فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۷، زمستان ۹۲

کاربرد حسگرهای زیستی در شناسایی آلاینده‌های محیط زیستی ناشی از صنایع کشاورزی

مرضیه حسینی نژاد [۱]
m.hosseininezhad@rifst.ac.ir
سعید صمدی [*۲]

چکیده

آلودگی آب‌ها و محیط زیست به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در بحث سلامت بشر محسوب می گردد. نظر به رهایش آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی در مقیاس بالا بویژه آن‌دسته از ترکیبات آلاینده که از طریق کشاورزی به محیط‌زیست راه می-یابند، وجود تجهیزات کارامد شناسایی برای بازداری از چالش‌های مربوط به بهداشت و سلامت انسان ضروری می نماید. حسگرهای زیستی گزینه های موثر و دقیقی برای کنترل مخاطرات بیولوزیکی بوده و به عنوان ابزارهای شناسایی دقیق، حساس و سریع در تشخیص کمی و کیفی آلاینده‌ها بشمار می‌روند. در این مقاله گسترش و کاربرد حسگرهای زیستی در شناسایی و تعیین میزان آلاینده‌های محیطی حاصل از صنایع کشاورزی مورد بررسی قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: حسگر، بیوسنسور، آلاینده‌های محیطی، باکتری‌های پاتوژن، صنایع کشاورزی.

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 [*](مسئول مکاتبات) .

مقدمه

آلودگی آب‌ها و محیط زیست معضل بزرگ زندگی انسان در چند دهه اخیر محسوب می‌شود که به علت پیشرفت صنایع و تکنولوژی، با پیشرفت روز افزون آن مواجهیم. خطر آلودگی محیط‌زیست بویژه از طریق آن‌دسته از ترکیبات آلاینده که از طریق منابع آب و خاک و سیستم های کشاورزی وارد چرخه غذای انسان گشته و امنیت غذایی، بهداشت و سلامت انسان را به مخاطره می اندازند مورد توجه و نگرانی دانشمندان و متخصصین علوم زیستی، پزشکی، تغذیه و صنایع غذایی قرار گرفته است.

آلاینده‌های محیطی ممکن است از نوع میکروبی (شامل باکتری، ویروس و پارازیت ها)، مواد خارجی (اعم از بیولوژیکی، شیمیایی یا فیزیکی)، سموم طبیعی (سموم غذاهای دریایی، مایکوتوکسین ها)، سایر ترکیبات شیمیایی(آفت‌کش‌ها، فلزات سمی، بقایای داروهای دامپزشکی، محصولات تخمیری نامطلوب)، و مواد بسته بندی باشند. بسیاری از عوامل یافت شده منشا طبیعی داشته و از محیط به منابع آب، مواد غذایی و محصولات کشاورزی راه می یابند. در عین حال، بسیاری از مردم از اثرات طولانی مدت افزودنی‌های شیمیایی اعم از آفت-کش ها، بقایای داروهای دامپزشکی، رنگ‌ها و مواد طعم دهنده، و اثرات پایدار و ناشناخته آن، بویژه بر کودکان، نگران هستند. بسیاری از فلزهای سنگین نظیر جیوه، سرب، کادمیم و آرسنیک اثرات سمی داشته و به‌علت کاربرد گسترده و توزیع وسیع آنها بیشترین خطر را از نظر محیط‌زیستی دارند. علاوه بر این، فعالیت‌های میکروبی بویژه حضور پاتوژن‌ها (در بیشترین حالت سالمونلا، اشریشیا کلی و لیستریا) از موارد تهدیدکننده سلامت انسان بشمار می‌روند (۱).

