مجله ایمنی زیستی
دوره پنجم، شماره دوم، پاییز ۹۱

کاربرد نانوحسگرهای زیستی در امنیت غذایی

مرضیه حسینی‌نژاد*[۱] و سعید صمدی[۲]

۱- استادیار پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، وزارت علوم تحقیقات و فناوری.
۲- دکتری دانشوری پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، وزارت علوم تحقیقات و فناوری.

hosseinynejad@yahoo.com

چکیده

فناوری نانو در بسیاری کاربردهای کشاورزی و غذایی نظیر توسعه حسگرهای زیستی در مقیاس نانو برای پایش و کنترل مواد و فرایندهای غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نانو حسگرهای زیستی طی تلفیق فناوری‌های زیستی و نانو با پروسه‌های الکترونیک به گونه‌ای طراحی می‌شوند تا تنها با یک ماده‌ی خاص واکنش نشان داده و با بهره‌گیری از قدرت فتوالکترون و میکروالکترودها و بر اثر واکنش اختصاصی با یک ماده‌ی خاص ابزار ردیابی و تحلیل‌گر دقیقی را در ریزترین ابعاد ارایه دهند. این حسگرها ابزارهای مفیدی در تشخیص و کنترل آلاینده‌های مخاطره‌آمیز و تشخیص باکتری‌های پاتوژن در حیوانات، گیاهان، آب و فراورده‌های غذایی به‌شمار می‌روند. با استفاده از این حسگرها شناسایی مقادیر بسیار کم ترکیبات مضر شیمیایی، ویروس و باکتری در سامانه کشاورزی و محیط زیست میسر شده و تحولی شگرف در کنترل کیفیت به همراه داشته است. در این مقاله برخی از کاربردهای نانوحسگرها در ارتقا امنیت غذایی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: نانوحسگر زیستی، امنیت غذایی، آلاینده، زیست‌فناوری.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

مقدمه

در جهان امروز امنیت و سلامت غذایی[1] از مهم‌ترین اولویت‌های انسان شناخته می‌شود، به همین دلیل روش‌های نوین پایش و ارزیابی کیفی ضمن تقویت کنترل چرخه غذا از مزرعه تا روی میز، ظرفیتی از سیستم‌های نظارتی علمی را برای تضمین سلامت انسان و اطمینان خاطر مصرف کننده فراهم می‌سازد. امنیت غذایی عبارت است از دسترسی مداوم، دایمی و به‌موقع به مواد غذایی که از استانداردهای ایمنی و کیفیت لازم برخوردار باشد. براین اساس مفاهیم اصلی امنیت غذایی عبارت است از غذای کافی، در دسترس و سالم (۵). صنعتی شدن محصولات غذایی و کشاورزی استراتژی است که ضمانت دسترسی مداوم به مواد غذایی را امکان‌پذیر می‌سازد. با این حال خطرهای شیمیایی، فیزیکی و ریستی از برداشت تا انبارداری و بازاریابی محصولات می‌تواند بر کیفیت، سلامت و ایمنی مواد غذایی اثرگذار باشد.

آلاینده‌های تهدیدکننده امنیت و سلامت غذایی ممکن است از نوع میکروبی، مواد خارجی (اعم از زیستی، شیمیایی یا فیزیکی)، سموم طبیعی، سایر ترکیبات شیمیایی و مواد بسته‌بندی باشند (۱۶). اگرچه آلاینده‌های زنجیره غذا را می توان به روش‌های شیمیایی و کشت‌های آزمایشگاهی شناسایی کرد، اما استفاده از آزمون‌های زیستی آزمایشگاهی امری زمان‌بر ، پیچیده و دربرخی موارد فاقد دقت کافی است و بنابراین نیاز به فناوری‌های نوین ارزیابی برای حفاظت از زنجیره غذا بیش از پیش حس می‌شود.

فناوری نانو در سرتاسر جهان در مواجهه با افزایش اجتناب‌ناپذیر تقاضای ناشی از رشد جمعیت و افزایش درآمد در کشورهای در حال توسعه، در حال کسب قوا و تبدیل شدن به ابزار مهمی برای پیشرفت صنعت غذا و زیست‌فناوری است. در این خصوص با توسعه روزافزون فناوری نانو، نانومواد برای دستیابی به حسگرهای زیستی با قابلیت انتخاب و اعتماد بیشتر مورد استفاده قرار گرفته و امکان تولید حسگرهای نانو را به منظور پایش فرایندهای غذایی، تشخیص آلودگی مواد در مبدا و در طی زنجیره تولید و تشخیص سریع فساد محصول را فراهم ساخته است (۲۱).

در این مقاله برخی کاربردهای نانوحسگرها

[1] Food security and food safety

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

در ارتقا امنیت غذایی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

حسگرها و نانوحسگرهای زیستی

حسگر یا سنسور، ابزاری با خروجی متناسب با یک کمیت قابل اندازه‌گیری فیزیکی، شیمیایی یا زیستی است. یک سامانه حسگر، مجموعه‌ای از حسگرها همراه با فرایندها و اطلاعات پردازش شده برای عملیات خاص است که از داده‌های حس شده استخراج شده‌اند. نیاز به حسگرها در بسیاری بخش‌های صنعتی، تجاری و خدماتی وجود داشته و زمینه‌های زیادی برای تولید و استفاده از حسگرها و سامانه‌های حسگر وجود دارد. امروزه امکان ایجاد ساختارهای کوچک در مقیاس میکرو و نانو با استفاده از فناوری مواد جدید راه را به سوی ظهور فناوری‌های نوین در ساخت حسگرها گشوده است. روند فعلی بازار حسگرها و تجهیزات مرتبط به سوی افزایش کارایی و استفاده همزمان از حسگرهای مختلف، در کنار کاهش اندازه، وزن و هزینه و توان مصرفی به همراه توسعه استفاده از ارتباطات بی‌سیم است (۲۳).

