



IN THE NAME OF GOD



# فناوری نانو در صنعت ساختمان



ریاست جمهوری  
معاونت علمی و فناوری  
ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

عنوان: فناوری نانو در صنعت ساختمان و کاربردهای آن

تنظیم و تدوین: کارگروه صنعت و بازار ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

نشانی: تهران، خیابان ستارخان، خیابان شهید حبیب الهی - بلوار شهید متولیان - پلاک ۹

صندوق پستی: ۱۴۵۶۵-۳۴۴

تلفن: ۶۱۰۰۲۲۵۱-۴

دورنگار: ۶۱۰۰۲۲۲۲

پایگاه اینترنتی: [www.nano.ir](http://www.nano.ir)

پست الکترونیکی: [im@nano.ir](mailto:im@nano.ir)





## مقدمه

انقلاب فناوری نانو تأثیر شگرفی بر زمینه‌های مختلف علمی، مهندسی و تجاری داشته است که از جمله این زمینه‌ها حوزه ساخت و ساز است. ویژگی‌های منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی مواد نانومقیاس می‌تواند منجر به بهبود قابل ملاحظه در ویژگی‌هایی همچون قابلیت کاتالیز، رسانایی (الکتریکی و حرارتی)، استحکام مکانیکی و حسگری آپتیکی شده و امکان توسعه کاربردهایی همچون کاتالیزورها، ابزارهای الکترونیکی و ذخیره‌کننده انرژی، مواد پیشرفته مکانیکی و حسگرها را فراهم نماید.

به دنبال ظهور کاربردهای فناوری نانو در صنایع زیست‌پزشکی و الکترونیک، اخیراً صنعت ساخت و ساز نیز به دنبال بهبود ویژگی‌های مواد ساختمانی معمول با استفاده از نانومواد بوده است. نانومواد مختلف می‌توانند مشخصات بنیادی مواد ساختمانی همچون استحکام، دوام، و سبکی را بهبود بخشیده و ویژگی‌ها و کارکردهای مفیدی همچون عایق‌بندی حرارتی، خودپاک‌شوندگی و ضدمه بودن را در آنها ایجاد نمایند. این مواد می‌توانند به عنوان قطعه اصلی حسگری در پایش ایمنی ساختمان‌ها و سلامت ساختارها مورد استفاده قرار بگیرند.

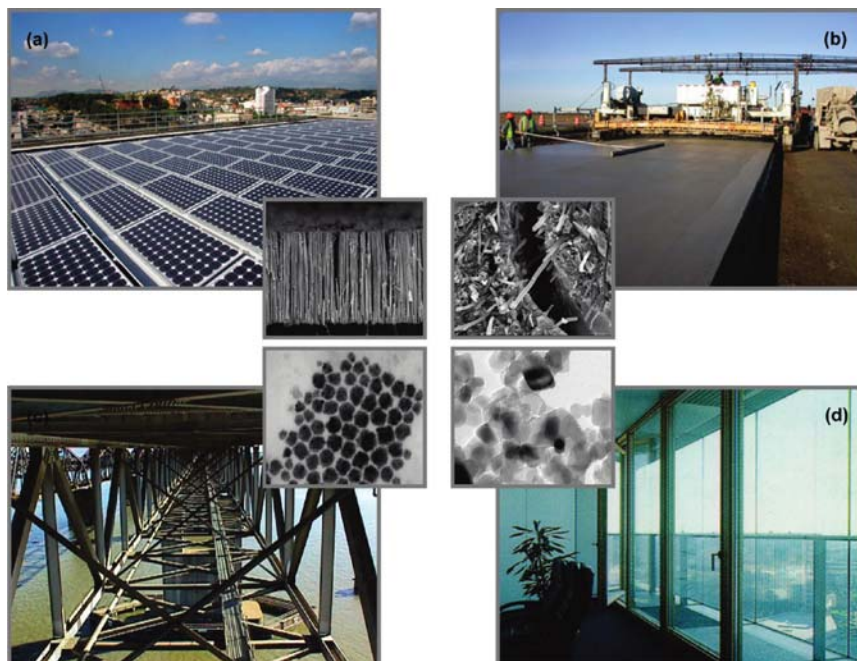
با وجود قیمت نسبتاً بالای محصولات توانمند شده با نانو، به احتمال زیاد کاربرد آنها در مواد ساختمانی به دلایل زیر افزایش خواهد یافت:

(۱) ایجاد ویژگی‌های بسیار ارزشمند با اضافه کردن مقدار بسیار کمی افزودنی؛

(۲) توسعه سریع کاربردهایی که از ویژگی‌های نانومقیاس بهره می‌برند؛

(۳) کاهش قیمت نانومواد در اثر افزایش مقیاس تولید.

نانومواد می‌توانند کاربردهای مختلفی در حوزه ساخت و ساز داشته باشند که شامل سه بخش کلی ویژگی‌های ساختاری بسیار عالی، رنگ‌ها و روکش‌های کارکردی و ابزارهای حسگری و فعال‌سازی با تفکیک‌پذیری بالا هستند.



پوشش‌های شفاف و خودآرا که موجب ایجاد مزیت‌های کاربردی برای سطوح می‌شوند، کاربردهای گسترده‌ای دارند. سطوح در واقع اجزایی هستند که از نظر شیمیایی فعال بوده و به منظور تقویت ویژگی‌های سطحی خاص می‌توان به وسیله سایر عوامل مانند عوامل شیمیایی و پلیمرهای طراحی شده آنها را بهبود بخشید. روش‌های بهبوددهی می‌تواند سطوح بی‌اثر را به آسانی از نظر شیمیایی فعال نماید و این در واقع هنر فناوری نانو می‌باشد. برخی نانوروش‌ها نیز ویژگی‌های خاصی مانند خودبهبودی و مقاومت در برابر خوردگی و خش را دارا خواهند بود.

اکثر پوشش‌هایی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، اصطلاحاً «خاموش» هستند، یعنی تنها قابلیت اعمال خاصیت اولیه خود را دارند بدون اینکه توانایی سازگاری با محیط و اصلاح خواص در اثر تغییر شرایط محیط را داشته و یا بتوانند عیبه‌ها و نقایص بالقوه مانند مشکلات خوردگی را به کاربر اطلاع دهند. پوشش‌های مبتنی بر فناوری نانو، امکان دسترسی به قابلیت‌های چند منظوره را فراهم می‌نمایند؛ بدین معنی که می‌توانند حداقل دو ویژگی همزمان مانند مقاومت بالا در برابر خوردگی و آب‌گریزی یا ابرآب‌گریزی (در زوایای تماس ۱۰۰ تا ۱۷۰) را داشته باشند.

در حال حاضر سیستم‌های پوشش‌دهی یک طرفه<sup>۱</sup> مبتنی بر نانومواد استفاده می‌شود؛ مانند پوشش‌های ضدآتش، یا پوشش‌های رسانا و یا پوشش‌هایی که قابلیت حس کردن خوردگی بالقوه را دارند. اما سیستم‌های دوطرفه<sup>۲</sup> مانند موادی با حافظه هندسی<sup>۳</sup> و پوشش‌هایی با قابلیت تغییر خاصیت آب‌گریزی - آب دوستی و پوشش‌های حاوی ذرات ترموکرومیک، چالش برانگیزتر هستند.

---

۱- One way

۲- Two way

۳- Shape – memory



توانایی کنترل پوشش‌های سطح در مقیاس نانو، از عوامل مهم توسعه صنعتی فناوری نانو به شمار می‌رود. در حال حاضر روش‌های فیزیکی و شیمیایی زیادی برای تولید لایه‌ها و پوشش‌ها در ابعاد نانو و کنترل نانومتری ساختار و گروه‌های عاملی، وجود دارد. با این وجود، افزایش مقیاس برای این روش‌ها همچنان یک چالش جدی است.



# نانوروش ها در صنعت ساختمان

## روکش های انسدادی

### • مقاومت در برابر آتش



ثابت شده است که افزودنی های نانو همچون نانوذرات می توانند به عنوان عوامل ضد آتش در پلیمرها به کار رفته و یا عملکرد عوامل ضد آتش فعلی را بهبود بخشند. این نانوکامپوزیت ها بر تشکیل پوسته تأثیر گذاشته و به عنوان مانعی در برابر گازهای ناشی از حرارت عمل می کنند. به علاوه این افزودنی ها از چکیدن

پلیمرهای در حال سوختن جلوگیری می کنند؛ هر دوی این پدیده ها برای مهار آتش ضروری هستند.

## • محافظت در برابر آتش

پنجره‌های مقاوم در برابر آتش دارای یک ژل شفاف میان دو لایه شیشه هستند. هنگام آتش سوزی، این ژل متورم شده و یک فوم مستحکم مات ایجاد می‌کند. نانوذرات سیلیکای پخش شده می‌توانند مدت زمان حفاظت در برابر آتش را افزایش دهند.

تست‌های سرعت نفوذ اکسیژن (OTR) که پس از خمش Gelbo صورت گرفته‌اند، بسیار نویدبخش بوده‌اند. این تست‌ها که روی فیلم بدون بستر انجام شده‌اند نشان می‌دهند که عملکرد این فیلم‌ها در برابر ترک خمشی بهتر از اکسیدهای فلزی است. تست‌های بیشتر با استفاده از ساختارهای ۲ تا ۳ لایه‌ای در حال انجام هستند.

فناوری نانو روش‌های متنوعی برای توسعه مواد ضد آتش (ضد حریق) و بهبود خواص آن و به عنوان جایگزین مواد آلاینده (که در این زمینه استفاده می‌شده است)، عرضه می‌کند. نقطه عطف تحقیقات، ذرات سیلیکات نانو ساختار هستند (نانو رس)<sup>۱</sup> که به عنوان پرکننده پلیمرها و برای بالا بردن خواص ضد آتش و مقاومت در برابر حرارت استفاده می‌شود. در ساختمان، پلیمرها در پوشش کابل‌ها، نقش مهمی را ایفا می‌کنند (برای مثال در فیوز، پریز برق و محفظه لامپ‌ها و ...). خاصیت ضد حریق کامپوزیت‌های نانو رس نشانگر این مسأله است که هم اتلاف حرارت و توسعه دود به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و هم زمان ایجاد جرقه (جرقه زنی) به تعویق می‌افتد.

از دیگر جنبه‌های کاربردی پوشش ضد حریق برای چوب، فلز، پلاستیک یا بتن است که توسعه آتش در مصالح به وسیله این نوع پوشش به تأخیر می‌افتد و مانع گسترش کنترل نشده آتش می‌شود.

پتانسیل‌های کاربردی فناوری نانو؛ در این بخش از مواد پوششی نانو ذره که می‌توانند مایع یا پلاستیکی باشند، برای محافظت مصالح استفاده می‌شود. در یک پوشش سرامیکی، در صورت بروز آتش در چند ثانیه، عایق حرارتی عمل می‌کند و از گسترش دود به شدت جلوگیری می‌شود. با استفاده از نانو پودرها، دمای انجماد کاهش می‌یابد و پوشش با شتاب بیشتری شکل می‌گیرد. به طوری که هم‌زمان با تولید گازهای به دام افتاده، محصولات احتراقی و حباب‌های آب، عایق حرارتی ثانوی عمل می‌نماید.

از جمله مزیت‌های دیگر سیستم ضد حریق، انطباق خوب آن با محیط (بدون-هالوژن، Halogen-free) و مقاومت بالا در برابر نور و سایش است. خواص ضد حریق پشم به عنوان عایق بام در دمای ثابت، می‌تواند به‌وسیله‌ی اتصالات غیر سمی برپایه سطوح اصلاح شده حاوی ذرات  $\text{SiO}_2$  نانو مقیاس به طور قابل توجهی افزایش یابد. با استفاده از اتصالات ویژه نانویی حاوی سیلیس (سیلیس پایه)، قابلیت اشتعال الیاف آلی طبیعی (کاه، کنف و ...) به شدت کاهش یافته و قابلیت کاربرد به عنوان مواد سبک را پیدا می‌کند.

در مورد جداره‌های شیشه‌ای نیز، فناوری نانو به بهبود عمل حفاظت در مقابل آتش (مقابله با آتش) کمک می‌کند. در زمینه مقابله با آتش، همیشه برای شیشه یک نکته منفی وجود دارد و آن شکنندگی، شعله‌ور شدن و نشر دود ناشی از ذوب شیشه در هنگام وقوع حریق است. با استفاده از نانو ذرات، می‌توان شیشه‌های ضد حریق به وجود آورد که در اثر حرارت یک پوشش اسفنج مانند (فوم مانند) را تشکیل می‌دهند که محافظت بهتری را در برابر آتش انجام می‌دهد.



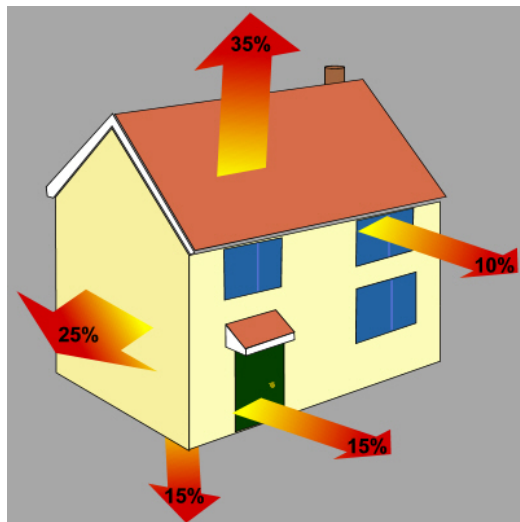
ژل‌های ضد آتش بر مبنای نانو ذرات اصلاح شده  $\text{SiO}_2$  خاصیت ضد آتش جداره‌ها را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهند. در هنگام وقوع حریق یک لایه اسفنجی پایدار به وجود می‌آید که از سطح شیشه جدا نمی‌شود.

(منبع: INM, Saarbrücken, Evonik).