اگرچه آلاینده‌های محیط‌زیستی شامل عوامل شیمیایی و میکروبی تهدیدکننده زنجیره غذا را می توان به روش‌های شیمیایی و کشت‌های آزمایشگاهی شناسایی کرد، مهندسین علوم زیستی به دنبال فناوری‌هایی برای تشخیص سریع‌تر و موثرتر آن هستند. در این خصوص مهندسین و فناوران با طراحی و توسعه حسگرهای زیستی[1] به عنوان تجهیزاتی بسیار مفید و کاربردی در شناسایی دقیق و سریع ترکیبات مختلف در محیط توانسته اند بر مشکلات جدی مربوط به تشخیص پاتوژن‌ها و سایر آلاینده‌های زیستی فایق آیند (۲).

طراحی بیوسنسورها در زمینه‌های مختلف علوم بیولوژی، پزشکی در دو دهه گذشته گسترش چشمگیری داشته است. بطور ویژه امکان طراحی حسگرهای زیستی جهت آنالیز مواد آلاینده‌ی محیطی نظیر آفت‌کش ها، کودها، بقایای دی-اکسین، اجزای باقیمانده آب و خاک که بطور غیرعمدی به چرخه غذا وارد شده اند، میکروارگانیسم های پاتوژن و سموم حاصل از آن‌ها، ترکیبات ضدمغذی‌ها، آلرژن‌ها، داروها، افزودنی-ها، و هیدروکربن‌ها فراهم آمده است. همچنین با توجه به حضور بسیاری از ترکیبات مذکور در سطح مولکولی یا اتمی و کوچک بودن ابعاد آن‌ها، با استفاده از فناوری نانو، حسگرهایی در ابعاد نانومتری ساخته شده‌اند از حساسیت فوق‌العاده‌ای برخوردار بوده و عملکرد انتخابی نیز دارند (۲).

در این مقاله کاربرد حسگرهای زیستی در حذف آلاینده‌های محیط‌زیستی ناشی از صنایع کشاورزی و آب مورد بررسی قرار می گیرد.

حسگرهای زیستی (بیوسنسورها)

حسگر یا سنسور، ابزاری با خروجی متناسب با یک کمیت قابل اندازه‌گیری فیزیکی، شیمیایی یا زیستی است که برای پایش و اندازه‌گیری اجزای یک محیط بکار گرفته می‌شود. یک سامانه حسگر، مجموعه ای از حسگرها همراه با فرایندها و اطلاعات پردازش شده برای عملیات خاص است که از داده های حس شده استخراج گردیده اند. حسگرهای هوشمند بویایی(بینی الکترونیکی)، چشایی (زبان الکترونیکی) و همچنین حسگرهای زیستی (بیوحسگرها) از جمله حسگرهای مهم، پیچیده و دارای فناوری ساخت پیشرفته می باشند که به تدریج جای خود رادر عرصه های مختلف علوم و صنایع باز

1- Biosensors

نموده‌اند. این تجهیزات قادر به تشخیص دقیق ترکیبات خاص بوده و در عین حال از هزینه اندازه‌گیری مناسبی نیز برخوردارند. این قابلیت‌ها، حسگر هوشمند بویایی، چشایی و یا زیستی را به ابزاری بسیار مفید و کاربردی در شناسایی دقیق و سریع ترکیبات مختلف در کمترین مقادیر تبدیل کرده است (۳).

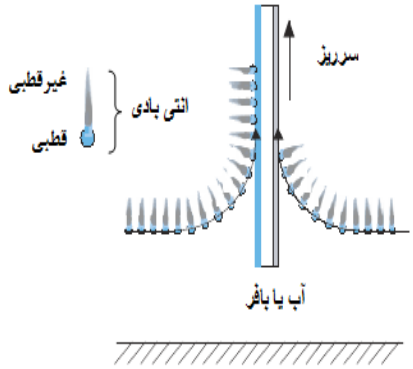
یک بیوسنسور در حقیقت شامل یک حسگر کوچک است که ماده‌ای بیولوژیک به عنوان پذیرنده زیستی بر روی آن تثبیت شده است. طبق تعریف اتحادیه بین المللی شیمی کاربردی و محض[1] (IUPAC) حسگر زیستی عبارت است از:

"دستگاهی که از یکسری واکنش بیوشیمیایی خاص استفاده می کند که به کمک آنزیم های ایزوله شده، سیستم-های ایمنی، بافت‌ها، اندام‌ها، یا سلول‌های کامل و بطور معمول با نشانه‌های الکتریکی، حرارتی یا نوری برای تشخیص ترکیبات شیمیایی انجام می‌گردند." (۴).

