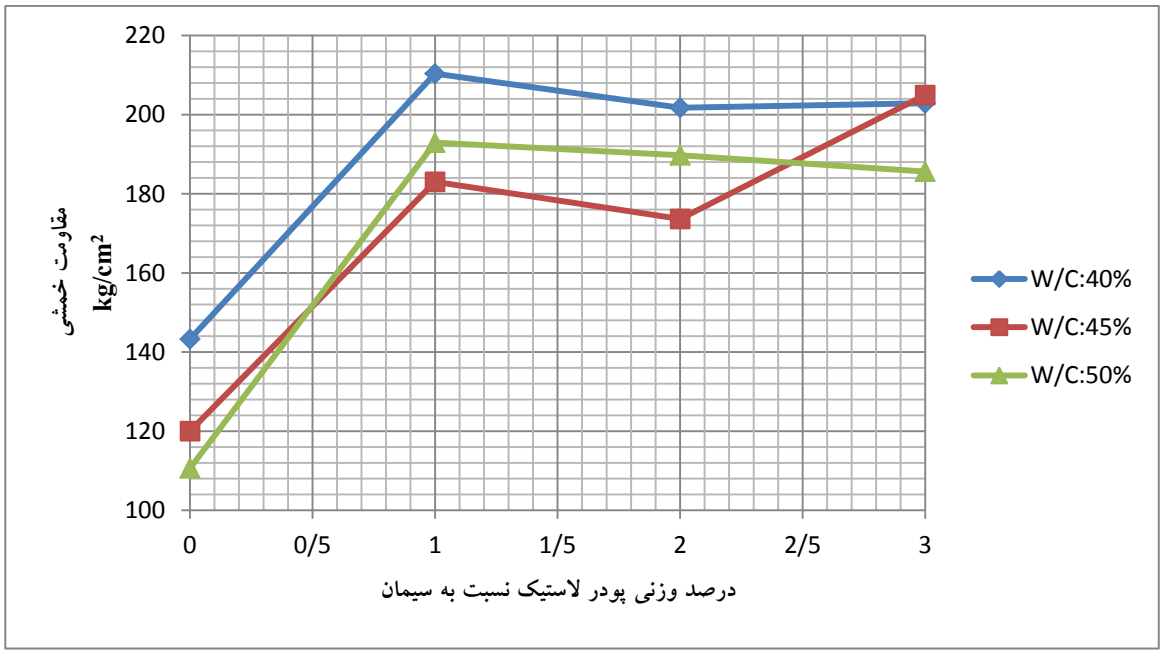
Archive of SID

جدول۳. نتایج مقاومت ۲۸ روزه بتن حاوی نانو سیلیس

مقاومت فشاری	میانگین نیروی فشاری	مقاومت کششی	میانگین نیروی کششی	مقاومت خمشی	میانگین نیروی خمشی	درصد وزنی خاکستر لاستیک	درصد نسبت آب به سیمان
۳۴۸	۸.۷	۳۹.۲	۲۴۵	۱۸۱.۸۷۵	۴۸۵	۰.۲	۴۰
۵۲۰	۱۳	۳۰.۵۶	۱۹۱	۱۹۰.۱۲۵	۵۰۷	۰.۴	۴۰
۵۱۶	۱۲.۹	۴۱.۶	۲۶۰	۱۶۷.۶۲۵	۴۴۷	۰.۶	۴۰
۴۳۲	۱۰.۸	۴۲.۲۴	۲۶۴	۱۷۲.۵	۴۶۰	۰.۲	۴۵
۳۱۶	۷.۹	۳۲	۲۰۰	۱۷۵.۵	۴۶۸	۰.۴	۴۵
۵۱۶	۱۲.۹	۴۱.۶	۲۶۰	۱۶۷.۶۲۵	۴۴۷	۰.۶	۴۵
۳۲۸	۸.۲	۳۵.۵۲	۲۲۲	۱۷۳.۲۵	۴۶۲	۰.۲	۵۰
۳۲۰	۸	۳۶.۸	۲۳۰	۱۶۳.۱۲۵	۴۳۵	۰.۴	۵۰
۴۰۸	۱۰.۲	۲۶.۷۲	۱۶۷	۱۵۷.۵	۴۲۰	۰.۶	۵۰

