

## حسگرهای زیستی

آرش اسفرم<sup>۱\*</sup>، آسیه فرهنگی<sup>۲</sup>، افسانه بهرا<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد شیمی تجزیه، دبیر شیمی، آموزش و پرورش شهرستان کهگیلویه، استان کهگیلویه و بویراحمد  
<sup>۲</sup> کارشناس ارشد شیمی تجزیه، دبیر شیمی آموزش و پرورش شهرستان کهگیلویه، استان کهگیلویه و بویراحمد  
<sup>۳</sup> کارشناس زیست شناسی عمومی، دانشگاه پیام نور دهدشت، استان کهگیلویه و بویراحمد

### چکیده

فناوری حسگر زیستی در حقیقت نشان دهنده ترکیبی از علوم بیوشیمی، بیولوژی مولکولی، شیمی، فیزیک، الکترونیک و کامپیوتر است. یک حسگر زیستی در حقیقت شامل یک حسگر کوچک و ماده بیولوژیک تثبیت شده بر آن می‌باشد. از آنجا که حسگرهای زیستی ابزاری توانمند جهت شناسایی مولکول‌های زیستی می‌باشند، امروزه از آنها در علوم مختلف پزشکی، صنایع شیمیایی، صنایع غذایی، مانیتورینگ محیط زیست، تولید محصولات دارویی، بهداشتی و غیره بهره می‌گیرند. در واقع این حسگرها ابزاری توانمند جهت شناسایی مولکول‌های زیستی می‌باشند. حواس بویایی و چشایی انسان که به شناسایی بوها و طعم‌های مختلف می‌پردازد و یا سیستم ایمنی بدن که میلیون‌ها نوع مولکول مختلف را شناسایی می‌کند، نمونه‌هایی از حسگرهای زیستی طبیعی می‌باشند. در حقیقت حسگرهای زیستی ابزارهای آنالیتیکی بشمار می‌روند که می‌توانند با بهره‌گیری از هوشمندی مواد بیولوژیک، ترکیب یا ترکیباتی را شناسایی نموده، با آنها واکنش دهند. و بدین ترتیب یک پیام شیمیایی، نوری و یا الکتریکی ایجاد نمایند. بیشترین کاربرد حسگرهای زیستی در تشخیص‌های پزشکی و علوم آزمایشگاهی است، در حال حاضر حسگرهای زیستی گلوکز از موفق‌ترین حسگرهای زیستی موجود در بازار بوده که برای اندازه‌گیری غلظت گلوکز خون بیماران دیابتی استفاده می‌شود. همانگونه که ذکر گردید، اساس کار یک حسگر زیستی تبدیل پاسخ بیولوژیکی به یک پیام است. حسگرهای زیستی مرکب از سه بخش (۱) دریافتگر زیستی یا بیورسپتور (۲) آشکارساز و (۳) مبدل می‌باشند.

### کلمات کلیدی

حسگر زیستی، کاربرد حسگر، گلوکز، پزشکی

## ۱- مقدمه

حسگر زیستی یا بیوسنسور نام گروهی از حسگرها است. این حسگرها به گونه‌ای طراحی می‌شوند تا تنها با یک ماده‌ی خاص واکنش نشان دهند. نتیجه‌ی این واکنش به صورت پیام‌هایی در می‌آید که یک ریزپردازنده، می‌تواند آن‌ها را تحلیل کند. در طی سالهای اخیر حسگرهای زیستی پیشرفت‌های زیادی در عرصه‌های گوناگون داشته‌اند. طبق تعریف اتحادیه بین المللی شیمی کاربردی و محض (IUPAC) حسگر زیستی عبارت است از:

«ابزاری که با استفاده از واکنش‌های بیوشیمیایی خاصی، به واسطه آنزیم‌های ایزوله، بافت‌ها یا سلول‌ها، عناصر شیمیایی ماده مورد نظر را معمولاً به صورت الکتریکی، اپتیکی، و یا گرمایی آشکارسازی می‌کنند.»

