

# اثر گونه‌های مختلف نانو سیلیکا بر مقاومت فشاری بتن

● مهندس مجید لطفی\* - شرکت سیمان بجنورد

● مهندس امیرحسین سید موسوی\*\* - دانشگاه آزاد اسلامی (واحد قوچان)

در این سیمان بهبود بخشید و در نهایت بتن‌هایی سخت‌تر و بادوام‌تر با قابلیت تحمل فشار و تنش‌های بالاتر از حد معمول به وجود آورد. پژوهش‌های انجام شده بر پایه استفاده از نانو سیلیس تولید شده به روش سل ژل در ترکیبات ملات سیمان به وضوح نشان‌دهنده تولید نمونه‌هایی با توانایی تحمل نیروهای فشاری به میزان ۲۰٪ بالاتر از نمونه‌های عادی یعنی ۱۴۴/۸ مگاپاسکال در ۹۰ روز است [۳].

## شرح کار:

در این مقاله مشخص گردید که تغییر در پارامترهای اثرگذار بر فرآیند سل ژل منجر به تولید ذرات نانو سیلیس با ابعاد متفاوت می‌گردد که استفاده از هرگونه در ترکیبات بتن خواص فشاری متفاوتی را به محصول می‌دهد. از آنجائی که مقاومت خمیر سخت شده سیمان تابعی از تخلخل آن است، در مقایسه با تخلخل سایر فاکتورهای مؤثر روی مقاومت تقریباً قابل صرف نظر هستند [۴]. به مدد استفاده از نانو سیلیس سطح ویژه سیمان به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است. همان‌گونه که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود سطح ویژه نانو سیلیکا می‌تواند بیش از ۱۰۰ برابر گونه‌های سیلیس عادی که سطح ویژه بالایی دارند، باشد.

M.Colleparidi و همکاران دریافته‌اند افزودن نانو سیلیکا به سیمان باعث افزایش گرمای هیدراسیون آن می‌گردد و از طرف دیگر استفاده از نانو سیلیکا موجب کاهش ویسکوزیته ملات سیمان می‌گردد که این امر سبب کاهش مصرف آب در ملات سیمان می‌گردد [۵]. نانو سیلیکا نه تنها می‌تواند به‌عنوان پرکننده برای اصلاح میکروساختارها به کار رود بلکه می‌تواند نقش فعال‌ساز واکنش پوزولانی را نیز داشته باشد [۶].

## چکیده:

در این مقاله اثر پارامترهای نسبت مولی، نوع کاتالیست و دما بر روی فرآیند سل-ژل به منظور تولید نانو سیلیکا بررسی گردید و مشخص شد شرایط متفاوت فرآیندی، منتهی به تولید ذرات نانو سیلیکا با اندازه‌های گوناگون می‌گردد. همچنین معلوم شد استفاده ذرات نانو با اندازه‌های مختلف، مقاومت فشاری ویژه‌ای به بتن می‌دهد که حالت بهینه در رده ذرات ۴nm رخ می‌دهد. به بیان دیگر تولید بتن‌هایی با قابلیت تحمل نیروهای فشاری به میزان ۲۰٪ بالاتر از نمونه‌های عادی یعنی مقاومت فشاری ۱۱۵Mpa در ۲۸ روز.

واژه‌های کلیدی: نانو سیلیس، نانو ذرات، نانو لایه، سیمان، ابر نرم‌کننده‌ها، ملات، خواص فشاری، فعال‌سازی خواص مکانو شیمیایی

Key words: nano\_SiO<sub>2</sub>, nanoparticle, nanolayer, cement, superplasticizer, mortar, compressive strenght, chemical activation

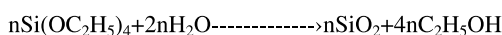
## مقدمه:

