

## کاربرد نانو تکنولوژی در عمران

### ۱- کاربرد نانو فناوری در بتن:

کاربرد نانو فناوری در بتنیکی از جنبه های اصلی نانو تکنولوژی ماهیت میان رشته ای آن است. تعامل این علم با علم بتن می تواند نقطه عطفی در صنعت ساخت و ساز ایجاد کند. هدف نهایی از بررسی بتن در مقیاس نانو، یافتن نسلی جدید از مصالح ساختمانی با عملکرد های بالا و با خواصی جدید و متفاوت نسبت به خواص مصالح معمولی است. اولین گام برای ورود به این عرصه، شناخت بتن است: تاریخچه، کاربرد ها، محاسن و معایب بتن، روش های سنتی اصلاح بتن، مزایا و معایب این روش ها و در نهایت شناخت نقاط ضعف و قوت بتن، سپس وارد دنیای نانو می شویم، بتن از دیدگاه نانو مشاهده می شود، ترکیبات، ساختارها و فرایند ها بازبینی می شوند سپس امکاناتی که این علم تا به امروز فراهم آورده بررسی می گردند و آینده نانو بتن ها ترسیم می شوند.

#### معرفی:

بتن در مفهوم وسیع، به هر ماده یا ترکیبی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد گفته می شود. این ماده چسبنده عموماً حاصل فعل و انفعال سیمان های هیدرولیکی و آب می باشد. بتن از پر کاربرد ترین مصالح ساختمانی است. ویژگی اصلی بتن ارزان بودن و در دسترس بودن مواد اولیه آن است. کاربرد بتن را می توان در تمامی کارهای عمرانی از قبیل ساختمان، مخازن و نیروگاه ها، سازه های دریایی مثل اسکله ها، جاده ها و راهها، مسیر های انتقال آب و سدها و ... مشاهده کرد. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بهبود کیفیت بتن انجام شده است که اکثر آنها تغییر در ترکیب بتن (که به آن طرح اختلاط بتن گفته می شود) را بررسی کرده اند، با این حال استفاده از افزودنی ها و همچنین جایگزین کردن مصالح متداول مورد استفاده در بتن با مصالح جدید همیشه مورد توجه بوده است. یکسری از مواد جدید که توانسته اند خواص مکانیکی و فیزیکی بتن را ارتقا دهند، نانو مواد ها هستند. نانو مواد ها با توجه به خصوصیات شان در سطوح بسیار ریز میتوانند دنیای بتن را کاملاً متحول کنند.

در این گردآوری سعی بر آن شده که دید کلی از بتن نمایانده شود، تاریخچه ای در مورد این صنعت آورده شده، سپس مواد تشکیل دهنده بتن و از جمله افزودنی های متداول معرفی می شوند. برای ورود به عرصه نانو لازم است ساختار نانویی این ماده بررسی شود. همچنین در بخش نانو تکنولوژی در بتن، دو مسیر در تحقیقات نانو در بتن معرفی می شوند سپس آینده متصور شده برای نانو بتن ها ترسیم می شود و در نهایت چالش هایی که علم نانو در صنعت بتن مواجه است معرفی می شوند.

## کاربرد نانو فناوری در بتن

### تاریخچه:

کلمه "بتن" از ترجمه کلمه "concrete" و از ریشه لاتین "concertus" به معنای "متراکم و فشرده" آمده است. رومی ها نوعی خاکستر آتشفشانی با نام پوزالان را با آهک مخلوط و ملاتی با مقاومت بالا تولید می کردند. بررسی های امروزی نشان داده است که مقاومت فشاری بتن های باستانی در مقایسه با بتن های امروزی تفاوت زیادی ندارند ولی مقاومت کششی آن ها بسیار کمتر است. بعد از روم باستان به نظر میرسد که راز ساخت بتن برای ۱۳ قرن مسکوت ماند تا در اوایل قرن ۱۶ میلادی دوباره مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب دیگری شبیه بتن با نام ساروج از ابتکارات معماران ایرانی در دوران بسیار کهن است که جهت ساختن حوض، پل، آب انبار، برکه گرمابه و بنای خانه و سد کاربرد داشته است. قدمت سازه های ساروجی تا ۷۰۰ سال تخمین زده شده است.

استفاده از نانو تکنولوژی در صنعت بتن به چند سال اخیر برمیگردد. از حدود ۸۰ سال پیش تاکنون استفاده از سیلیکا در ابعاد میکرون به صورت گسترده ای در بتن های پایه سیمانی مورد استفاده قرار گرفته است. ثابت شده است که استفاده از ذرات ریزتر از میکرو سیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری بتن گردیده است، با این حال کمبود دانش و درک ضعیف از اثر ذرات فوق ریز و نانو ذرات در تکنولوژی بتن، تحقیقات فراوانی را در این زمینه می طلبد.

معبد پانتئون رم شکل ۲- معبد پانتئون رم به عنوان یکی از بزرگترین گنبد های جهان جزو شگفتی های دنیای معماری، نمونه ای از سازه بتنی رومیان باستان. ضخامت گنبد ۱.۵ متر و ارتفاع آن ۴۳.۲ متر است.

### مواد تشکیل دهنده متداول بتن:

بتن در کاربرد متداول ساختمانی به ماده ای تشکیل شده از شن (سنگ دانه های درشت دانه از ۰.۵ تا ۲.۵ سانتیمتر است)، ماسه (سنگ دانه های کوچک تر از ۲/۵ سانتیمتر است)، سیمان که در بتن نقش اتصال سنگ دانه ها را دارد و در ارتباط مستقیم با مقاومت بتن است و آب در بتن نقش روان کردن بتن برای کارایی بهتر و انجام عملیات هیدراتاسیون را داراست. در اثر واکنش شیمیایی سیمان و آب روند سخت شدن ادامه یافته و در نتیجه دانه ها (ماسه و شن) را بصورت توده سنگ مانندی به یکدیگر می چسباند. در عین حال بعضی مواد به عنوان مواد افزودنی در مرحله مخلوط کردن به بتن اضافه می شوند. این افزودنی ها به منظور افزایش مقاومت، کارایی، دوام و تغییر خاصیت های ظاهری بتن به آن اضافه می شود. مواد افزودنی

به دو گروه مواد افزودنی‌های شیمیایی و مواد افزودنی‌های معدنی تقسیم می‌شوند. انواع معمول مواد افزودنی بتن به شرح زیر است:

– شتاب دهنده سرعت هیدراتاسیون بتن (سخت شدن)

– کاهش دهنده سرعت گیرش بتن.

– افزودنی‌های حباب‌زا باعث ایجاد حباب‌های با هندسه کروی و بسیار ریز درون بتن می‌شوند. افزودنی‌های حباب‌زا عمداً برای ایجاد و تثبیت حباب‌های میکروسکوپی هوا در بتن استفاده می‌شود.

– روان‌ساز بتن که به منظور کاهش دهنده مقدار آب بتن استفاده می‌گردد.

– مواد افزودنی که شامل رنگدانه‌ها که می‌تواند برای تغییر رنگ بتن و زیبایی استفاده گردد.

هرکدام از این روش‌ها می‌توانند یکی از ویژگی‌های بتن را ارتقا بخشند با این حال معمولاً در ویژگی‌های دیگر بتن اثر منفی می‌گذارند و کیفیت بتن را به طور یکنواخت افزایش نمی‌دهند اما فناوری نانو این مزیت مهم را دارد که با اصلاح ضعف‌ها، مشکلاتی در زمینه دیگر ویژگی‌های بتن ایجاد نمی‌کند.

### ساختار بتن:

بتن ماده‌ای با ساختار نانو، چندفازی و با اجزا مختلف است. این ساختار شامل فازهای نامنظم کریستالی از ابعاد میکرومتر تا نانومتر می‌باشد. فاز غیر بلوری و نانوساختار کلسیم-سیلیکات-هیدرات (C-H-S) باعث ایجاد چسبندگی می‌شود که اجزا بتن را به هم می‌چسباند.

بتن در مقیاس نانو شامل ملکول‌ها، سطوح (دانه‌ها و فیبرها) و پیوندهای شیمیایی است. مشخصاتی که این مقیاس را توصیف می‌کنند شامل: ساختارهای ملکولی، گروه‌های عمل‌گر سطحی (surface functional groups)، طول پیوندها، مقاومت (انرژی) و دانسیته می‌باشد. ساختار غیر بلوری و فازهای کریستالی و محدوده‌های میان‌فازی، در این مقیاس به وجود می‌آیند. مشخصات و فرایندها در مقیاس نانو، تعامل بین ذرات و فازها در مقیاس میکرو و اثرات بارهای اعمالی و کلا محیط پیرامون در مقیاس ماکرو، را تعریف می‌کند. به عبارت دیگر تمامی مشخصات مهندسی در یک توده بتن به فرایندهایی مربوط است که در نانو مقیاس اتفاق می‌افتد.

### نانو تکنولوژی در بتن:

علم نانو و مهندسی نانو که گاهی با عبارت بهسازی نانویی در بتن بیان می شوند، عناوینی هستند که برای توصیف دو مسیر در تحقیقات نانو تکنولوژی در بتن استفاده می شوند.

علم نانو مربوط است به اندازه گیری 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 تکنیک های پیشرفته توصیف و مدل سازی مربوط به سطح اتمی یا ملکولی.

نانو مهندسی شامل تکنیک های دستکاری ساختار در مقیاس نانومتری به منظور ایجاد نسل جدید و مناسب کامپوزیت های سیمانی با رفتار مکانیکی ایده ال است و حتی میتوان بتن با خواص جدیدی مثل مقاومت الکتریکی پایین، هوشمند بودن، خود تمیز کننده، خود ترمیم کننده، شکل پذیری بالا و ... به وجود آورد.

فعالیت های تحقیقاتی اخیر در زمینه نانو تکنولوژی در بتن شامل: بررسی ذاتی هیدراسیون در سیمان، تاثیر اضافه کردن نانو سیلیکا به بتن، اضافه کردن نانو ذرات به سیمان، بتن و پوشش های سیمانی و مشاهده تاثیرات آن ها بر رفتار و مشخصات ایجاد شده است.

## آینده بتن:

در دنیای امروز بتن بعد از آب پر استفاده ترین ماده در جهان محسوب می شود. با استفاده از ویژگی های منحصر به فرد این ماده مثل: عمل آوری در دمای معمولی، خزش کم، قابلیت شکل گیری در قالب های پیچیده، مقاومت حرارتی تا دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس، همساز بودن با انواع رشته ها و فیبرهای موجود، قابلیت استفاده با نانو مواد های موجود مثل نانو سیلیکا و مشخصات غیر سمی بتن، می توان به صورت موثر برای ساختن ماده ای جدید با قابلیت های فوق العاده به کار رود. به عنوان مثال می توان با نانو سیمان های فرآوری شده، پوسته هایی با ضخامت چند میکرون و با شکل های مختلف همچون استوانه ایجاد کرد و در اجزا الکترونیکی و سنسورهای حرارت بالا به کار برد. همچنین می توان از نانو لوله های کربنی هم برای افزایش مقاومت بتن و هم برای شکل دهی مدار های الکترونیکی استفاده کرد. یکی از کاربردهای مهم این مواد جدید برای پوشش بتن است، پوشش های پایه سیمانی موجود می بایست ضخیم بوده و برای بهبود چسبندگی آن ها نیاز به افزودن مواد پلیمری است. نانو سیمان ها یک الگوی جدید در این حیطه ارائه خواهند داد. می توان با مواد و تکنیک های جدید، پوشش های نانو متری با مشخصه های خاص مثل مقاومت در برابر سایش، مقاومت در برابر حرارت و پوشش ها با خاصیت الکتریکی تولید کرد، همچنین می توان پوشش هایی ساخت که حرارت کمتری تولید کنند و در نتیجه اصطکاک کاهش یابد. پوشش ها می توانند خود تمیز شوند و خود ترمیم کننده باشند. سطوح بودن ترک دیگر یک آرزوی دور از دسترس نیست. با تکنولوژی نانو، تصور ما از بتن متحول خواهد شد.

پوشش خود تمییز شونده، ساخته شده با نانو ذرات شکل ۶- پوشش خود تمییز شونده، ساخته شده با نانو ذرات

### چالش های نانو تکنولوژی در صنعت بتن:

نانو تکنولوژی مانند تمامی تکنولوژی های نو نیاز به یک توجیه اقتصادی دارد، در حال حاضر هزینه های بالای نانو ذرات مانع از توسعه روزافزون این محصولات و استفاده آن ها در صنعت می گردد، برای همین بهره برداری از نانو تکنولوژی در صنعت بتن در مقیاس تجاری همچنان به چند محصول قابل عرضه در بازار محدود گردیده است.

مشکل دیگر در زمینه استفاده از نانو مواد ها توزیع یکنواخت آن ها در ماتریس بتن است. معمولاً این مواد در حین افزوده شدن به بتن به صورت کلوخه انباشته می شوند و در مخلوط به خوبی توزیع نمی شوند، البته برای این حل مشکل می توان از دستگاه های مخلوط کن قوی استفاده کرد.

اشکال دیگر در این زمینه جذب آب بسیار بالای ذرات نانو است. این ذرات به علت سطح ویژه بسیار بزرگی که دارند مقدار زیادی آب جذب می کنند و ممکن است بر کارایی بتن تاثیر گذار باشد.

در نهایت چالش هایی هستند که باید قبل از گسترش استفاده از نانو فناوری در صنعت بتن حل شوند مانند: توزیع یکنواخت نانو مواد، سازگاری نانو مواد با سیمان، فرآوری، تولید، ایمنی، مسائل مربوط به حمل و نقل، تولید انبوه و هزینه ها، به علاوه معرفی کردن این مصالح جدید به جامعه از طریق زیرساخت های اجتماعی مستلزم افزایش و درک تاثیر آن ها روی محیط زیست و سلامت انسان ها می باشد، با این حال چیزی که واضح است این است که، اکنون، بعد از ۵۰ سال از مقاله مشهور فینمن (Feynman.R)، نانو فناوری در حال تغییر دیدگاه دانشمندان و مهندسين در مورد یکی از قدیمی ترین ماده های ساخت بشر، بتن، است.

### نتایج:

بتن در مقیاس بزرگ یعنی ماده ای که بشر امروز در تمامی زیر ساخت های مهم و حیاتی خود به کار برده است، بتن در مقیاس نانو یعنی ماده ای با فاز های نامنظم کریستالی، فاز های غیر کریستالی و نانو ساختارهای کلسیم-سیلیکات-هیدرات (C-H-S). استفاده از نانو فناوری در بتن نوید دهنده ایجاد یک کامپوزیت پایه سیمانی جدید، تقویت شده و پیشرفته با مشخصات منحصر به فرد مکانیکی، حرارتی و الکتریکی در آینده نزدیک است. غالب تحقیقات انجام شده تاکنون بر روی درک بهتر از هیدراسیون ذرات سیمان، نانو ذرات سیلیکا و سنسورها انجام شده اند. با این حال برای استفاده از علم نانو در صنعت بتن می بایست چالش های زیادی برطرف شود.