حسگر زیستی یا بیوسنسور نامِ گروهی از حسگرها است که بر مبنای مواد زیستی پایه‌گذاری شده و طراحی آن‌ها بر اساس شناسایی انتخابی مواد زیستی مورد آزمون و به کمک آشکارسازهای فیزیکوشیمیایی صورت می‌پذیرد. اساس کار یک حسگر زیستی تبدیل پاسخ زیستی به یک پیام است. این حسگرها طی تلفیق فناوری زیستی با فرایندهای الکترونیک به گونه‌ای طراحی می‌شوند تا تنها با یک ماده‌ی خاص واکنش نشان داده و با بهره‌گیری از قدرت فتوالکترون و میکروالکترودها و بر اثر واکنش اختصاصی با یک ماده‌ی خاص در غلظت‌های کمتر از میلیونیم (ppm) ابزار ردیابی و تحلیل‌گر دقیقی را ارایه دهند. نتیجه‌ی این واکنش اختصاصی به‌صورتِ پیام‌هایی نمود می‌یابد که توسط یک ریزپردازنده تحلیل می‌شود (۱۵).

طبق تعریف اتحادیه بین‌المللی شیمی کاربردی و محض[2] (IUPAC) حسگر زیستی عبارت است از: "دستگاهی که از یکسری واکنش بیوشیمیایی خاص استفاده می‌کند که به کمک آنزیم‌های ایزوله شده، سیستم‌های ایمنی، بافت‌ها، اندام‌ها، یا سلول‌های کامل و به‌طور معمول با نشانه‌های الکتریکی، حرارتی

[2] International Union of Pure and Applied Chemistry

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

یا نوری برای تشخیص ترکیبات شیمیایی انجام می‌شوند" (۱۵). بیشترین کاربرد حسگرهای زیستی در تشخیص‌های پزشکی و علوم آزمایشگاهی است، در حال حاضر حسگرهای زیستی گلوکز از موفق‌ترین حسگرهای زیستی موجود در بازار بوده که برای اندازه‌گیری غلظت گلوکز خون بیماران دیابتی تا محدوده کمتر از ۵۰ μM استفاده می‌شود (۱۳). در عین حال، حسگرهای زیستی به‌منظور ردیابی و شناسایی ترکیبات مختلف در خدمت صنعت غذا قرار گرفته‌اند.

نانو حسگرهای زیستی، حسگرهایی در ابعاد نانومتری هستند که به خاطرکوچکی ابعادشان از دقت و واکنش‌پذیری بسیار بالایی برخوردارند. پیشرفت‌های گسترده فناوری نانو جایگزین‌های مناسب‌تری برای تثبیت اجزا را با بکارگیری موادی نظیر نانوذرات، نانولوله‌ها، لایه‌های نازکی که از مواد نانوکریستال ساخته شده‌اند و فیبرهای نوری، با اعتمادپذیری و پایداری بیشتر نسبت یه اجزای زیستی فراهم ساخته است. در زمره این مواد نانوذرات تاکنون بیشترین پژوهش و استفاده را به خود اختصاص داده‌اند (۸). نانومواد با ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هدیه منحصربه‌فردی هستند که فناوری نانو در اختیار بشر قرار داده است. بدلیل ابعاد بسیار ریز، بیشتر اتم‌های سازنده آن‌ها در سطح یا نزدیک سطح آن‌ها قرار گرفته و بنابراین در مقایسه با همین مواد در مقیاس بزرگ خواص فیزیکوشیمیایی حیاتی بسیار متمایزی به همراه دارند. ابزارهای تلفیقی نانومواد با سیستم‌های الکتریکی منجر به ارتقا سیستم‌های نانوالکترومکانیکی[3] (NEMS)، که در مکانیسم‌های تبادل الکتریکی بسیار فعال هستند می‌شود (۸). حسگرهای نانو قادرند به‌وسیله ردیابی میکروب‌ها، توکسین‌ها و آلاینده‌ها در سرتاسر زنجیره غذایی از طریق گرفتن اطلاعات برای مستندسازی و کنترل اتوماتیک، اطمینان کیفی را فراهم سازند. همچنین فناوری نانو بکارگیری نانوحسگرهای ارزان قیمت در بسته‌بندی مواد غذایی را برای پایش کیفیت غذا در طی مراحل مختلف فرایند را امکان‌پذیر می‌سازد تا کیفیت محصول تا زمان مصرف تضمین شود.

اجزای اصلی حسگرهای زیستی

طراحی حسگرهای زیستی در زمینه‌های مختلف علوم زیست‌شناسی، پزشکی و

[3] Nano-electromechanical systems

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

کشاورزی در دو دهه گذشته گسترش چشم‌گیری داشته است. حسگرهای زیستی متشکل از اجزای زیر هستند (٤).

۱. پذیرنده‌ی زیستی یا عنصر زیستی حساس: یک ماده‌ی زیستی که می‌تواند به صورت انتخابی تنها با ماده‌ی خاصی واکنش نشان دهد. این عناصر عامل اصلی گزینش در حسگرهای زیستی محسوب می‌شوند که بیشتر در گروه‌های آنزیم، آنتی‌بادی، گیرنده‌های سلولی، اسیدهای نوکلئیک (دی.ان.ای و آر.ان.ای)، میکروارگانیسم یا سلول کامل، بافت، گیرنده‌های سنتتیک تقسیم‌بندی می‌شوند. اهمیت این اجزا در عملکرد بسیار اختصاصی آن‌ها نسبت به ترکیب مورد آزمون خاصی (آنالیت) است که بدین وسیله از مداخله‌ی مواد مزاحم که موجب عدم کارایی بسیاری از روش‌های اندازه‌گیری است، جلوگیری می‌کند. برای تثبیت[4] جز زیستی روی مبدل‌ها روش‌های جذب سطحی، ریزپوشینه‌سازی، محبوس سازی، پیوند عرضی و پیوند کووالانسی ارایه شده‌اند (٤).

