

بررسی تأثیر نانوسیلیس بر نفوذپذیری بتن خودتراکم در محیط سولفات

یعقوب محمدی *

استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه محقق اردبیلی

شهریار عزتی

کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

بتن یکی از مهم‌ترین مصالح ساختمانی است که از ترکیب مخلوط متناسبی از سیمان، مصالح سنگی، آب و مواد افزودنی بدست می‌آید. از عواملی که کاربرد بتن را مخصوصاً در سازه‌های با تراکم آرماتور زیاد با مشکل مواجه می‌کند متراکم نمودن آن است. در مواردی مانند پایه پل‌ها، ستونهای طبقات پایین ساختمان‌های بلند و ... عملاً امکان ویریه کردن بتن غیر ممکن است. برای رفع این مشکل باید از بتن خودتراکم استفاده شود که باعث تراکم کامل بتن شده و سرعت بتن‌ریزی را بالا می‌برد. این نوع بتن با استفاده از فوق‌روان‌کننده‌ها و مواد افزودنی دیگر تولید می‌شود. این مقاله به بررسی اثر افزودن نانوسیلیس بر خواص مکانیکی بتن سخت شده در محیط مخرب سولفاتی می‌پردازد. به این منظور در برنامه مطالعات آزمایشگاهی از آزمایشهایی چون مقاومت فشاری و نفوذپذیری بهره گرفته شده است. نتایج آزمایش حاکی از این است که افزودن نانوسیلیس توانسته بر خواص مکانیکی بتن خودتراکم تأثیر گذار باشد و همچنین دوام بتن را در برابر عامل مخرب سولفاتی که باعث کاهش روند کسب مقاومت فشاری در سنین بالاتر می‌گردد، افزایش دهد. نانوسیلیس، تخلخل در سیمان هیدراته شده را به وسیله‌ی پر کردن فضاهای خالی بین ذرات بزرگتر به حداقل رسانده و نفوذپذیری را تا حد زیادی کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: نانو سیلیس، بتن خودتراکم، نفوذپذیری، دوام، محیط سولفات.

* نویسنده مسئول: yaghoubm@uma.ac.ir

۱- مقدمه

بتن خودتراکم (self compacting concrete) یکی از گام-های رو به جلو در زمینه بتن است. این بتن پدیده جدیدی در علم مصالح ساختمانی است که تقریباً سه دهه از عمر آن می‌گذرد. پیدایش فوق‌روان‌کننده‌ها به عنوان نوع جدیدی از افزودنی‌ها زمینه را برای ظهور بتن خود تراکم فراهم کرده است. بتن خودتراکم شاخه جدید بتن با مقاومت متوسط به بالا می‌باشد که بدون نیاز به ویریه کردن و تحت وزن خود داخل قالب را پر می‌کند [۱]. در اوایل دهه هشتاد میلادی به دنبال کاهش نیروی کار ماهر در صنعت ساخت و ساز ژاپن و تراکم نامناسب ناشی از افزایش حجم آرماتورهای مصرفی به تبع عملکرد بهتر سازه‌ای از طرف دیگر که باعث کاهش کیفیت کارهای اجرایی انجام گرفته گردید [۲]، این موضوع برای چندین سال مورد بحث و بررسی قرار گرفت تا این-که نظریه بتن خودتراکم به عنوان راه حلی برای رفع مشکل دوام سازه‌های بتنی توسط اوکامورا (Okamura) در سال ۱۹۸۶ مطرح گردید [۳]. توافق گسترده‌ای وجود دارد که فناوری نانو دارای پتانسیل انقلابی در جهان علم مواد بتن می‌باشد. یکی از این محصولات، نانوسیلیس می‌باشد. نانوسیلیکا یک محصول ترکیبی با ذرات کروی در طیف وسیعی از ۱-۵۰ نانومتر است. ترکیب نانوسیلیس در بتن، سیمان پرتلند و مصالح در آزمایشگاه با موفقیت همراه بوده است [۴]. نانوسیلیس، تخلخل در سیمان هیدراته شده را به وسیله‌ی پر کردن فضاهای خالی بین ذرات بزرگ‌تر در مقیاس نانو کاهش می‌دهد. علاوه بر این، نانوسیلیس فعالیت‌های پوزولانی را در مصالح و خاکستر بادی فراهم می‌کند، که نتایج آن منجر به افزایش سریع‌تر در مقاومت و پتانسیل برای کاهش مشکلات و مقاومت آهسته در مصالح پوزولانی می‌باشد [۵]. نانوسیلیس همچنین می‌تواند مقدار سیمان مورد نیاز برای بتن را کاهش دهد، در نتیجه کاهش تولید حرارت بالا و وجود مشکلات انقباضی با محتویات بالا کاهش پیدا می‌کند [۶]. گارسیا و همکارانش اصلاح بتن خودتراکم با آمورف نانوسیلیس با درصد‌های مختلف نانوسیلیکا در بتن خودتراکم با توزیع ذرات مشابه از طریق دو فرآیند متفاوت مورد آزمایش قرار دادند. تأثیر نانوسیلیس بر خواص بتن تازه و دوام بتن سخت‌شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نانوسیلیس می‌تواند خواص مکانیکی و دوام بتن را بهبود ببخشد [۷]. در مطالعه دیگر

