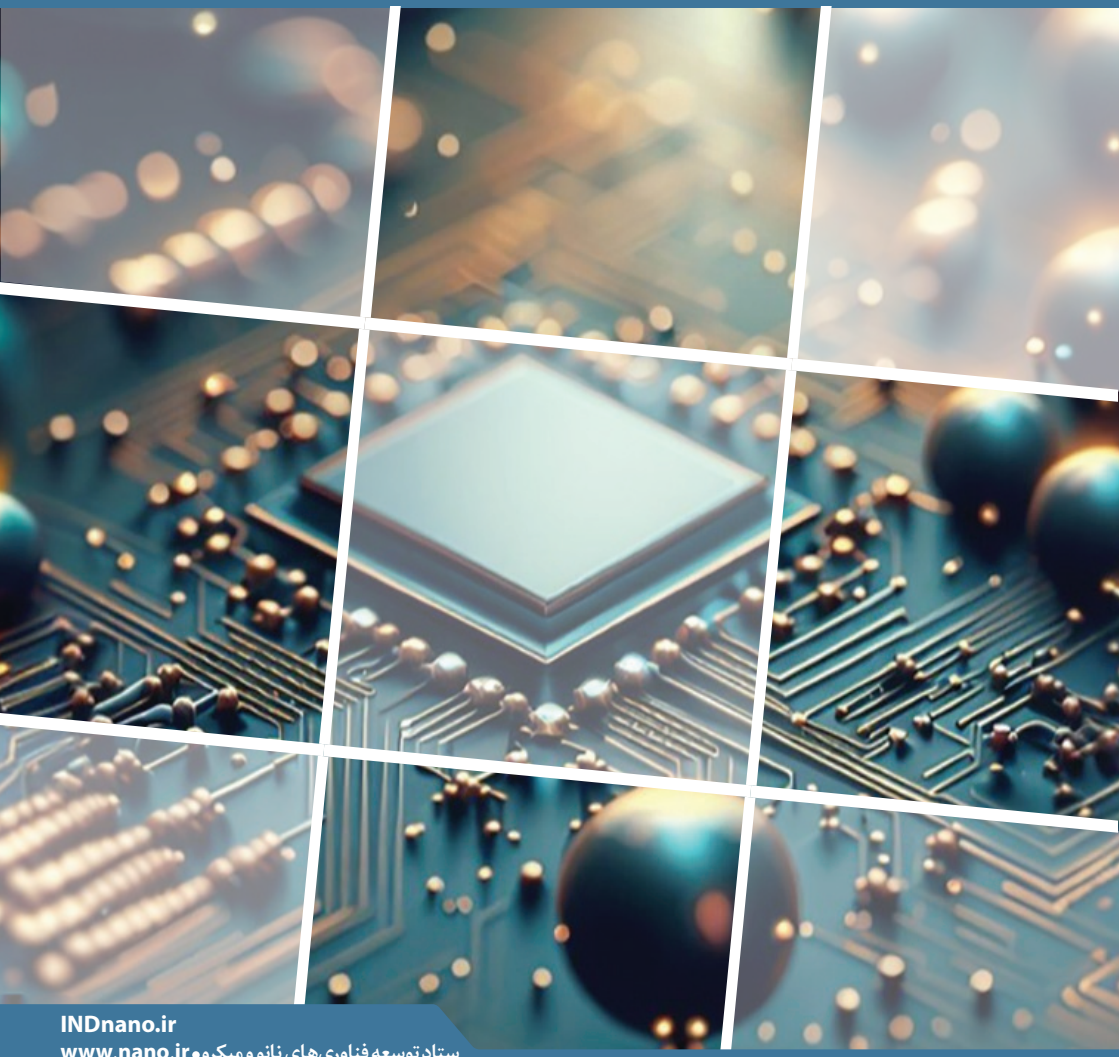
نانو و صنعت

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۲۶۷ حوزه نفت، گاز و پتروشیمی

تولید صنعتی نانوحسگرهای گازی بر پایه اکسیدهای فلزی



INDnano.ir

ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو • www.nano.ir

شناسنامه

ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
صندوق پستی:	۳۴۴-۱۴۵۶۵		
پست الکترونیک:	IND@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
سال انتشار:	۱۴۰۳		www.INDnano.ir
نویسنده:	معصومه حشم‌فیروز	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir
	شرکت توسعه مهندسی الماس‌واره دانش		

محتواهای صنعتی و فناورانهٔ خود را از طریق پست الکترونیک و پایگاه اینترنتی نانو و صنعت (INDnano.ir) ارسال نمایید.

