



شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

## نانو ذرات، سطوح خود تمیز شونده و کاربرد آن‌ها در معماری

هانیه علیزاده<sup>1</sup>

1- کارشناس معماری دانشگاه بناب Email: [yhanialiizad@gmail.com](mailto:yhanialiizad@gmail.com)

### چکیده

فناوری نانو یکی از فناوری‌های جدیدی است که آینده بسیار روشنی برای آن پیش‌بینی می‌شود و گستردگی دامنه تاثیر این فناوری آنقدر بوده که گفته می‌شود این فناوری می‌تواند بیشتر جنبه‌های زندگی آینده بشر را تحت تاثیر قرار دهد به همین جهت بکارگیری شیوه برخوردی مناسب با این پدیده و داشتن شناخت کافی از زمینه‌های مختلف کاربردی آن بسیار مهم است. در میان چند ماده شیمیایی با قابلیت تمیز شدن خود به خودی، استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم به عنوان فتوکاتالیستی با ارزش و پرکاربرد برای کفپوش پیاده‌روها، جداول بتونی، نمای ساختمان‌ها و سایر پوشش‌های نمایان، رشد قابل توجهی پیدا کرده است. استفاده از این ذرات چه در مقیاس نانو و چه در مقیاس میکرو می‌توانند منجر به رفع آلودگی و تجزیه مواد آلی و معدنی آلاینده طی یک فرایند فتوکاتالیستی شوند. این مقاله با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای در ابتدا به تعریف نانو، سطح خود تمیز شونده و آسان تمیز شونده و چگونگی تاثیر آن‌ها در ساختمان و تصفیه هوا و بررسی سیکل واکنش نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در از بین بردن آلودگی‌ها و کاربرد این مواد در معماری و اماکن عمومی از قبیل خیابان، بیمارستان، مدارس و ادارات می‌پردازد. هدف مقاله آشنایی با مواد با خاصیت خود تمیز شوندگی، آسان تمیز شوندگی و... و چگونگی عملکرد آن‌ها در طبیعت است.

**کلمات کلیدی:** نانو تکنولوژی، فتوکاتالیست، سطوح خود تمیز شونده، تصفیه هوا

### 1- مقدمه

عموما فرآیند پاکسازی آلودگی‌ها تمیز کردن نمای ساختمان‌ها تصفیه و حذف برخی آلاینده‌های تولید شده به دست بشر با صرف هزینه و وقت زیادی همراه است و استفاده از پوشش‌هایی که زمینه‌های تمیز شدن و زدودن خود به خودی آلودگی سطوح را فراهم آورند، بسیار مفید می‌باشند از این رو کاربرد این نوع مواد روز به روز افزایش یافته و بشر برای حفظ محیط زیست خود ناچار به استفاده از این تکنولوژی نو می‌باشد. (مهدی حمیدوند، ۱۳۹۶: ۲)

استفاده از این فناوری نوین به منظور ایجاد امکان برای سطوح، با هدف خود تمیز شوندگی و آسان تمیز شوندگی با استقبال چشمگیری از سوی طراحان و سازندگان و مالکان ابنیه مواجه شده است.

بسیاری از فناوری‌هایی که در جهان امروز وجود دارند از جمله فرآیند خود تمیز شوندگی از طبیعت الهام گرفته‌اند. در طبیعت اطراف ما بسیاری از سطوح مثل بال پروانه‌ها و برگ گیاهانی مانند نیلوفرآبی، دارای خاصیت خود تمیز شوندگی هستند.

(Ganesh 2011: 16318)

دکتر گلابچی در این مورد در مصاحبه با مجله هنر بیان می‌دارد که (( هر فناوری جدید در زندگی بشر آثار سوء و عوارض جانبی هم ممکن است داشته باشد که باید مراقب آن باشیم. همانطور که میدانیم در مقیاس ۱۰ به قوه منهای ۹ مواد گاهی از بافت‌های بدن هم میتوانند عبور کنند بنابراین این خطر وجود دارد که این مواد بر سلامتی انسان‌ها اثر بگذارد اما خوشبختانه تا امروز هیچ گزارش علمی مستندی که نشان دهد نانو بر سلامتی انسان یا بر بافت‌های بدن انسان تاثیرات سوئی گذاشته باشد، نداشته‌ایم.))



## شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

(گلابچی، ۱۳۹۱: ۴)

### ۲- نانو ماده

به ماده‌ای که حداقل در یکی از ابعاد خارجی، یا ساختار داخلی و یا ساختار سطحی نانو مقیاس باشد، عنوان نانو ماده اطلاق میگردد. ریز شدن ابعاد ذرات ماده تا ابعاد نانومتری سبب می‌شود که برخی از مواد خاصیت جدیدی جذب کنند. همچنین افزایش قابل توجه سطح ویژه نانو مواد سبب می‌شود که سطح در معرض واکنش آن‌ها به شدت افزایش یافته و سرعت و میزان تاثیرگذاری آن‌ها ارتقاء یابد. (دفتر مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۶: ۱۵۷)

### ۳- فوتوکاتالیست‌ها

فوتوکاتالیست‌ها می‌توانند آلودگی‌های محیطی متعددی را از طریق اکسیداسیون با استفاده از نور خورشید یا نور مصنوعی نابود کرده و حذف نمایند در علم شیمی فوتوکاتالیز عبارت است از تسریع یک واکنش نوری در حضور یک کاتالیست، به این معنا که یک ماده کاتالیتیک در یک واکنش شرکت کرده و ترانس فورمیشن شیمیایی را تسریع می‌کند و نهایتاً خود در پایان یک سیکل کاتالیتیکی بدون تغییر باقی می‌ماند. فوتوکاتالیست‌ها مستقیماً در واکنش‌های اکسایش و کاهش دخالت ندارند و فقط شرایط مورد نیاز برای انجام واکنش‌ها را فراهم میکنند. (امیر مازیار قاسمی-دکتر طیبه پرهیزکار، ۱۳۸۴)

فوتوکاتالیست نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم نه تنها سطح را از طریق واکنش فوتوشیمیایی به یک سطح خود تمیز شونده مبدل کرده بلکه استفاده از دی اکسید تیتانیوم در پوشش دیوارها باعث حذف آلاینده‌های محیطی نظیر مواد سمی و غیر قابل تجزیه در هوا و تخریب باکتری‌ها و ویروس‌ها و در کل باعث تصفیه هوا نیز می‌شوند.

کاربرد این سطوح در ساختمان‌ها باعث می‌شود تا میزان مصرف انرژی کاهش یابد، از منابع طبیعی صیانت شود و ساکنان در محیط خانه احساس آسایش و امنیت بیشتری داشته باشند. علاوه بر این استفاده از این سطوح هوشمند باعث می‌شود که ساختمان‌ها در طی زمان دوام بیشتری در برابر عوامل جوی از خود نشان دهند و در نتیجه بازده ساختمان‌ها افزایش یابد. (مریم آقابیگی کلاکی، ۱۳۹۲: ۲)

برخی از حوضه‌های کاربردی که بشر میتواند از سطوح با چنین ویژگی‌هایی استفاده کند عبارتند از: شیشه‌های ساختمانی، مصالح نماسازی، درب و بدنه حمام، استخر، سونا، پنل‌های خورشیدی و گلخانه‌ها.

### ۴- سطوح خود تمیز شونده

برای درک بهتر سطوح خود تمیز شونده باید به دو ویژگی مهم هیدروفوبیک (آبگریزی)، هیدروفیلیک (آبدوستی) اشاره کرد که این ویژگی‌ها به کشش سطحی بین جسم جامد و آب بستگی دارد. در این رابطه کشش سطحی که بین جسم جامد و آب بوجود می‌آید میزان ترشدهگی جسم را معین می‌کند که این نسبت بین نیروهای کششی است که زاویه تماس قطرات آب با سطح را تعیین می‌کند. هرچه زاویه‌ای که قطره آب با سطح می‌سازد کمتر باشد میزان ترشدهگی سطح هم کمتر است اما اگر این زاویه افزایش یابد قطره با سطح تماس بیشتری پیدا می‌کند و دیگر خاصیت خود تمیز شوندهگی را به سطوح نخواهد داد. (گلابچی، ۱۳۹۰: ۱۰۹)

