

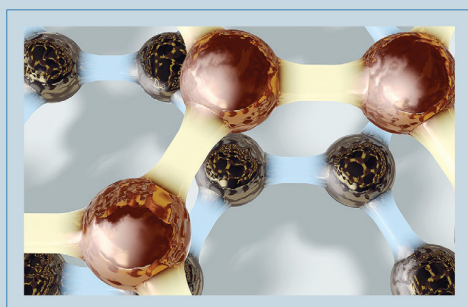
مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۲۸

کاربرد فناوری نانو در بتن

سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست

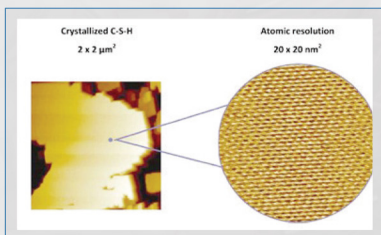




فناوری نانو، توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با کنترل ابعاد در محدوده ۱-۱۰۰ نانومتر و استفاده از خواصی است که در آن سطوح ظاهر می‌شود. در مقیاس نانومتری، نانوذرات، خواص شیمیایی و فیزیکی ویژه‌ای از خود نشان می‌دهند. در چند سال گذشته استفاده از علم نانو بسیار فراگیر شده و به سرعت در حال پیشرفت و گسترش است. همگام با توسعه فناوری نانو

در صنایع مختلف، توجه به کاربردهای این علم، در صنعت بتن منجر به پیشرفت‌هایی در این زمینه گردیده است. هدف نهایی از بررسی بتن در مقیاس نانو، یافتن نسلی جدید از مصالح ساختمانی با عملکرد بالا و با خواصی جدید و متفاوت نسبت به خواص مصالح معمولی است.

بتن



شکل ۱. ساختار نانومقیاس از کریستال C-H-S

بتن از پر کاربردترین مصالح ساختمانی است. ویژگی اصلی بتن ارزان بودن و در دسترس بودن مواد اولیه آن است. نانو مواد توانسته‌اند خواص مکانیکی و فیزیکی بتن را ارتقا دهند. این مواد با توجه به خصوصیات خود در سطوح بسیار ریز می‌توانند دنیای بتن را کاملاً متحول کنند. استفاده از فناوری نانو در صنعت بتن به چند سال اخیر برمی‌گردد. بتن ماده‌ای با ساختار نانو، چند فاز و با اجزا مختلف است. این ساختار شامل فازهای نامنظم کریستالی از ابعاد میکرومتر تا نانومتر می‌باشد. فاز غیر بلوری و نانو ساختار کلسیم-سیلیکات-هیدرات (C-H-S) در بتن باعث ایجاد چسبندگی اجزاء بتن می‌شود.

کاربرد فناوری نانو در بتن

به‌طور کلی کاربرد فناوری نانو در بتن به دو هدف انجام می‌گیرد:

■ اندازه‌گیری و توصیف ساختار مواد پایه سیمانی در مقیاس نانو و میکرو برای درک بهتر رفتار در مقیاس بزرگ (ماکرو) و عملکرد آن از طریق استفاده از تکنیک‌های پیشرفته توصیف و مدل‌سازی، مربوط به سطوح اتمی یا مولکولی.

■ تکنیک‌های دست‌کاری ساختار در مقیاس نانومتری به‌منظور ایجاد نسل جدید و مناسب کامپوزیت‌های سیمانی با رفتار مکانیکی ایده‌آل و حتی ایجاد خواص جدیدی مثل مقاومت الکتریکی پایین، هوشمند بودن، خودتمیز شونگی، خودترمیم‌کنندگی در بتن.

در این نوشتار به تعدادی از کاربردهای فناوری نانو در بتن پرداخته شده است.