فهرست مطالب

- مقدمه ۳
- عملکرد نانوحسگرهای گازی بر پایه اکسید فلزی ۳
- کاربرد فناوری نانو در ساخت حسگرها ۴
- چالش‌های موجود در حوزه حسگر گازی بر پایه اکسید فلزی ۵
- شرکت‌های فعال در حوزه نانوحسگرها ۶
- نتیجه‌گیری ۸
- پی نوشت‌ها ۸
- منابع ۸

مقدمه

آلودگی محیطی ناشی از اگزوز وسایل نقلیه، انتشار گازهای گلخانه‌ای از کارخانه‌های صنعتی، احتراق سوخت‌های فسیلی و... یکی از معضلات زندگی در شهرهای بزرگ است که می‌تواند طول‌عمر ساکنان را به‌میزان قابل‌توجهی کاهش دهد. آلاینده‌های هوا از جمله اُزن، مونوکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، سرب و اکسیدهای نیتروژن خطرناک‌ترین آلاینده‌ها در سطح شهر هستند که حتی در غلظت‌های بسیار کم نیز برای سلامتی انسان مضر هستند. کنترل آلودگی هوای شهرها می‌تواند به‌طور مداوم یا ناپیوسته با کمک دستگاه‌های حسگر به‌صورت دستی یا خودکار انجام شود. حسگر گاز وسیله‌ای است که هدف آن تشخیص وجود هر نوع گاز (قابل‌اشتعال، انفجار، سمی، بدون‌بو، قابل‌احتراق و...) در محیط است. اکثر روش‌های تشخیص گاز مرسوم هزینه تولید بالایی دارند، به تعداد محدودی گاز حساس هستند و در تعمیر و نگهداری مشکل دارند. پیشرفت‌ها در حوزه نانوفناوری و توسعه نانومواد جدید، عصر جدیدی را در پیشرفت فناوری حسگرها گشوده است. شایان ذکر است که حسگرهایی که از مواد نانو استفاده می‌کنند، در مقایسه با دستگاه‌های معمولی، حساسیت و دقت بسیار بالاتری دارند و انرژی بسیار کمتری مصرف می‌کنند. به همین دلیل است که حجم عظیمی از تحقیقات در حال انجام به توسعه نانومواد برای کاربرد در حسگرها اختصاص دارد [۱].

از جمله نانوحسگرهایی که برای نظارت بر محیط زیست در اولویت توسعه هستند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- حسگرهای بر پایه اکسید فلز؛
- حسگرهای بر پایه کربن؛
- حسگرهای بر پایه پلیمر.

روش‌های کاربردی‌سازی مختلفی با هدف بهبود ویژگی‌های انتخاب حسگر و کاهش دمای عملیاتی استفاده شده‌اند. اصل تشخیص گاز می‌تواند بر اساس اصول فیزیکی زیر باشد: روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های الکتریکی (حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی، پلیمر، نانولوله‌های کربنی، گرافن، مواد جاذب رطوبت)، روش‌های نوری، روش‌های صوتی، روش‌های کروماتوگرافی گازی و روش‌های کالری متری [۲].

عملکرد نانوحسگرهای گازی بر پایه اکسید فلزی

حسگرهای گاز بر پایه اکسید فلزی به دلیل حساسیت بالا و زمان پاسخ سریع، پرکاربردترین حسگرهای گاز برای نظارت بر محیط زیست هستند. آن‌ها هزینه سنتز پایین، پایداری بالا و قابلیت رسانایی الکتریکی برای پاسخ به گازهای مختلف دارند. اخیراً توجه زیادی به بررسی ویژگی‌های حسگر CuO، TiO_2، SnO_2، ZnO و NiO شده است، زیرا این مواد دارای حساسیت، نرخ پاسخ و نرخ بازیابی بالایی هستند. علاوه‌براین، آن‌ها حساسیت بالایی به تعدادی از «گازهای نامرئی» مانند هیدروژن، مونوکسید کربن، الکل، تولوئن و متانول دارند. حسگرهای مبتنی بر نانو اکسید فلزی به‌طور گسترده‌ای برای نظارت بر محیط استفاده می‌شوند. پاسخ نانوساختارهای اکسید فلزی تا حد زیادی به مورفولوژی آن‌ها بستگی دارد. در سال‌های اخیر، نانوساختارهای اکسید فلزی با شکل‌های متفاوتی مانند نانومیله‌ها، نانوسیم‌ها، نانولوله‌ها، نانومکعب‌ها، نانوتسمه‌ها، نانوگل‌ها

