



مبانی و کاربرد حسگرها در مواد غذایی

تدوین به شیوه گردآوری

پروفسور محمود رضازاد باری، استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه ارومیه

دکتر سجاد پیرسا، دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه ارومیه

دکتر صابر امیری، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه ارومیه

دکتر لاله مهریار، دانش آموخته دکتری گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه ارومیه



Rezazad Bari, Mahmoud	۱۳۴۱ - محمود،
عنوان و نام پدیدآور: مبنای و کاربرد حسگرها در مواد غذایی / تدوین به شیوه گردآوری محمود رضازادباری، سجاد پیرسا، صابر امیری و لاله مهریار؛ ویراستار علمی محمد علیزاده خالداآباد؛ ویراستار ادبی فاطمه مدرسی.	
مشخصات نشر: ارومیه: دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۹.	
مشخصات ظاهری:	س، ۱۶۷ ص: مصور (بخشی رنگی).
فروست:	انتشارات دانشگاه ارومیه؛ ۲۹۰.
شابک:	978-600-8681-81-6
وضعیت فهرست نویسی:	فیبا
یادداشت :	ص.ع. به انگلیسی:
Mahmoud Rezazadeh Bari, Sajad Pirsa, Saber Amiri and Laleh Mehryar. Fundamentals and application of sensors in foods.	
یادداشت :	کتابنامه: ص. [۱۴۱] - ۱۶۷.
موضوع :	مواد غذایی -- میکروبی شناسی (Food -- Microbiology)
موضوع :	زیست حسگرها (Biosensors)
شناسه افزوده:	پیرسا شیروانده، سجاد، ۱۳۶۳ -
شناسه افزوده:	امیری، صابر، ۱۳۶۶ -
شناسه افزوده:	مهریار، لاله، ۱۳۶۴ -
شناسه افزوده:	علیزاده خالداآباد، محمد، ۱۳۵۵ - ویراستار
شناسه افزوده:	دانشگاه ارومیه (Urmia University)
رده بندی کنگره:	۱۱۵QR
رده بندی دیویی:	۰۰۱۵۷۹/۶۶۴
شماره کتابشناسی ملی:	۷۵۵۱۹۴۳

مرکز انتشارات دانشگاه ارومیه

ارومیه، کیلومتر ۱۱ جاده سرو، صندوق تلفن: ۳۱۹۴۲۲۷۴ - ۳۲۷۷۹۹۳۰ - ۰۴۴-۳۲۷۷۹۹۳۰، دورنگار ۳۲۷۷۹۹۳۰

عنوان: مبنای و کاربرد حسگرها در مواد غذایی

تدوین به شیوه گردآوری محمود رضازادباری، سجاد پیرسا، صابر امیری و لاله مهریار

ناشر: انتشارات دانشگاه ارومیه

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: قم، نشر هم میهن ۰۲۱-۰۲۸۰۷۰۹۱۰

نوبت چاپ: اول

سال چاپ: ۱۴۰۰

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

قیمت پشت جلد: ۵۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۶۸۱-۸۱-۶

"من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ"

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت، و سلام و دورد بر پیامبر اکرم و اهل بیت ایشان و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

این کتاب که حاصل زحمت مؤلفین بوده است را درکمال امتنان تقدیم می‌کنیم ...

به شهدای مظلوم جهاد علمی (شهدای هسته ای) کشور عزیزمان و شهید جمال رضازاد باری ...

جان ما را صفای خود ده و دل ما را هوای خود ده، و چشم ما را ضیای خود ده، و ما را از فضل و

کرم خود آن ده که آن به ...

یا رب دل ما را تو به رحمت جان ده درد همه را به صابری درمان ده

این بنده چه داند که چه می باید جست داننده تویی هر آنچه دانی آن ده

پیشگفتار

انتظار می‌رود جمعیت دنیا تا سال ۲۰۵۰ به ۳/۹ میلیارد نفر برسد؛ به همین دلیل، نیاز روزافزونی به تولید کاراتر مواد غذایی وجود دارد. همچنین، صنعت کشاورزی، در حالی که با چالش‌های محیطی زیادی همچون کمبود آب و بروز آفت‌های جدید مواجه است، باید اثرات زیست‌محیطی خود را کاهش دهد. سلامت و کنترل کیفیت غذا مسئله مهمی در فراوری مواد غذایی است و بیماری‌هایی که از طریق غذا منتقل می‌شوند همچنان یک چالش اجتماعی بزرگ به شمار می‌روند؛ در سال ۲۰۰۹، شیوع بیش از ۵۵۵۰ بیماری منتقل‌شونده به‌وسیله غذا در اتحادیه اروپا گزارش شده است.