نانوذرات سیلیس



میکروسیلیس یکی از موادی است که در دهه‌های اخیر استفاده از آن در بتن به طور جدی مورد توجه مهندسين ساختمان قرار گرفته است. به دلیل خصوصیات بارز پوزولانی^۱ میکروسیلیس، استفاده از آن جهت بهبود خواص مکانیکی و افزایش دوام بتن در کشورهای پیشرفته رو به افزایش است. تحقیقات نشان داده است که اضافه کردن نانوذرات سیلیس در بتن باعث افزایش مقاومت بیشتر نسبت به میکروذرات سیلیس می‌شود.

مهمترین دلیل افزایش مقاومت فشاری بتن به کمک نانوذرات سیلیس، نقش پرکنندگی این ذرات در بین منافذ خمیر سیمان است. ذرات نانو سیلیس به علت ریزدانه‌گی بسیار بالا و چسبندگی سطحی، در بین ذرات C-S-H قرار گرفته و فواصل خالی را پر می‌کنند. این امر موجب یکپارچگی C-S-H و افزایش دوام آن می‌شود. با استفاده از نانوذرات سیلیس می‌توان میزان تراکم ذرات را در بتن افزایش داد که این مسئله به افزایش چگالی میکرو و نانو ساختارهای تشکیل دهنده بتن و در نتیجه بهبود ویژگی‌های مکانیکی می‌انجامد.

استفاده از نانوذرات سیلیس در سیمان علاوه بر نقش پرکنندگی منافذ، باعث استحکام ساختار بتن می‌شود و همچنین واکنش‌های پوزولانی (واکنش میان هیدروکسید کلسیم و دی‌اکسید سیلیسیم) را سریع‌تر و فعال‌تر می‌کند.

مزایای استفاده از نانوذرات سیلیس در بتن

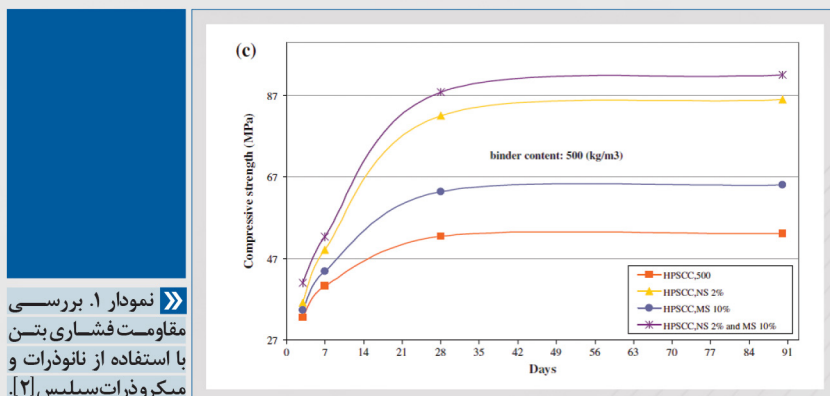
- افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی؛
- کاهش ترک‌های ناشی از هیدراتاسیون سیمان؛
- دوام بهتر در مقابل آسیب‌های ناشی از سولفات‌ها و آب‌های اسیدی؛
- کاهش تحرک یون‌های کلر و در نتیجه کاهش عمق نفوذ کلر در بتن به‌ویژه در نواحی ساحلی.

مثال: بررسی مقاومت فشاری در نمونه‌ای از بتن با عملکرد بالا، با استفاده از میکروسیلیس و نانوسیلیس



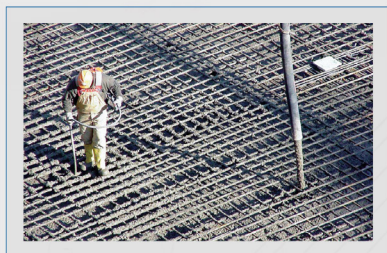
برای این منظور بخشی از سیمان پرتلند با مقادیر مختلف از میکروسیلیس (۱۰٪)، نانوسیلیس (۲٪) و مخلوطی از این دو (۱۰٪ + ۲٪) جایگزین شد. مقاومت فشاری بر حسب تعداد روز در نمودار صفحه بعد نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود افزودن ۲٪ نانوسیلیس در بتن مقاومت فشاری بیشتری نسبت به افزودن ۱۰٪

میکروسیلیس ایجاد می کند. همچنین هنگامی که همزمان از نانوذرات سیلیس و میکروذرات سیلیس استفاده می شود، مقاومت فشاری در بتن به مقدار حداکثر می رسد.