شکل ۱ نمونه‌هایی از حسگرهای زیستی را نشان می دهد. یک بیوسنسور در حقیقت شامل یک حسگر کوچک و ماده بیولوژیک تثبیت شده بر آن می باشد که از اجزای ذیل تشکیل می گردد (۵):

شکل ۱- نمونه هایی از حسگرهای زیستی. (چپ) "آزمایشگاه روی یک قطعه" یک حسگر زیستی مبتنی بر فناوری نانو است که آزمون‌هایی برای امراض عفونتی و بیماری های ناشی از آلودگی آب تست می شود. (راست) حسگر زیستی موج آکواستیک قابل حمل با نیروی باطری که طیف گسترده‌ای از پاتوژن ها را در چند دقیقه شناسایی می کند. (Copyright © (left) NASA, (right) Sandia Labs URL URL)

1- International Union of Pure and Applied Chemistry



شکل ۲- تشکیل لایه آنتی‌بادی در حامل در پی تکنیک Langmuir-Blodgett (۶)

۱. پذیرنده‌ی زیستی یا عنصر زیستی حساس: یک ماده‌ی زیستی نظیر آنزیم‌ها، سلول‌ها و اسیدهای نوکلوئیک که می‌تواند به صورت انتخابی تنها با ماده‌ی خاصی واکنش نشان دهد.

۲. آشکارساز و مبدل: نوع و مقدار واکنش ماده‌ای خاص با پذیرنده‌های زیستی را با روش‌های مختلف فیزیکی-شیمیایی نظیر تعیین کرده و به وسیله‌ی سیگنال‌های مناسب به پردازنده ارسال می کنند.

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

فناوری تولید حسگرهای زیستی تلفیقی است از علوم بیوشیمی، بیولوژی مولکولی، شیمی، فیزیک، الکترونیک و کامپیوتر، و از آنجا که این حسگرها ابزاری توانمند جهت شناسایی مولکول های زیستی می باشند، امروزه در علوم و صنایع مختلف پزشکی، شیمیایی، کشاورزی، محیط زیست و غیره نیز مورد استفاده می‌گیرند. اگرچه مراحل اولیه توسعه در فن‌آوری حسگرهای زیستی در حوزه بیوشیمی صورت گرفته است، توانایی تشخیص، آنالیز و کمیت سنجی مولکول هایی با منشا بیولوژیکی متفاوت، موجب پیدایش طرح ها و نمونه های گوناگونی از این حسگرها برای پوشش گستره وسیعی از نیازهای مرتبط شده است.

بیوسنسورها بر اساس عناصر بیوشیمیایی مورد آزمون عمدتا به انواع بیوسنسورهای آنزیمی، بیوسنسورهای میکروبی و

بیوسنسورهای مبتنی بر آنتی بادی تقسیم بندی می گردند (۲، ۵).

در حسگرهای زیستی بطور معمول برای تشخیص پاتوژن‌ها، توکسین‌های بیولوژیکی و شیمیایی، ذرات نوری پوشانده شده با آنتی بادی ها مورد استفاده قرار می گیرد (شکل ۲). عموما، سیستم نوری در این بیوسنسورها فلورسانس است، چرا که این نوع اندازه گیری نوری می‌تواند علایم تشخیص را تشدید نماید. گستره‌ای از آزمون های پیوند لیگاند و ایمونو برای تشخیص و اندازه‌گیری مولکول‌های کوچک نظیر ویتامین‌های محلول در آب و آلاینده‌های شیمیایی (بقایای دارویی) نظیر سولفونامیدها و بتاآگونیست ها برای استفاده همراه با سیستم‌های حسگر مبتنی بر SPR بسط یافته‌اند که اغلب از آزمون‌های الایزا یا سایر آزمون‌های ایمونولوژیکی موجود منتج گردیده‌اند (۶، ۷).