جدول۴. نتایج مقاومت ۲۸ روزه بتن بدون مواد مضاف

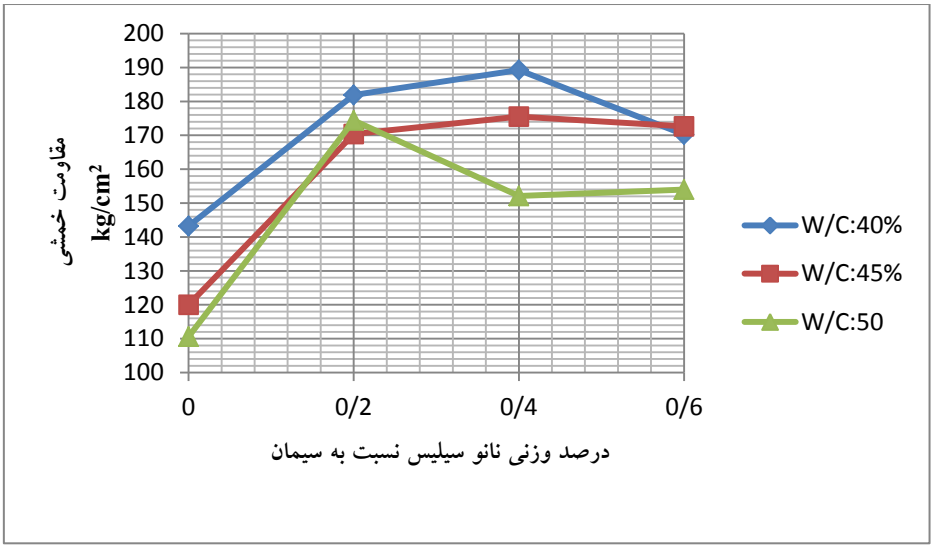
مقاومت فشاری Kg/cm^2	میانگین نیروی فشاری ton	مقاومت کششی Kg/cm^2	میانگین نیروی کششی Kg	مقاومت خمشی Kg/cm^2	میانگین نیروی خمشی Kg	مواد مضاف	درصد نسبت آب به سیمان
۲۸۸	۷.۲	۴۷.۳۶	۲۹۶	۱۴۳.۲۵	۳۸۲	۰	۴۰
۳۲۰	۸	۳۸.۴	۲۴۰	۱۲۰	۳۲۰	۰	۴۵
۲۷۲	۶.۸	۳۵.۵	۲۱۵	۱۱۰.۶۲۵	۲۹۵	۰	۵۰



نمودار ۱. مقاومت خمشی بتن با خاکستر لاستیک

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار۲. مقاومت خمشی بتن با نانو سیلیس

با توجه به نمودار۱ بیشترین مقاومت خمشی بتن با خاکستر لاستیک برای نسبت آب به سیمان ٤٠٪ اتفاق می‌افتد. برای نسبت‌های خاکستر لاستیک کمتر از ۳٪ وزنی سیمان، با افزایش نسبت آب به سیمان از ٤٥٪ به ٥٠٪ مقاومت خمشی افزایش می‌یابد و با توجه به نمودار۲ برای نسبت آب به سیمان ٤٠ و ٤٥ درصد، با افزایش نانو سیلیس تا ٠.٤ درصد وزنی سیمان مقاومت خمشی افزایش می‌یابد. که این افزایش مقاومت را به علت واکنش شدید پوزولانی و خاصیت پرکنندگی نانوسیلیس دانست و کاهش مقاومت به ازای حضور این ذرات به علت سطح ویژه بسیار بالای نانوذرات است که وقتی مقدارشان از حد معینی (مقدار بهینه) بیشتر شود می‌تواند با یک واکنش فیزیکی به هم چسبیده و کلوخه‌های ناپایدار را ایجاد کند. نتایج آزمایش خمشی نیز نشان داد که نانوسیلیس با اثر فیلری و پوزولانی خود موجب بهبود خواص ناحیه تماس خمیر سیمان و سنگدانه‌ها می‌شود و چسبندگی ناحیه‌های تماس را افزایش می‌دهد. برای نسبت آب به سیمان ٥٠٪ با افزایش نانو سیلیس از ۰/۲ تا ۰/٦ درصد وزنی سیمان مقاومت خمشی کاهش می‌یابد. برای درصدهای ثابت نانو سیلیس با افزایش نسبت آب به سیمان مقاومت خمشی کاهش می‌یابد. از مقایسه دو نمودار می‌توان گفت در تمام نسبت‌های آب به سیمان مقاومت خمشی بتن با خاکستر لاستیک بیشتر از مقاومت خمشی بتن با نانو سیلیس می‌باشد.