۲. آشکارساز و مبدل: سیستم مبدل تغییر قابل مشاهده فیزیکی یا شیمیایی را به یک پیغام قابل اندازه‌گیری، که بزرگی آن متناسب با غلظت ماده یا مواد مورد سنجش است، تبدیل می‌کند. همچنین هدایت سیگنال‌های فرستاده شده از مبدل به میکروپروسسور، تقویت، تجزیه و در نهایت تبدیل آن به واحد غلظت توسط آشکارساز انجام می‌گیرد.

اختصاصیت و قدرت شناسایی یک آنالیت از میان دیگر آنالیت‌های موجود در نمونه مورد آزمایش از ویژگی‌های یک حسگر زیستی است که توسط بخش پذیرنده و مبدل آن تعیین می‌شود. انواع متداول مبدل‌های مورد استفاده در حسگرهای زیستی در پنج گروه مبدل‌های الکتروشیمیایی، نوری (لومینسانس، جذب و تشدید پلاسمون سطح)، حساس به تغییر جرم، مبدل‌های پیزوالکتریک و مبدل‌های گرمایی یا حرارتی قرار دارند (۱۵). البته بیشتر حسگرهای زیستی از مبدل‌های الکتروشیمیایی ساخته شده‌اند.

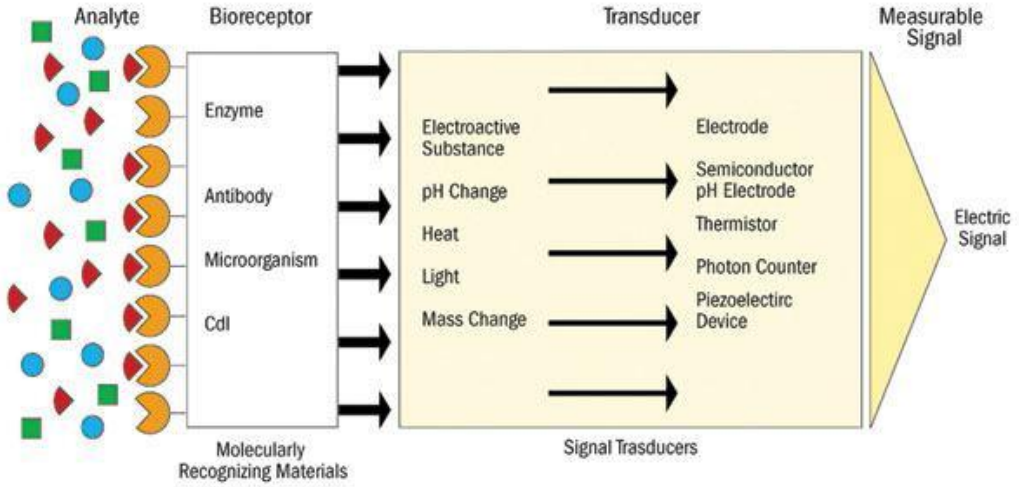
۳ . بخش پردازنده: که همچنین مسئولیت نمایش نتیجه‌ی فعالیت حسگر را نیز بر عهده دارد.

شکل ۱ شمایی از اجزای اصلی حسگر زیستی را در دو طرح مختلف ارایه می‌دهد.

[4] Immobilization

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]



شکل ۱- اجزای تشکیل دهنده حسگر زیستی شامل عنصر زیستی یا پذیرنده زیستی، آشکار ساز، مبدل و پردازنده.