آئروژل‌های سیلیکاتی نیز دارای خاصیت فوق العاده عایق حرارت و صوت بوده و بسیار سبک می‌باشند و در نما و شیشه‌های دو جداره برای افزایش خاصیت عایق

این جداره‌ها در مقایسه با نمونه‌های قبلی (تکنیک‌های گذشته) تقریباً ۵۰٪ سبک‌تر هستند و اثر ضد حریق آن‌ها ۲ برابر است. بر مبنای این روش، یک نانو ژل شفاف ساخته می‌شود که فضای بین دو جداره خارجی از آن پر می‌شود و با قرارگیری در معرض حرارت یک فوم سرامیکی سخت و ریز حفره (ریز متخلخل) با خواص عایقی بالاتری تولید می‌کند. به دلیل کوچکی ذرات نانو موجود در ژل، پراکندگی نور کاهش می‌یابد و این امر سبب می‌شود تا شفافیت جداره‌های ضد حریق حفظ شود. شیشه‌های ضد حریق به طور آزمایشی در فرودگاه دبی استفاده شده‌اند.

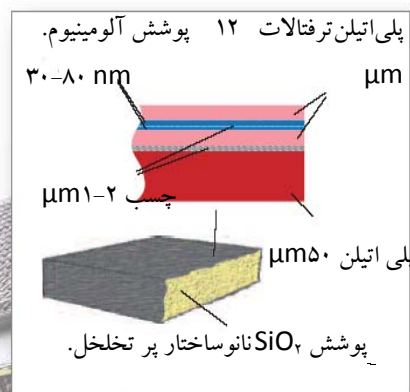
## روکش‌های عایق



مبنای مواد عایق بر دارا بودن تعداد زیادی از حفرات است که تا حد امکان بتوانند هوا را در میان خود نگه‌دارند. مواد عایق از خاصیت رسانش پایین هوا استفاده کرده و جلوی جریان آزاد هوا را می‌گیرند. بنابراین چگالی این مواد از اهمیت بالایی برخوردار است. هر چه چگالی کمتر باشد، هوای بیشتری درون ماده محدود شده و در نتیجه خاصیت عایق‌بندی آن افزایش می‌یابد. توانایی عایق‌بندی یک ماده مشخص همانند پشم شیشه را می‌توان با ضخیم کردن لایه عایق افزایش داد.

در این عرصه، مواد نانوحفره‌ای ویژگی‌های بسیار جالبی ارائه می‌دهند. آئروژل‌های سیلیکایی پایین‌ترین رسانایی و چگالی را در میان مواد جامد دارا هستند. برخی این مواد را دود منجمد شده می‌نامند. رسانایی حرارتی آنها می‌تواند تا حد  $0.016 \text{ W/(m.K)}$  پایین بوده و چگالی  $0.005-0.2$  گرم بر سانتی‌متر مکعب داشته باشند. این مواد با استفاده از فرایند سل‌ژل تولید می‌شوند. با این حال آئروژل سیلیکایی بسیار شکننده بوده و تولید آن بسیار گران است. بنابراین عایق‌های انعطاف‌پذیرتر و ارزان‌تری تولید شده‌اند که توانایی عایق‌بندی بسیار بالایی داشته و می‌توانند بسیار باریک‌تر از مواد عایق معمول باشند.

استفاده از عایق حرارتی در نمای خارجی، هم از نظر هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای ساختمان سازی جدید و بازسازی ساختمان‌ها و هم از نظر هزینه‌های عملیاتی از عوامل ضروری در اقتصاد ساختمان است. تنها در آلمان قریب به ۶ میلیارد متر مربع سطوح نما وجود دارد که تقریباً ۸۰۰ میلیون متر مربع از آن سطوح پنجره است و این در حالی است که بخش بزرگی از آن نیازمند بازسازی است. در اروپای غربی بازار عایق حرارتی در صنعت ساختمان تقریباً ۶ میلیارد یورو تخمین زده می‌شود.

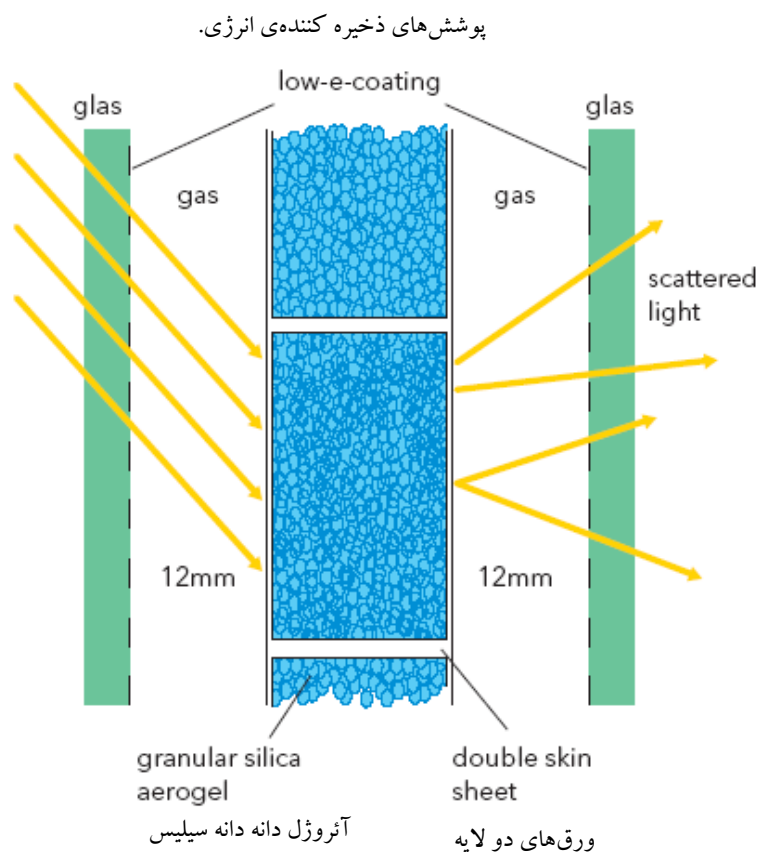


نحوه ساخت و کاربرد پانل‌های عایق برای ذخیره کردن انرژی (صرفه جویی در انرژی) در ساختمان‌های موجود (منبع: ZEA Bayern).

مواد آئروژل (Aerogel) به دلیل دارا بودن خاصیت انتقال نور، برای نماهای شفاف ساختمانی و یا پنجره‌های سقفی قابل استفاده است. اساس این نوع پنجره‌های آئروژل، دو جداره است که فضای بین آن‌ها با آئروژل گروناولات پر می‌شود.



نماهای ساختمانی شفاف با استفاده از آئروژل و کاربرد آزمایشی آن در یک ساختمان (منبع: ZAE Bayern)



با کاهش اصطکاک یا افزایش استحکام سطحی با استفاده از روکش‌ها می‌توان میزان ساییدگی یا ترک‌خوردگی سطحی در اثر تماس‌های مکانیکی را کاهش داد. ضریب اصطکاک می‌تواند با استفاده از روکش‌های کربنی



شبه‌الماس (DLC) کاهش یابد. این روکش‌های بی‌شکل، سختی را تا حد ۲۰ گیگاپاسکال افزایش می‌دهند. راهکار دیگر بر بافت سطحی مبتنی است که اصطکاک را تا حد زیادی کاهش می‌دهد.

### • محافظت در برابر خراشیدگی

می‌توان با استفاده از نانوذرات سختی همچون دی‌اکسید سیلیس، روکش‌های مقاوم در برابر خراشیدگی تولید کرد. به عنوان مثال می‌توان این نانوذرات را در یک بستر آلی وارد کرده و مقاومت رنگ لاک‌ی حاصل را در برابر خراشیدگی افزایش داد.

### روکش‌های فتوولتائیک



دی‌اکسید تیتانیوم یک ماده معمول برای روکش‌های فتوولتائیک است. این ماده یک پخش‌کننده غیراختصاصی نور و یک جاذب نور ماورای بنفش است. ویژگی اول موجب می‌شود که دی‌اکسید تیتانیوم یک ماده بسیار خوب برای رنگ سفید باشد و ویژگی دوم نیز موجب ایجاد ویژگی خودتمیزشوندگی و محافظت در برابر نور ماوری بنفش می‌گردد.

دی‌اکسید تیتانیوم یک ترکیب نیمه‌رسانا است که در سه شکل شیمیایی وجود دارد: آناتاز، روتایل و بروکیت؛ فقط دو نوع اول این ماده در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. با وجودی که شکاف باند آناتاز کمی

بزرگ‌تر از شکاف باند روتایل است، ( $3/2$  الکترون‌ولت در برابر  $3/0$  الکترون‌ولت) فعالیت فتوولتاییکی آن بیشتر است. به همین دلیل آنتاز معمولاً به عنوان فتوکاتالیست، و روتایل به عنوان رنگدانه سفید مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فعالیت فتوکاتالیستی این ماده مبتنی بر جذب نور ماورای بنفش در محدوده بالاتر از  $3/2$  الکترون‌ولت است که معادل طول موج‌های کمتر از  $388$  نانومتر می‌باشد. در اثر جذب نور ماورای بنفش، الکترون‌ها به باند رسانایی منتقل شده و در نتیجه یک حفره در لایه والانس ایجاد می‌شود. در مواد غیرفتوولتاییک حامل‌های بار (الکترون و حفره) بلافاصله دوباره با هم ترکیب می‌شوند. اما اگر زمان ترکیب مجدد به اندازه کافی طولانی باشد، الکترون‌ها و حفره‌ها می‌توانند موجب ایجاد رادیکال‌های آزاد شوند. در نتیجه می‌توان از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم برای تولید پیل‌های خورشیدی انعطاف‌پذیر استفاده کرد. روکش‌دهی سطوحی همچون سقف ساختمان‌ها و روی شیشه‌ها با این پیل‌های خورشیدی امکان تولید انرژی الکتریکی با استفاده از نور خورشید را فراهم می‌آورد.

## روکش‌های ضدباکتری، ضدکثیفی، و دافع لک

### • ضدآثرانگشت

زمانی که دست با سطوح فلزی همانند فولاد ضدزنگ تماس پیدا می‌کند، به راحتی اثر لک روی آن باقی می‌گذارد. انعکاس‌پذیری نوری این مواد در اثر انتقال چربی تغییر می‌کند. با وجودی که نمی‌توان به طور کامل از انتقال چربی دست روی این سطوح جلوگیری کرد، یک روکش ضدآثرانگشت می‌تواند پدیداری این آثار را از طریق استتار رد

آنها کاهش دهد. ضریب شکست روکش محافظ مشابه ضریب شکست چربی پوست است. بنابراین سطوح فلزی پوشیده شده با این روکش‌های ضدآترانگشت، نسبت به نوع روکش‌دهی نشده آن تیره‌تر هستند.



#### • راحت تمیز شوند

مشکل آلودگی سطوح مخصوصاً در مورد سطوح با انرژی بالا همانند شیشه یا فلز که تمایل به جذب مولکول‌های دیگر دارند، فراگیر است. راهبرد معمول برای حل این مشکل، کاهش انرژی آزاد سطحی این مواد بدون از بین رفتن ویژگی‌هایی همانند شفافیت است.

معمولاً زمانی که زاویه تماس آب بالای ۱۰۰ درجه است، ویژگی دفع روغن و آب افزایش می‌یابد. این ویژگی در سطوح نچسبی همانند تابه‌های نچسب (تفلون) مورد استفاده قرار گرفته است. راهکارهای جدید، مبتنی بر نانوکامپوزیت‌های آلی/معدنی هستند که ویژگی‌هایی شبیه ویژگی‌های پلیمرهای پرفلوئوره (همانند تفلون) ایجاد می‌کنند.

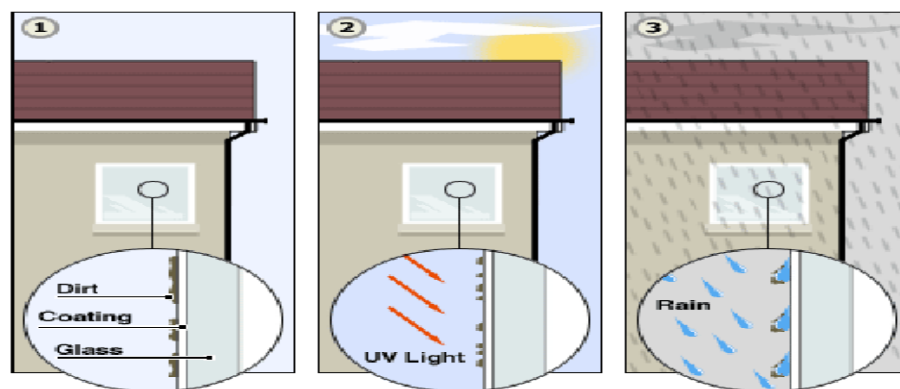
### • ضد دست نوشته

اشکال اصلی گچ‌ها، آجرها، یا سیمان‌های معمول، خاصیت جذب بالای آنهاست که موجب می‌شود این مواد بسترهای بسیار خوبی برای نوشته‌ها یا نقاشی‌ها باشند. روش معمول برای غلبه بر این مشکل، مبتنی بر یک روکش پلی‌اورتان است که محافظتی دائمی ایجاد کرده و از نفوذ رنگ به داخل دیوار جلوگیری می‌کند. این روکش از دو جزء تشکیل می‌شود که پس از اعمال شدن روی دیوار، باهم واکنش می‌دهند. هر نوشته یا نقاشی روی این سطح به راحتی تمیز می‌شود. به هر حال چیز کمی در این روکش وجود دارد که بتوان آن را «نانو» نامید؛ با این حال این اصطلاح برخی مواقع در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### • خود پاک کننده و ضد باکتری

پدیده ترشدن نقشی برجسته در بسیاری از راهبردهای مختلف تغییر سطح ایفا می‌کند. ترشدن یک سطح وابسته به کشش‌های بین سطحی میان مایع ترکننده، جامد ترشونده و فاز گازی اطراف است. علاوه بر این سه عامل که توسط برهمکنش‌های مولکولی ایجاد می‌شوند، زبری سطح یا ساختارهای خاص سطحی نقشی کلیدی در پدیده ترشدن ایفا می‌کنند. سطوح را می‌توان به دو دسته آبگریز و آبدوست تقسیم‌بندی کرد. انواع مختلف پلاستیک‌ها مخصوصاً آنهایی که دارای تعداد زیادی کربن فلوئوره هستند (مثل تفلون) جزء معروف‌ترین انواع سطوح آبگریز محسوب می‌شوند. سطوح آبدوست معروف شامل سطوح فلزی و شیشه‌ای تغییرنیافته هستند. از نظر شیمیایی می‌توان سطوح را به دو دسته فعال و بی‌اثر (غیرفعال) تقسیم‌بندی کرد. سطوح آبدوست به طور معمول تمایل بیشتری به ایجاد پیوند با مواد جذب شده دارند و سطوح آبگریز تمایلی به ایجاد چنین پیوندی ندارند. متأسفانه بسیاری از مواد فنی

مناسب، همانند شیشه و فلز، در دسته آبدوست‌ها قرار می‌گیرند. این سطوح به دلیل انرژی سطحی بالایشان به آسانی لکه می‌گیرند. انرژی سطحی یک فلز تمیز بسته به میزان تمیز بودن آن به راحتی به  $1000 \text{ mN/m}$  می‌رسد (انرژی سطحی آهن حدود  $2500 \text{ mN/m}$  است). در مقابل، انرژی سطحی تفلون تنها معادل  $18 \text{ mN/m}$  است. به همین دلیل تلاش‌های زیادی برای کاهش کشش سطحی سطوح فنی صورت گرفته است.