حسگرهای موجود اطلاعات بسیار مهمی در زمینه شرایط زیست‌محیطی، سلامت حیوانات و گیاهان، و پارامترهای رشد در اختیار کشاورزان و دامداران قرار می‌دهند و امکان فعالیت‌های اصلاحی را فراهم می‌آورند. در حوزه فراوری غذا نیز حسگرها آلاینده‌های شیمیایی و زیستی را که می‌توانند بر سلامت انسان تاثیر بگذارند تشخیص می‌دهند. با استفاده از فناوری نانو، امکان تولید حسگرهای حساس‌تر و سریع‌تری وجود دارد که می‌توانند در محل مورد نظر و بدون نیاز به تخصص بالا مورد استفاده قرار بگیرند. در این مقاله، چالش‌هایی که باید در این حوزه حل شوند معرفی شده‌اند و فناوری‌های نویدبخش مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین، فعالیت‌های تحقیقاتی و صنعتی‌ای که در اروپا روی این بخش انجام شده توضیح داده شده است. برخی از مشکلات توسعه این فناوری‌ها نیز بیان شده است.

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	ث
۱- فصل اول.....	۱
مقدمه و تئوری.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- حسگر زیستی.....	۷
۳-۱- نانوحسگرها.....	۱۱
۴-۱- تراشه زیستی.....	۱۳
۵-۱- تقسیم بندی حسگرهای زیستی.....	۱۳
۶-۱- بخش های اصلی حسگر زیستی.....	۱۷
۷-۱- مبدل.....	۳۳
۲- فصل دوم.....	۴۷
کنترل میکروبیولوژیکی فرآورده های غذایی.....	۴۷
۱-۲- مقدمه.....	۴۸
۲-۲- شمارش و شناسایی <i>Salmonella</i> در فرآورده های غذایی.....	۴۹
۳-۲- شمارش و شناسایی <i>E. coli</i> در فرآورده های غذایی.....	۵۴
۴-۲- ساخت حسگر زیستی و طرز کار ردیابی.....	۵۹
۵-۲- رزونانس پلازمون سطحی SPR.....	۶۲
۶-۲- شمارش و شناسایی لیستریا منوسیتوزنز.....	۶۳
۷-۲- شمارش و شناسایی کمپیلوباکتر ججونی در مواد غذایی.....	۶۵
۸-۲- شمارش و شناسایی کلستریدیوم پرفرینجنس در مواد غذایی.....	۶۶
۹-۲- شمارش و شناسایی <i>Bacillus anthracis</i> در مواد غذایی.....	۶۷

- ۱۰-۲- شمارش و شناسایی اسپورهای باسیلوس آنتراسیس زنده در مواد غذایی..... ۶۷
- ۳- فصل سوم..... ۷۱
- حسگرهای زیستی برای ردیابی و شناسایی بیماری عفونی در محصولات..... ۷۱
- ۱-۳- مقدمه..... ۷۲
- ۲-۳- کاربرد حسگر زیستی در کنترل کیفیت فرآورده های بسته بندی شده با اتمسفر تغییر یافته ۷۳
- ۳-۳- کاربرد حسگر زیستی در کنترل کیفیت شیر..... ۷۴
- ۴-۳- کاربرد حسگر زیستی در کنترل کیفی میوه جات..... ۷۵
- ۵-۳- کاربرد حسگر زیستی در کنترل کیفی گوشت..... ۷۶
- ۶-۳- کاربرد حسگر زیستی در مقیاس صنعتی و تجاری..... ۷۷
- ۷-۳- چالش های آینده..... ۷۸
- ۸-۳- نتیجه گیری..... ۷۹
- ۴- فصل چهارم..... ۸۱
- حسگرهای زیستی میکروبی..... ۸۱
- ۱-۴- مقدمه..... ۸۲
- ۲-۴- انواع حسگرهای زیستی میکروبی..... ۸۲
- ۳-۴- استفاده از سلول های میکروبی بعنوان عنصر های حسگر زیستی..... ۸۶
- ۴-۴- تثبیت مواد زیستی..... ۸۹
- ۵-۴- کاربردهای حسگرهای زیستی میکروبی در محیط..... ۹۰
- ۶-۴- کاربردهای حسگرهای زیستی میکروبی در غذا..... ۹۲
- ۵- فصل پنجم..... ۹۵
- حسگرهای گازی..... ۹۵
- ۱-۵- مقدمه..... ۹۶
- ۲-۵- ارزیابی حسگرهای گازی..... ۹۶