استفاده از بیوسنسورها در تشخیص آفت‌کش‌ها و بقایای آلاینده

آفت‌کش ها (علف‌کش ها، قارچ‌کش ها و حشره‌کش ها) با توجه به گستره وسیع فعالیت آن‌ها، در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند و با توجه به افزایش استفاده از آن‌ها در کشاورزی، در زمره مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست قرار دارند.. وجود متابولیت‌ها و بقایای آفت‌کش در غذا، آب و خاک امروزه به یکی از موضوعات مهم تحقیقات شیمی محیط زیست بدل گشته است (۷). با این حال، روش‌های مرسوم آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری آفت‌کش‌های فسفات آلی و کاربامات‌های N-ترمینال پیچیده بوده و برای برخی ترکیبات وجود ندارند. کروماتوگرافی مایع با کارائی بالا[1] (HPLC) تکنیک مناسبی برای اندازه‌گیری آفت‌کش ها است، با این حال، چندین مرحله پیش تیمار لازم است تا این روش از حساسیت کافی برخوردار باشد که باعث افزایش زمان و هزینه می‌گردد. نظر به محدودیت‌های روش‌های آزمایشگاهی سنتی، توسعه بیوسنسورها در جهت اندازه‌گیری مستقیم و غیرمستقیم آفت-کش ها مورد توجه ویژه قرار دارد.

Serna و همکاران بکارگیری رایج ترین بیوسنسورهای آنزیمی برای تشخیص آفت‌کش ها، کودها، و فلزات سنگین را مورد بحث قرار دادند (۶، ۸). ترکیبات بسیاری در زمره آلاینده‌های محیطی وجود دارند که بطور ناخواسته از طریق آب و خاک وارد چرخه غذا شده و می‌توانند برای انسان سمی باشند. برخی از این ترکیبات فراورده‌های جانبی فرایندهای مضر صنعتی هستند (دی اکسین ها)، به عنوان عوامل سیال هیدرولیک یا دی الکتریک استفاده می شوند (بی فنیل های پلی کلرینه شده یا PCB ها)، از احتراق سوخت‌های فسیلی یا چوب حاصل می‌گردند (هیدروکربن‌های چندحلقه ای آروماتیک یا PAH ها)، و نیز بنزن، تولوئن و گزیلن و مشتقات فنلی جزء آن می باشند. حسگرهای آیمونو و آنزیمی و حسگرهای زیستی با سلول‌های کامل برای تشخیص این ترکیبات آلی مورد استفاده قرار می گیرند (۹).

آنزیم‌هایی نظیر کولین استراز (AChE, BChE)، ارگانوفسفرهیدرولاز (OPH)، و اوره‌آز در طراحی بیوسنسورهای الکتروشیمیایی برای تشخیص آفت‌کش ها استفاده می شوند. ابزارهای اندازه‌گیری، مبتنی بر OPH کولین استراز، بطور گسترده‌ای در تشخیص کاربامات‌ها (۱۰) و ترکیبات فسفات آلی (۱۱) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اسید ارگانوفسفر ان‌هیدرولاز هیدرولیز ترکیبات OP را کاتالیز می‌کند و در نتیجه این واکنش دو پروتون آزاد می شود که در بسیاری حالات رنگی (کروموفور) و/یا الکتروفعال می‌باشد. یون-های حاصل از این واکنش از طریق بیوسنسورهای پوتانسیومتریک شناسایی می شوند (۷).