پوشش‌دهی فعال نانومقیاس که شامل دی‌اکسید تیتانیوم بلوری می‌باشد. ۲. نور آفتاب روی پنجره. اشعه فوق بنفش موجب شکل‌گیری واکنشی به نام فرآیند فوتوکاتالیستی در پوشش فعال می‌شود که آلودگی را حذف می‌کند. ۳. با تماس آب با شیشه آبدوست، آب به جای اینکه به شکل قطرات کوچک در بیاید، به شکلی هموار و همسان روی سطح پخش می‌شود و به این شکل آلودگی‌ها را همراه خود از سطح دور می‌کند.

وضعیت ترشوندگی یک سطح توسط زاویه تماس آن سطح تعیین می‌شود؛ زاویه تماس یک سطح، شیب خط مماس (تانژانت مماس) در نقطه تماس بین سطح و مایع است. زاویه تماس صفر درجه، معادل ترشوندگی کامل است. در مورد آب این حالت به نام آبرآبدوستی یا ترشدگی کامل نامیده می‌شود. در نقطه مقابل این حالت، زاویه تماس  $180^\circ$  درجه قرار دارد. سطوحی که دارای زاویه تماس بسیار بزرگی هستند، آبرآگریز نامیده می‌شوند. به

عنوان مثال با روکش‌دهی تفلون بر روی جنگلی از نانولوله‌های کربنی که به صورت هدفمند رشد یافته‌اند، زاویه تماس ۱۸۰ درجه و در حقیقت یک سطح ابرآبگریز ایجاد می‌شود.

آلودگی سطوح ابرآبگریز یا سطوح دارای اثر نیلوفر آبی بسیار کمتر از سطوح دارای کشش سطحی بالاست. به علاوه، ذرات آلاینده‌ای که به سستی به این سطوح پیوند یافته‌اند، به راحتی با ترشدن (مثلاً در اثر بارش باران) پاک می‌شوند.

علاوه بر راهبرد کاهش انرژی سطحی برای افزایش خاصیت ذاتی دفع لک، می‌توان با استفاده از فتوکاتالیزورها به مواد جذب شده حمله کرده و آنها را تجزیه کرد. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌توانند در این زمینه مورد استفاده قرار بگیرند. مثال‌هایی از این کاربردها عبارتند از پنجره‌های خودتمیزشونده و روکش‌های خودتمیزشونده روی سرامیک‌ها. در این کاربردها بخش ماورای بنفش نور توسط دی‌اکسید تیتانیوم جذب می‌شود.



خودتمیزشوندگی سفال‌های بامی توسط

پوشش‌های آبگریز

(منبع: Flad & Flad:

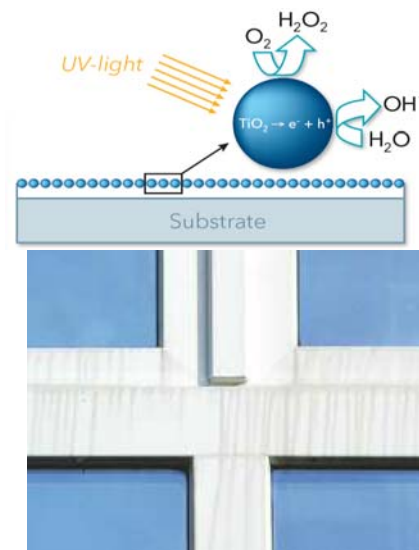
Communications)

این نانوذرات با جذب نور ماورای بنفش در حضور مولکول‌های آب می‌توانند اجزای اکسیژن فعال (ROS) تولید کنند که این اجزا قابلیت حذف موثر فیلم‌های باکتریایی، تجزیه مولکول‌های آلی و آلودگی‌های متصل‌شده به سطح را دارا می‌باشند. با روکش‌دهی دیوارها، پیاده‌روها و سقف ساختمان‌ها با این ذرات، اثر مطلوب خودتمیزشوندگی به وجود آمده و این سطوح در اثر جذب نور خورشید خود را تمیز می‌کنند. بنابراین حتی سطوح بسیار چسبنده‌ای همانند شیشه نیز می‌تواند با روکش خودپاک‌کننده‌ای که با نور ماورای بنفش فعال می‌شود، تجهیز شوند. با این حال این روش تنها برای کاربردهای خارج از منزل (همانند نمای خارجی) مناسب است.

برای ایجاد خاصیت ضدباکتریایی علاوه بر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌توان از نانوذرات نقره نیز بهره برد. نقره از ایام قدیم به عنوان یک ماده ضدباکتری شناخته شده است. کوچک کردن ذرات این فلز موجب افزایش فعالیت آن شده و خاصیت ضدباکتریایی آن را افزایش می‌دهد. می‌توان نانوذرات نقره را داخل رنگ وارد کرده و از آن برای رنگ‌آمیزی دیوارهای داخل بیمارستان‌ها یا اتاق‌هایی که نیاز به ضدعفونی بودن دارند، استفاده کرد.



اثر فوتوکاتالیستی و کاربرد آن بر روی پروفایل پنجره PVC  
(منبع: Nano-x GmbH)



## روکش‌های ضد مه

قرار دادن یک سطح خنک در یک محیط گرم‌تر موجب ایجاد مه می‌شود. این اثر غیر قابل اجتناب است، مگر اینکه سطح مورد نظر گرم شود. تشکیل مه در اثر ایجاد قطرات کوچک روی سطح آینه‌ای است که موجب انعکاس ذره‌ای نور می‌شود. یک سطح ابرآبدوست می‌تواند از تشکیل این قطرات کوچک جلوگیری کند. این قطرات به سادگی با هم ادغام شده و یک لایه نازک آب را روی سطح آینه‌ای ایجاد می‌کنند که در این حالت، انعکاس‌پذیری سطح تغییر چندانی نمی‌کند. زمانی که روکش‌های فتوکاتالیزوری دی‌اکسید تیتانیوم در معرض مقدار مناسبی نور ماورای بنفش قرار گیرند، ابرآبدوست می‌شوند.





## استفاده فناوری نانو جهت رفع آلودگی فضای محیط زندگی و کار

### معرفی/توصیف:

با در نظر گرفتن اثرات زیانبار و خساراتی که آلاینده‌های هوا از قبیل  $\text{CO}$ ،  $\text{SOx}$ ،  $\text{NOx}$ ، هیدروکربن‌ها و غیره ناشی از رشد روزافزون جمعیت و صنعت در محیط‌زیست ایجاد می‌کند، لزوم تحقیق و مطالعه در این زمینه و یافتن بهترین و عملی‌ترین راهکارها برای حل این مشکل ضروری می‌نماید. امروزه روش‌های علمی مختلفی در جهت کاهش یا حذف آلاینده‌های هوا در سراسر دنیا توسط متخصصان پیشنهاد و مورد استفاده قرار گرفته‌اند که هر کدام مبتنی بر اصول خاصی بوده و نتایج متفاوتی را ارائه می‌نمایند. یکی از این روش‌ها استفاده از فناوری نانو است. در واقع نقش نانوپدیده‌هایی همچون نانولوله‌ها، نانوحسگرها، نانوکاتالیست‌ها و نانوکامپوزیت‌ها در محیط‌زیست، با توانایی حذف یا کاهش آلاینده‌های هوا در دهه‌های اخیر در کشورهای مختلف به کار گرفته شده است.

### کاربرد/مزایا/معایب:

نانوفوتوکاتالیست‌ها می‌توانند بر روی سطح دیوارها، سطح لامپ‌های روشنایی و همچنین فیلتر دستگاه‌های تهویه مطبوع به عنوان بستر قرار بگیرند و با فعالیت کاتالیستی خود، بو و آلودگی‌های محیطی را تجزیه کرده و ضمن تصفیه

هوا، سطح بهداشت محیط را بالا ببرند. برای مثال اکسیژن‌های مولکول دی‌اکسیدتیتانیوم، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فوتوکاتالیست‌های رایج، با آب موجود در هوا واکنش داده باعث واکنش بین اکسیژن و آب می‌شوند که در نتیجه آن رادیکال‌های OH آزاد شده باعث تجزیه NOx‌های موجود در آلودگی هوا شده، آن‌ها را به  $\text{HNO}_3$  بی‌ضرر تبدیل می‌کنند. جالب توجه اینکه ظرفیت تصفیه هوای ۱۰۰۰ مترمربع از سطوح پوشیده شده با فوتوکاتالیست، معادل ظرفیت تصفیه هوای ۷۰ درخت صنوبر است.

#### دارنده فناوری/محصول تجاری‌شده:

شرکت Inspiraz<sup>۱</sup> در سنگاپور با تولید محلولی از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و فسفات تیتانیوم با نام تجاری nanoCotz™ Eco-Refresh جهت به‌کار بردن در محیط داخلی و پوششی آنتی‌استاتیک با نام nanoCotz™ Eco-Clean جهت به‌کار بردن در سطوح خارجی در این حوزه فعالیت دارد.

۱- [www.inspiraz.com.sg](http://www.inspiraz.com.sg)



## فولاد توانمند با خواص مکانیکی بهبود یافته

### معرفی / توصیف:

فولاد نیز مانند بتن و آسفالت ماده‌ای با ساختار نانویی است. در فولاد توانمند با کربن کم، نانوذرات مس مرزهای دانه‌های فولاد را شکل می‌دهند. تغییر در نانو ساختار آن، فولاد توانمند حاصل را مقاوم‌تر، جوش پذیرتر و پایدارتر در برابر خوردگی می‌نماید.

### کاربرد / مزایا / معایب:

فولادهایی با درصد کربن کمتر و کارایی بیشتر، جهت استفاده در پل‌ها و سازه ساختمان‌ها، از جمله دستاوردهای فناوری نانو برای صنعت ساختمان است.

### دارنده فناوری / محصول تجاری شده:

شرکت‌های سوئدی Sandvik Materials Technology<sup>۱</sup> به تولید فولادهای با مقاومت بسیار بالا و ضد زنگ با استفاده از فناوری نانو پرداخته‌اند. محصول جدید این شرکت به Nanoflex موسوم است، که چند خصوصیت جالب از جمله مقاومت فوق بالا، شکل پذیری مناسب و مقاومت در برابر خوردگی بالا را در کنار هم دارد.

۱- [www.smt.sandvik.com](http://www.smt.sandvik.com)



## سنگدانه ها و خاک های هوشمند

### معرفی/توصیف:

یکی دیگر از مباحث مطرح نانوفناوری در بتن، استفاده از حسگرهای بسیار کوچک با ابعادی در حدود ابعاد سنگدانه هاست. این حسگرها اطلاعات را به صورت بی سیم منتقل می نمایند و در واقع سامانه هایی میکرو و نانوالکترومکانیکی (NEMS) هستند.

### کاربرد/مزایا/معایب:

استفاده از حسگرهای بدون سیم بخصوص در عرشه پل ها که به دلیل وجود نمک های یخزدا در معرض خوردگی قرار دارند، یا سازه هایی که در محیط دریایی اند، می تواند مفید باشد. حسگرهایی که در ابعاد سنگدانه ها ساخته شده اند، می توانند به هنگام بتن ریزی و یا حتی اختلاط وارد بتن شوند و اطلاعات آنها نیز توسط یک گیرنده که روی یک اتومبیل نصب شده است، می تواند دریافت و جمع آوری شود.

### دارنده فناوری/محصول تجاری شده:

محققان آزمایشگاه فیزیک کاربردی دانشگاه جان هاپکینز<sup>۲</sup> حسگر بدون سیمی را ابداع نموده اند که برای پایش وضعیت خوردگی میلگردها در بتن می تواند به کار رود.



## استفاده از فناوری نانو جهت بهبود عملکرد و ترمیم بتن

### معرفی/توصیف:

یکی از روش‌های محافظت از بتن‌های در معرض شرایط محیطی خورنده، مانند محیط‌های دریایی، استفاده از روکشهایی است که نفوذ عوامل مخرب خارجی را به درون بتن سد می‌کنند.

### کاربرد/مزایا/معایب:

این روکش‌ها عموماً خاصیت آب‌گریزی دارند و از این رو کارکردشان کمی با روکش‌های سنتی موجود متفاوت است. همچنین می‌توان از این روکش‌ها جهت پوشش‌دهی سطح لوله‌های بتنی به کار رفته در فاضلاب (که در معرض محیط‌های خورنده بیولوژیکی هستند) و یا شمع‌های بتنی و بسیاری موارد دیگر استفاده نمود.

### دارنده فناوری/محصول تجاری‌شده:

شرکت آلمانی BASF<sup>۱</sup> محصولی با نام تجاری EMACO® Nanocrete تولید کرده‌است که با اضافه شدن به ملات تعمیرات، بتن را ترمیم می‌کند. استفاده از این مواد علاوه بر افزایش استحکام بندکشی، تراکم و نفوذپذیری را بهبود می‌دهد و با کاهش زمان، کاهش هزینه‌ها را نیز در بر دارد.

پوشش‌های نانوکامپوزیتی مهندسی تولید شده با استفاده از نانوذرات سرامیکی که توسط شرکت آلمانی Inocermic GmbH<sup>۲</sup> به بازار عرضه شده‌است نیز پوشش‌های مقاومی برای بتن ایجاد می‌کند. این پوشش خلل و فرج سطح بتن را پر کرده و براق می‌کند و علاوه بر این در برابر شرایط بد آب و هوایی، حلال‌ها، پاک‌کننده‌های صنعتی و خوردگی مقاوم است.

