

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۵۰

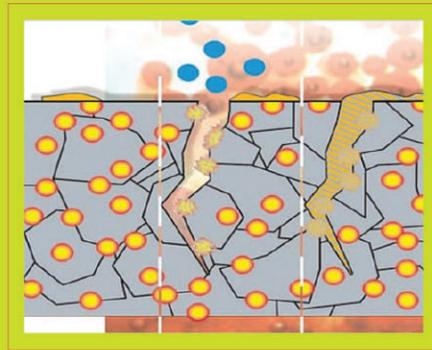
کاربرد فناوری نانو در سازه‌های بتنی هوشمند با قابلیت خودترمیم‌شوندگی

سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست



فناوری نانو فهم و به کارگیری خواص جدیدی از مواد و سیستم ها در ابعاد نانومتری است که اثرات فیزیکی



جدیدی از خود نشان می دهند. فناوری نانو موج چهارم انقلاب صنعتی، پدیده ای عظیم است که در تمامی گرایش های علمی راه یافته و از فناوری های نوینی است که با سرعت هرچه تمام تر در حال توسعه است.

در دهه های اخیر تحقیقات گسترده ای بر کاربرد فناوری نانو در حوزه های مختلف صنعت ساختمان و از جمله بتن انجام شده است. تا کنون فناوری نانو در صنعت بتن امکان بهبود مشخصات بنیادی بتن، نظیر

مقاومت، دوام، سبکی، انعطاف پذیری، نفوذناپذیری، تولید بتن هایی با قدرت عایق صوتی و حرارتی بالا و خودتمیز شونده گی را به اثبات رسانده است. خودترمیم شونده گی بتن نیز یکی دیگر از کاربردهای فناوری نانو در صنعت بتن است. واژه خودترمیم شونده گی به معنی توانایی ماده برای بازسازی تخریب است. تولید و توسعه بتن های خودترمیم برای ساخت سازه های حساس شهری که هزینه های گزاف ترمیم را در درازمدت در پی خواهد داشت، بسیار حائز اهمیت است.

دلایل استفاده از بتن خودترمیم شونده

کنترل و جلوگیری از بروز ترک، یکی از مشکلات اصلی در هر سازه بتنی است. ترک خوردگی در بتن ممکن است به صورت داخلی تحت تاثیر مصالح تشکیل دهنده ی خود بتن صورت گرفته و یا تحت اثر عوامل و محیط خارجی نظیر محیط های شیمیایی خورنده، نفوذ نمک ها و اسیدها، اثرات جوی و محیطی، تغییرات شدید دمایی و فشارهای وارد بر بتن ایجاد گردد. حتی وجود ترک های ریز میکروسکوپی در ناحیه ی کششی بتن که امر



بدیهی تلقی می‌شود در شرایطی ممکن است عملکرد سازه بتنی را مختل نماید، زیرا ترک‌ها مسیرهایی ساده برای نفوذ مواد خورنده نظیر یون کلر، نفوذ نمک‌ها و یا پدیده‌ی کربناسیون در بتن هستند. خوردگی آرماتورهای فولادی موجود در بتن به مرور زمان منجر به نابودی یک مجموعه‌ی عظیم بتنی می‌گردد. وقوع خوردگی در سطح آرماتور منجر به ترک خوردن بتن می‌شود. این موضوع علاوه بر تخریب زیرساخت بتنی، شرایط را برای خوردگی بیشتر آرماتور نیز مهیا می‌کند. این پدیده معضلی اجتناب ناپذیر در سازه‌های بتنی است و در خصوص سازه‌های غوطه‌ور در آب‌های دریایی تشدید می‌شود. از این رو حفاظت از آرماتورهای موجود در این بتن‌های آرمه بسیار حائز اهمیت است.

بنابراین خودترمیم‌شوندگی یکی از ارزشمندترین پدیده‌هایی است که برای غلبه بر مشکل کاهش یکپارچگی عملکردی (که بر اثر آسیب دیدن مواد رخ می‌دهد)، به کار می‌رود. فرآیند خودترمیم‌شوندگی، باید بلافاصله پس از وقوع آسیب، به‌طور خودکار انجام شود و محدوده‌ی آسیب‌دیده، یکپارچگی خود را شبیه آنچه پیش از آسیب دیدن داشت، به‌دست آورد. در نتیجه ورود فناوری نانو به صنعت بتن با پیدایش کامپوزیت‌های خودترمیم، تداعی‌کننده‌ی ساخت سازه‌های هوشمند با شناسایی خرابی و ترمیم خود به‌خودی است.

