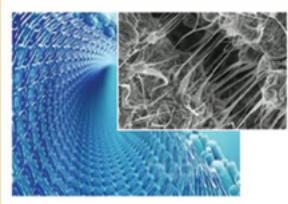


نقش فناوری نانو در ارتقای کیفی سیمان و مصالح پایه سیمانی

سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست





فناوری نانو از فناوری‌های پیشرفتی چند دهه‌ی اخیر است. فناوری که حدود نیم قرن پیش به دنیا معرفی شد و طی دو دهه‌ی گذشته، پیشرفت و توسعه‌ی چشمگیری را تجربه کرده است. فناوری نانو عبارت از ترکیب ذرات بسیار ریز برای خلق مواد جدید است. در حقیقت، فناوری نانو با ترکیب و پیوند ریز ذراتی موسم به نانوذرات، فرایند تولید مصالح نانو و کاربرد آن‌ها سروکار دارد.

سیمان و نقش فناوری نانو در آن

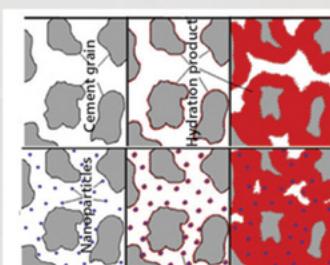
در حالت کلی سیمان را به عنوان ماده‌ای چسبنده می‌شناسند که می‌تواند قطعات جامد مواد را به یکدیگر متصل کرده و از آن‌ها، توده‌ای فشرده و با دوام بسازد. در مهندسی ساختمان، واژه سیمان، معمولاً به مواد پایه‌آهکی اطلاق می‌شود که نقش اصلی آن‌ها، چسباندن قطعات سنگی (ریزدانه و درشت‌دانه) به یکدیگر است. کاربرد انواع سیمان در حوزه‌های مختلف ساختمان‌سازی به اندازه‌ای فراگیر است که شاید نتوان بدون وجود این ماده‌ی کم‌نظیر، بسیاری از فرایندهای ساخت و ساز را انجام داد. در سازه‌های پر مقاومت، سازه‌های بزرگ، سازه‌هایی که در معرض آب هستند، بتن و ملات‌های سیمانی، سنگ‌های مصنوعی... معمولاً اثری از سیمان به چشم می‌خورد. میکرو‌خرقهای درونی سیمان که ابعاد آن‌ها از چند نانومتر تا چند میلی‌متر تغییر می‌کند، نقش اساسی و بنیادی در ویژگی‌ها و کیفیت مواد پایه سیمانی دارند. بسیاری از مخصوصات مواد پایه سیمانی، به وسیله‌ی ریزساختارهای نانومقیاس، بتویزه ماده بسیار متغیر کلسیم- هیدرات- سیلیکات (C-H-S) تعیین می‌شود. مواد مبتنی بر سیمان خواص مکانیکی ضعیفی دارند و نسبت به آب و سایر مواد شیمیابی مهاجم بسیار نفوذپذیرند، این مسئله سبب کاهش ماندگاری و دوام این مواد می‌شود. همچنین صنعت سیمان یکی از منابع مهم منتشر کننده دی‌اکسید کربن است، به طوریکه ۵ تا ۶ درصد از انتشار سالانه دی‌اکسید کربن در جهان مربوط به این صنعت است.

فناوری نانو و استفاده از نانومواد مختلف می‌تواند سبب بهبود خواص سیمان شود. فناوری نانو این پتانسیل را دارد که باورود به صنعت سیمان، چالش‌هایی مانند انتشار دی‌اکسید کربن، مقاومت کم در برابر ترک خودرگی، زمان عمل آوری طولانی، استحکام کششی کم، جذب زیاد آب، قابلیت چکش خواری کم و بسیاری از عملکردهای مکانیکی دیگر را هدف قرار دهد. با ترکیب نانوموادی مثل نانوذرات ZnO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , NaOH ‌های کربنی، نانوفیبرهای کربنی و... با مواد سیمانی، بهبود قابل توجهی در خواص فیزیکی و مکانیکی سیمان ایجاد می‌شود. در زیر به توضیح مختصری در خصوص استفاده و کاربرد برخی از این نانومواد در سیمان پرداخته شده است.