و نانوصفحات به‌دست آمده‌اند. این روش‌های مختلف رسوب‌گذاری برای ساخت نانوساختارهای اکسید فلزی با مورفولوژی‌های مختلف استفاده شده است. اغلب، آن‌ها با تبخیر حرارتی، رسوب هیدروترمال، روش سل- ژل، رسوب الکتروشیمیایی، رسوب فیزیکی- بخار و رسوب شیمیایی- بخار سنتز می‌شوند. یکی از متداول‌ترین حسگرهای گاز مبتنی بر اکسید فلزی، به‌عنوان حسگرهای مقاومتی عمل می‌کنند. مکانیسم حسگر مقاومتی مبتنی بر وابستگی مقاومت الکتریکی اکسید فلز به ترکیب جو اطراف است. سایت‌های خالی اکسیژن، در نزدیکی سطح اکسید فلزی، از نظر الکتریکی و شیمیایی فعال هستند. در یک سایت خالی، یک مولکول اکسیژن، از هوای اطراف، با الکترونی که در نزدیکی سطح اکسید فلز گرفته شده است، پیوندی تشکیل می‌دهد. الکترون گرفته‌شده دیگر به رسانایی ماده کمک نمی‌کند. در نتیجه رسانایی کاهش و مقاومت سطح افزایش می‌یابد. این امر منجر به خم شدن نوار سطحی می‌شود. تحت تأثیر یک گاز کاهنده (به‌عنوان مثال CO_2، H_2، SO_2، H_2S، CO، NH_3 و C_2H_5OH) که با یون‌های اکسیژن جذب‌شده تعامل و آن‌ها را از سطح حذف می‌کند، خمش باند سطح کاهش می‌یابد و در نتیجه رسانایی افزایش می‌یابد. در مورد گازهای اکسیدکننده (به‌عنوان مثال، O_2، O_3، NO_2)، وضعیت برعکس است. به‌عنوان مثال، مکانیسم حسگر برای شناسایی گاز NO_2 را در نظر بگیرید. در حضور گاز، مولکول‌های NO_2 روی سطح اکسید فلز جذب می‌شوند و الکترون‌ها را از نوار رسانایی که یون‌های NO_2 را تشکیل می‌دهند، جذب می‌کنند. این امر منجر به تشکیل یک منطقه تخلیه در سطح اکسید فلز می‌شود. در نتیجه خمش باند سطح افزایش می‌یابد و رسانایی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، پاسخ حسگر را می‌توان به‌عنوان نسبت تغییر در برخی از پارامترهای فیزیکی (مقاومت، رسانایی، نورتابی، بازتاب و...) حسگر قبل و بعد از قرار گرفتن در معرض مولکول‌های هدف تعریف کرد[۲].

کاربرد فناوری نانو در ساخت حسگرها

با ورود به مقیاس نانو، مواد خواص جدیدی را از خود نشان می‌دهند که در حالت توده‌ای و یا حتی در مقیاس میکرومتر وجود ندارد. همچنین، خواص مواد در مقیاس نانو تشدید و باعث بهبود عملکرد ماده می‌شوند. افزایش مساحت سطح یکی از خواصی است که مواد در مقیاس نانو پیدا می‌کنند. این خاصیت خود باعث افزایش فعالیت سطح و در نتیجه بهبود کارایی مواد به‌عنوان نانوجاذب می‌شود. هرچه نانوجاذب تولیدی از مساحت سطح بالاتر و میزان تخلخل بالاتری برخوردار باشد، حساسیت آن در حسگر بالاتر رفته و در نتیجه حسگر دقیق‌تر و حساس‌تری خواهد بود.