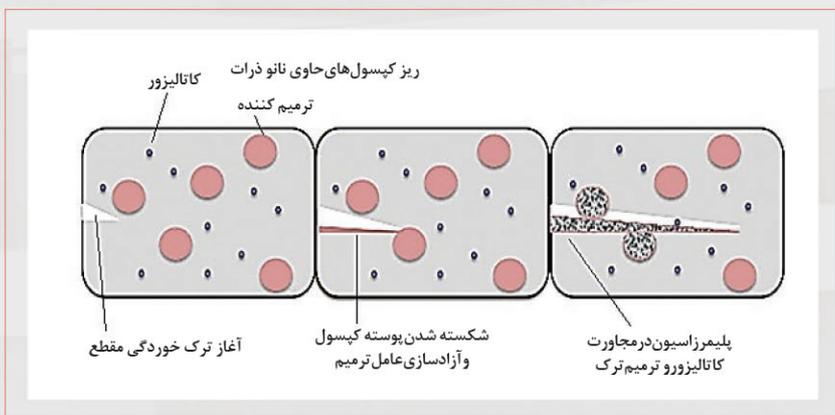
فناوری نانو و روش‌های ساخت بتن خودترمیم‌شونده

فناوری نانو با چشم‌انداز جدیدی از تولید مواد در مقیاس نانو، دستیابی به این نوع سازه‌های بتنی را فراهم نموده است. در این نوشتار به بیان روش‌های نوین فناوری نانو در تولید سازه‌های بتنی خودترمیم و چگونگی عملکرد آن‌ها پرداخته شده است.

۱ استفاده از نانو مواد خودترمیم در ساخت میکروکپسول‌ها

یکی از رویکردهای تولید مواد و مصالح هوشمند خودترمیم‌کننده، قرار دادن کپسول‌های کوچکی در ساختار مواد است که به‌هنگام بروز ترک در ماده، این کپسول‌ها شکسته شده و با آزاد شدن نانو مواد درون کپسول‌ها، ترک بسته شده و از رشد و گسترش آن جلوگیری می‌شود. میکروکپسول‌های حاوی عامل ترمیمی، معمولاً از نوع نانوذرات پلیمری هستند که به‌همراه ذرات کاتالیزور در بتن استفاده می‌شوند. بنابراین محتویات درون کپسول‌های نهفته در ماده و کاتالیزور توزیع شده در سرتاسر ماتریس، می‌توانند عملیات ترمیم ترک را انجام دهند. زمانی که ترک به بدنه یکی از این کپسول‌ها برسد مواد آزاد شده از کپسول با ذرات کاتالیزور پراکنده در ماتریس پلیمر، واکنش انجام داده و فضای ترک را پر می‌کنند.

در مطالعات صورت گرفته، نانوکامپوزیت‌های مختلفی مانند پلی‌اتیلن-کربن سیاه^۲، سیلیکا-متاکریلات بوتیل^۳، اپوکسی-پلی‌انیلین-کامفور سولفونات^۴ و اپوکسی-نانورس^۵ به‌عنوان عامل ترمیم‌کننده در بتن استفاده شده‌اند. این پوشش‌های هوشمند با قابلیت خودترمیم‌شوندگی از سطح در برابر خوردگی و ترک محافظت می‌کنند و در صورت آسیب دیدن، موجب ترمیم ترک می‌شوند.