نمودار۳. مقاومت کششی بتن با خاکستر لاستیک

www.SID.ir

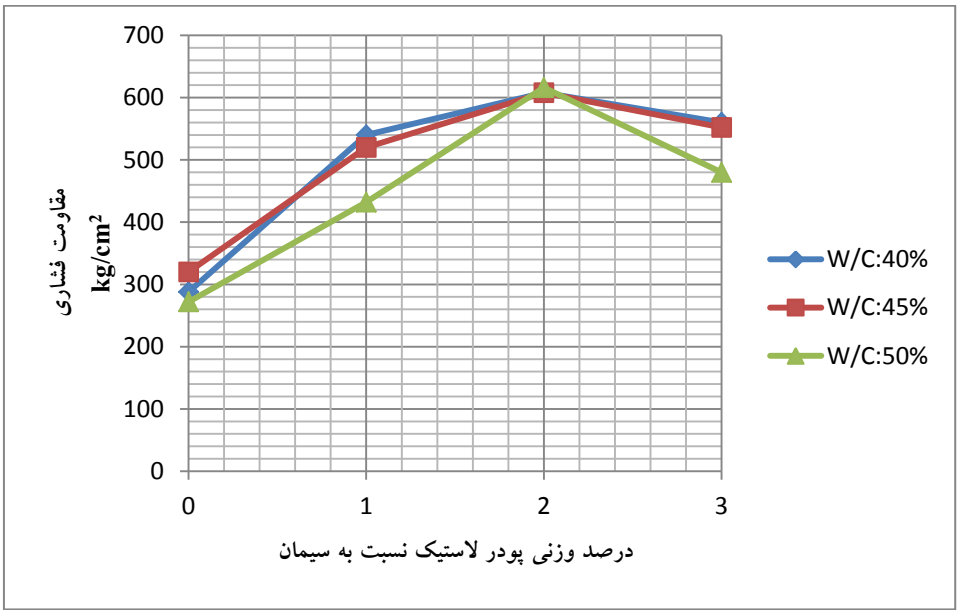
Archive of SID

نمودار۵. مقاومت کششی بتن با نانو سیلیس

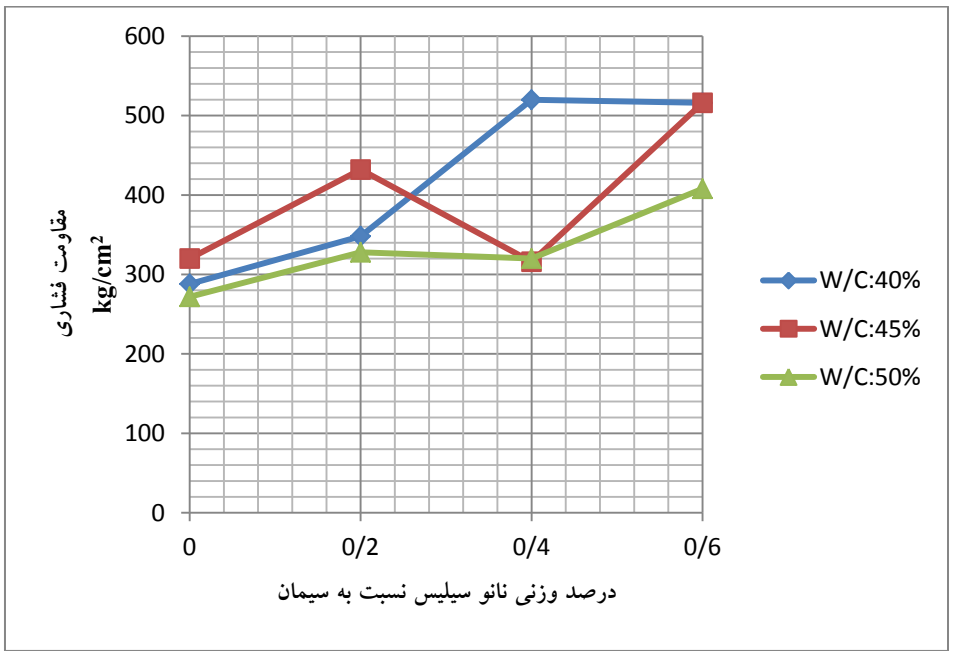
با توجه به نمودار٤ و٥ با افزایش نسبت آب به سیمان برای نسبت‌های ثابتی از خاکستر لاستیک مقاومت کششی کاهش می‌یابد. با اضافه کردن خاکستر لاستیک به بتن مقاومت کششی برای تمام نسبت‌های آب به سیمان نسبت به بتن معمولی افزایش یافته اما برای نسبت آب به سیمان ٤٠ درصد، با افزایش نانو تا ۰/۲ درصد مقاومت کششی کاهش می‌یابد و با افزایش آن ۰/٤ درصد مقاومت کششی افزایش می‌یابد. برای نسبت آب به سیمان ٤٥ درصد، با افزایش نانو سیلیس تا ۰/٤ درصد مقاومت کششی کاهش و با افزایش آن تا ۰/٦ درصد مقاومت افزایش می‌یابد. اما برای نسبت آب به سیمان ٥٠ درصد با افزایش نانو سیلیس تا ۰/٤ درصد مقاومت کششی با افزایش زیادی روبرو می‌باشد. برای نسبت‌های ثابتی از نانو سیلیس با افزایش نسبت آب به سیمان از ٤٠ تا ٤٥ درصد مقاومت کششی کاهش و با افزایش تا ٥٠ درصد مقاومت کششی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی می‌توان گفت این کاهش مقاومت کششی و انهدام و زوال بتن به شدت به تشکیل ترک‌ها و ریز ترک‌ها در اثر بارگذاری و یا تاثیرات محیطی وابسته است. تغییرات گرمایی و رطوبتی در خمیر سیمان باعث ایجاد ریز ترک‌ها می‌شوند و چنین ریز ترک‌هایی در سطح دانه‌های درشت متمرکز می‌شوند. با تاثیر بیشتر بارگذاری و نیز سایر مسائل محیطی، ریزترک‌ها در جسم بتن منتشر می‌شود (soroushian, 1986). استفاده از خاکستر لاستیک در بتن و ساخت بتن کامپوزیتی به‌عنوان یک گام موثر در جلوگیری از انتشار ریزترک‌ها و ترک‌ها و جبران ضعف مقاومت کششی بتن و بهبود برخی خواص مکانیکی است.