---

۲- [www.inocermic.de](http://www.inocermic.de)



## روکش‌های ضد خوردگی فولاد

### معرفی/توصیف:

یکی از معضلات اصلی در رابطه با به‌کارگیری قطعات از جنس فولاد ضدزنگ، مسأله خوردگی است. این مقوله به‌خصوص در محیط‌های ساحلی و رطوبت‌خیز، اغلب باعث ایجاد تغییر رنگ قطعه به قهوه‌ای یا جلبکی می‌شود؛ چراکه در شرایط مرطوب و ساحلی، آلودگی نمک در ساحل باعث خوردگی لایه آخر فولاد شده و لایه‌های بعدی به رشد لکه‌های جلبکی کمک می‌کنند. البته ممکن است که این زنگ‌زدگی ساحلی در کوتاه‌مدت روی ساختار یا طول عمر این مواد تأثیرگذار نباشد، اما حداقل روی زیبایی بصری طراحی سازه‌های ساحلی مؤثر است.

### کاربرد/مزایا/معایب:

ترکیبات نانویی توانسته‌اند با ایجاد خواص ضدخوردگی و دافع رطوبت، این معضل را حل کرده و هزینه‌های تعمیر و نگهداری این سازه‌ها را که به‌علت خوردگی و زنگ‌زدگی تحمیل می‌شوند، را کم کنند.

**دارنده فناوری/محصول تجاری شده:**

شرکت Nanovations<sup>۱</sup> استرالیا پوشش‌هایی با نام NH ۲۰۱۵ در بازار عرضه کرده‌است که بدون مواد نفتی است و ضمن از بین بردن همه لکه‌ها و خوردگی‌ها، سطح را بسیار صیقلی کرده و از خوردگی و ایجاد لکه‌ها تا چندین سال حفظ می‌کند.

فناوری Liquid nanotechnology<sup>TM</sup><sup>۲</sup> پوششی است که توسط شرکت EcologyCoating در آمریکا توسعه داده شده‌است و سطوح فلزی را در برابر اشعه UV مقاوم می‌کند و در نتیجه لایه رویی فلز خورده نمی‌شود. شرکت Henkel آلمان توانسته‌است مواد نانوسرامیکی را جهت پوشش‌دهی فلزات به خدمت بگیرد. این مواد که با نام تجاری Bonderite NT<sup>۳</sup> به بازار عرضه شده‌اند که در دمای اتاق و به راحتی و بدون زیرسازی روی فلزاتی از جمله فولاد، روی و آلومینیوم می‌توان به کار برد. استفاده از این پوشش باعث افزایش فوق‌العاده مقاومت در برابر خوردگی می‌شود.

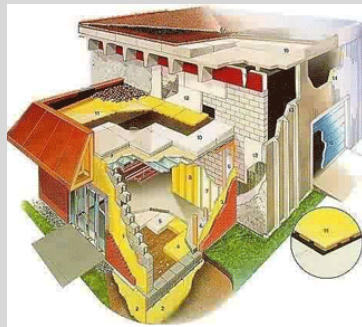
---

۱- [www.nanovations.com.au](http://www.nanovations.com.au)

۲- [www.ecologycoatings.com](http://www.ecologycoatings.com)

۳- <http://www.bonderitent.com/eng/index.html>





## عایق حرارتی نانویی به صورت رنگ

### معرفی / توصیف:

پوشش‌های با بهره‌گیری از فناوری نانو، انقلابی در صنعت عایق‌کاری و محافظت از خوردگی در سطح جهانی پدید آمده و با خواص منحصر به فرد خود، از اتلاف انرژی و منابع ملی جلوگیری می‌نماید و با هزینه مناسب می‌تواند جایگزین عایق‌های سرد و گرم موجود و پوشش‌های ضد خوردگی فعلی باشد.

### کاربرد / مزایا / معایب:

عایق حرارتی نانو ماده جدیدی از فناوری نانو می‌باشد که محافظ و عایق حرارتی مناسبی در مقابل هر سه نوع انتقال گرما شامل تشعشع، جابجایی و همرفتی است. خصوصیت ویژه این محصول، مایع بودن آن است که امکان استفاده از آن را بر روی سطوح فلزی و غیر فلزی توسط پیستوله، برس و رول‌های نقاشی فراهم می‌کند و با صرف هزینه نسبتاً کمی، می‌توان حتی از آن در ساختمان‌های در دست بهره‌برداری نیز استفاده نمود و هیچ‌گونه تغییر ظاهری نیز در ترکیب ساختمان ایجاد نمی‌کند.

**دارنده فناوری/محصول تجاری شده:**

شرکت آمریکایی Industrial Nanotech<sup>۱</sup> این امکان را فراهم کرده است که با رنگ کردن، عایق کاری صورت گیرد. این شرکت محصولی را با نام تجاری NANSULATE<sup>®</sup> تولید کرده که برای عایق کاری تأسیسات، لوله ها و مخازن به کار می رود و همچنین محصولات مشابهی برای مصارف خانگی به بازار عرضه کرده که با استقبال باورنکردنی مواجه شده است. این رنگ به روش های بسیار ساده اسپری، رول یا قلم مو اعمال می شود و از ورود و خروج گرما و سرما از مکانی به مکان دیگر جلوگیری می کند.

شرکت آمریکایی Inframat<sup>®</sup> Corporation<sup>۲</sup> یک روکش سرامیکی متخلخل عایق حرارتی به صورت اسپری حرارتی از جنس زیرکونیوم پایدار شده با ایتريوم را برای موتورهای توربین گازی صنعتی و هواپیماها تولید می کند تا قطعات فلزی داغ را از گاز داغ جدا کند.

شرکت آمریکایی Mascoat Products<sup>۳</sup> از سرامیک های در ابعاد میکرو برای تولید عایق های حرارتی و ضد خوردگی که اسپری می شوند، استفاده می کند.

---

۱- [www.industrial-nanotech.com](http://www.industrial-nanotech.com)

۲- [www.inframat.com](http://www.inframat.com)

۳- [www.mascoat.com](http://www.mascoat.com)



## سیمان و بتن بهبود یافته با استفاده از فناوری نانو

معرفی/توصیف:

بتن (یک محصول مصنوعی ساخته شده از سیمان، مکمل‌های بتن (شن، ماسه یا اسپلیت) و آب) با تولید سالانه بالغ بر ۱۰ میلیارد تن در سراسر جهان، فراوان‌ترین کالایی است که به وسیله‌ی بشر تولید می‌شود و مهم‌ترین مصالح ساختمانی است که در ساخت و سازها بکار می‌رود. افزایش مقاومت در بتن به ساختار بلورین آن بستگی دارد که اندازه آن تنها چند نانومتر است. در سال‌های اخیر و با شروع بهسازی مواد در حوزه مصالح ساختمانی سیمانی، نانومواد به عنوان مواد مکمل در مصالح کاربرد دارد. فناوری نانو از طریق به کارگیری نانوپودرها به عنوان مواد مکمل در مخلوط سیمان باعث بهبود در مقاومت، استحکام و فرآیندپذیری مصالح شده و تغییر در خواص دیگری مانند حفاظت الکترومغناطیسی، محافظت گرمایی، کنترل هدایت حرارتی، تغییر رنگ و واکنش‌های کاتالیستی می‌گردد.

امروزه سیمان با توجه به کاربردهای مختلف و مصارف گوناگون، نقش مهمی در زندگی بشر ایفا می‌کند. از سوی دیگر مسأله زمان نیز از موضوعات اقتصادی حائز اهمیت برای صاحبان صنایع به‌شمار می‌آید و کاهش زمان ساخت‌وساز، صرفه اقتصادی قابل توجهی را به‌دنبال خواهد داشت. با توجه به رشد سریع تحقیقات علمی و عملی علوم و فنون نانو در کلیه علوم و صنایع، باید اذعان داشت که توجه کمی به کاربردهای این پدیده در استفاده از

سیمان و ترکیبات آن شده است. ولی اخیراً توجه به استفاده از تقویت کننده ها و استحکام دهنده های مدرن در مصالح ساختمانی، موج جدید علم نانو نیز با شتاب فزاینده ای صنایع مرتبط با سیمان را در بر گرفته است.

### کاربرد/مزایا/معایب:

روش ها و مواد مختلفی با استفاده از علم نانو برای رفع مشکلات موجود در زمینه سیمان و بتن پیشنهاد و به کار گرفته شده اند. از جمله استفاده از نانوسیلیس که متشکل از ذراتی است که دارای شکل گلوله ای بوده و با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر یا به صورت ذرات خشک پودر یا به صورت معلق در مایع محلول، قابل انتشار است. البته مایع آن معمول ترین نوع محلول نانوسیلیس می باشد و البته نانوسیلیس معلق خواص چند منظوره از خود نشان می دهد مانند سرعت بندش بسیار بالا، خاصیت ضد سایش، ضد لغزش، ضد حریق و ضد انعکاس سطوح که در نتیجه از این روش در ساخت تونل، آب بندی، معدن کاری و تثبیت شیب ها استفاده می شود.

روش دیگر استفاده از نانولوله های کربنی است. آن ها به عنوان یک نسل جدید از نانوکامپوزیت های چند منظوره می توانند در نقش الیاف مسلح کننده مناسب مواد، مورد استفاده قرار گیرند. به طور کلی استفاده از نانوذرات از جمله نانولوله ها در بتن، هر چند که در واکنش های هیدراتاسیون شرکت نکنند، به دلیل نقشی که به لحاظ فیزیکی در پر نمودن حفره های بسیار کوچک خمیر سیمان دارند، می توانند تأثیر مناسبی در بهبود ریزساختار و در نتیجه خواص مقاومتی و دوامی بتن داشته باشند. بنابراین نانولوله های کربنی از اجزای کلیدی به دست آوردن هدف اصلی ذکر شده در فوق به عنوان مصالح ساختمانی با عملکرد بالای چند منظوره را بازی می کنند.

در روش دیگر استفاده از ذرات سیمان در ابعاد نانو است، چراکه کاهش اندازه ذرات سیمان تا ابعاد نانو مقیاس، موجب تسریع در سفت شدن آن می شود و لذا واکنش پذیری اولیه آن ده برابر بیش از سیمان هایی است که به روش های معمولی تهیه شده اند؛ البته این سیمان بسیار متخلخل بوده و پایداری اش نسبت به سیمان های معمولی

کمتر است و هنوز برای کارهای ساختمانی مدرن که مستلزم تحمل بار زیاد است، مناسب نیست. لذا از این نانوسیمان در نوسازی یا عایق‌کاری کاربردهایی که نیاز چندانی به استحکام در برابر فشردگی ندارند و ترکیب آنها با مواد معمولی به بهبود سخت‌شدگی آنها کمک می‌کند، استفاده می‌شود، همچنین این سیمان در کاربردهای هزینه‌بر کوچک مقیاس به ویژه اتصالات ساختمانی یا به صورت ترکیبی با فرمول‌ها موجود که به تسریع کار آنها کمک می‌کند نیز کاربرد دارد.

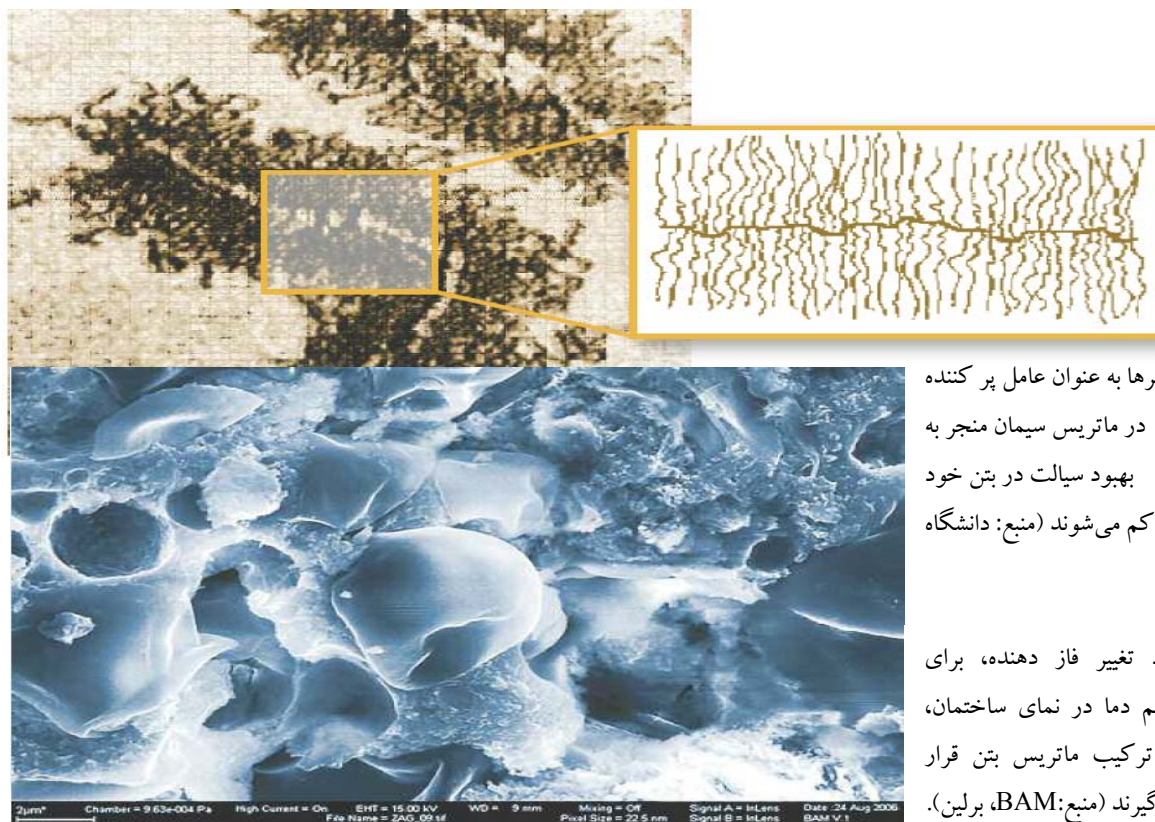
از جمله مواد مکمل برای بهینه کردن خواص ملات بتن در مقیاس نانو می‌توان به اکسیدهای فلزی نانو مقیاس (برای مثال دی اکسید سیلیکون کلئیدی<sup>۱</sup>) یا کوپولیم‌های بلوکی (که به صورت تجاری تولید می‌شوند) اشاره نمود. با استفاده از دی اکسید سیلیکون کلئیدی که اندازه ذرات آن به طور معمول در محدوده ۵ تا ۳۰ نانومتر است، استحکام و مقاومت بتن در برابر خوردگی اسیدی افزایش می‌یابد. البته این اثر اصولاً به میزان سطوح فعال سیلیس و توانایی ترکیب با عناصر سیمان، بستگی دارد که بتواند پس از واکنش، محصولی با استحکام بیشتر به وجود بیاورد. سرعت و شدت واکنش نیز مانند ترکیبات شیمیایی اصلاح شده سیمان، تأثیرات مثبتی بر روی بتن ایجاد می‌کند.

