

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۶۸

نانوحسگرهای پایش کیفیت آب

سال انتشار: ۱۳۹۴

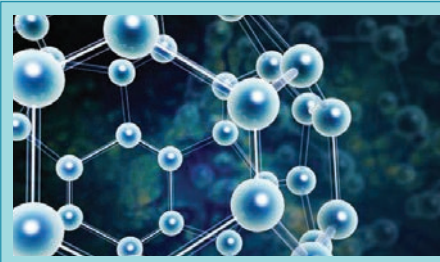
ویرایش نخست



ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهر ویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
تهیه‌کنندگان:	صابر زارع، احسان فریدی، محسن سروری	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
	water@nano.ir	صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴

۳	فناوری نانو
۳	حسگرها
۴	عوامل آلودگی آب
۴	نانو حسگرهای پایش کیفیت آب
۵	فناوری نانو در حسگرهای پایش pH
۶	نانوحسگرهای اندازه‌گیری میزان اکسیژن حل‌شده در آب (DO)
۶	نانوحسگرهای پایش مقدار کل آلودگی میکروبی و باکتریایی
۷	نانوحسگرهای اندازه‌گیری میزان یون‌های فسفات و نیترات
۸	فناوری نانو در حسگرهای اندازه‌گیری میزان کل جامدات محلول در آب (TDS)
۸	نانوحسگرهای اندازه‌گیری و تشخیص حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها
۹	نانوحسگرهای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و بیوشیمیایی (BOD)
۱۰	بازار نانوحسگرهای پایش کیفیت آب
۱۱	جمع‌بندی



فناوری نانو به مجموعه فناوری‌های مربوط به ساخت و دست‌کاری مواد در ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر، تکنیک‌های شناسایی و جداسازی آن‌ها و همچنین کاربرد آن‌ها در زمینه‌های گوناگون اطلاق می‌شود. زمانی که مواد برای داشتن حداقل یک بعد در مقیاس نانو دست‌کاری می‌شوند، خواص متفاوت با خواص فیزیکی و شیمیایی معمول خود پیدا می‌کنند. این خواص که مواردی مانند افزایش مقاومت فیزیکی و شیمیایی، بالا بردن میزان هدایت گرما و الکتریسیته، توانایی پاسخ به محرک‌های گوناگون (مثل میدان مغناطیسی یا الکتریکی) و غیره را شامل می‌شوند، کاربرد گسترده‌ای برای فناوری نانو به وجود آورده‌اند که عموماً تحت عنوان علوم و تحقیقات در زمینه‌ی مواد پیشرفته^۱ شناخته می‌شود.

حسگرها

حسگر یا سنسور در اصل یک نوع مبدل انرژی^۲ است که می‌تواند برخی خواص مربوط به محیط اطرافش را تشخیص بدهد. حسگرها اتفاقات یا تغییرات در کمیت‌های مختلف را تشخیص داده و نتیجه را به صورت یک سیگنال خروجی متناظر با تغییرات حاصل شده، که عموماً یک سیگنال الکتریکی یا نوری است، نمایش می‌دهند. حسگرها انواع مختلفی دارند و کاربردهای بسیار زیادی در زمینه‌های مختلف پیدا کرده‌اند. یکی از مهم‌ترین انواع حسگرها که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند، نانو حسگرها^۳ 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 تشخیص داده، جمع‌آوری نموده و به دنیای ماکروسکوپی^۴ انتقال دهند. در نتیجه یکی از مهم‌ترین مشخصات مورد نیاز حسگرها و نانو حسگرها این است که باید دارای حساسیت و قدرت تشخیص بالایی باشند تا بتوان به داده‌های آن‌ها اعتماد کرد.



➤ شکل ۱. بینی الکترونیکی؛
آرایه‌ای از نانو حسگرها برای
تعیین آلودگی‌های موجود در
هوا و تشخیص نشت گازها [۱].

عوامل آلودگی آب



آب مهم‌ترین و بنیادی‌ترین عامل حیات موجودات زنده است و از این نظر جلوگیری از آلودگی آب نیز به همان نسبت مهم و مورد توجه است. آلودگی آب عبارت است از؛ افزایش غلظت گونه‌های شیمیایی، فیزیکی یا بیولوژیکی که موجب تغییر خواص و نقش اساسی آب در مصارف مختلف شود. عوامل آلوده کننده آب بسیار گوناگون‌اند و می‌توانند هم منابع آب‌های زیرزمینی و هم