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار۵. مقاومت فشاری بتن با خاکستر لاستیک



نمودار۷. مقاومت فشاری بتن با نانو سیلیس

با توجه به نمودارهای ٦ و٧ با افزایش تا ۲ درصد وزنی خاکستر لاستیک مقاومت فشاری برای همه نسبت‌های آب به سیمان افزایش چشمگیری نسبت به بتن معمولی داشته و برای درصدهای بیشتر از آن کاهش یافته است. اما با اضافه نمودن نانو سیلیس به بتن برای درصدهای آب به سیمان ٤٠ و٥٠ مقاومت فشاری افزایش یافته است که این امر به دلیل فعالیت بسیار بالای پوزولانی نانو سیلیس است. به نظر می‌رسد اندازه بسیار ریز ذرات نانو سیلیس، سطوح تماس عظیمی را ایجاد نموده و در این سطوح، قابلیت فعالیت پوزولانی بالایی فراهم شده و ذرات نانو سیلیس به سرعت با هیدروکسید کلسیم آزاد شده ناشی از عملیات هیدراسیون سیمان با آب واکنش داده و ژل سیلیکات کلسیم تولید می‌گردد که به عنوان یک ماده اصلی در استحکام خمیر سیمان موثر است. نکته مهمی که در مورد استفاده از نانو سیلیس در بتن باید در نظر گرفته شود این است که زمانی که ما از نانو سیلیس استفاده می‌کنیم، به شدت با کمبود آب در بتن مواجه می‌شویم. این امر باعث کاهش شدید

www.SID.ir

Archive of SID

روانی بتن و سخت شدن آن می‌گردد که متعاقبا باعث کاهش خصوصیات رئولوژی بتن تازه می‌شود.

٤-۲- تفسیر نتایج نمونه‌های ۷۰ روزه برای تعیین دوام نمونه‌ها

برای درک بهتر از دوام این بتن‌ها بیش از ۲۰۰ نمونه ۳۰ روزه را به مدت ٤۰ روز در محلول جوهر نمک و سود (NaOH) قرار داده و بعد این مدت با دستگاه بار نقطه‌ای و جک بتن شکن مورد آزمایش قرار گرفتند.

می‌توان در مدت زمان کم آزمایشات زیادی را حتی با نمونه‌های خرد شده انجام داد. در این آزمایش باید شرط $L>0.5D$ برقرار باشد. مقاومت فشاری تک محوره مطابق رابطه ۷ می‌باشد. (L طول نمونه و D قطر یا طول بعدی از نمونه در راستای بارگذاری)

