انجمن علمی مهندسی پزشکی

معاونت فرهنگی و دانشجویی
دانشگاه صنعتی همدان

سیگنال

گاهنامه مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی همدان

شماره مجوز: ۴/۹۰/ص/ن || شماره ۲۱، تابستان ۱۴۰۵

سیگنال حیاتی

گاهنامه **سیگنال حیاتی**
انجمن علمی مهندسی پزشکی
دانشگاه صنعتی همدان
شماره ۲۱ ،تابستان ۱۴۰۵

مدیر مسئول نشریه: عرفان اصغری
سردبیر: نازنین عاشق حسینی
صفحه آرایی: نرگس طاوه ئی
ویراستار: مانیا گوران
هیئت تحریریه: ابوالفضل اجلی، یاسمن بختیاری

****

با تشکر و سپاس از همه عزیزانی که ما را یاری کردند و استاد مشاور محترم خانم دکتر قادری

صندوق پستی: ۷۹_۷۵۱۵۵ | کدپستی: ۳۷۳۳_۱_۷۵۱۷ | کانال تلگرام: @BMEJOURNAL

فهرست :

سخن سردبیر..... ۱

کاربرد بیوسنسورها برپایه تشدید پلاسمون سطحی (SPR) درتشخیص سرطان های شایع ۲

تله‌پاتی رباتیک :وقتی هوش مصنوعی افکار مغز را به متن تبدیل می کند..... ۱۱



معاونت فرهنگی و دانشجویی
دانشگاه صنعتی همدان

انجمن علمی مهندسی پزشکی



سخن سردبیر

به بیست‌ویکمین شماره «سیگنال حیاتی» خوش آمدید.

هر شماره از این نشریه، حاصل همراهی و تلاش دانشجویانی است که باور دارند دانش زمانی ارزشمندتر می‌شود که به اشتراک گذاشته شود. «سیگنال حیاتی» فقط مجموعه‌ای از مقاله‌ها و مطالب علمی نیست؛ بلکه فضایی برای یادگیری، تبادل ایده‌ها و آشنایی بیشتر با دنیای گسترده مهندسی پزشکی است؛ دنیایی که هر روز با فناوری‌های نو و دستاوردهای تازه، افق‌های جدیدی را پیش روی ما قرار می‌دهد.

در این شماره نیز تلاش کرده‌ایم مطالبی متنوع، کاربردی و خواندنی گردآوری کنیم تا علاوه بر افزایش دانش، انگیزه‌ای برای جست‌وجو، پرسشگری و یادگیری بیشتر باشد. امیدواریم هر صفحه از این شماره بتواند نکته‌ای تازه به دانسته‌های شما اضافه کند و نگاه متفاوتی به دنیای علم و فناوری ارائه دهد.

در پایان، از همه نویسندگان، همکاران و همراهانی که با قلم، ایده و حمایت خود در انتشار این شماره نقش داشته‌اند، صمیمانه سپاسگزاریم. همچنین از شما، خوانندگان عزیز، که با مطالعه، نقد و پیشنهادهای ارزشمندتان مسیر رشد «سیگنال حیاتی» را هموار می‌کنید، قدردانی می‌کنیم.

امیدواریم از مطالعه این شماره لذت ببرید و همچنان همراه «سیگنال حیاتی» بمانید.



کاربرد بیوسنسورها برپایه تشدید پلاسمون سطحی (SPR) در تشخیص سرطان های شایع

مقدمه

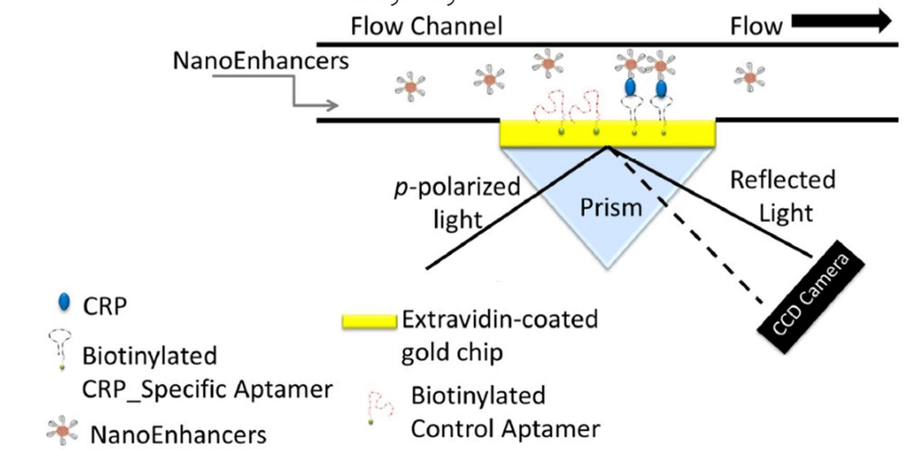
سرطان یکی از مهم‌ترین علل مرگ‌ومیر در جهان محسوب می‌شود و سالانه میلیون‌ها نفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعات نشان داده‌اند که تشخیص زودهنگام بسیاری از سرطان‌ها می‌تواند به طور چشمگیری میزان موفقیت درمان، کیفیت زندگی بیماران و نرخ بقا را افزایش دهد. با این حال، بسیاری از روش‌های تشخیصی رایج مانند تصویربرداری پزشکی، نمونه‌برداری بافتی و آزمایش‌های آزمایشگاهی دارای محدودیت‌هایی از جمله هزینه بالا، زمان بر بودن، نیاز به تجهیزات پیشرفته و گاهی حساسیت ناکافی در مراحل اولیه بیماری هستند. از این رو، توسعه روش‌های تشخیصی سریع، دقیق و کم‌هزینه به یکی از اهداف مهم پژوهشگران در حوزه پزشکی و مهندسی زیستی تبدیل شده است.

بیوسنسورها به عنوان ابزارهای نوین تشخیصی، قابلیت شناسایی و اندازه‌گیری مولکول‌های زیستی مختلف را با حساسیت و اختصاصیت بالا فراهم می‌کنند. این سامانه‌ها با ترکیب یک عنصر زیستی شناسایی‌کننده و یک مبدل فیزیکی یا شیمیایی، حضور یا غلظت یک ماده هدف را به سیگنالی قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کنند. در میان انواع مختلف بیوسنسورها، بیوسنسورهای مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی (Surface Plasmon Resonance: SPR) به دلیل توانایی تشخیص برهم‌کنش‌های زیستی در زمان واقعی و بدون نیاز به برچسب‌گذاری مولکولی، توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند.

