



کد مقاله: ۲-۱۱۶

ارزیابی دوام ملات خود تراکم حاوی خاکستر پوسته برنج و نانو ذرات

شادی فتحی^۱، احسان محسنی^۲، حامد آذر بلگوری^۳، ملک محمد رنجبر^۴

۱- دانشجوی کارشناسی، دانشگاه کردستان، سنندج Sh.fathi423@gmail.com

۲- کارشناس ارشد دانشکده گیلان، رشت

۳- دانشجوی کارشناس ارشد، دانشکده گیلان

۴- عضو هیأت علمی، دانشکده گیلان، رشت

چکیده

بتن خود تراکم از جمله عوامل مهم پیشرفت در تکنولوژی بتن به شمار می رود و در سال های اخیر استفاده از آن به میزان چشمگیری افزایش یافته است. اما به علت اینکه اندازه گیری خواص رئولوژی بتن خودتراکم به خاطر نیاز به وسایل پیچیده اغلب غیر عملی است برای تعیین ویژگی های کارایی SCC از ملات خودتراکم (SCM) استفاده می شود. امروزه مواد نانو ساختار با توجه به رفتار های بارزی که از خود نشان داده اند مورد توجه قرار گرفته اند. در این میان صنعت بتن نیز با توجه به نیاز های خود از نظر استحکام و دوام، از کاربران مهم مواد نانو ساختار می باشد. لذا، مطالعات بتن و ملات حاوی افزودنی های در مقیاس نانو برای توسعه مصالح ساختمانی جدید حائز اهمیت می باشد در این مطالعه با جایگزینی بخشی از سیمان توسط نانو ذرات هابی مانند نانو سیلیس، نانو آهنو نانو مس در ملات خود تراکم و استفاده از پوزولان خاکسترپوسته برنج به صورت ثابت در همه نمونه ها با انجام آزمایشات جذب آب، مقاومت الکتریکی و نفوذ یون کلر تسریع شده روی نمونه های سخت شده به بررسی دوام نمونه ها پرداخته شد. درصد های جایگزین نانو ذرات ۱ تا ۵ درصد از انواع ذرات مختلف می باشد. در تمامی نمونه ها نسبت آب به سیمان ۰/۴ در نظر گرفته شده است. نقش پرکنندگی نانو ذرات باعث کاهش اثرات مضر وجود حفرات در نمونه ها و در نتیجه افزایش دوام آن می شود. در نهایت درصد جایگزینی وزنی بهینه هریک از نانو ذرات گزارش گردید.

کلمات کلیدی: ملات خود تراکم، دوام، خاکستر پوسته برنج، نانو مواد

۱- مقدمه

یکی از برجسته ترین پیشرفت ها در تکنولوژی بتن در سال های اخیر، بتن خودتراکم می باشد. بتن خودتراکم بتنی است که به راحتی تحت اثر وزن خود بدون هیچ گونه لرزاندنی به طور کامل در تمام قالب پخش و آن را پر نماید و بتواند از میان آرماتورها و مقاطع باریک عبور کند. بتن خودتراکم باید دارای سه ویژگی توانایی پرکنندگی، توانایی عبور کنندگی و مقاومت در برابر جداشدگی باشد [۱و۲].

روش های دستیابی به خودتراکمی محدود کردن حجم مواد درشت دانه، کاهش نسبت آب به مواد چسبنده و استفاده از فوق روان کننده می باشد [۳]. یکی از مضرات بتن خودتراکم هزینه آن است و با توجه به این موضوع که بعضی از افزودنی های معدنی همچون خاکستر پوسته برنج باعث افزایش کارایی، دوام و بهبود ویژگی های طولانی مدت می شود و از طرفی ارزان تر از سیمان پرتلند می باشد [۴و۵]، بنابراین استفاده از این نوع افزودنی های معدنی نه تنها باعث کاهش هزینه SCC می شود، بلکه باعث بهبود در ایفای نقش طولانی مدت آن می شود [۶].

به علت اینکه اندازه گیری خواص رئولوژی بتن خود تراکم به خاطر نیاز به وسایل پیچیده اغلب غیر عملی است برای تعیین ویژگی کارایی SCC از ملات خودتراکم (SCM) استفاده می شود [۷ و ۸]. مطابق با نظر Domone و همکاران [۸] ملات ها با اهداف زیر مورد آزمایش قرار می گیرند:

۱. بتن خود تراکم نسبت به بتن معمولی شامل درشت دانه کمتری می باشد (۳۱ تا ۳۵ درصد حجمی) و بنابراین خواص ملات بسیار نمایان می باشد. ۲. ارزیابی خواص ملات یک قسمت کامل طراحی فرآیند طرح اختلاط بسیاری از بتن های خود تراکم می باشد، بنابراین آگاهی از خواص ملات به خودی خود مهم است. ۳. ترکیب مصالح پودری همچنین برای کنترل خواص سخت شده همچون مقاومت استفاده می شود. دلیل چهارم اینکه آزمایشات ملات راحت تر از آزمایشات بتن می باشد. نانوتکنولوژی، فهم و به کارگیری خواص جدیدی از مواد و سیستم هایی در این ابعاد است که اثرات فیزیکی جدیدی از خود نشان می دهند. زمانی که ذرات بسیار ریز در خمیر سیمان، ملات و یا بتن شرکت داده می شوند، مصالحی با خواص متفاوت تولید می شود. به نظر نویسندگان مطالعات محدودی در خصوص حضور نانو ذرات در بتن و ملات خود تراکم برای دستیابی به ویژگی های مکانیکی و فیزیکی انجام پذیرفته است. چندین گزارش درباره حضور نانو ذرات در بتن های معمولی موجود است که اکثر آنها نیز بر روی نانو ذرات سیلیس متمرکز شده اند [۹-۱۲] و حضور دیگر نانو ذرات بسیار کم گزارش شده است. در این مقاله اثرات استفاده از نانو ذرات سیلیس، آهن و مس به منظور بررسی دوام ملات خود تراکم که شامل خاکستر پسته برنج به عنوان افزودنی معدنی جهت بهبود روانی و یک نوع فوق روان کننده بر پایه پلی کربکسیلات جهت رسیدن به خود تراکمی است گزارش می شود.

