

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۹۶

نانو حسگرهای پایش آلودگی ذرات معلق در هوا

سال انتشار: ۱۳۹۴

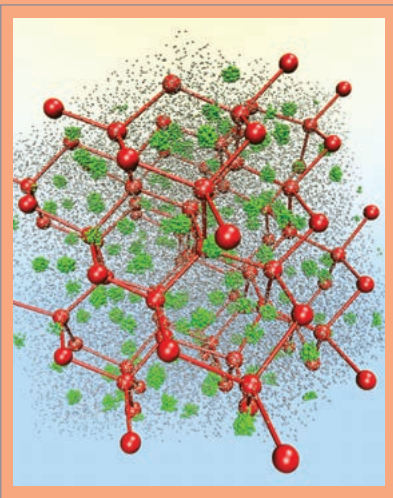
ویرایش نخست



ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

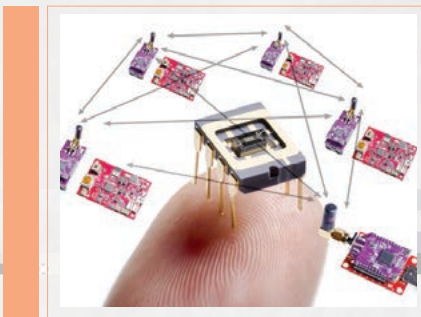
طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهر و بیژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
تهیه کننده: گروه ترویج صنعتی آب و فاضلاب و حسگر	report@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
water@nano.ir	سندوق پستی:		۱۴۵۶۵-۳۴۴

۳	مقدمه
۳	حسگر
۴	آلودگی هوا
۴	آلودگی ذرات معلق
۵	پایش آلودگی ذرات معلق
۶	نانوحسگرهای پایش بر آلودگی ذرات معلق در هوا
۷	بازار نانوحسگرهای پایش بر آلودگی ذرات معلق در هوا
۷	شرکت‌های فعال خارجی
۹	شرکت‌های فعال داخلی
۱۰	نتیجه‌گیری



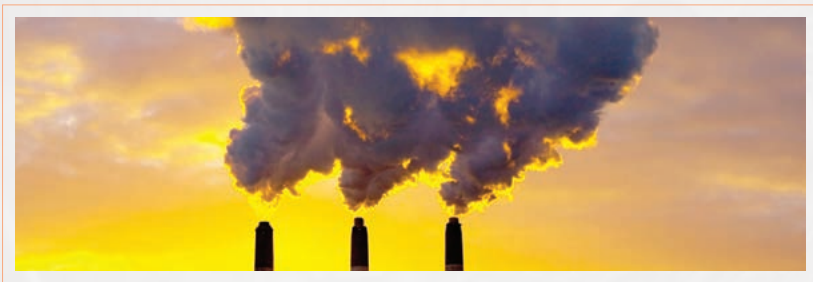
طی دهه‌های گذشته، مباحثی تحت عنوان «علوم و فناوری نانو» در حوزه تحقیقات و پژوهش‌های پیشرفته به وجود آمده‌اند که شامل ساخت، شناسایی، توصیف خواص و دستکاری ترکیبات مصنوعی با خواص کنترل شده در مقیاس نانو می‌باشد. فناوری نانو حوزه‌های تحقیقاتی مختلف مثل شیمی، فیزیک، مهندسی، علم مواد، زیست‌شناسی و غیره را در بر می‌گیرد که با توجه به پیشرفت‌های اخیر در زمینه دستگاه‌ها و همچنین روش‌های بررسی خواص مواد در مقیاس نانو، این تحقیقات نیز شتاب بیشتری به خود گرفته است. این موضوع موجب شده است، امروزه ترکیبات نانومقیاس کاربرد گسترده‌ای در فرایندهای صنعتی پیدا کنند؛ کاربردی که می‌توان آن را مدیون خواص منحصر به فرد ایجاد شده در نانو ساختارهای مختلف دانست.