استفاده از بیوسنسورها در تشخیص فلزات سنگین

فلزات سنگین مواد سمی هستند که در سلول جمع شده و چون هیچ راهی برای دفع یا سوخت و ساز آن‌ها وجود ندارد منجر به ایجاد تغییرات متابولیکی می گردند. تجمع این فلزات در بدن ما ممکن است از طریق خوردن غذاهای با منشا حیوانی

1- High Performance Liquid Chromatography

صورت پذیرد، چرا که حیوانات تماس بیشتری با آب‌های تصفیه نشده داشته، ممکن است در نزدیکی صنایع چرانیده شده، و حتی از موادی تغذیه کنند که با آب حاوی فلزات سنگین آلوده باشد. مشکلات تنفسی و قلبی عروقی، تحریک، ناباروری، ممانعت از فعالیت‌های هورمونی، سوء عمل اندام‌های اصلی از جمله بیماری‌های ناشی از بلع فلزات سنگین است که و در نهایت می‌تواند به مرگ منتهی گردد.

دستگاه‌هایی برای اندازه‌گیری غلظت‌های فلزات سنگین نظیر ارسنیک، کادمیم و جیوه در نمونه‌های خاک و آب طراحی شده‌اند. این دستگاه‌ها میکروارگانیسم‌های اصلاح شده ژنتیکی و آنزیم‌هایی نظیر اوره‌آز، کولینستراز، گلوکز اکسیداز، آلکالین فسفاتاز، اسکوربات اکسیداز و پراکسیداز را همراه با سیستم‌های تبدیل توری و الکتروشیمیایی بکار می گیرند (۱۲).. بیوسنسورهای جفت آنزیمی برای تشخیص بازدارندگی آنزیمی در آب استفاده می شوند. آنزیم‌هایی نظیر آلکالین فسفات و استیل کولین استراز توسط فلزات سنگین، کربامات‌ها و فسفات‌های آلی بازداری می شوند. بیوسنسورهای هدایت سنجی االکتریکی از میکروجلبک کلرلا ولگاریس به عنوان پذیرنده زیستی استفاده می کنند (۱۳).

برای ردیابی عوامل هوابرد پدافند زیستی[1]، ممانعت از مسمومیت جمعی از طریق آلایش زنجیره غذایی ضروری است. همچنین فناوری‌های حسگرهای زیستی برای تشخیص پاتوژن-های غذا می‌تواند نقش مهمی در پدافند و حفاظت از جامعه ایفا نماید. در این خصوص ابزارهایی که در فاز مایع عمل می-کنند بدلیل نیاز به اطمینان از تامین آب عاری از آلودگی، ضروری خواهند بود. در یک وضعیت احتمالی، ضرورت ردیابی چندین عامل بیولوژیکی بطور همزمان بیش از هرزمان وجود داشته و لذا روش‌های تشخیص مبتنی بر فناوری نانو و حسگرهای زیستی اهمیت می یابند (۱۴).

استفاده از بیوسنسورها در تشخیص باکتری های بیماریزا

یکی از چالش‌های مهم کنونی در زمینه تشخیص زیستی، شناسایی عوامل بیماریزا مانند باکتری‌هاست که ممکن است به میزان خیلی کمی وجود داشته باشند. حضور مقادیر خیلی کم باکتری‌ها نیز می‌تواند باعث ابتلا به بیماری‌های خطرناک شود. به طور نمونه، اتحادیه اروپا سطح مجاز باکتری اشریشیاکلی[2] در آب آشامیدنی را ۱cfu/۱۰۰ml را تعریف کرده است و لذا، ردیابی سریع و دقیق در این سطح، نیازمند ایجاد سامانه تشخیصی بسیار حساسی است.

