

بررسی تأثیر افزودنی نانوسیلیس بر خواص مکانیکی و ریزساختاری خمیر سیمان پرتلند تیپ ۲

■ مهندس محمد اسدی

دانشجوی دکتری مهندسی مواد متالورژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

■ مهندس جواد فهیم

دانشجوی دکتری مهندسی مواد متالورژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

■ دکتر احمد منشی

دانشیار مهندسی مواد متالورژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

■ محبوبه جهانبخش سفیدی

کارشناس شیمی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

چکیده

نانوسیلیس با دارا بودن خواص پوزولانی منحصر بفرد، یکی از مصالح نوین در صنعت ساختمان به شمار می آید. در تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر نانوسیلیس بر خواص مکانیکی بتن مقاومت فشاری، میکروسکوپ الکترونی SEM صورت گرفته است. نانو سیلیس به عنوان یک نوع افزودنی با درصدهای مختلف جایگزین سیمان، اضافه شده است. تصاویر میکروسکوپی جهت بررسی خواص ریزساختاری از نمونه ها تهیه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش مقدار نانو ذرات سیلیس، جذب آب در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافت. نانوسیلیس با اصلاح ریزساختار بتن و ایجاد تراکم بیشتر و همچنین به خاطر فعالیت پوزولانی بسیار زیادی که دارد، باعث بهبود خواص مکانیکی بتن می شود. از نتایج چنین برمی آید که نانوسیلیس به عنوان پوزولان و ماده پرکننده نقش مثبت و موثری در بهبود خواص بتن دارد.

کلمات کلیدی: نانوسیلیس، سیمان پرتلند معمولی، مقاومت فشاری، میکروسکوپ الکترونی عبوری

۱- مقدمه

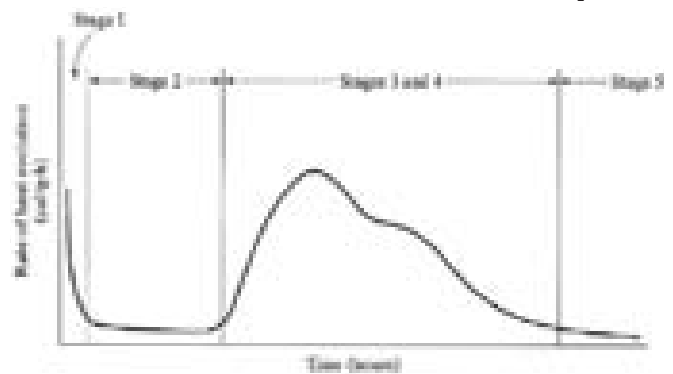
در سال های اخیر تکنولوژی نانو در حد گسترده و با سرعت بسیار بالایی در تمامی زمینه ها و مواد به کار گرفته می شود. در سال های اخیر، نانو تکنولوژی توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است. زیرا این علم توانایی استفاده از ذرات در اندازه نانو (10^{-9}) را در اختیار محققین قرار می دهد و بسیاری از صنایع می توانند مواد موجود را با استفاده از این ذرات تولید کرده و محصولات جدیدی بسازند. ورود

این تکنولوژی به صنعت بتن نیز همراه با تغییرات شگرفی در بسیاری از خواص این ماده پر کاربرد گردیده است. بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی مصالح ساختمانی با استفاده از فناوری نانو پیشرفت های عظیمی را در صنعت ساختمان ایجاد نموده است و به طراحان و مهندسان امکان ایجاد ساختمان هایی پایدار و همساز با طبیعت را داده است. با توجه به گستردگی صنعت ساختمان و پیشرفت علم نانو و نانوتکنولوژی جای کار بسیاری در این زمینه وجود دارد؛ به گونه ای که مهندسان نانو در هر

قسمتی از ساختمان، دستی در کار دارند. اهمیت استفاده از فناوری نانو زمانی آشکارتر می‌شود که میزان سرمایه‌گذاری کشورهای توسعه یافته در این زمینه در نمودار فوق بررسی شود. نانوسیلیس به‌عنوان یک ماده پوزولانی برای تهیه بتن با توانمندی بالا به دلیل تأثیر مهم به‌دست آمده در ناحیه بین خمیر و دانه‌های سیمان همواره مورد توجه دانشمندان بوده است.