نانوذرات اکسید آهن

مشاهده شده است که استفاده از نانوذرات اکسید آهن در ملات سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری و خمشی و همچنین عامل ایجاد قابلیت خود-پایش (هوشمند بودن) بتن می گردد. توده ملات سیمان که با نانوذرات اکسید آهن مخلوط گردیده است، تحت اثر بارگذاری های مختلف، مقاومت الکتریکی متفاوتی نشان می دهد. وجود این قابلیت فوق العاده گران بهاست و به خصوص برای سازه هایی که از حس گرهای مدفون داخل سازه بهره مند نیستند، قابل استفاده است. با توجه به این خاصیت منحصر به فرد همچنین می توان عملکرد حس گرهای سنجش تنش را بهینه سازی کرد.



مثال: بررسی مقاومت فشاری و کارایی بتن در هنگام استفاده از نانوذرات اکسید آهن

نانوذرات اکسید آهن (Fe_2O_3) با اندازه متوسط ۱۵ نانومتر و با درصدهای وزنی متفاوت (۰/۱٪، ۰/۵٪، ۱/۵٪، ۲/۰٪) تهیه شده و پس از مخلوط شدن با سیمان، تاثیر آنها در مقاومت فشاری و کارایی بتن^۳ مورد بررسی قرار گرفت.

■ بررسی مقاومت فشاری

افزایش مقاومت فشاری در بتن به دلیل مصرف سریع هیدروکسید کلسیم Ca(OH)_2 است که در طی هیدراتاسیون سیمان، به ویژه در مراحل اولیه که واکنش پذیری نانوذرات بالا است، تشکیل می شود. نانوذرات به دلیل سطح مؤثر و واکنش پذیری بالا می توانند با کریستال های هیدروکسید کلسیم واکنش داده و باعث جلوگیری از توسعه کریستال های Ca(OH)_2 و در مقابل افزایش حجم ژل سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H)، مهم ترین عامل ایجاد مقاومت در بتن) شوند. با کاهش مقدار بلورهای هیدروکسید اتصال خمیر سنگ دانه در بتن بهبود یافته و مقاومت بتن افزایش می یابد.

نمونه	نانوذرات Fe_2O_3 (%)	مقاومت فشاری (Mpa)	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
C0	۰	۲۷/۳	۳۶/۸	۴۲/۳	
N1	۰/۵	۳۰/۱	۴۱	۴۴/۵	
N2	۱	۳۱/۲	۴۲/۵	۴۶/۱	
N3	۱/۵	۳۱	۴۱/۹	۴۵/۲	
N4	۲	۲۸/۱	۳۸/۹	۴۳/۸	

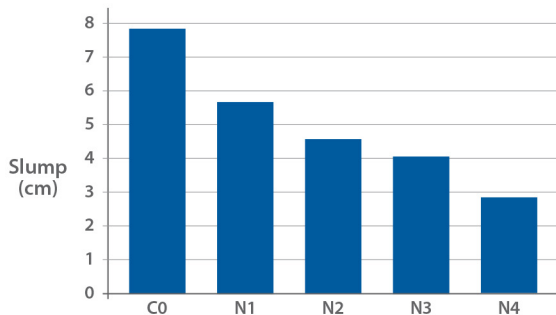
■ بررسی کارایی بتن

بتن با کیفیت بالا باید دارای کارایی قابل قبول ارتفاع فرونشستن^۴ حدود ۶/۵ سانتی متر باشد. با توجه به نمودار، برخلاف مقاومت فشاری، با افزودن نانوذرات اکسید آهن به مخلوط، کارایی بتن کاهش یافته است. دلیل این امر این است که در اثر استفاده از نانوذرات و افزایش سطح پودر، آب بیشتری برای خیس شدن ذرات سیمان لازم است. پس افزودن نانوذرات اکسید آهن تأثیر مثبتی بر کارایی بتن نخواهد داشت.

