

عنوان :

## فناوری نانو در صنعت سافت و ساز

تهیه کنندگان:

مهندس هوشنگ خانی - رئیس آزمایشگاههای شرکت سیمان سپاهان  
کارشناس ارشد مهندسی صنایع

پریناز سالمی - کارشناس آزمایشگاههای شرکت سیمان سپاهان

کارشناس ارشد شیمی

نشانی و تلفن :

شهرکرد - جاده اختصاصی سیمان سپاهان - شرکت سیمان سپاهان - اصفهان - کیلومتر ۲۴ اتوبان اصفهان

معاونت فنی و امور طرحها ، واحد آزمایشگاه

تلفن : ۰۳۱۱-۷۷۵۵۵۹۰    نمابر : ۰۳۱۱-۷۷۵۵۵۲۸

پست الکترونیک: [info@sepahancement.ir](mailto:info@sepahancement.ir)    وب سایت: [www.sepahancement.ir](http://www.sepahancement.ir)

### ۱- فناوری نانو در صنعت سافت و ساز

بیشتر فتهای اخیر در زمینه مواد و فرآیندها، همچنین دست کاری آنها در مقیاس نانو چشم اندازی از تولید مواد در اندازه ماکرو و محصولات جدید را پیش روی ما قرار داده است و فناوری نانو تاکنون به حوزه برخی مواد ساختمانی از جمله: بتن، فولاد و شیشه وارد شده است و به همین دلیل صنعت ساخت و ساز به نوبه خود یکی از ذی نفعان فناوری نانو به شمار می رود. برای نمونه از برخی دستاوردهایی که تاکنون کسب شده اند می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- ◀ بتن تقویت شده با استفاده از فناوری نانو که قویتر و بادوامتر از بتنهاي معمولی بوده و آسانتر هم جایگذاری می شود.
- ◀ نانولوله های چندجداره موجب افزایش مقاومت فشاری ( $N/m^2+25$ ) و مقاومت خنثی ( $N/m^2+8$ ) بتن می شوند .
- ◀ به منظور افزایش استحکام بتن می توان از باکتریها استفاده نمود به طوری که افزودن میکرو ارگانیزمهای بی هوایی به مخلوط آب و بتن موجب افزایش ۲۵ درصدی مقاومت ۲۸ روزه بتن می شود، همچنین رسوب دهی ملات سیمان ماسه ای منجر به رشد ماده پرکننده ( فیلر ) در داخل خلل و فرج سیمان نوعی از بتن خود ترمیم کن (SELF REPAIRING) می شود .

◀ استفاده از نانو ذرات در مواد چسباننده مختلف موجب بهبود ویژگیهای مربوط به خرابی بتن می شود .

## ۲- مواد نانو کامپوزیتی :

کامپوزیت ترکیبی از چند ماده متمایز به طوریکه اجزای آن به آسانی قابل تشخیص از یکدیگر باشند یکی از کامپوزیتهای آشنا بتن است که از دو جزء سیمان و ماسه ساخته می شود برای تغییر دادن و بهینه کردن خواص فیزیکی و شیمیایی مواد، آنها را کامپوزیت ترکیب می کنیم .

نانو کامپوزیتهای مواد پلیمری هستند که به منظور تغییر خواص ماده توده، مقداری از ماده دیگری مانند نانو ذرات و نانو الیاف کربنی به آنها اضافه شده است . نانو کامپوزیتهای از قدیمی ترین کاربردهای فناوری نانو است که از دهه ۱۹۹۰ از آنها در بخش حمل و نقل استفاده شده است .

نانو کامپوزیتهای در دو فاز تشکیل می شوند : در فاز اول ساختاری بلوری در ابعاد نانو ساخته می شود که زمینه یا ماتریس کامپوزیت به شمار می رود . این زمینه ممکن است از جنس پلیمر، فلز یا سرامیک باشد در فاز دوم ذراتی در مقیاس نانو به عنوان تقویت کننده برای استحکام، مقاومت، هدایت الکتریکی و ... به فاز اول یا ماتریس افزوده می شود .

## ۳- کاربرد فناوری نانو در سافت سیمان و بتن :

امروزه سیمان و بتن با توجه به کاربردهای مختلف و مصارف گوناگون، نقش مهمی در زندگی بشر ایفا می کند از سوی دیگر مسئله زمان نیز از موضوعات اقتصادی حائز اهمیت برای صاحبان صنایع به شمار می آید و کاهش زمان ساخت و ساز، صرفه اقتصادی قابل توجهی را به دنبال خواهد داشت .