- ۱۰۰-۳-۵- طبقه بندی حسگرهای گازی.....
- ۱۰۱-۴-۵- حسگرهای گازی بر پایه پلیمرهای هادی.....
- ۱۰۵-۵-۵- سنتز پلیمرهای هادی.....
- ۱۰۷-۶-۵- تهیه فیلم پلیمرهای هادی.....
- ۱۱۰-۷-۵- مکانیسم حس کردن گونه های گازی.....
- ۱۲۴-۸-۵- مقاومت شیمیایی.....
- ۱۲۷- منابع.....

۱- فصل اول

مقدمه و تئوری

در طی یک قرن گذشته صنایع و کارخانجات مختلف با سرعت زیادی گسترش پیدا کرده اند و امروزه می‌توان گفت زندگی ما تماماً وابسته به وجود صنایع و فراورده های متنوع آنها می‌باشد. اما متأسفانه همزمان با رشد فزاینده کارخانجات مختلف، تاثیرات مخرب و ویرانگر آنها بر محیط زیست نیز به شدت و با سرعت نگران کننده ای افزایش یافته است. توجه به این نکته که بیشترین سهم ضایعات در صنایع مختلف را گازها تشکیل می‌دهند و اینکه سرعت گسترش آلاینده‌ها و ضایعات گازی بسیار بیشتر از جامدات و مایعات می‌باشد و تشخیص، اندازه گیری و حذف آنها نیز بسیار دشوارتر می‌باشد، باعث نگرانی هر چه بیشتر محافل مختلف دانشگاهی، دولتی و سازمان‌های دوستدار محیط زیست شده است. از اینرو امروزه تشخیص و اندازه گیری گازهای سمی، آتشگیر و گلخانه ای از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. برای درک هر چه بیشتر نیاز به حسگرهای گازی می‌توان به فاجعه ای که در سال ۱۹۸۴ در شهر بوپال^۱ واقع در هندوستان رخ داد و بسیاری آن را بزرگترین فاجعه صنعتی قرن بیستم نام نهاده اند اشاره کرد. طی این واقعه مقادیر زیادی از گاز متیل ایزوسیانات از طرف یک کارخانه تولید آفت کش‌ها به محیط اطراف پراکنده شد. بنا به گزارشات رسمی، این حادثه بیش از ۳۸۰۰ نفر کشته و ۱۱۰۰۰ زخمی و مجروح بر جای گذاشت. قطعا در صورتی که این کارخانه شیمیایی مجهز به سیستم آلام بود تا در صورت نشت مقادیر اندک متیل ایزوسیانات هشدار می‌داد نشت گاز در همان لحظات اولیه کنترل می‌شد و فاجعه ای به این وسعت رخ نمی‌داد. همچنین خفگی و انفجار ناشی از گازهایی مثل CO، H₂ و CH₄ و ... تابحال

^۱ Bhopal

جان بسیاری از انسان ها را در صنایعی نظیر معادن ذغال سنگ و حتی در منازل مسکونی گرفته است.