حسگر



حسگر یا سنسور در اصل یک نوع مبدل انرژی^۱ است که می‌تواند برخی خواص یا پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و غیره در محیط اطرافش را تشخیص داده و آن را به صورت یک سیگنال خروجی (عموماً به صورت یک سیگنال الکتریکی یا نوری) نمایش دهند. بر همین اساس حسگرهای مختلفی در زمینه‌های گوناگون توسعه یافته و کاربرد بسیار زیادی پیدا کرده‌اند. دسته‌ای از حسگرها که امروزه

بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند، نانو حسگرها هستند. نانو حسگرها در اصل حسگرهای شیمیایی، فیزیکی یا بیولوژیکی در ابعاد نانو هستند که می‌توانند تغییرات ایجاد شده در مقیاس نانو را با حساسیت و دقت بسیار بالا و به صورت کیفی یا کمی اندازه‌گیری نمایند. حساسیت زیاد، قدرت تشخیص بالا و توانایی اندازه‌گیری^۲ هم‌زمان چند گونه با یکدیگر، از مهم‌ترین مشخصه‌هایی هستند که باعث ایجاد اعتماد بسیار گسترده به داده‌های حاصل از حسگرها و نانو حسگرها شده است.



آلودگی هوا

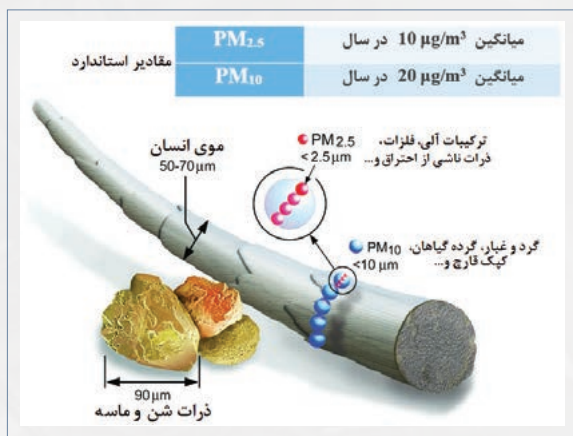
ورود هر ذره، مولکول بیولوژیکی یا ترکیب مضر (جامد، مایع یا گاز) به اتمسفر هوا که منجر به ایجاد خطر برای سلامتی، آسیب دیدن یا بیماری موجودات زنده شده و اکوسیستم یک منطقه را تحت تاثیر قرار دهد، به عنوان آلودگی هوا شناخته می‌شود. این نوع آلودگی می‌تواند از منابع انسانی و یا طبیعی نشأت بگیرد و به دو دسته اولیه^۲ و ثانویه^۳ تقسیم‌بندی می‌شود. آلاینده‌های اولیه معمولاً از یک فرایند طبیعی مانند فوران آتشفشان یا یک فرایند غیرطبیعی مانند احتراق سوخت‌های فسیلی تولید شده و شامل موادی همچون مونوکسید کربن^۴، اکسیدهای گوگرد^۵ و نیتروژن^۶، ترکیبات آلی فرار^۷ و... می‌شود. درحالی‌که آلاینده‌های ثانویه به طور مستقیم وارد اتمسفر نمی‌شوند و از واکنش آلاینده‌های اولیه با یکدیگر به وجود می‌آیند مانند پراکسی استیل نترات^۸ که از واکنش اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار تولید می‌شود.

آلودگی ذرات معلق



آلودگی ذرات معلق (PM) شامل تمام ترکیبات میکروسکوپی جامد یا مایع می‌شود که در اتمسفر زمین معلق هستند. طبقه‌بندی این نوع آلودگی عموماً بر اساس اندازه ذرات صورت می‌پذیرد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از PM_{10} که ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرومتر را در برمی‌گیرد، $PM_{2.5}$ که ذرات کمتر از ۲/۵ میکرومتر را در برمی‌گیرد (شکل ۱) و PM_1 که ذرات کوچکتر از ۱ میکرومتر را در برمی‌گیرد.