در سطح علوم پایه به منظور درک ساختمان بتن تجزیه و تحلیل های بسیاری در مقیاس نانو در حال انجام است که برای این منظور از فناوریهای مانند میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، میکروسکوپ الکترونی پیمایشی (SEM) و پرتویونی متمرکز (FIB) که برای مطالعه در مقیاس نانو توسعه یافته اند، استفاده می شود .

با استفاده از نانو ذرات در بتن می توان خواص دیگری از جمله خاصیت الکترومغناطیسی، قابلیت به کارگیری در سازه های اتمی (محافظت از تشعشعات) و حفظ انرژی ساختمانها و ... را کنترل نمود به کارگیری فناوری نانو در بتن به دو طریق انجام می گیرد :

### ۱- استفاده از نانو سیمان

۲- استفاده از نانو افزودنیها (کربن نانو تیوب، نانو تیتانیوم اکسید، نانوالیاف، نانو سیلیس، نانو آهن و ...) با توجه به تأثیر افزایش نانو ذرات در سیمان و بهبود خواص سیمان، مشخص است که استفاده از نانو سیمانها در بتن نیز باعث بهبود خواص بتن می شود .

به طور کلی مهمترین عامل در کنترل خواص نانو سیمانها، علاوه بر خواص نانو ذرات، اختلاط مناسب نانوذرات و سیمان می باشد. نانو سیمانها به دلیل مقاومت بالا و خواص ساختاری بهبود یافته کاربردهای زیادی دارند. برای مثال از این نوع سیمانها، برای ساخت آسمان خراشها، ساختمانهای ریاست جمهوری و نظامی (ضد گلوله) و در مناطقی که خوردگی زیاد است، استفاده می شود. 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 گلخانه ای را نیز به همراه دارد.

#### ۴- نانو سیمانهای حاوی Nano-SiO<sub>2</sub>

در صنعت بتن، سیلیس یکی از معروفترین موادی است که نقش مهمی در چسبندگی و پرمکنندگی بتن با عملکرد بالا (HPC) ایفا می کند. محصولات نانو سیلیس متشکل از ذراتی هستند که دارای شکل گلوله ای بوده و با قطر کمتر از 100nm یا بصورت ذرات خشک پودری یا به صورت معلق در مایع محلول قابل انتشار می باشند که مایع آن معمولترین نوع محصول نانو سیلیس می باشد، نانو سیلیس معلق خواص چند منظوره از خود نشان می دهد مانند:

۱- خاصیت ضد سایش

۲- ضد لغزش

۳- ضد حریق

۴- ضد انعکاس سطوح

تحقیقات انجام شده نشان داده است که مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه سیمانهای حاوی نانو سیلیس بیشتر از سیمانهای حاوی میکروسیلیس می باشد. علاوه بر این، آزمایشات SEM و باقیمانده مقدار  $Ca(OH)_2$  و سرعت تغییرات حرارتی، نشان دهنده افزایش واکنشی پذیری سیمانهای حاوی نانو سیلیس می باشد.

استفاده از نانو سیلیس در سیمان، نه تنها به علت خاصیت پرمکنندگی منافذ باعث بهبود ساختار می شود بلکه واکنشهای پوزولانی را فعالتر می نماید. افزودن ۳٪ نانو سیلیس به ملات سیمان باعث کاهش اندازه کریستالهای CH می شود، کریستالهای CH جمعتر شده و اصطلاحاً چین خورده و در نتیجه سطح مشترک مواد واکنش دهنده نسبت به سیمانهای حاوی دوده سیلیس، مناسبتر می باشد. افزودن نانو سیلیس بر روی زمان گیرش سیمان مؤثر است. گیرش اولیه نمونه های حاوی نانو سیلیس، سریعتر بوده و تفاوت بین زمان گیرش اولیه و گیرش نهایی به دلیل کاهش نفوذپذیری (متراکم بودن ساختار نانو سیمانها) بیشتر می باشد. با افزایش نانو سیلیس به سیمان، ملات سیمان متراکم تر شده و نفوذپذیری نسبت به سیمان معمولی به تدریج کاهش می یابد.

می توان اثرات مثبت نانو ذرات سیلیکا در ساختمان بتن را در موارد زیر خلاصه کرد:

۱- توزیع مناسب نانو ذرات، و یسکوزیته فاز مایع را افزایش داده و باعث می شود دیگر ذرات متشکله کامپوزیت

بتن به صورت سوسپانسیون باقی مانده و کارکرد سیستم را بالا می برد.