آب‌های سطحی را آلوده کنند. مهم‌ترین عوامل آلودگی آب عبارت‌اند از: مواد و گونه‌های آلی، میکروب‌ها و باکتری‌ها، برخی یون‌های فلزی، فلزات سنگین، آنیون‌هایی مانند نیترات و فسفات، فاضلاب‌های صنعتی و شهری، حشره کش‌ها و آفت کش‌ها و غیره. بررسی، تشخیص و پایش هر کدام از این آلودگی‌ها و نظارت دائمی بر منابع آب و سلامت آن از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار است و این امر بدون داشتن ابزار مناسب و بر اساس رنگ و بوی آب، تقریباً غیرممکن خواهد بود. مهم‌ترین و پرکاربردترین ابزارها برای این منظور، حسگرها و نانوحسگرها هستند که توجه بسیار زیادی را به خود معطوف کرده‌اند.

نانوحسگرهای پایش کیفیت آب

اگرچه حسگرهای مختلفی برای آشکار نمودن آلودگی‌ها و مواد آلاینده وجود دارند، ولی فناوری نانو امکان ایجاد نسل‌های جدیدی از حسگرها با توانایی بالا در اندازه گیری یک یا چند مورد از آلاینده‌ها (شکل ۲) را بصورت قابل حمل فراهم می‌نماید که قادر هستند، مواد آلاینده را در مقادیر و غلظت‌های بسیار کم آشکار نمایند. در بحث بررسی تشخیص آلودگی‌ها و پایش کیفیت آب، نانوحسگرها به‌طور کلی شامل نانوحسگرهای زیستی و نانوحسگرهای شیمیایی است. این نانوحسگرها می‌توانند انواع عوامل بیماری‌زا را شامل مقادیر بسیار اندک میکروب‌ها و سموم حاصل از آن‌ها، انواع ترکیبات شیمیایی و یون‌های موجود در آب را در حد یک قسمت در میلیارد (ppb) به‌طور پیوسته و با سرعت زیاد شناسایی کنند. از جنبه کاربردی می‌توان نانوحسگرها را بر اساس نوع آلودگی و پارامترهایی که نیاز به پایش دارند، دسته‌بندی نمود که مهم‌ترین آن‌ها شامل این موارد است: نانوحسگرهای پایش pH، نانوحسگرهای اندازه گیری میزان اکسیژن حل شده در آب^۱، نانوحسگرهای پایش و اندازه گیری مقدار کل آلودگی‌های میکروبی و باکتریایی^۲، نانوحسگرهای اندازه گیری میزان نیترات^۳، نانوحسگرهای اندازه گیری میزان فسفات^۴، نانوحسگرهای اندازه گیری میزان کل جامدات حل شده در آب^۵، نانوحسگرهای اندازه گیری میزان کدر



بودن^{۱۳} آب و نانو حسگرهای اندازه گیری غلظت حشره کش ها و آفت کش ها.

» شکل ۲. یک نمونه از حسگرهای پایش کیفیت آب تجاری با توانایی بررسی pH ، دما، کدورت، میزان اکسیژن محلول در آب، هدایت ویژه آب و اندازه گیری میزان نیترات، آمونیوم و کلر موجود در آب که برخی الکترودهای آن را نانو حسگرها تشخیص می دهند [۲].

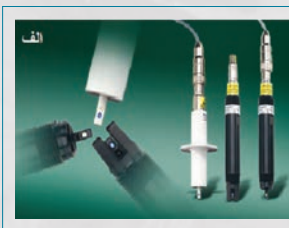
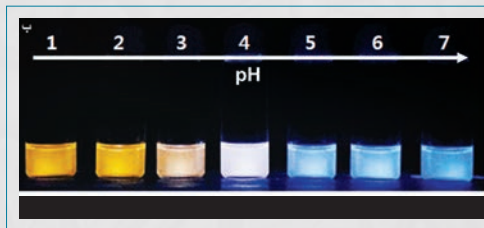


فناوری نانو در حسگرهای پایش pH

در بحث پایش کیفیت آب هم برای مصارف آشامیدنی و هم برای مصارف غیر آشامیدنی، پایش pH آب از اهمیت ویژه ای برخوردار است؛ زیرا pH آب مصرفی از یک طرف یک فاکتور بسیار مهم در حفظ سلامتی موجودات زنده است و از طرف دیگر، بر روی فرایندهای صنعتی تأثیر غیر قابل انکاری می گذارد. امروزه با پیشرفت گسترده فناوری نانو، این فناوری نیز به نوبه خود نقش به سزایی در بحث حسگرهای پایش pH آب ایفا نموده است که می توان آن را در دو جنبه اساسی دانست:

■ استفاده از ترکیبات نانو و برخی فناوری های نانو در ساخت اجزای سازنده این حسگرها مثل بدنه حسگر، روکش های ایجاد شده بر روی حسگر و غیره که تاکنون در تعداد اندکی از حسگرهای تجاری اندازه گیری pH به کار رفته است (شکل ۳. الف).