نقش نانوذرات در ارتقای کیفی سیمان

ابعاد ذرات سیمان معمولی در حد میلی‌متر و میکرومتر هستند. نانوذرات سیمان برای بهبود عملکرد سیمان پیشنهاد می‌شوند. یکی از فواید کریستال‌های نانومقیاس که با استفاده از نانوذرات تشکیل شده است، پر شدن فضاهای و حفرات خالی ماتریس سیمان است، با افزایش ذرات کوچک جامد با اندازه‌های متفاوت، تخلخل و نفوذپذیری

سیمان کاهش و مقاومت تراکمی افزایش می‌یابد. نانوذراتی که به خوبی در ساختار ماتریس سیمان توزیع شده باشند، سبب افزایش کندروانی (ویسکوزیته) فاز مایع می‌شوند، همچنین دانه‌های سیمان و سنگدانه‌ها به خوبی در مایع معلق مانده، از تهشینی آن‌ها و جداشدن سنگدانه‌ها پیشگیری شده و کارپذیری خمیر سیمان بیشتر می‌شود.



شکل ۱. با افزودن نانوذرات به ماتریس سیمان فضای خالی بین ذرات سیمان کاهش یافته و سرعت فرایند هیدراسیون افزایش می‌یابد [۲]

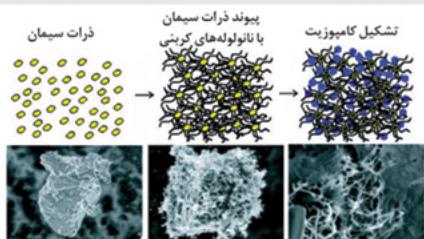
مزایای استفاده از نانوذرات در محصولات سیمانی

- نانوذرات، فاصله موجود بین ذرات سیمان را پر کرده و باعث بی حرکت شدن آب آزاد درون خمیر سیمان می‌شوند.
- نانوذرات دارای توزیع یکنواخت، به عنوان مرکز بلورسازی هیدرات‌های سیمان عمل کرده و بر سرعت فرایند هیدراسیون می‌افزایند.
- با حضور نانوذرات، شکل‌گیری کریستال‌های کوچک مانند $\text{Ca}(\text{OH})_2$ و خوش‌های همسان کوچک $\text{C}-\text{H}-\text{S}$ امکان پذیر خواهد شد.
- نانوذرات، ساختار منطقه‌ی تماس سنگدانه‌ها را ارتقا داده و سبب چسبندگی^۱ بهتر و بیشتر بین سنگدانه‌ها و خمیر سیمان می‌شوند.
- نانوذرات، سبب توقف گسترش ترک شده و صفحات افقی را به هم قفل کرده و مانع از سرخوردن آن‌ها از روی هم می‌شوند که در نهایت، زمینه‌ساز سختی بیشتر و افزایش مقاومت کششی و خمشی مصالح پایه سیمانی می‌شوند.

معرفی برخی از نانومواد استفاده شده در سیمان نانولوله‌های کربنی

در حالت کلی، مواد پایه سیمانی را با ویژگی شبکه‌شکننده^۲ می‌شناسند، که مقاومت کششی اندکی از خود نشان می‌دهند. مسلح‌سازی معمول سیمان‌ها و مواد پایه سیمانی که در مقیاس میلی متر یا میکرون انجام می‌شود، مبتنی بر استفاده از میکروالیاف است. با این حال، این مصالح باز هم ضعف‌ها و کاستی‌هایی در مقیاس نانو از خود نشان می‌دهند. پیدایش نانورشته‌هایی همچون نانولوله‌های کربنی، امکان مسلح‌سازی مصالح سیمانی را در مقیاس نانو فراهم نموده است.

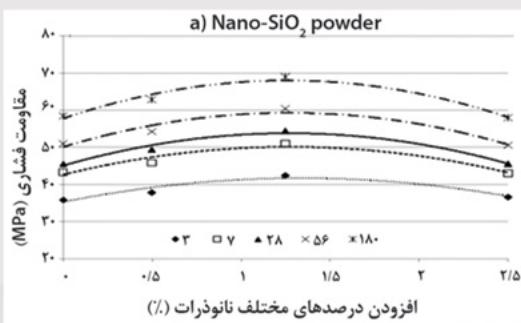
نانولوله‌های کربنی کلیه‌ی فضاهای خالی موجود در کامپوزیت را پوشش داده، حفره‌ها را پر می‌کنند و بر سختی $S-H-C$ افزایند. همچنین از آنجایی که دارای خاصیت آبگیری و مقاومت مکانیکی ذاتی بالا هستند، باعث کاهش میزان جذب آب، بهبود مدل الاستیسیته، افزایش مقاومت خمشی، مقاومت به ضربه و خواص فیزیکی و مکانیکی سیمان می‌شوند [۲۱].