طی سال‌های اخیر تولید کنندگان سیمان و بتن با به‌کار بردن نانوسیلیس به‌همراه سیمان در ترکیب ملات و بتن که جزء اصلی آنها می‌باشد، باعث افزایش مقاومت فشاری و کاهش زمان سفت شدن شده‌اند. نانو ذرات افزودنی به سیمان هم می‌تواند از نوع ترکیبات تشکیل دهنده خود سیمان (اکسید سیلیس، اکسید آهن و آلومینا) باشند و هم از ترکیباتی دیگر (برای مثال کربو نانو تیوب) که در جهت ایجاد خواص مشخص و معین در سیمان، کاربرد دارند. به‌عنوان مثال، برای حصول به سیمانی با خواص مناسب جهت استفاده در چاه‌های نفت، افزودن نانو ذرات مناسب می‌باشد.

به‌طور کلی مهمترین عامل در کنترل خواص نانو سیمان‌ها، علاوه بر خواص نانو ذرات، اختلاط مناسب نانو ذرات و سیمان می‌باشد. نانو سیمان‌ها به دلیل مقاومت بالا و خواص ساختاری بهبود یافته، کاربردهای زیادی دارند. برای مثال، از این نوع سیمان‌ها، برای ساخت آسمان‌خراش‌ها، ساختمان‌های ریاست جمهوری و نظامی (ضد گلوله) و در مناطقی که خورندگی زیاد است، استفاده می‌شود. به‌طور کلی، استفاده از افزودنی‌ها در تولید سیمان، علاوه بر تأثیراتی که بر خواص سیمان دارد، به دلیل مصرف کمتر سیمان، کاهش مصرف انرژی و کاهش گازهای گلخانه‌ای را نیز به‌همراه دارد. مهمترین ترکیب پوزولان‌ها، سیلیکای آمورف و یا سیلیس شیشه‌ای است که در نتیجه واکنش آنها با هیدروکسید کلسیم، سیلیکات کلسیم هیدراته شده، تولید می‌شود. در شکل ۱ واکنش سیلیس آمورف نانو سیلیس با $\text{Ca}(\text{OH})_2$ حاصل از هیدراتاسیون فازهای C_3S و C_2S سیمان آورده شده است.

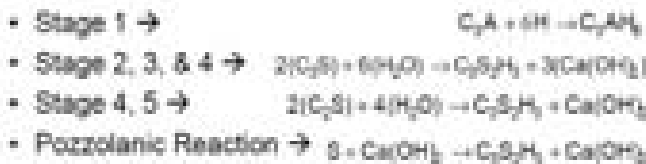


شکل ۱- مراحل واکنش نانو سیلیس با $\text{Ca}(\text{OH})_2$

به‌طور کلی با افزودن سیلیکا که نقش افزودنی در مقیاس نانو دارد، بتن با دوام ساخته می‌شود؛ اما اگر به مقدار زیادی افزوده شود بتن را ترد و شکننده می‌کند، پس لازم است مقداری که اضافه می‌کنیم را بدانیم. محصول نانو سیلیس متشکل از ذراتی هستند که دارای شکل گلوله‌ای بوده و با قطر کمتر از ۱۰۰ nm یا به‌صورت ذرات خشک پودر یا به‌صورت معلق در مایع محلول قابل انتشار می‌باشند که شکل مایع آن معمول‌ترین نوع نانو سیلیس می‌باشد. این نوع محلول در آزمایش‌های مشخص در بتن خودتراکم به‌کار گرفته شده است. نانو سیلیس معلق کاربردهای چندمنظوره از خودشان نشان می‌دهند مانند:

- خاصیت ضدسایش
- ضد لغزش
- ضد حریق
- ضد انعکاس سطوح

آزمایش‌های نشان داده‌اند که واکنش مواد نانو سیلیس با هیدروکسید کلسیم در مقایسه با میکروسیلیکا بسیار سریع‌تر انجام گرفته و مقدار بسیار کم این مواد همان تأثیر پوزولانی مقدار بسیار بالای میکروسیلیکا را در سنین اولیه دارا می‌باشد:



با استفاده از نانو ذرات سیلیس می‌توان میزان تراکم ذرات را در بتن افزایش داده که این به افزایش چگالی میکرو و نانو ساختارهای تشکیل دهنده بتن و در نتیجه ویژگی‌های مکانیکی می‌انجامد. افزودن نانو ذرات سیلیس به مواد بر مبنای سیمان هم موجب کنترل تجزیه شیمیایی ناشی از H-C-S کلسیم-سیلیکات-هیدرات که در اثر نشست کلسیم در آب رخ می‌دهد و نیز جلوگیری از نفوذ آب به داخل بتن می‌شود که هر دوی این موارد دوام بتن را افزایش می‌دهند. سرعت واکنش و واکنش‌پذیری پوزولان‌ها، سیلیکا آمورف و یا سیلیس شیشه‌ای است که در نتیجه واکنش آنها با هیدروکسید کلسیم، سیلیکات کلسیم هیدراته شده، تولید می‌شود. بنابراین بدیهی است که نانوسیلیس‌ها به دلیل سطح مقطع بیشتر از اهمیت خاصی برخوردار باشند.

گیرش اولیه نمونه‌های حاوی نانوسیلیس، نسبت به نمونه‌های حاوی دوده سیلیس، سریع‌تر بوده و تفاوت بین زمان

در سیمان استفاده شده‌اند.

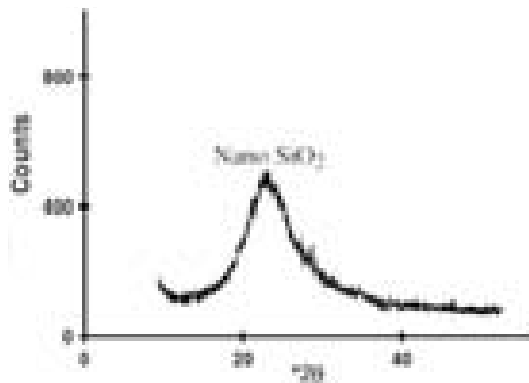
جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی سیمان و نانو سیلیس توسط XRF

نوع سیمان	سیمان برآورد معمولی	ویژگی‌های شیمیایی
۱۰۰%	۱۰۰%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۰)
۰%	۹۹%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱)
۰%	۹۸%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۲)
۰%	۹۷%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۳)
۰%	۹۶%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۴)
۰%	۹۵%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۵)
۰%	۹۴%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۶)
۰%	۹۳%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۷)
۰%	۹۲%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۸)
۰%	۹۱%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۹)
۰%	۹۰%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱۰)
۰%	۸۹%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱۱)
۰%	۸۸%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱۲)
۰%	۸۷%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱۳)
۰%	۸۶%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱۴)
۰%	۸۵%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱۵)
۰%	۸۴%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱۶)
۰%	۸۳%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱۷)
۰%	۸۲%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱۸)
۰%	۸۱%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۱۹)
۰%	۸۰%	نسبت سیمان/سیلیس (۱۰۰/۲۰)

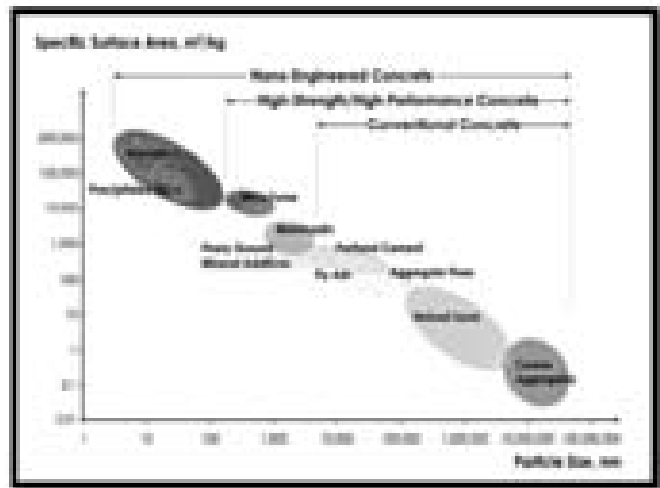
در ضمن به ملات سیمان ماده پراکننده ذرات نانو (HRWR) و حباب‌زدا برای کاهش حباب‌های هوا در داخل بتن اضافه می‌شود.