■ تحقیق و بررسی بر روی نانو حسگرهای پایش pH و توسعه آن ها؛ که عمدتاً به صورت دانشگاهی صورت گرفته و معمولاً در موارد خاصی مثل دارورسانی و غیره به صورت تجاری عرضه می شوند (شکل ۳. ب).

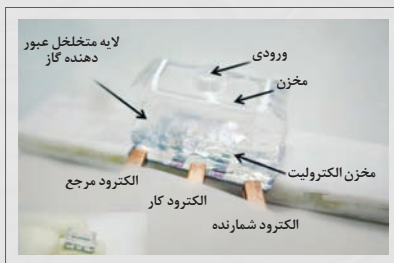


» شکل ۳. الف) حسگرهای pH با بدنه یکپارچه غیر شیشه ای بسیار مقاوم و ساخته شده با استفاده از ترانزیستورهای اثر میدان حساس به یون^{۱۴} که با نانوذرات طلا پوشیده شده است [۳].
شکل ۳. ب) نانو حسگر اندازه گیری pH با استفاده از تابش فلورسانس نقاط کوانتومی^{۱۵} پوشیده شده با پلیمرهای حساس به pH که بر روی سطح اکسید گرافن^{۱۶} قرار گرفته اند [۴]. نقاط کوانتومی یکی از مهم ترین انواع نانوذرات هستند که معمولاً ابعادی کمتر از ۱۰ نانومتر داشته و در صورتی که در معرض یک تابش با طول موج مناسب قرار بگیرند از خود نوری با طول موج مشخص نشر می دهند که تحت عنوان فلورسانس شناخته می شود. تابش فلورسانس نقاط کوانتومی و شدت آن وابسته به ابعاد آنها است همچنین می تواند در اثر تغییر شرایط محیطی مثل pH تغییر کند.

نانوحسگرهای اندازه‌گیری میزان اکسیژن حل شده در آب (DO)^{۱۹}

میزان اکسیژن حل شده در سیستم‌های فیزیولوژیکی و زیست‌محیطی نشانگر میزان فعالیت فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی است؛ بنابراین ارزیابی میزان اکسیژن حل شده در محلول‌های آبی یک امر بسیار ضروری است و در کاربردهای گوناگون صنعتی، زیست‌محیطی، دارویی و غیره یکی از معیارهای بسیار مهم به شمار می‌آید. مهم‌ترین و پرکاربردترین روش اندازه‌گیری میزان اکسیژن حل شده در آب، استفاده از حسگرها است. در این میان طراحی و استفاده از نانوحسگرهای اندازه‌گیری میزان اکسیژن حل شده در آب نیز به‌صورت روزافزون در حال رشد و توسعه است و در همین راستا هر ساله نانوحسگرهای مختلفی برای اندازه‌گیری میزان اکسیژن حل شده در آب معرفی شده و برخی از آن‌ها نیز به‌صورت تجاری در دسترس‌اند. به‌عنوان مثال یک گروه کره‌ای یک نانوحسگر الکتروشیمیایی برای اندازه‌گیری میزان اکسیژن حل شده در آب ارائه کرده‌اند (شکل ۴) که الکتروود کار آن از نانوذرات پلاتین متخلخل نشانه شده بر روی سیلیکون، تشکیل شده است و دارای حساسیت بسیار بالایی است [۵].

» شکل ۴. نانوحسگر
الکتروشیمیایی برای اندازه‌گیری
میزان اکسیژن محلول در
آب با استفاده از الکتروود کار
تشکیل شده از نانوذرات پلاتین
متخلخل نشانه شده بر روی
سیلیکون که دارای ابعاد 10×15
میلی‌متر است [۵].