» شکل ۲. پیوند نانولوله‌های کربنی با سیمان و تشکیل کامپوزیت سیمانی نانولوله‌های کربنی به سبب ساختار الافی خود، افزایش مقاومت خمشی حدود ۲۵ درصد را نشان داده‌اند [۲۱]

■ نانوذرات سیلیکا

نانوذرات سیلیکا به طور فزاینده‌ای به عنوان جایگزین میکروسیلیکا در صنعت سیمان به کار می‌روند. به دلیل ابعاد بسیار ریز و واکنش پذیری بالا، این نانوذرات معمولاً در مخلوط بتون با مقادیر زیاد به کار می‌روند، که این امر به انتشار کمتر دی‌اکسید کربن و آلودگی کمتر محیط زیست می‌انجامد. ترکیب نانوذرات سیلیکا با دوغاب سیمان موجب بهبود خواص مکانیکی و کاهش تخلخل و نفوذپذیری می‌شود، این پارامترها عوامل اساسی در افزایش ماندگاری سیمان هستند. نانوذرات سیلیکا سبب ثبات و تقویت فعالیت‌های پوزولانی خمیر سیمان می‌شوند. استفاده‌از نانوذرات سیلیکا سبب افزایش مقاومت فشاری و خمشی بین ۲۰ تا ۴۰ درصد می‌شود. نانوذرات سیلیکا نیز به عنوان عامل تغییر دهندهٔ کندروانی (ویسکوزیته) خمیر سیمان کاربرد دارد.

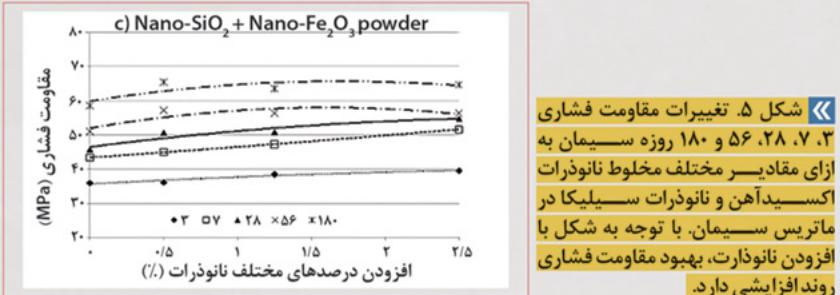
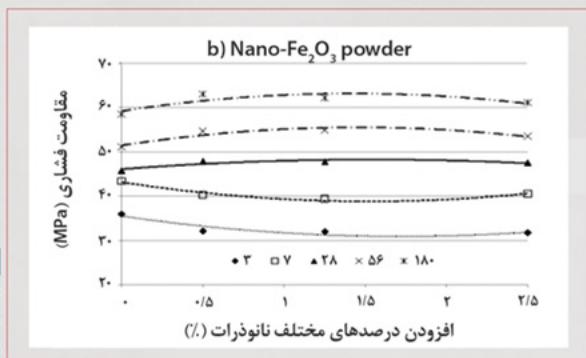


» شکل ۳. تغییرات مقاومت فشاری ۳، ۷، ۲۸، ۵۶ و ۱۸۰ روزه سیمان به ازای مقادیر مختلف نانوذرات سیلیکا. با توجه به شکل بیشترین مقاومت فشاری مریبوط به افزودن ۲/۵ درصد نانوذرات به ماتریس سیمان است [۴]

■ نانوذرات اکسید آهن

نانوذرات اکسید آهن، همانند نانوذرات سیلیس، باعث افزایش ویژگی‌های مطلوب ملات‌های سیمانی می‌شوند. مقاومت فشاری و خمی ملات‌های شامل این نانوذرات، افزایش خوبی نسبت به ملات‌های معمولی دارند.

شکل ۴. تغییرات مقاومت
فشاری ۰، ۲۸، ۵۶ و ۱۸۰ روزه
سیمان به ازای مقادیر مختلف
نانوذرات اکسید آهن [۴]



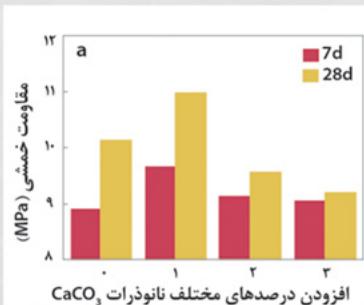
شکل ۵. تغییرات مقاومت فشاری ۰، ۲۸، ۵۶ و ۱۸۰ روزه سیمان به ازای مقادیر مختلف مخلوط نانوذرات اکسید آهن و نانوذرات سیلیسیکا در ماتریس سیمان. با توجه به شکل با افزودن نانوذارت، بهبود مقاومت فشاری روند افزایشی دارد.