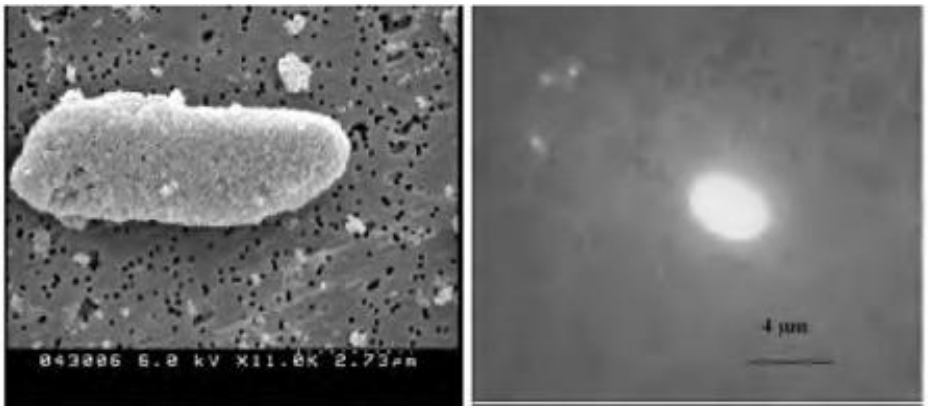
حسگرهای زیستی و امنیت غذایی

آلاینده‌ها و خطرهای زیستی در چرخه غذا در بیشتر مواقع از حضور میکروارگانیسم‌ها و یا سموم ناشی از آن حاصل می‌شوند که ممکن است بر ویژگی‌های حسی چشایی محصول اثر داشته یا نداشته باشد ولی در هر حال بر سلامت مصرف کننده اثرگذار است. در روش‌های مرسوم سنتی جهت اطمینان از کنترل این پاتوژن‌ها آزمون‌های میکروبی در طی فرایند و برروی محصول نهایی صورت می‌گیرد این روش‌ها که مبتنی بر تشخیص میکروارگانیسم‌های پاتوژن از طریق جداسازی در محیط کشت‌های انتخابی و افتراقی بوده مستلزم صرف زمان طولانی (از ٤٨ تا ٥ روز) بوده و هزینه زیادی می‌طلبد. دیگر روش سنتی تشخیص پاتوژن‌ها در بافت‌های زیستی انسانی و حیوانی و در مواد غذایی روش الایزا[5] است (۲). آزمون الایزا بر تغییر رنگ کمی یا کیفی با استفاده از آنزیم به‌عنوان یک نشانگر زیستی واکنش بین یک آنتی‌ژن و یک آنتی‌بادی مبتنی است. در صورتی‌که سوبسترای آنزیم کروموژنیک باشد یک تغییر رنگ قوی نشانگر غلظت بالاتری از آنالیت است. با این حال بکارگیری مجدد گیرنده‌های آنتی‌بادی که به آنزیم‌ها متصل شده‌اند هزینه‌های تشخیص را بالا برده، ضمن این که کاهش حساسیت آنتی‌بادی‌ها امکان دستیابی به

[5] Enzyme linked immunosorbent assays (ELISA)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]



شکل ۲- میکروگرام الکترونی یک باکتری *E.coli* (چپ) و فلورسانس یک تک سلول باکتریایی بدنبال گرم‌خانه‌گذاری با آنتی‌بادی نانوذرات کانژوگه شده (راست) (۱).

نتایج غیرقابل اعتماد را در یک آزمون سریع افزایش می‌دهد (۲۲). حسگرهای زیستی گزینه‌های تشخیص سریع و کارامد کنترل خطرهای زیستی را فراهم می‌سازند. فناوری حسگرهای زیستی با توجه به کارایی تشخیص سریع، اختصاصی، در مقادیر کوچک و با حساسیت بالا از مزیت و ارجحیت برخوردار است (۱۷).

در کشاورزی و صنایع غذایی کاربردهای متعددی برای حسگرهای زیستی می‌توان عنوان کرد. به‌طور معمول برای تشخیص پاتوژن‌ها و توکسین‌های غذایی، ذرات نوری پوشانده شده با آنتی بادی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بیشتر موارد سیستم نوری در این حسگرهای زیستی فلورسانس است. چرا که این نوع اندازه‌گیری نوری می‌تواند علایم تشخیص را تشدید کند. گستره‌ای از آزمون‌های پیوند لیگاند و ایمونو برای تشخیص و اندازه‌گیری مولکول‌های کوچک نظیر ویتامین‌های محلول در آب و آلاینده‌های شیمیایی (بقایای دارویی) نظیر سولفونامیدها و بتاآگونیست‌ها برای استفاده همراه با سیستم‌های حسگر مبتنی بر SPR گسترش یافته‌اند که بیشتر از آزمون‌های الایزا یا سایر آزمون‌های ایمونولوژیکی موجود منتج شده‌اند.

اگرچه مراحل اولیه توسعه در فناوری حسگرهای زیستی در حوزه بیوشیمی صورت گرفت، توانایی تشخیص، آنالیز و کمیت‌سنجی مولکول‌ها با منشا زیستی متفاوت و ناهمگونی در مبنای سنجش، موجب خلق طرح‌های

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]
[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

سفارش شده حسگرهای زیستی برای پوشش طیف وسیعی از نیازهای تخصصی شده است، به‌عبارتی امکان طراحی حسگرهای زیستی جهت بررسی مواد خارجی در محصولات غذایی نظیر آفت کش‌ها، کودها، بقایای دی اکسین، اجزای باقیمانده آب و خاک (که به‌طور غیرعمدی به چرخه غذا وارد شده‌اند)، موجودات تراریخته[6] (GMO)، میکروارگانیسم‌های پاتوژن و سموم حاصل از آنها، اجزای غذایی نظیر ضدمغذی‌ها[7]، آلرژن‌ها، داروها، افزودنی‌ها و هیدروکربن‌ها فراهم آمده است. روش‌های متداول بررسی آزمایشگاهی حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها بر کروماتوگرافی گازی، اسپکترومتری جرمی و کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مبتنی هستند. کاربرد این روش‌ها مستلزم تجهیزات پیچیده و گرانقیمت، مراحل آماده سازی نمونه در آزمایشگاه و پرسنل با تجربه و ماهر است. بنابراین توسعه روش‌های نوین با دقت کافی، سرعت بالا و ارزان‌قیمت که بتواند جایگزین روش‌های پیچیده آزمایشگاهی شود ضروری و بدیهی به‌نظر می‌رسد. نانوحسگرهای زیستی مبتنی بر دی.ان.ای، آنتی‌بادی و سلول‌های کامل به‌ویژه پاسخی به این نیاز هستند. Mascini (۲۰۰۱) گروهی از آفت‌کش‌های مختلف شامل آترازین (Atz)، پاراکوات (PQ)، گلوفوزینات آمونیم (GA) و ۲،٤- دی‌چیدروفنوکسی استات (2,4-D) و سایر آلاینده‌ها نظیر آفلاتوکین B1، هیدرازین و بی‌فنیل‌های پلی‌کلرینه (PCBs) را با استفاده از حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی مبتنی بر دی.ان.ای مورد آزمون و اندازه‌گیری قرار داد. همچنین Halamek و همکاران (۲۰۰۱) نوعی ایمونوسنسور پیزوالکتریک را برای تشخیص 2,4-D طراحی کردند. حسگر زیستی پیزوالکتریک مشابهی توسط Pribyl و همکاران (۲۰۰٦) برای تشخیص و اندازه‌گیری آترازین و هیدرازین طراحی و ابداع شد (۱۸).