- ۲- نانو ذرات حفره های میان ذرات سیمان را پر کرده و منجر به ثابت نگه داشتن آب آزاد می شود .
- ۳- نانو ذراتی که به خوبی توزیع شده اند به عنوان هسته های کریستالیزاسیون در سیمان هیدراته عمل کرده و سرعت هیدراسیون را افزایش می دهند .
- ۴- نانو ذرات فرایند تشکیل کریستالهای کوچک  $Ca(OH)_2$  را بهبود داده و خوشه های C-S-H را یکنواخت می کند.
- ۵- نانو ذرات  $SiO_2$  را در واکنشهای پوزولانیک شریک شده و باعث مصرف بیشتر  $Ca(OH)_2$  و تشکیل مقادیر بالاتر C-S-H می شود .

#### ۵- نانو سیمانهای حاوی $Nano-Al_2O_3$

نتایج حاصل از تحقیقات افزودن  $Nano-Al_2O_3$  به سیمان نشان داده است مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته سیمانهای حاوی نانو آلومینا نسبت به سیمانهای معمولی افزایش می یابد . استفاده از نانو آلومینا در سیمان با همگن سازی مناسب و به مقدار مناسب (5%) باعث افزایش مدول الاستیسیته می شود . برای مثال مدول الاستیسیته سیمانی حاوی 5% نانو آلومینا در طی ۲۸ روز، ۱۴۳٪ افزایش می یابد ، در صورتیکه در سیمانهای حاوی میکروسیلیس این مقدار معادل ۱۵٪ می باشد . تغییرات مدول الاستیسیته سیمانهای حاوی نانو آلومینا، بستگی به دانسیته و تعداد منافذ و تخلخل موجود در ملات سیمان دارد . نانو آلومینا باعث افزایش مقاومت فشاری سیمان می شود . برای مثال نتایج نشان داده مقاومت فشاری ۷ روزه سیمانهای حاوی نانو آلومینا ۳۰٪ نسبت به سیمان پرتلند معمولی بیشتر است .

#### ۶- نانو سیمانهای حاوی $Nano-Fe_2O_3$

سیمانهای حاوی  $Nano-Fe_2O_3$  کمتر از ۱۰٪ از لحاظ مقاومتی مناسبتر می باشند وقتی مقدار  $Nano-Fe_2O_3$  مصرفی در سیمان، افزایش می یابد نانو آهن به خوبی در مخلوط سیمان پراکنده نمی شود و از تجمع آنها مناطق ضعیفی در مخلوط سیمان تشکیل می شود و به همین دلیل مقاومت فشاری با افزایش  $Nano-Fe_2O_3$  بیش از مقدار بهینه باعث کاهش مقاومت فشاری می شود به همین دلیل تنها در موارد خاص و با رعایت اصول اختلاط یکنواخت از این پودر استفاده می گردد . همچنین تحقیق در مورد اضافه نمودن نانو ذرات اکسید آهن یا هماتیت  $Fe_2O_3$  به بتن نشان داده است که این ذرات علاوه بر افزایش مقاومت بتن، پایش سطوح تنش (خستگی) بتن را از طریق اندازه گیری مقاومت الکتریکی بر شی (مقطعی) امکان پذیر می سازد .

#### ۷- نانو سیمانهای حاوی $Nano-ZnO$

اگر اکسید روی با بخشی از CaO جایگزین شود باعث پایداری فاز C<sub>3</sub>S می شود و اضافه کردن ۵٪ مول نانو اکسید روی منتج به بالاترین مقاومت فشاری یعنی مقاومتی در حدود 166 مگا پاسکال خواهد شد.

#### ۸- نانو سیمانهای حاوی نانومونتموریلونیت (OMMT) (organo-modified montmorillonite)

تحقیقات انجام شده نشان داده است که استفاده از نانو مونتموریلونیت اصلاح شده، با مواد آلی در سیمان باعث می شود، نفوذپذیری ملات سیمان تا ۱۰۰ مرتبه کاهش یابد و مقاومت فشاری ۴۰٪ و مقاومت خمشی تا ۱۵٪ افزایش یابد. فرمول شیمیایی مونتموریلونیت  $(\text{Na,Ca})(\text{Al,Mg})_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3(\text{OH})_6, n\text{H}_2\text{O}$  می باشد.

#### ۹- اثرات تولید نانو سیمان و بتن بر محیط زیست .

افزایش نگرانی از تغییرات جوی ناشی از آلاینده های کربنی محصولات ساخت بشر، دولتها را بر آن داشته تا روشهایی برای کاهش یا حداقل ثابت نگه داشتن سطح این آلاینده ها بیابند. دولت انگلیس برای نخستین بار از برنامه هایی برای ایجاد برخی تعهدات قانونی خبر داده است که با اجرای آن آلاینده هایی کربنی تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۶۰٪ کاهش خواهد یافت. اتحادیه اروپا نیز با کاهش ۲۰ درصدی این آلاینده ها تا سال ۲۰۲۰ موافقت کرده است.