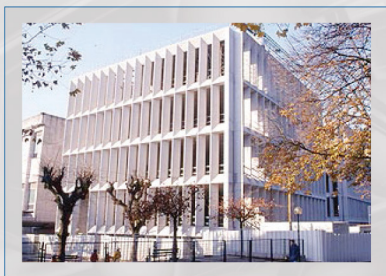


» نمودار ۲. بررسی کارایی بتن با استفاده از مقادیر مختلف نانوذرات اکسید آهن

[۳]



نانوذرات دی اکسید تیتانیوم



شکل ۲. بتن خودتمیز شونده به کار رفته در نمای ساختمان شهر موسیقی و هنرهای زیبا در فرانسه

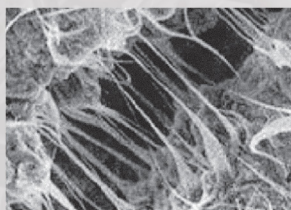
دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) از طریق واکنش های فوتوکاتالیستی قوی قادر به شکستن و تجزیه آلاینده های آلی، ترکیبات آلی فرار و غشای باکتری ها است و به همین دلیل برای ایجاد خاصیت ضد عفونی کنندگی به رنگ ها، سیمان ها و شیشه ها اضافه می گردد. چنانچه از TiO_2 در سطوح بیرونی سازه ها استفاده شود، قادر است غلظت آلاینده های موجود در هوا را کاهش دهد. TiO_2 ماده ای آب دوست است و با اضافه شدن به سطح، موجب ایجاد خاصیت خودتمیز کنندگی در آن می گردد. بتن تولید شده با این ذرات هم اکنون در پروژه هایی در سرتاسر دنیا

در حال استفاده است، این بتن دارای رنگ سفید و درخشندگی خاصی است که سفیدی و درخشندگی خود را به طور موثری حفظ می کند، این در حالی است که سازه های ساخته شده با بتن معمولی فاقد چنین ویژگی هستند. در فرآیند تولید بتن خودتمیز شونده و آلاینده زا، ذرات دی اکسید تیتانیوم در فرم آناناز (یکی از سه فرم معدنی دی اکسید تیتانیوم) مخلوط شده و زمینه ساز شکل گیری فرآیند فوتوکاتالیتیک می شوند که سرانجام منجر به اکسید شدن و تجزیه کثیفی ها و دیگر مواد آلاینده نشسته بر سطح بتن و تبدیل آن ها به مواد بنیادین غیر آلاینده می شوند. پس از تجزیه آلودگی ها، بر اثر ریزش باران یا آب حاصل از شستشو، به دلیل خاصیت آب دوستی سطح بتن، لایه ای نازک از مولکول های آب تشکیل داده و مواد برجای مانده از تجزیه آلودگی ها را شسته و با خود می برند. هم اکنون محصولات خودتمیز کننده و ضد آلاینده بتنی توسط شرکت های مختلف برای استفاده در نمای ساختمان ها و کف پوش های جاده ها تولید می شود و در اروپا و ژاپن بسیار استفاده شده اند. محققان همچنین نشان داده اند که استفاده از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم علاوه بر خاصیت خودتمیز کنندگی، باعث افزایش سرعت هیدراسیون و همچنین باعث افزایش مقاومت خمشی و فشاری بتن نیز می شوند.

نانوالیاف

شکل ۳.