نخستین بار مفهوم حسگرهای زیستی توسط Dr. Leland C. Clark در اوایل سالهای ۱۹۶۰ با "enzyme electrode" برای اندازه‌گیری غلظت گلوکوز برای بیماران دیابتی توسط آنزیم گلوکوز اکسید معرفی شد.

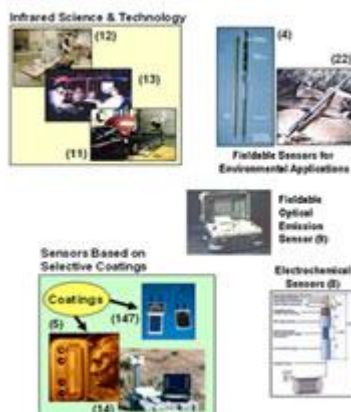
امروزه نیز بیشترین کاربرد حسگرهای زیستی در زمینه اندازه‌گیری گلوکوز است. البته با پیشرفت‌هایی که در زمینه میکرو الکتریک و میکرو مکانیک رخ داده تمرکز زیادی بر روی سیستم‌های MEMS (microelectrical & mechanical systems) و قرار دادن بیش از ۱۰۰۰ حسگر بر سانتیمتر مربع می‌باشد.

## ۲- حسگرزیستی چیست:

یک سنسور یا حسگر شیمیایی وسیله‌ای است که اطلاعات پیوسته‌ای را در مورد خواص شیمیایی محیط اطرافش در اختیار می‌گذارد. یک سنسور شیمیایی پاسخ خاصی را که بطور مستقیم با کمیت گونه شیمیایی بخصوصی مربوط است، تولید می‌کند.

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 متغییر 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.



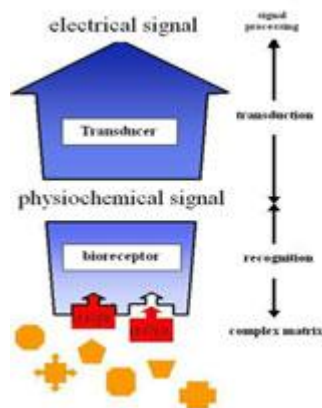
با این حال در موجودات زنده، اجزای زیستی مانند آنتی بادی‌ها و آنزیم‌ها به عنوان ابزارهای کنترلی و حسگرهای طبیعی عمل می‌کنند. توانایی جداسازی و خالص سازی این پروتئین‌ها و دیگر عناصر زیستی مانند سلول‌ها یا اندامک‌ها، اجازه ادغام آنها با دستگاه‌های انتقال فیزیکی شیمیایی را برای تولید حسگرهای زیستی داده است.

اولین حسگر زیستی، یک حسگر بر پایه آنزیم گلوکز اکسیداز، برای بیماران دیابتی توسط کلارک و لیان در اوایل سال ۱۹۶۰ ساخته شد. از آن زمان به بعد صدها حسگر زیستی در بسیاری از آزمایشگاه های تحقیقاتی سراسر دنیا ساخته شده است.

یک سنسور یا حسگر شیمیایی وسیله ای است که اطلاعات پیوسته ای را در مورد خواص شیمیایی محیط اطرافش در اختیار می گذارد. یک سنسور شیمیایی پاسخ خاصی را که بطور مستقیم با کمیت گونه شیمیایی بخصوصی مربوط است، تولید می کند

حسگرهای زیستی را می توان براساس عناصر زیستی یا عناصر انتقایشان دسته بندی کرد. عناصر زیستی شامل آنزیم، آنتی بادی، میکروارگانیسم ها، بافت های زیستی و اندامک ها می شود. حسگرهای زیستی بر پایه آنتی بادی، حسگرهای ایمنی نیز نامیده می شوند. هنگامی که اتصال بین عنصر حسگر و آنالیت رخ می دهد حسگر پذیرنده خواهیم داشت.