$$(W_1+W_2)\ D/2=\Pi D_e^2/4 \qquad (۲)$$

W_1 و W_2: ابعاد مقاطع نمونه

D_e: قطر معادل نمونه

$$I_s=P/D_e^2 \qquad (۳)$$

$$I_{s\,50}=F\times I_s \qquad (٤)$$

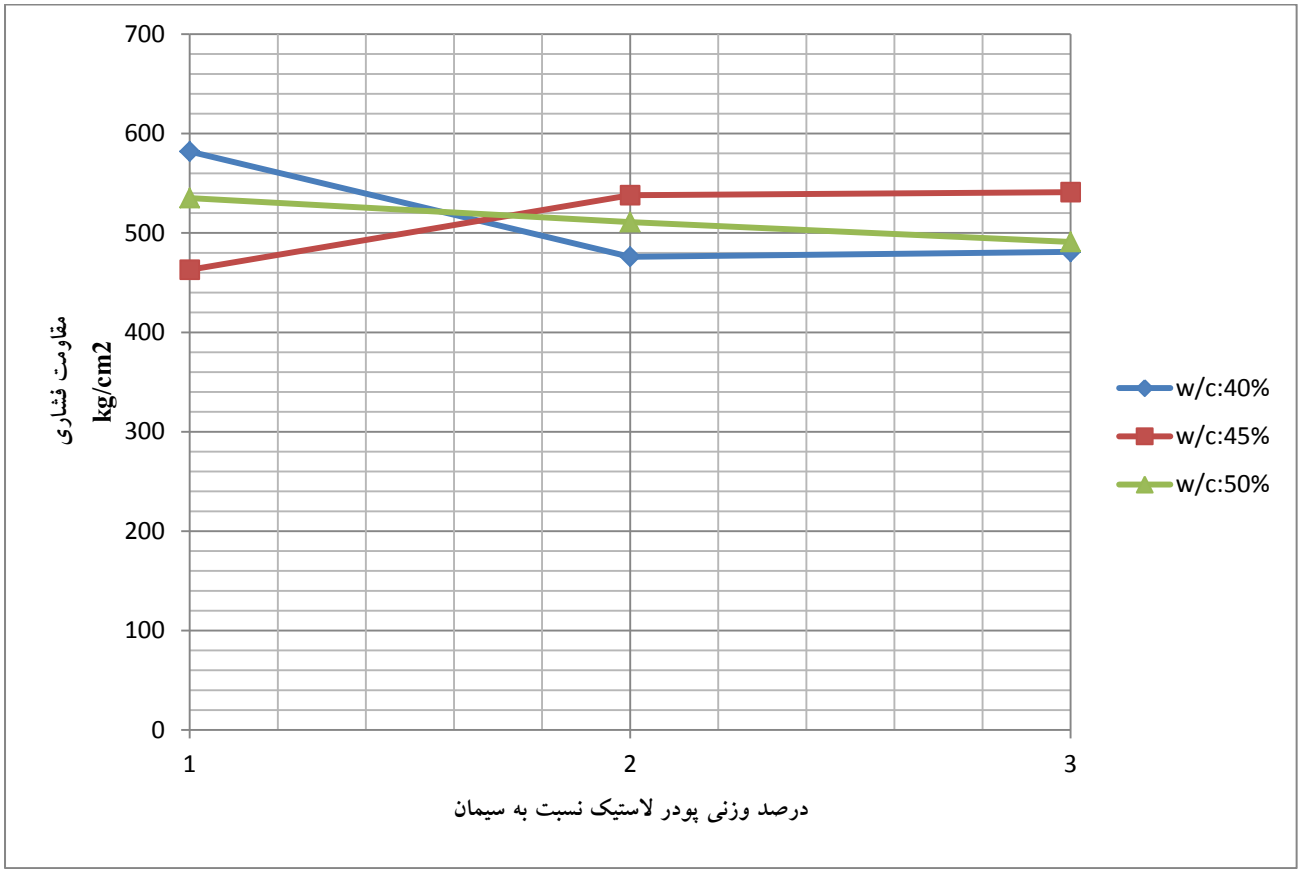
$$F=(D/50)^{0.45} \qquad (۵)$$

$$\sigma_c=(14+0.175D)\ I_{s\,50} \qquad (٦)$$

$I_{s\,50}$: قطر معادل ۵۰ میلیمتر

σ_c: مقاومت فشاری (kg/cm^2)

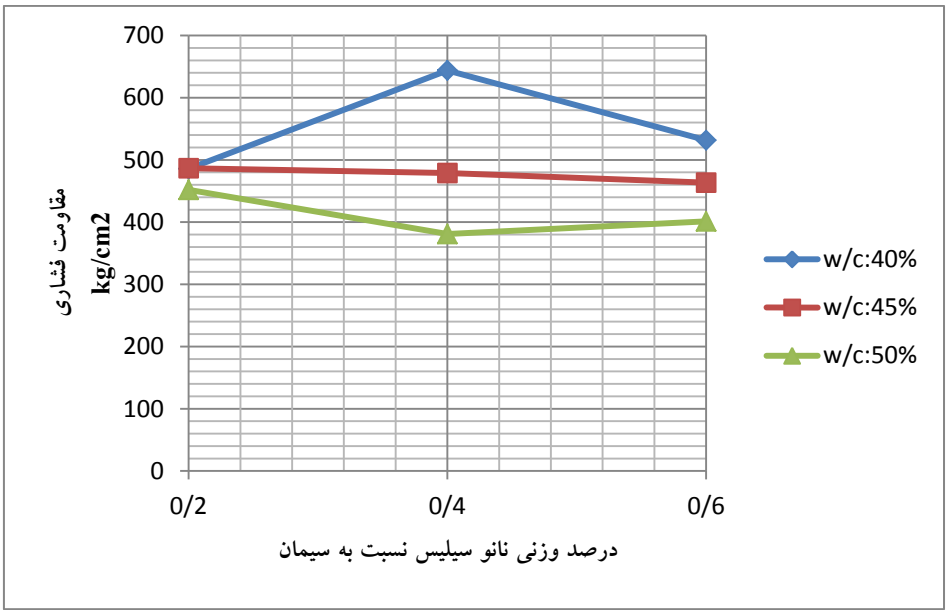
نتایج مقاومت فشاری تک محوره نمونه ۷۰ روزه در محلول سود مطابق اشکال زیر می‌باشد:



نمودار۷. مقاومت فشاری تک محوره نمونه ۷۰روزه با خاکستر لاستیک در محلول سود

www.SID.ir

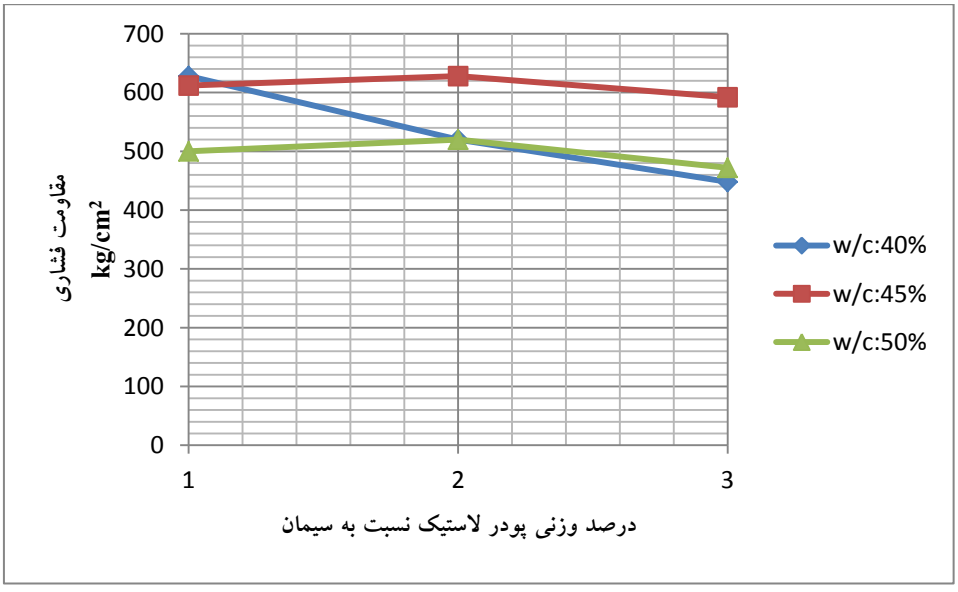
Archive of SID



نمودار۸. مقاومت فشاری تک محوره نمونه ۷۰روزه با نانو سیلیس در محلول سود

با توجه به نمودارهای ۷ و ۸ با افزایش خاکستر لاستیک برای نسبت آب به سیمان ٤٥٪ مقاومت فشاری افزایش می‌یابد و برای نسبت‌های آب به سیمان کمتر یا بیشتر از آن با کاهش همراه می‌باشد اما برای نسبت آب به سیمان ٤٠٪، با افزایش نانو سیلیس از ۰/۲ تا ۰/٤ درصد، مقاومت فشاری افزایش زیادی می‌یابد. با توجه به ریز ساختار سیمان هیدراته شده و وجود حفراتی در ابعاد نانو در آن، استفاده از نانو ذرات می‌تواند در پر کردن تخلخل‌های بسیار ریز خمیر سیمان و افزایش مقاومت و به خصوص دوام بتن موثر باشد. نتایج تحقیقات انجام شده این مسأله را تأیید می‌کند (Qing (etal.), 2007 – Collepardi OgoumahOlagot(etal.), 2007 – Li, 2004). بنابراین وجود نانوسیلیس می‌تواند استحکام فشاری خمیر سخت شده سیمان و استحکام پیوندی سنگدانه با خمیر سیمان را افزایش داده و ساختار ناحیه انتقال را به طور موثری بهبود ببخشد. ولی در نسبت آب به سیمان ۵۰ درصد مقاومت فشاری کاهش محسوسی دارد. برای نسبت آب به سیمان ٤٥ درصد افزایش نانو سیلیس تاثیر چندانی بر مقاومت فشاری ندارد.