صورت پودری با ابعاد ۲۰ تا ۳۰ نانومتر و خلوص ۹۹ درصد و به رنگ سفید محصول شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان در مشهد می‌باشد که شکل ظاهری این ماده در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- نانوسیلیس

۲-۳- آب و مواد مصرفی

آب اختلاط مورد استفاده در این پژوهش آب شرب اردبیل است. برای ساخت بتن خودتراکم از فوق‌روان‌کننده بتن مایع بر پایه نفتالین سولفونات، با نام "FABCRETE- 100" محصول شرکت فابیر استفاده شده است. ماده افزودنی هوازای مورد استفاده در طرح‌های اختلاط که برای ایجاد و توزیع یکنواخت حباب‌های بسیار ریز هوا به اندازه‌های معین مورد استفاده قرار گرفته است، محصول شرکت نامیکاران که مطابق با استاندارد ASTM 260-81 می‌باشد. برای ایجاد محیط سولفات در ماده سولفات منیزیم به صورت پودری استفاده شده است. این ماده محصول شرکت تهران اسید می‌باشد که مشخصات فیزیکی این ماده این ماده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- درصد ترکیبات موجود در سیمان پرتلند پوزولانی اردبیل

C ₄ AF	C ₃ A	C ₂ S	C ₃ S	ترکیبات تشکیل دهنده
۹-۱۲	۹-۱۱	۲۰-۳۵	۳۵-۶۰	درصد

جدول ۲- مشخصات فنی سولفات منیزیم مورد استفاده در این آزمایش‌ها

چگالی تراکم kg/m ³	دمای تجزیه (C)	میزان کلرید (درصد)	میزان آهن (درصد)	میزان حلالیت g/l	چگالی g/cm ³	PH	رنگ	شکل ظاهری
۵۰۰	۱۱۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۳۶	۲/۴۵	۷	سفید	کریستالی

خودتراکم باعث بهبود خواص مهندسی بتن نشده است. هرچند، امکان عملکرد رضایت بخش با کاربرد میکروسیلیس در طرح اختلاط‌های این نوع بتن وجود دارد، همچنین با افزودن همزمان میکروسیلیس و نانوسیلیس به مخروط‌های بتن خودتراکم، بهترین تأثیر در خواص مهندسی در مقایسه با بتن خودتراکم شاهد ایجاد شده است [۱۱]. تاکنون بررسی‌های انجام گرفته بر روی دوام و نفوذپذیری بتن خودتراکم در محیط عادی صورت گرفته است و نیاز به بررسی نفوذپذیری و خواص مکانیکی در محیط مخرب سولفات با درصدهای مختلف نانوسیلیس ضروری به نظر می‌رسد.

۲- مواد و روش‌ها و برنامه آزمایشگاهی

۱-۲- سنگدانه

سنگ‌دانه‌های مصرفی در این پروژه آزمایشگاهی از شن و ماسه‌های استخراج شده از روستای گیلده آستارا تهیه شده است. سنگ‌دانه‌های درشت با نام شن شکسته با حداکثر قطر ۱۹ میلی‌متر و با وزن مخصوص $2/68 \text{ g/cm}^3$ و جذب آب ۵ درصد و سنگدانه‌های ریز با نام ماسه با قطر حداکثر ۴/۷۵ میلی‌متر و مدول نرمی ۲/۶۷ و وزن مخصوص $2/64 \text{ g/cm}^3$ مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۲- سیمان و مواد پوزولانی

بتن خودتراکم مورد بررسی در این پروژه آزمایشگاهی از سیمان پرتلند پوزولانی کارخانه سیمان شهر اردبیل واقع در نمین با وزن 3130 kg/m^3 تهیه شده است که مشخصات شیمیایی این سیمان در جدول ۱ آورده شده است. نانوسیلیس مصرفی در این پروژه به

۴-۲- طرح اختلاط

کامل اختلاط و درصد اختلاط نمونه ها با نسبت های وزنی مختلف با توجه به جدول ۳ طبق استاندارد ACI-211 آورده شده است. طبق این جدول تعداد نمونه های ما ۱۶۲ عدد بوده است. (۸۱ نمونه مکعبی برای انجام آزمایش مقاومت فشاری و ۸۱ نمونه مکعبی برای انجام آزمایش های مربوط به عمق نفوذ آب بتن به نسبت ۰/۲ درصد وزنی سیمان استفاده شد. ویژگی های

