

کاربرد بیوسنسورهای زیستی در تشخیص فساد باکتریایی و کنترل کیفیت مواد غذایی

بهزاد محمدی^{۱*} درنا عبدالخانی^۲ مریم حیدری^۲

گروه آموزشی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، موسسه آموزش عالی آفاق، ارومیه، ایران
دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم و صنایع غذایی، گرایش بیوتکنولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، یاسوج، ایران
دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین پیشوا، ورامین، تهران

چکیده

بیماری های منتقله از غذا چالش بزرگی را برای سیستم مراقبت های بهداشتی و صنایع غذایی در سراسر جهان نشان می دهد به طوری که سالانه افراد زیادی در سراسر جهان با مصرف پاتوژن های غذایی بیمار می شوند. این بیماری های ناشی از آلودگی فیزیکی و شیمیایی غذاها و حضور میکروارگانیسم های بیماری زا میباشد. حسگرهای زیستی یک رویکرد جدید برای تشخیص سریع پاتوژن های غذایی در محصولات غذایی در نظر گرفته شده اند. بیوسنسورها یک دستگاه آنالیزی هستند که شناسایی بیولوژیکی مولکول هایی مانند آنزیم ها، آنتی بادی ها، فاژها، آپتامرها یا DNA تک رشته ای را بایک مبدل فیزیوشیمیایی مناسب ادغام می کنند. می توانند سیگنال های بیولوژیکی، شیمیایی یا بیوشیمیایی را به سیگنال های الکتریکی قابل اندازه گیری تبدیل کنند. کاربرد تکنیک بیو سنسورها در زمینه ی فراوری غذا و کنترل کیفیت این اجازه را به تولید کنندگان می دهد که نیاز مشتری را بر آورده کنند. تجزیه و تحلیل مواد غذایی برای اطمینان یافتن از سلامت و بی خطر ماندن مواد غذایی تا زمان رسیدن به دست مصرف کننده و همچنین افزایش زمان نگهداری مواد فساد پذیر و بهبود کیفیت آنها ضروری است. هدف این مقاله، مرور و ارائه اثربخشی اشکال مختلف فن آوری های سنجش برای تشخیص عوامل بیماری زای مواد غذایی در محصولات غذایی و همچنین معیارهای استفاده صنعتی از این فناوری می باشد. در این مقاله مولفه های اصلی و الزامات یک حسگر زیستی ایده آل، انواع و کاربردهای آنها در صنایع غذایی خلاصه می شود. این بررسی همچنین بر روی کاربرد حسگرهای زیستی در ایمنی مواد غذایی تمرکز دارد.