زمانی که واکنش بین عنصر زیستی و آنالیت با یک تغییر شیمیایی همراه است، که در آن غلظت یکی از بسترها یا محصولات اندازه گیری می شود، یک حسگر متابولیسمی نامیده می شود و در نهایت، زمانی که بعد از اتصال آنالیت بدون تغییر شیمیایی در آن و تنها با تبدیل بستر کمکی، سیگنالی تولید می شود، حسگر زیستی، حسگر کاتالیتی نامیده می شود.



حسگرهای زیستی از روشهای شناسایی و اندازه گیری آنالیتها با استفاده از عناصر و مواد زیستی و ریزموادها هستند. این روشها می توانند علاوه بر کمک به امر پژوهش در ناشناخته های علوم زیستی و پزشکی و نیز مکانیسم برخی بیماریها و اختلالات، در امر تشخیص و درمان بیماریها و عوارض آنها و شناسایی علل و زمینه های به وجود آورنده آنها و نیز در سایر علوم مرتبط نظیر داروسازی و سامانه های پیشرفته دارورسانی به کار بروند.

تاکنون بیشترین کاربرد حسگرهای زیستی در تشخیص های پزشکی و علوم آزمایشگاهی بوده است، در حال حاضر حسگرهای زیستی گلوکز از موفق ترین حسگرهای زیستی موجود در بازار بوده که برای اندازه گیری غلظت گلوکز خون بیماران دیابتی استفاده می شود.



این حسگرها از سه بخش تشکیل شده‌اند:

- پذیرنده زیستی یا عنصر زیستی حساس: یک ماده زیستی (پادتن‌ها، اسید نوکلئیکها، آنزیم‌ها، سلول‌ها و دیگر ماده‌های زیستی) که می‌تواند به صورت انتخابی تنها با ماده خاصی واکنش نشان دهد.
- آشکارساز و مبدل: که پس از واکنش ماده‌ای خاص با پذیرنده‌های زیستی، وارد عمل می‌شوند و می‌توانند نوع و مقدار واکنش را با روش‌های مختلف فیزیکی-شیمیایی کرده (مثلاً با بررسی تغییرهای الکتروشیمیایی، نوری، جرمی یا حرارتی قبل و بعد از واکنش) و به وسیله سیگنال‌های مناسب به پردازنده ارسال کنند.
- بخش پردازنده که همچنین مسئولیت نمایش نتیجه فعالیت حسگر را نیز بر عهده دارد. به طور کلی می‌توان گفت حسگر زیستیها (زیست حسگرها) یک گروه از سیستمهای اندازه گیری می‌باشند و طراحی آنها بر مبنای شناسایی انتخابی آنالیتها بر اساس اجزا بیولوژیک و آشکارسازهای فیزیکی شیمیایی صورت می‌پذیرد. حسگرهای زیستی متشکل از سه جزء عنصر بیولوژیکی، آشکارساز و مبدل می‌باشند. طراحی حسگرهای زیستی در زمینه‌های مختلف علوم بیولوژی، پزشکی در دو دهه گذشته گسترش چشمگیری داشته‌است.

دریافتگرهای زیستی که در حسگرهای زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند به شرح ذیل می‌باشند:

- آنزیم
- پادتن
- گیرنده‌های سلولی
- اسیدهای نوکلئیک (DNA) یا
- (آران‌ای) میکروارگانیزم یا سلول کامل
- بافت
- گیرنده‌های سنتتیک

در این سیستمها اندازه گیری تغییرات فیزیکیوشیمیایی انجام شده در سطح بیورسپتور و تبدیل آن به انرژی قابل اندازه گیری توسط مبدل انجام می‌شود. همچنین هدایت سیگنالهای فرستاده شده از مبدل به پردازشگر، تقویت، آنالیز و در نهایت تبدیل آن به واحد غلظت توسط آشکارساز انجام می‌گیرد. انواع متداول مبدل‌های مورد استفاده در حسگر زیستی ها شامل:

(۱) الکتروشیمیایی (۲) نوری (تابناکی، جذب و تشدید پلاسمون سطح) (۳) حساس به تغییر جرم و (۴) حرارتی می‌باشند. به عبارتی دیگر یک حسگر زیستی به طور کلی شامل یک سیستم بیولوژیکی تثبیت شده می‌باشد که در حضور آنالیت مورد اندازه گیری باعث تغییر خواص محیط اطراف می‌شود. وسیله اندازه گیری که به این تغییرات حساس است، سیگنالی متناسب با میزان و یا نوع تغییرات تولید می‌نماید که متعاقباً به سیگنالی قابل فهم برای دستگاههای الکترونیکی تبدیل می‌گردد. اختصاصیت و قدرت شناسایی یک آنالیت از میان دیگر آنالیت‌های موجود در نمونه مورد آزمایش از ویژگی‌های یک

حسگر زیستی می‌باشد. قابلیت انتخاب یک حسگر زیستی توسط بخش پذیرنده و مبدل آن تعیین می‌شود. شکل زیر شمایی از یک حسگر زیستی را نشان می‌دهد.

- بدین ترتیب مزایای حسگرهای زیستی بر سایر سامانه‌های اندازه‌گیری موجود را می‌توان در ۳ مورد زیر خلاصه نمود:
- سیستم‌های اندازه‌گیری موجود توانایی سنجش مولکولهای غیرقطبی که در بافتهای حیاتی تشکیل می‌گردند را ندارند در حالی که حسگر زیستیها می‌توانند این ترکیبات را شناسایی و سنجش کنند.
- از آنجایی که مبنای کار حسگرهای زیستی بر اساس سامانه بیولوژیکی تثبیت و تعبیه شده در خود آنهاست، بنابراین آنها اثرات جانبی بر سایر بافتها ندارند.
- کنترل پیوسته و بسیار سریع فعالیتهای متابولیسمی توسط این حسگرها امکان پذیر است.

## ۲-۱- حسگرهای زیستی بر اساس نحوه شناسایی آنالیت به دو گروه عمده تقسیم می‌گردند:

- حسگر زیستی با اساس شناسایی مستقیم پادگن (آنتی‌ژن): که واکنش پذیرنده با آنالیت مستقیماً توسط حسگر شناسایی می‌گردد. عناصر بیولوژیک مورد استفاده در این گروه، گیرنده‌های سلولی و آنتی‌بادی‌ها می‌باشند.
- حسگر زیستی با اساس شناسایی غیر مستقیم پادگن: واکنش پذیرنده با آنالیت به طور غیر مستقیم توسط حسگر شناسایی می‌گردد. عناصر بیولوژیک مورد استفاده در این گروه ترکیبات نشاندار، مثل آنتی‌بادیها نشاندار شده و یا ترکیباتی با خاصیت کاتالیتیکی مانند آنزیم‌ها می‌باشند. توسعه حسگر زیستیها از سال ۱۹۶۲ با ساخت الکتروکود اکسیژن توسط لی لند کلارک در سین سیناتی آمریکا برای اندازه‌گیری غلظت اکسیژن حل شده در خون آغاز شد. این حسگر همچنین بنام سازنده آن گاهی الکتروکود کلارک نیز خوانده می‌شود. بعداً با پوشاندن سطح الکتروکود با آنزیمی که به اکسیده شدن گلوکز کمک می‌کرد از این حسگر برای اندازه‌گیری قند خون استفاده شد. بطور مشابه با پوشاندن الکتروکود توسط آنزیمی که قابلیت تبدیل اوره به کربنات آمونیوم را داراست در کنار الکتروکود از جنس یون  $NH_4^+$  زیست‌حسگری ساخته شده که می‌توانست میزان اوره در خون یا ادرار را اندازه‌گیری کند. این دو حسگر زیستی از مبدل‌های متفاوتی در بخش تبدیل سیگنال خویش استفاده می‌کردند. بطوریکه در نوع اول میزان قند خون با اندازه‌گیری جریان الکتریکی تولید شده اندازه‌گیری می‌شد (آمپرسنجانه=آمپرومتریکی). و در نوع دوم اندازه‌گیری غلظت اوره بر اساس میزان بار الکتریکی ایجاد شده در الکتروکودها صورت می‌پذیرفت (پتانسیل‌سنجانه=پتانسیومتریکی).