فناوری SPR بر پایه برهم‌کنش نور با الکترون‌های آزاد موجود در سطح فلزات نجیب، به ویژه طلا، عمل می‌کند. هرگونه تغییر در ضریب شکست محیط نزدیک سطح فلز که در اثر اتصال مولکول‌های زیستی رخ می‌دهد، باعث تغییر در شرایط تشدید پلاسمون سطحی شده و به صورت یک سیگنال قابل اندازه‌گیری ثبت می‌شود. این ویژگی امکان شناسایی مقادیر بسیار کم بیومارکرهای مرتبط با بیماری‌ها را فراهم می‌سازد.

در سال‌های اخیر، استفاده از بیوسنسورهای SPR برای تشخیص زودهنگام سرطان‌های شایع نظیر سرطان پستان، پروستات، ریه و روده بزرگ مورد توجه گسترده قرار گرفته است. این حسگرها قادرند بیومارکرهای اختصاصی سرطان را در غلظت‌های بسیار پایین و در مراحل اولیه بیماری شناسایی کنند؛ موضوعی که می‌تواند نقش مهمی در افزایش موفقیت درمان و کاهش هزینه‌های مراقبت‌های پزشکی داشته باشد.

در این پروژه، ابتدا اصول عملکرد بیوسنسورها و فناوری تشدید پلاسمون سطحی بررسی می‌شود. سپس کاربرد بیوسنسورهای مبتنی بر SPR در تشخیص زودهنگام سرطان‌های شایع، مزایا و محدودیت‌های این فناوری و همچنین پیشرفت‌های اخیر در این حوزه مورد بحث قرار خواهد گرفت.

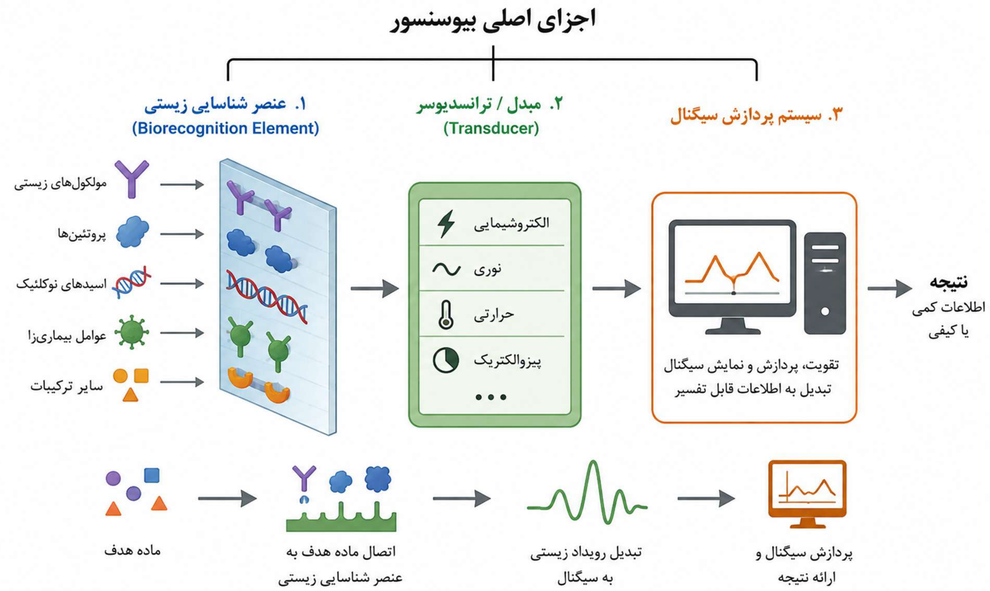


شکل ۱- نمایی شماتیک از بیوسنسور SPR مبتنی بر آنتی‌بیوتین/آپتامر برای شناسایی CRP که در آن اتصال هدف به سطح طلای پوشش‌داده‌شده باعث تغییر سیگنال بازتابی در آرایش منشوری می‌شود. [۱].

آشنایی با بیوسنسورها

بیوسنسورها ابزارهای تحلیلی هستند که با ترکیب یک عنصر زیستی شناسایی‌کننده و یک مبدل فیزیکی یا شیمیایی، امکان شناسایی و اندازه‌گیری مواد هدف را فراهم می‌کنند. این سامانه‌ها قادرند حضور مولکول‌های زیستی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، عوامل بیماری‌زا و سایر ترکیبات را با حساسیت و اختصاصیت بالا تشخیص دهند و به همین دلیل در حوزه‌های پزشکی، داروسازی، صنایع غذایی و پایش محیط زیست کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند [۱].

به طور کلی هر بیوسنسور از سه بخش اصلی تشکیل شده است: عنصر شناسایی زیستی (Biorecognition Element)، مبدل یا ترانسدیوسر (Transducer) و سیستم پردازش سیگنال. عنصر شناسایی زیستی وظیفه تشخیص اختصاصی آنالیت هدف را بر عهده دارد و می‌تواند شامل آنتی‌بادی‌ها، آنزیم‌ها، آپتامرها، اسیدهای نوکلئیک یا گیرنده‌های سلولی باشد. پس از وقوع برهم‌کنش زیستی، ترانسدیوسر این تغییر را به یک سیگنال قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کند و در نهایت سیستم پردازش سیگنال، داده‌های حاصل را برای کاربر نمایش می‌دهد [۲].