از پوشش‌های خود تمیز شونده با فناوری نانو می‌توان در موارد زیر استفاده کرد:

نمای ساختمان

سطوح سیقلی مانند شیشه، فلز، سرامیک و کاشی

ابنیه تاریخی

## شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

دیوارهای شهر

### ۴-۱- سطوح آبگریز و ابرآبگریز

منبع الهام این سطوح خود تمیزشونده به گیاه نیلوفرآبی برمی گردد، (شکل شماره ۱) نتیجه‌ای که برای این گیاه پیدا شد خاصیت موم سانی و وجود ناصافی‌های میکروسکوپی بود که سبب می‌شد سطوح زبری بر روی برگ‌ها پدید آید که دارای خاصیت آبگریزی باشند. (گلابچی، ۱۳۹۰: ۱۱۱)

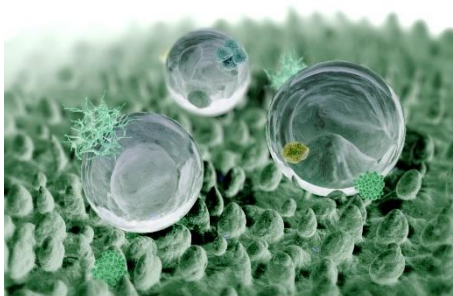
زمانی که یک سطح دارای بافتی در مقیاس میکرومتر یا نانومتر باشد فصل مشترک بین هوا و آب در یک قطره که بر روی سطح قرار گرفته است افزایش پیدا می‌کند و نیروی موئینگی بین قطره و سطح شدیداً کم می‌شود. بنابراین، قطره آب شکل کروی به خود می‌گیرد و به راحتی جریان پیدا می‌کند و ذرات آلودگی و غبار به آن متصل می‌شود. (زینب طاهری مینا، ۱۳۹۴: ۴)

این خاصیت در سطوح باعث می‌شود تا ناصافی‌هایی در حد میکرون به وجود آید که باعث می‌شود وقتی قطره آبی روی سطوح قرار می‌گیرد جذب سطح نشود. این خاصیت روی این برگ‌ها شبیه به این است که انسانی بخواهد روی سطحی پر از میخ دراز بکشد که مسلماً این کار بسیار سخت و غیر ممکن می‌باشد این خاصیت برای آلاینده‌ها هم صادق است در نتیجه با حرکت قطر آب روی سطح، این قطرات آلاینده‌های موجود در سطوح را هم جذب خود می‌کنند و سطح تمیز می‌شود در واقع به وسیله این ناصافی‌ها زاویه‌ای که سطح می‌سازد بیش از ۱۳۰ درجه است و حتی گاهی این زاویه به ۱۶۰ هم می‌رسد. (گلابچی، ۱۳۹۰: ۱۱۱)

برای ایجاد سطوح ابرآبگریز دو جزء زبری سطح و ساختار شیمیایی آبگریز (انرژی سطحی پایین) باید وجود داشته باشند. زاویه تماس آب در سطوح با انرژی کم به شدت با افزایش تخلخل و زبری سطح افزایش پیدا می‌کند. تاثیر زبری سطح را می‌توان با کمک معادله ونزل بیان کرد. معادله ونزل پیش‌بینی می‌کند که اگر سطح مولکولی آب‌گریزی زیر باشد، آب‌گریزی بیشتری را نشان می‌دهد. روش‌های مورد استفاده برای تولید سطوح آب‌گریز و ابر آب‌گریز را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: (زینب طاهری مینا، ۱۳۹۴: ۶)

– ساخت یک سطح زبر از یک ماده با انرژی سطحی پایین: در این روش سطوحی که آبگریز هستند با تغییر در مورفولوژی سطح آن‌ها، به سطوح ابرآبگریز تبدیل می‌شود.