واژگان کلیدی: حسگرهای زیستی، باکتری های بیماری زا، پایش کیفیت، ایمنی مواد غذایی

چکیده گرافیکی



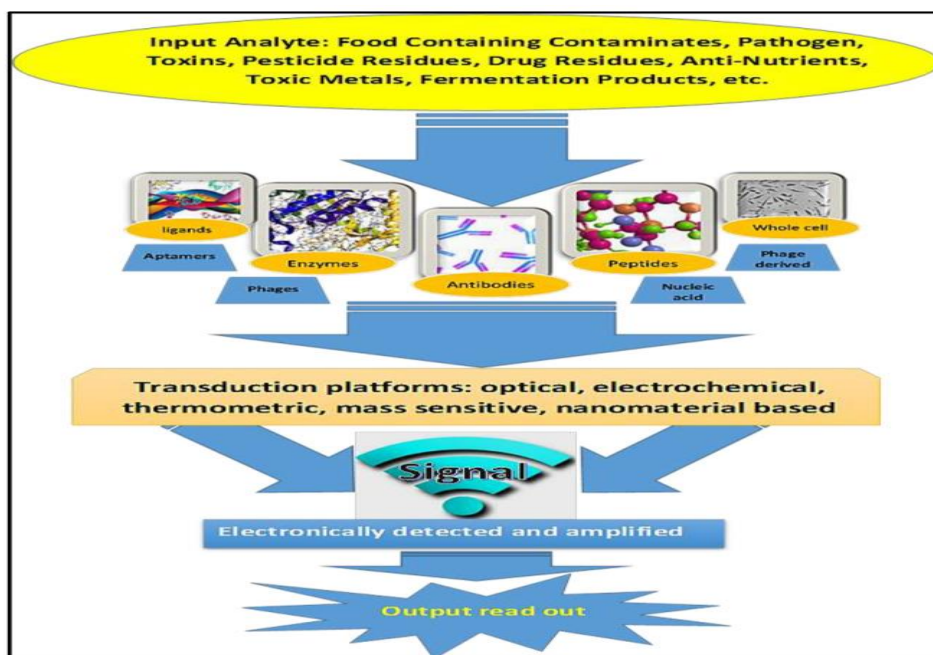
مقدمه

یکی از وظایف مهم صنایع غذایی فراهم نمودن مواد غذایی سالم و بی خطر برای مصرف کنندگان است که شامل فرآوردهایی همچون فرآوری، حمل و نقل و نگهداری شده که اغلب این فرآوردها قبل از رسیدن ماده غذایی به دست مصرف کننده بر روی مواد غذایی که فساد پذیری بالایی دارند صورت گرفته است (Scognamiglio et al., 2014). از آنجا که مصرف کنندگان نیز اهمیت قابل توجهی برای کیفیت محصولات غذایی که می خرند، قائل هستند لذا این مسئله دست اندرکاران صنایع غذایی را وادار کرده تا بر کنترل محصولات غذایی تأکید بیشتری داشته باشند. بنابراین تجزیه مواد غذایی برای اطمینان یافتن از سلامت و بی خطر ماندن مواد غذایی تا زمان رسیدن به دست مصرف کننده و همچنین افزایش زمان نگهداری مواد فساد پذیر و بهبود کیفیت آنها ضروری است. در صنایع کشاورزی و غذایی کیفیت محصول در حال حاضر توسط تجزیه های شیمیایی و آزمون های میکروبی بصورت دوره ای و مستقیم سنجیده شده که این روش ها غالباً هزینه بر بوده، با توجه به اینکه در اکثر موارد نیاز به مرحله آماده سازی یا استخراج نمونه هست، آزمون زمان بر بوده و از طرفی نیز برای انجام این آزمون ها به تکنیسین های ماهر نیاز دارد (Ali et al, 2020). لذا یافتن روشی مناسب، سریع و مؤثر که توسط آن بتوان تجزیه های شیمیایی مواد غذایی را انجام داده و حضور ترکیبات آلرژیک و پاتوژن را آشکار ساخت یکی از بزرگترین چالش هایی است که در صنایع فرآوری مواد غذایی با آن روبرو هستیم. اختراعات اخیر در زمینه الکترونیک و تکنولوژی کامپیوتر افق های جدیدی را برای رسیدن به بالاترین حد دقت در کنترل مواد اولیه، محصولات، فرآوردها، عملکرد ماشین ها در صنایع غذایی و برطرف کردن چالش فوق باز کرده است. از جمله این اختراعات بیوسنسورها هستند، که حاصل تحقیقات پیشرفته بین چند رشته مختلف همچون شیمی

تجزیه، بیولوژی و میکروالکترونیک می باشد. بیوسنسورها زمان و هزینه آزمایشات را کاهش داده و از طرفی اطمینان از سلامت محصول را افزایش داده اند. بیوسنسورها همچنین برای شناسایی یا اندازه گیری آنالیت ها در سیستم های مداوم نیز کارایی یافته اند. اینها در واقع ایجاد کننده روشی سریع، غیر مخرب و داده دهنده برای کنترل کیفی یک محصول می باشند. فناوری حسگر زیستی به عنوان یک شاخص مفید از آلودگی باکتریایی در مواد غذایی و سطوح تماس با مواد غذایی توسعه یافته است. با توجه به این مسائل بیوسنسورها قابلیت خلق یک انقلاب تجزیه و تحلیلی را برای حل مشکلات میکروبی در صنایع غذایی را دارند (Mustafa & Andreescu, 2018).

بیوسنسور یا حسگر

بیوسنسور به یک دستگاه تحلیلی مؤثر و خلاقانه اشاره دارد که دارای عملکرد سنجش بیولوژیکی با کاربردهای متنوعی مانند ایمنی مواد غذایی، نظارت بر محیط زیست، زیست پزشکی و کشف دارو است (Vigneshvar et al, 2016). به طور خاص، بیوسنسورها به طور گسترده ای در شناسایی و تشخیص باکتری ها استفاده می شوند و به عنوان یکی از کارآمدترین و دقیق ترین روش های تجزیه و تحلیل مواد غذایی و نظارت بر ایمنی مواد غذایی مورد توجه زیادی قرار گرفته اند (Rotariu et al, 2016). در واقع بیوسنسورها سیستم های شناسایی بیولوژیکی هستند که از ترکیب عناصر حساس بیولوژیکی با ترانسدوسرهای مناسب تشکیل شده اند و قادرند غلظت مواد مورد تجزیه با فعالیت های بیولوژیکی را به سیگنال های الکترونی و دیجیتالی تبدیل کنند. بیوسنسور به عنوان ابزار تجزیه گر فشرده ای تعریف می شود که در آن یک ماده بیولوژیکی حساس یا مشتق شده بصورت بیولوژیکی (Bioreceptor) با اتصال فیزیکی شیمیایی در تماس نزدیک با مبدل (Transducer) قرار گرفته است. اساس کار در این وسیله با ایجاد اتصال مخصوص بین آنالیت مورد نظر با عنصر شناساگر بیولوژیکی مکمل (بیوکاتالیست) آن که بر روی یک تکیه گاه مناسب واسطه تثبیت شده همراه می باشد. نتیجه این عمل متقابل ویژه تغییر در یک یا بیشتر از خصوصیات فیزیکی شیمیایی محیط خواهد بود. (مثل تغییر pH، انتقال الکترون، تغییر جرم، انتقال حرارت، جذب یا آزادسازی گازها یا یون های مخصوص) که به وسیله مبدل شناسایی شده و به سیگنالی الکتریکی تبدیل شده و در نهایت به صورت عددی کمی نشان داده می شود (Chae et al, 2019). حسگرهای زیستی معمولاً شامل دو جزء اصلی هستند: یک جزء شناسایی هدف مانند گیرنده ها، اسیدهای نوکلئیک یا آنتی بادی ها و یک مبدل سیگنال که تشخیص هدف را به سیگنال های قابل تشخیص فیزیکی تبدیل می کند. بازتاب داخلی، انتقال انرژی شدید فلورسانس (FRET) لومینسانس شیمیایی، بیولومینسانس و تشدید پلاسمون سطحی (SPR) به عنوان مبدل های نوری در ساخت حسگرهای زیستی استفاده شده است. به طور کلی، حسگرهای زیستی ممکن است بر اساس نوع عنصر انتقال به سه گروه اصلی تقسیم شوند: حسگرهای زیستی نوری، حسگرهای زیستی مکانیکی و حسگرهای الکتروشیمیایی (Jayan et al, 2019).