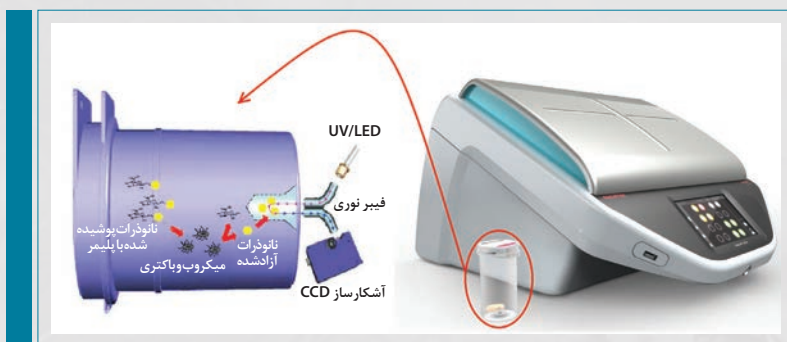
نانوحسگرهای پایش مقدار کل آلودگی میکروبی و باکتریایی



آلودگی میکروبی آب به‌عنوان یکی از مضرترین آلودگی‌ها بر روی سلامت موجودات زنده شناخته می‌شود و پایش آن بسیار ضروری است. یکی از مشکلات اساسی در بحث پایش این نوع آلودگی، نیاز به اندازه‌گیری سریع غلظت‌های بسیار پایین عوامل بیماری‌زا (حساسیت بسیار بالای حسگر) می‌باشد. استفاده از حسگرها و

نانوحسگرها، یکی از بهترین راهکارها برای حل این مشکل است و در همین راستا امروزه حسگرهای تجاری زیادی برای اندازه‌گیری آلودگی‌های میکروبی به بازار عرضه شده است. همگام با دیگر بخش‌ها، در سال‌های اخیر فناوری نانو در این حوزه نیز موجب پیشرفت کارایی، حساسیت و سرعت حسگرها و همچنین توسعه نانوحسگرهای اندازه‌گیری آلودگی‌های میکروبی در مقیاس آزمایشگاهی و تحقیقاتی و حتی تجاری شده است، به‌نحوی که امروزه چندین نانوحسگر تجاری در این حوزه به بازار معرفی گردیده است. شکل ۵ یک

نمونه تجاری از یک حسگر برای اندازه‌گیری این نوع آلودگی با استفاده از نانوذرات را به همراه دستگاه آن‌شان می‌دهد که به صورت یک کارت‌ریج (محفظه‌ای با شکل و ابعاد مشخص که برای قرار گرفتن در یک دستگاه خاص) طراحی شده است. سطح داخلی این نانوحسگر از قبل به وسیله نانوذرات فلورسانس‌کننده‌ای که بر روی سطح آن‌ها پلیمرهای حساس به میکروب قرار گرفته، پوشیده شده است و به عنوان محیط رشد میکروب‌ها نیز عمل می‌کند. در صورتی که درون نمونه آب، میکروبی وجود داشته باشد، پلیمرها با آن برهمکنش کرده و از سطح نانوذرات جدا شده و موجب ایجاد فلورسانس در آن‌ها می‌شوند که اثر فلورسانس مشاهده شده، متناسب با غلظت میکروب‌ها است.



شکل ۵. دستگاه و نانوحسگر تشخیص و اندازه‌گیری آلودگی‌های میکروبی و باکتریایی ساخته شده توسط شرکت Veolia؛ اساس کار این نانوحسگر که به صورت کارت‌ریج طراحی شده است، استفاده از نانوذرات فلورسانس‌کننده پوشیده شده با پلیمرهای حساس به میکروب و باکتری است [۶].

نانوحسگرهای اندازه‌گیری میزان یون‌های فسفات و نیترات

یون‌های فسفات و نیترات در عمل به طور مستقیم جزء ترکیبات آلاینده آب به شمار نمی‌آیند، بلکه آثار جانبی ناشی از حضور آن‌ها در آب است که می‌تواند مشکل‌ساز شود. نیتروژن و فسفر دو عنصر مورد نیاز گیاهان و موجودات زنده برای ادامه حیات است؛ یون‌های فسفات و نیترات به عنوان منابع اصلی این عناصر شناخته شده و از همین رو در ساخت کودهای شیمیایی کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده‌اند. علیرغم فواید این نوع کودها در رشد و نمو گیاهان، استفاده بیش از حد نیاز از این کودها باعث رها شدن حجم عمده‌ای از آن‌ها در منابع آب می‌شود که این موضوع به نوبه خود باعث افزایش رشد و نمو جلبک‌ها و در نتیجه مصرف مقدار بیشتری از اکسیژن محلول در آب می‌شود. رشد بیش از حد جلبک‌ها حیات آبیان را تحت تأثیر قرار داده و موجب مرگ آن‌ها و حتی تخریب منابع آب و تبدیل آن‌ها به مرداب و باتلاق می‌شود. از این رو اندازه‌گیری مقدار این یون‌ها بسیار حائز اهمیت است و حسگرهای مختلفی برای انجام این کار در بازار موجود است. در سال‌های اخیر برای تشخیص و اندازه‌گیری این یون‌ها نانوحسگرهایی نیز توسعه یافته و به بازار معرفی شده‌اند. یک نمونه از این نانوحسگرها که با استفاده از نانوذرات طلا و برای اندازه‌گیری یون‌های فسفات، نیترات و نیتريت ساخته شده است در شکل ۶ قابل مشاهده است.