جدول ۳- مقادیر وزنی مصالح استفاده شده در طرح اختلاط نمونه ها (kg/m³)

ردیف	نام طرح	شن (kg)	ماسه (kg)	سیمان (kg)	آب (kg)	فوق روان کننده (gr)	نانو سیلیس (% سیمان)	هوازا (gr)	محیط عمل آوری
۱	Sc01	۹۶۰	۶۴۰	۴۵۰	۲۰۲/۵	۹	۰	۰/۹	عادی
۲	Sc02	۹۶۰	۶۴۰	۴۴۵/۵	۲۰۲/۵	۹	۱	۰/۹	عادی
۳	Sc03	۹۶۰	۶۴۰	۴۴۱	۲۰۲/۵	۹	۲	۰/۹	عادی
۴	Sc11	۹۶۰	۶۴۰	۴۵۰	۲۰۲/۵	۹	۰	۰/۹	۵ درصد سولفات
۵	Sc12	۹۶۰	۶۴۰	۴۴۵/۵	۲۰۲/۵	۹	۱	۰/۹	۵ درصد سولفات
۶	Sc13	۹۶۰	۶۴۰	۴۴۱	۲۰۲/۵	۹	۲	۰/۹	۵ درصد سولفات
۷	Sc21	۹۶۰	۶۴۰	۴۵۰	۲۰۲/۵	۹	۰	۰/۹	۱۰ درصد سولفات
۸	Sc22	۹۶۰	۶۴۰	۴۴۵/۵	۲۰۲/۵	۹	۱	۰/۹	۱۰ درصد سولفات
۹	Sc23	۹۶۰	۶۴۰	۴۴۱	۲۰۲/۵	۹	۲	۰/۹	۱۰ درصد سولفات

۵-۲- روش آزمایش و عمل آوری

۵-۲-۱-۱- آزمایش های بتن تازه

۵-۲-۱-۱-۱- آزمایش جریان اسلامپ: این آزمایش جهت ارزیابی

خاصیت پرکنندگی بتن خودتراکم مورد استفاده قرار می گیرد [۱۲].

۵-۲-۱-۲- آزمایش حلقه J شکل: آزمایش حلقه J در

دانشگاه paisley توسعه یافت. این روش جهت بررسی خاصیت

عبوری بتن طراحی شده است [۱۳].

۵-۲-۱-۳- آزمایش قیف V: این آزمایش توسط Ozawa و

همکارانش در ژاپن توسعه یافت که جهت بررسی خاصیت

پرکنندگی بتن با ماکزیمم اندازه سنگدانه ۲۰ میلی متر طراحی

گردیده است. در این آزمایش زمان تخلیه بتن از داخل قیف مورد

بررسی قرار می گیرد [۱۴].

۵-۲-۱-۴- آزمایش جعبه U شکل: این آزمایش توسط

مرکز تحقیقات فناوری موسسه TAISEI در ژاپن ابداع

گردید. جعبه U خاصیت عبوری بتن خودتراکم را مورد ارزیابی

قرار می دهد [۱۵].

۵-۲-۱-۵- آزمایش جعبه L شکل: این آزمایش جهت

اندازه گیری خاصیت عبوری به کار می رود. بدین منظور ارتفاع

می گیرند. طبق استاندارد سطحی از نمونه که با فشار بر آن اثر می کند با برس سیمی کمی زیر می شود. پس از گذشت ۷۲ ساعت نمونه ها به دو نیم تقسیم شده و مقدار نفوذ آب اندازه گیری می گردد [۱۷]. در تعیین مقدار نفوذ آب در نمونه ها سعی شد تا عدد معرفی شده، میانگینی از مقادیر مختلف نفوذ آب در طول ۱۵ سانتیمتری بعد نمونه باشد. در این آزمایش نمونه ها ابتدا به مدت ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز در محیط آب شرب و محیط آب شرب با ۵ درصد و ۱۰ درصد سولفات عمل آوری شده، سپس مورد آزمایش نفوذپذیری قرار گرفته اند. در شکل ۳ دستگاه نفوذپذیری نمونه های مکعبی بتن خودتراکم و نحوه قرار دادن این نمونه ها آورده شده است.



شکل ۲- نحوه شکست نمونه های مکعبی تحت آزمایش مقاومت فشاری

در ابتدا و انتهای قسمت پایینی جعبه اندازه گرفته شده و نسبت آنها مورد ارزیابی قرار می گیرد [۱۶].

۲-۵-۲- آزمایش های بتن سخت شده

۲-۵-۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری

در این تحقیق، آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها بر اساس استاندارد ASTM C39 انجام شد. نمونه ها را بعد از عمل آوری در محیط عادی و محیط سولفات از آب خارج کردیم و به مدت یک روز در دمای محیط قرار دادیم. سپس نمونه ها را در دستگاه بتن شکن قرار داده و نیروی لازم جهت گسیخته شدن نمونه از روی دستگاه قرائت شده و ثبت گردید. آزمایش در سنین ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز بر روی نمونه های مکعبی با ابعاد ۱۵ سانتیمتر انجام شد. در شکل ۲ نحوه شکست نمونه ها آورده شده است که این نوع شکست با توجه به نمودار تنش- کرنش نمونه ها قابل توجیه می باشد.