بسیاری از گازها تاثیرات مخربی بر روی سلامتی انسان‌ها می‌توانند داشته باشند. به عنوان مثال در معرض قرارگیری با غلظت های ppm ۵۰ از گاز آمونیاک باعث بروز سوختگی شدیدی در پوست، چشم‌ها، گلو و شش‌ها می‌شود. غلظت های ppm ۵۰۰۰ آن منجر به کوری، از کار افتادن شش‌ها و حتی مرگ می‌شود. در مورد مبتلایان به آسم حتی در غلظت های کمتر از ppm ۵۰ نیز می‌تواند فوق العاده خطرناک باشد. کربن مونوکسید (CO) اثرات به مراتب شدیدتری نسبت به آمونیاک دارد. CO که طی تمامی فرایندهای احتراق بوجود می‌آید، در محیط‌های صنعتی و خانگی می‌تواند وجود داشته باشد. در معرض قرارگیری با غلظت‌های ppm ۳۰ برای افراد عادی و ppm ۱۰ برای افرادی با سابقه ناراحتی قلبی می‌تواند باعث ضعیف شدن قلب، کاهش توانایی برای انجام فعالیت‌های روزمره و کسالت و خواب آلودگی شود. در معرض قرارگیری غلظت‌های بالای ppm ۳۵ برای زمان‌های بیشتر از ۲۴ ساعت منجر به سردرد، کج خلقی، تاریینی، از دست دادن تعادل، تهوع، سرگیجه و مرگ شود. بر طبق قوانین وضع شده در آمریکا حد مجاز این گاز برای یک دوره ۸ ساعته ppm ۵۰ می‌باشد. نیتروژن اکسید (NO) مولکول ناپایداری است که به آهستگی به اکسیدهای دیگر نیتروژن نظیر NO₂ تبدیل می‌شود. غلظت‌های ppm ۵-۱۱ از گاز NO باعث بروز سوزش در سیستم تنفسی و نیز چشم‌ها می‌شود و در صورتیکه مدت زمان در معرض قرارگیری زیاد باشد، باعث تجمع سیال در شش‌ها، تهوع، خستگی و کسالت می‌شود. غلظت‌های بیشتر منجر به تورم دریچه تنفسی، کاهش میزان اکسیژن در خون و در موارد شدید مرگ می‌شود. علاوه بر این NO_x منجر به تشکیل ازن می‌شود که گاز بسیار واکنش پذیر و مخربی بوده و بروز بیماری‌های تنفسی را به دنبال دارد. دی اکسید گوگرد (SO₂) یکی دیگر از آلاینده‌های مهم می‌باشد. در نتیجه احتراق سوخت‌های فسیلی،

غلظت‌های حدود ۱۰ ppb از این گاز در محیط اطراف وجود دارد. SO₂ به همراه NO_x عامل باران-های اسیدی می‌باشد. غلظت‌های 6 ppm از این گاز باعث بروز فوری سوزش در شش‌ها و در معرض قرارگیری ادامه دار، به سیستم ایمنی بدن آسیب می‌رساند. به علاوه SO₂ منجر به بروز بسیاری از بیماری‌های ریوی می‌شود. سولفید هیدروژن (H₂S) از آلاینده‌های مهم دیگر می‌باشد که منبع اصلی آن تجزیه ترکیبات آلی می‌باشد و در گاز طبیعی، نفت، معادن، کودهای شیمیایی و فاضلاب یافت می‌شود. این گاز همچنین از محصولات جانبی در پروسه تولید ریون، لاستیک مصنوعی، رنگ‌ها و چرم می‌باشد. در معرض قرارگیری با غلظت‌های بالای ۲۰ ppm منجر به بروز سردرد، بیماری‌های چشمی، برونشیت و مرگ می‌شود. حداکثر دوز مجاز برای مدت زمان ۱۰ دقیقه ۵۰ ppm می‌باشد.

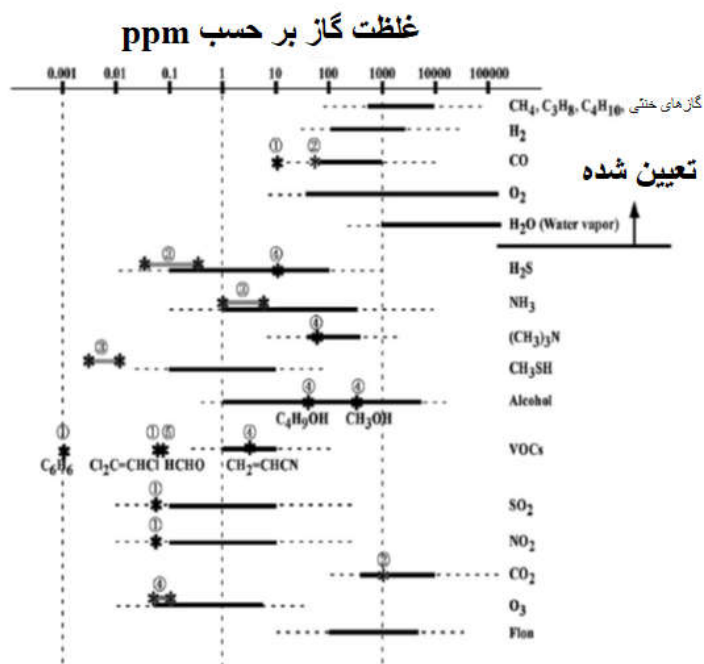
جدول زیر حد مجاز تعدادی از گازهای خطرناک را که توسط وزارت کار و امور اجتماعی آمریکا