» شکل ۶. نانوحسگر نوری ساخته شده با استفاده از نانوذرات طلا برای اندازه‌گیری همزمان یون‌های نیترات، فسفات و نیتریت توسط شرکت فرانسوی Metemis؛ این نانوحسگر بر اساس میزان جذب نانوذرات طلا و تغییرات آن در اثر برهمکنش نانوذرات با این یون‌ها طراحی شده است [۷].



فناوری نانو در حسگرهای اندازه‌گیری میزان کل جامدات محلول در آب (TDS)^۸

TDS شامل مجموع نمک‌های معدنی (کلریدها، بی‌کربنات‌ها و سولفات‌های پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم) و مقادیر کمی از ترکیبات آلی محلول در آب است. مقدار TDS استاندارد برای آب آشامیدنی ۵۰۰ ppm است و تجاوز TDS از این مقدار باعث ایجاد بو و مزه ناخوشایند در آب می‌شود. از آنجا که TDS معیاری از میزان سختی آب نیز می‌باشد، کنترل میزان TDS در صنایع مختلف نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در این راستا حسگرهای مختلفی برای اندازه‌گیری و پایش میزان TDS توسعه یافته و به بازار ارائه شده است. امروزه فناوری نانو نیز در ساخت حسگرهای TDS مورد استفاده قرار می‌گیرد اما با توجه به اینکه تقریباً تمام حسگرهای تجاری اندازه‌گیری TDS حسگرهای الکتروشیمیایی هستند و با یک استاندارد مشخص تولید می‌شوند، کاربرد فناوری نانو به ایجاد پوشش‌های نانو بر روی حسگرها محدود شده است.

یکی از فعالین در این حوزه، سازمان آمریکایی TCEQ^۹ است که پوششی از نانوپلیمرها را بر روی سطح برخی حسگرها ایجاد می‌کند. حسگر TDS این شرکت که دارای پوشش نانوپلیمر در تصویر ۷ قابل مشاهده است [۸].



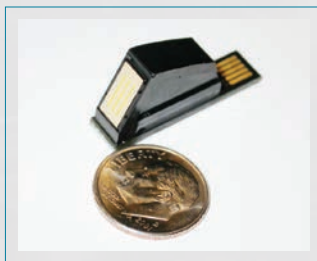
» شکل ۷.

حسگرهای TDS با پوشش نانوپلیمر جهت جلوگیری از ایجاد رسوب بر روی حسگر [۸].

نانوحسگرهای اندازه‌گیری و تشخیص حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها

یکی از ملزومات اساسی صنایع کشاورزی پیشرفته، استفاده از حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها برای افزایش بهره‌وری در محصولات کشاورزی است. اما متأسفانه مانند دیگر ترکیبات شیمیایی، این دسته از ترکیبات نیز دارای عوارض جانبی زیادی هستند؛ به نحوی که استفاده از بسیاری از آنها ممنوع و استفاده از برخی دیگر نیز کاهش یافته است. متداول‌ترین روش تشخیص و اندازه‌گیری این ترکیبات، استفاده از روش‌های کروماتوگرافی^{۱۰} است که عموماً پیچیده، گران قیمت و در برخی موارد زمان‌گیر هستند؛ لذا توسعه ابزار و روش‌های سریع، ارزان، ساده، قابل اعتماد و حتی قابل حمل برای تشخیص این ترکیبات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حسگرها و به تبع آن نانوحسگرها از جمله ابزارهای هستند که می‌توانند این شرایط را مهیا نمایند، از همین رو تحقیقات گسترده‌ای

» شکل ۸. نانوحسگر قابل حمل Spreeta با قابلیت اتصال به پورت USB برای تشخیص و اندازه‌گیری ترکیبات مختلف از جمله حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها بر اساس تکنیک تشدید پلاسمون سطحی (SPR) طلا و نانوذرات طلا [۹].