در خصوص کیفیت مواد غذایی، حسگرهای زیستی برای ارزیابی ترکیب غذا، به‌ویژه محصولات غذایی با منشا گیاهی و حیوانی که پس از برداشت و در حین فرایند دستخوش تغییر شده‌اند مفید بوده‌اند. ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های حسی به عواملی نظیر دمای نگهداری، قرار گرفتن در معرض نور، سطح اکسیژن و عملیات حمل و نقل بستگی دارد. با این حال، چنانچه این عوامل به خوبی

[6] Genetically modified organisms
[7] Antinutrients

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

مدیریت نشوند، ممکن است در اثر فرایندهای آنزیمی و کاتالیتیکی موادی تولید شود که به تغییرات نامطلوب در بافت، رنگ، طعم، بو و آروما منتهی شود. همچنین حسگرهای زیستی در فراورده‌های غنی شده با ترکیباتی نظیر ویتامین‌ها، مواد معدنی و آنتی‌اکسیدان‌ها قابل بکارگیری هستند. این حسگرها کمیت ترکیبات غذایی مختلف را برای ارزیابی تندی[8]، رسیدگی، خراب‌شدگی و عمر انباری[9] و تشخیص ترکیبات مورد استفاده به‌عنوان شاخص‌های تازگی مواد غذایی تعیین می‌کنند (۱۷).

کاربرد دیگر حسگرهای زیستی عبارت است از کنترل گام‌های مختلف درگیر در زنجیره مزرعه تا مصرف، که در توسعه فرایندهای صنعتی و مدرن تولید حیاتی هستند. حسگرهای زیستی امکان دست‌کاری و پایش به‌موقع متغیرهایی نظیر pH، دما، فشار، اکسیژن، مواد جاری و فرار که بر تولیدپذیری، سودآوری و ایمنی عملیات فراوری غذا موثرند را فراهم می‌سازد. همچنین به کمک این حسگرها می‌توان ترکیباتی که در غلظت‌های کم یا زیاد یافت شده و در یک فرایند تولید ممکن است به عامل محدودکننده بدل شوند (نظیر قندها، اسیدهای آمینه، الکل‌ها و اسیدها) را تعیین اندازه کنند (٤).

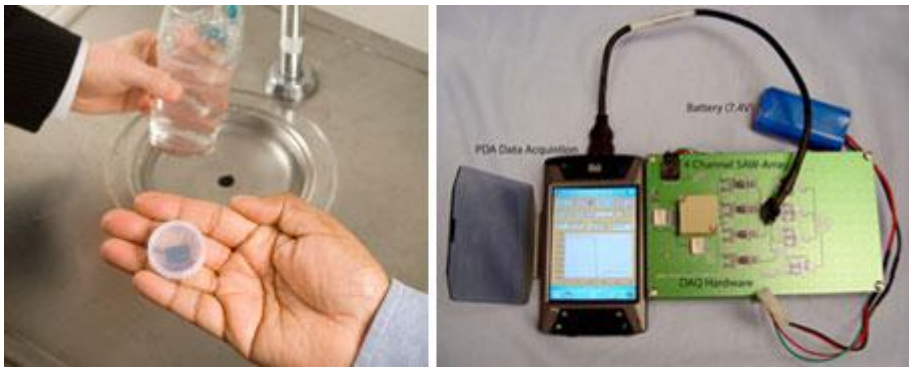
تشخیص موجودات تراریخته (GMO) کاربرد مفید دیگر برای حسگرهای زیستی بشمار می‌رود چرا که کشورهای بسیاری دارای قوانین تنظیم کننده تجارت محصولات تراریخته و مشتقات آن هستند. محصول تراریخته حاوی تراژن که مقاومت به کانامایسین (*nptII*) را کد می‌کند به کمک یک حسگر زیستی طراحی شده مورد آزمون قرار گرفتند (۱۸). در این پژوهش یک حلال آلی، متیلن بلو، که تمایل بالایی به بازهای آلی گوانین در رشته دی.ان.ای نشان می‌دهد مورد استفاده قرار گرفت. پس از تعامل پراب با توالی هدف در ژن *nptII* ، سیگنال الکتروشیمیایی این معرف کاهش یافته و بر اساس تغییر فوق اندازه‌گیری صورت پذیرفت. همچنین Meric و همکاران (۲۰۰۹) توانستند نوپالین سینتاز ترمیناتور (NOS) که متداول‌ترین عامل الحاقی بهمحصولات تزازیخته بشمار می‌رود را با استفاده از حسگرهای زیستی شناسایی کنند. مثال‌های کاربردی دیگری از پژوهش‌ها در خصوص

[8] Rancidity
[9] Shelf life

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

شکل ۳- حسگر زیستی پروتوتایپ در مقیاس نانو برای تشخیص و اندازه‌گیری سریع حضور باکتری‌های مسموم کننده غذایی در خارج از یک آزمایشگاه.
(COPYRIGHT © 2013 EVANGELYN ALOCILJA, MICHIGAN STATE UNIVERSITY).



شکل ٤- نمونه‌هایی از حسگرهای زیستی. (چپ) "آزمایشگاه روی یک تراشه" یک حسگر زیستی مبتنی بر فناوری نانو است که آزمون‌هایی برای بیماری‌های عفونتی و بیماری‌های ناشی از آلودگی آب آزمون می‌شود. (راست) حسگر زیستی موج آکواستیک قابل حمل با نیروی باطری که طیف گسترده‌ای از پاتوژن‌ها را در چند دقیقه شناسایی می‌کند.
(COPYRIGHT © (LEFT) NASA, (RIGHT) SANDIA LABS URL URL)

گیاهان تراریخته توسط Stobiecka (۲۰۱۳) مورد مرور و بررسی قرار گرفته است.