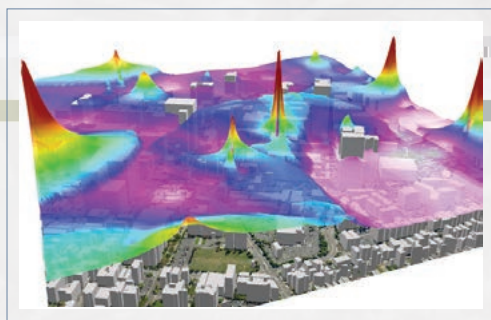
در مجامع بین‌المللی دو مورد اول (مخصوصاً PM_{10}) از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و با توجه به مضرات زیاد آن‌ها بر روی سلامتی انسان‌ها و دیگر موجودات زنده استانداردهایی برای پایش آن‌ها وضع شده است که در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱. آلودگی ذرات معلق در هوا و مقادیر استاندارد آن‌ها برای سلامت انسان [۱].

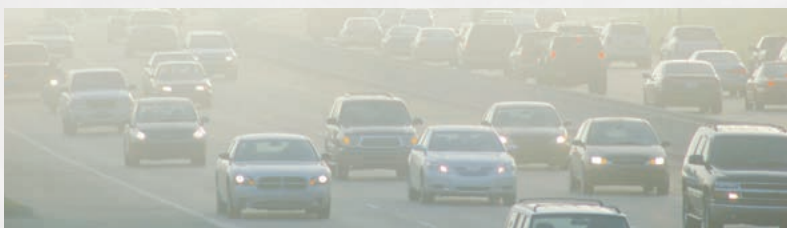
پایش آلودگی ذرات معلق

استنشاق ذرات معلق موجود در هوا تأثیرات بسیار مخربی بر سلامتی انسان می‌گذارد و باعث بروز بیماری‌هایی همچون آسم، سرطان ریه، بیماری‌های قلبی عروقی، بیماری‌های تنفسی، نقائص هنگام تولد و مرگ زودرس می‌شود. بنابراین پایش و اندازه‌گیری آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در حال حاضر در بعضی نقاط دنیا برنامه‌های پایشی^۱ شدیدی برای پایش آلودگی‌های مختلف به ویژه ذرات معلق، توسط ارگان‌هایی همچون سازمان جهانی سلامت^۲ و آژانس‌های حفاظت از محیط زیست آمریکا^۳ و اروپا^۴ در حال اجراست. اغلب برای پایش و نظارت بر آلودگی ذرات معلق (یا موارد دیگر) شبکه‌ای از حسگرها در چندین منطقه از یک ناحیه جغرافیایی نصب می‌شوند و اطلاعات حاصل از هر کدام به صورت بی‌سیم^۴ به وسیله امواج رادیویی به محل جمع‌آوری داده‌ها ارسال می‌گردد.



شکل ۲. نصب شبکه‌ای از حسگرها در سطح شهر لس‌آنجلس آمریکا جهت ایجاد یک مدل برای پایش کیفیت هوا [۲].

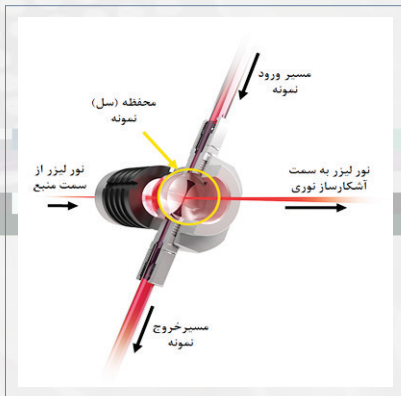
نانوحسگرهای^{۱۵} پایش^{۱۶} بر آلودگی ذرات معلق^{۱۷} در هوا