نانوحسگر وسیله‌ای ساخته شده از مواد نانوساختار است که قادر به شناسایی و ارائه پاسخ به محرک‌های فیزیکی و شیمیایی در غلظت‌های پایین است. نانوحسگرها کاربردهای متعددی در صنایع مختلف از قبیل بیوپزشکی، محیط‌زیست، تولید مواد هوشمند، نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی یافته‌اند. نانوحسگرها نسبت به حسگرهای معمولی از مزیت‌های متنوعی برخوردارند. استفاده از نانومواد در ساخت این حسگرها، به‌واسطه نسبت سطح به حجم بالایی که دارند باعث می‌شود که این حسگرها دارای سطح ویژه بسیار بالایی باشند و در نتیجه حساسیت نانوحسگرها در مجاورت مقادیر بسیار اندک از ماده‌ای که قصد تعیین آن را داریم، بسیار بالا باشد؛ بنابراین نانوحسگرها می‌توانند غلظت‌های بسیار پایین از یک ماده مشخص را نیز شناسایی کنند، درحالی‌که حسگرهای معمولی در غلظت‌های پایین عملکرد مطلوبی ندارند.

علاوه‌براین به‌واسطهٔ توانایی دست‌کاری مواد در مقیاس نانو، این امکان وجود دارد که حسگری متناسب با یک ماده خاص طراحی و ساخته شود، به‌گونه‌ای که فقط نسبت به آن ماده مشخص از خود واکنش نشان دهد و دیگر مواد موجود در محیط بر روی آن اثری نداشته باشد. به این ویژگی در اصطلاح انتخاب‌پذیری گفته می‌شود. در نتیجه نانوحسگرها می‌توانند انتخاب‌پذیری بهتری نسبت به حسگرهای معمولی داشته باشند. از دیگر مزیت‌های نانوحسگرها در مقایسه با حسگرهای معمولی، اندازه کوچک‌تر و مصرف کمتر انرژی است که سبب سهولت در استفاده و قابل‌حمل‌تر بودن آن‌ها می‌شود.

آشکارسازی گازها کاربردهای گسترده‌ای در صنایع و زمینه‌های مختلف دیگر پیدا کرده است. از کاربردهای نانوحسگرهای گازی می‌توان به حفاظت از محیط‌زیست، صنایع نفت‌وگاز، صنایع خودروسازی، صنایع دفاعی، معادن، آزمایش میزان الکل در تنفس، کنترل فرآیند تخمیر، کنترل تهویه برای منازل و صنایع کشاورزی و مرغداری، آشکارسازی نشتی آمونیاک در یخچال و آشکارسازی گازهای خانگی (متان، بوتان و پروپان)، آشکارسازهای آتش، وسایل هشداردهنده وجود گازهای خطرناک در محیط و آشکارسازی ترکیبات آلی فرار اشاره کرد [۳].

چالش‌های موجود در حوزه حسگر گازی بر پایه اکسید فلزی

یکی از مشکلات حسگرهای گازی بر پایه اکسید فلزی این است که این حسگرها در دمای نسبتاً بالای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و بیشتر کار می‌کنند. تلاش‌های زیادی برای کاهش دمای عملیاتی آن‌ها و ایجاد تغییر در هدایت الکتریکی از طریق غلبه بر موانع فعال‌سازی در حال انجام است. دومین اشکال که کاربرد عملی آن‌ها را بسیار محدود می‌کند، این است که انتخاب‌پذیری پایینی دارند. به‌منظور بهبود عملکرد از سه رویکرد زیر استفاده می‌شود:

- در راستای افزایش گزینش‌پذیری به یک گاز خاص، یکی از راه‌های افزایش خواص انتخابی و در نتیجه بهبود عملکرد حسگر، ایجاد نانوسیستم‌های متخلخل چند جزئی همچون TiO_2/CuO، TiO_2/SnO_2، SnO_2/CuO، Fe_2O_3/TiO_2 و NiO ZnO است. همچنین یکی دیگر از راه‌های افزایش انتخاب‌پذیری حسگرهای مبتنی بر اکسید فلزی، کاربرد فلزات نجیب در ساختار حسگر است. در این مورد، امکان تشخیص تنها یک گاز کاهنده خاص میسر می‌شود.