## کاربرد نانو تکنولوژی در عمران

افزودنی ها موجود برای بتن همیشه تمامی مشخصات بتن را بهبود نمی بخشد. نانو فناوری نشان داده است که قابلیت بهبود عملکرد بتن را به صورت همه جانبه دارد. در این جا با تعدادی از کاربرد های نانو فناوری در بتن آشنا می شویم. ذرات نانو با توجه به ابعادشان می توانند نقش پر کننده حفرات را بازی کنند. همچنین می توانند با تشکیل نانو کریستال ها مشخصات بتن را ارتقا بخشند. میکرو سیلیس از جمله افزودنی های پرمصرف امروزی است با این حال مشاهده شده که استفاده از نانو سیلیس تاثیر بهتری روی رفتار بتن دارد. در ادامه بتن خود تمیز شونده، خود پایش، نانو مسلح کننده های بتن و نانو پوشش های بتنی معرفی می شوند.

### نانو ذرات سیمان:

یکی از فواید کریستال های نانو مقیاس که با استفاده از نانو ذرات تشکیل شده است، پر شدن فضا ها و حفرات خالی ماتریس سیمان است. اضافه کردن نانو ذرات که منجر به تشکیل نانو کریستال ها می شود، باعث افزایش مقاومت فشاری، کششی و برشی می شود.

سیمان در صنعت به صورت پودر تولید و مصرف می شود. ابعاد ذرات سیمان معمولی عموماً در حد میلی و میکرو هستند. اخیراً نانو ذرات سیمان برای بهبود عملکرد سیمان پیشنهاد شده است. دو روش برای ساخت نانو ذرات سیمان پیشنهاد شده است: (۱) خرد کردن ذرات سیمان معمولی به وسیله آسیاب های پر قدرت (کل به جزء) و (۲) ترکیبات شیمیایی (جزء به کل). چسب های سیمانی که با استفاده از نانو ذرات سیمان به وجود می آیند، زمان عمل آوری کمتر و مقاومت فشاری اولیه بالاتری نسبت به سیمان های معمولی دارند.

### نانو رس ها:

استفاده از ذرات نانو رس باعث بهبود رفتار مکانیکی مثل مقاومت در مقابل نفوذ کلرید ها، ایجاد بتن خود متراکم، کاهش نفوذ پذیری و کاهش افت در بتن می شود. رس و مشخصات رس که در ترکیب با سیمان تاثیر گذار می باشد در مقیاس نانو وجود دارد. ابعاد ذرات رس در طبیعت در حد میکرو و ریز تر از میکرو است. ساختار رس شامل لایه های کریستالی فیلوسیلیکات آلومینیوم با ضخامت تقریبی در حد یک نانو متر است.

تاثیر رس بر روی سیمان موضوع جدیدی نیست و در اکثر کاربردها از رس کلسینه (Calcined clay) شده استفاده می شود. با این حال در بازبینی های اخیر تمرکز بر روی امکانات مهندسی نانو در رس قرار

گرفته است. اکثر این تحقیقات بر روی رس طبیعی (کلسینه نشده) انجام می شود. به دلیل آب دوست بودن (Hydrophilic) ذرات رس، کنترل مقدار آب مورد نیاز در کامپوزیت های رس-سیمان با اهمیت است.

### نانو سیلیس:

میکروسیلیس یکی از موادی است که در دهه های اخیر استفاده از آن در بتن به طور جدی مورد توجه مهندسين ساختمان قرار گرفته است. به دلیل خصوصیات بارز پوزولانی میکروسیلیس، استفاده از آن جهت بهبود خواص مکانیکی و افزایش دوام بتن در کشور های پیشرفته رو به افزایش است. استفاده از آن در بتن دارای فواید بسیار زیادی از جمله : کاهش ترکهای ناشی از هیدراتاسیون سیمان، دوام بهتر در مقابل آسیب های سولفات ها و آب های اسیدی و دست یافتن به مقاومت های نهایی بالا با استفاده از انواع سوپر روان کننده های بتن می باشد. از دیگر مزایای مصرف میکروسیلیس کاهش تحرک یون های کلر و در نتیجه کاهش عمق نفوذ کلر در بتن بویژه در نواحی ساحلی جنوب ایران می باشد. از موارد مصرف آن می توان در بتن ریزی های مربوط به ساخت اسکله های دریائی، شمع ها، ستون ها و قطعات پیش ساخته، فونداسیون ماشین آلات و کلیه سازه های بتنی که در معرض حملات شیمیایی بویژه یون کلر و سولفات ها قرار دارند نام برد.

در سال های اخیر مطالعات بر روی نانو ذرات سیلیس متمرکز شده، با این هدف که بتوان با استفاده از این ماده، مشخصات بتن را بیش از پیش افزایش داد. افزودن نانو سیلیس به بتن موجب افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی، کاهش زمان گیرش و کاهش نفوذ پذیری آب درون بتن و همچنین مقاومت بالاتر در برابر حمله های شیمیایی می شود. آزمایشاتی که بر روی نانو سیلیس انجام شده، نشان داده اند که این ذرات نتنها برای محیط زیست مشکل ساز نیستند بلکه نتایج بهتری در مقایسه با میکرو سیلیس ارائه می کنند. تحقیقات نشان داده است که اضافه کردن نانو سیلیس بیشتر از میکرو سیلیس باعث افزایش مقاومت در بتن می شود. نانو سیلیس مخلوط شده با بتن در دراز مدت باعث حفظ سلامت کارگران، بتن و محیط زیست می شود. نانو سیلیس همچنین می تواند باعث کاهش مصرف سیمان، بهبود کیفیت بتن و افزایش کارایی آن شود.

اضافه کردن ۱۰ درصد نانو سیلیس باعث افزایش ۲۶ درصدی مقاومت فشاری بتن گردید در حالی که همین مقدار میکروسیلیس افزایش ۱۵ درصدی مقاومت فشاری بتن در بر داشت. حتی اضافه کردن مقدار اندک ۰.۲۵ درصدی نانو سیلیس باعث ۱۰ درصد افزایش مقاومت فشاری و ۲۵ درصد افزایش مقاومت خمشی می گردد.

### نانو ذرات اکسید آهن:

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

### دی اکسید تیتانیوم:

خود تمیز شونده فوتو کاتالیتیک، یکی از مهم ترین موارد استفاده از نانو تکنولوژی در صنعت ساختمان است. آلودگی های طبیعی و صنعتی مثل NOx، مونوکسید کربن، VOCها، کلروفلور ها و آلدئید های ناشی از اتومبیل ها و پساب های صنعتی، در اثر فوتوکاتالیزر و به کمک کاتالیزر بسیار فعال نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تجزیه می شوند. برای فعال شدن اثر خود تمیز شونده در اکسید تیتانیوم، نور طبیعی روز، رطوبت هوا و اکسیژن مورد نیاز است. نحوه فعالیت فوتو کاتالیتیک های بر پایه دی اکسید تیتانیوم را به صورت جامع می توان در مقاله مطالعه نمود. هم اکنون محصولات خود تمیز 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 که برای مثال می توان از کلیسای جوبلی در رم ایتالیا نام برد. محققان همچنین نشان داده اند که استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم علاوه بر خاصیت خود تمیز کنندگی، باعث افزایش سرعت هیدراسیون و کاهش زمان گیرش و همچنین باعث افزایش مقاومت خمشی و فشاری بتن نیز می شوند. یکی از معایب این روش کاهش کارایی تجزیه کنندگی آن با گذشت زمان است.

### نانو ذرات اکسید آلومینیوم:

اضافه کردن نانو ذرات اکسید آلومینیوم به مخلوط بتن باعث افزایش قابل ملاحظه در مدول الاستیسیته بتن می گردد. مشاهده شده است که با افزودن ۵ درصد نانو اکسید آلومینیوم، مدول الاستیسیته بتن تا ۱۴۳ درصد افزایش پیدا کرده است ولی تاثیر قابل ملاحظه ای روی مقاومت بتن نداشته است. تاکنون ویژگی خاص دیگری از این ماده در بتن گزارش نشده است.

### نانو الیاف ها:

نانو لوله های کربنی (CNTs) و نانو رشته های کربنی (CNFs) به عنوان گزینه های اصلی نانو تکنولوژی برای مسلح کردن مصالح پایه سیمانی معرفی می شوند. مدول الاستیسیته و مقاومت بسیار بالای این نانو



مواد ها ( در حدود ترا پاسکال TPa) در کنار مقاومت کششی عالی (در حدود گیگا پاسکال GPa) و مشخصات منحصر به فرد الکتریکی و شیمیایی، پتانسیل بالای نانو لوله ها/رشته های کربنی را در ایجاد نسل جدید مصالح پایه سیمانی نشان می دهد. استفاده از این نانو مواد ها باعث بهبود مشخصات مکانیکی، مقاومت در برابر پخش ترک ها، محافظت در برابر امواج الکترومغناطیس و ایجاد قابلیت خود-پایش در مصالح پایه سیمانی می گردد. نسبت طول به عرض این نانو مواد ها بسیار زیاد است (۱۰۰۰ و بیش تر) و می توان آن ها را به مانند یک زنجیر طولانی فرض نمود. نانو لوله های کربنی تک جداره (SWCNTs) و چند جداره (MWCNTs) و نانو رشته های کربنی از گرافین های زنجیر وار با ساختارهای بسیار منظم و با مساحت بسیار زیاد تشکیل شده اند.

نانو رشته های کربنی برخلاف نانو لوله ها بسیار راحت تر در مخلوط سیمان توزیع می شوند، همچنین فرآوری آن ها راحت تر است، به طور هم زمان هم مشخصات مکانیکی و هم مشخصات الکتریکی را بهبود می بخشد، به کار گیری آن ها راحت تر و هزینه نهایی آن ها برخلاف نانو لوله ها بسیار پایین تر (تا ۱۰۰ برابر ارزان تر) و برای تولید انبوه بتن مفید است. در تحقیقاتی که تاکنون انجام شده، استفاده از نانو لوله ها/رشته های کربنی در کامپوزیت های پلیمری به صورت گسترده ای مطالعه شده اند ولی درباره استفاده آن ها در بتن و سیمان، مطالعات محدودی انجام شده است. بیش تر تحقیقات انجام شده، بر روی مقایسه تاثیر CNTs و CNFs بر ملات سیمان متمرکز شده است. یکی از اشکالات اصلی این افزودنی ها، عدم توزیع یکنواخت آن ها در مخلوط سیمان است و یک دلیل عمده این مسئله، آب گریزی بسیار بالای آن ها و دلیل دیگر آن جاذبه درونی بالای این نانو مواد است. یکی دیگر از مشکلات این نانو لوله ها/رشته ها عدم چسبندگی مناسب بین CNTs/CNFs با خمیر سیمان است. برای ایجاد یک مخلوط همگن و هم زمان چسبندگی عالی بین CNTs/CNFs و ملات سیمان تحقیقاتی انجام شده است. یکی از روش های مطرح شده، اضافه کردن CNTs/CNFs به صمغ عربی ( یک صمغ با قابلیت حل شدن در آب که به عنوان عامل پراکنده ساز استفاده شده است) و بعد، اضافه کردن آن به سیمان است. در یک تحقیق نشان داده شد که اضافه کردن SWCNTs و یا MWCNTs به بتن با استفاده از پیش پراکنش با صمغ عربی، می تواند سختی و مدول الاستیسته سیمان را افزایش دهد در حالی که اضافه کردن آن ها بدون استفاده از صمغ عربی باعث تضعیف مشخصات مکانیکی سیمان می شود. یک روش دیگر برای توزیع یکنواخت نانو لوله های کربنی در خمیر سیمان، استفاده از انرژی فرا صوت و همچنین استفاده از سورفاکتنت ها ( موادی که اثر کشش سطحی را کاهش می دهند) است، در این حالت مشاهده شد که مقدار اندکی (CNTs 0.048 و 0.08 و درصد وزنی) تا ۵۰٪ باعث افزایش مدول الاستیسته سیمان می شود.

در زمینه مسلح کردن بتن با نانو الیاف بحث بسیار گسترده ای وجود دارد که از حوصله این مبحث خارج است، روش های اضافه کردن این مواد به بتن، مزایا و معایب هر روش، نتایج بدست آمده از تغییر در مقاومت و کارایی بتن، صرفه اقتصادی، نحوه پراکنش نانو مواد در بتن، اتفاقاتی که در مقیاس نانو در پیوندهای بین نانو مواد و ذرات سیمان می افتد و بسیاری مباحث دیگر همچنان در حال بررسی هستند.

### نانو پوشش ها:

محافظت و یا تقویت ساختمان های موجود و یا جدید به وسیله اصلاح پلیمری سطح و یا پوشش دهی با سطوح نفوذ ناپذیر و آب گریز امکان پذیر است. جلوگیری از نفوذ آب و آلودگی به بتن باعث افزایش کارایی سازه ای بتن می شود. این عمل از نفوذ مواد مضر برای بتن و فولاد به درون بتن جلوگیری می کند. همچنین باعث افزایش مقاومت در برابر یخ زدگی می شود. با این حال همچنان می بایست دوام دراز مدت این مصالح و سازگار بودن آن ها با پوشش زیرین و تاثیر آن ها روی بقیه مشخصات مکانیکی بررسی شود. بر اساس فرمول بندی این مواد، این اصلاح ها مکانیزم های متفاوتی دارند. الف) پوشش دهی و عایق بندی روی سطح بتن که باعث ایجاد یک سد غیر قابل نفوذ می شود. (پلی اورتان، اکریلیک و رزین های اپوکسی (Polyurethane, acrylic and epoxy resins). ب) مواد آب-گریزی که روی سطح حفرات بتن کشیده می شوند و مانع از نفوذ آب می شوند. (سیلان، سیلوگسان، پلیمر های فلئوریناته ) ( Silane, siloxane and fluorinated polymers). ج) پر کننده حفرات که درون بتن نفوذ می کند و حفرات را می بندد. (سیلیکات مایع و سیلیکو فلوراید های مایع ) ( Liquid silicates and liquid silicofluorides)

### بتن های خود ترمیم شونده:

یکی از نگرانی های مهندسی در مورد بتن، ترک خوردن آن است. ترک ها باعث نفوذ مواد مضر، کاهش عمر بتن و کاهش عملکرد سازه ای آن می گردد. اخیرا تحقیقاتی انجام شده که در آن ریز کپسول های حاوی پر کننده های ترک در مخلوط بتن قرار داده می شود. زمانی که در بتن ترک ایجاد می شود این کپسول ها شکسته شده و مواد داخل آن فضای ترک را پر می کند.