۳- بحث و بررسی نتایج

شکل ۳ الگوی پراش اشعه ایکس نانو پودر سیلیس را نشان می‌دهد و در شکل ۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM نانوسیلیس مشاهده می‌شود.



شکل ۳- الگوی پراش اشعه ایکس نانو سیلیس



شکل ۲- اندازه ذرات و سطح ویژه برای برخی از مواد مورد استفاده در بتن

گیرش اولیه و گیرش نهایی نمونه‌های حاوی نانو سیلیس نسبت به نمونه‌های حاوی دوده سیلیس به دلیل کاهش نفوذپذیری (متراکم بودن ساختار نانو سیمان‌ها) بیشتر می‌باشد. نانو سیمان‌ها به دلیل مقاومت بالا و خواص ساختاری بهبود یافته، کاربردهای زیادی دارند.

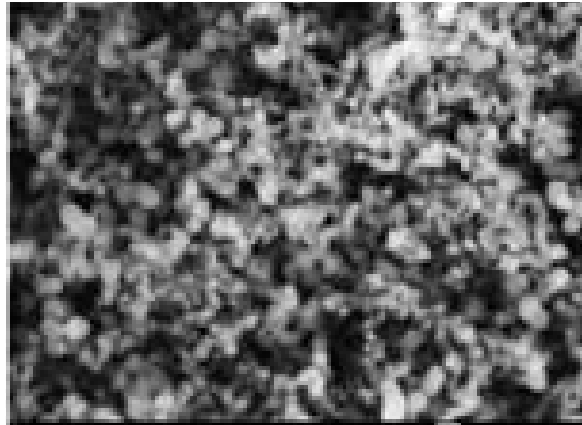
همان گونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود سطح ویژه نانو سیلیس می‌تواند بیش از ۱۰۰ برابر گونه‌های سیلیس عادی که سطح ویژه بالایی دارند، باشد. سطح ویژه سیمان‌های معمولی $280 \text{ m}^2/\text{kg}$ است.

۲- مواد و روش تحقیق

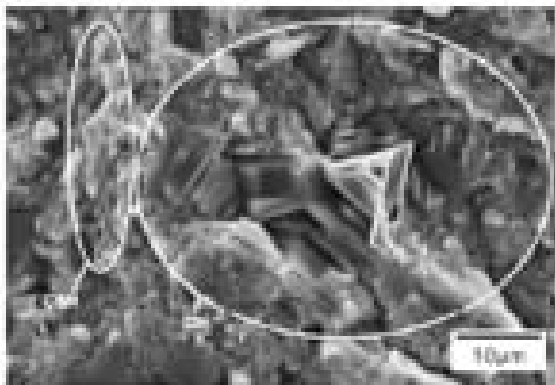
در تحقیق حاضر، نمونه‌های مکعبی بتن سبک مطابق فرمولاسیون جدول ۱ با استفاده از نانو سیلیس و با نسبت آب به سیمان و عیار سیمان یکسان ساخته شدند. نمونه‌های ساخته شده از نوع مکعبی $10 \times 10 \times 10$ سانتیمتر بوده و در سنین ۷ و ۲۸ روزه تحت آزمایش مقاومت فشاری گرفتند. در ساخت نمونه‌ها ۵ درصد مختلف از نانوسیلیس مطابق جدول ۱ استفاده شد. نانوسیلیس به صورت پودری با خلوص ۹۹/۸ درصد ساخت شرکت دگوسای آلمان مورد استفاده قرار گرفت. در این طرح خصوصیات نانوذرات سیلیکا با مشخصات مندرج در جدول ۲

