



مقدمه‌ای بر بیوسنسورها (زیست حسگرها)

انتشارات زیست فناوری
ناشر تخصصی کتب علوم زیست فناوری کشور



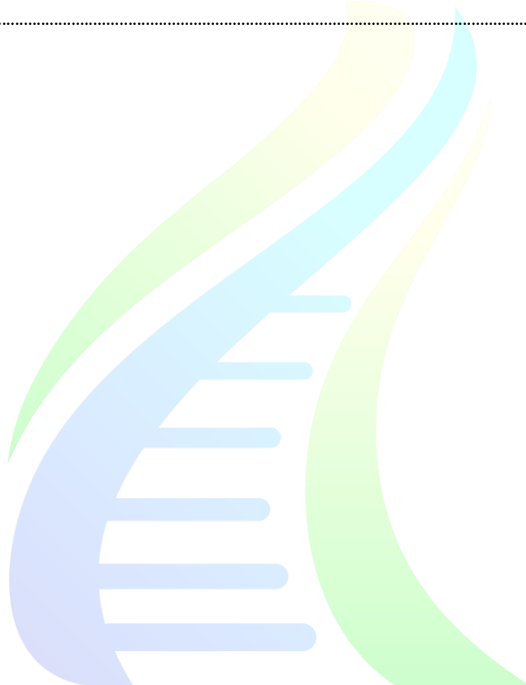
| | |
|----|--|
| ۳ | ۱- حسگرها..... |
| ۳ | ۱-۱ مقدمه..... |
| ۴ | ۱-۲ دسته‌بندی حسگرها..... |
| ۴ | ۱-۲-۱ حسگرهای شیمیایی..... |
| ۴ | ۱-۲-۲ روش‌های شناسایی در حسگرهای شیمیایی..... |
| ۴ | ۱-۲-۲-۱ مزایا و معایب روش‌های شناسایی حسگرهای شیمیایی..... |
| ۵ | ۱-۲-۲-۲ عملکرد حسگرهای شیمیایی بر پایه فلورسانس..... |
| ۵ | ۱-۲-۳ حسگرهای کاتیونی و آنیونی..... |
| ۵ | ۱-۲-۳-۱ سنسورهای شیمیایی بر پایه فروسن..... |
| ۶ | ۱-۲-۳-۱-۱ ساخت سنسورهای شیمیایی بر پایه فروسن..... |
| ۷ | ۱-۲-۳-۲ اصول عملکرد حسگرهای کاتیونی و آنیونی..... |
| ۸ | ۱-۲-۳-۳ مثالی از یک حسگر آنیونی با روش شناسایی فلورسانس..... |
| ۸ | ۱-۲-۳-۴ مثالی از یک حسگر کاتیونی با روش شناسایی رنگ‌سنجی..... |
| ۹ | ۱-۲-۴ حسگرهای کمودوزیمتر..... |
| ۹ | ۱-۲-۴-۱ حسگرهای کمودوزیمتر فلوریمتری و رنگ‌سنجی جهت شناسایی هیدرازین..... |
| ۹ | ۱-۲-۴-۱-۱ ساخت حسگرهای کمودوزیمتر جهت شناسایی هیدرازین..... |
| ۱۰ | ۱-۲-۵ حسگرهای مولکولی..... |
| ۱۱ | ۱-۳ دسته‌بندی حسگرهای شیمیایی..... |
| ۱۱ | ۱-۳-۱ حسگرهای جرمی..... |
| ۱۱ | ۱-۳-۱-۱ سنسورهای پیزوالکتریک..... |
| ۱۲ | ۱-۳-۲ حسگرهای الکتروشیمیایی..... |
| ۱۲ | ۱-۳-۲-۱ محدودیت‌های روش‌های کروماتوگرافی و اسپکتروسکوپی..... |
| ۱۳ | ۱-۳-۲-۲ سنسورهای الکتروکاتالیتیک..... |
| ۱۳ | ۱-۳-۲-۲-۱ انواع واسطه‌های الکتروکاتالیتیک مورد استفاده در ساخت سنسورهای الکتروشیمیایی..... |
| ۱۳ | ۱-۳-۲-۲-۲ مثالی از یک سنسور الکتروکاتالیتیک..... |
| ۱۳ | ۱-۳-۲-۲-۲-۱ سنسور الکتروکاتالیتیک شناسایی ترکیب ضد سرطان ۶-thioguanine..... |
| ۱۴ | ۱-۳-۳ حسگرهای نوری شیمیایی..... |
| ۱۴ | ۱-۳-۳-۱ حسگرهای pH..... |
| ۱۵ | ۱-۳-۴ حسگرهای گازی..... |
| ۱۶ | ۱-۳-۴-۱ مزایا و کاربردهای زیست حسگرهای گازی..... |
| ۱۷ | ۱-۳-۴-۲ نانوساختار گرافن در حوزه حسگری گاز..... |
| ۱۷ | ۱-۳-۴-۲-۱ ویژگی‌های گرافن..... |
| ۱۸ | ۱-۳-۴-۲-۲ روش‌های ساخت گرافن..... |
| ۱۸ | ۱-۳-۴-۲-۲-۱ روش تورق مکانیکی..... |
| ۱۸ | ۱-۳-۴-۲-۲-۲ روش رسوب‌دهی شیمیایی بخار (CVD)..... |
| ۱۹ | ۱-۳-۴-۲-۳ سنسور گازی گرافن..... |