ارایه شده است نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱: حد غلظت مجاز برای برخی گازهای خطرناک

شماره	ترکیب	نماد	محدوده‌های مجاز قرار گرفتن در معرض ترکیب (ppm)
۱	آمونیاک	NH ₃	۵۰
۲	آرسین	AsH ₃	۰/۰۵
۳	برم	Br ₂	۰/۱
۴	دی اکسید کربن	CO ₂	۵۰۰۰
۵	منو اکسید کربن	CO	۵۰
۶	کلر	Cl ₂	۱
۷	دی اکسید کلر	ClO ₂	۰/۱
۸	دی‌بوران	B ₂ H ₆	۰/۱
۹	فلوئور	F ₂	۰/۱
۱۰	هیدروژن کلرید	HCl	۵
۱۱	هیدروژن سیانید	HCN	۱۰
۱۲	هیدروژن فلوئورید	HF	۳
۱۳	هیدروژن سلنید	H ₂ Se	۰/۰۵
۱۴	هیدروژن سولفید	H ₂ S	۲۰
۱۵	دی اکسید نیتروژن	NO ₂	۵
۱۶	اکسید نیتروژن	NO	۲۵
۱۷	اوزون	O ₃	۰/۱
۱۸	فسفین	PH ₃	۰/۳
۱۹	دی اکسید گوگرد	SO ₂	۵

شکل ۱-۱ نیز تعدادی از مقادیر مجاز غلظت را برای گازها که توسط چند موسسه استاندارد ژاپنی تنظیم شده است نشان می‌دهد. با توجه به مطالب بیان شده، می‌توان به اهمیت زیاد حسگرهای گازی بعنوان ابزاری جهت تعیین و اندازه‌گیری گازهای سمی و آلاینده‌های محیط زیست پی برد.



شکل ۱-۱: حد مجاز غلظت ارائه شده برای گازهای خطرناک توسط چند موسسه استاندارد ژاپنی

با توجه به اهمیت بحث غذا در حوزه بهداشت و سلامت و از آنجایی که کنترل کیفی محصولات غذایی جزو اهم دستورات مراقبت‌های بهداشتی در حیطه کاری سازمان‌های ذیربط وزارتین می‌باشد، در حال حاضر ارزیابی کیفی محصولات در صنایع غذایی از طریق تجزیه‌های شیمیایی و آزمون‌های میکروبی صورت می‌گیرد که این روش‌ها غالباً به زمان و هزینه زیادی نیاز دارند و از طرفی برای انجام آن‌ها تکنسین‌های ماهر مورد نیاز است، لذا ارائه روشی مناسب، سریع و موثر برای این آزمون‌ها از بزرگترین چالش‌ها در صنایع غذایی محسوب می‌شود. ساخت حسگرهای زیستی^۱ از جمله ابداعاتی است که توانسته است بر این چالش‌ها غلبه نماید. حسگرهای زیستی تحولاتی از جمله

