زیست‌حسگر و کاربرد آن در صنایع غذایی

محمدباقر لک

کارشناس‌ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، *mbagherlak@yahoo.com*

چکیده

زیست‌حسگرها یا همان بیوسنسورها شامل یک سیستم بیولوژیکی تثبیت شده می‌باشند که در حضور آنالیت مورد اندازه‌گیری باعث تغییر خواص محیط اطراف می‌شوند. این حسگرها کاربرد وسیعی در صنعت پیدا کرده‌اند و امروزه در صنایع غذایی کاربردی روزافزون دارند. این مقاله، به بررسی انواع زیست‌حسگرها و کاربردهای آن‌ها در کشاورزی و صنایع غذایی می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، بیوسنسور، کاتالیت

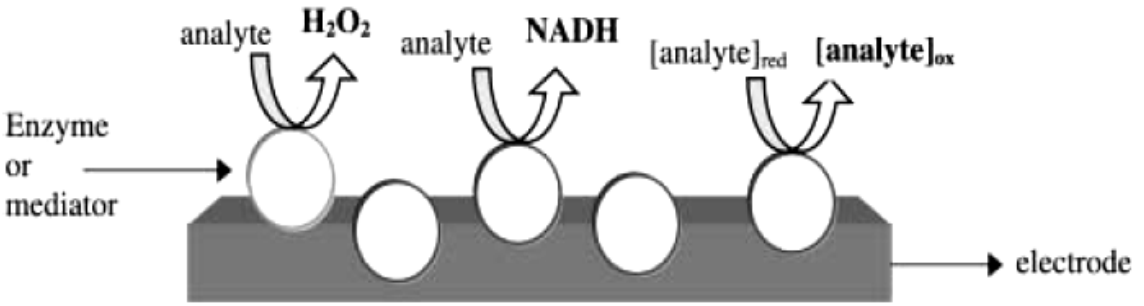
مقدمه

زیست‌حسگرها گروهی از سیستمهای اندازه‌گیری می باشند و طراحی آنها بر مبنای شناسایی انتخابی آنالیتها بر اساس اجزا بیولوژیک وآشکارسازهای فیزیکی-شیمیایی صورت می پذیرد. این حسگرها متشکل از سه جزء عنصر بیولوژیکی، آشکار ساز، و مبدل می باشند [۱].

یک زیست‌حسگر به طور کلی شامل یک سیستم بیولوژیکی تثبیت شده می باشد که در حضور آنالیت مورد اندازه گیری باعث تغییر خواص محیط اطراف می شود. وسیله اندازه گیری که به این تغییرات حساس است، سیگنالی متناسب با میزان و یا نوع تغییرات تولید می‌کند که سپس به سیگنالی قابل فهم برای دستگاه‌های الکترونیکی تبدیل می‌گردد [۱]. زیست‌حسگرهای مبتنی بر بی‌حرکت سازی آنزیم‌ها کاربردهای فراوانی در زمینه‌های صنعت، بیوشیمی، و ایمنی شناسی و آنزیم‌شناسی دارویی دارند [۲].

زیست‌حسگر بعنوان ابزار تحلیلی فشرده‌ای که مؤلفه حس بیولوژیکی یا مشتق از آن را هم بصورت مستقل و هم بطور کاملاً وابسته با یک مبدل فیزیکی-شیمیایی تعریف می‌شود [۳]. یک زیست‌حسگر سامانه‌ای است از دو مبدل بیوشیمیایی و فیزیکی که در ارتباطی نزدیک یا مجاورت یکدیگر غلظت یک آنالیت را به یک سیگنال قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کنند. عمل مبدل بیوشیمیایی در سامانه (واکنش کاتالیز شده توسط آنزیم) منجر به تغییر در ویژگی فیزیکی یا آغاز فرآیند (شار الکترون‌های حاصل از واکنش اکسایش-کاهش) می‌شود که حس شده و بوسیله مبدل فیزیکی به یک سیگنال الکتریکی (الکترود، تحت پتانسیل ثابت) می‌شود بطوریکه در شکل۱ بطور شماتیک نشان داده شده است [۴].