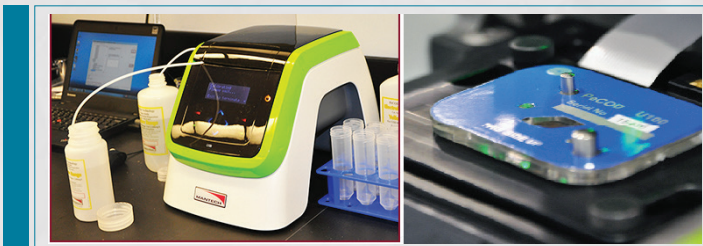


بر روی این زمینه صورت گرفته است که نتایج آنها در پایگاه‌های اطلاعاتی در دسترس هستند. از جمله تحقیقاتی که در زمینه نانوحسگرهای تشخیص آلودگی آفت‌کش و حشره‌کش‌ها صورت پذیرفته و به بازار راه یافته می‌توان به یک نانوحسگر

ارزان قیمت و قابل حمل با کارایی بالا به نام Spreeta است. طرح اولیه این حسگر اولین بار در دهه ۹۰ میلادی توسط شرکت Texas Instruments طراحی و توسعه داده شد و در ساختار آن از یک ورقه طلا استفاده می‌شود که بر حسب نوع آنالیت پوشش مختلفی بر روی آن ایجاد می‌شود و کاربردهای متنوعی در تشخیص ترکیبات گوناگون دارد. امروزه گروه‌های تحقیقاتی و شرکت‌های مختلف بهبودها و تغییراتی در این حسگر ایجاد کرده‌اند و طی آن در انواع جدیدتر این حسگر برای بهبود حساسیت از نانوذرات طلا با پوشش‌های مختلف استفاده می‌کنند و آن را به نانوحسگری تبدیل کرده‌اند که در اندازه‌گیری ترکیبات مختلفی به کار می‌رود. یکی از مهم‌ترین کاربردهای این نانوحسگر در اندازه‌گیری آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌هاست که بر اساس تشدید پلاسمون سطحی^{۲۱} نانوذرات طلای پوشیده شده با ترکیبات حساس به آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها عمل می‌کند (شکل ۸). در تکنیک تشدید پلاسمون سطحی تفاوت میزان برهم‌کنش نور با سطح نانوذرات طلا در حضور و عدم حضور حشره‌کش یا آفت‌کش برای تعیین حضور و اندازه‌گیری آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نانوحسگرهای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و بیوشیمیایی (BOD)^{۲۲}

اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و بیوشیمیایی (BOD) از شاخص‌های مهم کیفیت آب‌اند و در اصل نشان‌دهنده ترکیبات و موادی است که می‌توانند به وسیله اکسیدکننده‌های آلی (مثل پرمنگنات و دی‌کرومات) اکسید یا به وسیله باکتری‌ها تخمیر شوند. هر چه مقدار این دو شاخص کمتر باشد، میزان اکسیژن

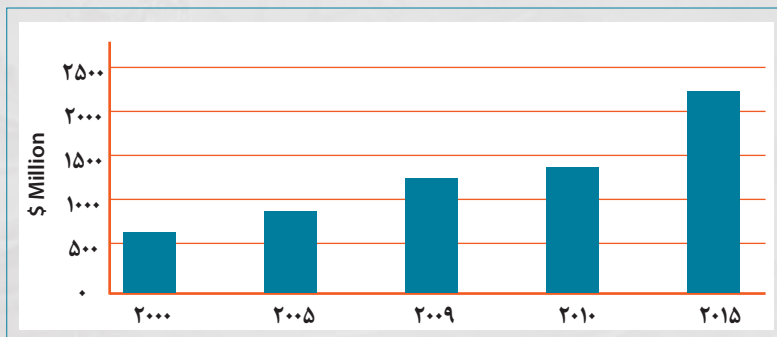


» شکل ۹. دستگاه اندازه‌گیری اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) ساخته شده توسط شرکت Mantech (سمت چپ)؛ و نانوحسگر استفاده شده در این دستگاه که در ساخت آن از نانوذرات اکسید تیتانیوم استفاده شده است (سمت راست) [۱۱].

محلول در آب بیشتر و نشانگر کیفیت بالاتر آب است. اندازه گیری BOD زمان گیر است و معمولاً نیاز به ۵ روز زمان دارد، اما COD آزمایشی سریع تر بوده و از این رو کاربرد بیشتری پیدا کرده است. امروزه روش‌ها و دستگاه‌های متفاوت و بسیار زیادی برای این دو نوع تست در بازار موجود است که در برخی از آنها از فناوری نانو بهره گرفته شده است. یک نمونه از این محصولات که توسط شرکت Mantech طراحی و ساخته شده، دستگاه اندازه گیری اکسیژن مورد نیاز شیمیایی مدل PeCOD است که در آن از یک نانوحسگر از جنس نانوذرات اکسید تیتانیوم (TiO_2) استفاده شده و تصویری از آن در شکل ۹ قابل مشاهده است [۱۰]