شکل ۱. در این روش با الهام گرفتن از نقش گلبول های قرمز در لخته شدن خون، کپسول های بسیار ریز حاوی نانو مواد ترمیم کننده به بتن تزریق می شوند. میکروکپسول های کروی همانند گلبول های قرمز و کاتالیزور نقش پلاکت در فرآیند لخته شدن خون به هنگام ترمیم یک بریدگی در پوست را شبیه سازی می کند [۱]

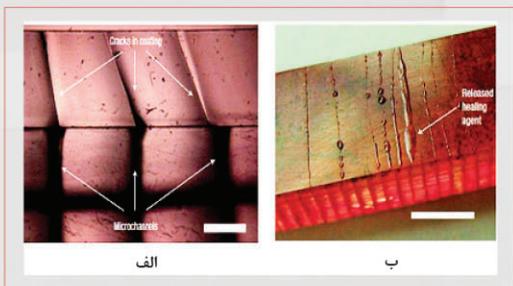
۲ استفاده از نانو مواد خود ترمیم در شبکه مویرگی

یکی دیگر از روش های خود ترمیم شونده بتن، استفاده از شبکه مویرگی در بتن است. در این روش از یک شبکه مویرگی برای انتقال نانو مواد عامل ترمیم با تکیه بر خاصیت مویبندی، از منبع به محل ترک خورده و پلیمرزاسیون در مجاورت کاتالیزور و در نتیجه ترمیم ترک استفاده می شود.

همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، در طراحی شبکه مویرگی، پوشش اپوکسی بر روی زیر لایه های انعطاف پذیر با شبکه ای مویرگی پوشش داده شده و مایع خود ترمیم و ذرات ریز کاتالیزور در سراسر شبکه ی مویرگی داخل پوشش قرار می گیرند. زمانی که ترک در سطح پوشش ایجاد می شود تنش کششی در شبکه افزایش یافته و عامل خود ترمیم از طریق عمل مویرگی و بدون هیچ گونه فشار خارجی، از میکرو کانال ها به ترک می رسد و باعث ترمیم ترک می شود (شکل ۳).



شکل ۲. ساختار خود ترمیم با شبکه مویرگی. استفاده از زیر لایه مویرگی و پوشش اپوکسی شکننده حاوی عامل کاتالیزور [۶]

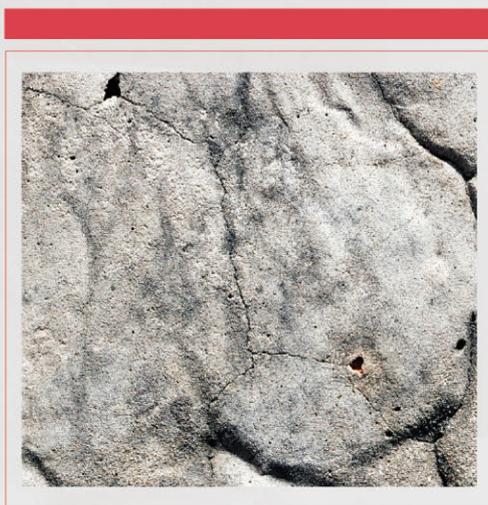


شکل ۳. تصویر مقطعی با بزرگ‌نمایی بالا از ترک ایجاد شده در پوشش یا شبکه مویرگی و انتقال عامل خودترمیم از طریق میکروکانال‌ها به ترک‌های موجود در سطح، (ب) نحوه ترمیم‌شوندگی بعد از ایجاد ترک [۶]

۳ روش انتخابگر ناحیه گرمایی

یکی دیگر از سیستم‌های کارا و هوشمند، استفاده از سیستم انتخابگر ناحیه گرمایی است. این سیستم از دو بخش اصلی تشکیل شده است:

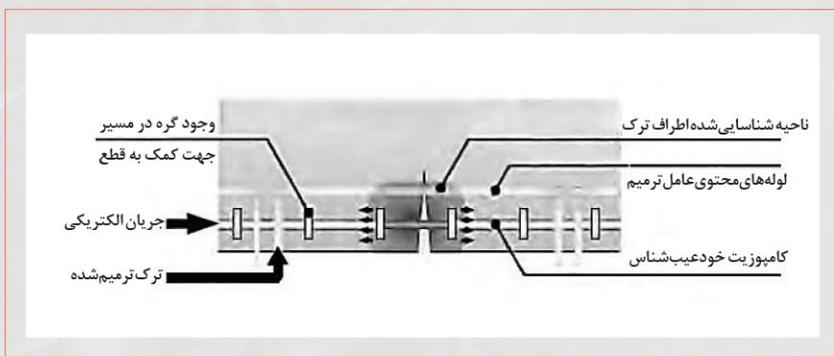
۱ کامپوزیت‌های خودعیب‌شناس^۶ که از نانو الیاف (مانند Al_2O_3) و نانو مواد هادی جریان الکتریسیته (مانند RUO_2) ساخته شده است که قابلیت یک کرنش سنچ را هم داراست.