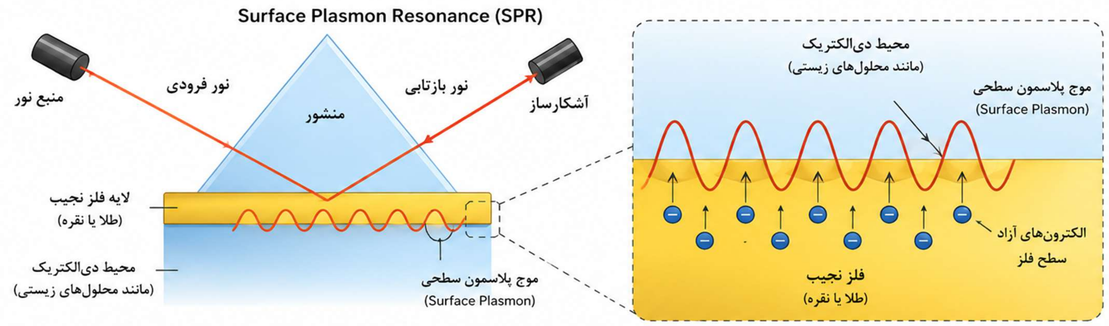
بیوسنسورها بر اساس نوع مبدل مورد استفاده به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. مهم‌ترین انواع آن‌ها شامل بیوسنسورهای الکتروشیمیایی، نوری، پیزوالکتریک و حرارتی هستند. بیوسنسورهای الکتروشیمیایی تغییرات جریان یا ولتاژ را اندازه‌گیری می‌کنند، در حالی که بیوسنسورهای نوری بر پایه تغییرات خواص نوری مانند جذب، فلورسانس و ضریب شکست عمل می‌کنند [۳].

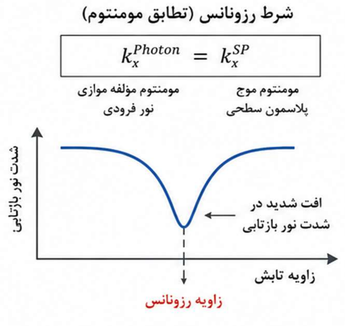
در سال‌های اخیر، بیوسنسورهای نوری به دلیل حساسیت بالا و قابلیت تشخیص بدون نیاز به برچسب‌گذاری مولکولی، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. یکی از مهم‌ترین فناوری‌های مورد استفاده در این دسته، تشدید پلاسمون سطحی (Surface Plasmon Resonance یا SPR) است. در این فناوری، اتصال مولکول‌های زیستی به سطح فلز موجب تغییر ضریب شکست محیط اطراف شده و این تغییر به صورت یک سیگنال نوری ثبت می‌شود. این ویژگی امکان پایش برهم کنش‌های زیستی را به صورت مستقیم و در زمان واقعی فراهم می‌کند [۲،٤].

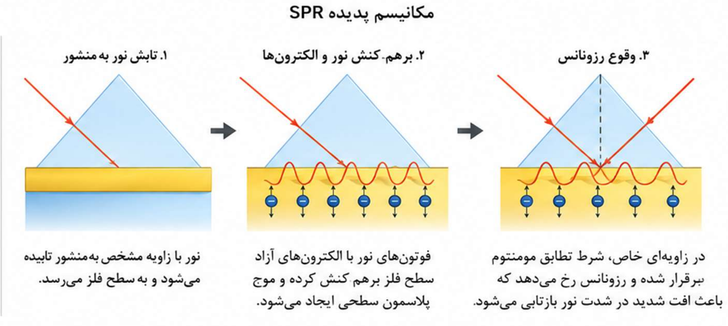
از مهم‌ترین مزایای بیوسنسورها می‌توان به حساسیت بالا، اختصاصیت مناسب، سرعت پاسخ‌دهی زیاد، نیاز به حجم کم نمونه و قابلیت استفاده در تشخیص زودهنگام بیماری‌ها اشاره کرد. با این حال، چالش‌هایی مانند پایداری عناصر زیستی، هزینه ساخت و احتمال ایجاد تداخل توسط سایر ترکیبات موجود در نمونه‌های زیستی همچنان وجود دارد [۱].

پیشرفت فناوری نانو نقش مهمی در توسعه نسل جدید بیوسنسورها ایفا کرده است. استفاده از نانومواد نظیر نانوذرات طلا، نانوساختارهای گرافنی و نانوذرات مزومتخلخل باعث افزایش سطح فعال، بهبود انتقال سیگنال و ارتقای حساسیت حسگرها شده است. این پیشرفت‌ها زمینه را برای توسعه بیوسنسورهای بسیار حساس جهت تشخیص زودهنگام بیماری هایی مانند سرطان فراهم کرده‌اند [۳،٤].

اصول پلاسمون سطحی (SPR)







تشدید پلاسمون سطحی (Surface Plasmon Resonance: SPR) یک پدیده نوری-الکترومغناطیسی است که در مرز بین یک فلز نجیب (معمولاً طلا یا نقره) و یک محیط دی‌الکتریک (مانند محلول‌های زیستی) رخ می‌دهد. در این پدیده، فوتون های نور تابیده‌شده با الکترون‌های آزاد سطح فلز برهم‌کنش کرده و موجب نوسان جمعی این الکترون‌ها به صورت موجی سطحی (Surface Plasmon) می‌شوند. زمانی که شرط تطابق مومنتوم بین نور فرودی و پلاسمون سطحی برقرار شود، پدیده رزونانس رخ داده و افت شدیدی در شدت نور بازتابی مشاهده می‌شود [۱].

اصول عملکرد SPR بر حساسیت بالای این پدیده نسبت به تغییرات ضریب شکست محیط نزدیک سطح فلز استوار است. هنگامی که مولکول‌های زیستی مانند آنتی‌ژن‌ها یا آنتی‌بادی‌ها به سطح حسگر متصل می‌شوند، ضریب شکست محیط تغییر می‌کند. این تغییر باعث جابجایی زاویه یا طول موج رزونانس SPR می‌شود که به عنوان سیگنال خروجی سیستم ثبت می‌گردد. از این رو، SPR یک روش بدون برچسب (Label-free) برای مطالعه برهم‌کنش‌های زیستی محسوب می‌شود [۲].

یکی از رایج‌ترین پیکربندی‌های SPR، آرایش کرتشمَن (Kretschmann configuration) است که در آن یک لایه نازک از فلز (معمولاً طلا) بر روی منشور قرار می‌گیرد. نور لیزر با زاویه مشخص به منشور تابیده شده و پس از بازتاب داخلی، میدان الکترومغناطیسی آن به سطح فلز نفوذ کرده و شرایط لازم برای تحریک پلاسمون سطحی را فراهم می‌کند. تغییرات در محیط اطراف سطح فلز مستقیماً بر زاویه رزونانس تأثیر می‌گذارد [۱،۳].