سالمونلا باکتری‌های گرم منفی هستند که به طور طبیعی در قسمت‌های تحتانی دستگاه گوارش انسان و حیوانات خونگرم یافت می شوند. این باکتری‌ها در خارج از محل سکونت طبیعی خود در آب و محصولات غذایی زنده می مانند. مصرف مواد غذایی آلوده به این باکتری ها منجر به بیماری‌هایی نظیر سالمونلوسیس[3] و تب روده ای[4] می‌گردد. طرح حسگر مورد استفاده توسط Guntupalli و همکاران (۲۰۰۷) از یک ساختار مغناطیسی $F_{40}Ni_{32}Mo_4B_{18}$ و آنتی‌بادی‌های موش چندکلونی تثبیت شده با استفاده از روش LB ساخته شده تا با اندازه‌گیری تغییرات در فشار سطحی به روش Wilhemly برای تشخیص سالمونلا تیفی موریوم بکار رود (۱۵). این سیستم به منظور کاهش ارتعاش حاصل از عوامل خارجی در سطح به تعادل می‌رسد، که در چنین روشی تغییرات فرکانس صرفا از تغییرات جرم در کریستال حاصل می‌گردد. این روش با اندازه‌های مختلف بیوسنسور بررسی شده و این نتیجه که تغییرات بهتر فرکانس ارتعاش با سنسورهای کوچک حاصل می‌گردد بدست آمد. در این حسگرها، فرکانس ارتعاش با افزایش تعداد میکروارگانیسم‌های پاتوژن متصل به آنتی‌بادی، کاهش می یابد. در نتیجه به منظور تشخیص سالمونلا استفاده از بیوسنسورهای بزرگتر راحت‌تر است چرا که انواع کوچکتر سطح تماس کافی با آنتی ژن را فراهم نساخته و غلظت‌های کم پاتوژن قابل تشخیص نخواهند بود (۱۵).

اشریشیاکلی یک باسیل گرم منفی است که به طور طبیعی ساکن دستگاه گوارش انسان و سایر حیوانتا خونگرم می باشد. یک سویه از این باکتری که به O157:H7 شناخته شده است

1- Airborne bio-warfare agents

2- *E .coli*
3- Salmonellosis
4- Enteric fever

ممکن است در روده کوچک ایجاد التهاب کرده سبب اسهال بدخیم (توام با خون) و آسیب کلیه گردد (۱۶). این باکتری همچنین عامل سندرم همولیتیک اورمیک است که می‌تواند به عفونت و نارسایی کلیه بیانجامد (۱۷). عفونت ناشی از اشریشیاکلی در اثر خوردن آب و/ یا غذای آلوده، عمدتا سبزیجات و میوه‌جات تازه ایجاد می‌گردد. همچنین این عفونت ممکن است در اثر مصرف مواد غذایی کم پخته شده یا آن‌هایی که با آب آلوده شسته شده اند بوجود آید (۱۸).

روش‌های مختلفی برای یک تشخیص سریع با استفاده از بیوسنسورها با تعداد کاهش یافته به $CFU/ml\ ۱۰^{۳}$ در کمتر از ۱۰ ساعت و تایید با روش PCR وجود دارد (۱۹). تکنیک-های دیگر استفاده از بیوسنسورها برای تشخیص باکتری با سایتومتری و در ادامه جداسازی به روش های ایمونومغناطیسی می باشد. این روش قادر به تشخیص وجود اشریشیاکلی در گوشت (۴ سلول در هر گرم) در مدت زمان حدود ۷ ساعت می باشد. تشخیص اشریشیاکلی در زمان کوتاه‌تر با استفاده از بیوسنسورهای امپریومتریک، از طریق اندازه‌گیری رادیکال‌های هیدروکسیل حاصل از کاهش اکسیژن توسط سوخت و ساز هوازی این باکتری، انجام گرفته است (۲۰). این تکنیک از تثبیت کوالانسی آنزیم‌های لاکتاز و پراکسیداز پراکسیدهای تیم و ایندیوم، و اکسیداسیون اسیدسالسیلیک به ترکیبات پلی فنلی توسط رادیکال‌های هیدروکسیل بهره می گیرد. آنزیم‌ها می توانند روی ترکیبات پلی فنل اثر بگذارند، جایی که آنزیم لاکتاز در حضور اکسیژن کوییتون و بقایای پراکسید تولید که به عنوان دهنده الکترون عمل می‌کند تولید کرده و آنزیم پراکسیداز واکنش بر دیگر ترکیبات فنلی را کاتالیز می کند. در واکنش اخیر کوییتون نیز تولید می شود، که با ایجاد یک واکنش بازگشت پذیر همراه است که توسط بیوسنسورهای آمپریومتریک اندازه‌گیری می گردد.