رایج ترین و مهم ترین ابزار پایش آلودگی ناشی از ذرات معلق، حسگرها و به تبع آن نانوحسگرها هستند. در سال های اخیر استفاده از محصولات فناوری نانو به خصوص نانوحسگرها در حوزه پایش و اندازه گیری آلاینده های هوا رشد فزاینده ای داشته است. توسعه نانوحسگرها و تجاری سازی آن ها نیازمند سرمایه گذاری در راستای بررسی ترکیبات نانو مقیاس قابل استفاده و همچنین نحوه طراحی کلی سیستم نانوحسگر است. طراحی نانوحسگرهای تشخیص و پایش آلودگی ذرات معلق باید به گونه ای باشد که نانوذرات مورد استفاده برای ساخت نانوحسگر به سادگی قابل بازیابی بوده^{۱۸} و همچنین احتمال کنده شدن و ورود خود ذرات به هوا (و در نتیجه ایجاد آلودگی ذره ای) در حد صفر باشد. غلبه بر این مسائل تکنیکی موجب شده بسیاری از ابتکارات و طرح های اولیه به محصولات تجاری تبدیل شده و به بازار راه یابند و امروزه شاهد استفاده از نانوحسگرهای پایش آلودگی ذرات معلق در مکان های مختلف باشیم.

به طور کلی این حسگرها بر اساس مکانیسم عملکردشان به دو دسته اصلی تقسیم بندی می شوند:

۱. حسگرهای نوری و ۲. حسگرهای الکتروشیمیایی. حسگرهای نوری عموماً از نور لیزر برای تشخیص و اندازه گیری ذرات معلق بهره می برند و مبنای عمل آن ها شمارش تعداد ذرات بر اساس اندازه گیری



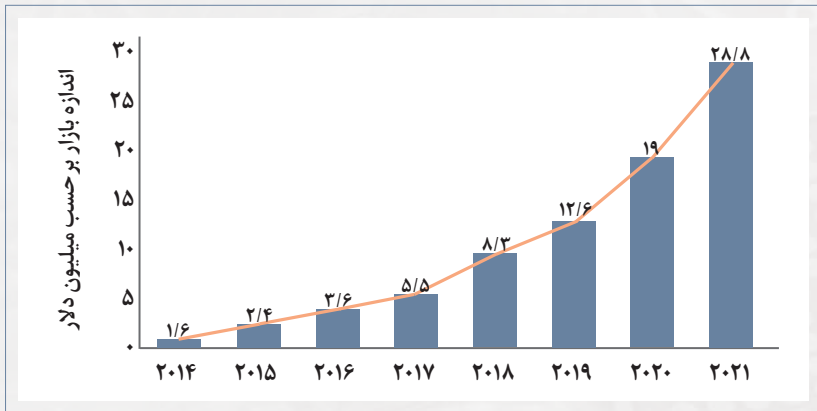
میزان پراکندگی نور^{۱۹} با استفاده از آشکارسازهای نوری^{۲۰} بسیار حساس مانند دیودهای نوری^{۲۱} می باشد. حسگرهای الکتروشیمیایی بر اساس این موضوع توسعه یافته اند که ذرات معلق ذراتی باردار هستند و در عمل این حسگرها بار ذرات معلق را اندازه گیری نموده و میزان آن را به غلظت ذرات معلق ارتباط می دهند. لازم به ذکر است که این حسگرها از ابزاری به نام تله یون^{۲۲} نیز بهره می برند که قادر است با اعمال یک میدان الکتریکی مشخص و قابل تنظیم ذرات با اندازه خاصی را فیلتر کرده و ذرات کوچکتر را عبور دهد و بدین ترتیب قادر به اندازه گیری غلظت ذرات بر اساس اندازه آن ها نیز می باشد.

شکل ۳. شمای کلی و نحوه عملکرد حسگرهای نوری برای اندازه گیری ذرات معلق [۳].

