



دانشگاه تهران



# اولین کنفرانس ملی بتن سبک

## بررسی تأثیر نانو ذرات سیلیسی بر بتن سبک

وحید راهی<sup>۱\*</sup>، عزت آ... مظفری<sup>۲</sup>، محمد فلاح شیروانی<sup>۱</sup>  
<sup>۱</sup> دانشگاه بین المللی امام خمینی<sup>(ه)</sup>، دانشکده مهندسی معدن، قزوین  
<sup>۲</sup> دانشگاه بین المللی امام خمینی<sup>(ه)</sup>، دانشکده مهندسی معدن، قزوین

### چکیده

در سالهای اخیر تکنولوژی نانو در حد گسترده و با سرعت بسیار بالایی در تمامی زمینه ها و مواد بکار گرفته می شود. ورود این تکنولوژی به صنعت بتن نیز همراه با تغییرات شگرفی در بسیاری از خواص این ماده پرکاربرد گردیده است. نانوسیلیس به عنوان یک ماده پوزولانی برای تهیه بتنی با توانمندی بالا بدلیل تأثیر مهم بدست آمده در ناحیه بین خمیر و دانه های سیمان همواره مورد توجه دانشمندان بوده است.

در تحقیق حاضر، نمونه های مکعبی بتن سبک با استفاده از دانه های لیکا و با نسبت آب به سیمان و عیار سیمان یکسان ساخته شدند. نمونه های ساخته شده از نوع مکعبی ۱۰\*۱۰\*۱۰ سانتیمتر بوده و در سنین ۷، ۲۸ روزه تحت آزمایش مقاومت فشاری گرفتند. در ساخت نمونه ها ۴ درصد مختلف صفر، ۲/۵، ۵، ۷ درصد نانوسیلیس استفاده شد؛ که نتایج حاصله نشان داد که بیشترین افزایش مقاومت فشاری در ۷ درصد نانوسیلیس می باشد.

**واژه های کلیدی:** نانو سیلیس، بتن سبک، لیکا، مقاومت فشاری، جذب آب.

### ۱- مقدمه:

به علت استفاده گسترده از سازه های بتنی در شرایط اقلیمی متفاوت، مسئله آسیب دیدگی این نوع سازه ها و در نتیجه تعمیر و نگهداری آنها، یکی از موضوعات اصلی کارشناسان را تشکیل می دهد. در مقیاس نانومتری، نانو ذرات خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی را در مقایسه با دیگر مواد از خود نشان داده اند. به خاطر ویژگی های بی نظیر نانو ذرات، این مواد توجه بسیاری از محققین و صنعتگران را به خود جلب کرده اند [۱].

به موازات پیشرفت و کاربرد نانو فناوری در صنایع گوناگون، استفاده از این فناوری در صنعت ساختمان نیز در حال توسعه می باشد. یکی از چالشها بی که در زمینه مصالح ساختمانی به وجود آمده است، تولید بتن هایی با عملکرد بالا، مقاومت زیاد و با دوام در برابر شرایط نامناسب جوی می باشد. خواص، رفتار و عملکرد بتن، به نانو ساختار بتن و سیمانی که چسبندگی، پیوستگی و یکپارچگی بتن را به وجود می آورد بستگی دارد. بنابراین مطالعه و بررسی بتن و خمیر سیمان در مقیاس نانومتری برای تولید و کاربرد مصالح ساختمانی جدید، حائز اهمیت است [۱].

خواص فیزیکی و شیمیایی مواد نانو در شکل و فرمهای متعددی که وجود دارند (از جمله ذرات، ایاف و...) در مقایسه با مواد میکروسکوپی تفاوت اساسی دارند. تغییرات اصولی که وجود دارد نه تنها از نظر کوچکی اندازه بلکه از نظر خواص جدید آنها در سطح مقیاس نانو می باشد. هدف نهایی از بررسی مواد در مقیاس نانو، یافتن طبقه جدیدی از مصالح ساختمانی با عملکرد بالا می باشد، که آنها را می توان به عنوان مصالحی با عملکرد بالا و چند منظوره به شمار آورد. منظور از عملکرد چند منظوره، ظهور خواص جدید و متفاوت نسبت به مواد معمولی می باشد به گونه ای که مصالح بتوانند کاربردهای گوناگونی را ارائه نمایند. با توجه به اهمیت کنترل خواص مواد ساختمانی در سالهای اخیر، تحقیقات زیادی در راستای بکار گیری نانو ذرات در سیمان و بتن انجام شده است [۱].