## ۲- کاربرد نانو فناوری در سازه های فلزی:

### کاربرد نانو فناوری در سازه های فلزی

از آن جایی که محصولات ساخته شده از طریق تکنولوژی نانو دارای مشخصات منحصر به فردی هستند، این تکنولوژی می تواند در بسیاری از فرآیندهای ساخت و طراحی به کار برده شود. این مشخصات منحصر به

فرد قادر هستند که مشکلات کنونی در ساختمان سازی را حل کرده و در فرآیند ساخت تغییراتی را به وجود آورند. پیشرفت علم در حوزه نانو ذرات فلزی و دستاوردهای بزرگ در این زمینه باعث بهبود ویژگی های فلزات ساختمانی از جمله فولاد شده است. اضافه کردن نانو ذراتی مانند مس، مولیبدن و وانادیم باعث بهبود خواص مکانیکی فولاد و کاهش هزینه های ساخت شده است. ساخت نانو کابل ها، نانو پوشش هایی نظیر دی اکسید تیتانیوم و استفاده از فناوری نانو در ساخت و تولید پیچ و مهره ها تحول عظیمی را در سازه ها ایجاد کرده است.

## فناوری نانو و فولاد

فولاد یکی از مهمترین مواد ساختمانی می باشد. خواصی نظیر استحکام، مقاومت به خوردگی و قابلیت جوشکاری آن در طراحی و ساخت بسیار مهم هستند. این قابلیت ها باعث شده که نقش فولاد در صنعت ساخت و ساز بسیار پر رنگ باشد.

موارد استفاده از فولاد در صنعت عمران:

- در ساختمان های اسکلت فلزی به عنوان تیر و ستون و بادبند و پلیت های کف، در ساختمان ها و سازه های بتنی به عنوان میلگرد
  - پایه ها و کف پل ها، کابل های کششی پر مقاومت
  - لوله های انتقال آب و گاز و نفت
  - اجزای داخلی ساختمان ها مثل در و پنجره ها، پیچ ها و اتصالات،
  - استفاده در نمای ساختمان
- معایب فولاد:

خستگی و ترک خوردگی، خوردگی در مجاورت سیمان، آثار تبعی جوش کاری، نیاز به مقاومت های بالاتر، ضریب ارتجاعی بالاتر، نیاز به مقاومت بیش تر در مقابل خراشیدگی، از بین بردن آلودگی سطوح فلزی و ...

کاربرد گسترده فولاد در صنعت ساختمان، مزایا و معایب این ماده و قابلیت های چشمگیر فناوری نانو، زمینه های متعدد تحقیقات در این صنعت را فراهم می آورد.

فولاد و نانو ذرات:

خستگی مساله بسیار حساسی است که می تواند منجر به شکست فولاد در سازه های تحت نیروی سیکلی (مانند پل و برج ها) گردد. این موضوع می تواند در تنش هایی کمتر از تنش تسلیم مواد رخ دهد و در نتیجه عمر مفید سازه را کاهش دهد. افزایش تنش باعث شروع ترک و متعاقباً شکست خستگی می شود. تحقیقات نشان داده است که افزودن نانو ذرات مس باعث کاهش ناهمواری های سطح فولاد گشته و در نتیجه ی آن تعداد تنش ها محدود شده و بنابراین ترک ناشی از خستگی کاهش می یابد. پیشرفت در این فناوری منجر به افزایش ایمنی، نیاز کمتر به نظارت و استفاده ی بهتر از مواد در ساخت و ساز های مستعد به مساله خستگی شده است.

### فولاد Sanduk Nauoflex:

در سال ۱۹۹۲، اداره کل بزرگراه (FHWA) همراه با سازمان آهن و فولاد آمریکا و نیروی دریایی ایالات متحده، فولادی کم کربن- با عملکرد بالا (HPS) را برای پل ها تولید کردند. فولاد جدید مقاومت بالا در مقابل خوردگی و خاصیت جوش خوردگی بهتری را به خاطر وجود نانو ذرات مس در مرز دانه های فولاد از خود نشان می دهد. این فولاد به نام فولاد Sanduk Nauoflex معروف است. Sanduk Nauoflex یک فولاد زنگ نزن جدید است که خواصی از جمله استحکام فوق العاده بالا، فرم پذیری خوب و کیفیت سطح تمام شده ی خوبی دارد. به دلیل عملکرد بالای این فولاد، می توان از آن در کاربردهایی که نیاز به مواد سبک و محکم دارند استفاده نمود. به دلیل استحکام و مدول الاستیسیته فوق العاده بالا، این فولاد حتی می تواند نازک تر و سبک تر از اجزایی که از آلومینیوم و تیتانیوم ساخته شده اند باشد. مقاومت در مقابل خوردگی و سایش خوب آن می تواند باعث کاهش هزینه های ساخت و نگهداری شود.

### فولاد MMFX2:

MMFX2 یک فولاد اصلاح شده ی نانو ساختار دیگری می باشد که توسط شرکتی به همین نام ساخته شده است. در مقایسه با فولاد های معمولی، این نوع فولاد میکرو ساختار متفاوتی دارد: یک ساختار لایه ای تکه تکه شبیه به "تخته چند لایه". این ساختار منحصر به فرد باعث شده که فولاد MMFX2 استحکام (سه برابر مستحکم تر)، انعطاف پذیری، چقرمگی و مقاومت به خوردگی قابل ملاحظه ای پیدا کند. از این نوع فولاد می توان در مسلح سازی سازه های بتنی استفاده نمود. از آنجایی که این فولاد مقاومت در مقابل خوردگی مشابه فولاد زنگ نزن را دارد، می تواند به عنوان جایگزین استفاده شود زیرا از لحاظ اقتصادی به صرفه تر می باشد. همانطور که در شکل ۱ در تصاویر گرفته شده به وسیله میکروسکوپ انتقال الکترونی (TEM) نشان داده شده است، ترکیب شیمیایی و فرآیند تولید این فولاد باعث شده است که میکرو ساختار آن به صورت نانو لایه های انتقال نیافته ی آستنیت در بین لایه های مارتنزیت باشد. این ساختار از تولید

کاربرد پیوسته جلوگیری می کند و در نتیجه ایجاد سلول های میکرو گالوانیک را کاهش می دهد. بنابراین با کاهش سلول های میکرو گالوانیک، فرآیند خوردگی به شدت کاهش می یابد. از این نوع فولاد در سازه های زیادی که در معرض خوردگی بوده اند استفاده شده است. شکل ۲ استفاده از فولاد MMFX 2 را در یکی از پل های ایالت اوکلاهما در آمریکا نشان می دهد. از میلگرد MMFX 2 به عنوان رکاب در پیش ساخت تیرهای پل استفاده شده است.

فولاد MMFX2 شکل ۱. تصاویر TEM از میکروساختار فولاد MMFX 2

استفاده از فولاد MMFX2 در ساخت پل شکل ۲. استفاده از فولاد MMFX2 در ساخت پل

فناوری نانو و جوشکاری:

نقاط جوشکاری شده و منطقه حرارت دیده ی مجاور جوش (HAZ) ترد و شکننده می باشند. هنگامی که این مناطق تحت نیروهای دینامیکی قرار می گیرند، منجر به شکست ناگهانی می شوند. چقرمگی جوش مساله ی قابل ملاحظه ای به خصوص در نواحی زلزله خیز می باشد. گسیختگی و شکست جوش و مناطق HAZ پس از واقعه ی زمین لرزه ی سال ۱۹۹۴ نورث ریج در لس آنجلس، منجر به ارزیابی مجدد اصول جوشکاری و اتصالات سازه ای فلزات شد. بر اساس این موضوع فلسفه کلی مبتنی بر انتخاب نقاطی از سازه که به عمد ضعیف شده اند بود تا بتوان تغییر فرمی کنترل شده به دور از مناطق اتصال ترد را به وجود آورد. با اتخاذ به این رویکرد همچنین از افزایش عمدی ابعاد سازه ای که باعث پایین نگه داشتن تنش ها می گردد نیز پیشگیری می شود. تحقیقات نشان داده اند که اضافه نمودن نانو ذرات منیزیم و کلسیم دانه های مناطق HAZ را در فولاد ساده ریزتر کرده (حدود یک پنجم اندازه معمولی) که این امر موجب افزایش چقرمگی جوش می شود. افزایش چقرمگی در اتصالات جوش نه تنها باعث پایداری و بالا رفتن ایمنی سازه می شود، بلکه نیاز به منابع برای برقراری اتصالات را کاهش داده و در نتیجه باعث محدود شدن تنش ها در حد مجاز می شود.

پوشش های نانو:

پوشش های شامل نانو ذرات یا نانو لایه ها برای اهداف به خصوصی به وجود آمده اند. در واقع این پوشش ها یکی از کاربردهای اصلی در تکنولوژی نانو در ساختمان سازی می باشند. به عنوان مثال پوشش دی اکسید تیتانیم به وسیله واکنش کاتالیتیکی قوی می تواند آلودگی های آلی را شکسته و متلاشی کند. عملکرد فتوکاتالیتیکی شامل دو فرایند هم-زمان با شیوه های عمل متفاوت می باشد: ۱- فرایند فتوشیمی که در آن انرژی به وسیله ی تابش فراهم می شود. ۲- فرایند کاتالیتیکی که بر روی سرعت واکنش تاثیر می

گذارد. در واقع فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیم با جذب تابشی که انرژی آن بیشتر یا برابر با شکاف انرژی آن است، باعث برانگیخته شدن الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش می شود. در نتیجه حفره هایی در نوار ظرفیت ایجاد خواهند شد. بعد از برانگیختگی، الکترون و حفره ی جدا شده ممکن است وارد چندین مسیر متفاوت شوند. با مهاجرت الکترون ها و حفره ها به سطح دی اکسید تیتانیم، انتقال الکترون به مواد آلی یا معدنی که جذب سطحی شده اند و یا حلال صورت گیرد. همچنین انتقال الکترون می تواند از مواد آلی یا معدنی که جذب سطحی شده اند و یا حلال به سطح دی اکسید تیتانیم صورت گیرد. در نتیجه ی این جابه جایی الکترون، واکنش های کاهش و اکسایش بر روی سطح فتوکاتالیست انجام می شود. باید به این نکته اشاره کرد که در فتوکاتالیست ها هر چه اندازه ی ذرات کوچک تر باشد، چون سطح فعال فتوکاتالیست بیشتر می شود، بنابراین، این فتوکاتالیست ها فعال تر از فتوکاتالیست هایی با اندازه ی ذرات بزرگ تر عمل می نمایند. به دلیل آب دوست بودن اکسید تیتانیم، آب روی سطح این پوشش به صورت یکنواخت پخش شده و باعث زدودن آلودگی های متلاشی شده از سطح آن می گردد. شکل ۱ مکانیزمی از عملکرد فتوکاتالیست را نشان می دهد.

مکانیزم عملکرد فتوکاتالیست شکل ۳. مکانیزم عملکرد فتوکاتالیست

نانو کابل ها:

کابل های فولادی با استحکام بالا در ساخت پل ها به خصوص پل های معلق مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده از کابل های قوی باعث کاهش هزینه ها و زمان ساخت سازه ها می شود. مطالعات و تحقیقات در زمینه اصلاح فاز سمنتیت ( $Fe_3C$ ) فولاد در ابعاد نانو باعث تولید کابل های قوی شده است.

نانو و پیچ و مهره ها:

سازه های بلند نیاز به اتصالات با استحکام بالا دارند که این موضوع به نوبه خود نیاز به پیچ و مهره های مستحکم را ضروری می کند. مقدار استحکام بالای پیچ و مهره ها معمولاً از طریق کوئنچ (سرد کردن) و تمپر (بازپخت) تحقق می یابد. ریزساختار این گونه محصولات شامل مارتنزیت (ساختاری سخت از فولاد) تمپر شده است. هنگامی که استحکام کششی فولاد شامل مارتنزیت تمپر شده از  $1200\text{ MPa}$  بیشتر شود، حتی وجود مقدار کمی هیدروژن باعث ترد شدن مرز دانه ها شده و در نتیجه منجر به شکست مواد فولادی در حال استفاده می شود. این پدیده که معروف به شکست همراه با تاخیر است، مانع افزایش استحکام بیشتر پیچ و مهره های فلزی می شود. بالاترین مقدار استحکام آن ها در محدوده ی ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ مگاپاسگال می باشد. تحقیقات بر روی نانو ذرات وانادیم و مولیبدن نشان داده است که این مواد می توانند

شکست تاخیری را در پیچ و مهره ها بهبود بخشند. در واقع نانوذرات با کاهش اثر تردی هیدروژنی و بهبود ریزساختار فولاد با کاهش فاز سمنتیت بین دانه ای باعث افزایش استحکام پیچ و مهره ها می شوند.

بحث و نتیجه گیری:

استفاده از فناوری نانو در سازه هایی مانند پل ها و برج ها باعث افزایش خواص مکانیکی این سازه ها شده است. استفاده از نانوذرات مس در ساخت فولاد باعث افزایش استحکام و نقطه ذوب آن می گردد. همچنین این نوع فولادها قابلیت انعطاف پذیری بیشتر و درخشش قابل توجه ای دارند. از فولادهای حاوی نانوذرات مس در ساخت پل ها استفاده ی بسیار زیادی می شود زیرا این نوع فولاد مقاومت به خوردگی قابل ملاحظه ای دارد. اشاره به این نکته ضروری است که نانوذرات در فولادها باعث افزایش نسبت استحکام به وزن می شوند. استفاده از فناوری نانوفلزات در ساختمان سازی باعث تولید کامپوزیت های سبک تر و مقاوم تر ساختمانی شده است. همچنین تولید نانوپوشش هایی که نیاز به نگهداری و تعمیر کمتری دارند. اضافه نمودن نانوذراتی مانند مولیبدن و وانادیم به پیچ و مهره های فولادی باعث افزایش استحکام این تجهیزات شده است.

۳- شیشه و نانوتکنولوژی:

شیشه و نانوتکنولوژی

از کاربردهای نانوتکنولوژی در صنعت ساخت شیشه می توان به محصولاتی مانند شیشه های خودتمیز شونده، شیشه های کنترل کننده انرژی و شیشه های محافظ در برابر آتش اشاره کرد. در ساخت شیشه های خود تمیز شونده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم استفاده می شود. این شیشه ها دارای خاصیت ضدلک و ضدعفونی کنندگی هستند. ساخت شیشه های خود تمیزشونده که حتی مشکل تمیزکاری پنجره ها بخصوص در ساختمان های بلند را از میان برمی دارد، با کمک فناوری نانو حاصل شده است. شیشه های محافظ در برابر آتش از طریق قرار دادن یک لایه شفاف محتوی نانوذرات سیلیس در میان دو صفحه شیشه ای ساخته می-شوند. شیشه های کنترل کننده انرژی سبب کاهش عبور امواج ماورای بنفش و مادون قرمز، و تنظیم عبور نور مرئی و هم چنین جلوگیری از اتلاف انرژی در بخش های مختلف و استفاده بهینه انرژی در ساختمان شده است. از طرفی به حفظ و نگهداری ساختمان برای مدت طولانی، و همچنین مقاوم سازی آن، حتی در برابر حوادث غیرمترقبه کمک بسیاری می کند.