شکل ۱- شماتیک اجزای تشکیل دهنده حسگر زیستی

اجزای بیوسنسور

جزء حساس زیستی یا بیوکاتالیست

به طور کلی یک سیستم یا ترکیب زیستی تثبیت شده می باشد که قادر است به طور اختصاصی مولکول هدف را از بین عناصر دیگر تشخیص دهد و ترکیبات زیستی که در طراحی بیوسنسورها استفاده می شوند شامل آنزیم ها، آنتی بادی ها، اندامک ها، باکتری ها، سلول کامل، تکه های بافت.

مبدل یا ترانسدیسور

مبدل، قسمتی از سنسور است که پدیده ی تشخیص داده شده ی زیستی را به یک سیگنال را به سیگنال الکتریکی قابل اندازه گیری مثل ولتاژ یا جریان تبدیل می کند که پس از واکنش ماده ای خاص با جزء حساس زیستی وارد عمل می شوند و می توانند نوع و مقدار واکنش را با رو های مختلف فیزیکی- شیمیایی به وسیله ی سیگنال های مناسب به پردازنده ارسال کنند انواع مبدل ها شامل مبدل های نوری، الکتروشیمیایی، پیزوالکتریک، گرمایی می باشند.

آمپلی فایر و پردازش سیگنال

آمپلی فایر ها دستگاه های الکترونیکی استاندارد هستند که سیگنال مبدل را قبل از رسیدن به نمایشگر پردازش می کنند (Ahmed, 2021).

پاتوزن های غذایی

در سال های اخیر، تقاضا برای افزایش امنیت غذایی به تدریج افزایش یافته است. همانطور که در رسانه ها و سایر منابع گزارش شده است، بیماری های ناشی از آلودگی باکتریایی حدود ۴۰ درصد در همه عفونت ها را تشکیل می دهند و بیماری های ناشی از بیماری زاهای غذایی تأثیر قابل توجهی بر سلامت کل جمعیت و همچنین اقتصاد دارند (Zhang et al, 2017).

بنابراین بیماری های منتقله از غذا چالش بزرگی را برای سیستم های مراقبت های بهداشتی در سراسر جهان نشان می دهد . به عنوان مثال، در ایالات متحده، سالانه حدود ۴۸ میلیون نفر از بیماری های ناشی از غذا رنج می برند که منجر به حدود ۱۲۸۰۰۰ بستری شدن در بیمارستان، ۳۰۰۰ مرگ و ۱۵/۶ میلیارد دلار خسارت اقتصادی می شود. از آنجایی که منابع آب و غذای انسان می تواند به راحتی توسط طیف وسیعی از پاتوژن های میکروبی آلوده شود، در صورت مصرف این پاتوژن های میکروبی یا سموم آنها، بیماری های جدی ایجاد می شود (Tauxe, 2002). باکتری ها، ویروس ها و انگل ها شایع ترین پاتوژن هایی هستند که باعث بیماری های ناشی از غذا می شوند، اما بیماری های قارچی منتقله از غذا نیز شناسایی شده اند. باکتری ها شناخته شده ترین پاتوژن های منتقله از غذا هستند و بیشترین تعداد بیماری های منتقله از غذا را ایجاد می کنند، از جمله بیشترین بستری شدن در بیمارستان (۶۳/۹٪) و مرگ و میر (۶۳/۷٪) (Scallan et al, 2011). آلودگی باکتریایی می تواند باعث تحریک مکرر روده، بیماری کلیوی، ناتوانی ذهنی، التهاب مفاصل گیرنده، اختلال بینایی و حتی مرگ شود. علاوه بر این، بیماری های منتقله از غذا می توانند به دلیل سموم تولید شده از باکتری ها یا قارچ ها ایجاد شوند که ممکن است حتی پس از فرآوری غذا زنده بمانند. غذاهای خام، از جمله گوشت و مرغ یا سبزیجات، میوه ها، تخم مرغ، محصولات لبنی و حتی غذاهای دریایی پخته شده، می توانند هم با پاتوژن های غذایی و هم سموم آنها آلوده شوند (Costanzo et al, 2020).