## ۱-۱: اثرات کاربرد نانو سیلیس در بتن:

منافذ و واکنش های شیمیایی بتن در مقیاس نانو صورت می گیرد، لذا نانو ساختار بتن، شایسته توجه بیشتری است تا بتوانیم بتنی با نانو ساختار متراکم، حداقل اندازه و مقدار منافذ بسازیم که بر دوام بتن نیز تاثیر گذار باشد. اخیراً نانو تکنولوژی برای کاهش نفوذپذیری و تراوش بتن کاربرد داشته و مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است [۲].

بدیهی است که نانو سیلیس ها در مقایسه با میکروسیلیس بدلیل سطح مقطع بیشتر، از اهمیت خاصی برخوردار باشند. تحقیقات انجام شده توسط محققان نشان داده است که مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه سیمانهای حاوی نانو سیلیس بیشتر از سیمانهای حاوی میکرو سیلیس می باشد. همچنین آزمایش های SEM و آزمایش های باقیمانده  $Ca(OH)_2$  و سرعت تغییرات حرارتی، نشان دهنده افزایش واکنش پذیری سیمانهای حاوی نانو سیلیس می باشد. استفاده از نانو سیلیس در سیمان، نه تنها به علت پرکنندگی منافذ باعث بهبود ساختار می شود، بلکه واکنشهای پوزولانی را فعالتر می نماید.

افزودن نانو سیلیس بر روی زمان گیرش سیمان نیز مؤثر می باشد و زمان گیرش اولیه را کاهش می دهد. با افزودن نانو سیلیس به سیمان، ملات سیمان متراکم تر شده و نفوذپذیری نسبت به سیمان معمولی بتدریج کاهش می یابد. گیرش اولیه نمونه های حاوی نانو سیلیس، نسبت به نمونه های حاوی دوده سیلیس، سریعتر بوده و تفاوت بین زمان گیرش اولیه و گیرش نهایی نمونه های حاوی نانو سیلیس نسبت به نمونه های حاوی دوده سیلیس به دلیل کاهش نفوذپذیری (متراکم بودن ساختار نانو سیمانها) بیشتر می باشد [۳].

نانو سیلیس همان فرمول سیلیکافیوم ( $SiO_2$ ) را دارد ولی بسیار نرم تر و ریزتر از آن است و واکنش قوی تری با آب دارد. بنابراین مقدار نانو سیلیس در بتن را بایستی به شدت کنترل کرد. لکن، اگر نانو سیلیس به خوبی پخش شود چسبندگی و لزجت بتن را افزایش می دهد که به معلق شدن ذرات سیمان و سنگدانه کمک می کند و مقاومت تفکیک ذرات بتن را بهبود می بخشد و ذرات نانو بعنوان مراکز بلور سازی هیدرات های سیمان عمل می کنند بنابراین هیدراسیون را تسریع می بخشد [۴]. این مطلب مخصوصاً در ساخت و تولید بتن های سبک که طبعاً میزان خلل و فرج در آنها بیش از بتن های معمولی است حائز اهمیت است. در همین راستا، ثابت شده است که نانو ذرات سیلیس در بالا بردن مقاومت نسبت به سیلیکافیوم با ارزش تر هستند و اکسید سیلیس در مقیاس نانو، نه تنها همچون یک پرکننده برای بهبود ریز ساختار رفتار می کند، بلکه شبیه یک فعال کننده برای بالا بردن واکنش های پوزولانی نیز عمل می کند [۵].