■ عملکرد دستگاه‌های مبتنی بر اکسید فلزی نیز می‌تواند با سنتز نانوسیستم‌ها در قالب شبکه‌های سه‌بعدی از جمله عناصر الکترونیکی سیناپسی بهبود یابد. به همین دلیل، امروزه اهمیت زیادی به آن دسته از فناوری‌هایی داده می‌شود که امکان شکل‌دهی نسبتاً ساده و تکرارپذیر نانوسیستم‌های سه‌بعدی در قالب «شبکه‌های عصبی» با امکان عناصر الکترونیکی سیناپسی را فراهم می‌کنند.

■ رویکرد مؤثر دیگر برای بهبود خواص حسگرهای گاز اکسید فلزی شامل افزایش سطح و تنظیم مورفولوژی کریستال است. در این حالت، مقدار فضای خالی اکسیژن در سطح ماده افزایش می‌یابد و در نتیجه جذب مولکول گاز و واکنش‌های کاتالیزوری در سطح تشدید می‌شود. مشخص شده است که نانوساختارهای یک‌بعدی به شکل نانوسیم، نانومیله یا نانولوله نسبت سطح به حجم بیشتری در مقایسه با لایه‌های نازک دارند. در نتیجه حساسیت آن‌ها افزایش‌یافته که منجر به کاهش زمان پاسخ می‌شود. بنابراین نانوسیستم‌های متشکل از عناصر تک‌بعدی برای کاربردهای حسگر گاز ترجیح داده می‌شوند. ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت که توسعه روش‌های تشخیص گاز با گسترش حجم اطلاعات برای تشخیص گازهای مختلف تعیین می‌شود. درعین‌حال، حجم اطلاعات برای گازهای کاهنده مختلف باید شامل ویژگی‌های متمایز باشد.

حسگرهای بر پایه نانو اکسید فلزی دارای تعدادی مزیت از جمله زمان کار طولانی، توانایی تشخیص طیف گسترده‌ای از گونه‌های گاز در غلظت‌های مختلف، نگه‌داری آسان، ارزان و مناسب برای کوچک‌سازی هستند. با این وجود، آن‌ها دارای مشکلات انتخابی هستند، پاسخ حسگر به دما و رطوبت محیط بستگی دارد، به‌عنوان یک قاعده، آن‌ها در دماهای بالا کار می‌کنند، مصرف انرژی بالایی دارند و برای عملکرد مناسب به اکسیژن نیاز دارند. علاوه‌براین، تشخیص برخی از گونه‌های گاز خاص مانند SO_2، H_2، CO_2 و NOx در دماهای پایین با حسگرهای گاز اکسید فلز غیرممکن است. تا حدی، این اشکالات را می‌توان با حسگرهای مبتنی بر نانومواد کربن و حسگرهای پلیمری برطرف کرد[۲، ۳].

شرکت‌های فعال در حوزه نانوحسگرها

محققان مؤسسه استاندارد و فناوری نیست[۱] روش جدیدی برای ایجاد یک شناساگر بسیار حساس ارائه کرده‌اند. این حسگر جدید که مبتنی بر نانولوله‌های اکسید فلزی است، نسبت به ابزارهای فعلی مبتنی بر فیلم‌های نازک، ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر حساس‌تر بوده و می‌تواند به‌طور هم‌زمان برای شناسایی چندین عامل مورداستفاده قرار بگیرد.

زمانی که سلول‌ها تحت‌فشار قرار دارند، از طریق آزاد کردن مقادیر اندکی اکسید نیتروژن و گازهای سمی دیگر، بخارهایی از خود منتشر می‌کنند. حساسیت این شناساگر می‌تواند به‌حدی بالا باشد که بتواند این مقادیر اندک گازهای خروجی از سلول‌ها را تشخیص دهد. در صورت توسعه این شناساگرها می‌توان از آن‌ها در تعیین چگونگی ارتباط سلول‌ها با یکدیگر و تعیین مضر بودن یا نبودن داروها یا نانوذرات برای سلول‌ها استفاده کرد. حسگرهای گازی عموماً از طریق تشخیص تغییرات بسیار کوچکی که مولکول‌های گاز رسوب‌یافته روی فیلم نازک، در رسانایی الکتریکی آن ایجاد می‌کنند، عمل می‌کنند. بنابراین هرچه سطح فیلم نازک بزرگ‌تر باشد، حساسیت آن بیشتر است. دانشمندان علاقه‌مند به توسعه حسگرهای مبتنی بر نانولوله‌ها هستند، زیرا این ساختارها با دارا بودن دیواره‌هایی که تنها چند نانومتر ضخامت دارند، از مساحت سطحی بسیار بالایی برخوردارند[۴].