شیشه و انواع آن:

برای استفاده از خواص فوق العاده نانو مواد ، در اکثر اوقات لازم است، تا بر روی یک بستر مستحکم قرار گیرند. انواع شیشه ها می توانند گزینه خوبی برای این منظور باشند. با ترکیب شیشه ها با خواص متفاوت به همراه نانو ذرات می توان خواص بسیار جالبی از ترکیب آنها بدست آورد. در این قسمت برخی از انواع شیشه های پرکاربرد به عنوان عنوان بستر معرفی خواهد شد. سپس با استفاده از نانو ذرات خواص شگفت انگیزی بر روی شیشه بوجود خواهد آمد.

### شیشه ایمن (Safety glass)

دو نوع شیشه امن وجود دارد:

۱. لایه لایه ای (لامینت)

۲. حرارت دیده-حرارتی

### شیشه ایمن (Safety glass)

شیشه ایمن لایه ای:

شیشه های ایمن یک لایه نازک انعطاف پذیر پلاستیک شفاف به نام پلی وینیل بوتیرال (PVB) است که در میان دو یا چند تکه از شیشه تحت فشار قرار می گیرد (ساندویچ می شود). غشاء پلاستیک شیشه را در زمان شکست در جای خود نگه می دارد که به کاهش جراحات ناشی از پرتاب شیشه کمک می کند. بانک ها از یک شیشه دو جداره ی لایه ایی به منظور جلوگیری از وارد شدن گلوله تفنگ استفاده می کنند. شیشه ی لایه ای در برابر بیرون افتادن از قاب در مواقع زلزله و طوفان نیز مقاومت می کند.

شیشه ایمن لایه ایشکل ۲ - سارقین به راحتی قادر به عبور از شیشه های لمینت نیستند.

شیشه های ایمن لایه ای دو مزیت دیگر نیز دارند:

● انتقال صدا با فرکانس بالا را کاهش می دهد.

● ۹۷ درصد از اشعه UV، (ماوراء بنفش) را می گیرند. شیشه ایمن لایه ای در موارد زیر استفاده می شود.

● دما سنج ها، برای برداشتن دمای بدن

● صفحات برنده (Cutting boards)

● پنجره های گلخانه ها



## • چهار دیواری دوش – حمام (Shower enclosures)

### • پارتیشن های دفترشیشه ایمن حرارتی:

شیشه ایمن حرارتی تنها یک تکه از شیشه است که به وسیله عملیات حرارتی گرم می شود، سپس سریع سرد می شود و شیشه تبدیل به یک جسم سخت می شود. عملیات حرارتی مقاومت شیشه را تا ۱۰ برابر افزایش می-دهد. وقتی این نوع شیشه ضربه می خورد به تکه های تیز دندانه دار مثل ترکش های یک شیشه عادی یا یک آینه تبدیل نمی شود. در عوض به تکه های شبیه به سنگریزه تبدیل می شود، بدون لبه های تیز. شیشه حرارتی در پنجره های کناری خودروها استفاده می شود. عینک هایی که از یک شیشه حرارتی استفاده می کنند به وسیله یک عملیات شیمیایی حرارت می گیرند.

شیشه ایمن لامینت شده شکسته - شیشه ایمن حرارتی شکسته شده

شکل ۳ - شیشه ایمن لامینت شده شکسته - شیشه ایمن حرارتی شکسته شده

کاربردهای شیشه های حرارتی ایمن: • مانیتورهای کامپیوتر

• نمایشگرهای کریستال مایع LCD

• نورگیرها

• قفسه های یخچال

• درهای کوره

• درهای مقاوم در برابر طوفاناگر شما عینک آفتابی قطبیده شده به چشم بزنید می توانید به راحتی شیشه ایمن حرارتی را در پنجره های عقب یک اتومبیل در روز آفتابی تشخیص دهید. سرتان را ۹۰ درجه کج کنید. شما یک طرح متقارن که در هنگام عملیات حرارتی شیشه ساخته شده است را خواهید دید.

به هر حال با ورود نانو تکنولوژی به هر حوزه ای می توان خواص و کاربردهای جدید در آن حوزه را انتظار کشید. صنعت شیشه نیز از این امر مستثنی نبوده و شاهد تغییراتی اساسی در تنوع و کارکردهای محصولات بوده که در زیر به چند مورد از آن اشاره خواهد شد. شیشه های ضد لک و آسان تمیز شونده:

پوشش های Nanoprotect AG که در صنعت خودرو سازی کاربرد دارد، موجب دفع آب و ذرات گرد و غبار شده و به راحتی می توان سطح آن را تمیز کرد. این روکش همچنین ضدسایش بوده و علاوه بر مقاوم بودن در برابر پرتوهای فرابنفش، از دوامی طولانی برخوردار است. 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. برای رسیدن به سطوح آسان تمیزشونده باید به طریقی انرژی سطح را کاهش داد. یکی از مثال‌های آشنای این مورد، روکش‌های پرفلوئوره (تفلون) بر روی ظروف آشپزی نظیر تابه‌های نچسب است. معمولاً زمانی که زاویه تماس آب بالای ۱۰۰ درجه است، ویژگی دفع روغن و آب افزایش می‌یابد.

استفاده از پوشش‌های ضدآثرانگشت نانو بر روی لوازم الکترونیکی

شکل ۴- استفاده از پوشش‌های ضدآثرانگشت بر روی لوازم الکترونیکی

پنجره نانو تکنولوژی

شکل ۵- شیشه‌های آسان تمیز شونده به راحتی و با فقط یک دستمال ساده تمام آلودگی خود را از دست می‌دهند.

کاربرد نانو تکنولوژی در عمران

شکل ۶- (a) زاویه ترشوندگی کوچک و خصلت آبدوستی بالا (b) زاویه ترشوندگی بزرگ و خصلت آبگریزی بیشتر

نکته قابل تامل این است که این نوع پوشش‌های کاهنده انرژی سطحی بر روی موادی چون شیشه قابل استفاده نیست. زیرا اساس استفاده از شیشه، که شفافیت است را به شدت کاهش می‌دهد. برای رسیدن به شیشه با انرژی سطحی پایین باید از لایه‌های نازک بر روی سطح استفاده شود، تا شفافیت تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشته باشد. در عین حال بتواند خواص جدید مورد نیاز را نیز تامین کند. برای این منظور می‌توان از مواد مختلفی استفاده کرد. این مواد باید به گونه‌ای انتخاب شوند که پس از نشستن بر روی سطح شیشه گروه‌های آبگریز آن‌ها (نظیر متیل، اتیل و ...) به سمت خارج جهت‌گیری کند، تا ضمن کاهش جذب آلودگی به راحتی تمیز شدن آن نیز کمک کند.

شیشه‌های خودتمیزشونده با پوشش  $TiO_2$ :

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 تمیز شونده در نمای ساختمان‌ها استفاده

کرد. علاوه بر این با پوشش دهی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر زیرلایه های مناسب، می توان فیلترهای کارآمدی برای از بین بردن بو، تصفیه هوا و آب و فاضلاب ساخت.

پوشش هایی از ماده دی اکسیدتیتانیوم را با استفاده از روش های گوناگون، بر روی شیشه لایه نشانی می کنند. این پوشش با توجه به خاصیت نیمه هادی اکسیدی دی اکسیدتیتانیوم طی دو مکانیزم متفاوت باعث به وجود آمدن دو خاصیت به شرح زیر می شود. زمانی که پوشش دی اکسیدتیتانیوم بر روی شیشه ها در معرض تابش UV (که بخش اعظم نور خورشید را تشکیل می دهد) قرار می گیرد، آلودگی هایی مانند گرد و غبار و ذرات همراه باران را که به مرور زمان بر روی شیشه باعث آلوده شدن و عدم دید خوب می شود، تجزیه می کند.

خاصیت دومی که این پوشش به شیشه می دهد خاصیت آب دوستی است به این ترتیب که آلودگی های تجزیه شده هیدروکربن های آلی بر روی شیشه، بر اثر بارش باران یا آبی که به صورت مصنوعی بر روی شیشه ریخته می شود، به صورت ورقه ای پایین می آید.

سطح ابر آبدوست دی اکسید تیتانیوم و قطرات مایع که آلودگی را به راحتی پاک از بین می برند

شکل ۷ - سطح ابر آبدوست دی اکسید تیتانیوم و قطرات مایع که آلودگی را به راحتی پاک از بین می برند.

استفاده از این نانومواد برای ایجاد پوشش بر روی شیشه می تواند منجر به ویژگی های ذیل برای آن ها 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
- روشن تر و شفاف تر شدن شیشه تا ۲۰٪

• یکنواخت تر شدن سطح شیشه تا ۳۰٪

• افزایش دید از طریق شیشه در شرایط بد آب و هوایی

• تمیز باقی ماندن شیشه تا مدت زمان طولانی

• ضد انعکاس

برای پوشش دهی شیشه ها موادی وجود دارد که علاوه بر قابلیت دفع آب و آلودگی، در برابر خش نیز مقاوم است. در ضمن در برابر شوینده های شیمیایی و اسیدهای ملایم نیز مقاوم بوده و تحمل حرارت تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد را دارد. قیمت شیشه ها با پوشش اکسید تیتانیوم حدود ۱۰ درصد بیشتر می شود.

روکش های ضد مه بر روی شیشه:

قرار دادن یک سطح خنک در یک محیط گرم تر موجب ایجاد مه می شود. این اثر غیر قابل اجتناب است، مگر اینکه سطح مورد نظر گرم شود. تشکیل مه در اثر ایجاد قطرات کوچک روی سطح آینه ای است که موجب انعکاس ذره ای نور می شود. یک سطح ابرآبدوست می تواند از تشکیل این قطرات کوچک جلوگیری کند. این قطرات به سادگی با هم ادغام شده و یک لایه نازک آب را روی سطح آینه ای ایجاد می کنند که در این حالت، انعکاس پذیری سطح تغییر چندانی نمی کند. زمانی که روکش های فتوکاتالیزوری دی اکسید تیتانیوم در معرض مقدار مناسبی نور ماورای بنفش قرار گیرند، ابرآبدوست می شوند. در این حالت قطرات بخار آب هرگز روی سطح شیشه ها به صورت قطره جمع نمی شود بلکه به واسطه خصوصیت فوق آبدوستی سطح سریعاً روی سطح پخش شده و یک لایه سنگین آب روی سطح ایجاد می کند. این لایه به واسطه افزایش تدریجی وزن تمایل به سقوط دارد. در این کاربرد خاصیت آبدوستی شیشه توسط دو لایه  $\text{SiO}_2$  و  $\text{TiO}_2$  ایجاد می شود. ترکیب  $\text{SiO}_2$  در لایه خارجی قرار دارد و کشش سطحی بین آب و شیشه را کم می کند. دی اکسید تیتانیوم در لایه داخلی قرار دارد و نور خورشید را جذب نموده و مواد آلی را متلاشی می کند. با توجه به ساز و کار ذکر شده این لایه از خود خاصیت خود تمیز شونده گی نشان می دهد.

آینه هایی خودرو جدید با پوشش دی اکسید تیتانیوم با خاصیت ضدآلودگی و ضد مه و ضد انعکاس نورشکل ۹ - آینه هایی خودرو جدید با پوشش دی اکسید تیتانیوم با خاصیت ضدآلودگی و ضد مه و ضد انعکاس نور

شیشه های کم گسیل با پوشش نانویی جهت کاهش مصرف انرژی:

در این راستا می توان با استفاده از روکش های نانویی بر روی شیشه پنجره ها، آن ها عایق و تبادل حرارتی را بهینه کرد و اصطلاحاً به شیشه خاصیت کم گسیل (Low emission) اضافه کرد. در این صورت نقش آنها در کاهش مصرف انرژی غیر قابل انکار خواهد بود.

شیشه های کم گسیل باعث مدیریت انرژی می شوند شکل ۸ - شیشه های کم گسیل باعث مدیریت انرژی می شوند

پوشش نانویی در شیشه های کم گسیل، اجازه عبور بخش مرئی طیف نور خورشید را می دهند، اما طیف حرارتی (امواج مادون قرمز) و امواج مضر (ماوراء بنفش) را منعکس و فیلتر می کنند. این شیشه ها انتقال حرارت ناشی از اختلاف دما که ترکیبی از پدیده های هدایت، جابجایی و تابش است را به مقدار زیادی کاهش می دهند 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 اشعه های مضر خورشید همراه با تأمین روشنایی مناسب برای ساختمان و در نتیجه کاهش هزینه مورد نیاز برای روشنایی، را در بر دارد.

شیشه های محافظت شده در برابر آتش:

در مورد جداره های شیشه ای نیز، فناوری نانو به بهبود عمل حفاظت در مقابل آتش کمک می کند. در زمینه مقابله با آتش، همیشه برای شیشه یک نکته منفی وجود دارد و آن شکنندگی، شعله ور شدن و نشر دود ناشی از ذوب شیشه در هنگام وقوع حریق است. با استفاده از نانو ذرات، می توان شیشه های ضد حریق به وجود آورد که در اثر حرارت، یک پوشش اسفنج مانند (فوم مانند) را تشکیل می دهند که محافظت بهتری را در برابر آتش انجام می دهد. این جداره ها در مقایسه با نمونه های قبلی (تکنیک های گذشته) تقریباً ۵۰ درصد سبکتر هستند و اثر ضد حریق آنها ۲ برابر است. بر مبنای این روش، یک نانو ژل شفاف ساخته می شود که فضای بین دو جداره خارجی از آن پر می شود و با قرارگیری در معرض حرارت یک فوم سرامیکی سخت و ریز حفره (ریز متخلخل) با خواص عایقی بالاتری تولید می کند. هنگام آتش سوزی، این ژل متورم شده و یک فوم مستحکم مات ایجاد می کند. نانوذرات سیلیکای پخش شده می توانند مدت زمان حفاظت در برابر آتش را افزایش دهند. مقاومت حرارتی این شیشه به گونه ای است که اگر شیشه ای به ضخامت دو سانتیمتر از این نوع وجود داشته باشد، می تواند حرارت را به گونه ای کنترل کند که اگر در یک سمت شیشه آتش وجود داشته باشد، می توان دست خود را به سمت دیگر چسباند. از کاربردهای این شیشه می توان به سپرهای حرارتی شفاف و مقاوم در برابر آتش اشاره کرد. این سپر ها برای آتش نشان ها بسیار ضروری است. کاربرد دیگر آن در ساختمانهای تجاری، اداری یا حتی منازل است. این نوع از شیشه ها

در صورت آتش-سوزی از سرایت آن به مناطق دیگر جلوگیری می کنند. به دلیل کوچکی ذرات نانو موجود در ژل، پراکندگی نور کاهش می یابد و این امر سبب می شود تا شفافیت جداره های ضد حریق حفظ شود. شیشه های ضد حریق به طور آزمایشی در فرودگاه دبی استفاده شده اند. چند رسانه ای زیر به نحوه عملکرد شیشه های عایق حرارتی اشاره دارد.