¹ Biosensors

کاهش قابل توجه زمان و هزینه آزمون‌ها، ایجاد آزمون‌های غیر مخرب و افزایش اطمینان از سلامت محصول را در تجزیه‌های شیمیایی و آزمون‌های میکروبی ایجاد کرده‌اند. یک حسگر زیستی را می‌توان به عنوان سیستمی مرکب از یک روش نمونه برداری خودکار یا دستی، یک حسگر زیستی، یک سیستم برای دوباره پرکردن یا جایگذاری حسگر زیستی و یک سیستم آنالیز داده به منظور تکمیل یک مدل زیست شناختی که اطلاعات را برای انسان یا یک کنترل کننده خودکار فراهم می‌کند، تعریف کرد. ادغام سیالات، الکترونیک، تکنولوژی جداسازی و زیر سیستم‌های زیست شناختی برای پیشرفت سیستم‌های حسگر زیستی حیاتی می‌باشند. تکنولوژی حسگر زیستی یک روش قدرتمند در مقابل تکنیک‌های آنالیتیکی مرسوم بوده و ویژگی‌ها و حساسیت سیستم‌های زیست شناختی را در تجهیزات کوچک و کم هزینه تحت کنترل دقیق در می‌آورد. بخش تحقیق و توسعه، حسگر زیستی عمدتاً بسوی حفظ سلامتی، کاربردهای محیطی و صنایع غذایی هدایت می‌شود. حسگرهای زیستی، کاربردهای وسیعی در تشخیص‌های طبی، پایش محیطی و ژنتیک، صنایع غذایی و دفاعی دارا می‌باشند. بدلیل سهولت و سادگی، حساسیت بالا و توانایی و پتانسیل برای تجزیه آنی و در محل، حسگرهای زیستی در زمینه‌های مختلفی از جمله فرآیندهای صنعتی، تشخیص طبی و کنترل محیطی، کاربرد وسیعی پیدا کرده اند (Lu et al., 2019; Alocilja, 2008; Arora et al., 2018; Bunnay et al., 2017; Damborský et al., 2016; Dominguez et al., 2017).

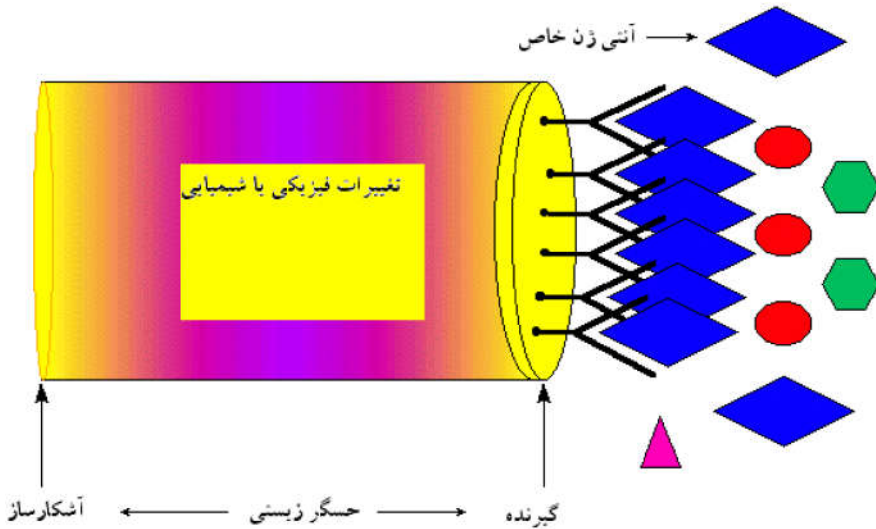
۱-۲- حسگر زیستی

یک حسگر زیستی عبارت است از یک دستگاه تجزیه‌ای متراکم همراه با یک عنصر حساس زیستی که با یک سیستم مبدل ارتباط دارد که میزان یک یا چند ماده مورد تجزیه (آنالیت) را اندازه گیری می‌کند (Velasco-Garcia & Mottram, 2003). حسگرهای زیستی از پنج بخش گیرنده