بازار نانوحسگرهای پایش بر آلودگی ذرات معلق در هوا



بنا بر آمار ارائه شده توسط موسسه N-tech Research (Nano Market) بازار کل نانوحسگرها در سال ۲۰۱۴ برابر با ۱۳/۱ میلیون دلار بوده و پیش‌بینی‌ها حاکی از این است که تا سال ۲۰۲۱ این مقدار به حدود ۱/۲۸ میلیارد دلار می‌رسد. در این میان سهم بازار مربوط به نانوحسگرهای پایش آلودگی ذرات معلق در هوا نزدیک به ۲۹ میلیون دلار خواهد بود که نسبت به آمار سال ۲۰۱۴ رشد ۱۸ برابری را تجربه می‌کند (شکل ۴).



شکل ۴. پیش‌بینی بازار نانوحسگرهای پایش بر آلودگی ذرات معلق در هوا [۴].

شرکت‌های فعال خارجی

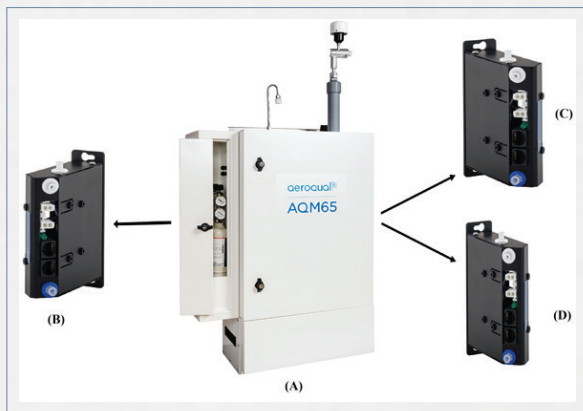


با توجه به اهمیت بسیار زیاد پایش بر آلودگی ناشی از ذرات معلق در هوا برای تامین سلامتی موجودات زنده و پتانسیل بسیار بالای نانوحسگرها در این زمینه، ارگان‌های بین‌المللی، شرکت‌ها و موسسات زیادی اقدام به طراحی، توسعه و ساخت نانوحسگرهای تشخیص آلودگی ذرات معلق در هوا نموده‌اند. از میان این شرکت‌ها و موسسات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

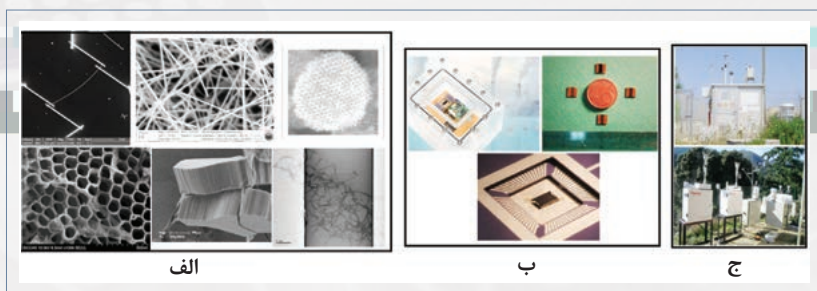
شرکت نیوزیلندی Aeroqual که زمان تاسیس آن به سال ۲۰۰۱ بازمی‌گردد، در زمینه تولید تجهیزات و حسگرهای پایش کیفیت هوا فعالیت دارد و محصولاتی برای فضاهای باز^{۳۳} و سرپوشیده^{۳۴} در اختیار مشتریان

خود قرار می‌دهد. در سال‌های اخیر این شرکت شروع به فعالیت در حوزه فناوری نموده و در همین راستا چندین نانوحسگر مختلف نیز به بازار عرضه کرده است. مهم‌ترین این نانوحسگرها که در یکی از دستگاه‌های پایش کیفیت هوای این شرکت به نام AQM 65 به کار می‌روند (شکل ۵)، نانوحسگرهایی برای اندازه‌گیری مونوکسید کربن (CO)، سولفید هیدروژن (H₂S) و گوگرد دی‌اکسید (SO₂) هستند. این نانوحسگرهای الکتروشیمیایی شامل یک الکتروکد کار^{۲۵} هستند که با نوعی نانوکاتالیست^{۲۶} خاص پوشیده شده است [۵-۸].