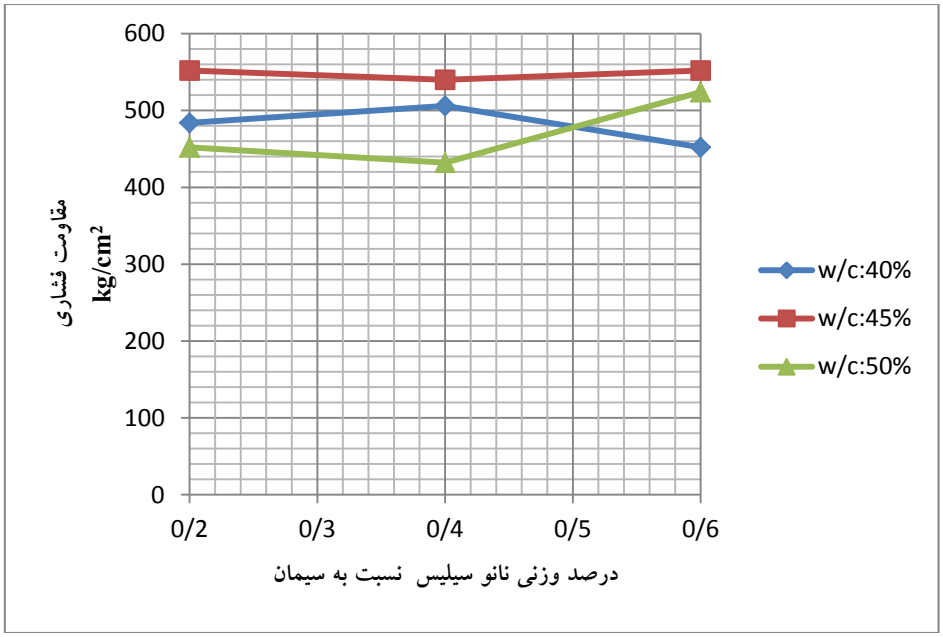
نتایج مقاومت فشاری نمونه ۷۰ روزه در محلول جوهر نمک مطابق اشکال زیر می‌باشد:



نمودار۹. مقاومت فشاری نمونه ۷۰ روزه با خاکستر لاستیک در محلول جوهر نمک

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار۱۰. مقاومت فشاری نمونه ۷۰روزه با نانو سیلیس در محلول جوهر نمک

با توجه به نمودارهای ۹ و۱۰ برای نسبت‌های آب به سیمان ٤٥ و۵۰ درصد وبا افزایش خاکستر لاستیک تا ۲درصد وزنی سیمان مقاومت فشاری افزایش می‌یابد اما با افزایش نانو سیلیس بیش از ۰/٤ درصد وزنی سیمان مقاومت فشاری افزایش می‌یابد.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه ساختار خاکستر لاستیک از کربن و سیلیس و دیگر افزودنی‌هایی که برای بتن مضر است می‌باشد با این وجود می‌توان گفت عامل اصلی در افزایش مقاومت بتن کربن و سیلیس می‌باشد. اکسید سیلیس در ترکیب با کربن و آب، سیلیکا که در واکنش هیدراته بتن شرکت می‌کند و گاز هیدروژن و دی اکسید کربن آزاد می‌کند، و با توجه به اینکه با افزایش آب به بتن مقاومت بتن در ترکیبات افزایش یافته می‌توان گفت این واکنش حادث شده است و آب اضافه موجود در بتن در این واکنش تجزیه شده است پس با ترکیب کربن و سیلیس در بتن به مقاومت بالایی رسید. این واکنش مطابق رابطه ۸ می‌باشد.

$$½SiO_2+C+H_2O \rightarrow ½Si+CO_2+H_2 \quad (۷)$$

در بتن‌هایی با خاکستر لاستیک، مدول الاستیسیته افزایش یافته ولی بعد ایجاد اولین ترک در نمونه، نمونه بسرعت رو به شکست کامل می‌رود و انرژی شکست بتن را کاهش می‌دهد و اینکاهش می‌تواند به این علت باشد که خاکستر در ماتریس‌های با مقاومت بالاتر به علت باند قوی بین ماتریس سیمان و خاکستر یک رفتار ترد در شکست را ازخود نشان می‌دهد.

مقاومت خمشی ۲۸روزه با خاکستر لاستیک تقریبا دو برابر بتن معمولی و ۱/۳ برابر بتن با نانوسیلیس افزایش می‌یابد.

مقاومت کششی۲۸روزه با خاکستر لاستیک مخصوصاً در نسبت آب به سیمان ۵۰٪ دو برابر بتن معمولی و بیش از ۱/۵ برابر بتن با نانوسیلیس افزایش می‌یابد.

نکته قابل توجه در مقاومت فشاری می‌باشد، مقاومت فشاری نمونه ۲۸ روزه با خاکستر لاستیک بیش از دو برابر بتن معمولی و تقریباً ۱/۵ برابر بتن با نانوسیلیس می‌باشد.

در نسبت آب به سیمان۵۰٪ تقریباً تاثیری برمقاومت کششی و فشاری بتن با ماده مضاف خاکستر لاستیک نخواهد داشت. که این امر بسیار در اجرا مهم می‌باشد. ملات بتن در درنسبت آب به سیمان ۵۰٪ به شکل دوغ بوده که عملاً پس از ریخته شدن در قالب ویبره زدن را بسیار آسان نموده است.