جدول ۱- نسبت ترکیبات نمونه‌ها

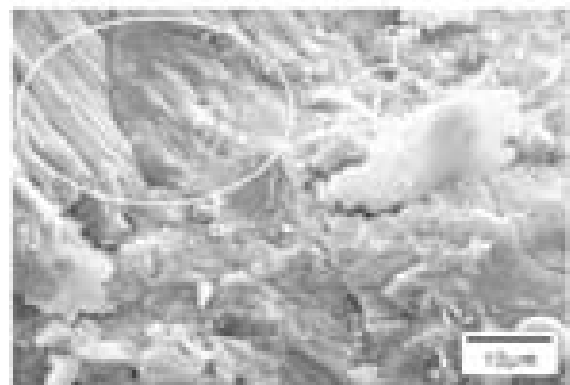
Mix	$\text{kg m}^{-3} (\text{lb yd}^{-3})$			liter m^{-3}
	Water	Cement	Silica	HRWR
ST CMT	133 (224)	425 (716)	0	1.9
SF	133 (224)	425 (716)	21 (36)	1.9
8 (nano)	133 (224)	425 (716)	21 (36)	1.9
50 (nano)	133 (224)	425 (716)	21 (36)	1.9
50S (nano)	133 (224)	425 (716)	21 (36)	1.9



شکل ۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM نانو سیلیس

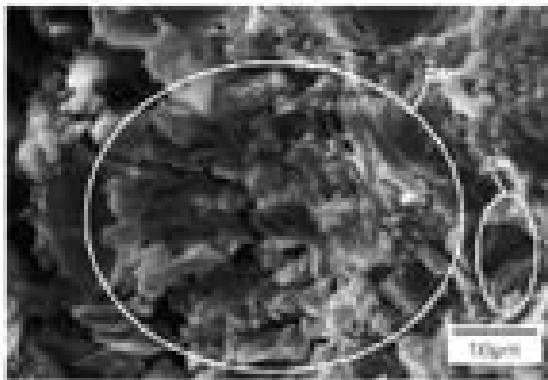


Mix ST CM

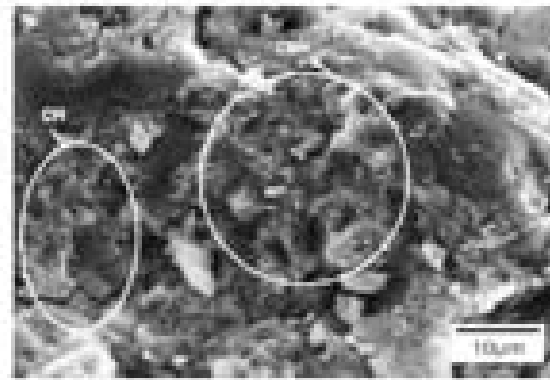


Mix SF

شکل ۵- تصاویر اسکن میکروسکوپ الکترونی ملات بدون ذرات نانو سیلیس

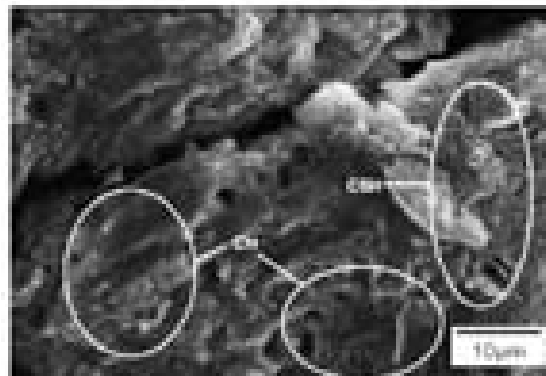


Mix B



Mix 50

Mix 50B →



شکل ۶- تصاویر اسکن میکروسکوپ الکترونی ملات حاوی ذرات نانو سیلیس

جدول ۳- درصد Ca(OH)_2 باقیمانده

Mix ID	Calcium Hydroxide (%)
8	22.7%
SF	23.9%
508	24.9%
ST CMT	27.4%
50	27.5%

شکل ۷ بررسی تغییرات استحکام فشاری نمونه‌ها با گذشت زمان را نشان می‌دهد. بررسی تغییرات استحکام فشاری نمونه‌ها با گذشت زمان نشان داده است که مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه سیمان‌های حاوی نانو سیلیس بیشتر از سیمان‌های بدون نانو سیلیس می‌باشد. استفاده از نانو ذرات مانند نانو سیلیس در بتن باعث افزایش مقاومت فشاری آن می‌شود.