www.agrimechanization.com

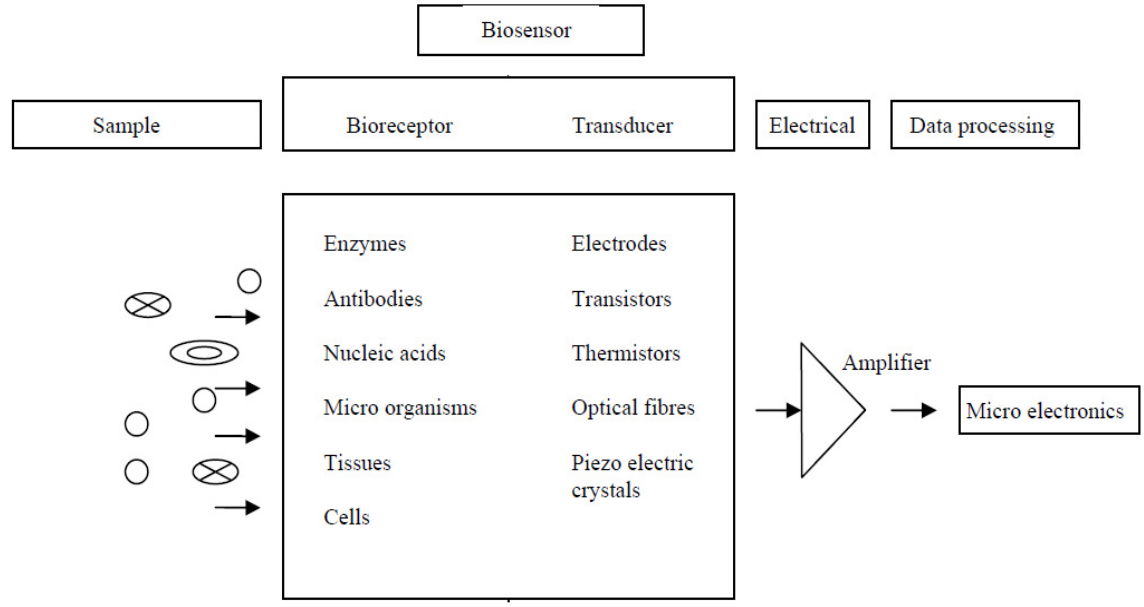


شکل۱. نمایش شماتیک انواع مختلف زیست‌حسگرهای آمپرومتریک [۴].

ایجاد یک شیوه مناسب، سریع، و کارآمد تشخیص وجود ترکیبات آلرژیک و پاتوژن‌ها یکی از بزرگترین چالش‌های پیش روی صنایع فرآوری مواد غذایی می‌باشد. زیست‌حسگرها ابزارهای بسیار امیدبخشی برای تشخیص سریع پاتوژن‌ها و ترکیبات آلرژیک در غذاها می‌باشند. تشخیص آلاینده‌ها، بررسی محتوای محصولات، تازگی محصول و پایش تبدیل مواد خام زمینه‌های بالقوه کاربرد زیست‌حسگرها می‌باشند [۳].

اصل تشخیص برمبنای اتصال ویژه ماده مورد تجزیه (آنالیت) مورد نظر با عنصر تشخیص زیستی مکمل است که در یک محیط کشت مناسب بی‌تحرک شده است. این برهم‌کنش مشخص منجر به تغییر یک یا چند مشخصه فیزیکی-شیمیایی (تبادل pH، تبادل الکترون، انتقال جرم، انتقال حرارت، جذب یا دفع گاز یا یون‌های خاص) می‌شود که تشخیص داده شده و ممکن است بوسیله مبدل اندازه‌گیری شوند. مواد بیولوژیکی به‌کار رفته در فناوری زیست‌حسگر عبارتند از آنزیم‌ها، آنتی‌بادی‌ها، و اسید نوکلئیک‌ها [۳]. مزایای یک فرایند بی‌تحرک سازی بسیار مهم است از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده طولانی مدت از حسگر، توقع ماندگاری زیاد، و ثبات کاری اشاره کرد [۴].

شکل۲ اساس کار زیست‌حسگرها را نشان می‌دهد.



شکل۲. اساس کار زیست‌حسگر. [۳]

مشخصه‌های یک زیست‌حسگر ایده‌آل عبارتند از [۳]:

۱) دقت بالاتر
۲) سنجش سریع
۳) حساسیت بهتر
۴) اختصاصی بودن
۵) قوی بودن
۶) خوش‌کار (سهل‌الاستفاده) بودن

آنزیم‌ها [۵]

آنزیم‌ها پروتئین‌هایی با گزینش‌پذیری و فعالیت کاتالیزوری بالا به سمت مواد هستند. سال‌های متمادی از آن‌ها برای عیارسنجی غلظت آنالیت‌های متعدد استفاده شده است. اسیدیته، مقاومت یونی، بازدارنده‌های شیمیایی، و دما فعالیت آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اغلب آن‌ها اگر در معرض دمای بالای ۶۰ درجه سلسیوس قرار گیرند از بین می‌روند. اغلب آنزیم‌های مورد استفاده در زیست‌حسگرها به اکسیداسیون کمک می‌کنند که در نتیجه اکسیژن حل نشده را مصرف کرده و پراکسید هیدروژن تولید می‌کنند. آنزیم‌ها براثر جذب سطحی، اتصال کووالانسی، تله ژله‌ای یا یک پلیمر مصنوعی الکترو شیمیایی در غشاهای بی‌لیپید، یا محلولی در پشت یک غشا گزینش‌پذیر در سطح مبدل بی-حرکت می‌شوند.