مقاومت فشاری ۷۰ روزه نسبت به ۲۸ روزه تقریباً برای همه ترکیبات افزایش یافته است. مقاومتی که این بتن با خاکستر لاستیک در درصد آب بالا از خود نشان می‌دهد بیش از مقاومت بتن معمولی در درصد آب پایین می‌باشد.

در نسبت خاکستر لاستیک به سیمان ۲٪ ونسبت آب به سیمان ٤٥٪ و ۵۰٪ میزان مقاومتی که بتن از خودش نشان می‌دهد بیش‌تر از نسبت‌های خاکستر لاستیک ۱٪و ۳٪ می‌باشد

www.SID.ir

Archive of SID

پس نسبت بهینه این ماده در نسبت آب به سیمان مورد نظر بازه ۲٪ می‌باشد.

٦- مراجع

- O. Oriakhi, polymer nanocomposite Approach to Advanced Materials, J. Chem. Edu., 7, pp.1138-1146, 2000.
- J. J. Luo and I. M. Daniel (2003) "Characterization and Modeling of Mechanical Behavior of polymer / clay Nan composites", Compos. Sci. Technol., 63 (11), 1979.
- B.K.G. Theng, "Formation and properties of Clay- Polymer Complexes", Elsevier, Amsterdam.
- Khatib, z.k., Bayomy, F.m, (1999), "Rubberized Portland cement concrete," Asce journal of Materials in Civil Engineering, vol. 11, no. 3, pp. 206-213.
- Oivares, f.h., Barluenga, g., Bollati, M., And witoszek, b.,(2002)., ''Static and dynamic behavior of recycled tyre rubber filled concrete,'' Cement and concrete research, vol. 32, pp. 1587-1596.
- Topcu, B, (1995), the properties of rubberized concrete, cement and concrete research, vol. 25, no. 2, pp. 304-310.
- Rostami, H., Llepore, J., Silverstraim, T., Zundi,I., (1993).,"Use of recycled rubber tires in concrete", Proceedings of the international conference on concrete 2000, University of dundee, Scotland, uk, pp. 391-399.
- Raghvan, D., Huynh, H., Ferraris, c.f. ., (1998), "Workability, Mechanical properties and chemical stability of a recycled tire rubber-filled cementations composite", Journal of m arterials science, vol. 33, no. 7, pp.1745-1752.
- Eldin, N.N., Senouci, a. b., (1993), "Rubber-tire particles as concrete aggregate, "Asce journal of materials in civil engineering, vol. 4, pp. 478-496, 1993.
- Hai Huynh, Dharmaraj Raghavan, Chiara f .Ferraris.., (1996), "Rubber particles from recycled tires in cementations composite materials", Department of chemistry, Howard University, Washington DC. 20059, May.
- Tantala, M.W., Lepore, J.A., Zandi, (1996), "Quasi-elastic behavior of rubber of rubber included concrete" . in :Ronald Mersky (ED.), Proceedings of the 12 International Conference of Solid Waste Technology and management, Philadelphia, PA.
- Goulias, D.G., Ali, A.H., (1997)."Non-destructive evolution of rubber modified concrete.", Proceedings of a conference, ASCE,111-120 New York.
- Reda Taha,l, Abdel-Wahab, (2003), "Fracture toughness of concrete incorporating rubber tire particles", Icpm, a new era of building, cairo, Egypt, Feb. Pp.18-20.
- O. Oriakhi," polymer nano composite Approach to Advanced Materials ", J. Chem. Edu., 7, pp.1138-1146, 2000.
- J. J. Luo, I. M. Daniel " Characterization and Modeling of Mechanical Behavior of polymer / clay Nan composites " , Compos. Sci. Technol., 63 (11) , pp.1607-1616, 2003.
- B.K.G. Theng, "Formation and properties of Clay- Polymer Complexes", Elsevier, Amsterdam, 1979.
- T Naganuma, Y Kagawa. Effect of particle Size on the optically transparent nano meter-order glass particle-dispersed epoxy matrix composites. Compos Sci, 2003, pp.1187.
- -Soroushian p. "Secondary reinforcemrnt adding cellulose fibers", ACI, Concrete International, pp 28-38, 1986.
- Qing Y, Zenan Z, Deyu K, Rongshen k." Influence of nano-SiO2 addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume", Construction and Building Materials, 21, 2007, pp.539-545.
- Collepardi M, OgoumahOlagot J, Troli R, Simonelli F, Collepardi S. "Combination of silica fume, Fly Ash and Amorphous Nano-SilicainSuperplasticized High-Performance Concretes", Enco, Engineering Concrete, PonzanoVeneto, Italy, 2007.
- Li G. "Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO2", Cement and Concrete Research, 34, pp.1043-1049, 2004.

www.SID.ir