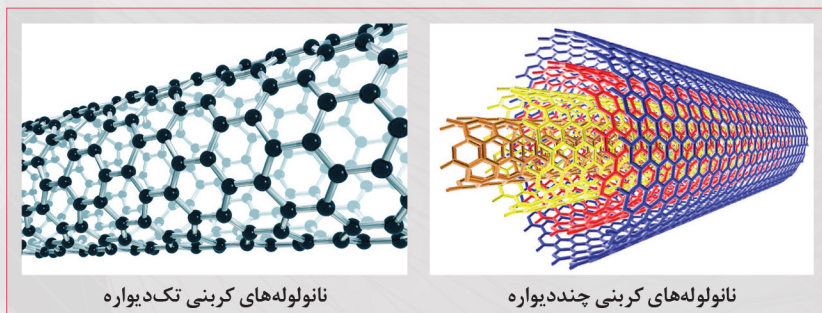
برهم کنش میان نانوالیاف کربنی با ماتریس سیمان با هدف پیشگیری از گسترش ترک های ریز در ساختار سیمان [۴]



نانولوله های کربنی (CNTs) و نانوالیاف کربنی (CNFs) به عنوان گزینه های اصلی فناوری نانو برای مسلح کردن مصالح پایه سیمانی معرفی می شوند. مدول الاستیسیته و مقاومت بسیار بالای این نانو مواد (در حدود تراپاسکال (TPa) در کنار مقاومت کششی عالی (در حدود گیگا پاسکال (GPa) و

مشخصات منحصر به فرد الکتریکی و شیمیایی، پتانسیل بالای نانولوله ها/الیاف کربنی را در ایجاد نسل جدید مصالح پایه سیمانی نشان می دهد. استفاده از این نانو مواد باعث بهبود مشخصات مکانیکی، مقاومت در برابر پخش ترک ها و محافظت در برابر امواج الکترومغناطیس می گردد.

یکی از برجسته‌ترین ویژگی‌های سیمان‌های مسلح‌شده با نانوالیاف کربنی، مقاومت بالای آن‌ها در برابر بروز ترک‌های ریز است. سطح مقاوم و بازداری از بروز ترک در مواد پایه سیمانی، قابلیت صیقل‌پذیری را برای این مواد پدید می‌آورد. بنابراین با استفاده از این مواد، می‌توان سرامیک‌ها و مواد کامپوزیت صیقل‌پذیری تولید کرد که از سیمان‌های مسلح‌شده با نانوالیاف کربنی ساخته شده باشند و به این ترتیب احتمال گسیختگی مواد پایه سیمانی و بتن را به حداقل می‌رساند.

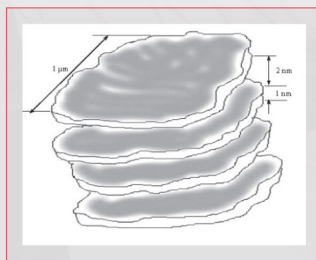


آزمایش‌ها نشان داده است که افزودن نانوالیاف کربنی به سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری از $2/256$ به $1/1113$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع شده است، یعنی افزایشی در حدود 440% [۴].

نانورس‌ها



شکل ۴:
نحوه قرارگیری
نانوصفحات رس

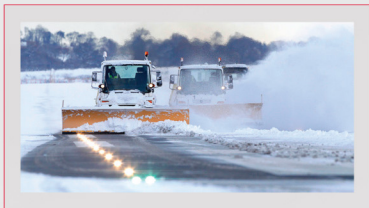


استفاده از ذرات نانورس باعث بهبود رفتار مکانیکی مثل مقاومت در مقابل نفوذ کلریدها، ایجاد بتن خودتراکم، کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود. ابعاد ذرات رس در طبیعت در حد میکرو و ریزتر از میکرو است. ساختار رس شامل لایه‌های کریستالی فیلوسیلیکات آلومینوم با ضخامت تقریبی در حد یک نانومتر است.

تاثیر رس بر روی سیمان موضوع جدیدی نیست و در اکثر کاربردها از رس کلسینه‌شده استفاده می‌شود. با این حال در بازبینی‌های اخیر تمرکز بر روی استفاده از نانوذرات رس در بتن مورد بررسی قرار گرفته است.