۲-۵-۲-۲- آزمایش نفوذپذیری

نفوذپذیری بتن معمولاً از طریق محاسبه مقدار آب تحت فشار که برای جریان یافتن به درون یک نمونه بتنی داخل می شود، در یک فاصله زمانی مشخص تعیین می شود. با اندازه گیری عمق نفوذ آب پس از شکستن نمونه ها می توان به معیاری برای نفوذپذیری بتن دست یافت. در روش اخیر بر اساس DIN1048 نمونه های مکعبی ۱۵*۱۵*۱۵ سانتیمتری بتن تحت فشار ثابت ۱۵ اتمسفر قرار



شکل ۳- دستگاه آزمایش نفوذپذیری نمونه های مکعبی

۲-۲-۵-۲- عمل آوری بتن خودتراکم تازه

برای سنین ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز مورد عمل آوری قرار گرفتند تا برای آزمایش‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند که در شکل ۴ نحوه‌ی عمل آوری نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای با درصد‌های مختلف نانوسیلیس آورده است.

۳- نتایج و تحلیل آزمایشات

۳-۱- نتایج آزمایشات بتن تازه

سه معیار اصلی برای ارزیابی رفتار رئولوژیکی بتن خودتراکم تازه شامل قابلیت پخش‌شدگی، قابلیت عبور و دارا بودن مقاومت کافی در برابر جدایی سنگدانه‌ها از ملات سیمان می‌باشند. لذا برای ارزیابی بتن خودتراکم آزمایشات بتن تازه بر روی نمونه‌ها قبل از ریختن بتن در قالب انجام شد. آزمایش‌های بتن تازه انجام گرفته در این پژوهش شامل جریان اسلامپ، حلقه J، جعبه L، قیف V و جعبه U می‌باشند که نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۴ مشاهده می‌شود. با توجه به این جدول مشخص می‌شود که نتایج آزمایشات انجام شده در اکثر طرح‌ها در محدوده مجاز قرار دارد.

بعد از ساخت نمونه‌های بتنی و ریختن آنها در قالب‌های مکعبی و استوانه‌ای به مدت ۲۴ ساعت در این قالب‌ها می‌مانند و بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها را از قالب‌ها بیرون آورده و تمامی نمونه‌ها را در حوضچه آب معمولی ۲۰ درجه سانتیگراد جهت عمل آوری قرار می‌دهیم. پس از گذشت ۷ روز و عمل آوری در آب، ثلث اول نمونه‌ها در محیط آب معمولی، ثلث دوم در آب با ۵ درصد وزنی سولفات منیزیم و ثلث سوم در آب با ۱۰ درصد وزنی سولفات منیزیم مورد عمل آوری قرار گرفتند. برای ساخت محیط سولفات، به اندازه ۵ درصد و ۱۰ درصد وزن آب، سولفات منیزیم به آب اضافه می‌کنیم. لازم به ذکر است که به دلیل تغییرات PH آب در زمان طولانی، دو هفته یکبار، آب تشت تخلیه می‌شود و محیط سولفات دوباره ساخته می‌شود. پس از زمان عمل آوری بتن‌ها را از آب و محیط سولفات در آورده ابتدا وزن می‌نماییم سپس طبق آیین‌نامه به مدت یک روز در دمای ۲۰ درجه قرار می‌دهیم تا برای آزمایش مقاومت فشاری و کششی رطوبتی نداشته باشد. نمونه‌ها



شکل ۴- نحوه عمل آوری نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای

جدول ۴- خصوصیات رئولوژی طرح‌ها

شماره طرح	نام طرح	جریان اسلامپ $D_{sl}(cm)$	حلقه J		قیف V (S)	قیف V پنج دقیقه (S)	جعبه U $h_2-h_1(cm)$	جعبه L (h_2/h_1)
			$h_2-h_1(cm)$	D(cm)				
۱	Sc01	۶۲	۷۰	۰/۵	۸	۱/۷	۲/۵	۰/۷۲
۲	Sc02	۷۳	۶۸/۵	۰/۷	۷	۱/۸	۲	۰/۸۳
۳	Sc03	۵۹	۶۷	۰/۹	۱۱	۲	۳/۷	۰/۸
مقادیر پیشنهادی		۶۵-۸۰	-	۰-۱	۶-۱۲	۰-۳	۰-۳	۰/۸-۱