حسگر SAW متشکل از تداخل سنج صوتی ۵۰۰ MHz بدون پوشش یا یک رزوناتور متصل به گرمکن حرارتی پلتیر[1] است. حسگر آشکارساز SAW با توجه به عدم وجود روکش، پایدار و فوق العاده حساس است (آشکار سازی در هر بیلیون برای ترکیبات فرار و هر یک تریلیون برای نیمه فرار) . GC/SAW به اندازه کافی حساس است تا بتوان با آن آلودگی آب آشامیدنی را با آزمایش فضای فوقانی نمونه آب تشخیص داد.

در سال‌های اخیر حسگرهای تجاری تحت مجموعه‌ای که بینی (Nose) الکترونیکی نامیده می‌شوند ارائه شده است. از این حسگرها برای شناسایی میکروارگانیسم‌ها و فلزات سنگین در آب آشامیدنی (مانند کادمیوم، سرب و روی) استفاده می‌شود. همچنین به منظور شناسایی و تعیین مشخصات بوهای ناشی از مخلوط بخار جمع شده در بالای یک جامد یا مایع موجود در یک محفظهٔ دربسته نیز چنین تجهیزاتی تولید شده‌اند. این حسگرها روش سریع‌تر و نسبتا ساده‌ای را برای پایش تغییرات در کیفیت آب و فاضلاب صنعتی فراهم می‌آورند (۳).

جمع بندی

۱. افزایش آلودگی آب و منابع کشاورزی به وسیله‌ی آفت‌کش ها، بقایای داروهای حیوانی و نیز داروهای ضدمیکروبی مقاوم، فلزات سنگین، و آلاینده‌های بیولوژیکی نظیر باکتری‌های بیماریزا بسیاری از محققین علوم زیستی و بیوشیمی را بر آن داشته که نسبت به توسعه‌ی فناوری‌های تشخیص و ردیابی سریع، دقیق و حساس با هزینه قابل قبول و مقرون به صرفه تلاش نمایند. بدون شک حسگرهای زیستی یکی از فن‌آوری های موثر و کاربردی در تشخیص سریع و کارآمد این آلاینده‌ها در نمونه های آب، خاک و منابع غذایی می باشد. بدین لحاظ توسعه فناوری این حسگرها می تواند فصل مفیدی در شناسایی، پالایش و حذف آلاینده‌های محیط‌زیستی بویژه انواع ناشی از صنایع کشاورزی فراهم آورد.

منابع

1. Nawaz, S., 2003. Pesticides and herbicides. Residue determination. In: Caballero B, Trugo L, Finglas, P. (eds) Encyclopedia of Food Sciences and

1- Peltier

Nutrition (2nd ed). Academic Press, 4487-4493.