| | |
|----|--|
| ۲۰ | ۱-۳-۴-۳ مثال‌هایی از زیست حسگرهای گازی..... |
| ۲۰ | ۱-۴ ویژگی‌های ارزیابی حسگرها..... |
| ۲۰ | ۱-۴-۱ گزینش پذیری، حساسیت، تکرارپذیری، دقت و صحت |
| ۲۳ | ۲- زیست حسگرها..... |
| ۲۳ | ۲-۱ مقدمه..... |
| ۲۵ | ۲-۲ مزایای زیست حسگرها..... |
| ۲۶ | ۲-۳ ویژگی‌های ارزیابی زیست حسگرها..... |
| ۲۷ | ۲-۴ مبنای عملکرد زیست حسگرها..... |
| ۲۸ | ۲-۵ طبقه‌بندی بیوسنسورها..... |
| ۲۸ | ۲-۵-۱ دسته‌بندی عمومی..... |
| ۲۸ | ۲-۵-۱-۱ بیوسنسورهای شناسایی کننده مستقیم..... |
| ۲۹ | ۲-۵-۱-۲ بیوسنسورهای شناسایی کننده غیرمستقیم..... |
| ۳۰ | ۲-۵-۲ طبقه‌بندی براساس نوع بیورسپتور..... |
| ۳۰ | ۲-۵-۲-۱ پذیرنده‌های زیستی..... |
| ۳۰ | ۲-۵-۲-۱-۱ انواع پذیرنده‌های زیستی..... |
| ۳۰ | ۲-۵-۲-۱-۱-۱ آنزیم‌ها..... |
| ۳۱ | ۲-۵-۲-۱-۱-۱-۱ مثال کاربردی..... |
| ۳۱ | ۲-۵-۲-۱-۱-۲ سلول‌های کامل..... |
| ۳۱ | ۲-۵-۲-۱-۱-۲-۱ مزایا و معایب..... |
| ۳۲ | ۲-۵-۲-۱-۱-۲-۲ مثال‌های کاربردی..... |
| ۳۲ | ۲-۵-۲-۱-۱-۳ فازها..... |
| ۳۳ | ۲-۵-۲-۱-۱-۴ آنتی‌ژن‌ها و آنتی‌بادی‌ها..... |
| ۳۳ | ۲-۵-۲-۱-۱-۵ نوکلئیک اسیدها..... |
| ۳۴ | ۲-۵-۳ طبقه‌بندی بر اساس نوع مبدل..... |
| ۳۴ | ۲-۵-۳-۱ طبقه‌بندی سیستم‌های تبدیل رایج (نوری، الکتروشیمیایی، حساس به جرم)..... |
| ۳۴ | ۲-۶ تکنیک‌های نوری..... |
| ۳۵ | ۲-۶-۱ زیست حسگرهای نوری بر پایه تشدید پلاسمون‌های سطحی (SPR)..... |
| ۳۵ | ۲-۶-۱-۱ مقدمه..... |
| ۳۵ | ۲-۶-۱-۲ اساس عملکرد..... |
| ۳۵ | ۲-۶-۱-۲-۱ پلاسمون سطحی (SP)..... |
| ۳۵ | ۲-۶-۱-۲-۲ تشدید پلاسمون سطحی (SPR)..... |
| ۳۶ | ۲-۶-۱-۲-۳ چیدمان کرچمان..... |
| ۳۷ | ۲-۶-۱-۳ بیوسنسورهای بر پایه SPR..... |
| ۳۸ | ۲-۶-۱-۳-۱ روش‌های تقویت شدت سیگنال SPR..... |
| ۳۹ | ۲-۶-۱-۴ استفاده از نانوذرات طلا در رزونانس پلاسمون‌های سطحی..... |
| ۴۰ | ۲-۶-۱-۵ کاربردهای تکنیک SPR..... |
| ۴۲ | ۲-۶-۱-۶ محدودیت‌های تکنیک SPR..... |