شکل ۵. دستگاه AQM 65 ساخت شرکت Aeroqual برای پایش کیفیت هوا و نانوحسگرهای به کار رفته در آن برای CO (D) و SO₂ (C, H₂S (B

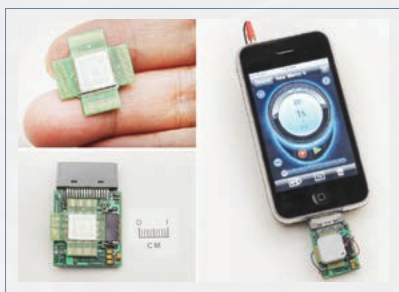


یکی از پروژه‌هایی که برای طراحی یک فناوری جدید جهت پایش بر کیفیت هوا به وسیله نانوحسگرها در راستای برنامه توسعه اتحادیه اروپا تا سال ۲۰۲۷ توسط سازمان EuNetAir^{۲۸}، زیر نظر موسسه COST^{۲۹} و با همکاری شرکت‌هایی همچون SenseAir AB [۹]، 3S GmbH [۱۰]، SGX Sensortech S.A [۱۱]، AirBase Systems [۱۲]، Alphasense Limited [۱۳] و SensiC AB [۱۴] (همگی از شرکت‌های مطرح اروپایی در تولید حسگر و



شکل ۶. مراحل انجام ساخت نانوحسگر پایش بر آلودگی ذرات معلق؛ الف) یافتن نانوذرات مناسب، ب) طراحی اولیه نانوحسگر پایش بر آلودگی ذرات معلق و ج) استفاده از نانوحسگر در دستگاه‌های پایش بر کیفیت هوا جهت پایش آلودگی ذرات معلق [۱۵].

بعضاً نانو حسگر هستند) صورت پذیرفته است، پروژه‌ای است که تحت عنوان COST Action TD1105-EuNetAir شناخته می‌شود. هدف اصلی این پروژه که در چهار گروه کاری جداگانه انجام شده است، یافتن ترکیبات نانو مقیاس مناسب برای ساخت نانو حسگر پایش بر آلودگی ذرات معلق، طراحی و ساخت نانو حسگر مورد نظر، انجام فرایندهای استاندارد سازی و کالیبراسیون بر روی نانو حسگر و در نهایت امکان‌سنجی جهت استفاده از این نانو حسگر در مقیاس واقعی است.



شکل ۷. نانو حسگر ساخته شده توسط NASA برای پایش برخی آلودگی‌های هوا از جمله ذرات معلق [۱۶].

سازمان فضایی آمریکا NASA نیز برای پایش بر آلودگی ناشی از ذرات معلق در هوا اقدام به ساخت نانو حسگر نموده است. این نانو حسگر بسیار کوچک از ترکیب ۶۴ نانو حسگر با یکدیگر ساخته شده و می‌توان در ساخت حسگرهای قابل حمل نیز از آن استفاده نمود. یک نمونه از طراحی‌هایی که از این نانو حسگر در ساخت آن استفاده شده است و می‌توان آن را به تلفن همراه متصل نمود و بدین وسیله مقادیر برخی آلاینده‌ها همچون ذرات معلق را اندازه‌گیری نمود، در شکل ۷ قابل مشاهده است [۱۶].

شرکت‌های فعال داخلی



متاسفانه علیرغم وجود پتانسیل علمی بسیار بالا در زمینه ساخت نانو حسگرها در داخل کشور، تاکنون شرکتی به طور تخصصی به این حوزه وارد نشده است؛ هرچند مطالعات علمی بسیاری در این زمینه صورت می‌پذیرد. در راستای این مطالعات برخی موارد نیز به صورت اختراع به ثبت می‌رسند که از میان مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به دستگاه نانو حسگر تشخیص انواع آلاینده‌ها با

توانایی شناسایی آلاینده‌ها در حد یک نانو گرم در دانشگاه تبریز اشاره نمود. این نانو حسگرها بر اساس خاصیت پیزوالکتریک معکوس ساخته شده‌اند و در تشخیص و اندازه‌گیری گازهای مختلف، مواد شیمیایی و ذرات معلق کاربرد دارند. این نانو حسگر با تغییراتی که بر روی فرکانس کریستال‌های پیزوالکتریک ایجاد می‌شود، نوع ماده را مشخص و مقدار آن را اندازه‌گیری می‌کند. همچنین می‌توان با تغییر نانو پوشش ایجاد شده بر روی سطح نانو حسگر، نوع ماده مورد نظر برای شناسایی را تغییر داد [۱۷].