۲-۳- نتایج آزمایشات بتن سخت شده

۱-۲-۳- آزمایش مقاومت فشاری

این کاهش مقاومت در نمونه‌ی شاهد تا ۱۵ درصد بود ولی در حالت نمونه‌های ۱ درصد نانو و ۲ درصد نانو حداکثر ۵ درصد مؤثر بوده است. با توجه به جدول ۵ مشخص می‌شود که بیشترین درصد رشد مقاومت برای نمونه‌های دارای ۱ درصد نانو سیلیس می‌باشد و در نمونه‌های ۲ درصد نانوسیلیس با این که نسبت به نمونه شاهد روند افزایش مقاومت مشاهده می‌گردد، ولی به اندازه ۱ درصد نانوسیلیس نمی‌باشد. نانوسیلیس در مقاومت ۲۸ روزه بیشترین تأثیر را داشته و در سنین بالاتر این مقدار کاهش می‌یابد. این تأثیر در نانوسیلیس یک درصد بیشترین مقدار را دارا می‌باشد. در نانوسیلیس دو درصد به دلیل اینکه روانی و کارایی بتن نسبت به یک درصد نانوسیلیس پایین می‌آید مقاومت کمتری نسبت به حالت قبلی دارد ولی نسبت به نمونه شاهد مقاومت بیشتری حاصل می‌گردد و مشاهده می‌شود که فاصله مقاومت نمونه‌های ۵۶ روزه و ۹۰ روزه کمتر است. دلیل این امر تأثیرگذاری بیشتر نانوسیلیس در سنین پایین تر می‌باشد و این امر در دراز مدت و با کاهش اثر نانوسیلیس بر روی نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه‌های مکعبی در جدول ۵ آورده شده است. طبق این جدول با اضافه کردن نانوسیلیس به نسبت ۱ درصد وزنی سیمان مقاومت فشاری نمونه‌ها تا ۳۲ درصد در نمونه‌های ۲۸ روزه، ۳۰ درصد در نمونه‌های ۵۶ روزه و ۲۸ درصد در نمونه‌های ۹۰ روزه افزایش می‌یابد و با اضافه کردن ۲ درصد نانوسیلیس به بتن خودتراکم شاهد مقاومت فشاری در نمونه‌های ۲۸ روزه تا ۲۷ درصد افزایش پیدا کرد. این افزایش مقاومت در نمونه‌های حاوی ۲ درصد نانوسیلیس در سنین ۵۶ و ۹۰ روزه به ترتیب ۲۴ و ۲۱ درصد بوده است. محیط سولفات به عنوان یک عامل مخرب سبب کاهش روند کسب مقاومت می‌گردد که این کاهش مقاومت برای محیط ۵ درصد سولفات تا ۱۰ درصد در نمونه‌های شاهد بود. در نمونه‌های ۱ و ۲ درصد نانوسیلیس حداکثر ۲ درصد کاهش مقاومت فشاری را شاهد بودیم و در محیط سولفات ۱۰ درصد

جدول ۵- میانگین مقاومت فشاری سه نمونه مکعبی برای هر طرح اختلاط

نام طرح	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (kg/cm ²)	مقاومت فشاری ۵۶ روزه (kg/cm ²)	مقاومت فشاری ۹۰ روزه (kg/cm ²)
Sc01	۳۴۵	۳۸۶	۴۰۲
Sc02	۴۵۵	۵۰۹	۵۲۰
Sc03	۴۳۰	۴۸۱	۴۹۵
Sc11	۳۲۰	۳۵۸	۳۸۰
Sc12	۴۲۰	۴۷۰	۴۹۵
Sc13	۴۰۲	۴۵۰	۴۷۲
Sc21	۳۰۵	۳۴۱	۳۵۶
Sc22	۳۹۷	۴۴۵	۴۰۰
Sc23	۳۸۵	۴۲۸	۴۳۰

۲-۲-۳- آزمایش نفوذپذیری (عمق نفوذ آب تحت فشار)

افزایش درصد نانوسیلیس نفوذپذیری کاهش می‌یابد که این درصد کاهش تقریباً ۲۳ درصد می‌باشد. با توجه به نمودار شکل ۵ با افزایش سن نمونه‌ها نیز نفوذپذیری کاهش می‌یابد که در نمودار شکل ۵ به وضوح روشن است. این کاهش نفوذپذیری در حدود ۳۰ درصد می‌باشد. عامل مخرب سولفات منیزیم عکس این قضیه عمل می‌کند و نفوذپذیری را افزایش می‌دهد ولی وجود نانوسیلیس، دوام بتن خودتراکم را افزایش داده و