| | | |
|----|-------|---|
| ۴۲ | ..... | ۲-۶-۱-۷ بیوسنسورهای تجاری بر پایه SPR |
| ۴۳ | ..... | ۲-۷ تکنیک‌های الکتروشیمیایی..... |
| ۴۳ | ..... | ۲-۷-۱ زیست حسگرهای الکتروشیمیایی..... |
| ۴۳ | ..... | ۲-۷-۱-۱ اجزای زیست حسگرهای الکتروشیمیایی..... |
| ۴۴ | ..... | ۲-۷-۱-۱-۱ آنالیت..... |
| ۴۴ | ..... | ۲-۷-۱-۱-۲ رسیپتور..... |
| ۴۴ | ..... | ۲-۷-۱-۱-۳ سیگنال..... |
| ۴۴ | ..... | ۲-۷-۱-۱-۴ مبدل..... |
| ۴۵ | ..... | ۲-۷-۱-۱-۴-۱ طراحی الکترودها و الکترودمپها..... |
| ۴۵ | ..... | ۲-۷-۱-۲ ویژگی‌های ارزیابی سنسورهای الکتروشیمیایی..... |
| ۴۵ | ..... | ۲-۷-۱-۳ طبقه‌بندی زیست حسگرهای الکتروشیمیایی..... |
| ۴۶ | ..... | ۲-۷-۱-۳-۱ طبقه‌بندی بر اساس پذیرنده زیستی..... |
| ۴۶ | ..... | ۲-۷-۱-۳-۱-۱ فاکتور شناسایی کننده بیوکاتالیتیک..... |
| ۴۶ | ..... | ۲-۷-۱-۳-۱-۲ فاکتور شناسایی کننده بر پایه کمپلکس زیستی یا تمایل زیستی..... |
| ۴۶ | ..... | ۲-۷-۱-۳-۱-۲-۱ واکنش آنتی‌ژن - آنتی‌بادی..... |
| ۴۶ | ..... | ۲-۷-۱-۳-۱-۲-۲ ایمونوحسگرها..... |
| ۴۷ | ..... | ۲-۷-۱-۳-۲ طبقه‌بندی بر اساس اندازه‌گیری سیگنال انتقال..... |
| ۴۷ | ..... | ۲-۷-۱-۳-۲-۱ پتانسیومتری..... |
| ۴۸ | ..... | ۲-۷-۱-۳-۲-۲ آمپرومتری..... |
| ۴۹ | ..... | ۲-۷-۱-۳-۲-۲-۱ ولتامتری..... |
| ۴۹ | ..... | ۲-۷-۱-۳-۲-۳ ایمپدیمتری (سنجش امپدانس)..... |
| ۵۰ | ..... | ۲-۷-۱-۴ انواع دیگر زیست حسگرهای الکتروشیمیایی..... |
| ۵۰ | ..... | ۲-۷-۱-۴-۱ ترانزیستور اثر میدان (FET)..... |
| ۵۰ | ..... | ۲-۷-۱-۴-۲ حسگرهای الکتروشیمیایی بر پایه DNA |
| ۵۱ | ..... | ۲-۷-۱-۴-۲-۱ بیوسنسورهای الکتروشیمیایی بر پایه واکنش آنالیت - DNA |
| ۵۱ | ..... | ۲-۷-۱-۴-۲-۱-۱ بیوسنسورهای آنالیت - DNA الکترواستاتیک..... |
| ۵۱ | ..... | ۲-۷-۱-۴-۲-۱-۲ بیوسنسورهای بر پایه آنالیت‌های متصل‌شونده به شکاف..... |
| ۵۱ | ..... | ۲-۷-۱-۴-۲-۱-۳ بیوسنسورهای مبتنی بر ایترکاله شدن آنالیت و DNA |
| ۵۱ | ..... | ۲-۷-۱-۴-۲-۲ زیست حسگرهای الکتروشیمیایی مبتنی بر هیبریداسیون DNA |
| ۵۲ | ..... | ۲-۷-۲ بیوسنسورهای تجاری شده بر پایه تکنیک‌های الکتروشیمیایی..... |
| ۵۴ | ..... | ۲-۸ تکنیک‌های حساس به جرم..... |
| ۵۴ | ..... | ۲-۸-۱ زیست حسگرهای نانومکانیکی..... |
| ۵۴ | ..... | ۲-۸-۱-۱ مقدمه..... |
| ۵۴ | ..... | ۲-۸-۱-۲ عملکرد کانتیلورها..... |
| ۵۵ | ..... | ۲-۸-۱-۳ مزایا و معایب کانتیلورها..... |
| ۵۶ | ..... | ۲-۸-۱-۴ حالت استاتیک میکروکانتیلورها..... |
| ۵۶ | ..... | ۲-۸-۱-۵ حالت دینامیک میکروکانتیلورها..... |