پایش فعالیت های میکروارگانیسم ها در ماتریس غذا

یک سیستم نظارت محیطی میکروبیولوژیکی موفق می تواند هشدارهای اولیه در مورد خطرات میکروبیولوژیکی احتمالی در مواد غذایی ارائه دهد، مشکلات را شناسایی کند و در نتیجه از ایمنی میکروبیولوژیکی جامع پشتیبانی کند. بنابراین، برای چندین دهه، جنبه های میکروبیولوژیکی ایمنی مواد غذایی به شدت مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال، حفظ حفاظت از مواد غذایی همیشه جنبه بسیار مهمی از سیاست های دولت در برخی کشورها بوده است. سیستم های مدیریتی برای جلوگیری از ورود آلاینده های مضر به زنجیره غذایی راه اندازی شده اند. با توجه به مراکز کنترل و پیشگیری از بیماری ها (CDC) تأثیر میکروارگانیسم هایی مانند باکتری ها، ویروس ها و قارچ ها بر زندگی انسان قابل توجه است (Jayan et al, 2019). پیاده سازی و نظارت بر ایمنی مواد غذایی میکروبی به افزایش بهره وری، دستمزدهای بالاتر، توسعه پایدار و معیشت بهتر کمک می کند، به همین دلیل است که پیشنهاد شده است که سیاست گذاران سیاست های ایمنی غذایی مناسب را به منظور ارتقای تغذیه جهانی و بهبود امنیت غذایی اجرا کنند (Havelaar et al, 2010). ایمنی مواد غذایی میکروبی با ایمنی مواد غذایی شیمیایی تفاوت اساسی دارد. اگرچه آلاینده های شیمیایی و افزودنی ها معمولاً در سطوح از پیش تعیین شده به زنجیره غذایی می پیوندند، میکروب ها ممکن است در هر نقطه ای اضافه شوند. در نتیجه، مقررات غذا در همه جا در این سطح بسیار ساده است. به عنوان مثال، قانون غذای عمومی اتحادیه اروپا بیان می کند: "در پیگیری سیاست های جامعه باید از سطح بالایی از حفاظت از زندگی و سلامت انسان اطمینان حاصل شود. ایمنی میکروبیولوژیکی محصولات مصرفی نیز با ویژگی های بهداشتی سیستم تولید مرتبط است. در این شرایط اجرای روش های بهداشتی کافی برای حفاظت از محصول نهایی ضروری است. ارزیابی اثربخشی چنین روش هایی برای اطمینان از این روش ها مهم است (Öz, & Arun, 2019) در واقع، تمام مقررات ایمنی مواد غذایی نیازمند این فعالیت های بازرسی هستند. بنابراین محققان تلاش های قابل توجهی برای ایجاد روش های سریع و موثر برای برآوردن نیازهای تحقیقات روزانه و نظارت بر تولید مواد غذایی انجام می دهند. الزام نظارت بر آلودگی در زنجیره غذایی شامل چندین روش تحلیلی و استفاده از ابزار دقیق و خودکار است که اخیراً برای تشخیص آلاینده ها در مواد غذایی توسعه یافته است. با این حال، هنوز اشکالات و محدودیت های زیادی برای استفاده از این رویکردهای سنتی وجود دارد علاوه بر این، ابزارهای تشخیصی باید قادر به ارزیابی امکان سنجی و انعطاف پذیری کافی برای شناسایی پاتوژن مورد نگرانی باشند.

انواع حسگرهای زیستی

حسگرهای زیستی بسته به اصول کارشان به گروه های مختلفی دسته بندی می شوند. نمونه هایی از حسگرهای زیستی عبارتند از حسگرهای الکتروشیمیایی، مکانیکی، بیولوژیکی، صوتی، تشدید پلاسمون سطحی (SPR) و حسگرهای زیستی نوری.