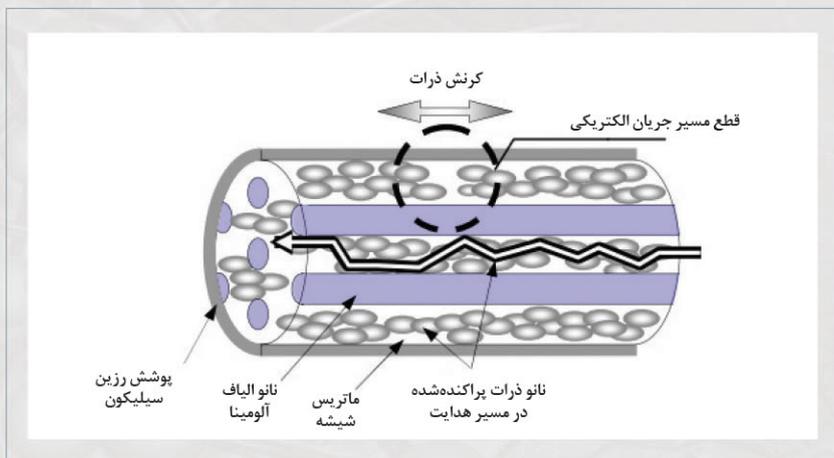
۲ بخش ترمیم‌کننده که به صورت

لوله‌هایی از جنس مصالحی با خاصیت قابلیت ارتجاعی در اثر حرارت^۷ و محتوی نانو مواد عامل ترمیم است، به گونه‌ای که تا قبل از گسترش هرگونه ترک‌ی از خروج عامل ترمیم جلوگیری می‌کند. زمانی که ترک‌ی در قطعه رخ می‌دهد، بخش اول به صورت حسگر، کرنش جزئی در محل ترک را شناسایی کرده و با فرستادن پیام به بخش ترمیم‌کننده، عامل ترمیم‌کننده آزاد شده و ترک را ترمیم می‌کند. مکانیزم فرستادن پیام به صورت قطع قسمتی از جریان در محدوده‌ی آسیب‌دیده و افزایش مقاومت الکتریکی و در نتیجه افزایش دما و

ذوب پوسته‌ی محتوی عامل ترمیم می‌باشد. طراحی این سیستم که برای ترمیم از انرژی گرمایی، جهت آزاد شدن عامل ترمیم محسوس شده در روکش استفاده می‌شود، با حساسیت‌های زیادی همراه است. به طوری که بالا رفتن دما در بتن نباید منجر به تبخیر آب درونی و از هم پاشیدن ساختمان درونی و یا هر فرآیند زیان‌آور دیگری برای خواص مقاومتی و عملکردی بتن گردد.



شکل ۴. سیستم خود ترمیم شونده [۷]



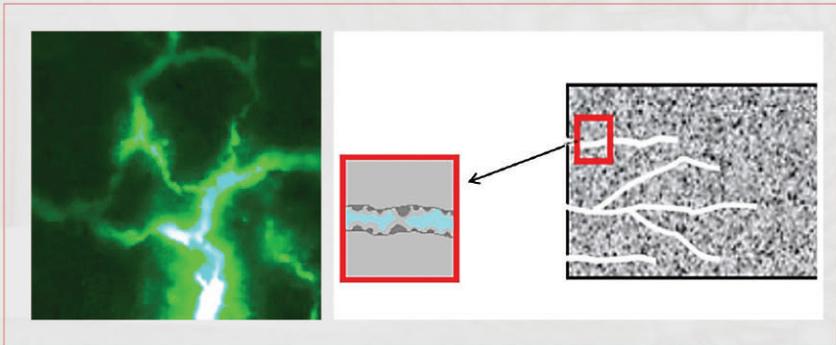
شکل ۵. ساختار کامپوزیت خود عیب شناس [۷]