| | |
|----|--|
| ۵۷ | ۲-۸-۲ کاربردهای تکنیک‌های حساس به جرم |
| ۵۷ | ۲-۸-۲-۱ شناسایی پروتئین‌ها |
| ۵۸ | ۲-۸-۲-۲ شناسایی DNA |
| ۵۸ | ۲-۸-۳ بیوسنسورهای تجاری شده بر پایه تکنیک‌های حساس به جرم |
| ۶۱ | ۲-۹ مقایسه تکنیک‌هایی با روش‌های شناسایی متفاوت و حد تشخیص آن‌ها |
| ۶۳ | ۳- نانو حسگرها |
| ۶۳ | ۳-۱ مقدمه |
| ۶۳ | ۳-۲ معرفی نانومتريال‌ها جهت به‌کارگیری در نانو حسگرها |
| ۶۴ | ۳-۲-۱ نانولوله‌های کربنی (CNTs) |
| ۶۵ | ۳-۲-۱-۱ نانولوله‌های کربنی تک جداره (swCNTs) |
| ۶۶ | ۳-۲-۱-۲ نانولوله‌های کربنی چند جداره (mwCNTs) |
| ۶۶ | ۳-۲-۲ نانو سیم‌های سیلیکونی (SiNWs) |
| ۶۷ | ۳-۲-۳ نانومواد پلیمری رسانا |
| ۶۸ | ۳-۲-۴ کوانتوم دات‌ها (QDs) |
| ۶۹ | ۳-۲-۵ نانوذرات مغناطیسی (MNPs) |
| ۶۹ | ۳-۲-۵-۱ مقدمه |
| ۷۰ | ۳-۲-۵-۲ ذرات تک دامنه |
| ۷۰ | ۳-۲-۵-۳ مواد سوپر پارامغناطیسی |
| ۷۱ | ۳-۲-۵-۴ خصوصیات نانوذره مغناطیسی مطلوب جهت کاربرد در پزشکی |
| ۷۲ | ۳-۲-۶ نانوذرات فلزی |
| ۷۲ | ۳-۲-۶-۱ نانوذرات طلا |
| ۷۴ | ۳-۲-۶-۲ نانوذرات نقره |
| ۷۴ | ۳-۲-۷ نانوذرات اکسیدی |
| ۷۵ | ۳-۲-۷-۱ تیتانیوم دی اکساید (TiO2) |
| ۷۵ | ۳-۲-۷-۲ اکسید سیلیسیوم (SiO2) |
| ۷۶ | ۳-۳ روش‌های تهیه نانو حسگر |
| ۷۷ | ۴- طراحی و تولید بیوسنسور |
| ۷۷ | ۴-۱ طراحی و تولید بیوسنسور |
| ۷۷ | ۴-۱-۱ روش‌های آماده‌سازی و تثبیت بیومولکول‌ها |
| ۷۷ | ۴-۱-۱-۱ روش‌های غیرمستقیم تثبیت |
| ۷۷ | ۴-۱-۱-۱-۱ پیوند کووالانسی |
| ۷۸ | ۴-۱-۱-۱-۲ پیوند عرضی |
| ۷۸ | ۴-۱-۱-۱-۳ محبوس‌سازی |
| ۷۸ | ۴-۱-۱-۲ روش‌های مستقیم تثبیت |
| ۷۸ | ۴-۱-۱-۲-۱ جذب سطحی |
| ۷۹ | ۴-۱-۱-۲-۲ پیوندهای تمایلی |
| ۸۰ | ۴-۱-۲ روش‌های ساخت تراشه |