بیوسنسورهای نوری

روش های حسگر زیستی نوری که با حساسیت بالا، جابجایی ساده و تشخیص سریع مشخص می شوند، به طور گسترده برای شناسایی تعداد بسیار زیادی از باکتری ها استفاده شده اند (Qiao et al, 2020). بیوسنسورهای نوری امکان تجسم فعالیت های میکروبی در غذا را با چشم غیرمسلح فراهم می کنند. تغییر در سطح انتقال به دلیل اتصال سلولی با اتصال مستقیم یا شناسایی لیگاند به تشخیص آنالیت فعال کمک می کند. بیوسنسورهای نوری ممکن است میکروب ها را در مواد غذایی از طریق تشخیص درجا در ضریب شکست یا با استفاده از ضخامتی که با اتصال سلول های باکتری به گیرنده های روی سطح مبدل ایجاد می شود، تشخیص دهند. حسگر بیولوژیکی نوری حاوی یک پلیمر زیست تخریب پذیر توسط آنزیم های تحلیلی است که توسط میکروارگانیسم ها در طول زوال محصول طبیعی ترشح می شود. با افزایش تعداد باکتری ها، ترشح آنزیم هایی که باعث تخریب غذا می شوند، افزایش می یابد که با تخریب پلیمر قابل مشاهده خواهد بود. رنگ سنجی، فلورسانس، نوریابی شیمیایی و تشدید پلاسمون سطحی (SPR) تکنیک های نوری اصلی مورد استفاده هستند (Borisov et al, 2008).

بیوسنسورهای الکتروشیمیایی

تکنیک های سنجش زیستی الکتروشیمیایی یکی از پرکاربردترین پلتفرم ها برای تشخیص پاتوژن های منتقله از غذا هستند. حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی به دلیل هزینه کم، دقت، ظرفیت کوچک سازی و توانایی تشخیص تغییرات به طور مستقیم بر اساس تعامل بین سنسور و نمونه، تکنیک های موفقی برای تشخیص باکتری هستند. با این حال، زمان مورد نیاز برای تشخیص آلودگی مواد غذایی با استفاده از حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی با پیشرفت روش های جدید، که برخی از آنها به کمتر از ۱۰ دقیقه نیاز دارند، به طور قابل توجهی کاهش یافته است. حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی با توجه به سیگنال های الکتریکی مختلف تولید شده در اثر وجود اهداف به روش های امپدیمتری، پتانسیومتری، آمپرومتری، الکتروشیمیایی، ولتامتری و رسانایی طبقه بندی می شوند (Bansod et al, 2017). در طول دهه گذشته، توسعه تصاعدی در حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی برای تجزیه و تحلیل مواد غذایی و نوشیدنی ها و شناسایی ارگانیسم های اصلاح شده ژنتیکی (GMOs) در غذا مشاهده شده است. چن و همکارانش ۲۰۱۸ اخیراً نانولوله های کربنی پلی آنیلین (CNTs) را به عنوان یک نانو کاوشگر ردوکس متصل به یک کاوشگر سیگنال برای افزایش سیگنال الکتروشیمیایی برای تشخیص مایکوباکتریوم توپرکلوزیس ایجاد و توسعه دادند. یک بیوسنسور نانولوله کربنی تک جداره (SWCNT) با موفقیت با یک آنتی بادی پلی کلونال برای شناسایی یرسینیا انتروکولیتیکا در محلول های کیمچی با تشخیص کم $4 \log \text{CFU/mL}$ تثبیت شد. بیوسنسور پتانسیومتری مبتنی بر کاغذ یکبار مصرف برای تشخیص سالمونلا تیفی موریوم طراحی شده است. در مرحله اول، ترکیب اتیلن دی اکسی تیوفن: پلی استایرن سولفونات روی کاغذ صافی پوشانده شد. سپس آنتی بادی های باکتری هدف به صورت کووالانسی به کاغذ صافی متصل شدند. محدوده خطی $4/07 \log \text{CFU/mL}$ با حد تشخیص $0/698 \log \text{CFU/mL}$ ثبت شد. کمتر از ۵ دقیقه برای انجام تجزیه و تحلیل و به دست آوردن نتایج کافی بود (Silva et al, 2019). به طور مشابه، سیلوا و همکاران روش دیگری را برای تشخیص سالمونلا تیفی موریوم در آب سیب با استفاده از یک بیوسنسور پتانسیومتری که بر روی یک غشای گنجانده شده پلیمری نانوذرات طلا ترکیب شده بود، توسعه دادند و حد تشخیص ۶ سلول در میلی لیتر به دست آمد.

بیوسنسورهای مکانیکی

بیوسنسورهای مکانیکی می توانند انحراف سطح حسگر حساس به جرم را اندازه گیری کنند، زیرا آنالیت های هدف روی سطح عامل دار پیوند می شوند. حسگرهای زیستی مکانیکی معمولاً با توجه به برهمکنش های شیمیایی حسگر-آنالیت به چهار گروه