■ نانوذرات اکسید رو

افزودن نانوذرات اکسید رو در ماتریس سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری، مقاومت کششی و استحکام خمی می‌شود. افزودن ۰-۵ درصد این نانوذرات در ماتریس سیمان باعث کمترین میزان جذب آب و کاهش میزان تخلخل می‌شود. این نانوذرات مقاومت در برابر پیرشدگی سیمان را افزایش می‌دهند.

■ نانوذرات کربنات کلسیم

نانوذرات کربنات کلسیم باعث کاهش نفوذ یون کلرید و افزایش نرخ هیدراسیون می‌شوند. با افزودن این نانوذرات به ماتریس سیمان، مقاومت فشاری و خمی افزایش و انقباض‌های ناشی از خشکشدن کاهش می‌یابد. افزودن نانوکربنات کلسیم به کامپوزیت آبی سیمان سبب بهبود سختی و مقاومت در برابر فرسایش بنزین می‌شود. استحکام فشاری کامپوزیت دارای نانوکربنات کلسیم حداقل تا ۲۵ درصد بیشتر از کامپوزیت سیمانی بدون نانوکربنات کلسیم است.



شکل ۶. افزودن نانوذرات کربنات کلسیم به ماتریس سیمان و بررسی مقاومت خمشی در نمونه‌های ۷ و ۲۸ روزه. نمونه حاوی ۱ درصد نانوذرات کربنات کلسیم دارای بیشترین مقاومت می‌باشد [۴].

■ نانوذرات آلومینا

افزودن نانوذرات آلومینا، باعث افزایش استحکام فشاری و مدول الاستیسیته ماتریس سیمان در سنین اولیه می‌شود. همچنین این نانوذرات باعث افزایش مقاومت در برابر شوک حرارتی و قابلیت تحمل تغییرات سریع دماهی در سیمان می‌شوند.

■ نانوذرات تیتانیا

نانوذرات تیتانیا به علت پایداری شیمیایی و سمیت کم، به خوبی شناخته شده‌اند. نانوذرات تیتانیا مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در برابر شعله و مقاومت در برابر سایش سیمان را افزایش می‌دهند. این نانوذرات به عنوان ترکیب اصلی در ملات سیمان برای تجزیه فوتوكاتالیستی اکسیدهای نیتروژن و سایر آلاینده‌ها به کار می‌روند. بت

دارای نانوذرات تیتانیا خاصیت خودتمیزشوندگی موثری از خودنشان می‌دهد و موجب تصفیه هوا و کاهش آکوادگی‌ها می‌شود.



شکل ۷. بت
خودتمیزشونده به کار رفته در نمای ساختمان شهرموسیقی و هنرهای زیبا در فرانسه

نانوسیلیکا، نانولوله‌های کربنی، نانوکربنات کلسیم، نانوتیتانیا، نانوآلومینا و نانوکامپوزیت‌های پلیمر-رس متداول ترین نانومواد مورد استفاده در صنعت سیمان هستند. این نانومواد معمولاً برای بهبود چندین خاصیت مکانیکی مواد سیمانی مانند مقاومت در برابر ترک، مقاومت در برابر خوردگی، استحکام کششی و استحکام فشاری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

لازم به ذکر است که استفاده از انواع نانوذرات یادشده، بر خلاف افزایش مقاومت در سنین اولیه سیمان، در پاره‌ای موارد سبب کاهش مقاومت بلندمدت آن می‌شود. البته با افزودن فوق روان کننده‌ها می‌توان بر این مشکل غلبه کرد. به عنوان مثال، بر اساس نتایج آزمایش‌ها، در ملات‌های فوق روان با درصدی از نانوذرات سیلیکا، بین ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش مقاومت مشاهده شد و مقاومت فشاری ۹۰ روزه خمیر این سیمان به ۱۴۴/۸ مگاپاسکال رسید.^[۱]

نمونه‌ای از محصولات تجاری شده

هم اکنون محصولات تجاری پتنت شده‌ای مانند Alpol, Cor-Tuf, Huber Crete, Nycon-G Nano و سایر محصولات، در زیر به توضیح مختصری داده شده‌اند، در بازار موجود هستند.