2. Rustagi, S. and Kumar, P., 2013. Biosensor and it's Application in Food Industry. Advanced Bioresearch, 4 (2): 168- 170.
3. Zohora, S. E., Khan, A. M., Srivastava, A. K., Hundewale, N., 2013. Electronic Noses Application to Food Analysis Using Metal Oxide Sensors: A Review. International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) 3 (5): 1-7.
4. Thévenot, D. R., Toth, K., Durst, R. A., Wilson, G. S., 2001. Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. Biosensors and Bioelectronics, 16(1), 121-131.
5. Darsanaki, R. K., Azizzadeh, A., Nourbakhsh, M., Raeisi, G., Aliabadi, M. A., 2013. Biosensors: Functions and Applications. Journal of Biology, 2(1), 53-61.
6. Serna-Cock, L., and Perenguez-Verdugo, J. G., 2011. Biosensors Applications in Agri-food Industry. Environmental Biosensors. Prof. Vernon Somerset (Ed.), ISBN: 978-953-307-486-3, InTech, Available from: http://www.intechopen.com/books/environmental-biosensors/biosensors-applications-in-agri-food-industry.
7. Mostafa, G. A., 2010. Electrochemical Biosensors for the detection of pesticides. The Open Electrochemistry Journal. (2): 22-42.
8. Serna, L., Zetty A., 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, Vol. 69, No. 2, pp. 270-280.
9. Patel, P., 2002. (Bio)sensors for measurement of analytes implicated in food safety: a review. Trends in Analytical Chemistry, 21(2): 96-115.
10. Zhang, Y., Muench, S., Schulze, H., Perz, R., Yang, B., Schmid, R., Bachmann, T., 2005. Disposable biosensor test for organophosphate and carbamate insecticides in milk. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53 (13): 5110–5115.
11. Pavlov, V., Xiao, Y., Willner, I., 2005. Inhibition of the acetylcholine esterase-stimulated growth of au nanoparticles: nanotechnology-based sensing of nerve gases. Nano Letters. 5 (4): 649–653.
12. Tsai, H., Doong, R., Chiang, H., Chen, K., 2003. Sol-gel derived urease-based optical biosensor for the rapid determination of heavy metals. Analytica Chimica Acta, 481 (1): 75-84.
13. Chouteau, C., Dzyadevych, S., Durrieu, C., Chovelon, J., 2005. A bi-enzymatic whole cell conductometric biosensor for heavy metal ions and pesticides detection in water samples.

Biosensors and Bioelectronics, 21 (2): 273–281.

14. Otles S. and Yalcin B., 2010. Nano-Biosensors As New Tool For Detection Of Food Quality And Safety. LogForum 6 (4): 1-4.
15. Guntupalli, R., Hu, J., Lakshmanan, R., Huang, T., Barbaree, J., Chin, B., 2007. A magnetoelastic resonance biosensor immobilized with polyclonal antibody for the detection of *Salmonella typhimurium*. Biosensors and Bioelectronics, 22 (7): 1474-1479.
16. Lin, H., Lu, Q., Ge, S., Cai, Q., Grimes, C., 2010. Detection of pathogen *Escherichia coli* O157:H7 with a wireless magnetoelastic-sensing device amplified by using chitosan-modified magnetic Fe3O4 nanoparticles. Sensors and Actuators B: Chemical, 147 (1): 343–349.
17. Waswa, J., Irudayaraj, J., DebRoy, C., 2007. Direct detection of *E. Coli* O157:H7 in selected food systems by a surface plasmon resonance biosensor. Food Science and Technology, 40 (2): 187–192.
18. WHO 2005. Factsheet No 125: Enterohaemorrahic *Escherichia coli* (EHEC). World Health Organization, Available from http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs125/en/
19. Tims, T., Lim, D., 2003. Confirmation of viable *E. coli* O157:H7 by enrichment and PCR after rapid biosensor detection. Journal of Microbiological Methods, 55 (1): 141–147.
20. Tang, H., Zhang, W., Geng, P., Wang, Q., Jin, L., Wu, Z., Lou, M. 2006. A new amperometric method for rapid detection of *Escherichia coli* density using a selfassembled monolayer-based bienzyme biosensor. Analytica Chimica Acta, 562 (2): 190–196.