بزرگ طبقه‌بندی می‌شوند: سنجش‌های مبتنی بر تمایل، سنجش اثر انگشت، سنجش مبتنی بر جداسازی و سنجش‌های طیف‌سنجی (Arlett et al, 2011). میکروبالانس کریستال کوارتز (QCM) یک بیوسنسور مکانیکی است که به دلیل ظرفیت آن برای ردیابی تغییرات جرم در مقادیر زیر نانوگرم، به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. تغییر جرم با استفاده از حسگرهای زیستی QCM توسط فرکانس تشدید کریستال کوارتز تشخیص داده می‌شود و این تکنیک معمولاً با حساسیت بسیار زیاد برای تعیین کمیت کل سلول میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شود. بایرام اوغلو و همکاران ۲۰۱۹ یک-QCM aptasensor برای جداسازی و تشخیص سریع بروسلا ملتینسیس در شیر و فرآورده‌های شیری طراحی کرد. آپتامر بر روی نانوذرات مغناطیسی و تراشه QCM برای تشخیص کمی *B. melitensis* با ویژگی بالا تثبیت شد. حد تشخیص بیوسنسور QCM برای تعیین *B. melitensis* 3 log CFU/mL بود. لکتین‌ها به عنوان یک عنصر شناسایی روی سطح تراشه QCM برای شناسایی پاتوژن ناشی از غذا *Campylobacter jejuni* استفاده و بی حرکت شدند. حد تشخیص 3 log CFU/mL بود. یک استراتژی اصلاح شده برای بهبود حساسیت سنجش توسط Masdor و همکاران ۲۰۱۶ مورد استفاده قرار گرفت که *E. Campylobacter jejuni* را بر اساس گنجاندن نانوذرات طلای مزدوج آنتی‌بادی شناسایی کردند. حد تشخیص افزایش یافت و 2/17 log CFU/mL بود زیرا نانوذرات طلا اثرات تقویت جرمی را از خود نشان دادند. چندین مطالعه دیگر با موفقیت برای توسعه یک حسگر جدید بر اساس یک میکروبالانس کریستال کوارتز با اتلاف برای شناسایی گسترده‌ترین مایکوتوکسین‌ها در شراب قرمز به نام اکراتوکسین A به کار گرفته شده است. روشی که در اینجا توضیح داده شد سریع، حساس و مقرون به صرفه بود و زمان تجزیه و تحلیل کمتر از یک ساعت بود حد تشخیص 0/016 نانوگرم در میلی لیتر با محدوده خطی عالی بین 0/2 و 40 نانوگرم در میلی لیتر به دست آمد.

بیوسنسورهای بیولوژیکی

حسگرهای زیستی یا حسگرهای بیولوژیکی، از حسگرهایی هستند که بر اساس اصول بیولوژیکی عمل می‌کنند. این حسگرها، بر پایه تشخیص تغییرات محیطی که در آن‌ها قرار دارند، عمل می‌کنند. محیط زیستی که حسگرهای زیستی در آن عمل می‌کنند، می‌تواند شامل بدن انسان، حیوانات، گیاهان، آب، هوا، خاک و زیستگاه‌های زیستی دیگر باشد. به عنوان مثال دستگاه سنجش قند خون، نمونه‌ای از حسگرهای زیستی است. ابزار آلات صنعتی آنالیز اغلب کمیاب و محدود به دو پارامتر pH و هدایت الکتریکی می‌باشند. برخی ابزارها نظیر ابزار اندازه‌گیری انکسار نور نیز ممکن است برای ارزیابی ترکیب استفاده شوند. با این حال اغلب کاربرد این ابزارهای آنالیز برای مواد زیستی به علت حضور ترکیبات مزاحم در غلظت‌های متغیر که در اندازه‌گیری دخالت می‌کنند محدود می‌شود. در اکثر موارد آنالیز دقیق مواد بیولوژیکی هزینه بر بوده و نیاز دارد تا در آزمایشگاه‌های مجهز به ابزارهای دقیق و پیچیده انجام شود. اکثر چنین آنالیزهایی به تصفیه و خالص سازی قبلی نیاز دارند که نسبت به زمان انجام تست، زمان بر می‌باشند و پیاده سازی این موارد حین عملیات از نظر مقاصد کنترلی غیر ممکن است. با این حال در موجودات زنده، اجزای زیستی مانند آنتی بادی‌ها و آنزیم‌ها به عنوان ابزارهای کنترلی و حسگرهای طبیعی عمل می‌کنند. توانایی جداسازی و خالص سازی این پروتئین‌ها و دیگر عناصر زیستی مانند سلول‌ها یا اندامک‌ها، اجازه ادغام آنها با دستگاه‌های انتقال فیزیکی شیمیایی را برای تولید حسگرهای زیستی داده است (Singh et al, 2020).

حسگرهای صوتی

اساس کار حسگرهای فراصوت مشابه رادار یا ردیاب صوتی، تشخیص ویژگی‌های هدف از طریق تحلیل بازتاب امواج رادیویی یا صوتی می‌باشد. حسگرهای فراصوت امواج صوتی با فرکانس بالا ایجاد می‌کنند و موج بازتاب شده را دریافت و تحلیل می‌کنند. این حسگرها با محاسبه زمان بین فرستادن سیگنال و گرفتن بازتاب، فاصله جسم را محاسبه می‌کنند. از این فناوری می‌توان در اندازه‌گیری سرعت و جهت باد یا میزان پر بودن یک مخزن استفاده کرد. برای اندازه‌گیری سرعت و جهت، یک دستگاه از