حسگرهای زیستی در اجرای بررسی مخاطرات و کنترل نقاط بحرانی[10] (HACCP) و تصحیح خطاها در موعد مناسب نیز می‌توانند مفید باشند. نظام HACCP که به

[10] Hazard analysis and critical control points

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]
[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

عنوان یک سیستم کنترل ایمنی بین‌المللی از اهمیت خاصی برخوردار است کلیه خطرات و نقاط بحرانی را درطول زنجیره تولید، عرضه و مصرف ونیز بیماری‌های ناشی از مصرف تولیدات را مورد بررسی قرار داده وخطرات احتمالی را که درطول مراحل تولید سلامت مواد غذایی را تهدید می‌کند، تعیین و به‌طور دقیق اندازه‌گیری می‌کند.

نانوفناوری حسگرهای زیستی همراه با بسیاری کاربردهای کشاورزی و غذایی نظیر توسعه ابزارهای مقیاس نانو برای ایمنی غذایی، ترکیبات مقیاس نانو برای بسته بندی مواد غذایی و نانوسنسورها برای تشخیص پاتوژن در حیوانات و گیاهان از میان بقیه میکروارگانیسم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این حسگرها ابزارهای مفیدی در تشخیص و کنترل آلاینده‌های احتمالی غذایی که از صنایع غذا و کشاورزی نشات می‌گیرد بشمار می‌روند. در طی دهه گذشته، نانولوله‌های کربنی یکی از پرکاربردترین نانومواد در حسگرهای زیستی و ابزارهای تشخیص بوده است. این نانومواد برای تشخیص و آشکارسازی گلوکز، فروکتوز، گالاکتوز، اسیدهای آمینه، ایمونوگلوبولین، آلبومین، استرپتاویدین، انسولین، پروتئین‌های واکنش‌پذیر، میکروارگانیسم‌ها، دی.ان.ای و سایر مولکول‌های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند همچنین با بکارگیری نانوابزارها درتولید نانوحسگرها شناسایی مقادیر بسیار کم آلودگی شیمیایی یا ویروس و باکتری در سامانه کشاورزی و غذایی میسر شده است (۸).

پایش کیفیت غذا به کمک حسگرهای نانو

با استفاده از این حسگرها شناسایی مقادیر بسیار کم آلودگی شیمیایی یا ویروس و باکتری در سامانه کشاورزی وغذایی ممکن است.

چنانچه گفته شد باکتری اشریشیا کولی O157:H7 یکی از خطرناک‌ترین مسمومیت‌های غذایی و حتی کشنده به‌ویژه برای خردسالان و کهنسالان است که شناسایی سریع آن اهمیت بارزی در ایمنی غذایی دارد. برای شناسایی این باکتری یک آزمون زیستی مبتنی بر نانوذرات ابداع شد (۱). در این روش، نانوذرات سیلیکا با قطر ۶۰ نانومتر با مولکول‌های رنگی فلورسنت و آنتی بادی‌هایی که با آنتی‌ژن‌های سطح باکتری واکنش داده و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

سپس به ذرات اتصال می‌یابند، همراه شدند. هر یک از این نانوذرات حاوی هزاران مولکول رنگی و نانوذره مناسب برای اتصالشان به باکتری بودند. سپس با برقراری واکنش آنتی‌ژن و آنتی‌بادی به‌طور موثر، سیگنال فلورسانت از رنگ ظاهر شده و بدین نحو امکان اندازه‌گیری غلظت باکتری، بدون محدودیت تعداد، با کمک میکروسکوپی فلورسانس و تجزیه‌های اسپکتروفتومتریک به‌سادگی فراهم شد. شکل ۲ باکتری اشریشیاکولی و نور فلورسانس ساطع شده از یک سلول باکتریایی را نشان می‌دهد. با افزایش آنتی‌بادی‌های مختلف به نانوذرات، شناسایی سایر باکتری‌ها و اسپورها میسر شده و امکان پایش چند نوع آلودگی میکروبی به‌طور همزمان میسر شد (۱).

برای ردیابی عوامل هوابرد پدافند زیستی[11]، ممانعت از مسمومیت جمعی از طریق آلایش زنجیره غذایی ضروری است. همچنین فناوری حسگرهای زیستی برای تشخیص پاتوژن‌های غذا به روش‌های مبتنی بر آنزیم و آنتی‌ژن-آنتی‌بادی، می‌تواند نقش مهمی در پدافند و حفاظت از جامعه ایفا کند. در این خصوص ابزارهایی که در فاز مایع عمل می‌کنند بدلیل نیاز به اطمینان از تامین آب عاری از آلودگی ضروری خواهند بود. در یک وضعیت احتمالی، ضرورت ردیابی چندین عامل زیستی به‌طور همزمان بیش از هر زمان وجود داشته و بنابراین روش‌های تشخیص مبتنی بر فناوری نانو و حسگرهای زیستی اهمیت می‌یابند (۱۱).