۲. برنامه آزمایشگاهی

۱-۲ مصالح مورد استفاده

در این مطالعه از سیمان پرتلند تپ ۲ مطابق با آئین نامه ASTM C150 [۱۳] استفاده شد و برای بهبود شرایط از خاکستر پسته برنج استفاده شد. ترکیب شیمیایی و مشخصات فیزیکی سیمان و خاکستر پسته برنج در جدول ۱ آورده شده است. از ماسه رودخانه ای به عنوان سنگدانه استفاده شده است. دانه بندی ماسه مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است. برای رسیدن به خودتراکمی از یک فوق روان کننده بر پایه پلی کربکسیلات اتر با نام تجاری Vand super plast PCE مطابق با آئین نامه ASTM C494 TYPE F با غلظت g/cm^3 ۱/۰۳ استفاده شد.

سه نوع متفاوت نانو ذرات شامل نانو سیلیس، نانو آهن و نانو مس به صورت محلول در آب که مقدار ماده جامد آن ۳۰ درصد می باشد به مخلوط ها اضافه شد. سایر مشخصات نانو ذرات در جدول ۳ ارائه شده است. این ذرات به همراه فوق روان کننده پلی کربوکسیلات اتر PCE مصرف گردید.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی و مشخصات فیزیکی سیمان و خاکستر پسته برنج

تجزیه شیمیایی (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	LOI	وزن مخصوص (g/cm ³)	سطح مخصوص (cm ² /g)
سیمان	۲۱/۵۶	۶/۶۷	۶/۱۷	۴۹/۸۸	۴/۵۱	۲/۷۵	۰/۷۶	۰/۴۳	۲/۷۹	۳/۱۵	۳۲۵۰
خاکستر بادی	۹۰/۹	۰/۸۳	۰/۶	۰/۸	۰/۵۶	۰/۴۴	۱/۱۲	۰/۴۳	۱/۳۵	۲/۲	۲۸۵

جدول ۲: دانه بندی ماسه مورد استفاده

الزامات ASTM C136-01	درصد عبوری	اندازه الک
۸۷-۱۰۰	۹۶	۴/۷۵mm
۷۴-۹۸	۸۲/۴	۲/۳۶mm
۵۸-۸۰	۶۸/۲	۱/۱۸mm
۳۸-۶۰	۴۲/۵	۶۰۰ μm
۱۵-۳۴	۲۰/۷	۳۰۰ μm
۲-۱۲	۶/۹	۱۵۰ μm

جدول ۳: مشخصات نانو ذرات مصرفی

نوع نانو	قطر نانو ذرات (نانومتر)	ویسکوزیته (CPS)	PH
نانو سیلیس	۱۵	۸	۱۰
نانو آهن	۶۰	۳	۱۰
نانو مس	۱۵	۸	۱۰

۲-۲- نسبت های اختلاط

در این مطالعه ۱۶ گروه مخلوط ملات با نسبت های مختلف ساخته شد. مقدار خاکستر پوسته برنج ۲۵ درصد وزن سیمان در نظر گرفته شد و نسبت آب به مواد چسباننده (شامل سیمان + خاکستر پوسته برنج + نانو ذرات) به طور ثابت در تمام نمونه ها ۰/۴ در نظر گرفته شد. ذرات نانو ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد وزنی، جایگزین سیمان در نظر گرفته شد.

برای رسیدن به جریان اسلامپ که در محدوده EFNARC باشد، مقدار فوق روان کننده از ۳/۵ تا ۴/۵ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر بود [۷]. جزئیات طرح اختلاط ها در جدول ۴ آورده شده است. کمیت های ارائه شده بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.

۲-۳- آماده کردن نمونه ها

با توجه به اینکه ذرات نانو ممکن است توزیع یکنواختی در مخلوط نداشته باشند و مساحت رویه نانو ذرات بسیار زیاد می باشد، این موضوع به طور مستقیم روی خواص فیزیکی و مکانیکی ملات ها اثر می گذارد. به همین دلیل روند تولید نمونه ها در این مطالعه بعد از چندین آزمایش مقدماتی به شکل زیر نتیجه شد:

۱. سیمان و ماسه برای مدت ۱ دقیقه با سرعت متوسط (۸۰rpm) مخلوط شدند.
 ۲. خاکستر پوسته برنج و ۳۰٪ آب اختلاط به همراه ذرات نانو اضافه شد و برای مدت ۱ دقیقه با سرعت بالا (۱۲۰rpm) مخلوط شدند.
 ۳. سپس برای مدت ۱/۵ دقیقه به مخلوط اجازه استراحت داده شد.
 ۴. بعد از آن ۷۰٪ آب باقیمانده به همراه فوق روان کننده اضافه شد و برای مدت ۲ دقیقه مخلوط شدند.
- ملات ها برای رسیدن به جریان اسلامپ ۲۴ تا ۲۶ سانتی متر طراحی شدند که با تغییر در مقدار فوق روان کننده به این هدف رسیده شد [۷].
- مخلوط ها در قالب های مکعبی ۵×۵×۵ سانتی متری و قالب های منشوری ۵×۵×۲۰ سانتی متری ریخته شد و بعد از یک روز که نمونه ها درون قالب شکل گرفتند برای عمل آوری داخل آب با دمای ۱±۲۰ درجه سانتی گراد تا روز آزمایش نگهداری شدند.
- خواص ملات تازه توسط آزمایش های جریان اسلامپ و جریان قیف V شکل و دوام ملات سخت شده با آزمایش های جذب آب، مقاومت الکتریکی و نفوذ یون کلر تسریع شده بررسی شدند.