## ۳- ویژگی‌های حسگرهای زیستی

- عناصر بیولوژیکی همانطور که ذکر گردید حسگرهای زیستی سیستمهای اندازه‌گیری بسیار دقیق، حساس و اختصاصی می‌باشند و وجود بیورسپتورهای خاص علت ویژگیهای منحصر به فرد این سیستمهای اندازه‌گیری می‌باشد. در حقیقت اساس شناسایی و سنجش ترکیبات در این سیستمها، اتصال ویژه آنالیت مورد اندازه‌گیری به حسگر توسط بیورسپتورها می‌باشد. اهمیت این اجزا در عملکرد بسیار اختصاصی آنها نسبت به آنالیت خاصی است که بدین وسیله از مداخله مواد مزاحم که موجب عدم کارایی بسیاری از روشهای اندازه‌گیری است، جلوگیری می‌کند. جزء بیولوژیک ممکن است واکنش سوپسترا را کاتالیز کند (آنزیم) یا به طور انتخابی به سوپسترا متصل شود. آنزیم‌ها یکی از متداولترین عناصر بیولوژیکی هستند که در این سیستمها مورد استفاده قرار می‌گیرند. عناصر بیولوژیکی عامل اصلی گزینش در زیست‌حسگر محسوب می‌شوند که عمدتاً در پنج گروه تقسیم بندی می‌گردند که به شرح زیر می‌باشد:

پادتن

آنزیم

اسید نوکلئیک

ساختارهای سلولی / سلولها

روشهای تثبیت اجزای زیستی

به منظور ساخت یک حسگر زیستی پایدار، باید جزء بیولوژیکی به طرز خاصی به مبدلها متصل گردد، چنین فرآیندی را تثبیت گویند. برای این منظور پنج روش به شرح زیر ارائه شده است:

جذب سطحی

ریزپوشینه سازی

محبوس سازی

پیوند عرضی

پیوند کووالانسی

#### ۴- مبدل

مبدل، تغییر قابل مشاهده فیزیکی یا شیمیایی را به یک پیغام قابل اندازه گیری، که بزرگی آن متناسب با غلظت ماده یا گروهی از مواد مورد سنجش است، تبدیل می نماید، چنین عملی از تلفیق دو فرایند متفاوت حاصل می شود؛ این وسیله ویژگی و حساسیت مواد بیولوژیکی را با قدرت محاسبه گری ریزپردازشگر ترکیب می نماید. بیشتر حسگر زیستیها از مبدلهای الکتروشیمیایی ساخته شده اند. مبدلها را می توان به انواع زیر تقسیم بندی نمود:

مبدلهای نوری

مبدلهای الکتروشیمیایی

مبدلهای پیزوالکتریک

مبدلهای گرمایی

#### ۵- کاربردهای مختلفی برای حسگرهای زیستی در پزشکی و بالینی:

- تشخیص و درمان بیماریها (سرطان، دیابت و.....)
- تشخیص بیماریها در سطح ژن (سرطان، دیابت و.....)
- تشخیص عوامل بیماریزا
- اندازه گیری داروها و متابولیتهای آنها، کشف داروهای جدید و ارزیابی فعالیت آنها
- ارزیابی و اندازه گیری آنالیتها ی موجود در نمونه بیولوژیک
- تشخیص سریع بیماریها با استفاده از تستهای سریع یا Point-of-care، ویژگی این تستها سرعت و ارزان بودن روش آزمایش است.