در نانوحسگرهای پایش کیفیت غلات (شکل ۳) که توسط پژوهشگران دانشگاه مانیتوبا، کانادا، بخش پژوهش‌های نگهداری دانه در مرکز جامع گندم کانادا[12] توسعه یافته است از نانوذرات پلیمری هدایت‌گر استفاده شده (۹) که به ترکیبات فرار در محیط ذخیره‌سازی مواد غذایی واکنش نشان داده و بنابراین منشا و نوع آلودگی را ردیابی می‌کند. مزیت چنین سیستمی در این است که می‌توان هزاران نانوذره را در یک حسگر واحد قرار داد تا حضور حشرات یا قارچ‌های درون توده غله ذخیره شده در مخازن را به دقت تشخیص دهند. به علت توان پایین مورد نیاز و به حداقل رساندن اندازه، حسگرهای نانو را

[11] Airborne bio-warfare agents

[12] Canadian Wheat Board Centre for Grain Storage Research, University of Manitoba, Canada

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

می‌توان در وزن بسیار سبک و کوچک ساخته (۱۰) و درون خلل و فرج توده غله جایی که آفات محصول مخفی می‌شوند نصب کرد.

Ruengruglikit و همکاران (۲۰۰٦) نوعی زبان الکتریکی را برای جاسازی درون بسته مواد غذایی طراحی کرده‌اند. این قطعه از یک ردیف نانوحسگرهای حسی تشکیل یافته که به شدت نسبت به گازهای حاصل از فساد مواد غذایی حساسند و در نتیجه نوار حسگر تغییر رنگ داده و یک نشانه قابل رویت از تازگی یا عدم تازگی ماده غذایی به دست می‌دهد (١٤).

Horner و همکاران (۲۰۰٦) با استفاده از فناوری نانو نوعی فناوری مبتنی بر آزمون به نام اینترفرومتری[13] واکنشی را ابداع کردند که تشخیص سریع، اختصاصی و بصری بیومولکول‌ها را در مخلوط‌های پیچیده میسر می‌سازد. این فناوری تازه ابداع شده اطمینان کیفی مواد غذایی را از طریق ردیابی باکتری اشریشیاکلی در نمونه‌ای غذا طی تشخیص نوری که توسط میتوکندری سلول منتشر می‌شود میسر ساخته است. کار این حسگر بر این اساس است که پروتئینی از یک باکتری معین و شناخته که روی یک فیش سیلیکون قرار گرفته می‌تواند با هر باکتری اشریشیاکلی دیگر که در نمونه غذایی وجود دارد اتصال یابد. این اتصال منجر به یک نشر نور در ابعاد نانو می‌شود که با تجزیه تصاویر دیجیتال قابل تشخیص است (۷).

در حسگر زیستی که توسط Fu و همکاران (۲۰۰۸) ابداع شده ذرات رنگ فلورسان بکار رفته‌اند که روی مجموعه‌ای از ستون‌های نانو از جنس طلا/سیلیکون به آنتی بادی‌های سالمونلا متصل شده‌اند. وقتی باکتری سالمونلا موجود در ماده غذایی مورد آزمون قرار می‌گیرد، ذرات رنگی با اندازه نانو بر روی حسگر قابل رویت می‌شوند. بر خلاف روش‌های آزمایشگاهی متداول که زمان بر بوده و مبتنی بر کشت باکتری هستند، این حسگرهای بیو قادرند سالمونلا را به صورت فوری در غذا تشخیص دهند (٦).

Stutzenberger و همکاران (۲۰۰۷) جهت شناسایی و آشکارسازی باکتری کامپیلوباکتر ژژونی[14]–باکتری‌هایی که در انسان ایجاد اسهال و دردهای شکمی می‌کند و ممکن است در فراورده‌های گوشتی مرغ که در حین فرایند

[13] Interferometry

[14] *Campylobacter jejuni*

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

به محتویات شکمی آلوده شده‌اند ردیابی شوند- یک روش نوین را ابداع کردند. در این روش نانوذرات بیواکتیو که به‌طور اختصاصی برای اتصال به ساختار بیومولکولی سطح کامپیلوباکترها طراحی شده در خوراک مرغ استفاده می‌شود. خوراکی که با ذرات نانو کربوهیدرات که نقش آنتی بیوتیک ایفا می‌کند غنی شده است، به سطح باکتری متصل می‌شود تا آن را از بدن پرنده خارج کند (۱۹).

شرکت سهامی اگرومیکرون[۱۵]، هنگ کنگ، یک اسپری ارزان‌قیمت بیولومینسنس نانو ابداع کردند که قادر است با گونه‌های پاتوژن‌های مواد غذایی واکنش داده و ایجاد یک نور مرئی قابل رویت که به آسانی تشخیص داده می‌شود، کند. این اسپری از ذرات نانو تشکیل شده و بر مبنای واکنش پذیری آن با باکتری عمل می‌کند. هرچه شمار تماس‌ها بین باکتری و مولکول بیشتر باشد شدت نور ساطع شده بیشتر خواهد شد. این اسپری قادر است گستره وسیعی از پاتوژن‌های مرتبط با مواد غذایی نظیر سالمونلا و اشرشیاکولی را تشخیص دهد. Cheng و همکاران (۲۰۰۹) روشی برای تشخیص سریع اشرشیاکولی در مواد غذایی با استفاده از نانوذرات مغناطیسی (با قطر حدود ۲۰ نانومتر) در ترکیب با درخشش‌گر طبیعی آدنوزین تری فسفات ابداع کردند (۳). Zhao و همکاران (۲۰۰٤) با استفاده از نانوذرات فلورسانت سیلیکا که با آنتی‌بادی جفت شده‌اند (قطر تقریبی ٦۰ نانومتر) یک روش ارزیابی فوق‌العاده حساس برای اندازه‌گیری کمی پاتوژن‌ها در محیط[۱٦] برای نمونه‌های گوشت گوساله چرخ کرده ابداع کردند (۲٤).