جدول ۴: جزئیات طرح اختلاط ها

مخلوط	سیمان	خاکستر پوسته برنج	نانو سیلیس	نانو آهن	نانو مس	آب	ماسه	فوق روان کننده
Control	۵۲۵	۱۷۵	۰	۰	۰	۲۸۰	۱۲۱۰	۴/۲
1NS	۵۱۸	۱۷۵	۷	۰	۰	۲۸۰	۱۱۹۸	۳/۷
2NS	۵۱۱	۱۷۵	۱۴	۰	۰	۲۸۰	۱۱۸۷	۴
3NS	۵۰۴	۱۷۵	۲۱	۰	۰	۲۸۰	۱۱۷۶	۴
4NS	۴۹۷	۱۷۵	۲۸	۰	۰	۲۸۰	۱۱۶۴	۴/۱
5NS	۴۹۰	۱۷۵	۳۵	۰	۰	۲۸۰	۱۱۵۳	۴/۲
1NF	۵۱۸	۱۷۵	۰	۷	۰	۲۸۰	۱۱۹۸	۳/۵
2NF	۵۱۱	۱۷۵	۰	۱۴	۰	۲۸۰	۱۱۸۷	۳/۵
3NF	۵۰۴	۱۷۵	۰	۲۱	۰	۲۸۰	۱۱۷۶	۴
4NF	۴۹۷	۱۷۵	۰	۲۸	۰	۲۸۰	۱۱۶۴	۴
5NF	۴۹۰	۱۷۵	۰	۳۵	۰	۲۸۰	۱۱۵۳	۴
1NC	۵۱۸	۱۷۵	۰	۰	۷	۲۸۰	۱۱۹۸	۳/۷
2NC	۵۱۱	۱۷۵	۰	۰	۱۴	۲۸۰	۱۱۸۷	۳/۹
3NC	۵۰۴	۱۷۵	۰	۰	۲۱	۲۸۰	۱۱۷۶	۴
4NC	۴۹۷	۱۷۵	۰	۰	۲۸	۲۸۰	۱۱۶۴	۴/۵
5NC	۴۹۰	۱۷۵	۰	۰	۳۵	۲۸۰	۱۱۵۳	۴/۵

۳- نتایج و تحلیل

۳-۱- خواص ملات خود تراکم تازه

نتایج آزمایشات جریان اسلامپ و قیف V شکل برای ملات های خود تراکم مختلف در جدول ۵ آورده شده است. تمامی نمونه های سیمانی برای رسیدن به قطر جریان اسلامپ 25 ± 1 که با تنظیم کردن مقدار فوق روان کننده حاصل شده بود طراحی شدند. بنابراین تمام مخلوط های تازه، قطر جریان اسلامپ توصیه شده توسط EFNARC را دارا هستند [۷]. همچنین باید در نظر داشت مقدار فوق روان کننده با رعایت حد مجاز به حدی اضافه شده است که نمونه ها دچار آب انداختگی یا جداشدگی نشوند.

همانطور که مشخص است استفاده از نانو ذرات به طور روشنی قطر جریان اسلامپ را افزایش داده است. بنابراین مشخص می شود استفاده از نانو ذرات سیلیس و آهن و مس دارای نفوذ بسیار زیادی روی خواص ملات خود تراکم داشته است.

جدول ۵: نتایج آزمایشات جریان اسلامپ و قیف V شکل

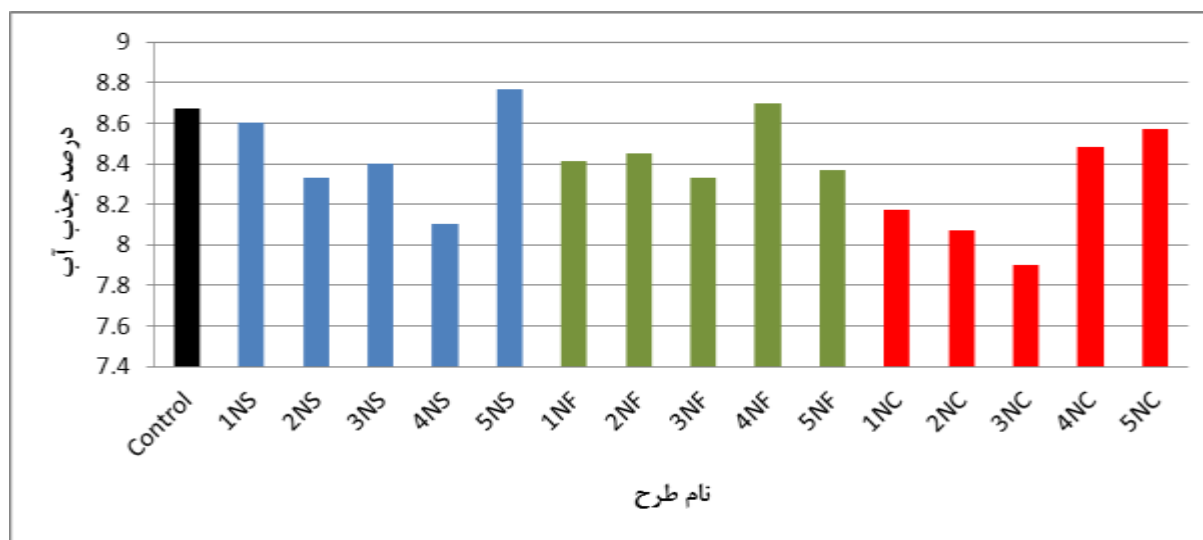
مخلوط	قطر جریان اسلامپ (cm)	زمان جریان قیف V شکل (s)
Control	۲۴/۵	۱۱
1NS	۲۴/۵	۱۰/۲
2NS	۲۴/۶	۹/۹
3NS	۲۴/۸	۹/۷
4NS	۲۵	۹/۱
5NS	۲۵	۸/۳
1NF	۲۴/۷	۱۰/۸
2NF	۲۴/۷	۱۰/۳
3NF	۲۴/۹	۹/۸
4NF	۲۵	۸/۵
5NF	۲۵/۵	۷/۶
1NC	۲۴/۵	۹/۸
2NC	۲۴/۸	۹/۲
3NC	۲۴/۸	۸/۲
4NC	۲۵	۸/۲
5NC	۲۵/۵	۷/۷
معیار پذیرفته شده ملات خودتراکم توسط EFNARC		
	۲۴-۲۶	۷-۱۱

روند مشاهده شده در راستای افزایش روانی در جریان اسلامپ، همچنین در آزمایش زمان جریان قیف V نیز دیده شد. در واقع ملات سیمانی پایه (شاهد) دارای زمان جریان ۱۱ ثانیه می باشد که با اضافه شدن نانو ذرات سیلیس زمان جریان تا ۸/۳ ثانیه، با اضافه شدن نانوذرات آهن تا ۷/۶ ثانیه و با اضافه شدن نانو ذرات مس تا ۷/۷ ثانیه هم کاهش داشته است.