نانوبتن هوشمند گرمازا

برف‌روبی و باز کردن جاده‌ها، پل‌ها و باند‌های فرودگاه مسدود شده در اثر بارش برف در زمستان، یکی از چالش‌های بزرگ در زمینه نگهداری مسیرهای ارتباطی در کشورهای سردسیر و برف‌خیز است که هزینه‌های زیادی را به سازمان‌های راهداری تحمیل می‌کند. در همین راستا و به کمک فناوری نانو، نوع جدیدی از بتن ابداع شده که به گونه‌ای هوشمندانه و خودکار، ایمنی راه‌های بتنی را مورد پایش قرار داده و در صورت لزوم مبادرت به یخ‌زدایی



از سطح راه می‌کند. برای تولید انرژی گرمایی و همچنین افزایش قابلیت انتقال حرارتی بتن، از چهار نانوماده می‌توان استفاده کرد. نانومواد TiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و پارافین حاوی نانو کپسول‌های پلیمری، نامزدهای استفاده در بتن‌های حرارت‌زا هستند. البته تنها به استفاده از این نانوذرات در بتن بسنده نمی‌شود، بلکه از الیاف فلزی نیز به منظور توزیع

یکنواخت و همگن حرارت در بتن استفاده می‌شود. الیاف فلزی کارکردی چندمنظوره دارند یعنی، هم عهده‌دار انتقال حرارت می‌باشند، هم تنش‌های حرارتی را جذب می‌کنند و هم بر مقاومت کششی بتن می‌افزایند.

آینده بتن

در دنیای امروز بتن بعد از آب پر استفاده‌ترین ماده در جهان محسوب می‌شود. با استفاده از ویژگی‌های منحصر به فرد این ماده مثل: عمل‌آوری در دمای معمولی، خزش کم، قابلیت شکل‌گیری در قالب‌های پیچیده، مقاومت حرارتی تا دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس، همساز بودن با انواع رشته‌ها و فیبرهای موجود، قابلیت استفاده با نانومواد موجود مثل نانو سیلیکا و مشخصات غیرسمی بتن، می‌توان به صورت موثر برای ساختن ماده‌ای جدید با قابلیت‌های فوق‌العاده به کار رود. به عنوان مثال می‌توان با نانوسیمان‌های فراوری شده، پوسته‌هایی با ضخامت چند میکرون و با شکل‌های مختلف همچون استوانه ایجاد کرد و در اجزای الکترونیکی و سنسورهای حرارت بالا به کار برد. همچنین می‌توان از نانولوله‌های کربنی هم برای افزایش مقاومت بتن و هم برای شکل‌دهی مدارهای الکترونیکی استفاده کرد. یکی از کاربردهای مهم این مواد جدید در پوشش بتن است، پوشش‌های پایه سیمانی موجود می‌بایست ضخیم بوده و برای بهبود چسبندگی آن‌ها نیاز به افزودن مواد پلیمری است. نانوسیمان‌ها یک الگوی جدید در این حیطه ارائه خواهند داد. می‌توان با مواد و تکنیک‌های جدید، پوشش‌های نانومتری با مشخصه‌های خاص مثل مقاومت در برابر سایش، مقاومت در برابر حرارت و پوشش‌ها با خاصیت الکتریکی تولید کرد، همچنین می‌توان پوشش‌هایی ساخت که حرارت کمتری تولید کنند و در نتیجه اصطکاک کاهش یابد. پوشش‌هایی می‌توانند خود تمیز شوند و خود ترمیم‌کننده باشند. سطوح بدون ترک دیگر یک آرزوی دور از دسترس نیست.