SPR به دلیل قابلیت اندازه‌گیری real-time، حساسیت بالا و امکان بررسی تعاملات مولکولی در سطح نانو، کاربرد گسترده‌ای در بیوسنسورها، داروسازی و تشخیص بیماری‌ها دارد. در حوزه تشخیص سرطان، این فناوری امکان شناسایی بیومارکرها را در غلظت‌های بسیار پایین فراهم می‌سازد که برای تشخیص زودهنگام بیماری اهمیت زیادی دارد [۲].

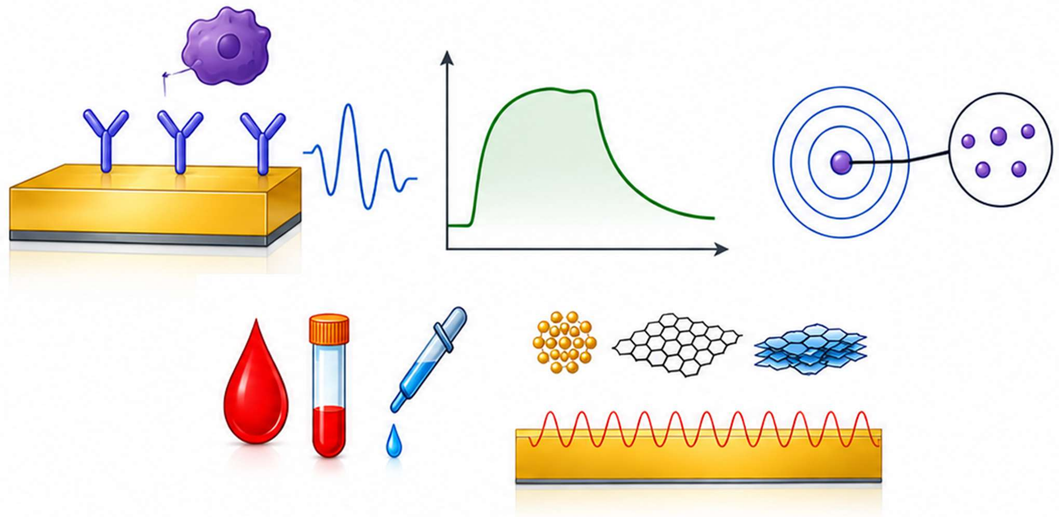
ویژگی	توضیح
نوع پدیده	**نوسان جمعی الکترون‌های آزاد در سطح فلز**
شرط وقوع	**تطابق مومنتوم نور فرودی و پلاسمون سطحی**
سیگنال خروجی	**تغییر زاویه یا طول موج رزونانس**
نوع سنجش	**بدون برچسب(Label-free)**
قابلیتReal-time	**دارد**
حساسیت	**بسیار بالا به تغییرات ضریب شکست**
کاربرد اصلی	**تشخیص بیومارکرها و تحلیل برهم‌کنش‌های زیستی**

جدول ۱. ویژگی‌های کلیدی پدیده SPR در بیوسنسورها

ویژگی	روشPCR	روشELISA	SPR
نیاز به برچسب(Label)	دارد	دارد	**ندارد**
زمان پاسخ‌دهی	متوسط	متوسط (چند ساعت)	**سریع (چند دقیقه)**
قابلیتreal-time	ندارد	ندارد	**دارد**
حساسیت	بسیار بالا	بالا	**بسیار بالا**
نوع سیگنال	تکثیرDNA	جذب نوری	**تغییر ضریب شکست**
پیچیدگی دستگاه	بالا	متوسط	**متوسط تا بالا**
کاربرد در برهم‌کنش پروتئین	محدود	مناسب	**بسیار مناسب**

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های SPR با روش‌های سنتی تشخیص زیستی

مزایای SPR در تشخیص سرطان



فناوری تشدید پلاسمون سطحی (SPR) به دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فرد خود به یکی از ابزارهای قدرتمند در حوزه تشخیص زودهنگام سرطان تبدیل شده است. این فناوری امکان بررسی برهم‌کنش‌های زیستی را به صورت مستقیم، بدون نیاز به برچسب‌گذاری و در زمان واقعی فراهم می‌کند که همین ویژگی‌ها آن را نسبت به بسیاری از روش‌های سنتی برتر ساخته است [۱].

یکی از مهم‌ترین مزایای SPR در تشخیص سرطان، قابلیت تشخیص بدون برچسب (Label-free detection) است. در روش‌های سنتی مانند ELISA یا ایمونواسی‌های فلورسنت، نیاز به استفاده از مارکرهای شیمیایی یا فلوروفور وجود دارد که می‌تواند باعث افزایش هزینه، پیچیدگی و حتی تغییر در رفتار مولکول هدف شود. در مقابل، SPR مستقیماً تغییرات ضریب شکست ناشی از اتصال بیومولکول‌ها را اندازه‌گیری می‌کند و از این رو، دقت و اصالت داده‌ها افزایش می‌یابد [۲].

مزیت مهم دیگر SPR، توانایی اندازه‌گیری در زمان واقعی (Real-time monitoring) است. این ویژگی امکان بررسی دینامیک اتصال آنتی‌ژن–آنتی‌بادی یا سایر تعاملات مولکولی مرتبط با سرطان را فراهم می‌کند. به این ترتیب، می‌توان پارامترهای سینتیکی مانند ثابت سرعت اتصال و جداسازی را محاسبه کرد که در درک رفتار بیومارکرهای سرطانی اهمیت زیادی دارد [۳].

SPR همچنین دارای حساسیت بسیار بالا است و قادر است تغییرات بسیار کوچک در ضریب شکست محیط را تشخیص دهد. این ویژگی باعث می‌شود که بیومارکرهای مرتبط با سرطان، حتی در غلظت‌های بسیار پایین (در حد پیکومولار تا فمتومولار)، قابل شناسایی باشند. این موضوع در تشخیص زودهنگام سرطان که معمولاً غلظت بیومارکرها پایین است، اهمیت حیاتی دارد [۴].

از دیگر مزایای SPR می‌توان به کاهش حجم نمونه مورد نیاز اشاره کرد. در بسیاری از روش‌های تشخیصی سنتی، به حجم بالایی از نمونه خون یا بافت نیاز است، در حالی که SPR تنها با حجم بسیار کم نمونه قادر به انجام اندازه‌گیری دقیق است. این موضوع به ویژه در کاربردهای بالینی و نمونه‌های محدود اهمیت دارد [۲].