۲-۳- جذب آب

نمونه های مکعبی ۵×۵×۵ سانتی متر پس از ۲۸ روز عمل آوری از آب خارج و بر اساس ASTM C642 [۱۴] برای آزمایش جذب آب آماده شدند.

نتایج جذب آب ملات های خود تراکم در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل پیداست، اضافه شدن نانو ذرات سیلیس تا ۴ درصد به ملات خودتراکم باعث کاهش جذب آب نسبت به نمونه کنترل شد ولی اضافه شدن ۵ درصد نانو سیلیس به ملات باعث افزایش ناچیز جذب آب شده است. اضافه شدن نانو ذرات آهن نیز باعث کاهش مقدار جذب آب ملات خود تراکم نسبت به نمونه کنترل شد و فقط افزودن ۴ درصد نانو آهن به ملات به مقدار غیر قابل توجهی جذب آب نمونه را افزایش داد که می تواند به علت توزیع غیر یکنواخت نانو ذرات و در نتیجه عدم پوشش حفرات در این نمونه باشد. در اختلاط هایی که ذرات نانو مس به آن افزوده شد مقدار جذب آب در تمامی آنها کاهش یافت.



شکل ۱: مقادیر جذب آب ملات های خود تراکم

با نگاهی اجمالی به مقادیر جذب آب بدست آمده می توان دریافت که استفاده از نانو ذرات سیلیس، آهن و مس در ملات خود تراکم باعث کاهش میزان جذب آب شده است. در بین نانو ذرات مذکور، مخلوط 3NC که حاوی ۳ درصد نانو مس می باشد بیشترین اثر را بر خواص جذب آب ملات ها داشته و موجب کاهش میزان جذب آب از ۸/۶۷ به ۷/۹ شده است. کاهش مقدار جذب آب در ملات های خود تراکم با افزودن نانو ذرات سیلیس و آهن و مس می تواند به علت کاهش مقدار حفرات موجود در نمونه ها باشد. به عبارت دیگر درصد جذب آب، مربوط به تخلخل نمونه در حال اشباع می باشد که با آب در ارتباط می باشد.

ذرات بسیار ریز نانو ذرات با احاطه ذرات درشت تر سیمان همچون کانون های واکنش جهت رسوب محصولات هیدراتاسیون عمل کرده و از این طریق زمینه شکل گیری بافتی همگن و یکنواخت از محصولات هیدراته را فراهم می کنند. لذا به آسانی می توان نتیجه گرفت حضور این ذرات بسیار ریز با پر کردن حفرات مویینه موجود در بافت خمیر سیمان و مسدود کردن راه های ارتباطی شبکه مویینه از یک سو و ایجاد میکرو ساختار یکنواخت و توزیع بهتر محصولات هیدراتاسیون و در نتیجه کاهش حفرات نفوذ پذیر از سوی دیگر موجبات کاهش جذب آب ملات را فراهم می کنند.

همانطور که در شکل ۱ مشخص است، اضافه شدن نانو ذرات سیلیس تا ۴ درصد به ملات خود تراکم، باعث کاهش جذب آب نسبت به نمونه کنترل شد ولی اضافه شدن ۵ درصد نانوسیلیس به ملات باعث افزایش ناچیز جذب آب شده است که مطلوب نیست. علت این امر ممکن است پخش نشدن کامل ذرات نانو در ملات سیمانی باشد. مرتضی بیگی و همکارانش [۱۵] تایید کردند که جذب آب بتن خود تراکم حاوی ۴ درصد نانو سیلیس در مقایسه با نمونه های حاوی ۲ و ۶ درصد مقدار کمتری داراست.

اضافه شدن نانو ذرات آهن نیز باعث کاهش مقدار جذب آب ملات های خود تراکم نسبت به نمونه کنترل شد و فقط افزودن ۴ درصد نانو آهن به ملات به مقدار غیر قابل توجهی جذب آب نمونه را افزایش داد. علی خوش اخلاق و همکاران با افزودن ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد نانو آهن به بررسی جذب آب بتن خود تراکم پرداختند و گزارش کردند که نمونه حاوی ۴ درصد نانو آهن جذب آب کمتری نسبت به دیگر نمونه ها را دارا بوده است.