وضعیت بتن در ایران

در شرایط فعلی تنوع محصولات در تولید انواع بتن‌های سبک رایج شده است. این محصولات از قابلیت‌های فنی بسیار خوبی برای گسترش و توسعه کمی و کیفی برخوردارند اما به دلایل گوناگون، از جمله محدودیت‌های فنی و عدم ترویج کافی هنوز بصورت گسترده مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. در این راستا انسجام و وجود یک تشکل فراگیر و کشوری جهت هم‌افزایی و هم‌نوایی برای رفع موانع موجود می‌تواند حائز اهمیت بالایی باشد. این تشکل با عنوان انجمن صنفی تولیدکنندگان بتن سبک سلولی ایران در اواخر سال ۱۳۹۰ تأسیس شد. زیرساخت‌های لازم در این انجمن صنفی برای اهداف بلند تحقیقاتی و تجاری به وجود آمده است و یقیناً حضور شرکت‌های بزرگ و معتبر می‌تواند خدمتی شایسته برای توسعه این صنعت در کشور باشد و باعث ارتقاء توان فنی و اداری انجمن و لازمه کسب نتایج پربار شود.

وبسایت	محصولات	نام شرکت
www.nanobeton.ir	ترمیم کننده‌های بتن فوق روان کننده‌های بتن مقاوم کننده‌های سیلیس دارو...	شرکت نانوبتن سپاهان
www.nanobetonamin.com	بتن خودتراکم بتن سبک	نانوبتن امین
www.nanoparse.com	آب‌بند کننده بتن فوق روان ساز بتن نانو سنگ پارسه	نانو پارسه

پی‌نوشت‌ها

- 1 Pozzolanic
- 2 Self-sensing capabilities
- 3 workability
- 4 slump height

منابع

- 1 www.nano.ir
- 2 Mostafa Jalal, Esmaeel Mansouri, Mohammad Sharifipour, Ali Reza Pouladkhan, Materials and Design, 2012.
- 3 Ali Nazari*, Shadi Riahi, Shirin Riahi, Seyedeh Fatemeh Shamekhi and A. Khademno, Journal of American Science, 2010.
- 4 Abdullah Keyvani, Huge opportunities for industry of nanofibrous concrete Technology, 2007.
- 5 www.google.com/patents/US7666327

مجموعه نرم‌افزارهای «نانو و صنعت»



مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌ها و 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»، «نساجی»، «ساخت‌وساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ - www.nanosun.ir



■ تصفیه آب با استفاده از غشاء پلیمری نانوفیلتراسیون
 ■ نانو حسگرها جهت آزمایش‌های بیوشیمیایی
 متداول خون (تعیین میزان قند، چربی و...)
 ■ نانو کامپوزیت‌های زیست تخریب پذیر برای
 بسته بندی مواد غذایی
 ■ کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های خود تمیز شوند
 ■ کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های ضدخش
 ■ فناوری نانو در رنگ‌های آنتی باکتریال
 ■ 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 هوا
 ■ کاربرد فناوری نانو در بتن‌های سبک

■ نماهای کامپوزیتی نانویی
 ■ کاربرد پوشش‌های نانو در لوله‌های آب گرم
 ■ ظروف آشپزخانه با پوشش نانویی
 ■ تکمیل ضد آتش و دیر سوزی منسوجات
 ■ نانوذرات لیپیدی، سامانه‌ای جدید برای دارورسانی
 ■ نانومیسل‌ها و نقش آنها در رهایش دارو
 ■ نانوبلورهای دارویی فرمولاسیون جدید داروهای
 کم‌محلول
 ■ نقش فناوری نانو در توسعه پچ‌های پوستی
 ■ کاربردهای فناوری نانو در سیمان حفاری
 ■ کاربردهای فناوری نانو در گل حفاری
 ■ کاربردهای فناوری نانو در صنعت نساجی
 ■ بهره‌گیری از جاذب‌های نانو بر پایه آئروژل‌ها در
 حذف آلاینده‌های نفتی و تصفیه پساب‌های صنعتی
 ■ کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های آنتی استاتیک
 ■ داروهای متصل شده به پاد تن

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

تلفن: ۰۲۱-۶۳۱۰۰
 نمابر: ۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
 پایگاه اینترنتی: www.nano.ir
 صندوق پستی: ۱۴۵۶۵-۳۴۴

طراحی و اجرا: توسعه فناوری مهر ویژن
 نظارت: داود قراپلو
report@nano.ir
 تهیه کننده: شرکت توسعه نانوفناوری افشار
civil@nano.ir