با وجودی که مناسب بودن نانولوله‌ها برای استفاده در کاربردهای حسگری به اثبات رسیده است، ساخت

ابزارهـای حسـگری مبتنی بر این نانوسـاختارها، فرایندی سـخت، غیردقیـق و زمان‌بر اسـت. از روش‌های قدیمی مورداستفاده برای این منظور می‌توان به پخش تصادفی نانولوله‌های آزاد روی یک سطح دارای اتصالات الکتریکی (با این هدف که حداقل تعداد کمی از این نانولوله‌ها در جای مناسب قرار بگیرند) یا لایه‌نشانی اتصالات الکتریکی روی نانولوله‌ها پس از انتشار آن‌ها اشاره کرد. این روش‌ها با وجودی که منجر به ایجاد ابزارهای عملکردی می‌شوند، اما دانشـمندان نمی‌دانند که اتصالات الکتریکی دقیقاً در چه نقاطی روی سـطح ایجاد می‌شـوند. این امر انجام چند تسـت را به‌صورت هم‌زمان غیرممکن می‌سـازد. به‌علاوه این حسـگرها به‌اندازه‌ای که انتظار می رود، حساس نیسـتند، زیـرا هیچ راهـی برای اطمینان از اینکه مولکول‌هـای گاز با دیواره داخلـی نانولوله‌ها برهم‌کنش می‌کنند، وجود ندارد. محققان برای حل این مشکل از یک ورقه اکسید آلومینیوم به ضخامت موی انسان استفاده کردند که میلیون‌ها سوراخ به قطر حدود ۲۰۰ نانومتر روی آن ایجاد شده بود. آن‌ها از این حفرات به‌عنوان قالب استفاده کرده و ورقه آلومینیومی را داخل محلولی از یون‌های تنگسـتن فرو بردند. بدین‌ترتیب داخل حفرات روکش‌دهی شـده و نانولوله‌ها در همان محل قالب‌گیری شدند. پس از تشکیل نانولوله‌ها، بالا و پایین ورقه آلومینیومی را با لایه‌نازکی از طلا پوشاندند تا به‌عنوان اتصال الکتریکی عمل کند.

حسـاسیت بالای این حسـگر از طراحی آن نشـأت می‌گیرد. در این نوع طراحی این اطمینان وجود دارد که هر نوع پاسـخی از طرف حسـگر، از برهم‌کنش مولکول‌های گاز با دیواره داخلی نانولوله‌ها ناشـی می‌شود. این پژوهشگران خاطرنشان می‌سازند تا زمانی‌که انتهای نانولوله‌ها باز باشد، می‌توان به‌آسانی از این روش برای نانولوله‌هایی از جنس نیمه‌رساناها و اکسیدهای فلزی دیگر بهره برد.

شـرکت آرنوس[۲] یکی از شـرکت‌های پیشرو در زمینه تولید حسـگرهای گازی مبتنی بر نانومواد اسـت، این شـرکت از محصـول خـود در بخـش حسـگرهای گازی در نمایشـگاه CES رونمـایی کـرد. ایـن نانوحسـگر گازی قابلیـت شناسایی کیفیت هوا را داشته و در آن از فناوری‌های Smart Aer و Aerband استفاده شده است. فناوری‌های Smart Aer بر سـاخت حسـگرهای گازی کوچک در دسـتگاه‌های هوشـمند ویژه کاربران عمومی برای سنجش میزان آلاینده تمرکز دارد. از سوی دیگر، فناوری Aerband یک محصول قابل حمل پایش آلودگی هوا عرضه می‌کند که برای دانشگاه‌ها و مؤسساتی طراحی شده است که در زمینه آلودگی هوا و سلامت انسان تحقیق می‌کنند. امروزه محققـان ابزارهـای محدودی بـرای اندازه‌گیری میزان قرار گرفتن در معـرض آلودگی هوا در اختیـار دارند. داده‌های کیفیـت هـوای خارج از منزل، توسـط تعداد کمی از ایسـتگاه‌های نظارت محدود شـده اسـت و نظـارت در داخل سـاختمان (خانه، ماشین، محل کار و...) عملاً وجود ندارد. از آنجاکه ترکیبات نانو دارای نسـبت سـطح به حجم بالاتری در مقایسـه بـا ترکیبات مشـابه با انـدازه میکرو این ترکیبات هسـتند، بنابرایـن تعداد مولکول‌هـای آلاینده بیشـتری در واحـد زمـان می‌توانـد پایش کنـد و در حضور مقادیـر ناچیز آلاینده، شناسـایی با دقـت بالاتری انجام خواهد شد[۵].