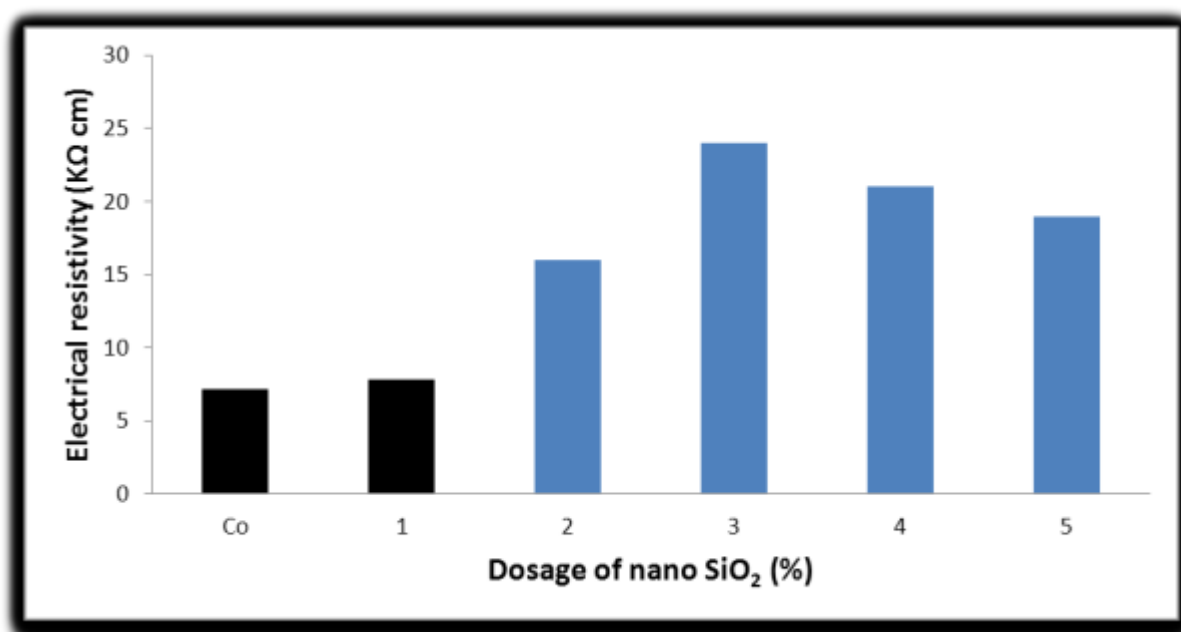
۳-۳- مقاومت الکتریکی

مقاومت الکتریکی ملات های حاوی ذرات نانو پس از ۲۸ روز اندازه گیری شد. واضح است که هرچه مقاومت نمونه ها در برابر عبور جریان بالاتر باشد احتمال وقوع خوردگی و نرخ خوردگی کمتر می شود. در جدول ۶ می توان دسته بندی نمونه های سیمانی از نظر مقاومت الکتریکی [۱۶] را مشاهده کرد.

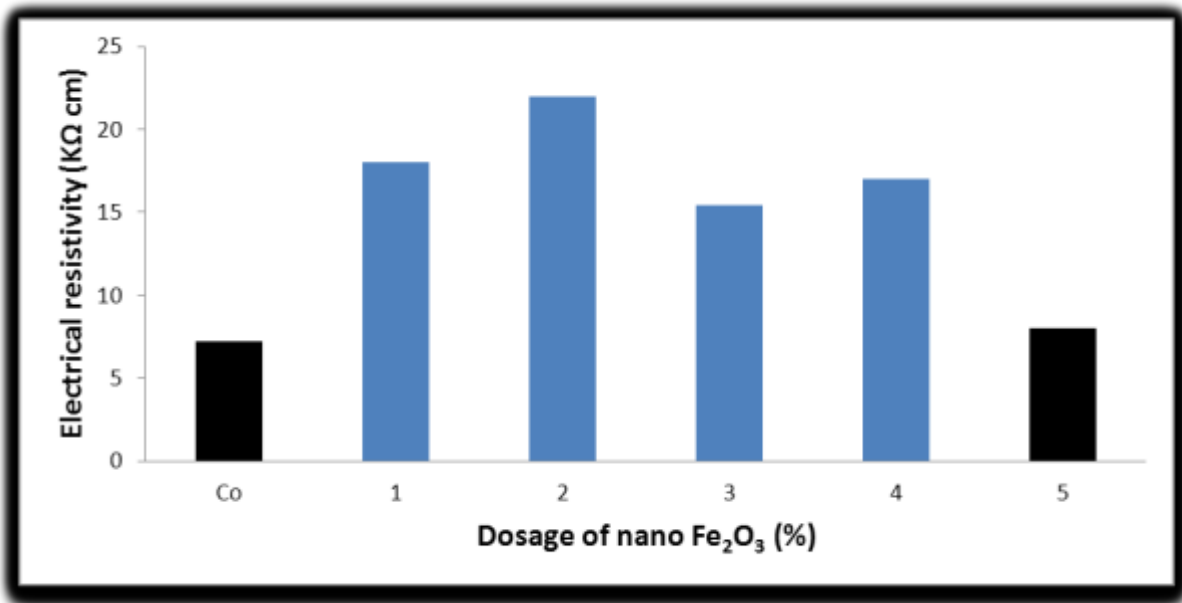
جدول ۶: دسته بندی نمونه های سیمانی از نظر مقاومت الکتریکی [۱۶]

نوع بتن از نظر دوام در برابر خوردگی	مقاومت ویژه الکتریکی بتن اشباع ($k\Omega \cdot cm$)
عالی	بیشتر از ۲۰
خوب	۱۰-۲۰
متوسط	۵-۱۰
ضعیف	کمتر از ۵

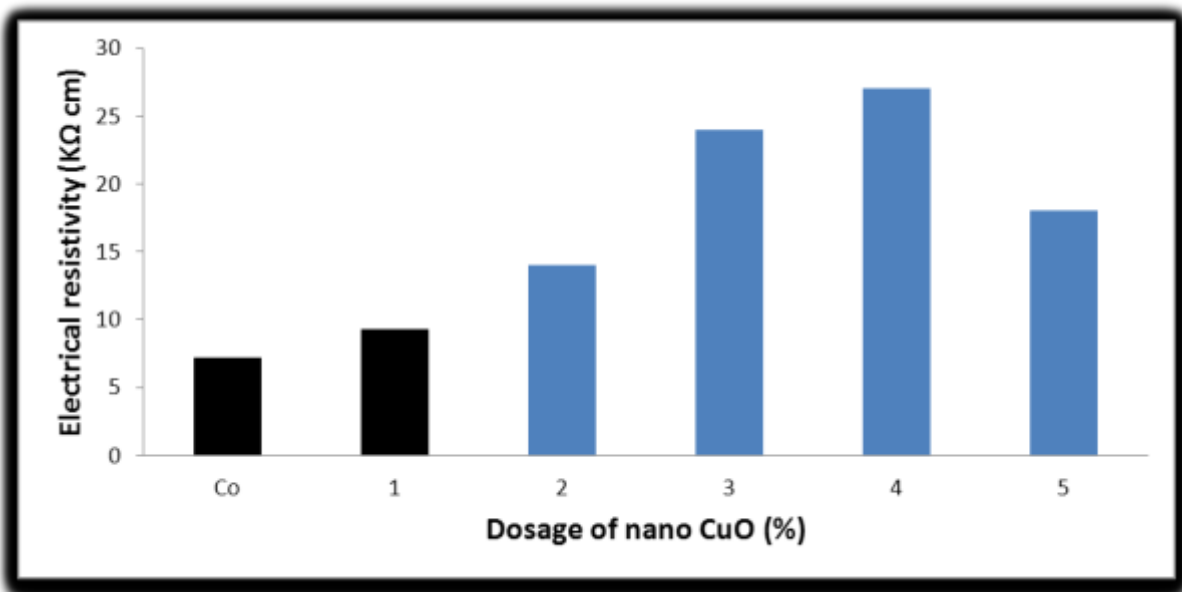
نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی و دسته بندی نرخ خوردگی ملات های خود تراکم حاوی نانو ذرات در اشکال ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.