یکی از زمینه‌های تحقیقاتی جالب توجه، مواد تغییر فاز دهنده (PCM) هستند، که در ترکیب مصالحی چون گچ یا بتن اسفنجی (اتوکلاوی) قرار می‌گیرند و عمل تنظیم دما در ساختمان را بهبود می‌بخشند. بدین صورت که وقتی هوا سرد است PCM ها با گرمای تولید شده از طریق گرمای تراکم (Condensation Heat)، نمای ساختمان را گرم می‌کنند و در تابستان نیز گرمای موجود به وسیله‌ی فرآیند ذوب مصرف شده و یک اثر خنک‌کنندگی در نمای ساختمان ایجاد می‌شود. PCM های با پایه پارافینی که در کپسول‌های پلیمری خیلی کوچک بسته بندی شده‌اند، به

---

۱- Colloidal Silicon Dioxide

خوبی در ترکیب مصالح پخش می‌شوند بدون اینکه بر خواص مکانیکی آن‌ها تأثیر بگذارند. PCM ها در حال حاضر برای مصالح مختلفی در بازار موجود هستند. مثلاً می‌توانند به عنوان مکمل برای تراشه‌ها (فلز یا چوب)، تخته‌های گچی یا بتن‌های اسفنجی مورد استفاده قرار بگیرند. استفاده از فناوری نانو همچنین می‌تواند باعث افزایش کارایی بتن الیافی شود. به طوری که پایداری و رفتار سازه‌ای بتن‌های تقویت شده با الیاف به وسیله‌ی فایبرگلاس و اتصالات عرضی با پلیمرهای نانو ساختار به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. اجزای بتن برای تقویت و ترمیم سازه، می‌تواند با ابعاد کوچک‌تر، وزن کمتر، ظرفیت حمل و دوام بیشتر تولید شوند. توسعه مصالح ساختمانی بتن از نظر اقتصاد و بهره‌وری، نیازمند درک درستی از ساختارها در مقیاس نانو است.



پلیمرها به عنوان عامل پرکننده  
در ماتریس سیمان منجر به  
بهبود سیالت در بتن خود  
متراکم می‌شوند (منبع: دانشگاه

مواد تغییر فاز دهنده، برای  
تنظیم دما در نمای ساختمان،  
در ترکیب ماتریس بتن قرار  
می‌گیرند (منبع: BAM، برلین).

### بهبود بتن فوق قوی

در دانشگاه کاسل<sup>۲</sup> بتنی با کارایی فوق‌العاده بالا تولید شد، که به دلیل مقاومت فولاد مانند آن تحت فشار حدود  $200\text{ N/mm}^2$ ، به شما توانایی ایجاد ساختارهای پایدار، ظریف و در عین حال بسیار با دوام و مقاوم در برابر خوردگی را می‌دهد. کارایی بالای آن عمدتاً ناشی از این است، که در آن علاوه بر سیمان آسان حل شونده، از سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) با واکنش پذیری بالا در مقیاس نانو استفاده می‌شود، و بدین صورت ترکیب دانه‌ای بتن در محدوده‌ی نانو و میکرو، با افزودن انتخابی (کنترل شده‌ی) پرکننده‌های معدنی دیگر بسیار بهبود می‌یابد، به طوری که ریزساختارها در خمیر سیمان (سخت شده)، متراکم و قوی خواهد شد. از طریق تکنیک‌های ساخت به خصوص، مقاومت فشاری تا  $500\text{ N/mm}^2$  نیز قابل افزایش است. بعد از ساخت چندین پل آزمایشی<sup>۳</sup> در نیستتال<sup>۴</sup> در نزدیکی کاسل، بتن جدید با کارایی بالا برای اولین بار در مقیاس بزرگ، در ساخت پل ۱۴۰ متری gärtnerplatzbrücke در حوالی شهر فولدا<sup>۵</sup> در آلمان به کار گرفته شد. این ساختمان بسیار خلاقانه به‌وسیله‌ی دفتر فنی و مهندسی Fehling & Jungmann در کاسل طراحی و به‌وسیله‌ی شرکت ساختمانی Beck در Eschwege ساخته شده است. در عرشه (سطح) پل به ضخامت تقریبی ۸-۲۰ cm از بتن پیش ساخته استفاده شده است، که به‌وسیله‌ی شرکت ELO-Beton از شهر Eichenzeller تولید می‌شوند. وسایل نقلیه سنگین تا وزن ۶ تن، می‌توانند از روی پل خمیده عابر پیاده عبور کنند. مقاومت سطحی بالای این بتن، این امکان را به وجود آورده است تا برای اولین بار در دنیا، اعضای باربر (حمل کننده بار مکانیکی) بتنی در ساختار این پل به جای اینکه با اتصالات مکانیکی به هم متصل شوند، مستقیماً به هم بچسبند. مسئله قابل توجه این است، که روش‌های ساخت و

۲- Prof.Dr.-Ing. Michael Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling

۳- Pilot bridge

۴- Niestetal

۵- Fulda



ساز جدید با وجود کلیه مزایای مربوطه از نظر مواد خام و صرفه جویی در انرژی، ساخت و ساز و دوام، در مراحل اولیه، از پل بتن معمولی یا پل فولادی، خیلی گران تر نیستند. این ساختمان برای افتتاحیه‌ی نمایشگاه documenta XII به پایان رسید. پایداری بالای بتن فوق قوی، کاربرد آن را در محیط‌های بتنی خشن (بتن‌های مربوط به محیط‌های پر تکاپو)، نظیر کارخانجات و سیستم‌های فاضلاب ممکن می‌سازد.



مکان‌های پرتنش (متحمل بار مکانیکی زیاد)

در سال‌های اخیر بتن‌های با کارایی بالا<sup>۶</sup> بهبود بیشتری یافته‌اند. با گسترش نانومواد ها، بتن پاششی (بتن اسپری) تولید شد، که آب آن با افزودن نانو سیلیس در کوتاه مدت از دست می‌رفت و بتن سریع‌تر سفت می‌شد. همچنین با اضافه کردن نانو مواد مناسب، بتن مقاوم به اسید برای استفاده در برج‌های خنک کننده یا فاضلاب، با همکاری

<sup>۶</sup>- High performance concrete



دانشگاه فنی برلین<sup>۷</sup>، تولید شد. بهبود ساختار دانه، با استفاده از مواد مختلف، منجر به بسته بندی متراکم<sup>۸</sup> دانه در مقیاس نانو و در نتیجه افزایش مقاومت ماتریس سیمانی در هنگام حمله‌ی اسید می‌شود؛ و بدین صورت مقاومت بتن در مقابل حملات اسیدی، با به کار بردن نانومواد، به طور قابل توجهی افزایش یافت. آخرین پیشرفت‌ها مربوط به شرکت DUCUN GmbH در شهر Mörfelden Walldorf و تولید بتن فوق قوی پیشرفته DUCON است. DUCON یک بتن مسلح (آرمه) انعطاف پذیر و با مقاومت بالا است که هم ماتریس و هم آرماتور (فولادی) آن بهبود یافته است.

#### موارد کاربرد DUCON



#### DUCUN در تست خمش.

در بتن فوق قوی، با به کار بردن مواد در مقیاس نانو در آرماتور، شبکه‌ی سیمی ریز بافت جوش داده شده، انعطاف پذیری بیشتری حاصل می‌شود و موجب نزدیکی خواص بتن به فولاد می‌شود که در پوشش‌های سطحی و آب بندی سطوح و در سازه‌های بسیار ظریف و انعطاف پذیر بدنه ساختمان (مثل قطعات فولاد کامپوزیت) و یا در قسمت‌های امنیتی ساختمان کاربرد دارد. این بتن، به دلیل انعطاف پذیری بالا، مقاومت زیادی را در مقابل آتش و

۷- TU Berlin

۸- Dense packing

موج انفجاری آن در هنگام گسترش حریق از خود نشان می‌دهد. با مشارکت HOCHTIEF و DUCON GmbH، مصالح ساختمانی دیگری (مانند شاتکریت) بتن اسپری و بتن پیش تنیده برای سایر کاربردها توسعه داده شده است. در حوزه معماری نیز، اجزای ساختمانی بسیار نازک (بتن) به عنوان پانل‌های نما یا به عنوان اعضای باربر ساختمان استفاده می‌شوند.



چپ: ساختار ترکیبی چهارچوب فضایی عرشه و کمر بند بالایی پل با بتن فوق قوی (UHPC)، بالا: اجزای پیش ساخته عرشه پل با استفاده از بتن UHPC

**دارنده فناوری/محصول تجاری شده:**

شرکت سوئدی Nano Product Corp، از نانو ذرات سیلیکات کلسیم در سیمان استفاده نموده است و سیمان حاصل قابلیت کاربری در دماهای بالا را دارد که در چاه‌های عمیق نفتی و چاه‌های ژئوترمال به کار برده می‌شود.

شرکت Industrial Specialties<sup>۹</sup>، محصول نانوافزودنی Cembinder™ را تولید می‌کند که از سیلیکای آمورف در ساختن آن استفاده شده، و به واسطه دانه‌ریز بودن ذرات تشکیل‌دهنده‌اش، خواص ویژه‌ای از لحاظ پایداری، کیفیت و قابلیت استفاده‌شدن، به سیمان چاه‌ها می‌دهد. همچنین دوغاب سیمان حاصل، کاملاً پایدار می‌شود و آب اضافی حذف می‌گردد. ضمناً با توجه به داشتن وزن مخصوص مناسب، Cembinder™ در دوغاب‌های سبک، بسیار عالی عمل می‌کند. در حفاری آب‌های عمیق و بسیار عمیق نیز که دمای سطح زمین پائین است، Cembinder™ خواص مطلوبی از جمله تراکم‌پذیری اولیه و زمان‌بندش مناسب به سیمان می‌دهد و لذا با توجه به اینکه زمان‌بندش سیمان حاصل کاهش می‌یابد، WOC کمتر شده و حفاری با سرعت بیشتری ادامه پیدا می‌کند.

شرکت HOCHTIEF Construction AG، برای گسترش فعالیت‌ها در زمینه‌ی فناوری نانو، تمرکز خود را بر روی مواد معدنی با پایه سیمانی قرار داده است. مرکز فناوری HOCHTIEF Consult Materials بر روی افزایش بهره‌وری بتن و ملات کار می‌کند، تا خواص مورد نظر را تحت کنترل در آورد

۹- [http://www.colloidalsilica.com/eka.asp?۰۳/۳\\_۳.asp~main](http://www.colloidalsilica.com/eka.asp?۰۳/۳_۳.asp~main)



## شیشه‌های خودتمیزشونده با پوشش نانویی

### معرفی/توصیف:

نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم، عضوی از خانواده بزرگ نانوذرات هستند که به سبب ایجاد خاصیت خودتمیزکنندگی برای سطوح، از ابتدای شکل‌گیری فناوری نانو، مورد توجه ویژه واقع شده‌اند. از این نوع فوتوکاتالیست می‌توان برای ساخت شیشه‌ها و آجرهای خود تمیزکن در نمای ساختمان‌ها استفاده کرد. علاوه بر این با پوشش‌دهی نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بر زیرلایه‌های مناسب، می‌توان فیلترهای کارآمدی برای از بین بردن بو، تصفیه هوا و آب و فاضلاب ساخت.

### کاربرد/مزایا/معایب:

پوشش‌هایی از ماده دی‌اکسیدتیتانیوم را با استفاده از روش‌های گوناگون، بر روی شیشه لایه‌نشانی می‌کنند. این پوشش با توجه به خاصیت نیمه‌هادی اکسیدی دی‌اکسیدتیتانیوم طی دو مکانیزم باعث به وجود آمدن دو خاصیت می‌شود. زمانیکه پوشش دی‌اکسیدتیتانیوم بر روی شیشه‌ها در معرض تابش UV (که بخش اعظم نور خورشید را تشکیل می‌دهد) قرار می‌گیرد، آلودگی‌هایی مانند گرد و غبار و ذرات همراه باران را که به مرور زمان بر روی شیشه باعث آلوده شدن و عدم دید خوب می‌شود، تجزیه می‌کند. خاصیت دومی که این پوشش به شیشه می‌دهد خاصیت

آب دوستی است به این ترتیب که آلودگی‌های تجزیه شده هیدروکربن‌های آلی بر روی شیشه، بر اثر بارش باران یا آبی که به صورت مصنوعی بر روی شیشه ریخته می‌شود به صورت ورقه‌یی پایین می‌آید. استفاده از این نانومواد برای ایجاد پوشش بر روی شیشه می‌تواند منجر به ویژگی‌های ذیل برای آن‌ها بشود:

- پس زدن آب و روغن از روی شیشه؛
- عدم چسبیدن آلودگی و کثیفی بر روی شیشه؛
- پاک شدن گل و لای بوسیله آب باران؛
- عدم رسوب گرفتن شیشه؛
- ممانعت از خوردگی؛
- افزایش استحکام و مقاومت شیشه در برابر خش افتادگی؛
- جلوگیری از تشکیل اثر انگشت روی شیشه؛
- روشن‌تر و شفاف‌تر شدن شیشه تا ۲۰٪؛
- یکنواخت‌تر شدن سطح شیشه تا ۳۰٪؛
- افزایش دید از طریق شیشه در شرایط بد آب و هوایی؛
- تمیز باقی ماندن شیشه تا مدت زمان طولانی؛

#### دارنده فناوری/محصول تجاری شده:

شرکت آمریکایی Jita Enterprise<sup>۱</sup> دی‌اکسیدتیتانیوم تولید می‌کند و آن را به‌عنوان یک فوتوکاتالیست در محصولات تهویه هوا و همچنین شیشه‌های خودتمیز شونده به‌کار می‌گیرد.