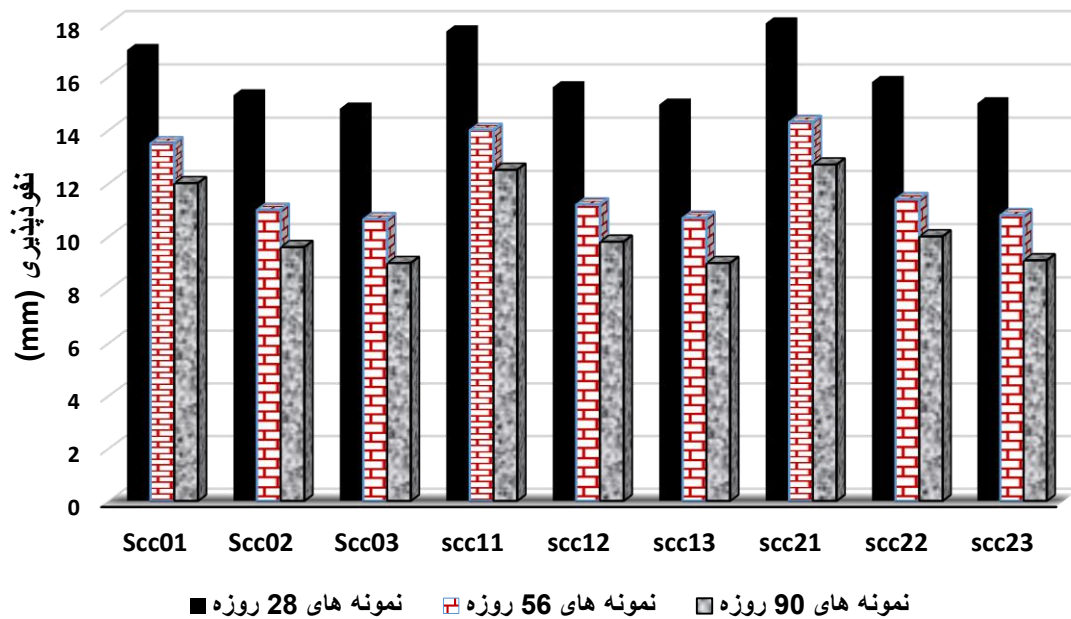
با توجه به جدول ۶ به طور کلی می‌توان گفت که نفوذپذیری تمامی نمونه‌ها در برابر آب از همان سنین اولیه بر اساس استاندارد DIN، در رده «نفوذپذیری کم» قرار گرفته‌اند. جدول ۶ نتایج عمق نفوذ آب در نمونه‌های بتنی عمل‌آوری شده در آب شرب، آب ۵ درصد و ۱۰ درصد سولفات در سنین ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم با

می دهند که نفوذپذیری آن بسیار کم است و برعکس حفره های مویینه با فضاهای بزرگتری بین ذرات سیمان وجود دارند. نفوذپذیری بهتر (پایین تر) مخلوط های بتن خودتراکم را می توان نسبت داد به کمتر بودن آب به مواد پودری (w/b) این بتن ها و نیز تراکم بهتر به دلیل خودتراکم شونده گی و عدم نیاز به ویبره و درجه هیدراتاسیون بالاتر، به دلیل پخش ذرات سیمان در حضور فوق روان کننده ها که منجر به تخلخل کمتر هم در خمیر سیمان و هم در ناحیه انتقال می شود. در مقایسه با نتایجی که خاویر پوینتس و همکاران [۹] در بررسی نفوذپذیری بتن خودتراکم حاوی میکروسیلیس و نانوسیلیس بدست آوردند به نظر می رسد که مشابه نتایجی که در این تحقیق آزمایشگاهی بدست آمد با افزودن نانوسیلیس از تخلخل بتن کاهش یافته و نفوذپذیری نیز کاهش می یابد و تفاوت در عمل آوری نمونه ها در محیط های مختلف است که در مقاله های قبلی بیشتر در محیط عادی بررسی شده بود ولی در این تحقیق آزمایشگاهی عمل آوری نمونه ها در درصدهای مختلف سولفات منیزیم مورد بررسی قرار گرفتند که در کل می توان اینگونه نتیجه گیری کرد که روند کاهش نفوذپذیری در تحقیقات قبلی و این تحقیق با افزودن نانوسیلیس تقریباً مشابه بودند و تنها تفاوت در تاثیر سوء محیط مخرب سولفاتی در روند افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری بر روی نمونه های بتنی بوده است.