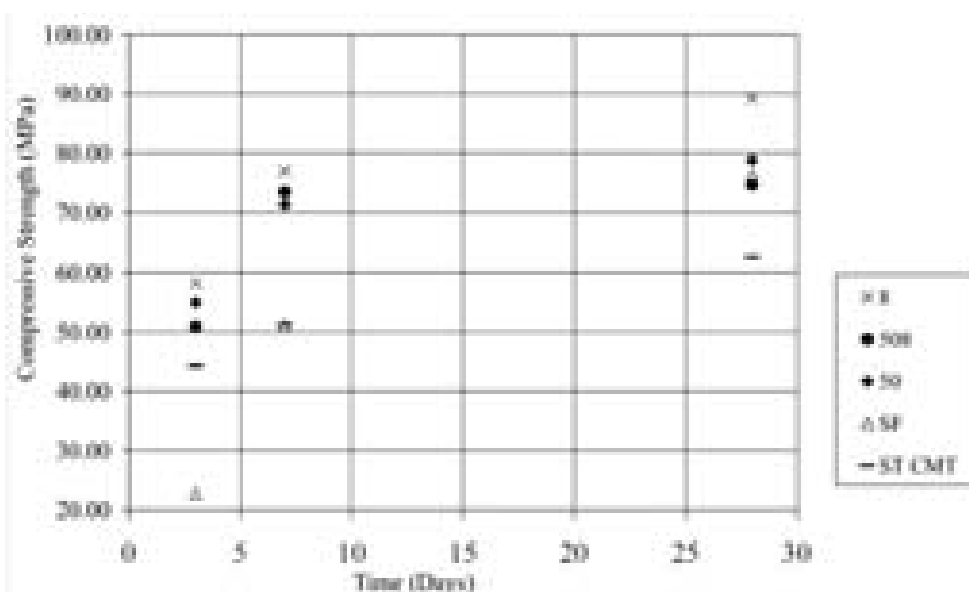
سیلیکای غیر کریستاله یا شیشه‌ای که جزء اصلی یک پوزولان است با هیدروکسید کلسیم حاصل از هیدراتاسیون واکنش می‌دهد. شدت واکنش پوزولانی با میزان مساحت سطح قابل دسترسی برای واکنش متناسب است. بنابراین افزایش ذرات نانو سیلیس برای ساختن بتن با کارایی بالا قابل قبول است. نتایج آزمایشگاهی در این تحقیق نشان می‌دهند که مقاومت‌های فشاری همه ملات‌ها با ذرات نانو سیلیس بالاتر از ملات‌هایی بود که بدون نانو سیلیس در سنین ۷ و ۲۸ روز بودند. بنابراین ثابت می‌شود که نانو ذرات در افزایش مقاومت نسبت به دوده سیلیس مؤثرتر هستند.

بر اساس نتایج آزمون مقاومت فشاری، انتظار می‌رود که

استفاده از نانو سیلیس در سیمان، نه تنها به علت پرکنندگی منافذ باعث بهبود ساختار می‌شود، بلکه واکنش‌های پوزولانی را فعال تر می‌نماید.

با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی با افزایش درصد نانو سیلیس به ملات سیمان باعث کاهش اندازه کریستال‌های CH می‌شود، کریستال‌های CH جمع‌تر شده و اصطلاحاً چین‌خورده و در نتیجه سطح مشترک مواد واکنش دهنده نسبت به سیمان‌های بدون نانو سیلیس، مناسب‌تر می‌باشد.

افزودن نانو سیلیس بر روی زمان گیرش سیمان مؤثر می‌باشد و زمان گیرش اولیه کاهش می‌یابد. با افزایش نانو سیلیس به سیمان، ملات سیمان متراکم‌تر شده و نفوذپذیری نسبت به سیمان معمولی به تدریج کاهش می‌یابد. کاهش در اندازه ذره می‌تواند منجر به این شود که سفت شدن سیمان با آهنگ تندتری انجام گیرد که منجر به قوی‌تر شدن نیروی الکترواستاتیک و بزرگتر شدن سطح مخصوص می‌شود. افزودن نانو سیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری سیمان می‌شود. برای مثال نتایج نشان داده مقاومت فشاری ۷ روزه سیمان‌های حاوی افزودن نانو سیلیس نمونه با کد ۸ نسبت به سیمان پرتلند معمولی کنترلی (شاهد ST CMT) بیشتر است. در جدول ۳ درصد مقدار باقیمانده Ca(OH)_2 در نمونه‌ها آورده شده است. در نمونه با کد ۸ مقدار باقیمانده Ca(OH)_2 نسبت به سیمان پرتلند معمولی کنترلی (شاهد ST CMT) کمتر است که نشان از افزایش واکنش‌های پوزولانی و ایجاد سیلیکات کلسیم هیدراته شده و پر شدن منافذ سیمان می‌شود و در اصل واکنش‌های پوزولانی را فعال تر می‌کند.