– اصلاح یک سطح زبر با یک ماده با انرژی سطحی پایین: در این روش پوشش‌های نازکی از مواد با انرژی سطحی پایین به روش‌های مختلف بر روی سطوحی که زبر هستند ایجاد می‌شود.



شکل شماره (۱): تصویر یک قطره آب بر روی برگ نیلوفر آبی

### ۴-۱-۱- کاربرد سطوح آبگریز و ابر آبگریز



## شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

در استفاده از این سطوح در ساختمان‌ها باید توجه نمود که این سطوح در مناطقی استفاده شوند که میزان بارش باران زیاد است، چون اگر این سطوح در مناطقی مثل مناطق گرم و خشک که میزان رطوبت در آن کم است قرار گیرند تنها آبراهه‌هایی از آب ایجاد میشود که بیشتر سطوح را کثیف‌تر نشان می‌دهد پس حضور آب در این سطوح نقشی اساسی دارد در نتیجه برای سرویس‌های بهداشتی، مخازن ذخیره آب هوایی و زمینی، نماهای بیرونی نسبت به نماهای داخلی و ... کارآمدتر است. (مریم آقاییگی کلاکی، ۱۳۹۲: ۶)

یکی از مهمترین کاربردهای سطوح آبرگیز استفاده از آنها به عنوان ضدیخ است. در مناطق سردسیر یخ در سطح جامدات رسوب می‌کند و باعث افت خواص مکانیکی سیستم‌های جامد می‌شود، سطوح ابرآبرگیز مانع ایجاد یخ بر روی جامدات می‌شود. (M. Farzaneh, 2009: 1944)

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که هوا در سطوح سرد باید فرا اشباع شود تا جوانه‌زنی بلورهای یخ آغاز گردد. درجه فرا اشباع به مقدار انرژی سطحی بستگی دارد که آن هم بر جوانه‌زنی اولیه بلور یخ تاثیر می‌گذارد. سطوح سردی که انرژی کمتری دارند دارای درجه فرا اشباع بالاتری برای جوانه زنی هستند. لایه‌های نازک آبرگیز به عنوان سطوح دارای کمترین انرژی سطحی می‌توانند مانع تشکیل یخ بر روی جامدات شوند. خواص چسبندگی و مغناطیسی قطرات آب، بر همکنش یک قطره آب و سطح جامد و دفع قطرات روغنی از جمله زمینه‌های تحقیقاتی در فناوری سطوح ابرآبرگیز هستند. (C. Ybert, 2007: 182)

### ۴-۲- سطوح آبدوست و ابر آبدوست

این سطوح به وسیله فوتوکاتالیست‌ها عمل می‌کنند همانطور که قبلا بیان شد فوتوکاتالیست‌ها سرعت انجام یک واکنش را در حضور نور افزایش می‌دهند، یکی از این فوتوکاتالیست‌ها دی اکسید تیتانیوم است. این فناوری اساسا از فتوسنتز برگ سبز درختان الهام گرفته شده است. استفاده از این مواد در فناوری نانو بسیار پرکاربرد است و تاکنون ساختمان‌های زیادی در سراسر دنیا در ابعاد مختلف از این پدیده استفاده کرده‌اند که سبب کاهش جذب آلاینده‌ها توسط سطوح گردیده است البته در مورد سطوح خود تمیزشونده باید به این نقطه توجه نمود که استفاده از این سطوح باعث نمی‌شود که دیگر سطوح نیازی به تمیز کردن نداشته باشند، بلکه این مواد تنها باعث میشوند فواصل زمانی برای تمیز کردن سطوح افزایش یابد. مصالح فوتوکاتالیتیک برای ارائه عملکرد مناسب نیازمند اشعه ماورای بنفش، اکسیژن و رطوبت هوا است، میزان معمول اشعه ماورای بنفش در نور روز برای فعال سازی و واکنش‌های فوتوکاتالیتیک کافی است. آلودگی‌های طبیعی چسبیده بر روی سطوح، بر اثر فوتوکاتالیز و به کمک یک کاتالیزور از انواع اکسید فلزات فعال یا سولفید تجزیه می‌شوند. ابعاد در حد نانوی دی‌اکسید تیتانیوم سبب می‌شود که این ماده، به عنوان یک کاتالیزور بسیار فعال مطرح شده و بر سرعت تجزیه ذرات آلاینده بیفزاید، بدون اینکه مقادیر زیادی از آن مصرف شده و اثر آن را به شکل کوتاه باقی گذارد. با حضور دی‌اکسید تیتانیوم در معرض تابش پرتو فرابنفش، زاویه تماسی کمتر از یک درجه برای سطح حاصل می‌شود. (گلابچی، ۱۳۹۰: ۱۱۴)