<sup>۱</sup> - [www.photocoat.com](http://www.photocoat.com)

شرکت آمریکایی PPG Industries, Inc<sup>۲</sup> شیشه‌های خودتمیزشونده با نام تجاری SunClean<sup>TM</sup> تولید می‌کند.

شرکت ژاپنی Asahi Glass<sup>۳</sup> شیشه‌های خودتمیزشونده با نام تجاری Viewtec تولید می‌کند.

شرکت ژاپنی Nippon Sheet Glass<sup>۴</sup> شیشه‌های خودتمیزشونده با نام تجاری Cleartect تولید نموده که

مشخصات نوری شیشه را عوض نمی‌کند.

شرکت ژاپنی Toyo Toki<sup>۵</sup> با نام تجاری TOTO، محصول Hydrotect را برای خودتمیزکنندگی و آنتی‌باکتریال

برای شیشه، کاشی و سرامیک، نمای ساختمان و آینه و شیشه اتومبیل تولید می‌کند.

شرکت Pilkington<sup>۶</sup> فناوری پوشش‌های خودتمیز شونده با نانو مواد فتوکاتالیستی را، در پوشش‌دهی پنجره به‌کار

گرفته شده است.

شرکت Nanovations<sup>۷</sup> استرالیا محصولی با نام NP ۱۰۱۰ برای پوشش‌دهی شیشه‌ها دارد که علاوه بر قابلیت دفع

آب و آلودگی، در برابر خش نیز مقاوم است. در ضمن در برابرشوینده‌های شیمیایی و اسیدهای ملایم نیز مقاوم

بوده و تحمل حرارت تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد را دارد.

۲- [www.ppg.com](http://www.ppg.com)

۳- [www.agc.co.jp](http://www.agc.co.jp)

۴- [www.nsg.co.jp/en](http://www.nsg.co.jp/en)

۵- <http://www.toto.co.jp/en/index.htm>

۶- [www.pilkington.com](http://www.pilkington.com)

۷- [www.nanovations.com.au](http://www.nanovations.com.au)



## شیشه‌های کم‌گسیل با پوشش نانویی جهت کاهش مصرف انرژی

### معرفی/توصیف:

استفاده از نانوذرات در ایجاد روکش‌هایی با عملکرد متفاوت، حتی صنعت شیشه را نیز دستخوش تحول کرده‌است. در این راستا می‌توان با استفاده از روکش‌های نانویی بر روی شیشه پنجره‌ها، آن‌ها را در خاصیت عایقی و کنترل تبادل حرارتی بهینه کرد و اصطلاحاً به آن‌ها خاصیت کم‌گسیلی (Low-e) اضافه کرد که در اینصورت نقش آن‌ها در کاهش مصرف انرژی غیر قابل انکار خواهد بود.

### کاربرد/مزایا/معایب:

پوشش نانویی در شیشه‌های Low-e اجازه عبور بخش مرئی طیف نور خورشید را می‌دهند اما طیف حرارتی (امواج مادون قرمز) و امواج مضر (ماوراء بنفش) را منعکس و فیلتر می‌کنند. این شیشه‌ها انتقال حرارت ناشی از اختلاف دما که ترکیبی از پدیده‌های هدایت، جابجایی و تابش است را به مقدار زیادی کاهش می‌دهند و همچنین انتقال حرارت تابشی (کسب انرژی خورشید) را نیز تحت کنترل دارند. با توجه به مشخصات مذکور، استفاده از این نوع شیشه مزایایی از جمله آسایش حرارتی در زمستان و تابستان، کاهش هزینه سالانه انرژی، جلوگیری از ورود

اشعه‌های مضر خورشید همراه با تأمین روشنایی مناسب برای ساختمان و در نتیجه کاهش هزینه مورد نیاز برای روشنایی، را در بر دارد.

#### دارنده فناوری/محصول تجاری شده:

شرکت Huper Optik<sup>۱</sup> از سنگاپور با استفاده از نانوذرات سرامیکی، برای کاربردهای مختلف، فیلم‌های پوشش‌دهی شیشه تهیه می‌کند. با استفاده از این فیلم‌ها روی شیشه ساختمان‌ها می‌توان در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد و از ورود اشعه مضر ماوراءبنفش نیز جلوگیری کرد.

شرکت انگلیسی the Vinyl Corporation<sup>۲</sup> با استفاده از نانوذرات سرامیکی ویندوفیلمی تولید می‌کند که مدعی است با عبور بیش از ۶۲ درصد نور از شیشه، ۸۰ درصد گرما و ۹۹ درصد UV را دفع می‌کند.

---

۱- [www.huperoptik.com](http://www.huperoptik.com)

۲- [www.thevinylcorporation.co.uk](http://www.thevinylcorporation.co.uk)





## افزایش ماندگاری چوب با استفاده از فناوری نانو

### معرفی/توصیف:

قطع بی‌رویه درختان و دسترسی کمتر به چوب، در کنار شرایط آب و هوایی خاص، مانند گرم و مرطوب و دیگر عوامل محیطی که در طی گذشت زمان ممکن است باعث از بین رفتن کارایی چوب گردد، ما را به استفاده از فناوری‌های نوین که باعث بهبود این مواد و افزایش طول عمر آنها بشود ناگزیر می‌کند.

### کاربرد/مزایا/معایب:

استفاده از نانوپوشش‌ها در جهت بهبود خواص و افزایش عمر چوب از دیگر کاربردهای فناوری نانو در حوزه ساختمان است. با استفاده از این فناوری می‌توان خواصی مثل تمیزکنندگی، لکه‌بری، ظاهر واضح و افزایش کیفیت و کارایی سطوح و کف‌های چوبی را در ساختمانها به وجود آورد.

### دارنده فناوری/محصول تجاری‌شده:

شرکت استرالیایی Kayuna<sup>۱</sup> پوشش‌های نانویی به نام Nanotec<sup>®</sup> برای به‌کارگیری روی کف‌های چوبی به‌منظور مراقبت از چوب در برابر رطوبت، ترک و خراش تولید می‌کند.

۱- [www.kayunatimberflooring.com.au](http://www.kayunatimberflooring.com.au)

در شرکت Nanovations<sup>۲</sup> استرالیا پوشش‌هایی با نام تجاری Lignol<sup>®</sup> برای محافظت چوب از جذب رطوبت و UV به بازار عرضه می‌کند. مزایای اصلی این پوشش دوام بالا، حفاظت استثنایی از ماوراءبنفش برای چوب، ظاهر شفاف، نفوذ بسیار عالی و دفع خوب آب است.

شرکت کانادایی Mirage<sup>۳</sup> پوشش‌هایی با نام Nanolinx<sup>TM</sup> جهت پوشش نهایی کف چوبی تولید می‌کند. استفاده اصلی این پوشش در محیط‌های پر رفت و آمد است.

NanoArc<sup>®</sup> نام تجاری موادی است که با استفاده از نانوذرات آلومینیوم توسط شرکت آمریکایی Nanophase<sup>۴</sup> ساخته شده‌است و در پوشش نهایی چوب به‌کار می‌رود. این مواد بدون آسیب به زیبایی بصری و شفافیت، مقاومت سطوح در برابر خراشیدگی را می‌افزاید.

---

۲- [www.nanovations.com.au](http://www.nanovations.com.au)

۳- [www.miragenanolinx.com](http://www.miragenanolinx.com)

۴- [www.nanophase.com](http://www.nanophase.com)



## استفاده از فناوری نانو جهت ایجاد سقف و پوسته بهینه ساختمان

### معرفی/توصیف:

یکی از مهم‌ترین بخش‌های یک واحد ساختمانی که نقش به‌سزایی در عملکرد بهینه ساختمان دارد، سقف و پوسته ساختمان است. استفاده از تکنولوژی‌های برتر در این بخش یکی از مزایای رقابتی پیمان‌کاران ساخت ساختمان‌ها است.

### کاربرد/مزایا/معایب:

فناوری نانو با استفاده از آیروژل‌ها تاکنون در این بخش نوآوری‌هایی داشته و کمک‌هایی مانند مقاوم‌سازی، عایق‌سازی حرارتی و رطوبتی، خاصیت خودتمیزشوندگی و از بین بردن آلودگی‌ها را به این بخش از ساختمان داده‌است. از طرفی پیشرفت‌های به‌وجود آمده در کوچک کردن ابعاد و افزایش راندمان سلول‌های خورشیدی به‌وسیله فناوری نانو، زمینه استفاده از سطح وسیع سقف ساختمان‌ها جهت تأمین انرژی آن‌ها را نیز فراهم کرده‌است.

## دارنده فناوری/محصول تجاری شده:

شرکت Bioni CS GmbH<sup>۱</sup> در آلمان پوششی برای سقف ساختمان تولید می‌کند که در برابر عوامل تخریبی محیطی و شرایط بد آب‌وهوایی مقاوم بوده و همچنین از ایجاد میکروارگاناسم‌ها و خزه نیز بدون اینکه اثرات قارچ‌کش‌های متعارف را داشته‌باشد جلوگیری می‌نماید. ضمناً این پوشش حرارت خورشید را بازتاب می‌نماید و لذا در بهینه‌سازی مصرف انرژی نیز تأثیرگذار است.

شرکت Nanosolar<sup>۲</sup> تکنولوژی سریع و آسان چاپ سلول‌های خورشیدی را با استفاده از نانوذرات و نقاط کوآنتومی توسعه داده‌است. باتوجه به اینکه این سلول‌ها به راحتی روی فویل‌های فلزی منعطف به ابعاد دلخواه چاپ می‌شوند، می‌توانند با نصب مدارهای لازم، بر روی سقف ساختمان‌ها استفاده شده و بخشی از انرژی آن را تأمین کنند.

در شرکت آلمانی Erlus<sup>۳</sup> از رس قطعات سفالی سقف ساخته می‌شود که خودتمیزشونده هستند. با استفاده از نانوذرات فوتوکاتالیست، وقتی این قطعات در پشت‌بام استفاده می‌شوند از سطح آن‌ها ذرات خاک، چربی، دوده، جلبک و خزه با کمک نور خورشید از بین رفته و با اولین باران به‌سادگی از بین می‌روند.

---

۱- [www.bioni.de](http://www.bioni.de)

۲- [www.nanosolar.com](http://www.nanosolar.com)

۳- [www.erlus.de](http://www.erlus.de)



## کاشی و سرامیک با پوشش آنتی باکتریال، ضد میکروب و خودتمیزشونده

### معرفی / توصیف:

به دلیل گسترش روز افزون جمعیت ساکن بر روی کره زمین و در پی آن رشد بسیار سریع بیماری‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا، محققان بر آن شدند تا با استفاده از راهبردهای پیشگیرانه مانع از بروز بیماری شوند چرا که در صورت بروز یک بیماری کنترل آن و جلوگیری از شیوع آن کاری بسیار سخت و گاهی غیرممکن خواهد بود لذا در سالیان اخیر محققان موفق به شناسایی ترکیباتی فلزی با خاصیت آنتی باکتریال شده‌اند که این ترکیبات می‌توانند از رشد و نمو باکتری‌ها و قارچ‌ها و دیگر عوامل بیماری‌زا جلوگیری کنند. از جمله روش‌های استفاده از این خواص، به‌کارگیری این ترکیبات در مواد و لعاب کاشی و سرامیک‌های بهداشتی است. چرا که پوشش‌های سرامیکی اغلب با غذا و نوشیدنی‌ها و مایعات و مواد زائد آلوده در تماس هستند که از عوامل مهم در ایجاد باکتری‌های مختلف به‌شمار می‌روند.

### کاربرد/مزایا/معایب:

ارائه ترکیبی ایده‌آل و کارآمد با خاصیت آنتی باکتریال با استفاده از مواد فوتوکاتالیست‌های نانویی که علاوه بر خواص میکروب‌زدایی از نظر اقتصادی قابل تولید و باصرفه باشد می‌تواند با به‌کارگیری در اماکن عمومی نظیر بیمارستان‌ها از انتشار و بیماری‌زایی باکتری‌ها ممانعت به‌عمل آورد و به‌این ترتیب علاوه بر پیشگیری از شیوع

بیماری در بین افراد در هزینه‌های درمان نیز صرفه‌جویی نمود. ویژگی‌های این مواد، که عمدتاً از نانوذرات  $\text{TiO}_2$  تشکیل شده‌اند، به شرح ذیل هستند:

- آنتی‌باکتریال: پوشش‌های فوتوکاتالیستی که حتی می‌تواند با اسپری کردن روی انواع سطوح قرار بگیرد، با تحریک الکترون‌ها و ایجاد پدیده اکسیداسیون در این نانوذرات، خاصیت گندزدایی ایجاد می‌کند که حتی بسیار بهتر از مواد شوینده شیمیایی و سفیدکننده‌ها است؛
- خودتمیزشوندگی: پوشش‌های فوتوکاتالیستی از بلورهایی تشکیل شده‌اند که در مقابل نور خاصیت خودپاک‌کنندگی پیدا می‌کنند. علاوه بر این، دی‌اکسیدتیتانیوم ابرآبدوست می‌باشد و باعث می‌شود تا هیچ قطره آبی روی سطح تشکیل نشود و قطره‌ها در حین پایین افتادن سطح را تمیز کنند.
- تصفیه هوا: اکسیژن‌های مولکول دی‌اکسیدتیتانیوم با آب موجود در هوا واکنش داده باعث واکنش بین اکسیژن و آب می‌شوند. رادیکال‌های  $\text{OH}^-$  آزاد شده باعث تجزیه  $\text{NO}_x$ ‌های موجود در آلودگی هوا شده، آن‌ها را به  $\text{HNO}_3$  بی‌ضرر تبدیل می‌کنند. جالب توجه اینکه ظرفیت تصفیه هوای ۱۰۰۰ مترمربع از کاشی‌های پوشیده شده با فوتوکاتالیست، معادل ظرفیت تصفیه هوای ۷۰ درخت صنوبر است.

#### دارنده فناوری/محصول تجاری‌شده:

محققان دانشگاه New South Wales<sup>۱</sup> استرالیا، پوششی را تولید کرده‌اند که با استفاده از آن، نظافت سرویس‌های بهداشتی به کاری بسیار آسان تبدیل می‌شود. محققان مرکز نانومواد کاربردی این دانشگاه امیدوارند با استفاده از پوشش نازکی از ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بتوان سرویس‌های بهداشتی را همیشه تمیز نگه داشت.