#### ۶- جزئیات فنی

- حسگر اپتیکی تشدیدگر پلاسمون سطح

حسگر تشدید پلاسمون سطح (SPR) مناسب ترین ابزار برای تحلیل برهمکنشهای انواع مختلفی از مولکولهاست. ساده ترین و متداول ترین این برهمکنشها، برهمکنش پادتن-پادگن است.

این سامانه‌ها بر اساس آشکارسازی مدولاسیون مکانی فاز (SMPD) است. در این سیستم نور تکفام موازی به منظور برانگیختن SPR استفاده می‌شود و فاز نور بازتابی به صورت مکانی مدوله شده تا یک طرح تداخلی ایجاد کند. روابط پرتوهای تداخلی عبارت اند از:

که  $\phi$  اختلاف فاز بین پرتوها،  $I$  شدت پرتوها، و  $f$  فرکانس فضایی خطوط تداخلی است.

نمونه‌های تجاری امروزی این نوع حسگرها بر اساس شدت آشکارسازی نور کار می‌کنند که بسیار مکانیزم ساده‌ای دارد، اما خطاهای موجود در منبع نوری، آشکار ساز نور و تقویت کننده موجب کاهش دقت حسگر شده و بیشتر از چیزی در حدود  $10^{-6}$  RIU نخواهد بود. به منظور افزایش دقت حسگر به جای اندازه گیری شدت، تغییرات فازی را اندازه گیری می‌کنند. همچنین برانگیختن حسگر باعث افزایش سرعت تغییر شدت و فاز می‌گردد. (دقت:  $10^{-4}$  RIU)

## ۷- اجزای SPR

۱. لیزر He-Ne،  $2632.8\text{nm}$ . درپچه ۱۰ میکرومتری (واقع در فاصله کانونی لنزها)، آلومینیومی ۳. بسط دهنده پرتو ۴. صفحه موج  $\frac{1}{2}$ . ۵. دیافراگم مثلثی ۶. منشور متساوی الاضلاع کریشمان (شیشه ZF5، ضریب شکست  $1.740$ ) ۷. تراشه حسگر ۸. سلول جریان ۹. منشور ولاتسون (زاویه جدایی ۳ درجه) ۱۰. منشور قطبنده ۱۱. لنز تصویرساز ۱۲. دوربین CCD متصل به رایانه ۱۳. رایانه

اساس کار حسگرهای اپتیکی بر پایه تغییر ضریب شکست نور در مرز منشور (فیبر) که در تماس با لیگاند است می‌باشد. به منظور افزایش جذب انرژی نور و دقت بیشتر یک لایه فلز (معمولاً طلا) بر روی سطح منشور (فیبر) استفاده می‌کنند. در شکل زیر میزان تغییرات ضریب شکست نسبت به ضخامت طلا و میزان تغییر فاز در پرتوی خروجی، بررسی کرده‌است.

## • حسگر فیبری SPR

در حسگر فیبری به جای استفاده از منشور از فیبر استفاده می‌شود. مزیت این نوع حسگر اندازه کوچک آن است. عملکرد فیبر نیز به همان شکل تغییر در ضریب شکست و فاز پرتوی بازگشتی است. نمونه تیپر در شکل زیر مشخص شده‌اند: در این شکل فیبر از قسمت نازک تر در تماس محلول مورد بررسی قرار گرفته، نور عبوری از فیبر (که دائماً در حال بازتاب داخلی در فیبر است) در اثر وجود ویروس مورد نظر در محلول و قرار گرفتن بر روی لیگاند، دچار تغییر ضریب شکست شده و پرتو خروجی تغییر فاز نشان می‌دهد. با اندازه گیری شیفیت در طول موج نور خروجی، به میزان غلظت ویروس و یا وجود یا عدم وجود ویروس پی می‌بریم. همچنین در قسمت زیرین فیبر از یک کره استفاده شده که باعث رفت و برگشت بیشتر نور و در نتیجه تقویت پرت می‌گردد. در این شکل نمونه حسگر تیپ نشان داده شده که نور خروجی پس از عبور از یک عدسی شیئی به آشکار ساز می‌رسد. برای ساختن تیپ فیبر را به مدت حدوداً ۴۵ دقیقه در  $1\text{ml}$  اسید  $48\% \text{HF}$  به همراه  $800$  ml روغن قرار داده و سپس توسط  $\text{NaOH}$  اسید را خنثی و تیپ را می‌شویند. هرچه تیپ متقارن تر باشد پرتوی خروجی از آن دارای شکل متقارن تری است و در اندازه گیری دقت بیشتری به دست می‌دهد.