محلول نانویی سیلیس<sup>۱</sup> دی اکسید سیلیس  $SiO_2$  است که که اندازه ذرات آن در ابعاد نانو متر می باشد. محلول نانو سیلیس متشکل از ذراتی است که گلوله شکل با قطر کمتر از  $100\text{ nm}$  یا به صورت ذرات خشک پودر یا به صورت معلق در مایع محلول قابل انتشار می باشند، که مایع آن معمول ترین نوع محلول است. نانو سیلیس معلق کاربرد های چند منظوره مانند خاصیت ضد سایش، ضد حریق، ضد انعکاس سطوح از خود نشان می دهد.

## ۲- جزئیات آزمایش:

پژوهش های صورت گرفته درباره نوع سیمان نشان می دهد که بتن سبک ساخته شده با سیمان نوع در سنین پایین و هم در سنین زیاد نسبت به سیمان نوع I دارای مقاومت فشاری بالاتری است و افزایش مقاومت فشاری در حدود  $6\text{ Mpa}$  است. لذا در

این تحقیق نیز از سیمان پرتلند نوع II که دارای وزن مخصوص  $3150 \text{ kg/m}^3$  و سطح مخصوص  $0.306 \text{ m}^2/\text{gr}$  (به روش بلین) می باشد، استفاده شده است. زمان گیرش اولیه سیمان ۱۴۹ و گیرش نهایی ۲۱۷ دقیقه است. آب نقش بسیار اساسی و مهم در بتن دارد، بهمین دلیل استفاده از آب مناسب در بتن همواره باید مورد توجه قرار گیرد. بطور کلی میتوان گفت آب بکار رفته در بتن باید پاک و عاری از هر گونه ناخالصی باشد؛ یا به عبارت دیگر قابل شرب باشد، لذا در ساخت نمونه ها از آب شرب دانشگاه با آنالیز شیمیایی زیر استفاده شده است (جدول ۱).

جدول ۱- آنالیز شیمیایی آب مورد استفاده در ساخت نمونه ها

نام منبع آب	TDS	سولفات (ppm)	سختی کل ( $\text{CaCO}_3$ )	pH
آب شرب دانشگاه	۳۳۹	۵۵	۱۳۶	۷.۸۵

لازم به ذکر است، استفاده از نانوسیلیس در بتن و یا ملات سیمان تأثیر مستقیمی بر مقدار آب مورد نیاز دارد. علت این امر سطح مخصوص بسیار بالای نانوسیلیس می باشد که باعث می شود نانوسیلیس خاصیت جذب آب بسیار زیادی داشته باشد. در نتیجه، افزایش نسبت آب به سیمان و یا استفاده از فوق روان کننده های مناسب، جهت حفظ کارایی مخلوط ضروری به نظر می رسد و در این تحقیق ابتدا نانوسیلیس مورد استفاده در آب بصورت ژل در آمده و سپس به سایر مصالح افزوده شده است. آنچه در تمامی طرح اختلاط ها مد نظر قرار گرفته یکسان بودن میزان روانی بوده، لذا در درصد های بالاتر نانوسیلیس میزان بیشتری آب مصرف شده تا روانی مورد نظر حاصل شود. مثلاً در طرح اختلاط ۵٪ نانو سیلیس، میزان ۴۰۰ سی سی و در ۷ درصد ۵۰۰ سی سی آب افزوده شده است.

مشخصات طرح اختلاط های بکار رفته در این تحقیق در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات طرح اختلاط مورد استفاده در ساخت نمونه ها