همچنین SPR قابلیت سازگاری با نانومواد پیشرفته را دارد. استفاده از نانوذرات طلا، گرافن و ساختارهای دوبعدی موجب تقویت میدان الکترومغناطیسی سطحی و در نتیجه افزایش حساسیت حسگر می‌شود. این ویژگی امکان طراحی نسل جدیدی از بیوسنسورهای فوق‌حساس برای تشخیص سرطان را فراهم کرده است [۵].

کاربرد SPR در تشخیص سرطان‌های شایع

بیوسنسورهای مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی (SPR) به دلیل حساسیت بالا، قابلیت تشخیص بدون برچسب و امکان پایش برهم‌کنش‌های زیستی در زمان واقعی، در سال‌های اخیر به عنوان یکی از ابزارهای مهم در تشخیص زودهنگام سرطان‌های شایع مورد توجه قرار گرفته‌اند. این فناوری قادر است بیومارکرهای اختصاصی مرتبط با انواع سرطان را در غلظت‌های بسیار پایین شناسایی کند و از این طریق نقش مهمی در بهبود روند تشخیص و درمان ایفا نماید [۱].

سرطان پستان

سرطان پستان یکی از شایع‌ترین سرطان‌ها در میان زنان است. بیومارکرهایی مانند CA۱۵-۳ و HER۲ نقش مهمی در تشخیص و پایش این بیماری دارند. بیوسنسورهای SPR قادرند اتصال آنتی‌بادی‌های اختصاصی به این بیومارکرها را با حساسیت بالا شناسایی کنند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که استفاده از نانوذرات طلا در کنار SPR می‌تواند حد تشخیص این بیومارکرها را به میزان قابل توجهی کاهش دهد و امکان تشخیص در مراحل اولیه بیماری را فراهم کند [۲].

سرطان پروستات

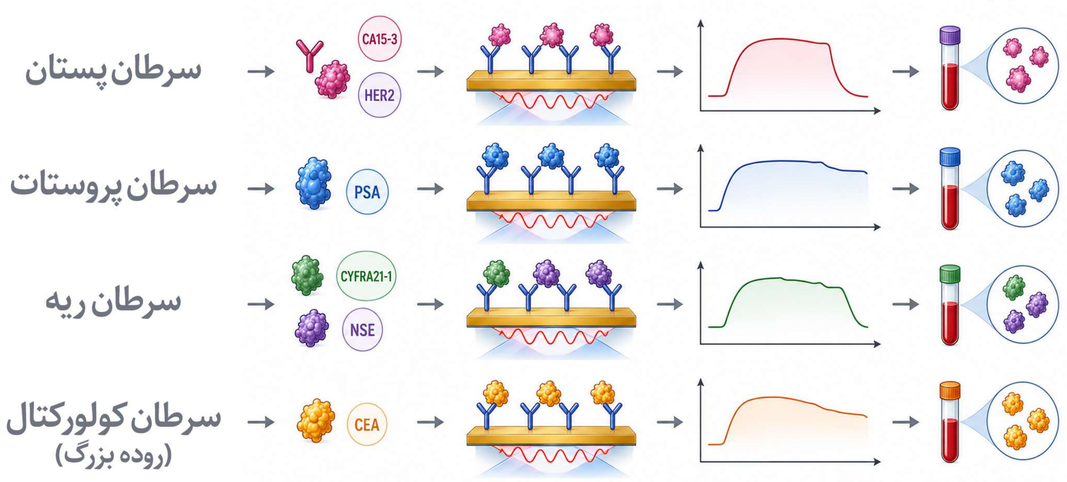
آنتی‌ژن اختصاصی پروستات (Prostate-Specific Antigen: PSA) یکی از مهم‌ترین نشانگرهای زیستی در تشخیص سرطان پروستات است. فناوری SPR امکان اندازه‌گیری دقیق PSA را در نمونه‌های سرمی فراهم می‌کند. برخلاف روش‌های سنتی مانند ELISA، این روش قادر است تغییرات لحظه‌ای اتصال آنتی‌ژن–آنتی‌بادی را ثبت کرده و اطلاعات سینتیکی دقیق‌تری ارائه دهد. این ویژگی در تشخیص افتراقی بین سرطان پروستات و هایپرپلازی خوش‌خیم پروستات اهمیت دارد [۳].

سرطان ریه

در سرطان ریه، بیومارکرهایی مانند CYFRA۲۱-۱ و NSE (Neuron-Specific Enolase) کاربرد دارند. SPR به دلیل حساسیت بالا در تشخیص پروتئین‌های کم‌غلظت، امکان شناسایی این بیومارکرها را در مراحل اولیه بیماری فراهم می سازد. همچنین استفاده از سطوح اصلاح‌شده با گرافن یا نانوذرات طلا موجب افزایش شدت سیگنال و بهبود دقت تشخیص شده است [۴].

سرطان کولورکتال (روده بزرگ)

بیومارکر CEA (Carcinoembryonic Antigen) یکی از مهم‌ترین نشانگرهای سرطان کولورکتال است. بیوسنسورهای SPR توانایی تشخیص تغییرات بسیار کوچک در غلظت CEA را دارند و می‌توانند برای پایش پیشرفت بیماری و ارزیابی پاسخ به درمان مورد استفاده قرار گیرند. همچنین ترکیب SPR با آپتامرها باعث افزایش اختصاصیت در شناسایی این بیومارکر شده است [۵].



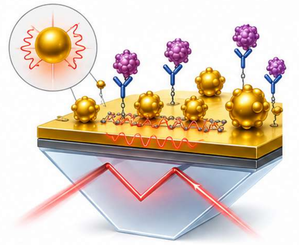
نوع سرطان	بیومارکر اصلی	نوع مولکول هدف	کاربردSPR
پستان	CA15-3 / HER2	پروتئین سطحی	**تشخیص زودهنگام و پایش درمان**
پروستات	PSA	آنتی‌ژن سرمی	**تشخیص و افتراق بیماری**
ریه	CYFRA21-1 / NSE	پروتئین‌های سرمی	**تشخیص مرحله اولیه**
کولورکتال	CEA	گلیکوپروتئین	**پایش پیشرفت و عود بیماری**

جدول ۳. بیومارکرهای مهم سرطان‌های شایع قابل تشخیص با SPR

فناوری‌های نوین و روندهای آینده در بیوسنسورهای SPR

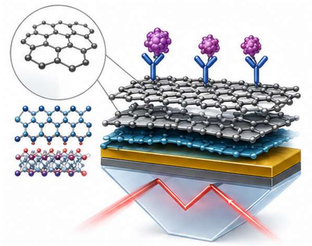
در سال‌های اخیر، توسعه بیوسنسورهای SPR به سمت افزایش حساسیت، کوچک‌سازی تجهیزات و بهبود قابلیت استفاده در محیط‌های بالینی هدایت شده است. استفاده از نانومواد پیشرفته، ساختارهای فیبر نوری و مواد دوبعدی موجب شده است که نسل جدیدی از حسگرهای SPR با عملکرد به‌مراتب بهتر نسبت به سامانه‌های کلاسیک توسعه یابد [٦].