چندین گیرنده استفاده می کند و از روی فاصله^۱ نسبی آنها سرعت را اندازه می گیرد. برای اندازه گیری میزان مایع داخل یک مخزن نیز کافیت فاصله از سطح مایع اندازه گرفته شود. به طور معمول از فرستنده و گیرنده هایی استفاده می شود که با تبدیل انرژی الکتریکی به صوتی امواج صوتی بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز ایجاد می کنند و با دریافت بازتاب امواج صوت را بار دیگر به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند تا قابل اندازه گیری و نمایش باشند. مشکلات عمده این فناوری شکل های گوناگون سطوح اجسام و چگالی یا غلظت مواد است. به عنوان مثال وجود کف در سطح یک مایع این عمل را مختل می کند (Fogel et al, 2016)

شناسایی میکروارگانیسم ها به کمک بیوسنسورها در صنعت مواد غذایی

تداخل سنجی انعکاسی یک تکنولوژی تجزیه ای است که با استفاده از نانو تکنولوژی، تشخیص اپتیکی ویژه، سریع و بدون نیاز به برچسب گذاری بیومولکول ها در مخلوط های پیچیده را امکان پذیر می سازد. نمونه این تکنولوژی جدید برای تشخیص باکتری اشریشیاکلی توسط اندازه گیری و آشکارسازی پراش نور توسط میتوکندری سلول در نمونه های مواد غذایی، استفاده شده است. اساس کار این بیوسنسور بدین گونه می باشد که پروتئینی از یک باکتری معین که بر روی یک تراشه سیلیکونی قرار گرفته است، میتواند با هر باکتری اشریشیاکلی موجود در نمونه غذا پیوند دهد. این اتصال موجب پراکنش نور در مقیاس نانو شده و توسط آنالیز تصاویر دیجیتالی قابل آشکارسازی است (Nayak et al, 2009).

نتیجه گیری

اسادایه از تبنووژی بیوسنسورها برای ایمنی غاء، برلوریه کرین اسانداریه ایمنی و کیدی بین اومللی را تسهیل می کند و لشبارسازی موثر، ایمن و تعیین مقدار میروار انیسم های پاتوژن مرتبط با بیماری های با منشا غایی و لالینده های غیر لوی تهدید کننده سلامت مصرف کننده را اجازه می دهد به هر حال لشبارسازی غلظت های کم موای لوویه کننده شیمیایی و بیووژی بیو محصولات برای مصرف انسان و حیوان الزم استو انایابی بوین، اخصاصی بوین و پاسخ سریع، به سیسام های پایر و اناقال بیوسنسور بساگی یاری چون لن ها بر اساس ثبت واکنش هایی هساند که تغییرات فیزیکی، شیمیایی و یا 7ایمونووژی بیو ایجاد می کنندو این فرم از قرائت که موجب پاسخ سریع می شوی یر کنارل فرلیند کشاورزی- غایی ایده لل استو ا ر چه تبنووژی بیوسنسورها تقریبا ۵۱ سال عمر یاری، چندین زمینه وجوی یاری که هنوز تحت بررسی هساندو یک جساجوی مداوم برای یافان اجزای تشیی جدید یاری خصوصیات فرسایش حداقل و فاقد موای ممانعت کننده که لشبار سازی لنوایت را بلوک می کنند بایسای صورت یربو