محققان مؤسسه فناوری کارلسروه[۳] آلمان نیز موفق به ساخت بینی الکتریکی شدند. این اختراع شامل یک دستگاه کوچک چند سانتی‌متری است که یک تراشه مخصوص دارد[۶]. این تراشه به حسگرهای مختلفی متصل می‌شود کـه هرکـدام از آن‌ها به نوبه خود شـامل طیفی از سیم‌های نانواکسید قلع هسـتند. ایـن سیم‌ها مقاومت الکتریکی بـالایی دارنـد. هنگام اسـتفاده از دسـتگاه، یک چـراغ ال‌ای‌دی با نور مافوق‌بنفش (که در حسـگر تعبیه شـده) به سیم‌ها می‌تابد و در نتیجه مقاومت الکتریکی به‌طور موقت کاسـته می‌شـود. هنگامی‌که مولکول‌های هوابردی که

بو را تشکیل می‌دهند، روی سیم‌های نانو قرار می‌گیرند، مقاومت الکتریکی بیش از پیش کاسته می‌شود. از آنجا که این دستگاه برای شناسایی بوهای مخصوص برنامه‌ریزی شده، با مشخص کردن میزان کاهش مقاومت در حسگرهای مخصوص، نوعی الگو برای هر بو به‌وجود می‌آید و طی چند ثانیه آن را به کاربر اطلاع می‌دهد. هم‌اکنون بینی‌های الکترونیکی مختلفی در حال تولید هستند که قابلیت شناسایی قربانیان فجایع، بیماری‌ها و گازهای شیمیایی مرگ‌بار را دارند.

نتیجه‌گیری

امروزه تلاش‌های اصلی در حوزه حسگرها بر روی بهینه‌سازی پارامترهای حساسیت، انتخاب‌پذیری، پایداری و زمان پاسخ آن‌ها متمرکز شده است. به همین دلیل، بررسی مواد اولیه و مسائل مربوط به فرآیندهای پردازش برای رسیدن به یک حسگر گازی با بهره‌وری و عملکرد مناسب حیاتی است. از میان پارامترهای مذکور، حساسیت سنجش گاز (تشخیص غلظت گاز در حد ppm) و انتخاب‌پذیری (تشخیص گازی خاص در مخلوطی از گازها) دو مسئله مهم محسوب می‌شوند. اغلب حسگرهای گازی، به‌ویژه حسگرهای گازی نیمه‌رسانا، در انتخاب‌پذیری گازها ضعیف هستند. از این‌رو برای رسیدن به انتخاب‌پذیری بالا و بهبود حساسیت حسگرها، فناوری نانو و استفاده از نانوساختار اکسید فلزی، فرصت‌های جدیدی را پیش‌روی فعالان این حوزه قرار می‌دهد. با این‌حال تولید صنعتی و تجاری‌سازی این حسگرها چندان موفق نبوده و نیاز به بهبودهایی در این فناوری احساس می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

۱ NIST
۲ AerNos
۳ Karlsruhe

منابع

۱ Penza M, Consortium E. COST Action TD1105: Overview of sensor-systems for air-quality monitoring. Procedia Engineering. 2014;87:1370.
۲ Kornyushchenko A, Perekrestov V, Wilde G. Gas nanosensors. Nanosensors for Smart Cities: Elsevier. 2020;1:267.
۳ Aroutiounian V. Gas nanosensors made from semiconductor metal oxides. Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences). 2019;54:356.
۴ B2n.ir/x44516.
۵ B2n.ir/p52885.
۶ mehrnews.com/xLDDv.