این اثر هیدروفیلیک دی‌اکسید تیتانیوم، در راه ساخت سطوح خود تمیزشونده بکار گرفته شد. در این روش جدید، موکول‌های آب بر روی کل سطح گسترده شده و تشکیل ورقه‌ای نازک می‌دهند و در هنگام جریان یافتن، تمامی آلودگی‌های روی سطح را از جای خود برکنده و به همراه خود می‌برند. (مریم آقاییگی کلاکی، ۱۳۹۲: ۶)

البته اکسید تیتانیوم در ناحیه مرئی چندان فعال نیست و فقط قادر به جذب ۴ درصد نور خورشید است. اکسید تیتانیوم معمولا خواص ابرآبدوستی را تحت نور ماورای بنفش از خود نشان می‌دهد. با افزودن فلزاتی مانند کروم، منگنز، کبالت و آهن به نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم، توانستند فرآیند تخریب فوتوکاتالیستی رنگدانه‌ها را به کمک این نانو ذرات در شرایط نور مرئی انجام دهند. (زینب طاهری مینا، ۱۳۹۴: ۴)



## شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

فعالیت فتوکاتالیزی دی اکسید تیتانیوم زمانی که آن را به صورت یک لایه نازک نانو کریستالی مورد استفاده قرار می‌دهیم افزایش پیدا می‌کند. علاوه بر اکسید تیتانیوم مواد دیگری مانند  $ZrO_2$ ،  $ZnO$ ،  $CdS$ ،  $WO_3$  نیز به عنوان سطوح خود تمیزشونده کاربرد دارند. از آنجا که خواص سطح ماده با درون آن متفاوت است چون اتم‌ها و مولکول‌هایی که در مجاورت سطح ماده قرار می‌گیرند نسبت به اتم‌های درون ماده پیوندهای کمتری دارند و به تعبیر ترمودینامیکی، ناپایدارتر هستند؛ این ناپایداری موجب افزایش انرژی ماده می‌شود به علاوه ترازهای انرژی در سطح به صورت مجزا هستند، در حالی که درون ماده این ترازها به هم فشرده می‌شوند و ساختار نواری انرژی ایجاد می‌کنند. در ابعاد نانو نسبت سطح به حجم افزایش می‌یابد، امکان ایجاد حفره‌ها در سطح و تجزیه ترکیب شیمیایی آلودگی‌ها افزایش پیدا می‌کنند. به همین دلیل، معمولاً از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به عنوان سطح ابرآبدوست استفاده می‌شود. با کاهش ابعاد ذرات، درصد فعالیت فوتوکالیستی افزایش پیدا می‌کند. (Wenzel, 1936: 990)