انواع زیست‌حسگرها

۱) زیست‌حسگرهای آمپرومتریک [۴]

زیست‌حسگرهای آمپرومتریک بر اساس آنزیم‌هایی کار می‌کنند که هم اکسیژن مصرف می‌کنند (مثل همه انواع آنزیم-هایی که به اکسیداسیون کمک می‌کنند) و هم پراکسید هیدروژن تولید می‌کنند (بغیر از انواع آنزیم‌های اکسیداسیونی که آب تولید می‌کنند) و هم (بطور غیر مستقیم) فرم تقلیل یافته بتا-دی‌نوکلئوتید-آدنین-نیکوتین آمید (فسفات)[1] مانند انواع آنزیم‌هایی که به حذف هیدروژن کمک می‌کنند، در طول دوره واکنش کاتالیزوری بر روی لایه مورد نظر تولید می‌کنند. معادلات کلی انواع زیست‌حسگرهای آمپرومتریک عبارتند از [۴]:

$$\text{لایه} + O_2 \xleftarrow{Enzyme} \text{محصول} + H_2O \quad (۱)$$

$$\text{لایه} + O_2 \xleftarrow{Enzyme} \text{محصول} + H_2O_2 \quad (۲)$$

$$\text{لایه} + NAD^+ \xleftarrow{Enzyme} \text{محصول} + NADH + H^+ \quad (۳)$$

اکسیژن زدایی با توجه به معادلات ۱ و ۲ می‌تواند بوسیله یک الکترود کلارک در کاتد پلاتینیوم با ولتاژ ۰/۶-۰/۹ ولت در مقابل یک الکترود مرجع Ag/AgCl (نقره\نقره کلر) با توجه به معادله زیر اندازه‌گیری شود [۴].

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \xrightarrow{-0.6\,V\ (vs.\ Ag/AgCl)} 4OH^- \quad (4)$$

1 β-Nicotinamide Adenine Dinucleotide (Phosphate) NAD(P)H

www.agrimechanization.com

با استفاده از کلرید پتاسیم (KCl) اشباع یک پل الکتریکی بین دو الکترود برقرار می‌شود و کل سامانه بطور ثابت با یک پلی‌اتیلن نازک یا غشا تفلون (۰/۳-۱/۳ میلی‌متر) پوشانده می‌شود [۴].

پراکسید هیدروژن بدست آمده از معادله ۲ را می‌توان با به‌شیوه آمپرومتری با اکسیداسیون در آند یک الکترود ماده جامد (مانند پلاتینیوم، کربن شیشه‌ای) قطبی شده در ۰/۶۵+ ولت با استفاده از معادله ۵ اندازه‌گیری کرد.

$$H_2O_2 \xrightarrow{0.65\ V\ (vs.\ Ag/AgCl)} O_2 + 2H^+ + 2e^- \quad (5)$$

در این پتانسیل که اکسیداسیون آنودی پراکسید هیدروژن روی می‌دهد، ترکیبات آلی مختلفی مانند اسید اسکوربیک و اسید اوریک کواکسیده شده و بنابراین، یک حسگر با گزینش‌پذیری[1] ضعیف را نتیجه می‌دهند [۴]. این مسئله‌ای سخت در الکتروشیمیایی است زیرا اختصاصی بودن بطور معکوسی با بزرگی پتانسیل به‌کار رفته ارتباط دارد.

۱-۱) شیشه روزنه‌دار کنترل شده (CPG)[2]، زئولیت‌ها، رس‌ها [۴]

شیشه روزنه‌دار کنترل شده بطور وسیعی در آنالیز آنزیمی به کار گرفته شده است. این زیست‌حسگرها بی‌حرکت‌سازی را با بازدهی بالا انجام داده و خصوصیات جریان خوبی داشته و به طور تجاری در تنوع وسیعی موجود هستند.