#### پنجره های هوشمند نانو پنجره های هوشمند

حدود یک سوم انرژی یک ساختمان از طریق پنجره ها هدر می رود. به همین دلیل تلاش برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان ها بر روی پنجره ها متمرکز شده است. مطالعات زیادی برای یافتن روش های ذخیره انرژی صورت گرفته و نیاز به ذخیره انرژی باعث شده تا انواع جدیدی از پنجره های شیشه ای در ساختمان ها و همچنین در دیوارهای سالن کنفرانس در اداره ها به کار برده شود. این تکنولوژی کاربردهای فراوانی دارد. به عنوان مثال شیشه ای را تصور کنید که قابلیت تغییر از حالت شفاف به حالت کدر، توسط یک کلید را داشته باشد. می توان از این شیشه برای پنجره خانه (در حالت نیاز به ایجاد عدم دید)، برای جلوی فروشگاه ها در شب و همچنین حمام استفاده کرد. با وجود اینکه استفاده از این شیشه خصوصی، هنوز متداول نشده است اما نمونه های زیادی در تمام دنیا وجود دارد. اما پنجره های هوشمند موجود، از پنجره های الکتروکرومیک گرفته تا پنجره های با ذرات معلق، همگی به کمک ما شتافته تا به طریق هوشمند به کنترل و بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان ها و اماکن عمومی کمک کند.

تصور کنید که در یکی از گرم ترین روزهای آفتابی در تابستان، نور خورشید مستقیماً به اتاق شما می تابد و هیچ راه گریزی به جز استفاده از پنجره هایی با شیشه های دودی برای متعادل تر کردن گرما و نور اتاق ندارید. همچنین دوست دارید تا تنها زمانی که نور شدت دارد شیشه درست مانند عینک های فتوکرومیک دودی شوند.

شیشه های الکتروکروماتیک دسته ای از شیشه ها هوشمند از الکتروکروماتیک ها بهره می برند. الکتروکروماتیک ها موادی هستند که رنگ آنها در اثر جریان الکتریکی تغییر می کنند. جریان الکتریسته با ایجاد واکنش شیمیایی سبب تغییرات خصوصیات مواد می شود و کاری می کند تا آنها نور را جذب یا منعکس کنند. امروزه از صنعت الکترونیک در ساخت این نوع از شیشه های پنجره استفاده می شود.

نور خورشید به شیشه ها می تابد، اما از طرفی جریان الکتریکی برقرار شده، سبب می شود تا یون ها از لایه ذخیره یونی به سمت لایه هدایت یونی حرکت کرده و به لایه الکتروکروماتیک رجعت کنند و شیشه را شفاف نمایند. با قطع الکتریسته فرآیند برعکس عمل کرده شیشه مجدداً تیره می شود. یکی از ویژگی مواد

الکتروکروماتیکی قابلیت تنظیم آنهاست به طوری که می توان شدت کدري آنها را با تغيير مقدار جريان تنظيم کرد.

شکل ۱- تصوير شبیه سازی شده از شیشه های الکتروکرومیک (انواع ذخیره سازهای یونی)

شیشه های هوشمند (نوع کریستال مایع):

ساختمان درونی این شیشه تشکیل شده از دو لایه شفاف قلع به عنوان الکتروود می باشد که لایه ای از کریستال مایع بین آنها ساندویچ شده است.

شیشه های هوشمند (نوع کریستال مایع) شکل ۲ - از شیشه های الکتروکرومیک می توان برای داشتن محیط های مجزا استفاده کرد.

نمایش نحوه عملکرد شیشه های الکتروکرومیک (انواع فیلم کریستال مایع) شکل ۳- نمایش نحوه عملکرد شیشه های الکتروکرومیک (انواع فیلم کریستال مایع)

با گذراندن جریان الکتروسیته از فیلم کریستال مایع شیشه شفاف می شود. با قطع جریان کریستال ها با جهت گیری تصادفی خود در فضا موجب پخش کردن نور، و در نتیجه مات شدن شیشه می شوند. (شکل ۳)

این تکنولوژی کاربردهای فراوانی دارد. به عنوان مثال شیشه ای را تصور کنید که قابلیت تغییر از حالت شفاف به حالت کدر، توسط یک کلید را داشته باشد. می توان از این شیشه برای پنجره خانه (در حالت نیاز به ایجاد عدم دید)، برای جلوی فروشگاه ها در شب و همچنین حمام استفاده کرد. با وجود اینکه استفاده از این شیشه خصوصی هنوز متداول نشده است اما نمونه های زیادی از آن در تمام دنیا وجود دارد.

حالت کدر و شفاف برای شیشه الکتروکرومیک که با زدن یک کلید تغییر می کنشکل ۴ - حالت کدر و شفاف برای شیشه الکتروکرومیک که با زدن یک کلید تغییر می کند.

امروزه در فروشگاه عرضه لباس، در اتاق های تعویض لباس از این نوع شیشه استفاده شده است. با این سیستم می توان میلیون ها دلار در گرمایش و سرمایش و نور پردازی فضاها صرفه جویی کرد. در حال حاضر پنجره های هوشمند در برخی ساختمان ها به کار گرفته می شوند. این پنجره ها مصرف انرژی را کاهش می دهند؛ برای این کار، پنجره ها سرمای درون خانه را حفظ کرده و مقدار نور ورودی به داخل را کنترل می کنند. یکی از موارد مصرف این پنجره ها در موزه ها است؛ جایی که ورود بیش از حد نور خورشید می تواند موجب آسیب دیدن اشیاء قیمتی شود.

پنجره‌های هوشمند (آرایه‌های نانوسیمی پلی‌آنیلین):

اخیرا دانشمندان، موفق به ساخت پنجره‌هایی شدند که در آن از ابرخازن‌ها استفاده شده بود. این ابرخازن‌ها درون پنجره‌های الکترونیکی قرار داده شده‌اند؛ پنجره‌هایی که قادر به تغییر رنگ هستند. زمانی که تابش نور خورشید شدید است، این پنجره‌ها نور را جذب کرده و در خود ذخیره می‌کنند، زمانی که ظرفیت این پنجره‌ها تکمیل شد، شیشه‌ها تاریک شده و عبور نور را محدود می‌کند. با این کار مقدار نور ورودی به خانه و دمای آن تحت کنترل در می‌آید و از سوی دیگر انرژی ذخیره شده در آن را می‌توان برای استفاده در ادوات الکترونیکی دیگر نظیر نمایشگرهای تلویزیونی به کار گرفت. با مصرف انرژی ذخیره شده در پنجره هوشمند توسط دیگر ادوات، خازن‌ها تخلیه شده و دوباره با جذب نور خورشید شارژ می‌شوند.

این پنجره‌های هوشمند از آرایه‌های نانوسیمی پلی‌آنیلین ساخته می‌شوند که روی یک فیلم شفاف رسوب داده شده‌اند؛ فیلم‌های شفاف، خود توسط لایه‌های رسانا پوشانده شده‌اند. این نانوسیم‌ها به وسیله یک ژل الکترولیتی پوشانده می‌شوند تا به عنوان الکتروود مورد استفاده قرار گیرند. دو الکتروود به صورت ساندویچی دور هم پیچیده می‌شوند تا یک ساختار جدید ایجاد شود.

شیشه‌هایی که نور خورشید را به الکتروسیسته تبدیل کرده و در ابر خازن ذخیره می‌کنند شکل ۵ - شیشه‌هایی که نور خورشید را به الکتروسیسته تبدیل کرده و در ابر خازن ذخیره می‌کنند.

پلی‌آنیلین دارای ظرفیت بالایی است؛ و هزینه تولید آن اندک است، از دیگر مزایای این ماده شفاف بودن و انعطاف‌پذیر بودن آن است. پارامتر انعطاف پذیر بودن بسیار مهم است؛ زیرا به راحتی می‌توان آن را به صورت رول درآورد و در ادواتی با اشکال مختلف استفاده کرد، برای مثال می‌توان پرده‌هایی هوشمند تولید کرد. محققین در این زمینه بر این باورند که اگر این فناوری بتواند با هزینه کم به بازار عرضه شود، می‌توان از آن در حوزه‌های مختلف از خودروسازی گرفته تا ساختمان استفاده کرد. پنجره‌های هوشمند: کنترل رنگ و شفافیت شیشه‌های خورشیدی:

نور خورشید مدت زیادی است که به عنوان منبع تولید الکتروسیسته و جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی مورد توجه بوده است. اما اخیرا محصولات خورشیدی علاوه بر جذب انرژی خورشیدی، دارای کاربرد تزئینی نیز شده‌اند.

شیشه‌های رنگی تشکیل شده از سلول خورشیدی، در مصارف خانگی و صنعتی کاربرد پیدا کرده است که نه تنها تولید کننده انرژی هستند، بلکه در رنگ‌های مختلف، کاربردهای تزئینی نیز در نمای ساختمان دارد. این محصول، پانل‌هایی چند لایه‌ی کدر تا نیمه شفاف، که به رنگ‌های نقره‌ای، برنزی، طلایی، تا



رنگ های اصلی، قرمز، سبز، و سرخابی می باشد را شامل می شود که از پلی کریستال ها تشکیل شده اند. تفاوت رنگی آنان به دلیل تفاوت ضخامت در پوشش ضدانعکاس آنها می باشد.

شیشه های تشکیل شده از پلی کریستال که با لایه ضدانعکاس پوشیده شده اند شکل ۶ - شیشه های تشکیل شده از پلی کریستال که با لایه ضدانعکاس پوشیده شده اند.

به عنوان مثال در شیشه های تولید شده با این تکنولوژی، رنگ آبی دارای ضخیم ترین پوشش ضدانعکاس است. که مصرف انرژی آن بسیار کم است. نقره ای هم دارای نازک ترین پوشش است. که از نظر مصرف انرژی بهینه نیست. این نوع می تواند در مواردی که نیاز به گرفتن کمتری از انرژی خورشید می باشد به کار رود. پنجره های هوشمند: استفاده از نانو بلورهایی با قابلیت انتقال نور مرئی و رد نور نزدیک مادون قرمز

محققان آزمایشگاه برکلی در حال ساخت پنجره هوشمندی هستند که میزان حرارت وارد شده به اتاق و همچنین نور محیط را تنظیم می کند. ساخت نوعی پوشش که شامل لایه نازکی از نانوبلورها با قابلیت انتقال نور مرئی و رد نور نزدیک مادون قرمز است می تواند گام مهمی در این رابطه به حساب آید.

حالت انتقال دهنده نور نزدیک به مادون قرمز نانوبلورها را می توان با اعمال چند ولت پتانسیل فعال ساخت. در یک روز سرد، هر دو نور مرئی و نزدیک به مادون قرمز برای انتقال گرما می توانند وارد محیط شوند؛ اما در روزهای گرم چند ولت الکتروسیته بر این نانوبلورها اعمال شده تا پنجره تنها به نور مرئی اجازه ورود بدهد.

شیشه نانو و عدم اجازه ورود به نور ماورا بنفش و مادون قرمز به درون ساختمان در یک روز گرم شکل ۷ - عدم اجازه ورود به نور ماورا بنفش و مادون قرمز به درون ساختمان در یک روز گرم

دانشمندان همچنان به تلفیق اکسید قلع ایندیوم در شکل نانو بلور می پردازند. این بلورها در مایعات و حلال ها از هم جدا شده و می توان از آنها برای پوشش دادن به شیشه استفاده کرد. قلع به این ماده یک بار الکتریکی اضافی داده و الکترونها را آن مسؤل جذب نور مادون قرمز هستند. تغییر حالت جذب کنندگی مادون قرمز شیوه کاملاً جدیدی محسوب می شود. این پنجره های هوشمند، نه تنها به زیبایی و راحتی محیطها کمک کرده، بلکه تاثیرات اقتصادی زیادی بر سرانه مصرف انرژی داشته است.

این نوع از پنجره ها با حفظ شرایط آب و هوایی داخل، در روزهای داغ و سوزان تابستان، مانع ورود نور خورشید به داخل شده و در زمستان با تبدیل به حالت شفاف، اجازه عبور به نور خورشید را داده و انرژی گرمایی را ذخیره می کند.

تصویری از شیشه های منعکس کننده گرما شکل ۸ - تصویری از شیشه های منعکس کننده گرما

پنجره‌های هوشمند موجود، از پنجره‌های الکتروکرومیک گرفته تا پنجره‌های با ذرات معلق، با وجود مزایای زیادی که دارند، دارای معایبی نیز هستند که قیمت بالا، کاهش سریع بازدهی، به‌کارگیری مواد سمی و زیان‌آور در فرآیند ساخت از آن جمله است.

محققان در تلاش برای ساخت پنجره‌های هوشمندی که معایب مذکور را نداشته باشد، سیستم جدیدی را ابداع کرده‌اند که در آن از یک پلیمر و از یک حلال، مانند متانول استفاده شده است. این نوع از پنجره‌های هوشمند، ارزان قیمت بوده و در فرآیند ساخت آنها از آلاینده‌های کمتری استفاده شده است؛ همچنین از استحکام بالایی نیز برخوردار هستند. از فواید دیگر پنجره‌های هوشمند جدید می‌توان به قابلیت تبدیل سریع و آسان از حالت کاملاً مات به حالت شفاف در چند ثانیه اشاره کرد. این رفتار در میان پنجره‌های هوشمند، بی‌نظیر است و روش جدیدی برای ذخیره‌سازی گرما، سرما و نور با هزینه کم و از طریق مدیریت نورهای عبور داده شده به داخل ساختمان است.

شیشه‌هایی که با اعمال پتانسیل شفافیت آنها تغییر می‌کند شکل ۹ - شیشه‌هایی که با اعمال پتانسیل شفافیت آنها تغییر می‌کند.

یکی از بهترین راه‌های کنترل اتلاف انرژی استفاده از پنجره‌های هوشمند است. پنجره‌های هوشمند طوری طراحی شده‌اند که می‌توانند با محیط تعامل و سازگاری داشته باشند، مثلاً گرمای بیش از حد را دفع خواهند کرد. چنین شیشه‌هایی در ماه‌های گرم که هزینه مصرف انرژی به خاطر تهویه هوا بالا است مناسب هستند. پنجره‌های رنگی حساس به نور (فوتوکرومیک) که پرتوهای خورشید را دفع می‌کنند سالهاست ساخته شده‌اند. هم‌اکنون پوشش‌های نازک نانومتری دی‌اکسید وانادیوم مخلوط شده با فقط ۱٪/۹ فلز تنگستن در پنجره‌ها استفاده می‌شود و به عنوان انعکاس دهنده‌های گرما عمل کنند، در حالی که هم‌چنان تمام نور مرئی را از خود عبور می‌دهند. ضخامت نانومتری و مخلوط پوشش می‌توانند دقیقاً تعیین کنند که در چه دمایی، حرارت منعکس شود. این به این معنا است که ادارات و منازل می‌توانند بدون استفاده بیش از حد از سیستم‌های تهویه‌گران قیمت، خنک باقی بمانند و هزینه‌ها را هم به طور چشمگیری کاهش دهند.

۴- پوشش‌های کاربردی:

کاربرد نانو تکنولوژی در عمران

صنعت ساخت و ساز این قابلیت را دارد که از فناوری نانو به منظور کاهش هزینه‌های ساخت و تعمیر و نگهداری و کاهش هزینه‌های انرژی استفاده نماید. موادی که در ساخت ساختمان به کار می‌روند باید در مقابل نیروهای وارده حداکثر استحکام و مقاومت را داشته باشند و در طول زمان کارایی خود را حفظ کنند.