■ Alpol: استفاده از نانومواد افزودنی برای افزایش چسبندگی و استحکام سیمان^[۵]

■ Huber Crete: استفاده از نانوذرات کربنات کلسیم به منظور افزایش مقاومت، کاهش نفوذپذیری و بهبود کارایی سیمان^[۶]

■ Cor-Tuf: استفاده از نانومواد مختلفی، مانند سیلیکا، به منظور افزایش استحکام و سختی سیمان^[۷]

■ Nycon-G Nano: استفاده از نانوالياف و نانوذرات کربنات کلسیم به منظور کاهش ترک خوردگی، افزایش مقاومت در برابر ضربه، سازگار با محیط زیست^[۸].

بنابراین استحکام کششی، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت حرارتی و سایر خواص مکانیکی این مواد سیمانی به صورت قابل توجهی بهبود یافته است. همچنین فناوری نانو می‌تواند با کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، این مواد را با محیط‌زیست سازگارتر کند و ماندگاری آن‌ها را افزایش دهد.

پتنت

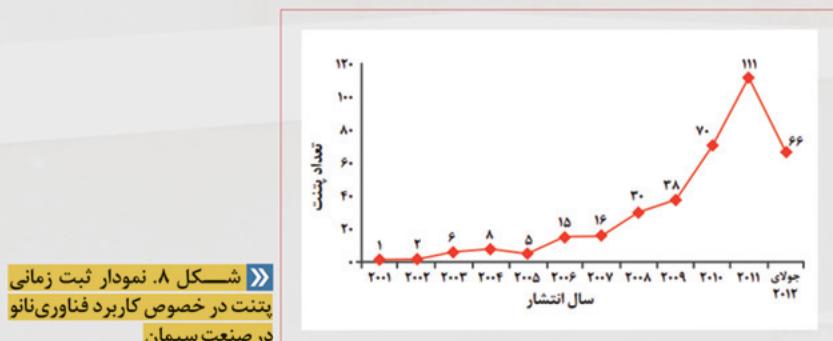
سیمان یکی از پرکاربردترین مواد در صنعت ساخت و ساز است. در سال ۲۰۱۱ کل تولید جهانی برای سیمان ۳۴۰۰ میلیون تن بود. چین با ۲ میلیارد تن تولید، بزرگ‌ترین تولیدکننده است. هند و آمریکا به ترتیب با تولید ۲۱۰ و ۶۸ میلیون تن سیمان، در رده‌های دوم و سوم قرار دارند.



با تحلیل پتنت‌های مربوط به کاربردهای فناوری نانو در صنعت سیمان، ۳۹۰ پتنت به دست آمد. نخستین پتنت در زمینه سیمان توأم‌شده با نانو در سال ۱۹۹۶ میلادی منتشر شد و از آن زمان به بعد فعالیت ثبت پتنت به طور پیوسته افزایش یافته است،

به طوری که بعد از سال ۲۰۰۷ یک افزایش نمایی را شاهد هستیم. افزایش سریع در تعداد پتنت‌های ثبت شده از سال ۲۰۰۷ به بعد، نشان از موفقیت در تجاری‌سازی کاربرد مواد نانو مقیاس در ترکیب مواد سیمانی است. چین با در اختیار داشتن ۴۱ درصد پتنت‌های جهان در این زمینه بیشترین سهم را دارد، کره جنوبی، ایالات متحده امریکا،

روسیه و آلمان، سایر کشورهای پیش رو در این زمینه هستند. اگرچه کاربرد فناوری نانو در صنعت سیمان یک عرصه در حال ظهر است، روند ثبت پتنت ها حاکمی از آن است که تجارتی سازی این فناوری قبلاً شروع شده و در آینده نزدیک، سیمان توانمند شده با فناوری نانو تا حد زیادی صنعت سیمان را در اختیار خواهد گرفت. در شکل زیر روند مربوط به تعداد پتنت ها در زمینه کاربردهای فناوری نانو در صنعت سیمان تا سال ۲۰۱۲ نشان داده شده است [۹].