پژوهش‌ها درزمینه نانوحسگرهای زیستی جزء پژوهش‌های علمی به روز دنیا محسوب می‌شود و کاربردهای آن در صنایع غذایی همگام با سایر گرایش‌های علمی نظیرکشاورزی، پزشکی و زیست‌فناوری رو به گسترش و تجاری شدن در آینده‌ای نه چندان دور پیش بینی شده است (۱۲ و ۱٦).

سپاسگزاری

این پژوهش از طرح پژوهشی "امکان سنجی طراحی و ساخت حسگرهای هوشمند بویایی و چشایی با کاربرد در صنایع غذایی" که در پژوهشکده علوم و صنایع غذایی انجام شد استخراج شده است.

[15] Agromicron Co.

[16] in situ

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

References منابع مورد استفاده

1. Bogue R. (2005). Developments in biosensors-where are tomorrow's markets? Sensor Review, 25(3): 180-184.
2. Cabrera L., Witte J., Victor B., Vermeiren L., Zimic M., Brandt J. and Geysen D. (2009). Specific detection and identification of African trypanosomes in bovine peripheral blood by means of a PCR-ELISA assay. Veterinary Parasitology, 164(2): 111–117.
3. Cheng Y., Liua Y., Huanga J., Lia, K., Zhang W., Xiana Y. (2009). Combining biofunctional magnetic nanoparticles and ATP bioluminescence for rapid detection of *Escherichia coli*. Talanta, 77(4): 1332–1336.
4. Dai C. and Choi S. (2013). Technology and Applications of Microbial Biosensor. Open Journal of Applied Biosensor, 2: 83-93.
5. FAO Agricultural and Development Economics Division (June 2006). Food Security (2). Retrieved June 8, 2012.
6. Fu, J., Park, B., Siragusa G., Jones L., Tripp R., Zhao Y. (2008). An Au/Si hetero-nanorod based biosensor for *Salmonella* detection. Nanotechnology, 19: 1–7.
7. Horner S.R., Mace C.R., Rothberg L.J., and Miller B.L. (2006). A proteomic biosensor for enteropathogenic *E. coli*. Biosensors and Bioelectronics, 21(8): 1659–1663.
8. Malik P., Katyal V., Malik V., Asatkar A., Inwati G., and Mukherjee T.K. (2013). Nanobiosensors: Concepts and Variations. ISRN Nanomaterials, 2013.
9. Neethirajan S., Freund M.S., Shafai C., Jayas D.S., and Thomson D.J. (2009). Development of carbon dioxide sensor for agri-food industry. United States Provisional Patent No2009-61/2389.
10. Neethirajan S., and Jayas D.S. (2007). Sensors for grain storage. In: 2007 ASABE Annual International Meeting, 17-20 June 2007, Minneapolis, USA.
11. Otles S. and Yalcin B. (2010). Nano-biosensors as new tool for detection of food quality and safety. LogForum 6(4): 1-4.
12. Otles S. and Yalcin B. (2012). Review on the application of nanobiosensors in food analysis. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. 11(1): 7-18.
13. Rahman M. Ahammad A.J.S., Jin J.H., Ahn S.J. and Lee J.J. (2010). A comprehensive review of glucose biosensors based on nanostructured metal-oxides. Sensors 10: 4855-4886.
14. Ruengruglikit C., Kim H., Miller R.D., and Huang Q. (2004). Fabrication of nanoporous oligonucleotide microarrays for pathogen detection and identification. Polymer Preprints, 45: 526.
15. Sarvesh R. and Pravesh K. (2013). Biosensor and its application in food Industry. Adv. Biores., 4 (2): 168- 170.
16. Sattar S.A., Tetro J.A., and Springthorpe V.S. (2007). Effects of environmental chemicals and the host-pathogen relationship: are there any negative consequences for human health. In Proceedings of the Symposium on

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]

New Biocides Development: The Combined Approach of Chemistry and Microbiology. Washington, DC: American Chemical Society (pp. 2-30).
17. Serna L., Zetty A. and Ayala A. (2009). Use of enzymatic biosensors as quality indices: a synopsis of present and future trends in the food industry. Chilean Journal of Agricultural Research, 69 (2): 270-280.
18. Stobiecka M. (2013). Novel DNA-biosensors for studies of GMO, pesticides and herbicides. State of the Art in Biosensors - Environmental and Medical Applications. 10: 201-222.
19. Stutzenberger F.J., Latour R.A., Sun Y., and Tzeng T. (2007). Adhesin-specific nanoparticles and process for using same. US Patent No 20070184120.
20. Thevenot D.R., Toth K., Durst R.A. and Wilson G.S. (2001). Electrochemical Biosensors: Recommended Definitions and Classification, Biosensors and Bioelectronics, 16 (1-2): 121-131.
21. Tuncagil S., Ozdemir C. , Demirkol D., Timur S. and Toppare L. (2011). Gold nanoparticle modified conducting polymer of 4-(2,5-di(thiophen-2-yl)-1h-pyrrole-1-l) benzena- mine for potential use as a biosensing material. Food Chmeistry, 127 (3): 1317-1322. doi:10.1016/j.foodchem.2011.01.089.
22. Turner N.W., Subrahmanyam S., and Piletsky S.A. (2009). Analytical methods for determination of mycotoxins: a review. Analytica Chimica Acta, 632(2), 168-180.
23. Wilson A., Baietto M. (2009). Applications and advances in electronic-nose technologies. Sensors, 9: 5099-5148.
24. Zhao X., Hilliard L. R., Mechrey S. J., Wang Y., Bagwe R.P., Jin S. (2004). A rapid bioassay for single bacterial cell quantitation using bioconjugated nanoparticles. Proceedings of the National Academy of Sciences, 101: 15027–15032.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.1.6.0]