شکل ۷- بررسی تغییرات استحکام فشاری نمونه‌ها با گذشت زمان

منابع:

- 1- ASTM C 31-09., "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field", ASTM International. 2009.
- 2-ASTM C 109 -08., "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars", ASTM International. 2008.
- 3- Balaguru, P., and Chong, K., "Nanotechnology and Concrete: Research Opportunities", ACI SP-2008.
- 4- Bentz, D. P., "Influence of silica fume on diffusivity in cement-based materials. II".
- 5- "Multi-scale modeling of concrete diffusivity. National Institute of Standards and Technology", July 2000.
- 6- Berger, R. and McGregor, J., "Influence of Admixtures on the Morphology of Calcium Hydroxide Formed During Tricalcium Silicate Hydration", Cement and Concrete Research. 1972.
- 7- Bogue, Robert, "Chemistry of Portland Cement", Reinhold. 1955.
- 8- Christensen P. "Structural and Ingredient Analysis of Concrete-Methods", Results, and Experience, Nordisk Betong. 1984.
- 9- Gartner, E., Young, J. Damidot, D. and I Jawed., "Hydration of Portland Cement", Lafarge. 2000.
- 10- Green, B., "Development of a High-Density Cementitious Rock-Matching Grout Using Nano-Particles. SP-254-8.", Nanotechnology of Concrete: Recent Developments and Future Perspectives. ACI., K. Sobolev and S. P. Shah. 2008. pp. 121-132.

بتوان از ذرات نانو سیلیس به‌عنوان موارد زیر استفاده کرد:

- پرکننده و اصلاح کننده میکروساختارهای ملات سیمانی
- به‌عنوان ارتقا دهنده واکنش پوزولانی

نمونه‌های حاوی نانوسیلیس نسبت به ملات سیمان بدون این مواد دارای خواص مکانیکی به مراتب بالاتری می‌باشند. می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت خمشی و فشاری ملات سیمان با افزودن نانوذرات سیلیکا، بیشتر از مقاومت ملات سیمان معمولی است. در صورتیکه با افزایش نسبت نانوذرات سیلیکا مقاومت فشاری ۲۸ روزه افزایش می‌یابد و این که نانوذرات به‌عنوان یک ماده پرکننده، حفره‌های سیمان را پر می‌کنند و به مانند فوم سیلیکا، مقاومت بتن را افزایش می‌دهند.

۴- نتیجه‌گیری

- افزودن نانوسیلیس به سیمان باعث افزایش گرمای هیدراتاسیون آن می‌گردد.
- استفاده از نانوسیلیس موجب کاهش ویسکوزیته ملات سیمان می‌گردد که این امر سبب کاهش مصرف آب در ملات سیمان می‌گردد.
- نانو سیلیس نه تنها می‌تواند به‌عنوان پرکننده برای اصلاح میکروساختارها به کار رود، بلکه می‌تواند نقش فعال ساز واکنش پوزولانی را نیز داشته باشد.

فناوری سیمان ماهنامه علمی، تخصصی

به منظور ایجاد زمینه ای جهت تبادل اطلاعات علمی و تخصصی بین کارشناسان صنعت سیمان و صنایع مرتبط انتشار می یابد. لذا از محترم دانشگاهیان، محققین، کارشناسان و متخصصین فعال در زمینه های مختلف مرتبط باصنعت سیمان دعوت به عمل می آید تا با ارسال مقالات و نقطه نظرات خویش موجب ارتقاء این نشریه و پویایی آن را فراهم سازند.

به منظور بهره گیری بهتر و بیشتر از مطالب آژرم است مقالات ارسال شده قبلاً به نشریه یا سمپا درج نمی گردد. خواهشمند است
تلفن: ۰۲۱-۲۲۶۱۱۳۳۳
cement_technology@yahoo.com

فراخوان

مقاله