ضمناً همواره مطلوبست که هزینه های ساختمان همزمان با افزایش کارایی مواد، کمتر شود. ایمنی ساختمان در برابر زلزله و میزان صرفه جویی در انرژی بسیار ضروری به نظر می رسد. وقتی که رقابت در بین سازندگان شدیدتر می شود می توان از فناوری نانو برای خلق قابلیت هایی مانند خودتمیزشوندگی، کنترل و کاهش اتلاف انرژی به کمک عایق ها، تامین و ذخیره انرژی، کنترل آلودگی های، جلوگیری از خوردگی و کاهش امواج صوتی مزاحم و ... کمک گرفت. بنابراین در این قسمت به بررسی پوشش هایی با کاربرد ی در این زمینه ها می پردازیم. به عنوان مثال به بررسی روکش های مقاوم در برابر آتش سوزی خواهیم پرداخت، سپس به بحث کوتاهی در کاربرد نانوتکنولوژی در عایق کاری ساختمان ها می پردازیم. بعد از آن بحث روکش های ضد سایش و خراش را با هم پی می گیریم و در نهایت به روکش هایی خواهیم پرداخت که می توانند بر روی پشت بام ها نصب گردند و با استفاده از نور خورشید الکتریسیته تولید کنند.

انواع روکش های کاربردی و کاربردهای آن در صنعت ساختمان

روکش های انسدادی مقاوم در برابر آتش

ثابت شده است که افزودنی های نانو همچون نانوذرات رس (Clay) می توانند به عنوان عوامل ضدآتش در پلیمرها به کار رفته و یا عملکرد عوامل ضدآتش فعلی را بهبود بخشند. این نانوکامپوزیت ها در اثر سوختن، پوسته ای غیرقابل اشتعال تولید می کنند که 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. و در نهایت با ایجاد یک لایه ضد نفوذ مانع رسیدن اکسیژن به بستر در حال سوختن می شوند. که هر سه مورد برای مهار آتش ضروری هستند.

مقایسه دو بنای چوبی که یکی از آنها با پوشش های ضدحریق پوشش داده شده شکل ۱ - مقایسه دو بنای چوبی که یکی از آنها با پوشش های ضدحریق پوشش داده شده

روکش های عایق حرارتی:

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

میزان و منابع اتلاف انرژی در ساختمانشکل ۲ - میزان و منابع اتلاف انرژی در ساختمان

در این عرصه، مواد نانوحفره ای ویژگی های بسیار جالبی ارائه می دهند. آئروژل های سیلیکایی پایین ترین رسانایی و چگالی را در میان مواد جامد دارا هستند. برخی این مواد را دود منجمد شده می نامند. رسانایی حرارتی آنها می تواند تا حد  $W/(m.K) 016/0$  پایین بوده و چگالی  $0.005 - 2.0$  گرم بر سانتی متر مکعب داشته باشند.

نمایش قدرت عایق های حرارتی جدید بر پایه آئروژل های سیلیکایی شکل ۳ - نمایش قدرت عایق های حرارتی جدید بر پایه آئروژل های سیلیکایی

این مواد، با استفاده از فرایند سل ژل ( رجوع شود به بخش سنتز نانو مواد مقالات سنتز نانو ذرات به روش سل ژل ) تولید می شوند. با این حال آئروژل سیلیکایی بسیار شکننده بوده و تولید آن بسیار گران است. بنابراین، عایق های انعطاف پذیرتر و ارزان تری تولید شده اند که توانایی عایق بندی بسیار بالایی داشته و می توانند بسیار باریک تر از مواد عایق معمول باشند. از جمله این مواد می توان به فیبرهای عایق اشاره کرد.

عایق حرارتی نانویی به صورت رنگ:

یک نمونه ساده از اهمیت های غیر تفننی رنگ را می توان در میزان انرژی جذب و نشر متفاوت آنها دانست. رنگ یک طبیعت موجی دارد. امواجی که آنها را امواج الکترومغناطیسی می نامیم با طول موج های مختلف به سطح ماده ای که روی سطح ساختمان قرار گرفته اند برخورد می کند. ماده فقط امواجی با سطح انرژی های خاص را جذب می کند و موجهایی با سطوح انرژی دیگر را نمی پذیرد. رنگی که از ماده می بینیم از امواجی است که ماده آن را نپذیرفته یا جذب نکرده است. هر موجی صاحب مقدار معینی انرژی است. می توان با انتخاب رنگ مناسب در داخل و خارج خانه میزان تبادل انرژی را از داخل خانه به بیرون یا بالعکس را کنترل کرد.

عایق حرارتی نانویی به صورت رنگشکل ۴ - امروزه رنگ ها تنها رنگ نیستند!

عایق حرارتی نانو، ماده جدیدی از فناوری نانو می باشد که محافظ و عایق حرارتی مناسبی در مقابل هر سه نوع انتقال گرما شامل تابش، رسانش 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 رول های نقاشی فراهم می کند و با صرف هزینه نسبتاً کمی، می توان حتی از آن در ساختمان های در دست بهره برداری نیز استفاده نمود و هیچ گونه تغییر ظاهری نیز در ترکیب ساختمان ایجاد نمی کند.

استفاده از رنگهای عایق حرارتی بر روی سطوحشکل ۵ - استفاده از رنگهای عایق حرارتی بر روی سطوح

شرکت آمریکایی Industrial Nanotech این امکان را فراهم کرده است که با رنگ کردن، عایق کاری صورت گیرد. این شرکت محصولی تولید کرده که برای عایق کاری تأسیسات، لوله ها و مخازن به کار می رود و هم چنین 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. لازم به ذکر است که ماده اصلی به کار رفته در بیشتر رنگهای عایق حرارتی پودر آبروژل است که به روش سل ژل تهیه می گردد. آبروژل ها دسته ای از مواد عایق هستند که به دلیل چگالی بسیار پایین و داشتن خلل و فرج بسیار بالا، بهترین عایق حرارتی شناخته شده تا کنون است. برای کسب اطلاعات بیشتر می توانید به مقالات مرتبط با این موضوع مراجعه کنید. (رجوع شود به بخش سنتز نانومواد، مقالات سنتز نانو ذرات به روش سل ژل).

تولید کننده دیگری یک روکش سرامیکی متخلخل عایق حرارتی به صورت اسپری حرارتی از جنس زیرکونیوم پایدار شده با ایتریوم 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 از سرامیک های در ابعاد میکرو برای تولید عایق های حرارتی و ضد خوردگی که اسپری می شوند، استفاده می کند.

روکش های مقاوم در برابر خراشیدگی و سایش:

محافظت در برابر ساییدگی و ترک خوردگی:

با کاهش اصطکاک یا افزایش استحکام سطحی با استفاده از روکش ها می توان میزان ساییدگی یا ترک خوردگی سطحی در اثر تماس های مکانیکی را کاهش داد.

استفاده از نانو ذرات الماس در روغن های جدید مانع سایش می شود شکل ۶ - استفاده از نانو ذرات الماس در روغن های جدید مانع سایش می شود.

ضریب اصطکاک می تواند با استفاده از روکش های کربنی کاهش یابد. این روکش های بی شکل، سختی را تا حد ۲۰ گیگاپاسکال افزایش می دهند. راهکار دیگری مثل سطوح شبه الماس (DLC) بر بافت سطحی مواد استوار است، که اصطکاک را تا حد زیادی کاهش می دهد.

محافظت در برابر خراشیدگی:

می توان با استفاده از نانوذرات سختی همچون دی اکسیدسیلیس، روکش های مقاوم در برابر خراشیدگی تولید کرد. به عنوان مثال، می توان این نانوذرات را در یک بستر آلی وارد کرده و مقاومت رنگ لاک را در برابر خراشیدگی افزایش داد.

زمین های ورزشی که در معرض سایش و خراش قرار دارند شکل ۷ - زمین های ورزشی که در معرض سایش و خراش قرار دارند

استفاده از فناوری نانو جهت ایجاد سقف ساختمان:

یکی از مهم ترین بخش های یک واحد ساختمانی که نقش به سزایی در عملکرد بهینه ساختمان دارد، سقف و پوسته ساختمان است. استفاده از تکنولوژی های برتر در این بخش، یکی از مزایای رقابتی پیمان کاران ساختمان ها است.

فناوری نانو با استفاده از آبروژل ها تاکنون در این بخش نوآوری هایی داشته و کمک هایی مانند مقاوم سازی، عایق سازی حرارتی و رطوبتی، خاصیت خودتمیزشوندگی و از بین بردن آلودگی ها را به این بخش از ساختمان داده است. از طرفی پیشرفت های به وجود آمده در کوچک کردن ابعاد و افزایش راندمان سلول های خورشیدی به وسیله فناوری نانو، زمینه استفاده از سطح وسیع سقف ساختمان ها جهت تأمین انرژی آنها را نیز فراهم کرده است.

استفاده از پوشش های عایق حرارتی نانو در سقف ساختمان ها شکل ۸ - استفاده از پوشش های عایق حرارتی در سقف ساختمان ها

امروزه پوشش هایی برای سقف ساختمان تولید می شود که در برابر عوامل تخریبی محیطی و شرایط بد آب و هوایی مقاوم بوده و همچنین از ایجاد میکروارگانیسم ها و خزه نیز بدون اینکه اثرات قارچ کش های متعارف را داشته باشد جلوگیری می نماید. ضمناً این پوشش حرارت خورشید را بازتاب می نماید و لذا در بهینه سازی مصرف انرژی نیز تأثیرگذار است.

شرکت Nanosolar تکنولوژی سریع و آسان چاپ سلول های خورشیدی را با استفاده از نانوذرات و نقاط کوانتومی توسعه داده است. باتوجه به اینکه این سلول ها به راحتی روی فویل های فلزی منعطف به ابعاد دلخواه چاپ می شوند، می توانند با نصب مدارهای لازم، بر روی سقف ساختمان ها استفاده شده و بخشی از انرژی آن را تأمین کنند.

استفاده از سلول های خورشیدی در جهت تأمین انرژی مورد نیاز شکل ۹ - استفاده از سلول های خورشیدی در جهت تأمین انرژی مورد نیاز

امروزه تولیدکنندگان زیادی از رس قطعات سفالی سقف را ساخته که خودتمیزشونده هستند. با استفاده از نانوذرات فوتوکاتالیست، وقتی این قطعات در پشت بام استفاده می شوند از سطح آنها ذرات خاک، چربی، دوده، جلبک و خزه با کمک نور خورشید از بین رفته و با اولین باران به سادگی پاک و تمیز می شود.

روکش های فتوولتائیک به عنوان سقف ساختمان:

دی اکسید تیتانیوم یک ماده معمول برای روکش های فتوولتائیک است. این ماده یک پخش کننده غیراختصاصی نور و یک جاذب نور ماورای بنفش است. ویژگی اول موجب می شود که دی اکسید تیتانیوم یک ماده بسیار خوب برای رنگ سفید باشد و ویژگی دوم نیز موجب ایجاد ویژگی خودتمیزشوندگی و محافظت در برابر نور ماورای بنفش می گردد.

استفاده از سلول های خورشیدی بر روی سقف ساختمان های امروزی شکل ۱۰ - استفاده از سلول های خورشیدی بر روی سقف ساختمان های امروزی

دی اکسید تیتانیوم یک ترکیب نیمه رسانا است که در سه شکل شیمیایی وجود دارد: آناتاز، روتیل و بروکیت. فقط دو نوع اول این ماده در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرند. با وجودی که شکاف باند آناتاز کمی بزرگ تر از شکاف باند روتیل است، ( ۳.۲ الکترون ولت در برابر ۳ الکترون ولت) فعالیت فتوولتاییکی آن بیشتر است. به همین دلیل، آناتاز معمولاً به عنوان فوتوکاتالیست، و روتیل به عنوان رنگ دانه سفید مورد استفاده قرار می گیرند.

فعالیت فتوکاتالیستی این ماده مبتنی بر جذب نور ماورای بنفش در محدوده بالاتر از ۳.۲ الکترون ولت است که معادل طول موج های کمتر از ۳۸۸ نانومتر می باشد.

در اثر جذب نور ماورای بنفش، الکترون ها به باند رسانایی منتقل شده و در نتیجه یک حفره در لایه والانس ایجاد می شود. در مواد غیرفتوولتاییک حامل های بار (الکترون و حفره) بلافاصله دوباره با هم ترکیب می شوند. اما اگر زمان بازترکیب مجدد به اندازه کافی طولانی باشد، الکترون ها و حفره ها می توانند موجب ایجاد رادیکال های آزاد شوند. در نتیجه می توان از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم برای تولید پیل های خورشیدی انعطاف پذیر استفاده کرد. روکش دهی سطوحی همچون سقف ساختمان ها و روی شیشه ها با این پیل های خورشیدی امکان تولید انرژی الکتریکی با استفاده از نور خورشید را فراهم می آورد. امروزه این روکش ها به صورت پیش ساخته قابل خریداری و نصب بر روی سقف ساختمان ها است. که در انواع مختلف قابل عرضه می باشد.

پوشش های کاربردی پوشش های کاربردی

برای حفظ استحکام ساختمان و وسایل داخل آن می توان از انواع پوشش ها استفاده کرد. از جمله این پوشش ها می توان به پوشش هایی اشاره کرد که بر روی سقف ساختمان ها قرار می گیرند و در زمستان و تابستان با تغییر رنگ خود به تیره یا روشن باعث حفظ انرژی می شوند. همچنین می توان با استفاده از دسته دیگری از پوشش ها مانع تخریب ابنیه تاریخی شویم و حتی باعث جلوگیری از فرسایش چوب، انواع بتن و اسکلت های فلزی گردیم. همه این موارد با استفاده از دانش نانو ممکن می شود و در این مقاله با تمامی موارد فوق آشنا خواهیم شد.

فناوری نانو در عمران و ساختمان سازی می تواند باعث استحکام بیشتر، ظاهر بهتر، کنترل فرسایش، کاهش مصرف و کاهش اتلاف انرژی و پاک و پاک کننده بودن یک خانه برای محیط زیست گردد. در این مقاله سعی بر آن است تا تعدادی کاربردهای نوین نانو تکنولوژی در صنعت ساختمان معرفی گردد تا بتوان با استفاده از آن تحولی عظیم، را در صنعت ساخت و ساز کشور شاهد باشیم.

کاشی های تغییر رنگ دهنده برای جلوگیری از هدر رفتن انرژی

اگر تابحال در یک روز آفتابی با پای برهنه به پشت بام خانه ی خود رفته باشید، با سوزش پای خود متوجه این پدیده می شوید که سطوح تیره گرما را جذب می کنند. این پدیده در زمستان می تواند برای ما خوب باشد؛ چرا که باعث کاهش هزینه ی سوخت می گردد. اما در تابستان با گرم تر کردن خانه، باعث استفاده ی بیش از حد از سیستم خنک کننده گردیده و خوشایند نمی باشد. دلیل این که بیشتر مردم تمایل به پشت بام های به رنگ سفید دارند، این است که از نظر بهینه سازی مصرف انرژی، مناسب تر می باشند. مسئله ی هدر رفتن انرژی، مسئله کوچکی نیست که بتوان آن را نادیده گرفت.