تکنولوژی نانو نگرش و توانایی‌های ما را در مورد مواد تغییر داده است. در این فن آوری، امکان ساخت مواد با استفاده از چینش ملکول به ملکول و توانایی آرایش مواد با دقت اتمی در حد نانو متر فراهم می‌گردد [1]. از زمان ثبت اختراع سیمان پرتلند در ۲۱ اکتبر ۱۸۲۴ توسط ژوزف آسپدین در انگلستان تا کنون این سیمان دستخوش تحولات زیادی شده است [۲] و هم اینک با بهره جستن از نانو مواد می‌توان بسیاری از پارامترهای مهندسی را

\* مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان - گروه مهندسی شیمی  
\*\* دانشجوی مهندسی شیمی - صنایع شیمیایی معدنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان

طبق پژوهش‌های به عمل آمده زنجیره‌های سیلیکاتی با طول مختلف در ساختار نانویی سیمان به وجود می‌آید که طول این زنجیره‌ها برای پایداری مواد سیمانی از اهمیت بالایی برخوردار است. اطلاعات مفیدی در ارتباط با طول و کوردیناسیون این زنجیره‌های سیلیکاتی با استفاده از NMR (طیف نگار مغناطیسی هسته) به دست آمده است که نشان می‌دهد با رشد زنجیره‌ها ابتدا ساختارهای دimer و سپس پنتامر تشکیل می‌شوند [7].

یکی از فرآیندهای متداول در ساخت نانو سیلیکا روش "سل ژل" می‌باشد که به طور خلاصه به صورت زیر است:



برخی پارامترهای موثر در این فرآیند عبارتند از PH، غلظت واکنشگرها، دما، نسبت مولی  $\text{H}_2\text{O}/\text{Si}$ ، نوع کاتالیست و ... که با تغییر این پارامترها می‌توان نانو سیلیکای کروی با ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر را به طور انتخابی به دست آورد [8].

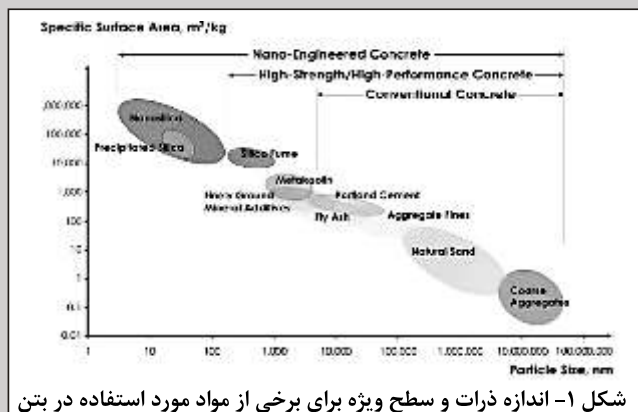
در فرآیند سل ژل تشکیل  $\text{SiO}_2$  از طریق هیدرولیز و پلیمر شدن تراکمی واکنش دهنده‌ها صورت می‌گیرد. در این فرآیند تترااتیل اورتو سیلیکات (TEOS) در دمای ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد در اتانل آبی، ایجاد یک ژل پلی سیلوکسان می‌نماید که با افزایش هر چه بیشتر اتصالات عرضی، آب و اتانول خارج خواهند شد و با افزایش دما تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد نانو سیلیکا حاصل خواهد آمد [9]. همان طور که در جدول ۱ دیده می‌شود تغییرات نسبت مولی TEOS (تترا اتیل اورتو سیلیکات) نسبت به اتانول و آب و گوناگون در فرآیند سل-ژل منجر به تولید ذرات نانو با اندازه‌های متفاوت می‌گردد.

نمونه‌های نانو سیلیس به دست آمده در سیمان پرتلند به کار رفته و بتن‌های تهیه شده تحت آزمایش فشار قرار گرفتند که نتایج حاصله در نمودار ۱ رسم گردید. همان طور که مشاهده می‌شود در دوره زمانی بررسی شده برخی نمونه‌ها دارای مقاومت فشاری بیشتری نسبت به NPC (سیمان پرتلند معمولی) و حتی NPC+SP (سیمان پرتلند همراه با فوق نرم‌کننده) می‌باشند.