نمونه‌ای از محصولات تجاری با قابلیت خودترمیم‌شوندگی

Battelle Smart Corrosion Detector

محصول تولید شده در مرکز تحقیقات Battelle، به صورت پودر است که می‌توان آن را با مواد مورد استفاده در پوشش دهی ترکیب و روی سطح اعمال کرد. این پودر هوشمند که دارای قابلیت خود ترمیم شوندگی است، به راحتی نواحی خورده شده را شناسایی کرده و پیش از آن که خوردگی به قدری افزایش یابد که قابل مشاهده با چشم غیر مسلح باشد، آن را ترمیم می‌کند. نانو ذرات مورد استفاده در این پودر، محل‌های کوچک خوردگی را یافته و به سرعت آنها را ترمیم کنند. این کار موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه و موجب محافظت از

سازه‌های در معرض خوردگی می‌شود. این محصول برای حفاظت از خطوط لوله و زیرساخت‌های صنعتی و خانگی مناسب است. نکته‌ی جالب توجه این است که این پوشش فلورسانس است و می‌توان با استفاده از میکروسکوپ نوری آن‌ها را روی سطح مشاهده کرد. برای مثال می‌توان با یک دستگاه کوچک قابل حمل، سطوح مورد نظر را بازرسی کرد و وجود خوردگی‌ها را در سطح، پیش از این که به مراحل پیشرفته برسد، مشاهده نمود [۸].



شکل ۶. مشاهده پوشش‌های هوشمند فلورسانس در ترک‌ها، با استفاده از نور UV [۸]

NANOMYTEC 5001 ■



نانوپوشش NANOMYTEC 5001 توسط شرکت ان‌ای‌آی^۸ با قابلیت خودترمیم‌شوندگی به بازار عرضه شده‌اند. این محصول یک پوشش شفاف مبتنی بر فناوری نانو بوده که می‌توان آن را با روش‌هایی چون غوطه‌وری و اسپری کردن روی سطح مورد نظر اعمال کرد. به منظور جلوگیری از خوردگی این نانوپوشش را می‌توان برای محافظت فولاد گالوانیزه شده، سطوح حاوی پوشش از جنس روی، محافظت سازه‌های بدون محافظ نظیر شبکه‌های نورسانی خیابانی، سخت‌افزارها

نظیر بیچ، مهره، لوله، قطعات خودرو و تجهیزات کشاورزی استفاده کرد. این پوشش می‌تواند مقاومت فولاد را در برابر خوردگی تا ۳ برابر افزایش دهد. تست اسپری نمک (بر اساس استاندارد SST, ASTM B117) روی این پوشش انجام شده است. نتایج نشان داد که فولاد دارای روکش گالوانیزه تا ۲۴ ساعت سفید خواهد ماند و زنگ نمی‌زند و بعد از ۱۶۸ ساعت زنگ زده شده و به رنگ قرمز در خواهد آمد. در حالی که با استفاده از نانو پوشش NANOMYTEC با قابلیت خودترمیم‌شوندگی در برابر خوردگی، فولاد تا ۵۰۴ ساعت مقاومت خواهد کرد. از مزایای این پوشش می‌توان به سهولت کاربرد، ارزانی و مقاومت بالا در برابر خوردگی آن اشاره کرد [۹].

شکل ۷. مقایسه سطح بدون پوشش و سطح پوشش داده شده با TC 5001 بر روی پیچ‌هایی با جنس روی بعد از ۵۰۴، ۳۳۶، ۱۶۸، ۲۴ ساعت [۹]



آینده پوشش‌های خودترمیم

خوردگی یکی از مشکلات اساسی در بسیاری از صنایع و امور عمرانی است. هزینه‌های نگهداری برای سازه‌های بتنی، خوردگی آماتورهای فولادی موجود در بتن، خوردگی لوله‌ها و غیره هر ساله هزینه‌های زیادی را به دنبال دارد. برای مثال، در اروپا ۵۰ درصد از بودجه ساخت‌وساز سالانه صرف بازسازی و تعمیر سازه‌های موجود می‌شود [۱۰]. همچنین طبق گزارش NACE و CC هزینه‌های مربوط به خوردگی در صنعت خطوط لوله هر ساله در نقاط مختلف حدود ۵/۴ تا ۸/۶ میلیارد دلار برآورد شده است [۱۱]. بنابراین استفاده از روش‌های جدید مانند پوشش‌های خودترمیم جهت بهبود روش‌های تشخیص و پیشگیری از خوردگی، می‌تواند هزینه نگهداری و تعمیرات را به میزان زیادی کاهش داده و صرفه‌جویی اقتصادی زیادی را به همراه داشته باشد.