نانوذرات طلا و تقویت سیگنال SPR



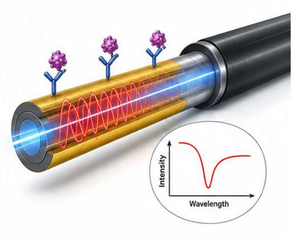
نانوذرات طلا (AuNPs) یکی از مهم‌ترین نانومواد مورد استفاده در حسگرهای SPR هستند. این نانوذرات با ایجاد پدیده پلاسمون سطحی موضعی (LSPR) موجب افزایش شدت میدان الکترومغناطیسی در سطح حسگر شده و در نتیجه حساسیت تشخیص را افزایش می‌دهند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که استفاده از نانوذرات طلا می‌تواند حد تشخیص بسیاری از بیومارکرهای سرطانی را تا محدوده فمتومولار کاهش دهد [٧].

مواد دوبعدی Graphene و MXene



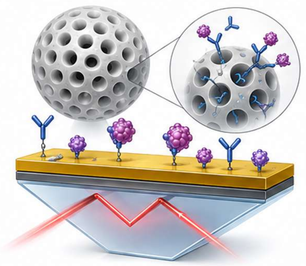
گرافن و MXene به دلیل سطح ویژه بالا، هدایت الکتریکی مناسب و قابلیت اصلاح شیمیایی گسترده، به عنوان مواد مکمل در طراحی حسگرهای SPR مورد توجه قرار گرفته‌اند. این مواد با افزایش جذب مولکول‌های زیستی روی سطح حسگر و بهبود انتقال سیگنال، موجب افزایش حساسیت و اختصاصیت سیستم می‌شوند. پژوهش های اخیر نشان داده‌اند که ترکیب گرافن با لایه‌های طلا می‌تواند عملکرد حسگرهای تشخیص سرطان را به طور قابل توجهی ارتقا دهد [٨].

حسگرهای SPR مبتنی بر فیبر نوری

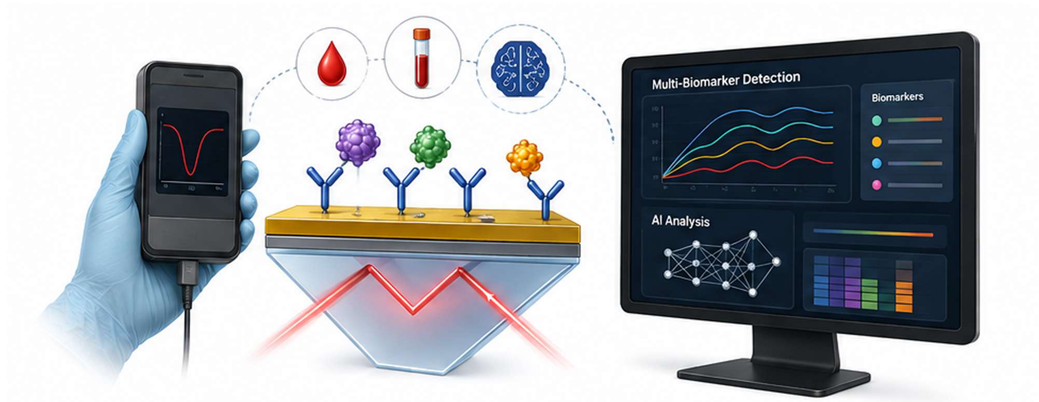


یکی از مهم‌ترین روندهای توسعه SPR در سال‌های اخیر، استفاده از فیبرهای نوری به جای ساختارهای منشوری است. حسگرهای فیبر نوری SPR دارای ابعاد کوچک‌تر، هزینه کمتر و قابلیت اندازه‌گیری در محل (Point-of-Care) هستند. علاوه بر این، امکان استفاده از آن‌ها در کاربردهای درون‌بدنی و تشخیص سریع بیماری‌ها وجود دارد. مرور جامعی که در سال ۲۰۲٤ منتشر شده است، حسگرهای فیبر نوری SPR را یکی از امیدوارکننده‌ترین فناوری‌های آینده در حوزه تشخیص پزشکی معرفی می‌کند [٦].

نانوذرات مزومتخلخل سیلیکا



نانوذرات مزومتخلخل سیلیکا (MSNs) به دلیل سطح ویژه بالا و قابلیت اصلاح سطحی گسترده، بستر مناسبی برای تثبیت آنتی‌بادی‌ها، آپتامرها و سایر مولکول‌های زیستی فراهم می‌کنند. استفاده از این نانوذرات در طراحی بیوسنسورها موجب افزایش تعداد جایگاه‌های اتصال و بهبود عملکرد حسگر می‌شود. در یک مقاله مروری منتشرشده در سال ۲۰۲٤، کاربرد گسترده MSNs در ساخت بیوسنسورهای تشخیص سرطان مورد تأیید قرار گرفته است [٩].



آینده SPR در تشخیص سرطان

ترکیب فناوری SPR با هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و سامانه‌های مبتنی بر فیبرهای نوری می‌تواند نسل جدیدی از حسگرهای فوق‌حساس را ایجاد کند. این سامانه‌ها قادر خواهند بود با استفاده از حجم کم نمونه، چندین بیومارکر سرطانی را به طور همزمان شناسایی کرده و امکان تشخیص بیماری در مراحل اولیه را فراهم سازند. همچنین توسعه حسگرهای قابل حمل مبتنی بر SPR می‌تواند نقش مهمی در پزشکی شخصی‌سازی‌شده و تشخیص در محل ایفا کند [٦,١٠].