مانع افزایش نفوذپذیری می گردد. نانوسیلیس بر نمونه های عمل آوری شده در محیط سولفات در حدود ۵ درصد در کاهش نفوذپذیری مؤثر است. در نمونه های ۲۸ روزه وجود نانوسیلیس به مقدار یک درصد وزنی باعث کاهش نفوذپذیری در حدود ۱۰ درصد نسبت به نمونه شاهد گردید. این کاهش نفوذپذیری در نمونه های ۲ درصد، در حدود ۱۳ درصد نسبت به نمونه شاهد بوده است. این روند کاهش نفوذپذیری بر اثر افزودن نانوسیلیس در سنین بالا به میزان بیشتری بوده، به طوری که در نمونه های ۵۶ روزه و با نانوسیلیس ۱ و ۲ درصد این کاهش به ترتیب ۱۵ و ۱۸ درصد بوده و در نمونه های ۹۰ روزه افزودن نانوسیلیس به میزان ۱ و ۲ درصد به ترتیب باعث کاهش ۲۰ و ۲۵ درصدی نفوذپذیری نسبت به نمونه شاهد گردیده است. البته افزایش سن نمونه ها یکی دیگر از علل کاهش نفوذپذیری می باشد ولی این کاهش در سنین بالا به میزان بسیار کمی می باشد. در توجیه دلیل این موضوع می توان گفت که نفوذپذیری به صورت حرکت مایع یا گاز در بتن تحت فشار تعریف می شود و یک خصوصیت ذاتی است که به قرارگیری و نظم هندسی و ویژگی ذرات تشکیل دهنده بتن بستگی دارد و به وسیله تراکم و تخلخل خمیر و هیدراته شدن سیمان و ناحیه انتقال بتن کنترل می شود. در خمیر هیدراته شده، حفرات مویینه و حفرات ژلی پخش شده اند. حفرات ژلی بسیار کوچک هستند و در عین حال یک شبکه آزاد را تشکیل

جدول ۶- نتایج آزمایش نفوذ آب نمونه های مکعبی (mm)

نام طرح	نفوذپذیری نمونه های ۲۸ روزه (mm)	نفوذپذیری نمونه های ۵۶ روزه (mm)	نفوذپذیری نمونه های ۹۰ روزه (mm)
Sc01	۱۷	۱۳/۵	۱۲
Sc02	۱۵/۳	۱۱	۹/۶
Sc03	۱۴/۸	۱۰/۶۵	۹
Sc11	۱۷/۷	۱۴	۱۲/۵
Sc12	۱۵/۶	۱۱/۲	۹/۸
Sc13	۱۴/۹۵	۱۰/۷	۹
Sc21	۱۸	۱۴/۳	۱۲/۷
Sc22	۱۵/۸	۱۱/۴	۱۰
Sc23	۱۵	۱۰/۸	۹/۱



شکل ۵- نتایج آزمایش نفوذپذیری نمونه‌های بتنی در سنین مختلف

۴- نتیجه گیری

افزایش مقاومت مشاهده می‌گردد ولی به اندازه ۱ درصد نانو سیلیس نمی‌باشد.

۵- نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری در محیط سولفاتی مزیت استفاده از نانو سیلیس را در بتن به خوبی آشکار می‌کند. با توجه به نتایج به دست آمده ملاحظه می‌گردد که در محیط سولفاتی، روند نفوذپذیری نمونه شاهد بیشتر از سایر بتن‌هایی می‌باشد که در آنها از نانو سیلیس استفاده شده است که این تاثیر در آزمایش نفوذپذیری تا ۲۵ درصد در نمونه‌های حاوی نانو سیلیس مؤثر بوده است. با افزایش درصد نانو سیلیس از یک درصد به دو درصد نفوذپذیری نمونه‌ها کاهش یافته و همچنین اثرات مخرب سولفات به حداقل رسیده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزودن نانو سیلیس تا حد زیادی خواص مکانیکی بتن خودتراکم را بهبود بخشد و همچنین پارامترهای دوام از جمله مقاومت فشاری و نفوذپذیری این نوع بتن را در برابر عوامل خوردندهی سولفاتی بهبود بخشد.

۵- مراجع

[1] Sonebi, M. "Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans", Cement and concrete research, Vol.34, 2004, p1199.

۱- افزودن نانو سیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌ی شاهد می‌گردد که بیشترین افزایش مقاومت فشاری تا ۳۲ درصد مربوط به بتن خودتراکم با ۱ درصد نانو سیلیس در سن ۲۸ روزه و کمترین تأثیر در مقاومت فشاری با دو درصد نانو سیلیس در سن ۹۰ روزه می‌باشد. علت این امر این است که تاثیر نانو سیلیس در سنین اولیه به مراتب بیشتر از نمونه‌های عمل‌آوری شده در دراز مدت می‌باشد.

۲- با توجه به نتایج بدست آمده ملاحظه می‌گردد که در محیط سولفاتی، روند کاهش مقاومت بتن شاهد بیشتر از سایر بتن‌هایی می‌باشد که در آنها از نانو سیلیس استفاده شده است که این تاثیر در مقاومت فشاری تا ۱۸ درصد در نمونه‌های حاوی نانو سیلیس بوده است.

۳- روند افزایش سن نمونه‌ها عامل دیگری در کسب مقاومت فشاری می‌باشد. به طوریکه در بهینه‌ترین حالت در نمونه‌های ۵۶ روزه و ۹۰ روزه به ترتیب ۱۵ و ۱۰ درصد افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌های ۲۸ روزه را شاهد بودیم.