استیو چو، وزیر انرژی امریکا، که از طرفداران سرسخت رنگ سفید برای پشت بام ساختمان ها می باشد، در این رابطه می گوید:

در صورتی که پشت بام های تمام ساختمان های دنیا به رنگ سفید درآید، انتشار گازهای گلخانه ای در طول بیست سال را به اندازه ی یک سال تولید جهانی کاهش می دهد. اما برخی دیگر معتقدند که مثلاً در شهرهای شمالی و سردسیر دنیا، اتلاف زمستانی می تواند مهم تر از بهره ی تابستانی باشد. بنابراین راه حل ایده آل، آن است که در گرما از رنگ سفید و در سرما از رنگ مشکی برای پشت بام استفاده شود.

امروزه آلودگی هوا یکی از مهمترین دغدغه های بشر است شکل ۱ - امروزه آلودگی هوا یکی از مهمترین دغدغه های بشر است



دانشجویان دانشگاه MIT، کاشی‌هایی را ابداع کرده‌اند که بر مبنای تغییر دما، تغییر رنگ می‌دهد؛ یعنی به هنگام گرم شدن، سفید شده و بخش اعظم گرمای خورشید را منعکس می‌کنند و موقع سرد شدن نیز سیاه شده و گرما را جذب می‌کنند.

در این طرح از محلول آبی نوعی پلیمر تجاری که معمولاً در ژل‌های مخصوص مو به کار می‌رود، استفاده شد. نمونه‌ی اولیه‌ی این محلول، در محفظه‌ای بین لایه‌های شیشه و پلاستیک و نمونه‌های بعدی بین لایه‌های پلاستیکی انعطاف‌پذیر با یک لایه‌ی سیاه در پشت محفظه قرار داده شد.

زمانی که دما از حدی پایین‌تر باشد (با تغییر فرمولاسیون می‌توان این دمای حدی را، تغییر داد)، پلیمر به صورت محلول باقی‌مانده و سطح سیاه از میان آن رویت می‌شود، و می‌تواند نور خورشید را بهتر جذب کند. اما هنگامی که دما بالا می‌رود، پلیمر متراکم شده و به قطرات کوچکی تبدیل می‌گردد که این قطرات به دلیل کوچک بودن، نور را پخش نموده و سطح سفیدی را ایجاد می‌کنند که گرمای خورشید را باز می‌گرداند.

کاشی‌هایی با روکش پلیمری که متناسب با دمای هوا تغییر رنگ می‌دهند شکل ۲ - کاشی‌هایی با روکش پلیمری که متناسب با دمای هوا تغییر رنگ می‌دهند

هم‌اکنون سعی بر آن است تا بتوان محلول پلیمری را در محفظه‌های کوچک‌تری با حفظ خاصیت تغییر رنگ‌پذیری‌شان، قرار داد تا قابلیت پوشش‌دهی هر سطحی به صورت اسپری یا حتی با قلم مو، مثل یک رنگ معمولی، فراهم شود. در این صورت با هزینه‌ی کمتری می‌توان این کپسول‌های کوچک را بر روی هر سطحی به کار برد.

روکش‌های ضد خوردگی فولاد:

یکی از معضلات اصلی در رابطه با به کارگیری قطعات از جنس فولاد ضدزنگ، مسأله خوردگی است. این مقوله به خصوص 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 زنگ زدگی ساحلی در کوتاه مدت روی ساختار یا طول عمر این مواد تأثیرگذار نباشد. اما حداقل روی زیبایی بصری طراحی سازه‌های ساحلی مؤثر است.

شدت خوردگی فولاد در محیط‌های ساحلی با غلظت رطوبت بالا، بسیار شدیدتر است شکل ۳ - شدت خوردگی فولاد در محیط‌های ساحلی با غلظت رطوبت بالا، بسیار شدیدتر است

برای محافظت آمارتور در مقابل خوردگی، چند سالی است که از آرماتور با روکش اپوکسی استفاده می شود. تاریخچه مصرف این آرماتورها، به ویژه در محیط های خورنده، نشان می دهد که در بعضی موارد، این روش موفق و در پاره ای موارد ناموفق بوده است. به هر حال، اگر روکش سالم به کار گرفته شود، با این روش می توان حدود ۱۰ تا ۱۵ سال خوردگی را عقب انداخت.

نمایش تهیه، و شبیه سازی های مربوط به روکش دهی فولاد شکل ۴ - نمایش تهیه، و شبیه سازی های مربوط به روکش دهی فولاد

استفاده از ممانعت کننده ها و بازدارنده های خوردگی بتن نیز به دو دهه اخیر برمی گردد. مصرف بعضی از این مواد، همچون نیترات کلسیم و نیترات سدیم جنبه تجارتي یافته است. به هر حال، عملکرد این مواد در تاخیر انداختن خوردگی در تحقیقات آزمایشگاهی و نیز در محیط های واقعی مناسب بوده است.

استفاده از روکش های بازدارنده از خوردگی بتن می تواند سرعت خوردگی بتن را به صورت قابل ملاحظه ای کاهش دهد شکل ۵ - استفاده از روکش های بازدارنده از خوردگی بتن می تواند سرعت خوردگی بتن را به صورت قابل ملاحظه ای کاهش دهد.

بازدارنده های دیگری از نوع آندی و کاتدی مورد آزمایش قرار گرفته اند. ولی به دلیل گرانی زیاد، هنوز کاربرد صنعتی پیدا نکرده اند. برای محافظت بیشتر آرماتور و کم کردن نفوذپذیری، روکش های مختلف سطحی نیز، روی بتن آزمایش و به کار گرفته شده است. این روکش ها که اغلب پایه سیمانی و یا رزینی دارند، با دقت روی سطح بتن اعمال می گردند. عملکرد دوام این روکش ها، به شرایط محیطی وابسته است. روی هم رفته، روکش های با پایه سیمانی، هم ارزان تر بوده و هم به علت سازگاری با بتن پایه، پیوستگی و دوام بهتری در محیط های خورنده و گرم نشان می دهند.

به عنوان مثالی از کاربرد مواد نانوروش در بتن، می توان به مورد زیر اشاره کرد، که یک نوع روکش آبگریز است که مانع نفوذ آب به درون بتن می شود. این مواد می تواند شامل ترکیبات دی آلکوکسی های اکسید های سیلیسیم باشند. این روکش آبگریز همچنین، خاصیت ضد سایش دارد و در برابر تغییرات دمایی مقاوم است. این پوشش همچنین، با آب یا شوینده های معمولی پاک نمی شود.

روکش های ضد آب مانع ورود رطوبت به داخل بتن و خوردگی فولاد و در نتیجه ترک خوردن بتن می شود شکل ۶ - روکش های ضد آب مانع ورود رطوبت به داخل بتن و خوردگی فولاد و در نتیجه ترک خوردن بتن می شود

ترکیبات نانویی نظیر بنزوتری آزول توانسته اند با ایجاد خواص ضدخوردگی و دافع رطوبت، این معضل را حل کرده و هزینه های تعمیر و نگهداری این سازه ها را که به علت خوردگی و زنگ زدگی تحمیل می شوند، را کم کنند. فناوری Liquid nanotechnology پوششی است که اخیرا در آمریکا توسعه داده شده است و سطوح فلزی را در برابر اشعه UV مقاوم می کند و در نتیجه لایه رویی فلز خورده نمی شود.

اخیرا روکش هایی به بازار عرضه شده اند که در دمای اتاق و به راحتی و بدون زیرسازی به عنوان پوشش روی فلزاتی از جمله فولاد، روی و آلومینیم می توان به کار گرفته شود. یک دسته ویژه از این نانو روکش ها از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در بستری از پلیمرهای باردار نظیر پلی اتیلن آمین و یا سولفانات پلی استایرن بدست می آید. استفاده از این پوشش باعث افزایش فوق العاده مقاومت در برابر خوردگی می شود. برخی از این روکش ها بدون مواد نفتی بوده و ضمن از بین بردن همه لکه ها و خوردگی ها، سطح را بسیار صیقلی کرده و از خوردگی و ایجاد لک ها تا چندین سال جلوگیری می کند. افزایش ماندگاری چوب با استفاده از فناوری نانو:

قطع بی رویه 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 فناوری های نوین که باعث بهبود این مواد و افزایش طول عمر آنها می شود، ناگزیر می کند.

نانو روکش بر روی کفپوش های چوبی می توانند آنها را ضد آب و در برابر پوسیدگی، آلودگی و خراش حفاظت کند. شکل ۷ - نانو روکش بر روی کفپوش های چوبی می توانند آنها را ضد آب و در برابر پوسیدگی، آلودگی و خراش حفاظت کند.

استفاده از نانو پوشش هایی نظیر انواع پوشش های اپوکسی در جهت بهبود خواص و افزایش عمر چوب از دیگر کاربردهای فناوری نانو در حوزه ساختمان است. با استفاده از این فناوری می توان خواصی مثل تمیزکنندگی، لکه بری، ظاهر واضح و افزایش کیفیت و کارایی سطوح و کف های چوبی را در ساختمان ها به وجود آورد. روکش های ضد دست نوشته:

مشکل اصلی گچ ها، آجرها، یا سیمان های معمول، خاصیت جذب بالای آنهاست که موجب می شود این مواد بسترهای بسیار خوبی برای نوشته ها یا نقاشی ها باشند. روش معمول برای غلبه بر این مشکل، مبتنی بر یک روکش پلی اورتان است که محافظتی دائمی ایجاد کرده و از نفوذ رنگ به داخل دیوار جلوگیری می کند. این روکش از دو جزء تشکیل می شود که پس از اعمال شدن روی دیوار، باهم واکنش می دهند.

سطوح دارای پوشش ضد دست نوشته نانو

شکل ۸ - سطوح

دارای پوشش ضد دست نوشته به آسانی پاک می شوند

هر نوشته یا نقاشی روی این سطح به راحتی تمیز می شود. 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 می گیرد.

نگهداری آثار باستانی و میراث فرهنگی با پوشش های نانویی

آثار باستانی و بناهای تاریخی به عنوان سازه های بارز و میراث هر کشوری به شمار می روند. لذا لازم است که این بناها در مرحله اول به خوبی مرمت و بازسازی شوند و در مرحله بعدی از آن ها محافظت دائمی به عمل آورد.

فناوری نانو با ایجاد پوشش های پیشرفته جهت محافظت سطوح ابنیه، می تواند آنها را از تخریب با عوامل محیطی و تخریب توسط بازدیدکنندگان، به طور دائمی محافظت کند.

با استفاده از نانو پوشش ها می توانیم بنا های تاریخی را از آسیب حفظ کنیمشکل ۹ - با استفاده از نانو پوشش ها می توانیم بنا های تاریخی را از آسیب حفظ کنیم. ( سی و سه پل - اصفهان )

نانوپوشش های ابر آبگریز و ضد لک و همچنین مقاوم به جوهر و رنگ جهت جلوگیری از نوشتن یادگاری و تخریب که موسوم به AntiGraffiti نیز هستند، که می توانند ابنیه تاریخی و مهم و همچنین ساختمان های تجاری و اداری با نماهای گران قیمت را حفظ و حراست کنند.

امروزه محصولات ضد دست نوشته زیادی وجود دارد که به صورت 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 نمی دهند.

بازار نانو روکش ها در صنعت ساخت و ساز:

شرکت ها به این موضوع پی برده اند که با استفاده از نانوذرات روی سطح، لایه های نازک پیوندهای قوی تر و منعطف تری با زیر لایه ها ایجاد خواهند کرد. این پوشش ها نرم تر، قوی تر و با دوام تر هستند. صنایع رنگ و پوشش، اولین کسانی خواهند بود که از مزایای این قابلیت ها 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 شده است که نانوذرات غیرآلی می توانند بهبود قابل ملاحظه ای در مقاومت در برابر خراشیدگی ایجاد کنند. انتقال این ویژگی ها به پوشش های پلی اورتان

همیشه ممکن نیست و علت آن نبود نانوذرات فعال در حلال های مناسب و نیز مشکلات مربوط به سازگاری است. توانایی کنترل پوشش های سطوح در مقیاس نانو، از عوامل مهم توسعه صنعتی فناوری نانو به شمار می رود. در حال حاضر، روش های فیزیکی و شیمیایی زیادی برای ساخت نانولایه ها و نانوروش ها و کنترل نانومتری ساختار و گروه های عاملی وجود دارد. ولی با این حال، افزایش مقیاس برای این روش ها همچنان یک چالش جدی است.

بازار نانوروش ها در سال ۲۰۰۷ در صنعت ساخت و ساز حدود ۴۸ میلیون دلار آمریکا بود. سیستم های پوشش دهنده مبتنی بر نانومواد قسمت اعظم این بازار را تشکیل می دهند. برای مثال پوشش های ضدباکتری، حفاظت کننده و رسانا از این جمله هستند. با این حال سیستم های شکلی و پوشش های با قابلیت تغییر خاصیت آب گریزی آب دوستی و پوشش های حاوی ذرات ترموکرومیک در حال توسعه هستند که در چند سال آینده به بازار خواهند آمد. جدول زیر تخمین درآمد حاصل از بازار نانوروش ها در صنعت ساخت و ساز را بین سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ نشان می دهد.

پیش بینی درآمد جهانی نانوروش ها در صنعت ساخت و ساز برحسب میلیون دلار ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵

| سال              | ۲۰۰۶ | ۲۰۰۷ | ۲۰۰۸ | ۲۰۰۹ | ۲۰۱۰ | ۲۰۱۱ | ۲۰۱۲ | ۲۰۱۳ | ۲۰۱۴ | ۲۰۱۵ |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| بازار ساخت و ساز | ۳۵   | ۴۸   | ۷۲۱  | ۱۵۱  | ۲۴۵  | ۳۳۰  | ۴۶۰  | ۵۶۳  | ۶۲۵  | ۷۵۰  |

۵- سطوح آنتی باکتریال و کاربرد آن در ساختمان:

سطوح آنتی باکتریال و کاربرد آن در ساختمان

صنعت ساختمان ارتباط بسیار نزدیکی با سلامت جامعه دارد. از نانو ذرات نقره و نانو ذرات مس با توجه به خاصیت آنتی-باکتریال آنها می توان در صنعت ساختمان سازی استفاده نمود و خصوصیات منحصر بفردی به سطوح ساختمانی بخشید. این ماده در مقایسه با دیگر روشهای آنتی باکتریال کردن دیگر مثل استفاده از مواد شیمیایی و شوینده بسیار موثر تر عمل می کند. فرآیندهای فعلی گندزدایی عوامل زیستی پیچیده، طاقت فرسا، و گران هستند. برای فرار از انجام این فرآیندها روش های جدیدی ساخته شده که به صورت مداوم می تواند سطوحی را که در معرض عوامل زیستی همانند هاگ ها قرار دارند را ضدعفونی کند. می توان از این روش ها در محدوده وسیعی از کاربردهای نظامی و امنیتی نیز استفاده کرد. این روش ها با استفاده از روش های معمول، روی سطح اعمال می شود.