| | | |
|----|-------|--|
| ۸۰ | ..... | ۴-۱-۲-۱ فوتولیتوگرافی |
| ۸۰ | ..... | ۴-۱-۲-۲ ریز لکه‌گذاری مکانیکی |
| ۸۱ | ..... | ۴-۱-۲-۳ جوهر افشان‌ها |
| ۸۱ | ..... | ۴-۲ چند نمونه از ساختار و اجزا انواع بیوسنسورها |
| ۸۱ | ..... | ۴-۲-۱ ساختار و اجزای یک ایمونوسنسر الکتروشیمیایی |
| ۸۲ | ..... | ۴-۲-۲ ساختار و اجزای بیوسنسورهای بر پایه تکنیک جریان جانبی (LFA) |
| ۸۳ | ..... | ۴-۲-۳ بیوسنسورهای رنگ‌سنجی بر پایه محلول |
| ۸۷ | ..... | منابع |



انتشارات زیست فناوری
ناشر تخصصی کتب علوم زیست فناوری کشور

مقدمه

امروزه با توجه به اهمیت روزافزون تشخیص‌های بالینی پزشکی و پیشگیری قبل از درمان، نیاز به تشخیص در نخستین مراحل مورد توجه قرار گرفته است. دسترسی به روش‌های دقیق، سریع، قابل اعتماد و ارزان که با مقادیر کم نمونه نیز همراه باشند به‌ویژه در مورد بیماری‌های عفونی فراگیر که عواملی مانند جنگ و بلایای طبیعی روند توسعه و شیوع آن‌ها را بیشتر می‌کند.