زیستی، مبدل، تقویت کننده، پردازشگر و نمایشگر تشکیل شده اند (شکل ۱-۲). دو بخش اصلی هر حسگر زیستی شامل گیرنده‌های زیستی و مبدل می‌باشد. گیرنده‌های زیستی ممکن است بصورت فیزیکی یا شیمیایی روی مبدل تثبیت شده باشند. گیرنده‌های زیستی شامل آنزیم‌ها، سیستم‌های چند گانه آنزیمی، آنتی بادی‌ها، اجزای غشای سلولی، ارگانل‌ها، بافت، باکتری‌ها یا سلول‌های دیگر (میکروارگانیسم‌ها)، گیرنده‌های سلول یا مواد زیستی مشتق شده و برش‌هایی از بافت‌های گیاهی یا حیوانی می‌باشند. گیرنده زیستی موجب می‌شود که حسگر بصورت انتخابی یا اختصاصی عمل کند. اصول ردیابی بسیار ساده است، بدین صورت که یک اتصالی ما بین آنالیت مورد نظر و عنصر تشخیص‌گر زیستی متمم (که بصورت تثبیت شده بر روی یک محیط تکیه گاه مناسب می‌باشد) صورت می‌گیرد و مبدل یکی از فرآورده‌های واکنش بیوشیمیایی را بصورت انتخابی شناسایی خواهد کرد. بطور کلی، حسگرهای زیستی، دستگاه‌های کوچک بر پایه اتصال مستقیم میان یک ترکیب فعال زیستی و یک مبدل سیگنال مجهز به یک تشدید کننده الکترونیکی هستند. نتایج فعل و انفعالات ویژه منجر به تغییر در یک یا چند خصوصیت فیزیکوشیمیایی (مانند تغییرات pH، انتقال الکترون، تغییر جرم، انتقال حرارت، دریافت یا آزادسازی گاز یا یون‌های ویژه) می‌شود که توسط مبدل قابل تشخیص هستند. مبدل‌ها، اجزائی هستند که یک علامت^۱ (پیام) بیوشیمیایی را به یک علامت الکتریکی قابل اندازه گیری، تبدیل می‌کنند. هدف عمومی ایجاد یک علامت الکترونیکی متناسب با بزرگی و فراوانی غلظت آنالیت خاص یا گروهی از آنالیت‌هایی که عنصر حسگر زیستی متصل می‌شود، است. مهم‌ترین بخش حسگر زیستی، تثبیت یک آنزیم مورد نظر است. اما، فایده الکترودهای آنزیم تثبیت شده، بستگی به فاکتورهایی از قبیل روش تثبیت، شرایط شیمیایی و

^۱ signal

فیزیکی (pH، درجه حرارت و مواد آلوده کننده)، ضخامت و پایداری غشای مورد استفاده برای اتصال به آنزیم دارد. تثبیت آنزیم در چند ماده، برای ساخت حسگرهایی زیستی برای تخمین گلوکز، اوره، کلسترول، استفاده شده است (Velasco-Garcia & Mottram, 2003; Vo-Dinh, 2006; Zhang et al., 2019).



شکل ۱-۲: شکل شماتیک نحوه عملکرد یک حسگر زیستی

یک حسگر زیستی خوب باید دارای خصوصیات زیر باشد:

۱. گیرنده زیستی آن کاملاً اختصاصی عمل کرده و تحت شرایط طبیعی نگهداری پایدار باشد.
۲. واکنش گیرنده زیستی با آنالیت بایستی مستقل از پارامترهای فیزیکی نظیر همزدن، pH و دما باشد تا آزمایش و تحلیل نمونه‌ها با کمترین مراحل آماده سازی صورت پذیرد.
۳. نتایج حاصل بایستی عاری از پارازیت‌های الکتریکی، دقیق و تکرار پذیر باشد.
۴. ارزان، کوچک، قابل حمل و قابل استفاده توسط کاربران نیمه ماهر باشد.

۵. برای حسگر زیستی باید یک بازار خوب وجود داشته باشد تا انگیزه‌های طراحی و تولید آن افزایش یابد.

بطور کلی حسگرهای زیستی در مقایسه با سایر روش‌های قدیمی مزایای زیادی دارند که سبب ارجحیت کاربرد آنها می‌گردد، سهولت استفاده، عملکرد اختصاصی، امکان کنترل فرآیندهای تولید بصورت درون خطی^۱، خطای کمتر، امکان ثبت اطلاعات، سرعت بیشتر، حساسیت بالا، عدم نیاز به آماده سازی نمونه و توانایی آزمایش نمونه‌های ترکیبی از مزایای حسگرهای زیستی می‌باشد (V0- (Dinh, 2006).

حسگرهای زیستی دارای معایبی نیز می‌باشند که عبارتند از:

۱. به دلیل وجود گیرنده‌های زیستی در ساختمان آنها، این جزء بسیار حساس بوده و سبب ایجاد مشکلاتی در استریلیزاسیون آنها می‌گردد و یا حتی در اثر اسیدهای قوی، محیط‌های بازی و یا دماهای بالا ممکن است حسگر زیستی از کار بیفتد.