افزودنی های روکش ها در مقیاس نانومتری طراحی می شوند، تا اجزای ضد میکروبی در سطح تماس هوا قرار گرفته و بهترین برهمکنش را با عوامل بیماری زا داشته باشند. این افزودنی ها حاوی مقدار بسیار کمی اجزای ضد میکروبی هستند. میزان تاثیر این مواد به میزان سطح تماس آنها با محیط وابسته است. در این حالت آلودگی و مواد روغنی روی سطح، با تابش نور خورشید به سطح تجزیه شده و از بین می رود. این ماده می تواند دی اکسید تیتانیوم باشد.

سطوحی با پوشش آنتی باکتریال، آنتی میکروبیال و خودتمیزشونده

به دلیل گسترش روز افزون جمعیت ساکن بر روی کره زمین و در پی آن رشد بسیار سریع بیماری ها و باکتری های بیماری زا، 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. در سالیان اخیر محققان موفق به شناسایی ترکیباتی فلزی با خاصیت آنتی باکتریال شده اند که این ترکیبات می توانند از رشد و نمو باکتری ها و قارچ ها و دیگر عوامل بیماری زا جلوگیری کنند. از جمله روش های به کارگیری این مواد، استفاده از آن ها در ترکیبات لعاب کاشی و سرامیک های بهداشتی است. چرا که پوشش های سرامیکی اغلب با غذا و نوشیدنی ها و مایعات و مواد زائد آلوده در تماس هستند که از عوامل مهم در ایجاد باکتری های مختلف به شمار می روند.

خوراکی ها مناسب ترین محل برای رشد میکروب ها و انتشار آلودگی هستند شکل ۱ - خوراکی ها مناسب ترین محل برای رشد میکروب ها و انتشار آلودگی هستند.

ارائه ترکیبی ایده آل و کارآمد با خاصیت آنتی باکتریال با استفاده از مواد فوتوکاتالیست نانویی که علاوه بر خواص میکروب-زدایی از نظر اقتصادی قابل تولید و با صرفه باشد می تواند با به کارگیری در اماکن عمومی نظیر بیمارستان ها از انتشار و بیماری-زایی باکتری ها ممانعت به عمل آورد و به این ترتیب علاوه بر پیشگیری از شیوع بیماری در بین افراد در هزینه های درمان نیز صرفه جویی نمود.

بیمارستان ها یکی از مراکز مهم در انتشار بیماری هاست شکل ۲ - بیمارستان ها یکی از مراکز مهم در انتشار بیماری هاست.

ویژگی های این مواد، که عمدتاً از نانوذرات  $TiO_2$  تشکیل شده اند، به شرح ذیل است:

آنتی باکتریال: پوشش های فوتوکاتالیستی که حتی می تواند با اسپری کردن روی انواع سطوح قرار بگیرد، با تحریک الکترون ها و ایجاد پدیده اکسیداسیون در این نانوذرات، خاصیت گندزدایی ایجاد می کند که حتی بسیار بهتر از مواد شوینده شیمیایی و سفیدکننده ها است.

خود تمیزشوندگی:

پوشش های فوتوکاتالیستی از بلورهای تشکیل شده اند که در مقابل نور خاصیت خود پاک کنندگی پیدا می کنند. علاوه بر این، دی اکسیدتیتانیوم ابرآبدوست می باشد و باعث می شود تا مولکول های آب بر روی کل سطح گسترده می شوند و زمانی که جریان پیدا کردند آلودگی ها را از روی سطح کنده و با خود می برند.

تصفیه هوا: اکسیژن های مولکول دی اکسیدتیتانیوم با آب موجود در هوا واکنش داده و رادیکال های OH- آزاد شده باعث تجزیه NOx های موجود در آلودگی هوا می گردد، آنها را به HNO<sub>3</sub> بی ضرر تبدیل می کنند. جالب توجه اینکه ظرفیت تصفیه هوای ۱۰۰۰ مترمربع از کاشی های پوشیده شده با فوتوکاتالیست، معادل ظرفیت تصفیه هوای ۷۰ درخت صنوبر است.

محققان دانشگاه New South Wales استرالیا، پوششی را تولید کرده اند که با استفاده از آن، نظافت سرویس های بهداشتی به کاری بسیار آسان تبدیل می شود. محققان مرکز نانومواد کاربردی این دانشگاه امیدوارند با استفاده از پوشش نازکی از ذرات دی اکسیدتیتانیوم بتوان سرویس های بهداشتی را همیشه تمیز نگه داشت.

در اغلب خواص سطحی، نحوه ترشوندگی سطح، نقشی برجسته ای در خواص نهایی ایفا می کند. ترشدن یک سطح وابسته به کشش سطحی میان مایع ترکننده، جامد ترشونده و فاز گازی اطراف آن است. علاوه بر این سه عامل، که توسط برهمکنش های مولکولی ایجاد می شوند، زبری سطح یا ساختارهای خاص سطحی، نقشی کلیدی در پدیده ترشدن دارند.

مقایسه سطوح مختلف از نظر آبدوستی و آبگریزی شکل ۳ - مقایسه سطوح مختلف از نظر آبدوستی و آبگریزی

سطوح را می توان به دو دسته آبگریز و آبدوست تقسیم بندی کرد. انواع مختلف پلاستیک ها مخصوصاً آنهایی که دارای تعداد زیادی کربن فلئوره هستند (مثل تفلون) جزء معروف ترین انواع سطوح آبگریز محسوب می شوند. سطوح آبدوست معروف شامل سطوح فلزی و شیشه-های معمولی هستند.

از نظر شیمیایی می توان سطوح را به دو دسته فعال و بی اثر (غیرفعال) تقسیم بندی 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 آبدوست ها قرار می گیرند. این سطوح به دلیل انرژی سطحی بالایشان به آسانی لکه می گیرند. انرژی سطحی یک فلز تمیز

بسته به میزان تمیز بودن آن به راحتی به ۱۰۰۰ میلی نیوتون بر متر می رسد (انرژی سطحی آهن حدود ۲۵۰۰ میلی نیوتون بر متر است) در مقابل، انرژی سطحی تفلون تنها معادل ۱۸ میلی نیوتون بر متر است. به همین دلیل، تلاش های زیادی برای کاهش کشش سطحی سطوح مختلف صورت گرفته است. خاصیت ابرآبگریزی، اصطلاحاً به اثر نیلوفر آبی (lotus effect) معروف است. این خاصیت در برگ گل نیلوفر آبی به دلیل وجود برجستگی های فوق ریز بر روی برآمدگی های میلیمتری است.

برگ نیلوفر آبی و خاصیت آبرگریزی آن شکل ۴ - برگ نیلوفر آبی و خاصیت آبرگریزی آن

وضعیت ترشوندگی یک سطح توسط زاویه تماس آن سطح با یک قطره مایع بر روی آن سطح تعیین می شود. زاویه تماس یک سطح، شیب خط 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 می شود. در نقطه مقابل این حالت، زاویه تماس ۱۸۰ درجه قرار دارد. سطوحی که دارای زاویه تماس بسیار بزرگی (بیشتر از ۱۵۰ درجه)، آبرآبگریز نامیده می شوند.

زاویه ترشوندگی و رابطه آن با آبدوستی و آبرگریزی سطح شکل ۵- زاویه ترشوندگی و رابطه آن با آبدوستی و آبرگریزی سطح

به عنوان مثال، با روکش دهی تفلون بر روی جنگلی از نانولوله های کربنی که به صورت هدفمند رشد یافته اند، زاویه تماس ۱۸۰ درجه و در حقیقت یک سطح ابرآبگریز ایجاد می شود. معمولاً زمانی که زاویه تماس آب بالای ۱۰۰ درجه است، ویژگی دفع روغن و آب افزایش می یابد. این ویژگی در سطوح نچسبی همانند تابه های نچسب (تفلون) مورد استفاده قرار گرفته است. راه کارهای جدید، مبتنی بر نانوکامپوزیت های آلی- معدنی هستند که ویژگی هایی شبیه ویژگی های پلیمرهای پرفلوئوره (همانند تفلون) ایجاد می کنند.

آلودگی سطوح ابرآبگریز یا سطوح دارای اثر نیلوفر آبی بسیار کمتر از سطوح دارای انرژی سطحی بالاست. به علاوه، ذرات آلاینده ای که به سستی به این سطوح پیوند یافته اند، به راحتی با ترشدن (مثلاً در اثر بارش باران)، پاک می شوند.

علاوه بر روش کاهش انرژی سطحی که برای ایجاد خاصیت ذاتی دفع لک، می توان با استفاده از فتوکاتالیزورها، به آلودگی جذب شده بر روی سطوح حمله کرده و آنها را تجزیه کرد. نانوذرات دی اکسید تیتانیوم می توانند در این زمینه مورد استفاده قرار بگیرند. مثال هایی از این کاربردها عبارتند از پنجره های خودتمیزشونده و روکش های خودتمیزشونده روی سرامیک ها می باشد.



تصویر ساختمانی که با نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم پوشانده شده است، این ساختمان همیشه تمیز و ضد عفونی خواهد بود شکل ۶ - تصویر ساختمانی که با نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم پوشانده شده است، این ساختمان همیشه تمیز و ضد عفونی خواهد بود

در اینجا بخش ماورای بنفش نور ، توسط دی اکسیدتیتانیوم جذب می شود. این نانوذرات با جذب نور ماورای بنفش در حضور مولکولهای آب می توانند اجزای اکسیژن فعال تولید کنند؛ که این اجزا قابلیت حذف موثر فیلم های باکتریایی، تجزیه مولکول های آلی و آلودگی های متصل شده به سطح را دارا می باشند. با روکش دهی دیوارها، پیاده روها و سقف ساختمان ها با این ذرات، اثر مطلوب خودتمیزشوندگی به وجود آمده می تواند باعث پاک شدن سطوح بسیار چسبنده ای همانند شیشه هم شوند. با این حال، این روش تنها برای کاربردهای خارج از منزل (همانند نمای خارجی) مناسب است. و علت آن این است که این سطوح بیشتر در معرض تابش اشعه ماورا بنفش خورشید هستند. چون همانطور که اشاره شد سطوح خودتمیز شونده تحت تابش نور UV فعال شده و خاصیت خودتمیز شوندگی را از خود نشان میدهند.

پوشش نمای خارجی ساختمان ها با  $TiO_2$  و تصفیه آلودگی های محیطی شکل ۷ - پوشش نمای خارجی ساختمان ها با  $TiO_2$  و تصفیه آلودگی های محیطی

نانوذرات نقره:

برای ایجاد خاصیت ضدباکتریایی، علاوه بر نانوذرات دی-اکسیدتیتانیوم می توان از نانوذرات نقره نیز بهره برد. نقره یک فلز قیمتی قابل انعطاف و زیبا می باشد. تک ظرفیتی، نرم به رنگ سفید و براق و عدد اتمی ۴۷ دارد. این عنصر بالاترین هدایت الکتریکی را در میان تمامی فلزات حتی بالاتر از مس دارد. دارای بالاترین انعکاس(بازتاب) نوری است این فلز در حالت خالص در برابر هوا و آب پایدار است. از خواص کاتالیزوری نقره در واکنشهای اکسیداسیون استفاده می شود. انحلال پذیری نقره در آب بسیار کم است اما برای ایجاد خاصیت ضد باکتریایی همان مقدار بسیار اندک کفایت می کند. بهترین محیط برای انحلال نقره اسید نیتریک غلیظ و داغ است. در فناوری نانو ذرات نقره یونهای نقره به صورت کلویدی خاصیت آنتی باکتریال دارند. نقره از ایام قدیم به عنوان یک ماده ضد باکتری شناخته شده است. کوچک کردن ذرات این فلز موجب افزایش فعالیت آن شده و خاصیت ضدباکتریایی آن را افزایش می دهد. ویژگی ضد باکتری بودن نقره به علت انتشار آرام و آهسته اما مداوم یون های نقره است. نسبت سطح به حجم بسیار بالای ذرات نقره سبب می شود که یون ها به سهولت منتشر شده و با سرعت بیشتر و به شکل موثرتری میکروب ها را بکشند. همچنین وجود نقره سبب می شود که دیواره و غشاء سلولی میکروب ها سست و ناپایدار گردد که

این ناپایداری غشاء سلولی به معنی مرگ زودرس میکروب خواهد بود. از ویژگی دیگر نانو نقره این است که ویژگی آنتی میکروبیال نقره با گذشت زمان کاهش پیدا نمی کند.

می توان نانوذرات نقره را داخل رنگ وارد کرده و از آن برای رنگ آمیزی دیوارهای داخل بیمارستان ها یا اتاق هایی که نیاز به ضد عفونی بودن دارند، استفاده کرد

استفاده از پوشش های آنتی باکتریال در کف و دیوار بیمارستان ها موجب استریل بودن این سطوح می شود شکل ۸ - استفاده از پوشش های آنتی باکتریال در کف و دیوار بیمارستان ها موجب استریل بودن این سطوح می شود

نانو ذرات مس:

از دوران باستان، مس نیز همانند نقره به عنوان یک فلز ضد انگل شناخته شده بود. اکثر وسایل بیمارستانی قدیمی هم از جنس برنج بوده است (برنج آلیاژ مس و روی است). در راستای تولید پوشاک ضد باکتری، پارچه های جدیدی ابداع شده اند که دارای روکشی از جنس مس است که از رشد باکتری ها جلوگیری می کند. همانند آنچه برای نقره توضیح داده شد، یون های مس نیز به سمت دیواره های سلولی باکتری هجوم برده و آن را تخریب می کنند. استفاده از نانو ذرات مس که نسبت سطح به حجم بسیار بالایی دارند باعث افزایش چشمگیر خاصیت آنتی باکتریالی این ماده می شود.

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

با در نظر گرفتن اثرات زیان بار و خساراتی که آلاینده های هوا از قبیل CO، SOx، NOx هیدروکربن ها و غیره ناشی از رشد روزافزون جمعیت و صنعت در محیط زیست ایجاد می کنند، لزوم تحقیق و مطالعه در این زمینه و یافتن بهترین و عملی ترین راهکارها برای حل این مشکل ضروری می نماید. یکی از این روش ها استفاده از فناوری نانو است. در واقع نقش نانوپدیده هایی همچون نانولوله ها، نانوحسگرها، نانوکاتالیست ها و نانوکامپوزیت ها در محیط زیست، با توانایی حذف یا کاهش آلاینده های هوا در دهه های اخیر در کشورهای مختلف به کار گرفته شده است. نانوفوتوکاتالیست ها می توانند بر روی سطح دیوارها، سطح لامپ های روشنایی و همچنین فیلتر دستگاه های تهویه مطبوع به عنوان بستر قرار بگیرند و با فعالیت کاتالیستی خود، بو و آلودگی های محیطی را تجزیه کرده و ضمن تصفیه هوا، سطح بهداشت محیط را بالا ببرند.