جدول ۱. تعداد پتنت های ثبت شده برای نانومواد مختلف به کار رفته در سیمان

نام نانومواد	تعداد پتنت های ثبت شده
نانوسیلیکا	۱۲۵
نانولوله های کربنی	۷۰
نانو کامپوزیت های پلیمر-رس	۶۲
نانو کربنات کلسیم	۴۲
نانو تیتانیا	۳۸
نانو آلومینیا	۳۲
نانو اکسید روی	۱۶
نانو سلوژ	۵

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- نانولیپوزوم‌ها و نقش آنها در رهایش دارو
- کاربردهای فناوری نانو در محیط‌های بیمارستانی
- کاربرد فناوری نانو در حسگرهای ساختمانی
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های رطوبت
- کاربرد فناوری نانو در لوله‌های بی‌صدای فاضلاب
- حذف آلاینده‌های آب با استفاده از نانوذرات آهن
- صفر ظرفیتی
- کاربرد فناوری نانو در صنعت ساختمان
- استفاده از غشاء نانولوله‌کربنی جهت نمک‌زدایی و تصفیه آب
- کاربرد فناوری نانو در کاشی و سرامیک
- غنی‌سازی محصولات کشاورزی با نانوکودهای کلاته آهن و روی
- کاربرد فناوری نانو در فرآیندهای افزایش برداشت نفت خام
- خشک کردن انجمادی باششی
- کیتوسان پلیمری زیست تخریب‌پذیر در سامانه‌های داروسانی
- فناوری نانو و بتن‌های ویژه
- کاربرد فناوری نانو در آنالیزگرهای جدید صنایع بالادستی نفت
- کاربردهای فناوری نانو در بخش انتقال شبکه برق رسانی
- فناوری نانو و توسعه آن در کشاورزی
- کاربردهای فناوری نانو در سیمان‌های خغاری
- کاربردهای فناوری نانو در گل‌خواری
- کاربردهای فناوری نانو در صنعت نساجی
- بهره‌گیری از جاذبهای نانو بر پایه آتروژل‌ها در حذف آلاینده‌های نفتی و تصفیه پساب‌های صنعتی
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های آنتی‌استاتیک
- داروهای متصل شده به پادتن
- تصفیه آب با استفاده از غشاء پلیمری نانوفیلتراسیون
- نانوحسگرها جهت آزمایش‌های بیوشیمیایی متداول خون (تیمین میزان قند، چربی و...)
- نانوکامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیر برای بسته‌بندی مواد غذایی
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های خود تمیزشونده
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های ضد خش
- فناوری نانو در رنگ‌های آنتی‌باکتریال
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های حرارتی
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های صوتی
- افزایش تولید و کیفیت محصولات کشاورزی با استفاده از نانوکودهای بیولوژیک
- کاربرد فناوری نانو در صنعت چوب
- کاربرد فناوری نانو در تصفیه آب
- کاربرد فناوری نانو در تصفیه هوای
- کاربرد فناوری نانو در بتن‌های سبک
- کاربرد فناوری نانو در بتن

پی‌نوشت‌ها

- ▀ Adherence
- ▀ Quasi-brittle

مراجع

▀ Alaa M. Rashad, Effects of ZnO₂, ZrO₂, Cu₂O, CaCO₃, SF, FA, cement and geothermal silica waste nanoparticles on properties of cementitious materials –A short guide for Civil Engineer, Construction and Building Material (2013) 1120.

▀ www.alpol.pl

▀ www.hubermaterials.com

▀ www.google.com/patents/US20100221465

▀ www.nycon.com

▀ www.nanowerk.com

▀ دکتر محمود گلابچی، دکتر کتابون تقدیم زاده، احسان سروش نیا، فناوری نانو در معماری و مهندسی ساختمان، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۰

▀ Shengwei Sun, Xun Yu, Baoguo Han, Jinping Ou, in situ growth of carbon nanotubes/carbon nanofibers on cement/mineral admixture particles: A review, Construction and Building Material (2013) 835.

▀ Gerrit Land, Dietmar Stephan, Controlling cement hydration with nanoparticles, Cement and Concrete Composites (2015) 64.

مجموعه نرم‌افزارهای «نانو و صنعت»

مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با هدف معروفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌های صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم‌افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است.

تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفت»، «خودرو»، «اساجی»، «ساخت و ساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پیشنهاد: ۰۶۰۸۷۱۲۵۹



ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

تلفن:	توسعه فناوری مهربیژن	طراحی و اجرا:
نامابر:	داود قرایلو	ناظارت:
پایگاه اینترنتی:	report@nano.ir	
صندوق پستی:	توسعه نانو فناوری افشار	تهییه‌کننده:
	civil@nano.ir	