بازار نانوحسگرهای پایش کیفیت آب

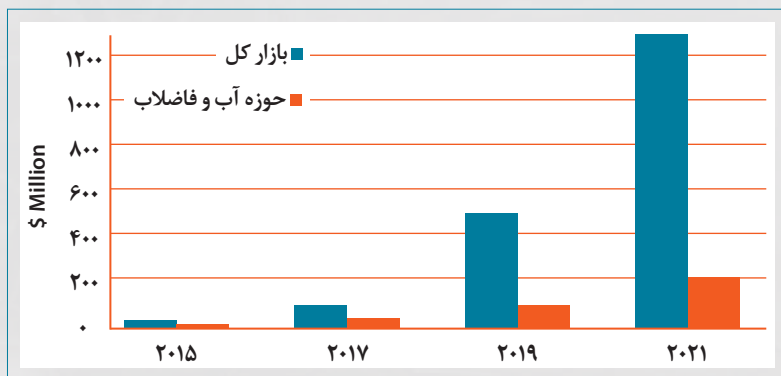
در سال‌های اخیر فناوری نانو توسعه بسیار چشمگیری داشته و به تدریج در مسیر تجاری سازی قدم گذاشته است، به نحوی که امروزه سرمایه گذاری کلاتی بر روی ارائه محصولات بر پایه فناوری نانو در سراسر دنیا انجام می شود و این فناوری و محصولات مربوط به آن بازار بسیار بزرگی را در بخش‌های مختلف صنعتی و غیر صنعتی در اختیار گرفته است. یکی از مهمترین این بخش‌ها، تصفیه آب و فاضلاب و پایش کیفیت آب است که با توجه به آمار ارائه شده (نمودار ۱)، در حال حاضر محصولات بر پایه فناوری نانو بازاری در حدود ۲ میلیارد دلار در سال را در این حوزه به خود اختصاص داده‌اند و شامل نانوذرات، نانو کاتالیست‌ها، نانوفیلترها و نانوحسگرها است [۱۲].



▲ نمودار ۱. بازار محصولات نانو در حوزه تصفیه آب و پساب و پایش کیفیت آب [۱۲].

متأسفانه تا به امروز فقط بخش کوچکی از این بازار بسیار بزرگ به نانوحسگرها (در حوزه آب و فاضلاب) اختصاص یافته و فقط چیزی در حدود ۶ تا ۷ میلیون دلار را شامل می شود. البته لازم به ذکر است که این آمار در مقایسه با بازار کلی نانوحسگرها در حوزه‌های مختلف که چیزی در حدود ۲۰ میلیون دلار است، آمار بسیار خوبی به حساب می آید و سهمی نزدیک به ۳۰ درصد از بازار کل نانوحسگرها را در بر می گیرد. بر اساس پیش بینی‌های انجام شده، بازار کلی نانوحسگرها تا سال ۲۰۲۱ افزایش چشمگیری پیدا خواهد کرد و از مرز ۱۲۰۰ میلیون دلار عبور می کند که حدود ۲۰۰ میلیون دلار از آن و به نانوحسگرهای استفاده شده در حوزه آب و فاضلاب اختصاص خواهد داشت (نمودار ۲) [۱۳]. در خصوص بازار داخلی نیز، هر چند گزارشی به صورت ویژه در خصوص نانوحسگرهای آب ارائه نگردیده است،

می توان اذعان داشت که با توجه به حجم بالای تحقیقات دانشگاهی در بحث حسگر، پتانسیل های خوبی برای حرکت به سمت محصولات فوق وجود دارد.



▲ نمودار ۲. پیش بینی میزان بازار کل نانوحسگرها و سهم نانوحسگرهای مورد استفاده در حوزه آب و فاضلاب تا سال ۲۰۲۱ [۱۳].

جمع بندی

نانوحسگرها یکی از مهم ترین و کاربردی ترین ابزار نانویی هستند که پتانسیل بالقوه ای در زمینه های مختلف صنعتی و غیر صنعتی از جمله بحث های زیست محیطی و حوزه آب و فاضلاب دارند. این حوزه از فناوری نانو در حال توسعه و پیشرفت بوده و هر ساله به تعداد تحقیقات انجام شده و محصولات تجاری معرفی شده در این زمینه افزوده می شود. در حال حاضر فقط تعداد بسیار کمی از شرکت ها و کارخانه ها نانوحسگرهایی (یا حسگرهای ساخته شده با کمک فناوری نانو) برای تشخیص آلودگی آب و فاضلاب و همچنین پایش کیفیت آب به بازار ارائه می کنند و یافتن یک نانوحسگر مناسب برای برخی کاربردها در این حوزه کاری دشوار خواهد بود که البته بر اساس گزارشات و پیش بینی های معتبر صورت گرفته در این زمینه، در چند سال آینده این وضعیت تغییر خواهد کرد و نانوحسگرهای تجاری بیشتری در حوزه آب و فاضلاب در دسترس خواهند بود.