زیست حسگرها: از برهم‌کنش‌های زیست‌شیمی برای اندازه‌گیری آنالیت که می‌تواند منحصراً شیمیایی و یا یک جزء بیولوژیکی باشد استفاده می‌کنند.

امروزه در زمینه‌های مختلفی از جمله پزشکی، صنایع شیمیایی، صنایع غذایی، مانیتورینگ محیط زیست و تولید محصولات دارویی و بهداشتی از زیست حسگرها بهره می‌گیرند.

بیشترین کاربرد زیست حسگرها در تشخیص‌های پزشکی و علوم آزمایشگاهی است. در حال حاضر زیست حسگرها برای اندازه‌گیری گلوکز از موفق‌ترین زیست حسگرهای موجود در بازار هستند که به اندازه‌گیری غلظت گلوکز خون می‌پردازند.

کتاب مقدمه‌ای بر زیست حسگرها در زمینه‌ی شناسایی مواد بیولوژیک و غیر بیولوژیک با استفاده از زیست حسگرها نگاشته شده است. مقدمه‌ای بر زیست حسگرها می‌تواند برای محققین جوان و دانشجویان علاقه‌مند به زیست حسگر مفید و بر دانش آنان بیفزاید. مقدمه‌ای بر زیست حسگرها، زیست حسگرها را به‌عنوان وسیله‌ای برای شناسایی مواد مختلف معرفی می‌کند. کتاب در چهار فصل تهیه شده است که فصل اول به معرفی انواع حسگرها می‌پردازد و در فصل بعدی مزایای استفاده از زیست حسگرها عنوان می‌شود. فصل سوم کتاب به استفاده از علم و فناوری نانو در زیست حسگرها پرداخته است. تثبیت مولکول‌ها با استفاده از تکنیک‌های مختلف در

زیست حسگرها به‌عنوان شناساگرها از دیگر مباحث در این کتاب است. امید است کتاب مقدمه‌ای بر زیست حسگرها بتواند نیاز محققین و دانشجویان را برآورده نماید.

انتشارات زیست فناوری
ناشر تخصصی کتب علوم زیست فناوری کشور

داریوش نوروزیان

هیئت علمی انستیتو پاستور ایران

۱- حسگرها

۱-۱ مقدمه

حسگر^۱ به عنوان وسیله‌ای تعریف می‌شود که قادر است حضور ماده‌ی مورد نظر جهت شناسایی^۲ را در نمونه تشخیص داده و آن را به صورت کمی اندازه‌گیری کند. به عبارت دیگر سنسور وسیله‌ای است که یک کمیت فیزیکی ورودی را به یک خروجی عملکردی که عموماً به صورت سیگنال‌های الکتریکی یا نوری است تبدیل می‌کند، این سیگنال توسط کاربر انسانی یا ابزارهای الکترونیکی قابل تشخیص یا خوانش است. سنسورها و اجزای مرتبط با آنها برای شناسایی و اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت ترکیبات از جمله دما، PH، بو، فشار و همچنین حضور یک ماده‌ی شیمیایی خاص یا شدت جریان و نور به کار می‌روند. یک سنسور اساساً باید تنها به کمیت فیزیکی یا شیمیایی خاص که شناسایی یا اندازه‌گیری می‌کند، حساس باشد و در مقابل نسبت به تمام پارامترهایی که احتمالاً در هنگام عملکرد خود با آنها مواجه می‌شود، غیرحساس باشد. در حالت مطلوب، چنین ابزاری قادر به پاسخ‌گویی پیوسته و برگشت‌پذیر است و نباید به نمونه آسیب برساند. حسگر از موارد زیر تشکیل شده است:

۱. سیستم تشخیص به نام گیرنده یا پذیرنده^۳ جزء اصلی تشخیص‌دهنده‌ی یون‌ها یا

مولکول‌های هدف
۲. مبدل^۴ انتشارات زیست فناوری
۳. سیستم قرائت^۵
ناشر تخصصی کتب علوم زیست فناوری کشور

-
- 1 . Sensor
 - 2 . Analyte
 - 3 . Receptor
 - 4 . Transducer
 - 5 . Readout System

۲-۱ دسته‌بندی حسگرها

۱-۲-۱ حسگرهای شیمیایی

حسگرهای شیمیایی یا کموسنسورها شامل لایه‌ای حس کننده هستند که در اثر برهم‌کنش گونه‌ی شیمیایی (آنالیت) با این لایه، سیگنال الکتریکی ایجاد و سپس این سیگنال تقویت و پردازش می‌شود.