شرکت آلمانی Degussa<sup>۲</sup> در تولید و تجاری‌سازی نانوروش برای سطوح خودتمیزشونده فعالیت دارد.

۱- [www.unsw.edu.au](http://www.unsw.edu.au)

شرکت آلمانی n-tec GmbH Technikum در زمینه‌ی سطوح خود تمیزشونده فعالیت می‌کند.

مرکز تحقیقاتی فناوری نانو در دانشگاه <sup>۳</sup>Ulster انگلیس، نیز روی روکش‌های فوتوکاتالیستی برای سطوح خود تمیزشونده کار می‌کند.

شرکت ژاپنی JFE Metal Products & Engineering Inc.<sup>۴</sup> محصولاتی با نام Selfcleaner تولید می‌کند که با استفاده از پرتوهای ماوراءبنفش و باران، خاصیت خودتمیزشوندگی از خود نشان می‌دهند.

شرکت آلمانی Deutsche Steinzeug Cremer & Breuer AG<sup>۵</sup> محصولات خودتمیزشونده‌ای برای نمای خارجی دارد که نام تجاری این محصولات عبارتند از Hydrotect KeraTwin و Hydrotect KeraAion. همچنین این شرکت برای پوشش داخلی محیط‌هایی مثل دستشویی و حمام، محصولاتی با نام Hydrotect Chroma و Hydrotect Plural Two دارد. این محصولات با فوتوکاتالیست پوشش‌دهی شده‌اند و در خودتمیزشونده آنتی‌باکتریال هستند.

کارخانه ژاپنی Taiyo Kogyo Corporation<sup>۶</sup> سه نوع محصول برای پوشش سقف دارد که همگی از فیلم‌های پوشیده شده از فوتوکاتالیست تهیه شده‌اند. این محصولات عبارتند از (۱) Selfmax که برای ساخت انبارهای چادری استفاده می‌شود. این فیلم‌ها علاوه بر اینکه در برابر جذب لک مقاومند، نور ماوراء بنفش را کاملاً جذب می‌کنند تا افزایش دمای داخل چادر، کنترل شود. (۲) Skyclearcoat که برای ساخت سایبان استفاده می‌شود. این فیلم‌ها نیز علاوه بر ظاهری زیبا و شفاف، خاصیت ضدلک دارند. (۳) CleanMax برای ساخت ساختمان‌های

۲- [www.evonik.com](http://www.evonik.com)

۳- [www.ulster.ac.uk](http://www.ulster.ac.uk)

۴- [www.jfe-kenzai.co.jp](http://www.jfe-kenzai.co.jp)

۵- [www.deutsche-steinzeug.de](http://www.deutsche-steinzeug.de)

۶- [www.taiyokogyo.com](http://www.taiyokogyo.com)

گنبدی شکل خودتمیزشونده استفاده می‌شود. این ساختمان‌ها با اینکه از روشنایی روز استفاده می‌کنند، در عین حال از افزایش دمای داخل ساختمان جلوگیری کرده و اجازه عبور نور ماوراء بنفش را نمی‌دهند.

شرکت ژاپنی Sekisui Jushi Corporation<sup>۷</sup> با استفاده از پوشش‌دهی فوتوکاتالیست‌های نانویی، سطوح آب‌دوستی را روی سطح قطعات مورد استفاده در سطح شهر، مثل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی، آینه‌های مقعر در تقاطع‌ها و غیره استفاده می‌کند که با استفاده از خاصیت ابرآبدوستی، خودتمیزشونده هستند و آلودگی‌های شهری آن‌ها را کثیف نمی‌کند.

شرکت ژاپنی Toyo Toki<sup>۸</sup> با نام تجاری TOTO، محصولاتی با خاصیت خودتمیزکنندگی و آنتی‌باکتریال برای شیشه، کاشی و سرامیک، نمای ساختمان و آینه و شیشه اتومبیل تولید می‌کند.

شرکت استرالیایی Acme Nano Products<sup>۹</sup> با استفاده کامپوزیت‌های نانورس با نام PK nanoclay به تولید پوشش‌های و لعاب‌های آنتی‌باکتریال، ضدقارچ و مقاوم در برابر UV تولید می‌کند.

۷- [www.sekisuijushi.co.jp](http://www.sekisuijushi.co.jp)

۸- <http://www.toto.co.jp/en/index.htm>

۹- [www.acmenano.com.au/index.htm](http://www.acmenano.com.au/index.htm)





## نگهداری آثار باستانی و میراث فرهنگی با پوشش‌های نانویی

### معرفی/توصیف:

آثار باستانی و بناهای تاریخی به‌عنوان سازه‌های بارز و میراث هر کشوری به‌شمار می‌روند. لذا لازم است که این بناها در مرحله اول به‌خوبی مرمت و بازسازی شوند در مرحله بعدی از آن‌ها محافظت دائمی به‌عمل آورد. فناوری نانو با ایجاد پوشش‌های پیشرفته جهت محافظت سطوح ابنیه، می‌تواند آن‌ها را از تخریب با عوامل محیطی و تخریب توسط بازدیدکنندگان، به‌طور دائمی محافظت می‌کند.

### کاربرد/مزایا/معایب:

نانوپوشش‌های ابر دافع آب و کثیفی و همچنین مقاوم به جوهر و رنگ جهت جلوگیری از نوشتن یادگاری و تخریب که موسوم به AntiGraffiti نیز هستند، ابنیه تاریخی و مهم و همچنین ساختمان‌های تجاری و اداری با نماهای گران‌قیمت را می‌توانند حفظ و حراست کنند.

### دارنده فناوری/محصول تجاری‌شده:

شرکت آلمانی Degussa محصولی با نام Protectosil ANTIGRAFFITI® دارد که به‌صورت شیمیایی مواد معدنی ابنیه باستانی ترکیب شده و در برابر خراش و شرایط بد آب و هوایی نیز مقاوم است. این مواد که در برابر اشعه UV نیز مقاومند، اجازه چسبیدن رنگ و دیگر ذرات آلاینده را به سطح بنا نمی‌دهند.



## استفاده از فناوری نانو در انرژی و تکنیک های نورپردازی

### روش ها/کاربردها:

فناوری نانو گزینه های متعددی برای افزایش بهره وری و توسعه روش های جدید تولید انرژی و تکنیک های نورپردازی در ساختمان ارائه می کند.

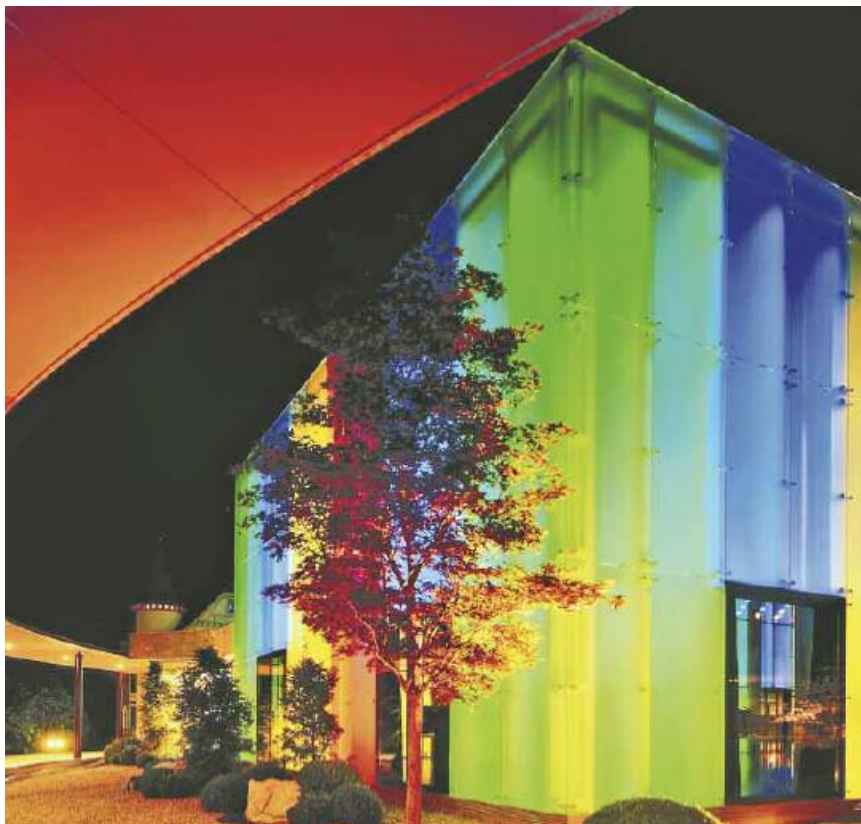
برخی از روش های جدید تولید انرژی عبارتند از:

\_\_ دیودهای نوری ۱ به عنوان تکنیک نورپردازی با بازده انرژی بالا برای کاربردهای ویژه در ساختمان (نورپردازی نما، نورهای راهنما، نورهای رنگی).

\_\_ مواد ارگانیک با توانایی بالا برای استفاده در تکنیک نورپردازی بر روی زیرلایه های انعطاف پذیر.

\_\_ سلول های خورشیدی رنگی با ویژگی شفافیت و زیبایی (تزیینی)، برای مثال در نماهای شیشه ای به عنوان جایگزینی برای سلول های خورشیدی پایه سیلیکون.

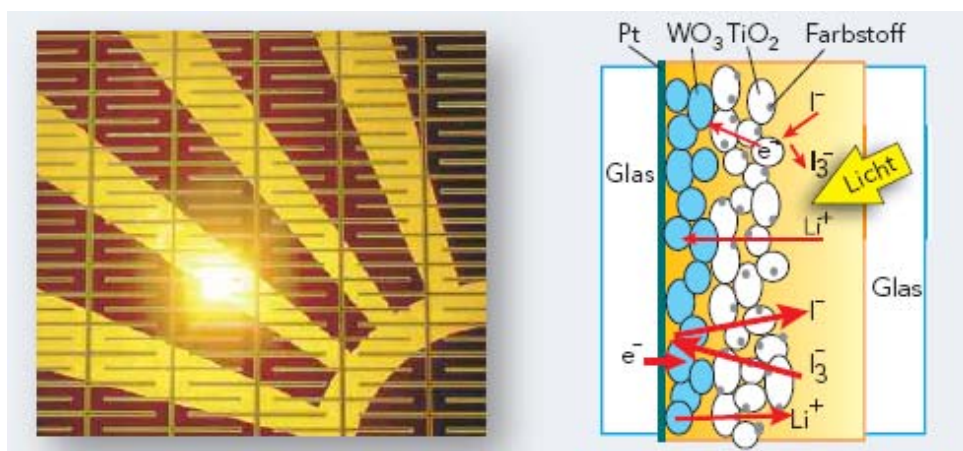
\_\_ پوسته‌های (غشا) نانو ساختار و کاتالیزورها، برای بازدهی بیشتر پیل های سوختی در بخش الکتریسیته و گرما.  
و با استفاده از گاز طبیعی



استفاده از LED در تکنیک نورپردازی  
(هتل weggis، سوئیس).

با توجه به مصرف کم انرژی، رنگ زیبا و ابعاد بسیار کوچک LED (که مبتنی بر پوشش‌های نیمه‌هادی در مقیاس نانو است)، معماران قادرند هنر خود را در نورپردازی ساختمان و طراحی نما در معرض عموم قرار دهند.

مزیت LED در آن است که می تواند طیف نوری گوناگونی را تولید کند. در مقابل، منابع دیگر نور برای ایجاد طیف های مختلف نور از پوشش رنگی یا فیلتر استفاده می کنند که در برخی موارد تا ۸۰٪ نور تولید شده جذب می گردد. در دراز مدت تکنیک های نورپردازی مبتنی بر دیودهای نوری ارگانیک (OLED) عرضه می شوند که مزایای گسترده ای نظیر استفاده در منابع نوری بزرگ، انعطاف پذیر بودن، چند رنگی و قابلیت تنظیم الکتریکی دارند. بنابراین در آینده کاربرد کاغذهای دیواری نور دهنده<sup>۲</sup> ممکن می شود و ساکنین در هر جا با استفاده از فناوری نانو می توانند طرح و رنگ دیوارهای خانه خود را با استفاده از این تکنیک ایجاد نمایند.



در سلول های خورشیدی رنگی از ذرات دی اکسید تیتانیوم برای انتقال سریع بار الکتریکی استفاده می شود. نور توسط مولکول های رنگی جذب می شود و الکترون از ذرات دی اکسید تیتانیوم رها شده و به الکترودها ارسال می شود. مولکول های رنگی با اکسایش و کاهش یدی و تری یدی (Iodide/triiodide)، دوباره در الکترولیت تولید می شوند. سلول های خورشیدی رنگی همچنین برای تولید شیشه های تغییردهنده رنگ استفاده می شوند. به این صورت که پوششی الکتروکرومیک در سلول ها به صورت یکنواخت ایجاد می شود. این مدول به طور خودکار در برابر نور خورشید تغییر رنگ می دهد. با توجه به تغییر رنگ و نوردهی، این سلول خورشیدی رنگی، گزینه های معمارانه جالبی قابل ارائه خواهد شد. (منبع: FHE-ISE).

سلول‌های خورشیدی رنگی، مثالی برای طبقه جدید سلول‌های خورشیدی هستند که برای جذب نور، مشابه با فتوستتز در مواد رنگی طبیعت عمل می‌کنند. در این مورد از اصل انتقال فوق سریع الکترون، بین نور جذب شده به وسیله‌ی مجموعه رنگی و الکتروود نانو بلور حاوی دی اکسید تیتانیوم، استفاده می‌شود. بزرگ‌ترین چالش در مسئله بازاریابی سلول‌های خورشیدی رنگی، پایداری بلند مدت آن در هنگام استفاده در فضای خارجی است. برای رسیدن به این هدف هم آب بندی مناسب و هم ترکیب شیمیایی دقیق و بهینه‌ی الکتروولیت‌های موجود در

سلول‌های خورشیدی رنگی مورد نیاز است. میزان اثر خورشیدی ممکن مدول‌های رنگی از ۴-۵٪ و تقریباً تا ۱۵٪ در بازار موجود است.