نتیجه‌گیری



آلودگی ذرات معلق یکی از خطرناک‌ترین انواع آلودگی‌های هواست که می‌تواند تأثیرات بسیار مخربی بر روی سلامتی انسان‌ها و دیگر موجود زنده به جای بگذارد. از این رو پایش و نظارت دائمی بر روی میزان این آلودگی یک امر اجتناب ناپذیر است و اصلی‌ترین وسیله در راستای رسیدن به این هدف، حسگرها و نانوحسگرها هستند. امروزه تکامل نانوحسگرها به حدی رسیده است

که استفاده از آن‌ها به امری کاملاً عادی تبدیل شده است. این امر در مورد نانوحسگرهای پایش بر آلودگی ذرات معلق نیز صادق است و با توجه به خواص منحصر به فرد آن‌ها استفاده از نانوحسگرها دائماً در حال افزایش است که آمار حاصل از بازار آن‌ها نیز این موضوع را تایید می‌نماید.

پی‌نوشت‌ها

- | | |
|---|--|
| ۱ Transducer | ۱۷ Particulate Matter (PM) |
| ۲ Simultaneous | ۱۸ Recovery |
| ۳ Primary Pollutants | ۱۹ Scattering |
| ۴ Secondary Pollutants | ۲۰ Photodetectors |
| ۵ Carbon Monoxide (CO) | ۲۱ Photodiodes |
| ۶ Sulfur Oxides (SO _x) | ۲۲ Ion Trap |
| ۷ Nitrogen Oxides (NO _x) | ۲۳ Indoor |
| ۸ Volatile Organic Compounds (VOCs) | ۲۴ Outdoor |
| ۹ Peroxyacetyl Nitrate (PAN) | ۲۵ Working Electrode (WE) |
| ۱۰ Monitoring Programs | ۲۶ Nanocatalyst |
| ۱۱ World Health Organization (WHO) | ۲۷ EU Framework Programme Horizon 2020 |
| ۱۲ U.S. Environmental Protection Agency (EPA) | ۲۸ European Network on New Sensing Technologies for Air-Pollution Control and Environmental Sustainability |
| ۱۳ European Environment Agency (EEA) | ۲۹ European Cooperation In Science And Technology |
| ۱۴ Wireless | |
| ۱۵ Nanosensor | |
| ۱۶ Monitoring | |

منابع

- ۱ <http://www3.epa.gov/pm/basic.html>.
- ۲ <http://www.valarm.net/wp-content/uploads/2014/02/Valarm-VOC-Air-Quality-Sensor-Downtown-Los-Angeles-1.png>.
- ۳ <http://www.windpowerengineering.com/wp-content/uploads/2014/07/PAMAS-Sensor-Measuring-Cell.jpg>.
- ۴ http://ntechresearch.com/market_reports/nanosensor-markets-2014.
- ۵ <http://www.aeroqual.com>.
- ۶ <http://www.aeroqual.com/product/carbon-monoxide-analyzer-module>.
- ۷ <http://www.aeroqual.com/product/sulfur-dioxide-analyzer-module>.
- ۸ <http://www.aeroqual.com/product/hydrogen-sul de-analyzer-module>.
- ۹ <http://www.senseair.com/applications/air-quality-monitoring/>.
- ۱۰ <http://www.3s-ing.de/>.
- ۱۱ <http://www.sgxsensortech.com/>.
- ۱۲ <http://elm.perkinelmer.com/>.
- ۱۳ <http://www.alphasense.com/>.
- ۱۴ <http://sensis.se/>.
- ۱۵ http://www.eunetair.it/cost/conference/2014/02_APC-2014_ESSEM_TD1105_PRESENTATION.pdf.
- ۱۶ http://www.nasa.gov/centers/ames/news/features/2009/cell_phone_sensors.html.
- ۱۷ <http://www.asbineh.ir/?p=2384>.