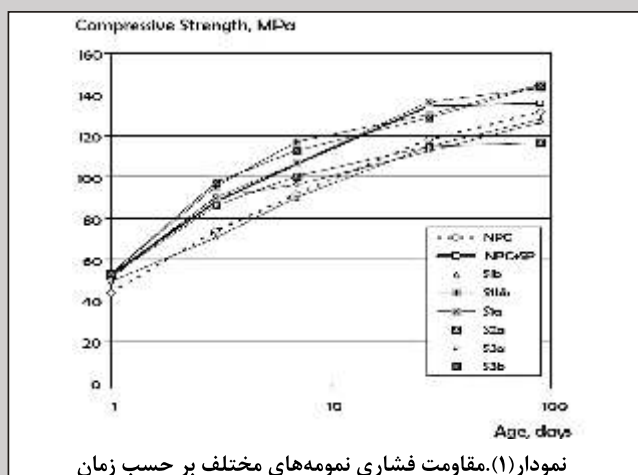
#### بحث:

استفاده از نانو سیلیکا در سیمان علاوه بر افزایش مقاومت فشاری باعث بهبود برخی پارامترهای دیگر می‌گردد که به برخی از آنها می‌پردازیم:

۱. با بهبود ویسکوزیته در خمیر سیمان مانع از جدایش مواد متشکله شده و کارایی بتن را افزایش می‌دهد.
۲. سبب پر شدن قسمت‌های متخلخل شده و مانع از گیر افتادن آب به حالت آزاد در بتن می‌گردد.



شکل ۱- اندازه ذرات و سطح ویژه برای برخی از مواد مورد استفاده در بتن



نمودار (۱). مقاومت فشاری نمونه‌های مختلف بر حسب زمان

جدول ۱: محصول تولید شده در شرایط مختلف فرآیندی

نمونه*	نسبت مولی $\text{TEOS}/\text{Si}/\text{EtOH}/\text{H}_2\text{O}$	نوع کاتالیست	دماي عملیات (°C)	اندازه گریسفال (nm)	اندازه حبره جا (nm)	سطح ویژه (m²/kg)
No.S1b	۱ به ۶ به ۲۲،۲۵	بازی	-	۱۲۷	-	-
			۴۰۰	۱۲۲	-	-
			۶۰۰	۱۲۱	-	-
No.S1a	اسیدی	اسیدی	۱۰۰	۱۲۷	-	-
			۴۰۰	۱۲۲	-	-
			۶۰۰	۱۲۲	-	-
No.S2a	۱ به ۸ به ۱۵،۵	اسیدی	۱۰۰	۱۲۳	-	-
			۴۰۰	۱۲۰	۲	-
			۶۰۰	۱۲۵	-	۳۵۶۰۰۰
No.S2b	بازی	اسیدی	۱۰۰	۱۲۸	-	-
			۴۰۰	۲۱۶	-	-
			۶۰۰	۱۲۲	-	-
No.S3a	۶ به ۱۰ به ۱	اسیدی	۱۰۰	۱۲۲	۵	-
			۴۰۰	۱۲۶	-	۴۲۹۰۰۰
			۶۰۰	۱۲۲	-	۳۶۳۰۰۰
No.S3b	بازی	اسیدی	۱۰۰	۲۱۵	۲	-
			۴۰۰	۲۱۸	-	-
			۶۰۰	۱۲۵	-	۶۷۰۰۰۰
No.S4a	۱ به ۱ به ۲	اسیدی	۱۰۰	۱۲۳	-	-
			۴۰۰	۱۲۶	۱۱	-
			۶۰۰	۱۲۶	-	-
No.S5b	بازی	اسیدی	۱۰۰	۱۲۱	-	۲۲۰۰۰
			۴۰۰	۲۱۲	-	-
			۶۰۰	۱۲۱	-	-
			۱۰۰	۱۲۱	-	-
			۴۰۰	۲۱۱	-	-
			۶۰۰	۱۲۱	-	-

\*دماي شروع فرآیند در تمام نمونه‌ها ۷۰°C می‌باشد. \*\* طی دو ساعت در دمای ثابت \*\*\* بر اساس XRD

Bottom"(reprint from speech given at annual meeting of the West Coast section of the American Physical Society), Engineering and Science, 23, 2004, pp.22-36.