۲. مدت زمان کارایی و استفاده از هر حسگر محدود است که این عیب نیز به وجود گیرنده های زیستی بر می‌گردد.

۳. دامنه قابل اندازه‌گیری آنالیت توسط حسگر زیستی محدود است.

ویژگی‌های زیر در انتخاب حسگرهای زیستی اهمیت دارد:

۱. میزان حساسیت

¹ online

۲. عملکرد انتخابی

۳. زمان ماندگاری

۴. برگشت پذیری

۵. کشف و ردیابی در مکان خاص

۶. سازگاری زیستی

۷. موارد دیگر (دامنه دینامیکی بزرگ، زمان واکنش سریع و ...)

۱-۳- نانو حسگرها

نانو حسگرها، دستگاه‌هایی هستند که از یکسری مواد نانو استفاده می‌کنند که برای کشف گازها، مواد شیمیایی، عوامل بیولوژیکی، میدان‌های الکتریکی، نور، حرارت یا سایر اهداف از خواص وابسته به اندازه تازه و جدیدی بهره برداری می‌کنند. اصطلاح نانو حسگر زیستی، دلالت بر استفاده از نانو حسگرها برای کشف مواد شیمیایی یا زیستی دارد. مواد نانو، حسگرهای فوق العاده حساس شیمیایی و زیستی هستند. از آنجا که خواص سطحی آنها به آسانی اصلاح می‌شوند، نانوسیم‌ها با هر نوع واحد تشخیص مولکولی زیستی یا شیمیایی قابل تزئین هستند که باعث می‌شود سیم‌ها خود مستقل از آنالیت باشند. مواد نانو پدیده اتصال شیمیایی در روی سطح شان را به یک تغییر در هدایت نانو سیم در یک حالت به شدت حساس، آنی و کمیتی تبدیل می‌کند. نانو سیم‌های سیلیکون برون دات^۱ جهت ایجاد حسگرهای الکتریکی بسیار حساس آنی برای مواد زیستی و شیمیایی استفاده شده

^۱ Boron-doped silicon

اند. نانو سیم‌های سیلیکون اصلاح شده بیوتین جهت کشف استرپتاویدین تا دامنه غلظت حداقل یک پیکو مولار استفاده می‌شوند. اندازه کوچک و توانایی این نانوسیم‌های نیمه هادی برای شناسایی با حساسیت بالا، بدون نشانگر و آنی از یک دامنه وسیعی از گونه‌های شیمیایی و زیستی در تشخیص- های زیستی و سنجش‌های بر پایه غربال گری قابل بهره برداری است (Velasco-Garcia & Mottram, 2003; Vo-Dinh, 2006). حسگرها از نظر الکترونیکی می‌توانند از پاسخ دادن به شکل اتصال به یک مولکول واحد، جلوگیری نمایند. حسگرهای متنوع کشف اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و یون‌ها را نشان داده اند. این حسگرها در فاز مایع یا گاز، قابل راه اندازی هستند، که سرآغاز کاربردهای پایین دستی زیادی است. طرح‌های کشف از سیستم‌های اندازه‌گیری ارزان با ولتاژ پایین، استفاده می‌کنند و وقایع اتصال را بصورت مستقیم شناسایی می‌کند، بطوریکه هیچ نیازی به روش‌های شیمیایی گران قیمت، پیچیده و وقت‌گیر برچسب گذاری از قبیل رنگ‌های فلورسنت یا استفاده از سیستم‌های کشف نوری گران قیمت و حجیم ندارد. در نتیجه راه اندازی و ساخت، این حسگرها ارزان قیمت هستند. حتی ممکن است، توسعه و بهبود، دستگاه‌های پایش کننده و کشف بر پایه این آشکارسازها، امکان پذیر باشد. تکنولوژی ریز منفذ (سوراخ‌های نانو)، مثالی است که پایه و اساس نانوحسگرها را تشکیل می‌دهد. به دلیل ابعاد در حد میکرون، نانوحسگرها، نانو پروب‌ها و سایر نانو سیستم‌ها، اجازه تجزیه سریع و ساده زیستی را داده است. تجهیزات قابل حمل، قادر به تجزیه چندین ترکیب در حال حاضر فراهم هستند (Barke et al., 1998; Ge et al., 2019; Thakur & Ragavan, 2013).