در مناطق مرطوب وقتی رطوبت هوا میعان می‌شود روی سطوح قرار می‌گیرد که باعث ایجاد ابری بر روی سطح می‌گردد، این موضوع سبب می‌شود که در دید اختلال بوجود آید که معمولاً در شیشه‌های خودروها برای از بین بردن مه از روی سطوح از بخاری ماشین استفاده می‌کنند که این موضوع باعث می‌شود انرژی زیادی چه در وسایل و چه در ساختمان‌ها مصرف شود، در نتیجه با استفاده از فناوری نانو می‌توان شیشه‌ها و آینه‌های همیشه شفاف بدون مصرف انرژی الکتریکی داشت. راه حل این مشکل، ایجاد روکش نازک از دی اکسید تیتانیوم بر روی شیشه‌ها است که انرژی سطحی زیاد و به تبع آن قابلیت جذب آب بیشتری را برای سطوح فراهم می‌کند. در این حال، هنوز هم رطوبت بر روی سطح وجود دارد، اما قابل دیدن نیست. (مریم آقابگی کلاکی، ۱۳۹۲: ۷)

### ۴-۳- مقایسه سطوح آبریز و آبدوست

در پوشش‌های آبدوست، آب در سطح گسترده می‌شود. ورقه‌ای شدن آب می‌تواند چرک و سایر آلودگی‌ها را با خود حمل کند و از بین ببرد. در حالی که در سطوح آبریز قطرات آب روی سطح سر می‌خورند و آنرا تمیز می‌کنند. مزیتی که سطوح خودتمیزشونده آبدوست نسبت به سطوح آبریز دارند این است که اگر از اکسیدهای فلزی مناسب استفاده شود، به کمک نور خورشید، سبب از بین رفتن ساختار شیمیایی آلودگی‌ها می‌شود. (Gneash, 2011: 16315)

اما به علت در دسترس بودن فناوری‌های موجود، آنچه امروز به عنوان سطوح خودتمیزشونده کاربرد بیشتری دارد، سطوح آبریز است.

### ۵- فناوری نانو و پوشش‌های ساختمانی

نانو پوشش‌های ساختمانی ضمن اینکه باعث دفع آب شده و جذب کثیفی را به حداقل می‌رسانند، نمای ساختمان را در مقابل اشعه UV مقاوم می‌سازند. این نانو پوشش‌ها در سطوحی از جمله سیمان، آجر، سفال، سنگ معمولی، کاشی، مرمر، چوب، سرامیک، شیشه، فولاد و بتن بکار می‌روند. ساخت بتن تقویت شده، خود تعمیرکننده و خودتمیزشونده، شیشه‌های خودتمیزشونده، مقاوم در برابر آتش و کنترل‌کننده انرژی و در نتیجه در مصرف انرژی، استفاده از رنگ‌های حاصل از علم نانو که باعث عدم نفوذ باکتری‌ها به ساختمان‌های اداری، مسکونی، بیمارستان‌ها و غیره شده و به آنها عمری طولانی، محیطی عاری از باکتری و ماهیتی غیرقابل کثیف شدن و فرسودگی می‌بخشد، نیز از دیگر کاربردهای مهم فناوری نانو در صنعت ساختمان است. فناوری نانو، قادر است مواد را تا اندازه‌ای کوچک کند که با دوباره‌سازی آنها بتوان مواد و فناوری‌های جدیدی را به دنیا عرضه نمود. نانو پوشش‌های ساختمانی در سطوح داخلی و خارجی ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. در این سطوح که عموماً فوق آبدوست و یا فوق آبریز هستند واکنش‌ها بر روی سطوح صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که نانو پوشش‌های ساختمانی آنتی باکتریال بوده و برای سلامتی انسان بی‌ضرر هستند. (زینب طاهری مینا، ۱۳۹۴: ۷)



## شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

نانو بتن خودتمیزشونده با عملکرد فوتوکاتالیستی خود می‌تواند نقش مفیدی در تجزیه و کاهش آلودگی‌ها بردارد از این رو سازه‌های نمایان نمای ساختمان‌ها و مبلمان شهری که بخش وسیعی از مساحت شهرها را تشکیل می‌دهند را می‌توان با بتن‌های خودتمیزشونده اجرا نمود. (دفتر مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۶: ۱۵۷)