پی نوشت ها

- | | | |
|--------------------------|--|--|
| ۱ Advanced Materials | ۱۰ Nitrate (NO_3^-) | ۱۸ Total Dissolved Solids (TDS) |
| ۲ Transducer | ۱۱ Phosphate (PO_4^{3-}) | ۱۹ Texas Commission on Environmental Quality |
| ۳ Nanosensors | ۱۲ Total Dissolved Solids (TDS) | ۲۰ Chromatography |
| ۴ Macroscopic | ۱۳ Turbidity | ۲۱ Surface Plasmon Resonance (SPR) |
| ۵ Electrical Nose | ۱۴ Ion Sensitive Field Effect Transistor (ISFET) | ۲۲ Chemical Oxygen Demand (COD) |
| ۶ Quality control | ۱۵ Quantum Dots | ۲۳ Biochemical Oxygen Demand (BOD) |
| ۷ Part per billion (ppb) | ۱۶ Graphene oxide | |
| ۸ Dissolved Oxygen (DO) | ۱۷ Dissolved Oxygen | |
| ۹ Total Coliform (TC) | | |

مراجع

- ۱ <http://www.vaporsens.com/gas-vapor-sensors/>.
- ۲ <https://www.ysi.com/6920-V2-2>.
- ۳ <https://www.honeywellprocess.com/en-US/explore/products/instrumentation/analytical-instruments-and-sensors/ph-orp/Pages/durafet-non-glass-ph-sensor.aspx>.
- ۴ Paek, K., et al., Efficient colorimetric pH sensor based on responsive polymer-quantum dot integrated graphene oxide. ACS nano, 2014. 8(3): p. 2848-2856.
- ۵ Park, Y.J.L.J.Y., A Highly Miniaturized Dissolved Oxygen Sensor Using a Nanoporous Platinum Electrode Electroplated on Silicon. Journal of the Korean Physical Society, 2011. 58(5): p. 1505-1510.
- ۶ <http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/tecta/en/tecta-cartridge.htm>
- ۷ <http://www.metemis.com/en/produits/concentration-probe-sensors/class-3-sensors/>.
- ۸ https://www.tceq.texas.gov/waterquality/monitoring/cwqm_sops.html.
- ۹ <http://www.sensata.com/sensors/index.htm>.
- ۱۰ <http://www.mantech-inc.com/>.
- ۱۱ <http://www.mantech-inc.com/pecod/>.
- ۱۲ David E. Reisner, T.P., Aquananotechnology: Global Prospects. 2014: CRC Press.
- ۱۳ Allen, G., NanoMarkets Report #701, Nanosensor Markets 2014. 2014.

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- کیتوسان پلیمری زیست تخریب پذیر در سامانه‌های دارورسانی
- کاربرد فناوری نانو در آنالیزگرهای جدید صنایع بالادستی نفت
- کاربردهای فناوری نانو در بخش انتقال شبکه برق‌رسانی
- فناوری نانو و توسعه آن در کشاورزی
- نقش فناوری نانو در ارتقای کیفی سیمان و مصالح پایه‌سیمانی
- روش تغییر شکل پلاستیک شدید (SPD) در تولید فلزات نانو ساختار
- آلیاژسازی و فعال‌سازی مکانیکی، فناوری تهیه نانومواد
- منسوجات ضد میکروب
- کاربرد فناوری نانو در سازه‌های بتنی هوشمند با قابلیت خود ترمیم‌شوندگی
- 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 ضدنقش و ضد نوشتار
- میکرو/نانو حباب در صنعت آب و فاضلاب
- استفاده از نانوذرات پلیمری بر پایه PLGA برای دارورسانی هدفمند
- کاربرد فناوری نانو جهت گندزدایی از آب به‌روش ازوناسیون
- کاربرد فناوری نانو در گچ ساختمانی
- تصفیه آب با استفاده از غشاهای نانوالیاف
- کاربرد فناوری نانو در صنعت آب
- کاربردهای فناوری نانو در منسوجات خانگی
- فناوری نانو در تصفیه پساب صنعت نساجی