۴- در آزمایش مقاومت فشاری که بیشترین درصد رشد مقاومت برای نمونه‌های دارای ۱ درصد نانو سیلیس می‌باشد و در نمونه‌های ۲ درصد نانو سیلیس با اینکه نسبت به نمونه شاهد روند

- [14] Haykawa, M., "Development and Application of super workable concrete", Proceeding of international RILEM workshop on special concretes – workability and mixing, 1993. pp. 183-190.
- [15] Feys, D., verhoeven, R., De Schutter, G., "Fundamental study of the rheology of self - compacting concrete". Composed with Belgian materials. 2008,
- [16] EFNARC, The European Guidelines for self - compacting concrete. Specification, Production and use. 2005, <http://www.efnarc.org>.
- [17] DIN 1048, Section 1, "Deutscher Normenausschuss", Berlin.1972, p 256.
- [2] Skarendahl, A. Petersson, O., "State of the Art Report of RILEM Technical Committee174-SCC, Self-Compacting Concrete", Vol.13, Report No.23, 2001, p141.
- [3] Okamura, H. Ouchi, M., "Self- Compacting Concrete", Journal of Advanced Concrete Technology. Vol. 1, No.1, April 2003, pp. 5-15.
- [4] Bartos, P.J.M., Grauers, M., "Self-Compacting Concrete", Concrete, Vol.33, No.4, 1999, pp. 9-14.
- [5] Corr, D., Shah, S.P., "Concrete Materials Science at the Nanoscale", Proceeding of the International Conference (Application of Nanotechnology in Concrete Design), University of Dundee, Scotland, U.K., Ed. Dhir, R.K., Newlands, M.D. and Csetenyi, L.J., London: Tomas Telford, Vol.14, 2005, pp. 129-136.
- [6] رضایانپور، ع.، طاحونی، ش. ، ۱۳۸۲. تالیف وادل، دیبروولسکی، دستنامه اجرای بتن، چاپ دوم، انتشارات علم و ادب، تهران.
- [7] Z. Quercia, P. Spiesz, G. Hüsken, H.J.H. Brouwers, O., "SCC modification by use of amorphous nano-silica", Cement and Concrete Composites, Volume 45, 2014, pp. 69-81.
- [8] Hongjian Du, Suhuan Du, Xuemei Liu, "Durability performances of concrete with nano-silica", Construction and Building Materials, Volume 73, 30, 2014, pp. 705-712.
- [9] Puentes, J., Barluenga, G., "Effect of silica-based nano and micro additions on SCC at early age and on hardened porosity and permeability", Construction and Building Materials, Volume 81, 15, April 2015, pp. 154-161.
- [10] Güneysi, E., Gesoglu, M., Al-Goody, A., İpek, S., "Fresh and rheological behavior of nano-silica and fly ash blended self-compacting concrete", Construction and Building Materials, Volume 95, 1, April 2015, pp. 29-44.
- [۱۱] تقی خانی، محمدرضا؛ ناهید مهدیلوی و مریم شاکر سرای، ۱۳۹۲، اثر نانوسیلیس روی خواص مکانیکی و دوان بتن خودتراکم، پنجمین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران
- [12] EFNARC, "The European guidelines for self-compacting concrete, The European federation of specialist construction chemicals and concrete systems", 2002, <www.efnarc.org>.
- [۱۳] مقصودی، ع.، سهیل، م.، درب هنزی، ع.، ۱۳۸۵. نقش نانو ذرات در بتن خودتحکیم. مجموعه مقالات داخلی ارائه شده در اولین کارگاه تخصصی بتن خود متراکم، دانشگاه تهران

Effect of Nanosilica on The permeability of Self Compacting Concrete in Sulfate Environment

Y .Mohammadi *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili
Sh. Ezzati

M.Sc, Department of Civil - Structural Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

Abstract

Concrete is one of the most important structural materials which is produced from proportional mixture of cement, aggregates, water and admixtures. Compaction of the concrete is one of the factors that make it difficult to use, particularly in the structures with high reinforcement steel bars. In cases such as foundation of bridges, bottom of the columns of skyscrapers and ets, vibration of concrete for compaction is almost impossible. To solve this problem we can use self-compacting concrete which causes complete compaction and also increases casting velocity. This kind of concrete is produced with superplasticizer and other admixtures. This Article examines the effect of the addition of nanosilica on mechanical properties and Durability parameters self-compacting concrete in sulfate destructive environment. For this purpose, in laboratory studies we have used some tests such as compressive strength and permeability. The results show that the addition of nanosilica could effect on mechanical properties of self compacting concrete, also increase the durability of concrete against sulfate destructive factor that reduce the compressive strength at later stages. Nanosilica reduces the porosity in hydration cement by filling the pore space between the larger particles at the nano-scale and greatly reduced permeability.

Keywords: Nanosilica, Self Compacting Concrete, Permeability, Durability, Sulfate Environment.

* Corresponding Author: yaghoubm@uma.ac.ir