برای تجاری کردن محصول باید ویژگی‌های مطلوب کاربرد سلول خورشیدی رنگی از قبیل نیمه شفافیت، ترکیب آن با عناصر الکتروشیمیایی و زیبایی ارائه شود. کاربردهای اولیه آن در این زمینه، در نمای ساختمان، نورگیرها، بام‌های آفتابی و اتومبیل محسوس خواهد بود.

با توجه به نیاز روزافزون برای تبدیل انرژی کارآمد و گرایش به سمت منابع انرژی غیر متمرکز، سیستم‌های پیل سوختی در آینده نقش قابل توجهی را در ساختمان ایفا می‌کنند. در این

پیل‌های سوختی نانو از نظر اقتصادی و کارایی در آینده جایگزین مناسبی برای تولید برق- و گرما- هستند (منبع: Hexis).



زمینه پیل های سوختی دما بالا جالب توجه هستند، چون سیستم ترکیبی گرما و نیرو<sup>۳</sup> با بازدهی کلی بالاتری را فراهم می کنند. تولید نیروی برق بدین وسیله از محدوده ۱-۵ KW برای خانه های تک یا چند خانوار و تا ۱۰۰ KW برای سیستم های صنعتی می رسد.



# بازار نانوروشها در صنعت ساخت و ساز

## بازار نانوروشها در صنعت ساخت و ساز

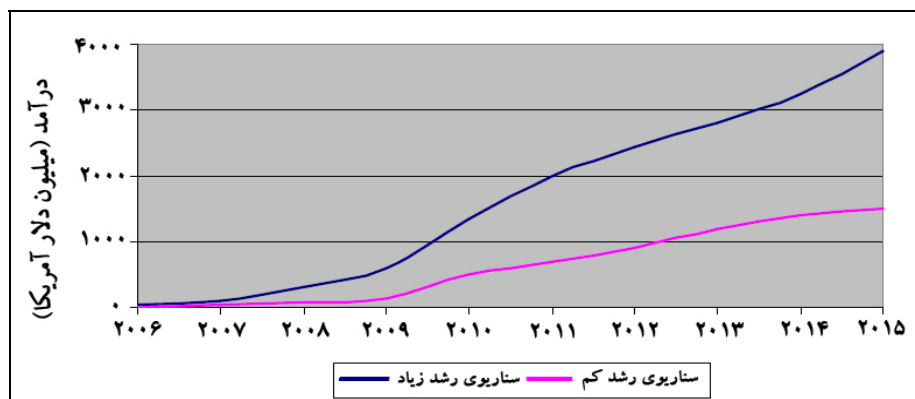
شرکت‌ها به این موضوع پی برده‌اند که با استفاده از نانوذرات درون لایه‌ها یا روی آنها، لایه‌های نازک پیوندهای قوی‌تر و منعطف‌تری با زیر لایه‌ها ایجاد خواهند کرد. این پوشش‌ها نرم‌تر، قوی‌تر و با دوام‌تر هستند. صنایع رنگ و پوشش اولین کسانی خواهند بود که از مزایای این قابلیت‌ها استفاده خواهند کرد. امروزه کارخانجات تولید پوشش مجبور هستند انتظارات مشتریان را برآورده کنند، ولی این کار با شیمی پلیمری مرسوم و موجود معمولاً قابل انجام نیست. قبلاً نشان داده شده‌است که نانوذرات غیرآلی می‌توانند بهبود قابل ملاحظه‌ای در مقاومت در برابر خراشیدگی ایجاد کنند. انتقال این ویژگی‌ها به پوشش‌های پلی‌اورتان همیشه ممکن نیست و علت آن نبود نانوذرات فعال در حلال‌های مناسب و نیز مشکلات مربوط به سازگاری است. توانایی کنترل پوشش‌های سطوح در مقیاس نانو، از عوامل مهم توسعه صنعتی فناوری نانو به شمار می‌رود. در حال حاضر روش‌های فیزیکی و شیمیایی زیادی برای ساخت نانولایه‌ها و نانوروشها و کنترل نانومتری ساختار و گروه‌های عاملی وجود دارد. ولی با این حال، افزایش مقیاس برای این روش‌ها همچنان یک چالش جدی است.

بازار نانوروشها در سال ۲۰۰۷ در صنعت ساخت و ساز حدود ۴۸ میلیون دلار آمریکا بود. سیستم‌های پوشش دهنده یک راهه مبتنی بر نانومواد قسمت اعظم این بازار را تشکیل می‌دهند. برای مثال پوشش‌های

ضدبakterی، حفاظت‌کننده و رسانا از این جمله هستند. با این حال سیستم‌های «دو طرفه» مانند مواد با حافظهٔ شکلی و پوشش‌های با قابلیت تغییر خاصیت آب‌گریزی - آب دوستی و پوشش‌های حاوی ذرات ترموکرومیک در حال توسعه هستند که در چند سال آینده به بازار خواهند آمد. جدول زیر تخمین در آمد حاصل از بازار نانوروش‌ها در صنعت ساخت و ساز را بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد.

پیش‌بینی درآمد جهانی نانوروش‌ها در صنعت ساخت و ساز برحسب میلیون دلار ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵										
بازار	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵
ساخت و ساز	۳۵	۴۸	۷۲	۱۵۱	۲۴۵	۳۳۰	۴۶۰	۵۶۳	۶۲۵	۷۵۰

شکل زیر فرصت‌های تجاری نانوروش‌های فتوکاتالیستی در صنعت ساخت و ساز را با دو سناریوی رشد کم و رشد زیاد نشان می‌دهد. همانگونه که در این نمودار مشاهده می‌شود، در هر دو سناریوی رشد کم و زیاد از سال ۲۰۱۰ به بعد شاهد رشد قابل ملاحظه‌ای در این بازار خواهیم بود.



فرصت‌های تجاری نانوروش‌دهی فتوکاتالیستی در صنعت ساخت و ساز با دو سناریوی سطح رشد زیاد و کم

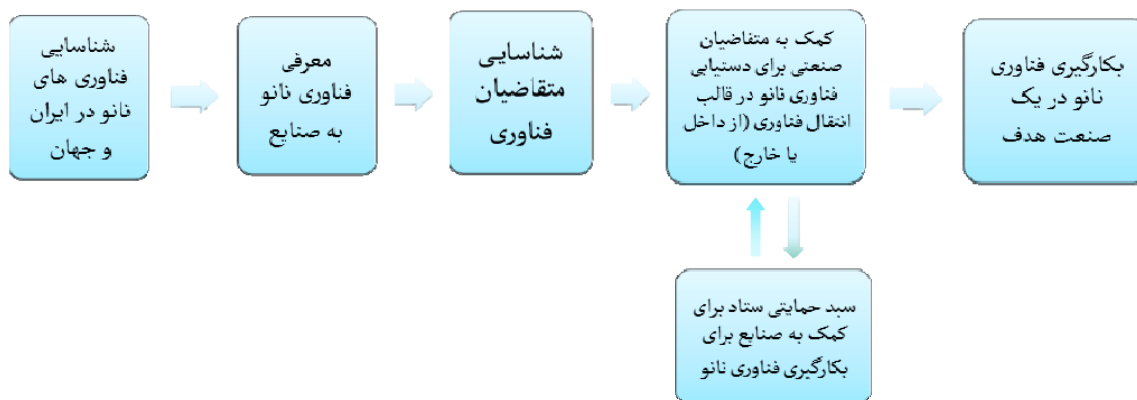


## معرفی کارگروه صنعت و بازار

کارگروه صنعت و بازار یکی از زیرمجموعه‌های اصلی ستاد ویژه توسعه فناوری است که با هدف ترغیب صنایع کشور برای به‌کارگیری فناوری نانو و حمایت از آن‌ها در این مسیر ایجاد شده است. رویکرد اصلی این کارگروه، آشناسازی صنایع کشور با کاربردهای فناوری نانو و تسهیل فرآیند انتقال فناوری از مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی و شرکت‌های فناور داخلی و یا منابع فناوری خارجی به متقاضیان صنعتی است.

صنایع هدف در برنامه‌های این کارگروه عبارتند از:

- صنایع مادر از جمله نفت و انرژی، دارو، خودرو، فولاد و... که اغلب دولتی هستند.
  - صنایع خصوصی در همه حوزه‌های صنعتی، در صورتی که متقاضی استفاده از فناوری نانو باشند.
- کارگروه صنعت و بازار در برنامه‌های خود رویکرد **ایجاد تقاضا در صنایع** برای استفاده از فناوری نانو و پاسخ به آن از طریق منابع فناوری داخلی و خارجی را دنبال می‌کند که اصطلاحاً رویکرد «**کشش بازار**» نیز گفته می‌شود این رویکرد به صورت شماتیک در شکل زیر نمایش داده شده است:



سرفصل‌های اصلی حمایت کارگروه صنعت و بازار از شرکت‌های متقاضی استفاده از فناوری نانو عبارتند از:

- ✓ حمایت کامل از رصد و معرفی فناوری‌ها و بازار مرتبط با حوزه فعالیت شرکت‌های صنعتی
  - ✓ حمایت از کارگزاران تخصصی برای معرفی فناوری نانو به صنایع
  - ✓ حمایت از امکان‌سنجی به‌کارگیری فناوری نانو توسط شرکت‌های متقاضی
  - ✓ جستجو و معرفی همکار تکنولوژیک از طریق منابع موجود در بانک عرضه فناوری
  - ✓ حمایت از تحقیق و توسعه مورد نیاز برای تطبیق فناوری‌های موجود در کشور با نیازهای خاص صنایع
  - ✓ تضمین فناوری‌های بومی در صورت به‌کارگیری توسط یک شرکت
  - ✓ ارایه تسهیلاتی از قبیل وام (بدون بهره یا کم‌بهره)، لیزینگ و ... به شرکت‌های متقاضی استفاده از نانو به منظور انجام تغییرات احتمالی در خط تولید خود
  - ✓ حمایت از اخذ استاندارد و مجوز و پرداخت هزینه‌های مربوط به دریافت استاندارد، تأییدیه و مجوزهای لازم پس از تولید محصول نهایی
  - ✓ حمایت از نفوذ شرکت‌ها در بازار در قالب صدور ضمانت‌نامه‌ها برای شرکت در مناقصات، نقد کردن قراردادهای، کمک به حضور در قراردادهای بزرگ و همکاری با پیمانکاران بزرگ
- شرکت‌های توانمند در همه رشته‌های صنعتی در صورتی که از طریق رصد رقبا و یا نمایشگاه‌های صنعتی تخصصی در جهان، کاربردی از فناوری نانو در حوزه فعالیت خود را شناسایی نموده و علاقه‌مند به استفاده از آن باشند می‌توانند با کمک کارگروه صنعت و بازار ستاد اقدام به جذب فناوری مورد نظر نمایند. این کمک‌ها در قالب مشاوره‌های تخصصی در زمینه فناوری نانو و تسهیلات مختلف پیش‌بینی‌شده در سبد حمایتی کارگروه از شرکت‌ها خواهد بود.

### مشخصات شرکت‌های دارای محصولات نانویی در حوزه صنعت ساختمان

نام شرکت	محصول	مدیر عامل	وبسایت	تلفن
نانو ساو	تامین مواد نانویی	مهندس حسین صالحی	www.nanosav.com	۰۲۱-۶۶۵۶۳۲۰۰
پوشش صنعت نانو فن تهران	نانو رنگ	مهندس علی بیگدلی	www.nanoayegh.com	۰۲۱-۷۷۷۴۰۹۳۵
پیشگامان فناوری آسیا	پوشش آنتی استاتیک، رنگ ضد خش ترافیکی	مهندس حسین دیبایی اصل	www.atpioneers.com	۰۲۱-۶۶۵۵۳۹۵۳
مجمع صنایع شیمیایی ریف ایران	رنگ ترافیکی	مهندس مجید تابشیری	www.reefiran.com	۰۳۱۱-۶۲۵۲۰۰۰
مهندسی طرح وندیداد	نانو بتن سبک سازه‌ای	محمد صفرپناه	www.vandidad-co.com	۰۲۱-۸۸۲۸۰۵۰۷-۸
نانو پیشتاز پارس	کاشی آنتی باکتریال	مهندس بهرام سیدمعصومی	www.npp.com	۰۲۶۳-۲۷۴۶۸۱۴
نیلی فام ری	رنگ پایه آب خود تمیز شونده - نانو فام SC	مهندس حسین سیاوشیان	www.nilifam.com	۰۲۱-۸۸۳۱۸۴۵۴
بسپار سازان ایرانیان	نانو کامپوزیت اپوکسی/ نانو سیلیکا	زهرا حسن علیزاده	www.basapolymer.com	۰۹۳۵۴۴۱۹۹۴۵
لوله و اتصالات وحید	لوله بیصدا سه لایه فاضلاب	مهندس صحاف امین	www.vahidgroup.com	۰۲۱-۸۸۵۳۷۳۹۹
شریف نانو پارس	مواد ضد آب و لک	دکتر دولتی	www.sharifnanopars.com	۰۲۱-۶۶۰۶۶۱۴۱
رنگ ترک تزئینی آسیا	رنگ ترک	مهندس علیرضا پورقاضیان	www.crackpaint.com	۰۹۱۲۶۱۸۶۲۹۴ ۰۲۱-۳۶۷۵۱۲۸۰
مجمع فناوری‌های نوین فدک سپاهان	نانو سیلیس	مهندس حسین فخاری	www.fadakgroup.ir	۰۳۱۱-۲۶۴۳۸۷۸

کارگروه صنعت و بازار همچنین آماده همکاری با کارگزاران مجرب برای معرفی فناوری به صنایع کشور است و در این راستا از کارگزاران دارای سابقه فعالیت در حوزه‌های صنعتی مشخص برای تسهیل ورود شرکت‌های صنعتی به فناوری نانو حمایت می‌نماید.

#### اطلاعات تماس با کارگروه صنعت و بازار ستاد ویژه توسعه فناوری نانو:

نشانی: تهران، خیابان ستارخان، خیابان شهید حبیب الله، بلوار شهید متولیان، پلاک ۱۵

صندوق پستی: ۱۴۵۶۵-۳۴۴

تلفن: ۰۲۱-۶۱۰۰۲۲۵۰-۳

دورنگار: ۰۲۱-۶۱۰۰۲۲۲۲

پایگاه اینترنتی: [www.nano.ir](http://www.nano.ir)

پست الکترونیکی: [im@nano.ir](mailto:im@nano.ir)