شکل ۲: مقادیر مقاومت الکتریکی ملات های خود تراکم حاوی نانو سیلیس



شکل ۳: مقادیر مقاومت الکتریکی ملات های خود تراکم حاوی نانو آهن



شکل ۴: مقادیر مقاومت الکتریکی ملات های خود تراکم حاوی نانو مس

مقاومت الکتریکی نمونه حاوی ۳ درصد نانوسیلیس، نمونه حاوی ۲ درصد نانو آهن و نمونه حاوی ۴ درصد نانومس نسبت به نمونه کنترل به ترتیب ۳/۳ برابر، ۳ برابر و ۳/۷۵ برابر بیشتر شد. این قضیه اثبات شده است که تخلخل و تمرکز یونی محلول منفذ دار به طور مستقیم بر مقاومت الکتریکی مصالح سیمانی (ρ) تاثیر می گذارد. بنابراین مشخص است با وجود ذرات نانو تغییر برجسته ای در مقاومت نمونه ها بوجود آمده است. در حقیقت استفاده از ذرات نانو، تخلخل را کاهش داده و باعث افزایش مقاومت می شود که این موضوع باعث تاخیر در نفوذ یون کلر و افزایش دوام می شود.

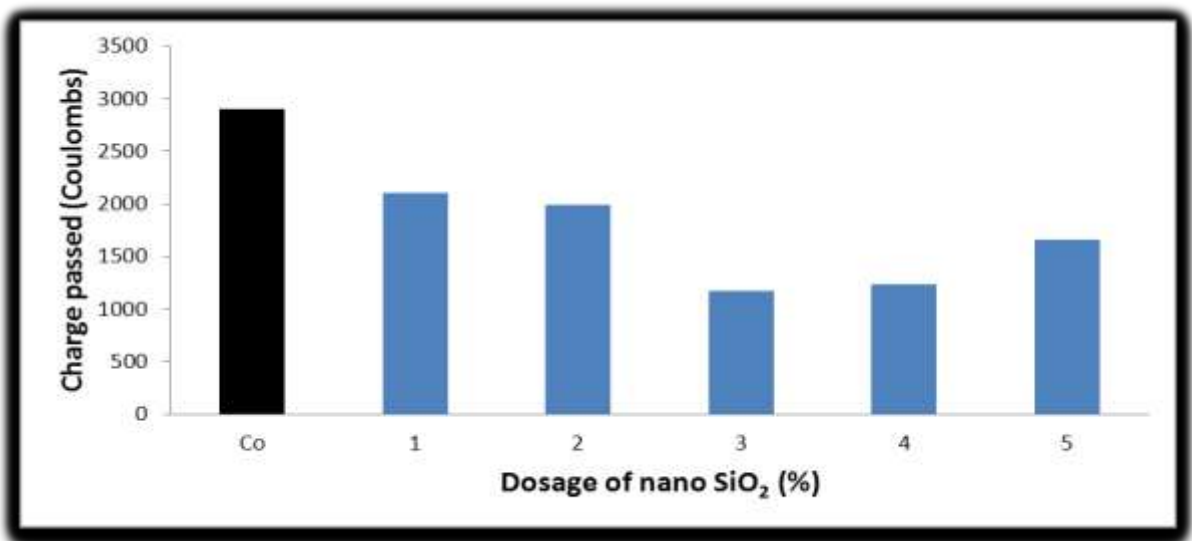
از طرفی دیگر چگال شدگی فیزیکی میکروساختار تولید شده توسط افزودن نانو ذرات و واکنش پوزولانی منجر به تشکیل C-S-H کمکی می شود. این C-S-H کمکی باعث افزایش مقاومت نمونه می شود [۱۷]. افزایش مقاومت الکتریکی مصالح سیمانی باعث می شود جا به جایی یون ها به داخل نمونه مشکل تر شود و این یعنی مانع خوردگی می شوند.

۳-۴- آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده (RCPT)