پی‌نوشت‌ها

- ۱ Self-Repairing, Self-Healing
- ۲ Polyethylene- Carbon Black nanocomposites
- ۳ Silica- butyl methacrylate nanocomposites
- ۴ epoxy/polyaniline- camphorsulfonate nanocomposite
- ۵ epoxy/nanoclay nanocomposite
- ۶ Self-diagnostic
- ۷ Thermoplastic
- ۸ NEI

مراجع

- ۱ V Amendola, M Meneghetti, Self-healing at the nanoscale, The Royal Society of Chemistry 2009.
- ۲ X Wang, J Zhao, M Chen, L Ma, X Zhao, Zh-M Dang, Zh Wang, Improved Self-Healing of Polyethylene/Carbon Black Nanocomposites by Their Shape Memory Effect, J. Phys. Chem. B, 2013.
- ۳ T Enge, G Kickelbick, Self-healing nanocomposites from silica – polymer core – shell nanoparticles, 2013.
- ۴ S Pour-Ali, Ch Dehghanian, A Kosar, Corrosion protection of the reinforcing steels in chloride-laden concrete environment through epoxy/polyaniline–camphorsulfonate nanocomposite coating, Corrosion Science, 2015.
- ۵ J Asadi, N. G Ebrahimi, M Razzaghi-Kashani, Self-healing property of epoxy/nanoclay nanocomposite using poly(ethylene-co-methacrylic acid) agent, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2015.
- ۶ K Tooley, S White, N Sottos, J Lewis, J Moore, Self-healing materials with microvascular networks, nature, 2007.
- ۷ T Nishiwaki, H Mihashi, B-K Jang, K Miura, Development of self-healing system for concrete with selective heating around crack, Journal of Advanced Concrete Technology, 2006.
- ۸ www.battelle.org
- ۹ www.nanotech-new.com
- ۱۰ B Hilloulin , K Tittelboom, N Belie, A Loukili, Design of polymeric capsules for self-healing concrete, 2015.
- ۱۱ www.pipelineandgasjournal.com

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»، «ساخت و ساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ - www.nanosun.ir





- 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
- کاربرد فناوری نانو در بتن
- نانولپوزوم‌ها و نقش آنها در رهایش دارو
- کاربرد 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 غشاهای نانولوله کربنی جهت نمک‌زدایی و تصفیه آب
- کاربرد فناوری نانو در کاشی و سرامیک
- خشک کردن انجمادی پاششی
- غنی‌سازی محصولات کشاورزی با نانوکودهای کلاته آهن و روی
- کاربرد فناوری نانو در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت خام
- کیتوسان پلیمری زیست تخریب پذیر در سامانه‌های دارورسانی
- فناوری نانو و بتن‌های ویژه
- کاربرد فناوری نانو در آنالیزگرهای جدید صنایع بالادستی نفت
- کاربردهای فناوری نانو در بخش انتقال شبکه برق‌رسانی
- فناوری نانو و توسعه آن در کشاورزی
- نقش فناوری نانو در ارتقای کیفی سیمان و مصالح پایه سیمانی
- روش تغییر شکل پلاستیک شدید (SPD) در تولید فلزات نانوساختار
- آلیاژسازی و فعال‌سازی مکانیکی، فناوری تهیه نانو مواد
- منسوجات ضد میکروب

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا: توسعه فناوری مهرویژن
 نظارت: داود قراپلو
 report@nano.ir
 تهیه‌کننده: توسعه نانوفناوری افشار
 civil@nano.ir
 تلفن: ۰۲۱-۶۳۱۰۰
 نمابر: ۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
 پایگاه اینترنتی: www.nano.ir
 صندوق پستی: ۱۴۵۶۵-۳۴۴