زئولیت‌ها کلاسی از آلومینو سیلیکات‌ها هستند که دارای ظرفیت تبادل یونی بالا بوده و بعنوان غربال مولکولی برمبنای ویژگی‌های استثنا کردن اندازه یا شکل به‌کار می‌رود. کلاس دیگری از مواد غیرآلی که بعنوان ماتریس‌هایی برای بی-حرکت‌کردن آنزیم‌ها به‌کار رفته‌اند، رس‌ها می‌باشند.

۱-۲) غشاهای پلیمری [۴]

غشاهای پلیمری متداول‌ترین ماتریس‌های گزارش شده برای بی‌حرکت کردن آنزیم‌ها هستند. انواع مختلف فیلم‌های پلیمری در ظرفیت‌های متنوع در طرح‌های زیست‌حسگرهای آمپرومتریک به‌کار رفته‌اند.

۱-۳) ماتریس‌های سل-ژل [۴]

شیشه‌های با منشأ سل-ژل بعنوان کلاس جدیدی از مواد پدیدار شده‌اند که مناسب بی‌حرکت کردن پروتئین‌ها می-باشد. شیمی سل-ژل برای فراهم آوردن وسیله‌ای برای بی‌حرکت کردن آنزیم‌ها به شیوه‌ای که گزینش‌پذیری و فعالیت آن‌ها حفظ شده و به آن‌ها اجازه دهد تا بعنوان پلت‌فرم زیست‌حسگر عمل کنند، اثبات شده است.

۱-۴) زیست‌حسگرهای با پایه کربن [۴]

یکی از طرح‌های بسیار متداول زیست‌حسگرهای آمپرومتریک در بر گیرنده ادغام یک کاتالیست زیستی در یک ماتریس کربن است. این نوع از زیست‌حسگرها را می‌توان در سه کلمه خلاصه کرد یعنی الکترودهای خمیر کربن (CPE)[3].

1 Selectivity
2 Controlled Pore Glass (CPG)
3 Carbon Paste Electrodes

www.agrimechanization.com

یک روند جدید و روبه رشد در زمینه الکترودهای پایه کربن کمپوزیت‌های پلیمر کربن هستند. در این مواد، کربن و پلیمر با یکدیگر میکس شده تا یک ماتریس رسانا و صلب بسازند که آنزیم(ها) و یا اجزای دیگر (کوفاکتورها، میانجی‌ها) را می‌توان بی‌حرکت ساخت. در این زیست‌حسگرها سطحی که قرار است حس کند، را می‌توان با یک فرآیند صیقل زنی ساده تجدید کرد.

۱-۵) تک‌لایه‌های دست‌ساز [۴]

استفاده از تک‌لایه‌های دست‌ساز (SAMs) در زمینه‌های تحقیقاتی مختلف سریعاً روبه رشد است. به‌ویژه، زیست-حسگرها از SAMs بعنوان لایه میانی بین یک سطح فلزی و یک محلول یا بخار استفاده می‌کنند. متداول‌ترین ترکیباتی که می‌توان در فرآیند SAMs از آن‌ها استفاده کرد عبارتند از آلکانوتیول‌ها، دیالکیل دی‌سولفیدها، یا دیالکیل سولفیدها بر روی طلا. استفاده از تک‌لایه‌های دست‌ساز در ساخت الکترودهای آنزیمی نسبت به تنوع وسیع آنزیم‌ها گسترش نیافته است. هرچند، تمایل روبه رشدی دیده می‌شود.

۲) حسگرهای بر پایه تشدید پلاسمون سطحی [۶] [۱]

پدیده‌های تشدید پلاسمون سطحی (SPR) پتانسیل خوبی برای زیست‌حسگرها نشان داده‌اند و نمونه‌های تجاری آنها در حال حاضر موجود است. این پدیده در طی روشن سازی سطح یک فلز روی داده و می‌توان آن را برای تحلیل واکنش بیومولکولی مهار کرد. می‌توان آن را بصورت نوسان چگالی شارژ در مرز بین دو ماده با ثابت‌های دی‌الکتریک با بار شارژ شده متضاد تشریح کرد. پلاسمون‌ها قسمت الکترون‌های آزاد لایه فلزی سطحی برانگیخته را نشان می-دهند. این برانگیختگی تشدید شده بوسیله فوتون انرژی نوری سازگار بدست آمده است. دامنه الکترومغناطیس پلاسمون بدست آمده یا موج محو شونده در مرز بین مواد تولیدکننده پلاسمون (فلز) و پیرامون حداکثر است. ماده پیرامون عموماً فاز آبی بوده و بنابراین کم چگال‌تر بوده و در نتیجه شاخص‌های انکساری کمتری داشته و بوسیله موج محوشونده به اندازه عمق تقریباً یک طول موج در آن نفوذ می‌شود. نوعاً، امواج هدایت شده در یک ساختار محدود کننده مانند فیبر نوری منتشر می‌شوند.