CO<sub>2</sub> منتشر شده از صنعت سیمان در جهان، مقداری قابل ملاحظه و رو به افزایش است. تولید جهانی سیمان حدوداً ۱/۶ میلیارد تن در سال است. طی فرایند کلسیناسیون سنگ آهک به منظور تولید اکسید کلسیم و دی اکسید کربن به ازای تولید هر تن کلینکر سیمان تقریباً ۰.۹۷ تن CO<sub>2</sub> تولید می شود. از سوی دیگر برای تولید هر تن سیمان حدود ۹۰۰ کیلوگرم کلینکر مورد نیاز است. بنابراین می توان گفت که صنعت سیمان جهانی سالانه حدود ۱۰۴ میلیارد تن CO<sub>2</sub> تولید می کند که این مقدار حدوداً ۶٪ از کل تولید سالانه به دست بشر است.

بر طبق تحقیقات انجام شده توسط مهندسان در مؤسسه فناوری ماساچوست (MIT) این نتیجه به دست آمد که به دلیل اینکه بتن از نانو ذرات سازمان یافته ساخته شده است بسیار قوی و پایدار می باشد. اولم که یکی از محققان این پروژه می باشد توضیح داد که اگر هر چیزی ( خاصیتی ) به ساختار سازمان یافته نانو ذراتی که بتن را تشکیل می دهند بیشتر از خود آن ماده وابسته می باشد. می توان آن را با ماده ای که دارای خواص دیگر بتن مانند استحکام، دوام فراوانی و قیمت کم باشد) اما در طی فرایند ساخت به همان اندازه CO<sub>2</sub> در هوا منتشر نمی کند) جایگزین نمود.

این محققان کشف کرده اند که رفتار ذرات C-S-H که اندازه آنها حدود 5nm است در همه نمونه های سیمان یک اثر نانویی منحصر به فرد نشان می دهد که به آن " کد ژنومیک " این ماده می گویند. این مطلب نشان می دهد که مقاومت خمیر سیمان و بنابراین بتن، به مواد معدنی خاصی بستگی ندارد اما به چگونگی سازمان دهی این ماده معدنی به صورت

نانوذرات فشرده بستگی دارد. این محققان می گویند اگر دانشمندان یا مهندسان نانو بتوانند مواد معدنی متفاوتی برای استفاده در خمیر سیمان پیدا کنند، انتشار  $\text{CO}_2$  جهانی می تواند تا ۱۰٪ کاهش یابد. مواد معدنی جدید باید چگالی فشرده (Packig) سیمان را دارا باشند ولی برای تولید به دماهای بالا نیازمند نباشند. در بررسی پخت سیمان پرتلند در مقیاس نانو مشخص گردیده است که در دمای حدود  $1500^\circ\text{C}$  فازهای حاصله از ترکیب آهک با سایر اکسیدها مانند سیلیس، به اشکال شبه هرمی در می آیند. ذرات شبه کروی بین وجه های هر مهای مذکور قرار می گیرند و در نهایت شبکه های بزرگی از اتصال اشکال فوق الذکر حاصل می گردد که منجر به تشکیل ساختارهای مقاومی در بتن تولید شده می گردد. در مقیاس نانو، در شرایط خاص می توان در دماهای معمولی ( نزدیک به دمای محیط ) از منیزیت (mgo) که هم به عنوان محصول فرعی در برخی صنایع دیگر به دست می آید وهم مستقیماً قابل استخراج از معادن است استفاده کرد و همان ساختارهای شبه هرمی که لازمه ایجاد باندهای هیدرولیک می باشد را تولید کرد. عملیات فوق بدون حذف  $\text{CO}_2$  از کربنات منیزیم امکان پذیر است. در این صورت گاز کربنیک نه از واکنش کلسیناسیون ونه از سوختهای فسیلی حاصل می گردد.

منابع و مراجع:

1-<http://nano-cement.50webs.com>

2-Nanotechnology of concrete. Konstantin Sobolev and Miguel Ferrada-Gutierrez

3-Characteristics of cement mortar with nano-sio<sub>2</sub> particles. Byung-wan Jo, Chang-Hyun Kim, Ghi-ho Tea and Jong- Bin Pank.

4-[www.physorg.com](http://www.physorg.com)

5-[www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)

۶- فناوری نانو، فناوری پاک نویسنده: موسسه ساینتیفیکا

۷- نانو سیمان و نانو بتن - سرکار خانم مهندس طاهره رحیمی