منابع

- Scognamiglio, V., Arduini, F., Palleschi, G., & Rea, G. (2014). Biosensing technology for sustainable food safety. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 62, 1-10.
- Ali, A. A., Altemimi, A. B., Alhelfi, N., & Ibrahim, S. A. (2020). Application of biosensors for detection of pathogenic food bacteria: a review. *Biosensors*, 10(6), 58.
- Mustafa, F., & Andreescu, S. (2018). Chemical and biological sensors for food-quality monitoring and smart packaging. *Foods*, 7(10), 168.
- Vigneshvar, S., Sudhakumari, C. C., Senthilkumaran, B., & Prakash, H. (2016). Recent advances in biosensor technology for potential applications—an overview. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 4, 11.
- Rotariu, L., Lagarde, F., Jaffrezic-Renault, N., & Bala, C. (2016). Electrochemical biosensors for fast detection of food contaminants—trends and perspective. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 79, 80-87.
- Chae, W., Kim, P., Hwang, B. J., & Seong, B. L. (2019). Universal monoclonal antibody-based influenza hemagglutinin quantitative enzyme-linked immunosorbent assay. *Vaccine*, 37(11), 1457-1466.
- Jayan, H., Pu, H., & Sun, D. W. (2020). Recent development in rapid detection techniques for microorganism activities in food matrices using bio-recognition: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 233-246.
- Ahmed, J. (2021). Electrospinning for the manufacture of biosensor components: A mini-review. *Medical Devices & Sensors*, 4(1), e10136.
- Zhang, Z., Wang, C., Zhang, L., Meng, Q., Zhang, Y., Sun, F., & Xu, Y. (2017). Fast detection of *Escherichia coli* in food using nanoprobe and ATP bioluminescence technology. *Analytical Methods*, 9(36), 5378-5387.
- Tauxe, R. V. (2002). Emerging foodborne pathogens. *International journal of food microbiology*, 78(1-2), 31-41.
- Scallan, E., Griffin, P. M., Angulo, F. J., Tauxe, R. V., & Hoekstra, R. M. (2011). Foodborne illness acquired in the United States—unspecified agents. *Emerging infectious diseases*, 17(1), 16.
- Costanzo, N., Ceniti, C., Santoro, A., Clausi, M. T., & Casalnuovo, F. (2020). Foodborne pathogen assessment in raw milk cheeses. *International Journal of Food Science*, 2020.
- Havelaar, A. H., Brul, S., De Jong, A., De Jonge, R., Zwietering, M. H., & Ter Kuile, B. H. (2010). Future challenges to microbial food safety. *International Journal of Food Microbiology*, 139, S79-S94.
- Öz, P., & Arun, Ö. Ö. (2019). Evaluating the performance of ATP bioluminescence method by comparison with classical cultural method. *Food and Health*, 5(2), 77-82.
- Qiao, Z., Fu, Y., Lei, C., & Li, Y. (2020). Advances in antimicrobial peptides-based biosensing methods for detection of foodborne pathogens: A review. *Food Control*, 112, 107116.
- Borisov, S. M., & Wolfbeis, O. S. (2008). Optical biosensors. *Chemical reviews*, 108(2), 423-461.
- Bansod, B., Kumar, T., Thakur, R., Rana, S., & Singh, I. (2017). A review on various electrochemical techniques for heavy metal ions detection with different sensing platforms. *Biosensors and Bioelectronics*, 94, 443-455.
- Silva, N. F., Almeida, C. M., Magalhães, J. M., Gonçalves, M. P., Freire, C., & Delerue-Matos, C. (2019). Development of a disposable paper-based potentiometric immunosensor for real-time detection of a foodborne pathogen. *Biosensors and Bioelectronics*, 141, 111317.



Arlett, J. L., Myers, E. B., & Roukes, M. L. (2011). Comparative advantages of mechanical biosensors. *Nature nanotechnology*, 6(4), 203-215.

Bayramoglu, G., Ozalp, V. C., Oztekin, M., & Arica, M. Y. (2019). Rapid and label-free detection of *Brucella melitensis* in milk and milk products using an aptasensor. *Talanta*, 200, 263-271.

Masdor, N. A., Altintas, Z., & Tothill, I. E. (2016). Sensitive detection of *Campylobacter jejuni* using nanoparticles enhanced QCM sensor. *Biosensors and Bioelectronics*, 78, 328-336.

Singh, S., Kumar, V., Dhanjal, D. S., Datta, S., Prasad, R., & Singh, J. (2020). Biological biosensors for monitoring and diagnosis. *Microbial biotechnology: basic research and applications*, 317-335.

Fogel, R., Limson, J., & Seshia, A. A. (2016). Acoustic biosensors. *Essays in Biochemistry*, 60(1), 101-110.

Nayak, M., Kotian, A., Marathe, S., & Chakravorty, D. (2009). Detection of microorganisms using biosensors—A smarter way towards detection techniques. *Biosensors and bioelectronics*, 25(4), 661-667.



Application of biological biosensors in bacterial spoilage detection and food quality control

Behzad Mohammadi^{1*}

Department of Food Science and Technology, Afagh
Higher Education Institute, Urmia, Iran

Dorna Abdolkhani²

Ph.D. student, Department of Food Sciences and Industries, Biotechnology
Orientation, Islamic
Azad University Yasouj Branch, yasouj, Iran

Maryam Heydari³

PhD. student, Department of Food Science and Industry, Islamic Azad
University, Varamin Pishva branch, Varamin- Iran

Abstract

Foodborne diseases represent a major challenge to the health care system and food industry worldwide, as many people around the world become ill each year by consuming foodborne pathogens. These diseases are caused by physical and chemical contamination of food and the presence of pathogenic microorganisms. Biosensors are considered as a new approach for rapid detection of foodborne pathogens in food products. Biosensors are analytical devices that integrate biological detection of molecules such as enzymes, antibodies, phages, aptamers or single-stranded DNA with a suitable physicochemical transducer. They can convert biological, chemical or biochemical signals into measurable electrical signals. The use of biosensors in the field of food processing and quality control allows manufacturers to meet the needs of customers. Food analysis is necessary to ensure the health and safety of food until it reaches the consumer, as well as to increase the storage time of perishable materials and improve their quality. The purpose of this article is to review and present the effectiveness of different types of measurement technologies for the detection of food pathogens in food products, as well as the criteria for industrial use of this technology. In this article, the main components and requirements of an ideal biosensor, their types and applications in the food industry are summarized. This review also focuses on the application of biosensors in food safety.

Keywords: Biosensors, pathogenic bacteria, quality monitoring, food safety.