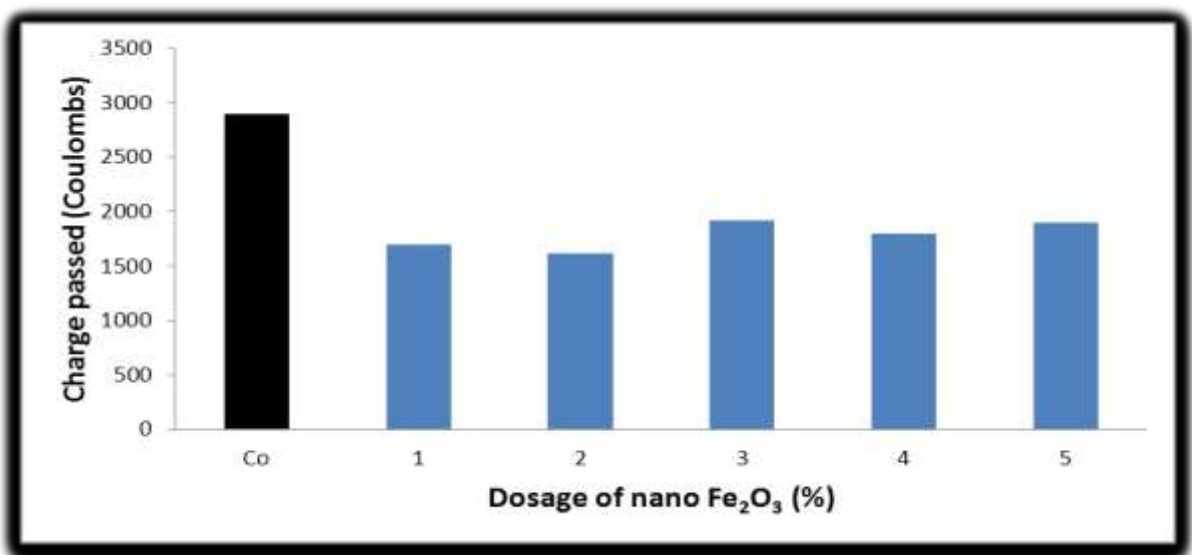
آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده (RCPT) روی تمام ملات های خودتراکم در سن ۹۰ روزه انجام گرفت. جریان عبور کرده در مدت ۶ ساعت به عنوان مقدار نفوذ یون کلر در نمونه های حاوی نانو سیلیس، نانو آهن و نانو مس در شکل های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. این آزمایش نفوذپذیری نمونه ها را اندازه نمی گیرد و در واقع مقدار مقاومت نمونه ها را اندازه می گیرد.

جدول ۷: تفسیر نتایج آزمایش RCPT

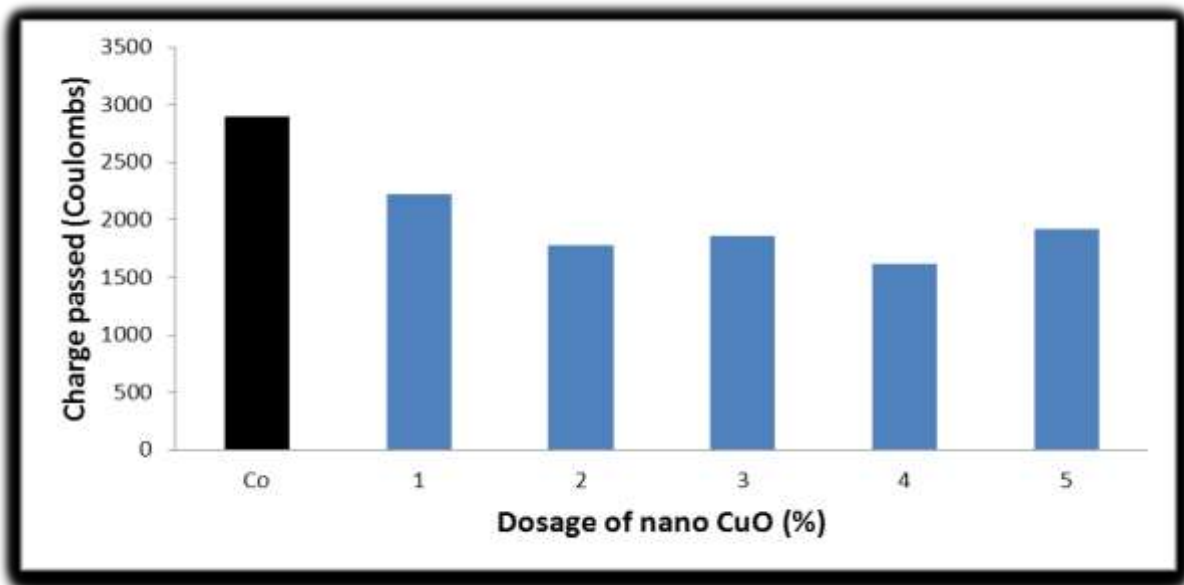
شار عبوری (coulombs)	نفوذ پذیری بتن در مقابل یون کلر
>۴۰۰۰	زیاد
۴۰۰۰ تا ۲۰۰۰	متوسط
۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰	کم
۱۰۰۰ تا ۱۰۰	خیلی کم
<۱۰۰	قابل اغماض



شکل ۵: مقادیر نفوذ یون کلر در ملات های خود تراکم حاوی نانو سیلیس



شکل ۶: مقادیر نفوذ یون کلر در ملات های خود تراکم حاوی نانو آهن



شکل ۷: مقادیر نفوذ یون کلر در ملات های خود تراکم حاوی نانو مس

نتایج با مقادیر پیشنهاد شده توسط ASTM C1202 مقایسه شد. همانطور که در نمودارها مشخص می باشد افزودن نانو ذرات سیلیس و آهن و مس به ملات خود تراکم باعث افزایش مقاومت در برابر نفوذ یون کلر در مقایسه با نمونه کنترل شد و در تمامی نمونه ها به جز INS و INC نفوذپذیری کلر (chloride permeability) در محدوده کم (Low) قرار گرفت و در نمونه های INS و INC نفوذپذیری کلر در محدوده متوسط (Moderate) قرار گرفت. مشخص است که افزودن ۳ درصد نانو سیلیس به ملات خودتراکم میزان نفوذ یون کلر نسبت به نمونه کنترل به میزان ۶۰ درصد کاهش یافته است. همچنین افزودن ۲ درصد نانو آهن و افزودن ۴ درصد نانو مس حدود ۴۴ درصد میزان نفوذپذیری یون کلر را کاهش داده است و به عبارتی باعث افزایش دوام نمونه ها شده اند. پیداست که با جایگزینی نانوذرات ریز ساختار ملات متراکم تر شده و پیوستگی منافذ کمتر شده که نتیجتاً باعث کاهش جریان عبوری شده است.