نتیجه گیری

تشخیص زودهنگام سرطان یکی از مؤثرترین راهکارها برای افزایش موفقیت درمان و کاهش میزان مرگ‌ومیر ناشی از این بیماری است. در این میان، بیوسنسورهای مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی (SPR) به دلیل حساسیت بالا، قابلیت اندازه گیری در زمان واقعی و عدم نیاز به برچسب‌گذاری مولکولی، به عنوان یکی از فناوری‌های پیشرفته در تشخیص سرطان شناخته‌می‌شوند.

مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که این فناوری قادر است انواع مختلفی از بیومارکرهای سرطانی از جمله HER۲، PSA، CA۱۵-۳، CEA و سایر نشانگرهای زیستی را با دقت بالا شناسایی کند. همچنین پیشرفت‌های اخیر در زمینه نانوفناوری، استفاده از مواد دوبعدی و توسعه حسگرهای مبتنی بر فیبر نوری موجب افزایش عملکرد و کاهش حد تشخیص حسگرهای SPR شده است.

با وجود چالش‌هایی مانند هزینه تجهیزات و پیچیدگی برخی سامانه‌ها، روند تحقیقات نشان می‌دهد که حسگرهای SPR در آینده نقش مهمی در توسعه روش‌های تشخیص سریع، دقیق و غیرتهاجمی سرطان ایفا خواهند کرد. ترکیب فناوری SPR با نانومواد پیشرفته، هوش مصنوعی و سامانه‌های قابل حمل می‌تواند زمینه را برای توسعه نسل جدیدی از ابزارهای تشخیص پزشکی فراهم کند که قادر به شناسایی بیماری‌ها در مراحل بسیار اولیه باشند.

منابع

.1 Homola J. Surface Plasmon Resonance Sensors for Detection of Chemical and Biological Species. Chemical Reviews. 108. 2. 462–493. 2008. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr068107d.

2. Nguyen H.H., Park J., Kang S., Kim M. Surface Plasmon Resonance: A Versatile Technique for Biosensor Applications. Sensors. 15. 5. 10481–10510. 2015. https://doi.org/10.3390/s150510481 .

3. Raza A., Hayat A., Rasheed T., Bilal M., Iqbal H. M. N. Advances in Surface Plasmon Resonance–Based Biosensor Technologies for Cancer Biomarker Detection. Biosensors and Bioelectronics. 197. –. 113767. 2022. https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113767.

.4 Raza A., Hayat A., Rasheed T., Bilal M., Iqbal H. M. N. Advances in Surface Plasmon Resonance–Based Biosensor Technologies for Cancer Biomarker Detection. Biosensors and Bioelectronics. 197. –. 113767. 2022. https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113767.

.5 Yadav P. K., Kumar A., Upadhyay S., Kumar A., Srivastava A., Srivastava M., Srivastava S. K. 2D Material-Based Surface Plasmon Resonance Biosensors for Applications in Different Domains: An Insight. Mikrochimica Acta. 191. 7. 373. 2024. https://doi.org/10.1007/s00604-024-06442-w.

6. Lv J., Wang J., Yang L., Liu W., Fu H., Chu P. K., Liu C. Recent Advances of Optical Fiber Biosensors Based on Surface Plasmon Resonance: Sensing Principles, Structures, and Prospects. Sensors & Diagnostics. 3. 9. 1369–1391. 2024. https://doi.org/10.1039/D4SD00045E.

7. Chen C., Wang K., Luo L. AuNPs and 2D Functional Nanomaterial-Assisted SPR Development for the Cancer Detection: A Critical Review. Cancer Nanotechnology. 13. 1. 29. 2022. https://doi.org/10.1186/s12645-022-00138-7.

8. Yadav P. K., Kumar A., Upadhyay S., Kumar A., Srivastava A., Srivastava M., Srivastava S. K. 2D Material-Based Surface Plasmon Resonance Biosensors for Applications in Different Domains: An Insight. Mikrochimica Acta. 191. 7. 373. 2024. https://doi.org/10.1007/s00604-024-06442-w.

9. Mladenović M., Jarić S., Mundžić M., Pavlović A., Bobrinetskiy I., Knežević N. Ž. Biosensors for Cancer Biomarkers Based on Mesoporous Silica Nanoparticles. Biosensors. 14. 7. 326. 2024. https://doi.org/10.3390/bios14070326.

10. He C., Sun X., Zhong H., Meng Q., Zhou X., Liu S., Zheng L., Kong X., Chen S., Tao S., Yang T. A Flat Plasmonic Biosensing Interface on Optical Fiber End-Facet via SPP-MIM Hybridization. arXiv. –. –. arXiv:2410.15100. 2024. https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.15100.

”یاسمن بختیاری“

تله‌پاتی رباتیک: وقتی هوش مصنوعی افکار مغز را به متن تبدیل می کند

« فقط کافی است به یک جمله فکر کنی؛ نیازی به تکان‌دادن زبان ، حرکت لب ها یا اشاره با دست نیست. هوش مصنوعی کلمات را مستقیما از قشر خاکستری مغزت می‌خواند و روی مانیتور تایپ می‌کند!»

این توصیف شاید شبیه به سکانس‌های فانتزی فیلم‌های کریستوفر نولان یا ایده‌های بلندپروازانهٔ فیلم‌های ماتریکس باشد، اما به‌عنوان یک دانشجوی بیوالکتریک باید به‌َشما بگویم که در سال ۲۰۲۶، این پدیده دیگر یک رؤیای هالیوودی نیست؛ بلکه یک واقعیتِ مستندِ آزمایشگاهی است که در مرز میان مهندسی پزشکی و هوش مصنوعی شکل گرفته است.

ما در مهندسی پزشکی با یک مفهوم بنیادی به نام «رابط مغز و کامپیوتر» (BCI:Brain-Computer Interface) سر و کار داریم. هدف BCI ایجاد یک پل ارتباطی مستقیم میان مدارهای الکتریکی مغز و سیستم‌های دیجیتال است. اما انقلابی که اخیرا رخ داده، ترکیب این سخت‌افزارهای بیوالکتریک با مدل‌های بزرگ زبانی (LLMs) است؛ پدیده‌ای نوظهور که دانشمندان به آن NeuroGPT می‌گویند.