کاربرد زیست‌حسگرها در کشاورزی و صنایع غذایی

در کشاورزی و صنایع غذایی، کیفیت یک محصول با آنالیزهای متناوب شیمیایی و میکروبیولوژیکی ارزیابی می‌شود. این شیوه‌های آنالیز گران، کند، و نیازمند به کاربر آموزش دیده ورزیده بوده و در بعضی از موارد باید مراحل استخراج یا تیمار ابتدایی نمونه انجام گیرد که زمان آنالیز را افزایش می‌دهد [۳].

زیست‌حسگرها می‌توانند شیوه‌هایی سریع، بدون تخریب و مقرون به صرفه‌ای را برای پایش کیفیت یک محصول فراهم آورند. این حسگرها زمان سنجش و هزینه را کاهش داده و یا ایمنی تولید را افزایش می‌دهند و برای تشخیص و اندازه‌گیری آنالیت‌ها در سامانه‌های آنی به کار گرفته می‌شوند. این حسگرها این قابلیت را دارند که انقلابی برای حل مسائل درگیر با کشاورزی و صنایع غذایی برپا کنند [۳].

1 -Surface Plasmon Resonance-based Sensors (SPR)

www.agrimechanization.com

از آنجا که مصرف‌کنندگان برای سالم بودن محصولات غذایی اهمیت خاصی قائل‌اند، تولیدکنندگان مجبور هستند که تأکید بیشتری بر پایش کیفیت محصول داشته باشند [۳].

از جمله کاربردهای زیست‌حسگرها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد [۳]:

پایش منابع آب و غذا	پایش محیط زیست
پایش سلامتی حیوانات	پایش آلودگی زمین، آب، و هوا

بعلت خصوصیات منحصربه‌فرد و منعطف بودن زیست‌حسگرها، آینده خوبی در کاربردهای زیست‌محیطی و امنیت غذایی دارند. پیشرفت در زمینه‌های سمی بودن، فراهم بودن، و تشخیص چندین آلودگی این حسگرها می‌توانند دامنه کاربرد وسیعی داشته و بازار بالقوه آن رقابتی باشد [۳].

در صنایع غذایی می‌توان در تعیین انواع قندها و مواد غذایی و ارزیابی آن مواد از زیست‌حسگرها استفاده کرد.

۱) گلوکز	۸) اسید سیتریک
۲) فروکتوز	۹) گلوتامیک اسید
۳) ساکاروز	۱۰) اسکوربیک اسید
۴) لاکتولوز	۱۱) گلیسیرین
۵) لاکتوز	۱۲) اتانول
۶) اسید لاکتیک	۱۳) لیزین
۷) اسید مالیک	۱۴) شاخص‌های تازگی

زیست‌حسگرها بطور وسیعی بعنوان ابزارهای تحلیلی برای ارزیابی تازگی ماهی، تازگی حلزون، عمر گوشت، و کنترل کیفیت میوه‌ها در طول انبارداری مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

علیرغم کوشش‌های انجام گرفته برای به‌کارگیری زیست‌حسگرها، در پژوهش‌های مرتبط با کشاورزی و صنایع غذایی می‌توان از این حسگرها بیشتر استفاده کرد.

فهرست منابع:

۱) وبسایت رسمی گروه سنسور و بیوسنسور دانشگاه علوم‌پزشکی تهران (*http://emrc.tums.ac.ir/*)

2) Sharmin, F., S. K. Rakshit and H.P.W. Jayasuriya. 2007. Enzyme immobilization on glass surface for the development of Phosphate detection biosensors. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal: Manuscript FP 06 019 (4).

3) Neethirajan, S., C. Karunakaran and D.S. Jayas. 2005. Biosensors – an emerging technology for the agricultural and food industry. CSAE/SCGR 2005 Meeting, Winnipeg, Manitoba, Canada.

4) Prodromidis, M.I. and M.I. Karayannis. 2001. Enzyme based amperometric biosensors for food analysis. Electroanalysis, 14(4):241-261.

5) De Corcuera J.I.R. and R.P. Cavalieri. 2003. Biosensors. Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering, 119-123.

6) Leonard, P., S. Hearty, J. Brennan, L. Dunne, J. Quinn, T. Chakraborty, R. O'Kennedy. Advances in biosensors for detection of pathogens in food and water. Enzyme and Microbial Technology, 32:3–13

www.agrimechanization.com