به طور ایده‌آل یک حسگر شیمیایی، مستقیماً در تماس با نمونه قرار می‌گیرد و نتایج مناسب را در زمان کم، با دقت^۶ و گزینش‌پذیری^۷ بالا ارائه می‌کند.

۲-۲-۱ روش‌های شناسایی در حسگرهای شیمیایی

۱. شناسایی توسط فلورسانس^۸
۲. شناسایی توسط رنگ‌سنجی^۹
۳. شناسایی توسط الکتروشیمیایی^{۱۰}

۱-۲-۲-۱ مزایا و معایب روش‌های شناسایی حسگرهای شیمیایی

- فلورسانس روشی است با حساسیت بسیار بالا و در گستره‌ی بالایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- روش رنگ‌سنجی شبیه فلورسانس است اما حساسیت پایین‌تری دارد.
- در روش الکتروشیمیایی نیز حساسیت بالاست و وسایل مورد نیاز آن ساده است اما برای گونه‌های خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

انتشارات زیست فناوری
ناشر تخصصی کتب علوم زیست فناوری کشور

6 . Precision
7 . Selectivity
8 . Fluorescence Detection
9 . Colorimetric Detection
10 . Electrochemical Detection

۲-۲-۲-۱ عملکرد حسگرهای شیمیایی بر پایه‌ی فلورسانس

حسگرهای شیمیایی باید دارای دو جز اصلی فلوروفور^{۱۱} به‌عنوان بخش ایجادکننده‌ی سیگنال و گیرنده‌ی این سیگنال باشند. در حضور آنالیت، گیرنده به آن متصل شده و فلوروفور از خود تغییر سیگنال به‌صورت تغییر رنگ یا فلورسانس نشان می‌دهد.

۳-۲-۱ حسگرهای کاتیونی و آنیونی

۱-۳-۲-۱ کاتیون‌ها و آنیون‌ها نقش مهمی در گستره‌ی وسیعی از واکنش‌های شیمیایی، از جمله متابولیسم‌های بیولوژیکی، ایفا می‌کنند. تلاش‌های زیادی جهت ارتقا سنسورهای شیمیایی به‌منظور شناسایی و تعیین مقدار کمی یون‌ها، انجام شده است. هم‌چنین تغییر در جذب و نشر نور می‌تواند به‌عنوان سیگنال‌هایی تلقی شود که توسط کروموفور یا فلوروفور ایجاد می‌شوند. دو خانواده‌ی مهم سنسورهای نوری و فلوریمتری بر این اساس ایجاد شده‌اند.

۲-۳-۲-۱ سنسورهای شیمیایی بر پایه‌ی فروسن

کاتیون‌ها در همه‌ی سیستم‌های بیولوژیکی حضور دارند و در واکنش‌های در سطح سلولی نقشی کلیدی ایفا می‌کنند. سنسورهای الکتروآنالیتیکی بر پایه‌ی فروسن بستری برای پروب‌های بسیار حساس، انتخابی و مقرون‌به‌صرفه جهت شناسایی کاتیون‌های فلزی فراهم آورده‌اند. در شکل ۱ نمونه‌ای از کاربرد فروسن در نوعی بیوسنسور الکتروشیمیایی نمایش داده شده است.

انتشارات زیست فناوری
ناشر تخصصی کتب علوم زیست فناوری کشور