شماره اختلاط	سیمان	آب	فوق روان کننده	ماسه	نانوسیلیس	دانه های سبک لیکا (میلیمتر)				
						۴-۲	۲-۱	۱-۰.۵	۰.۲۵-۰.۵	۰.۲۵-۰
(A1 ( $\text{kg/m}^3$	۵۰۰	۲۰۰	۹	۶۶۰.۴	۰	۳۵.۷	۱۵۴.۷	۹۵.۲	۴۷.۶	۲۳.۸
(A1 (gr	۲۱۰۰	۸۴۰	۴۰	۲۷۷۰	۰	۱۵۰	۶۵۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰
(AN2.5(gr	۲۰۵۰	۸۴۰	۴۰	۲۷۷۰	۵۲	۱۵۰	۶۵۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰
(AN5(gr	۱۹۹۵	۱۱۰۰	۴۰	۲۷۷۰	۱۰۵	۱۵۰	۶۵۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰
(AN7(gr	۱۹۵۳	۱۳۴۰	۴۰	۲۷۷۰	۱۴۷	۱۵۰	۶۵۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰

## ۲-۱ تحلیل نتایج آزمایش ها:

### ۲-۱-۱ مقاومت فشاری:

نتایج تعیین مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده در جدول (۳) آورده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، افزودن نانوسیلیس به صورت کلی می تواند باعث افزایش مقاومت بتن سبک شود ولی با توجه به جدول (۳) مشاهده می شود که بیشترین افزایش مقاومت در سنین ۷ و ۲۸ روزه در نمونه AN-5 بوده است.

جدول (۳): نتایج تعیین مقاومت فشاری نمونه های مکعبی

شماره و مشخصات کامل نمونه	مقاومت فشاری (MPa)		متوسط مقاومت فشاری (MPa)		وزن مخصوص (kg/m <sup>3</sup> )		ملاحظات
	۷ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	خشک	تر	
TW1	۲۴.۲	۲۷.۸	۲۵.۱	۲۸.۶۵	۱۷۳۸	۱۷۸۹	
TW2	۲۶.۳	۲۹.۵					
AN-2.5	۳۴.۲	۴۰.۳	۳۱.۶۵	۳۹.۴	۱۷۴۶	۱۷۹۲	نمونه های TW مربوط به آب معمولی و نمونه های AN مربوط
AN-2.5	۲۹.۱	۳۸.۵					
AN-5	۳۶	۳۹.۱	۳۴.۷۵	۴۱.۴	۱۷۵۱	۱۷۹۳	به نمونه های حاوی نانوسیلیس با درصد های مختلف می باشد
AN-5	۳۳.۵	۴۳.۷					
AN-7	۳۲	۳۹	۳۱.۳۵	۳۸.۲	۱۷۶۴	۱۸۱۵	
AN-7	۳۰.۷	۳۷.۴					

عملکرد ذرات نانو در بهبود مقاومت فشاری بتن، بدین صورت است که فرض کنید ذرات نانو به صورت یکنواخت پخش شده و هر ذره شامل یک شکل مکعبی باشد، به این ترتیب فاصله بین ذرات نانو قابل تصور است. پس از آنکه هیدراسیون آغاز شد، محصولات هیدراته پخش شده، ذرات نانو را مانند هسته ای می پوشانند. اگر مقدار و فاصله ذرات نانو در بتن مناسب باشد، عمل کریستاله شدن به نحوی مطلوب کنترل می گردد. بطوری که رشد کریستالی  $Ca(OH)_2$  با ذرات نانو محدود می شود. این عمل ملات سیمان را همگن تر و متراکم تر می کند. لذا آشکار است که مقاومت فشاری با حضور نانو  $SiO_2$  بهبود می یابد. با افزایش مقدار ذرات نانو، فاصله بین آنها کاهش یافته و کریستالهای  $Ca(OH)_2$  نمی توانند به خوبی رشد کنند و این منجر به کاهش و کوچک تر شدن شده و ریزبافتهای ملات سیمان سست خواهد شد. به همین دلیل مقاومت فشاری بتن کاهش می یابد که این مسئله بخوبی هنگام افزودن ۷ درصد نانوسیلیس قابل مشاهده است.

همچنین وجود نانو سیلیکا در بتن باعث عدم وجود جدا شدگی و آب اندازی و نیز افزایش مقاومت فشاری در بتن ۷ و ۲۸ روزه می گردد، همچنین استفاده از این ماده خاصیت هایی چون ضد سایش، ضد حریق و ضد انعکاسی کردن سطوح بتنی را به همراه دارد لذا کاربری از این ماده در بتن سبک نوین توصیه میگردد [۶].