رنگ‌های خودتمیزشونده رنگ‌هایی هستند که براساس عملکردهای مختلفی که وابسته به ویژگی‌های سطحی و نوع آن‌ها است، کمتر کثیف می‌شوند و آلاینده‌های روی آن‌ها به راحتی شسته و برداشته می‌شوند. (دفتر مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۶: ۱۶۵)

### ۶- نتیجه‌گیری

نانو تکنولوژی موجب تغییر ماهیت بیشتر صنایع می‌شود، نانو تکنولوژی روش جدید ساختن اشیاء می‌باشد و کم و بیش ساخت وسایل کوچکتر، ارزان‌تر، سبک‌تر، سریع‌تر، با عمل‌پذیری بیشتر و صرف مواد خام و از همه مهمتر انرژی کمتر را متعهد می‌شود. هر صنعتی که در امر سرمایه‌گذاری در نانو تکنولوژی کوتاهی کند، خود را در معرض خطر قرار خواهد داد.

با توجه به مطالب بیان شده چون مبلغ بسیار زیادی صرف نگهداری و تمیز کردن سطوح مختلف در ساختمان‌ها می‌شود در نتیجه بهره‌گیری از فناوری نانو می‌تواند به اقتصاد جامعه کمک شایانی کند و کیفیت محصولات را افزایش دهد و همچنین چون طیف وسیعی از سرمایه‌های ما را ساختمان‌ها تشکیل می‌دهند پس به موازات رشدی که در طول سال‌ها در عرصه تجارت صورت می‌گیرد ساختمان‌ها هم باید رشدی در حد فناوری نانو داشته باشند، دستیابی به این رشد نیازمند این است که بستر مناسب برای فناوری نانو در اکثر رشته‌های مرتبط با ساختمان و مهندسی‌ها ایجاد شود. استفاده از این فناوری تنها راه رسیدن به نگاره‌های مبتنی بر معماری پایدار و داشتن معماری همگام با محیط زیست در ساختمان‌ها می‌باشد.

### مراجع

۱. آقا بیگی کلالی، مریم، عموزاده، افشین و کریمی آذر، امیررضا، کاربرد نانو ذرات در سطوح خود تمیز شونده ساختمان، اولین همایش ملی جغرافیا شهرسازی و توسعه پایدار، اسفند ۱۳۹۲
۲. حمیدوند، مهدی و حقایق، علی، بررسی خصوصیات مکانیکی بتن خود تمیز شونده حاوی نانو دی‌اکسید تیتانیوم، سومین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران معماری و مدیریت شهری، ۱۳۹۶
۳. طاهری مینا، زینب، فناوری نورین سطوح خود تمیز شونده و کاربردهای آن در معماری، دومین همایش بین المللی افق‌های نوین در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی و مدیریت فرهنگی شهرها، ۱۳۹۴
۴. قاسمی، امیر و پرهیزکار، طیبه، نانو تکنولوژی و کاربرد نانو ذرات تیتانیوم/ مرکز تحقیقات ساختمان، ۱۳۸۴
۵. گلابچی، محمود، تقی‌زاده، کتابون و سروش‌نیا، احسان، نانو فناوری در معماری و مهندسی ساختمان، چاپ اول، تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۰
۶. گلابچی، محمود، نشست پیرامون نانو فناوری در معماری و مهندسی ساختمان، کتاب ماه هنر، شماره ۱۶۸، ۱۳۹۱
7. C. Ybert, C. Duez, C. Clanet and L. Bocquet, Nat. Phys, 2007, 3, 180-183
8. Ganesh, V. A, H. K. Raut, et al. (2011). "A review on self-cleaning coatings." G. Mater. Chem.21 (41): 16304-6322.
9. M. Farzaneh And R. Menini, Surf. Coat. Technol, 2009, 203, 1941-1946
10. Solga, A., Z. Cermam, et al. (2007). "The dream of staying clean: Lotus and biomimetic surfaces." Bioinspiration & Biomimetics 2: S126
11. Wenzel, r. N. (1936). "Resistance of solid surfaces to wetting by water." Industrial & Engineering Chemistry28 (8): 988-994