مجموعه نرم‌افزارهای «نانو و صنعت»



مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌ها و صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم‌افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است.

تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفت»، «خودرو»، «انساجی»، «ساخت و ساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ - www.nanosun.ir

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- کاربردهای فناوری نانو در بخش انتقال شبکه برق‌رسانی
- فناوری نانو و توسعه آن در کشاورزی
- نقش فناوری نانو در ارتقای کیفی سیمان و مصالح پایه‌سیمانی
- روش تغییر شکل پلاستیک شدید (SPD) در تولید فلزات نانوساختار
- آلیاژسازی و فعال‌سازی مکانیکی، فناوری تهیه نانومواد
- منسوجات ضد میکروب
- سازه‌های بتنی هوشمند با قابلیت خودترمیم‌شوندگی
- لوله‌های حرارتی و کاربردهای آن در انتقال انرژی حرارتی
- کاربرد فناوری نانو در بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی
- نانوحسگرها جهت پایش شاخص‌های حیاتی بدن
- سیستم یون‌زدایی خازنی (CDI)
- کاربرد نانو در متالورژی پودر فلزات
- کاربرد فناوری نانو در پوشش‌های ضد نقش و ضد نوشتار
- میکرو / نانو حباب در صنعت آب و فاضلاب
- نانوحسگرهای تشخیص‌دهنده مواد منفجره
- استفاده از نانوذرات پلیمری بر پایه PLGA برای دارورسانی هدفمند
- کاربرد فناوری نانو جهت گندزدایی از آب به روش ازوناسیون
- تصفیه آب با استفاده از غشاء‌های سرامیکی نانو فیلتراسیون
- کاربرد فناوری نانو در گچ ساختمانی
- تصفیه آب با استفاده از غشاهای نانوالیاف
- کاربرد فناوری نانو در صنعت آب
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات خانگی
- نانوحسگرهای پایش کیفیت آب
- مروری بر فناوری نانو در تصفیه پساب صنعت نساجی
- نانو حسگرهای مورد استفاده در صنایع غذایی و آشامیدنی
- فولادهای نانوساختار
- فناوری نانو و محیط‌های کنترل شده کشت (CEA)
- نانوحسگرهای تشخیص سموم کشاورزی
- کاربرد فناوری نانو در شیشه‌های هوشمند (۱)
- نانوأفت‌کش و اثر آن در کنترل آفات
- کاربرد فناوری نانو در صنعت مقره
- کاربردهای فناوری نانو در صنایع غذایی
- کاربرد فناوری نانو در روغن‌های روان‌کننده
- نانو افزودنی‌های سوخت
- کاربرد نانوالیاف در کشاورزی
- کاربرد فناوری نانو در سیمان و سیال حفاری
- کاربرد نانوساختارها در فناوری‌های جداسازی غشایی
- نانوفیلترهای لیفی
- فناوری‌های نوین در مدیریت و افزایش بهره‌روی آب در نیروگاه‌های گرمایی
- فولاد نانوساختار Sandvik Nano flex
- کاربرد فناوری نانو در صنعت سیم و کابل
- کاربرد فناوری نانو در صنعت دیودهای نورافشان LED
- کاربردهای فناوری نانو در تولید انرژی الکتریکی
- کاربردهای نانومواد سلولز در صنعت خودرو
- کاربرد نانو کامپوزیت‌های پلیمری در صنعت خودرو
- کاربرد فناوری نانو در پوشاک
- کاربرد فناوری نانو در رنگرزی منسوجات
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات ورزشی / بیرونی
- کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات خودتمیزشونده
- سلول‌های خورشیدی رنگ‌دانه‌ای