## کاربردها

- بررسی DNA به منظور کشف هرگونه نقص ژنتیکی و یا ابتلا به سرطان‌ها در بدو تولد. در این روش با مقایسه طیف DNA با طیف ناشی از DNA دارای نقص در ترتیب که منجر به ایجاد سرطان می‌شود، از بدو تولد می‌توان از ابتلا به سرطان و یا سایر بیماریهای ژنتیکی اطلاع یافت.
- به دست آوردن غلظت محلولی (گلوکوز خون)

در این روش مخصوصا با تلفیقی از MEMS از کپسول‌هایی استفاده می‌شود که با کاشت در بدن می‌توانند اطلاعات مربوط به بیمار را به طور لحظه‌ای به رایانه شخصی وی ارسال کنند.

### نتیجه گیری:

حسگر زیستی سیستمی با اندازه کوچک، حساسیت بالا و قابل حمل بوده که می‌تواند آنالیت مورد نظر را در غلظت‌های بسیار کم در نمونه‌های بیولوژیک اندازه گیری کند. دو عامل در طراحی یک حسگر زیستی مناسب نقش ایفا می‌کند: روش مناسب تثبیت دریافتگر زیستی در سطح جامد که موجب افزایش طول عمر، حساسیت و پایداری آن می‌گردد. انتخاب مبدل مناسب. استفاده از حسگرهای زیستی به دلیل دقت و حساسیت روش و همچنین در مواردی به دلیل عدم نیاز به وسایل پیشرفته و صرف زمان و هزینه زیاد برای تشخیص آنالیت‌ها در مراکز کوچک و در مراکز با امکانات کم و حتی در منزل نیز کاربرد دارد. این روشها می‌توانند در شناخت مکانیسم برخی بیماریها و اختلالات، در امر تشخیص و درمان بیماریها و عوارض آنها و شناسایی علل و زمینه‌های به وجود آورنده آنها و نیز در سایر علوم مرتبط نظیر داروسازی، سامانه‌های پیشرفته دارورسانی و شناسایی داروهای جدید و ارزیابی فعالیت بیولوژیک آنها فعالیت نمایند.

### مراجع:

- [۱] گلابی، مهدی، مقدمه ای بر الکتروشیمی تجزیه اصول و کاربردها، انتشارات ستوده، تبریز، چاپ پنجم، سال ۱۳۸۸.
- [۲] وانگ، جوزف، الکتروشیمی تجزیه، گلابی، مهدی: مجیدی، میرزا: انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز، چاپ سوم، سال ۱۳۸۹.
- [۳] پژوهشکده علوم غدد و متابولیسم دانشگاه علوم پزشکی تهران، بیوسنسورها
- [۴] Optical biosensors, Frances S. Ligler & Chiris Row Taritt, Lab-on-a-chip biosensors, euronanoforum, 2009.
- [۵] Sensitive liquid refractive index sensors using tapered optical fiber tips, Yi-Hsin Tai & Pei-Kuen Wei, optics letters, 2010.
- [۶] Optical Detection of Brain Cell Activity Using Plasmonic Gold Nanoparticles, Jiayi Zhang, Tolga Atay, and Arto V. Nurmikko. 2009.
- [۷] U. S. F. M. H. Schubert, F.; Wollenberger Artificially Coupled Reactions with Immobilized Enzymes: Biological Analogs and Technical Consequences, 1991.
- [۷] Kress-Rogers, "E. Instrumentation and Sensors for the Food Industry," Cambridge, England, 1998.