۴- نتیجه گیری

۱. استفاده از نانو سیلیس باعث کاهش جذب آب ملات گردید که حکایت از پتانسیل بالای این ماده افزودنی در کاهش نفوذ پذیری کامپوزیت های سیمانی دارد. میزان جذب آب ملات حاوی ۴درصد نانو سیلیس کمتر از نمونه های حاوی نانو سیلیس با درصد های دیگر بوده است.
۲. اضافه شدن نانو ذرات آهن و مس نیز باعث کاهش مقدار جذب آب ملات خود تراکم نسبت به نمونه کنترل شد و فقط افزودن ۴درصد نانو آهن به ملات خود تراکم به مقدار غیر قابل توجهی جذب آب نمونه را نسبت به نمونه کنترل افزایش داد.
۳. استفاده از نانو سیلیس و نانو مس به شکلی مشابه موجب افزایش مقاومت الکتریکی ملات های خود تراکم گردید. احتمال خوردگی نمونه کنترل در محدوده بالا قرار داشت، اما با افزودن بیشتر از ۲درصد نانو سیلیس و نانو مس، احتمال خوردگی در محدوده پایین قرار گرفت. با افزایش نانو سیلیس تا ۳درصد وزنی و افزایش نانو مس تا ۴درصد وزنی بر میزان مقاومت الکتریکی نمونه ها افزوده شد و پس از آن مقاومت الکتریکی رو به کاهش گذارد که البته باز هم مقاومت الکتریکی بالاتر از مقاومت نمونه کنترل بود. افزایش مقاومت الکتریکی مصالح سیمانی باعث می شود جا به جایی یون ها به داخل نمونه مشکل تر شود و این یعنی مانع خوردگی می شوند.
۴. استفاده از نانو آهن موجب افزایش مقاومت الکتریکی ملات های خود تراکم گردید. احتمال خوردگی نمونه کنترل در محدوده بالا قرار داشت، اما با اضافه شدن نانو آهن، احتمال خوردگی در محدوده پایین تا متوسط قرار گرفت. با افزایش نانو آهن تا ۲درصد وزنی بر میزان مقاومت

الکتریکی نمونه ها افزوده شد اما با افزایش ۵ درصد نانو آهن مقاومت الکتریکی کاهش یافت که علت این امر ممکن است پخش نشدن کامل ذرات نانو در ملات سیمانی باشد.

۵. افزودن ۳ درصد نانو سیلیس میزان نفوذ یون کلر به داخل نمونه را تا ۶۰ درصد کاهش داده است. همچنین افزودن ۲ درصد نانو آهن و افزودن ۴ درصد نانو مس حدود ۴۴ درصد میزان نفوذپذیری یون کلر را کاهش داده است و به عبارتی باعث افزایش دوام نمونه ها شده اند.

۶. نتایج آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده (RCPT) با حضور نانو ذرات حاکی از پتانسیل بسیار بالای این ذرات در کاهش نفوذ پذیری ملات ها می باشد. پیداست که با جایگزینی نانو ذرات ریز ساختار ملات متراکم تر شده و پیوستگی منافذ کمتر شده که نتیجتاً باعث کاهش جریان عبوری شده است.

مراجع

- [1] Frank dehn "self compacting concrete time development of the material properties and Bond Behavior" 3rd International symposium on self compacting concrete, Reykjavik, Iceland (2000)
- [2] "Brite Euram Proposal No BE 963801 SCC" (2000)
- [3] Okamura H and Ouchi M "Application of self compacting concrete in Japan" Proceeding of the first International RILEM self compacting concrete. Japan, pp. 3-9 2000.
- [4] Klaus Holschemacher, Y. Vette klug "A database for the evaluation of hardened properties of scc" LACER No 7, (2002)
- [5] B. persson, Tunnel through water-distributing sediments- without injection in advance, Bygg & Teknik, Stockholm 1 (1999)28-29
- [6] The European Guidline for self compacting concrete specification, production and use. May 2005
- [7] EFNARC "Specification and guidlines for self compacting concrete", pp. 29-35.
- [8] Domone PL, Jin J "Proprties of mortar for self-compacting concrete". In: Proceeding of the first International RILEM symposium on self-compacting concrete. Stockholm, Sweden, pp. 109-120 1999.
- [9] Hou P, Kawashima Sh, Kong D, Corr D. J, Qian J, Shah Surendra P, Modification effects of colloidal nanoSiO₂ on cement hydration and its gel property, Composites: Part B 2013;45:440-8.
- [10] Hou P, Kawashima Sh, Wang K, Corr D. J, Qian J, Shah Surendra P, Effects of colloidal nanosilica on rheological and mechanical properties of fly ash-cement mortar, Cem Concr Compos 2013;35:12-22.
- [11] Pourjavadi A, Fakoorpoor S. M, Hosseini P, Khaloo A, Interactions between superabsorbent polymers and cement-based composites incorporating colloidal silica nanoparticles, Cem Concr Compos 2013;43:112-20.
- [12] Tavakoli D, Heidari A, Properties of concrete incorporating silica fume and nano-SiO₂, Indian J Sci Technol January 2013;6(1):108-12.
- [13] ASTM C150 "Standard Specification for Portland Cement", Annual book of ASTM standards, 4.01, 186-189, 2000
- [14] ASTM 642 "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete", Annual book of ASTM standards, 4.01, pp. 186-189, 2000.
- [15] Morteza H. Beigi, Javad Berenjian, Omid Lotfi Omran, Aref Sadeghi Nik, Iman M. Nikbin "An experimental survey on combined effects of fibers and nanosilica on the mechanical, rheological, and durability properties of self-compacting concrete" Materials and Design 50 pp. 1019-1029 2013.
- [16] ACI Committee 222. Protection of metals in concrete against corrosion, ACI 222R-01; pp. 41. 2001.
- [17] Elahi A, Basheer PAM, Nanukuttan SV, Khan QUZ. "Mechanical and durability properties of high performance concretes containing supplementary cementitious materials" Construct Build Mater;24(3):292-9 2010.