مغز ما چطور کدگذاری می‌کند؟

وقتی شما در ذهن خود به کلمه «سلام» فکر می‌کنید، دسته‌ای از نورون‌ها در قشر حرکتی گفتار (ناحیهٔ بروکا) شروع به فعالیت می‌کنند و الگوهای مشخصی از فرکانس و ولتاژ الکتریکی تولید می‌کنند. چالش کلاسَیک ما در بیوالکتریک همیشه این بود که این سیگنال‌ها به‌شدت نویزی، پیچیده و غیرخطی هستند. خواندن آن‌ها مثل این بود که بخواهید در یک استادیوم شلوغ و پر از فریاد، صدای پچ‌پچ یک نفر را تفکیک کنید!

اینجاست که هوش مصنوعی وارد بازیَ می‌شود. مدل‌های زبانی جدید، به‌جای اینکه تک‌تکِ امواج را به‌صورت مکانیکی و کلمه‌به‌کلمه ترجمه کنند، مثل یک مترجم هوشمند عمل می‌کنندَ که ساختار، معنا و دستورِ زبانِ انسان را می شناسند. آن‌ها الگوهای الکتریکیِ مغز را به‌عنوان یک «زبان خارجی» در نظر می‌گیرند و آن را به متنی روان تبَدیل می‌کنند.





فرآیند سه‌مرحله‌ای تبدیل فکر به متن

سیستم‌های مدرن رمزگشایی گفتار ذهنی، از یک پروتکل مهندسی سه‌مرحله‌ای و کاملاً منسجم پیروی می‌کنند:

۱- ثبت سیگنال با رزولوشن بالا: با استفاده از کلاه‌های پیشرفتهٔ EEG (غیرتهاجمی) یا آرایه‌های میکروسکوپی الکترود که روی قشر مغز قرار می‌گیرند، نوساناتِ ولتاژ در مقیاس میکروولت ثبت می‌شوند.

۲- فیلترینگ و استخراج ویژگی: سیگنال‌های خام از فیلترهای دیجیتال عبور می‌کنند تا نویز ناشی از حرکتِ چشم، بلعیدن یا ضربان قلب حذف شود. سپس ویژگی‌های فرکانسی متناسب با گفتار پنهان جداسازی می‌شوند.

۳- پیش‌بینی معنایی توسط LLM: هوش مصنوعی با تحلیل ماتریس داده‌های الکتریکی، احتمال حضور کلماتِ بعدی را بر اساس ساختارِ جمله محاسبه می‌کند و نزدیک‌ترین متن به فکرِ واقعی انسان را تولید می‌کند.

چالش‌های مهندسی بر لبهٔ تکنولوژی

شاید بپرسید اگر این سیستم این‌قدر پیشرفته است، چرا هنوز در زندگی روزمره از آن استفاده نمی‌کنیم؟ واقعیت این است که ما در فاز بالینی با چالش‌های مهندسی بسیار جدی روبه‌رو هستیم:

- **مسئله پهنای باند و زیست‌سازگاری الکترودها:**

برای دریافتِ باکیفیت‌ترین سیگنال، نیاز به کاشتِ الکترود درون مغز است. چالش بیوالکتریک اینجاست که سیستم ایمنی بدن تمایل دارد دور این سنسورها بافتِ فیبروزی ایجاد کند که بعد از مدتی مانع انتقالِ سیگنال‌های الکتریکی می‌شود. مهندسان به‌شدت در حال تحقیق روی هیدروژل‌های رسانای زیستی هستند.

- **پارادوکس اخلاق زیستی (Bioethics) :**

اگر یک سیستم هوش مصنوعی بتواند افکار پنهان یا تصاویر رویاهای ما را بازسازی کند ، مرز میان حریم شخصی و دنیای دیجیتال کلاً از بین می‌رود. به همین دلیل، استانداردسازی پروتکل‌های دسترسی در این حوزه، از خود مهندسی سخت‌افزار حیاتی‌تر شده است.

افق پیش رو: فراتر از بازیابی گفتار

هدف اولیهٔ این فناوری، بازگرداندن توانایی ارتباطی به بیماران مبتلا به ALS شدید یا سکته‌های مغزی است که توان حرکت و تکلم را کلاً از دست داده‌اند. اما افق آیندهٔ بیوالکتریک بسیار فراتر از این‌ها است. ما در حال حرکت به سمتی هستیم که انسان بتواند بدون نیاز به کیبورد یا ماوس، سیستم‌های پیچیدهٔ صنعتی، کدهای برنامه‌نویسی و کامپیوترها را صرفاً با متمرکز کردن افکارش کنترل کند؛ و این به معنای یک مدیریت کاملاً سیستماتیک، سریع و بدون واسطه است.

منابع:

[1] F. R. Willett, E. M. Kunz, C. Fan, et al., "A high-performance speech neuroprosthesis," Nature, vol. 620, no. 7976, pp. 1031–1036, Aug. 2023, doi: 10.1038/s41586-023-06377-x.

[2] S. L. Metzger, K. T. Littlejohn, A. B. Silva, D. A. Moses, et al., "A high-performance neuroprosthesis for speech decoding and avatar control," Nature, vol. 620, no. 7976, pp. 1037–1046, Aug. 2023, doi: 10.1038/s41586-023-06443-4.

[3] A. Petrosyan, et al., "Speech decoding from a small set of spatially segregated minimally invasive intracranial EEG electrodes," Journal of Neural Engineering, vol. 19, no. 6, 2022, doi: 10.1088/1741-2552/aca1e1.

[4] A. B. Silva, K. T. Littlejohn, J. R. Liu, D. A. Moses, and E. F. Chang, "The speech neuroprosthesis," Nature Reviews Neuroscience, vol. 25, no. 7, pp. 473–492, Jul. 2024.

[5] K. Whalley, "Restoring speech," Nature Reviews Neuroscience, vol. 24, p. 653, Nov. 2023, doi: 10.1038/s41583-023-00746-1.

[6] E. R. Kandel, J. D. Koester, S. H. Mack, and S. A. Siegelbaum, Principles of Neural Science, 6th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2021.

[7] N. S. Card, et al., "An Accurate and Rapidly Calibrating Speech Neuroprosthesis," The New England Journal of Medicine, vol. 391, no. 7, pp. 609–618, Aug. 15, 2024.

گاهنامه سیگنال حیاتی

انجمن علمی مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی همدان

راه ارتباطی با ما

انجمن علمی مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی همدان