[۴]. عزیزیان، محمدرضا؛ شیمی و فیزیک سیمان؛ انتشارات مترجم؛ چاپ دوم؛ ص ۶۷ (۱۳۷۰)

[5]. Collepari, M., Ogoumah-Olagot, J.J., Skarp, U., Troli, R., "Influence of Amorphous Colloidal Silica on the Properties of Self-Compacting Concretes Proceedings of the International Conference", Challenges Construction – Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction, Dundee, UK, 2002, pp. 473-483.

[۶]. لطفی، مجید؛ رئوفی، عباس؛ زینلی، مصطفی؛ ویژگی‌های ملات سیمان دارای نانوذرات سیلیس؛ مجله صنعت سیمان؛ سال نهم؛ بهمن‌ماه؛ شماره ۹۹.

[۷]. حبیبیان، فن آوری نانو سیمان، مجله صنعت سیمان؛ سال هفتم، بهمن و اسفند، شماره ۸۶

[8]. Arrard G.S., Glyde J.C., Goltner, C., Nature, 378, 1995, pp. 366-36

[۹]. محمدی، زهرا؛ شیمی معدنی صنعتی، انتشارات آزاده؛ چاپ اول، ص ۴۲۵ (۱۳۷۹).

[10]. Sobolev K. Et al, "Development of nano-SiO2 based admixtures for high-performance cement-based materials", Progress report, CONACYT, Mexico, 2006.

[۱۱]. رضائی، علی؛ شایان کیا، سعید، فن آوری نانو و کاربرد آن در ساخت تجهیزات زیست‌محیطی، مجله صنعت سیمان؛ سال هشتم، اردیبهشت، شماره ۸۸.

۳. باعث تسریع ایجاد مراکز تولید کریستال‌های هیدرات می‌گردد.

۴. باعث ازدیاد تولید کریستال‌های با اندازه کوچک نظیر AFm و همگن شدن کلاسترهای C-S-H می‌گردد.

۵. در واکنش با پوزولان سبب مصرف  $Ca(OH)_2$  و تولید C-S-H می‌گردد.

۶. سبب بهبود مقاومت ذرات به هم چسبیده می‌گردد. [۱۰]

۷. واکنش‌پذیری بالای این ذرات عمدتاً نتیجه سطح ویژه بالای آنهاست. [۱۱]

۸. سبب جلوگیری از ایجاد ترک در محل‌های اتصال بتن به سازه‌های صیقلی گردیده و نیز باعث بهبود چقرمگی و خواص کششی می‌گردد.

### نتیجه‌گیری:

افزایش نانو سیلیس به سیمان، مقاومت فشاری بتن حاصل را افزایش داده و به طور همزمان هیدراسیون  $Ca(OH)_2$  کاهش می‌یابد که اسکن‌های SEM گواه بر این مدعاست به طوری که بتن حاصل در روز سوم قابلیت تحمل فشاری به میزان ۸۱٪ بیشتر نسبت به بتن معمولی را داراست.

### منابع:

[۱]. پور سلیمان، فریده؛ پیشرفت علم و نانو فن آوری؛ مجله صنعت سیمان؛ سال هفتم، دی ماه، شماره ۸۵ (۱۳۸۵).

[۲]. عزیزیان، محمدرضا، تکنولوژی پخت سیمان، انتشارات کتاب دانشجو، چاپ اول؛ ص ۲۱ (۱۳۸۵).

[3] Feynman, R., "There's Plenty of Room at the

## دفتر تحریریه نشریه سیمان آماده دریافت مقالات شماست.

تلفن: ۰۲۰-۸۸۳۲۸۴۱۷

E-mail: kargahonar@yahoo.com

cement  
magazine