هنگامی که مقداری از نانو ذرات به صورت همگن و یکنواخت در بتن پخش شوند، با توجه به سطح ویژه و انرژی سطحی بسیار زیادشان، به مانند هسته هایی برای تجمع و توسعه بلورهای هیدروکسید کلسیم عمل می کنند و لذا باعث شکل گرفتن یک توده به هم پیوسته و متراکم ترمی شوند که منجر به ایجاد ریزساختاری چگال تر، به ویژه در ناحیه انتقال می گردد. علاوه بر این نانوسیلیس به واسطه فعالیت پوزولانی بسیار زیاد، با هیدروکسید کلسیم به سرعت واکنش می دهد و ژل C-S-H تولید می نماید. لذا از تعداد و اندازه بلورهای هیدروکسید کلسیم به شدت کاسته می شود. ژل C-S-H با پرکردن خلل و فرج موجود در بتن، باعث بهبود ریز ساختار بتن می گردد. لذا بسیاری از خواص مکانیکی بتن سبک، به ویژه مقاومت فشاری آن بهبود قابل توجهی می یابد [۸].

### ۳- نتیجه گیری:

وقتی که مقداری از نانو ذرات به صورت یکنواخت در ملات سیمان پخش می شود نانو ذرات به عنوان یک هسته به طور محکم به سیمان هیدراته شده چسبیده و به علت فعالیت شدید، زمان هیدراتاسیون سیمان را سرعت می بخشند و این مسأله برای مقاومت ملات سیمان مطلوب می باشد.

استفاده از درصد کمی از نانو سیلیس در بتن سبک موجب افزایش چشم گیری در مقاومت فشاری می گردد.

استفاده از نانو سیلیس در بتن سبک موجب بهبود ریزساختار آن و کاهش اندازه تخلخل ها می گردد که این مسئله منجر به کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت در برابر مواد مهاجم مانند یون کلر و خطر کربناسیون شود که بنوبه خود به دوام بتن سبک کمک می نماید.

از آنجایی که با افزایش میزان نانوسیلیس تا حد معینی، مقاومت نیز افزایش می یابد، لذا میزان افزودن نانوسیلیس جهت دستیابی به بیشترین مقاومت باید بهینه گردد

#### ۴- منابع:

- ۱- ایران پور، مهران؛ بگی، محسن. تأثیرات نانوسیلیس بر خصوصیات مکانیکی بتن در مخازن ذخیره آب شرب، اولین کنفرانس بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، گیلان، ایران، بهمن ۱۳۸۹.
- ۲- سادات نوری، سید احمد؛ و خدا یاری، مهدیه. اصطلاحات نانو تکنولوژی نانو مقدمه ای برتر، انتشارات نور پردازان، تهران، ۱۳۸۴.
- ۳- رضوی، سید مصطفی؛ شیرازی، قاسم. تأثیر استفاده از نانو ذرات در بتن بر میزان نفوذپذیری و تراوش و مقاومت فشاری. اولین کنفرانس بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، گیلان، ایران، بهمن ۱۳۸۹، انجمن بتن ایران؛ شماره ۳، آذر ماه ۱۳۸۲، صفحه ۵-۱۴.
- 4- Mondal, P.; Surndra, P.; Laurence, M.; A reliable technique to determine the local mechanical properties at the nanoscale for cementitious materials , cement and concrete research ,2003, Vol. 37, pp 1440-1444.
- 5- Byung, W.; - Hyun, k.; Jae, H.; characteristics of cement mortar with nano -sio2 particles , ACI materials Journal , v.104 , No.4,(2007) 404-407.
- ۶- داودی، آزاد حسین. تاثیر استفاده از ذرات نانو در بتن در میزان تراوش و مقاومت، اولین کنفرانس بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، گیلان، ایران، بهمن ۱۳۸۹.