مطالعه ساختاری حسگرهای کیمیاوی، نوری و بیولوژیکی

پوهنمل دکتور کیومرث پولادیان

دیپارتمنت کیمیای عمومی و غیرعضوی، پوهنځی کیمیا، پوهنتون کابل، کابل، افغانستان
ایمیل: qumarspoladian@gmail.com

چکیده

سنجش کیمیاوی (حسگرهای کیمیاوی) بخشی از پروسه کسب اطلاعات بوده که در آن فهم دقیق در مورد ترکیب کیمیاوی یک سیستم در زمان واقعی به‌دست می آید. در این پروسه، یک سیگنال الکترونیکی تقویت شده از تعامل بین بعضی از مواد کیمیاوی و حسگر حاصل می‌شود. به‌صورت کلی، تعامل در حسگرها شامل دو مرحله می‌باشد: شناسایی و تقویت. می‌توان مثال رایج اندازه‌گیری pH محیط‌های مختلف را با الکترود شیشه‌یی، تعیین غلظت، فشار و درجه حرارت، تشخیص گازات مختلف و دیگر موارد را ارائه نمود. دراین مقاله‌ی مروری کوشش می‌شود تا در مورد حسگرهای مختلف من‌جمله حسگرهای کیمیاوی (chemical sensors) و سایر انواع حسگرها معلومات ارائه شده و مزیت‌های مربوطه‌ی شان نسبت به یک دیگر برملا شود.

اصطلاحات کلیدی: حسگرها؛ حسگرهای کیمیاوی؛ سیگنال‌های الکترونیکی؛ تشخیص pH؛ تشخیص گازات

Structural Study of Chemical, Optical, and Biological Sensors

Sr. Teaching Asstt. Qumars Poladian (PhD)

Department of Inorganic Chemistry, Faculty of Chemistry, Kabul University, Kabul, Afghanistan

Email: qumarspoladian@gmail.com

Abstract

Chemical sensing (chemical sensors) is a part of the information acquisition process in which a precise understanding of the chemical composition of a system is obtained in real-time. In this process, an amplified electronic signal results from the interaction between some chemical species and the sensor. In general, interaction in sensors includes two stages: identification and amplification. The common example of measuring the pH of different environments with a glass electrode, determination of concentration, pressure, and temperature, detection of different gases, and other cases can be presented. In this review article, an attempt is made to provide information about various sensors, including chemical sensors and other types of sensors, and to reveal their respective advantages over each other.

Keywords: Sensors; Chemical Sensors; Electronic Signals; Ph Detection; Gas Detection

مقدمه

حسگرهای مدرن یک خروجی (output) ولتاژ یا یک سیگنال دیجیتلی تولید می‌کنند که تغییرات متغییرهای فزیکی اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. این سیگنال‌های خروجی حاصله اغلب به پروگرام‌های کمپیوتری وارد می‌شوند، در فایل‌ها ذخیره شده، روی کمپیوترها ترسیم شده و برای کاربران نهایی تجزیه و تحلیل می‌شوند. حسگرها شامل انواع متعددی اند که حاوی فورمول‌های ساده و مغلق می‌باشند. یک طریقه طبقه‌بندی عملی حسگرها همه ویژه‌گی‌های حسگر مانند حالت تحرک، مشخصات، پدیده‌های فزیکی، میکانیزم تبدیلی، ماده و موارد کاربردی آن‌ها را در نظر می‌گیرد. سایر روش‌های طبقه‌بندی برای حسگرها شامل اصل اثر فزیکی یا کیمیاوی انتقال است که متغییر ورودی اولیه، ماده عنصر حسگر، قیمت کاربرد، دقت و دامنه سیگنال خروجی را اندازه‌گیری می‌کند.

اهمیت تحقیق

تجزیه و تحلیل مواد کیمیاوی و دریافت معلومات در باره ترکیب و مشخصات آن‌ها همیشه مورد توجه محققان در بخش علم کیمیا بوده و می‌باشد. برای دریافت فهم دقیق و عمیق در مورد ترکیب، نحوه تعامل و حاصل نمودن اطلاعات قابل فهم، حسگرهای کیمیاوی از اهمیت ویژۀ برخوردار هستند. از این‌رو در این مقاله مروری در مورد انواع مختلف حسگرهای کیمیاوی معلومات بعد از تحقیق دقیق مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مربوطۀ آن‌ها در شکل یک رساله مروری ترتیب شده اند.

هدف تحقیق

هدف این تحقیق مروری جمع‌آوری اطلاعات در مورد حسگرها من‌جلمه حسگرهای کیمیاوی، الکتروکیمیاوی، نوری و بیولوژیکی بوده که در مورد چگونگی کارکرد، مزایای استفاده و قابلیت‌های تشخیص مواد و تبدیل نمودن آن‌ها به سیگنال‌های قابل فهم بحث می‌کند.

سؤالات تحقیق

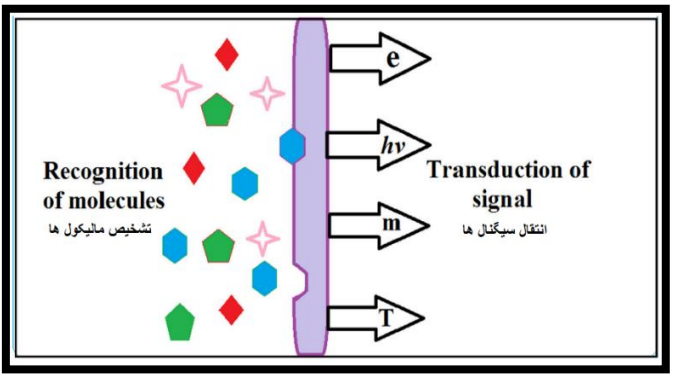
۱. اهمیت حسگرهای مختلف کیمیاوی در تشخیص و شناسایی مواد کیمیاوی چیست؟
۲. چرا انواع مختلف حسگرها مورد استفاده قرار می‌گیرند؟
۳. مزایای استفاده از حسگرهای مختلف نسبت به یک‌دیگر چگونه می‌باشد؟

یکی دیگر از روش‌های طبقه‌بندی حسگرها براساس سیگنال‌های خروجی بوده که بیشتر انواع حسگرهای کاربردی که می‌توانند با قابلیت آن‌ها مرتبط باشند به شرح زیر نام برده شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند (۱):

۱. حسگرهای کیمیاوی (Chemical Sensors)؛
۲. حسگرهای الکتروکیمیاوی (Electrochemical Sensors)؛
۳. حسگرهای نوری (Optical Sensors)؛
۴. حسگرهای بیولوژیکی (Biosensors).

حسگرهای کیمیاوی

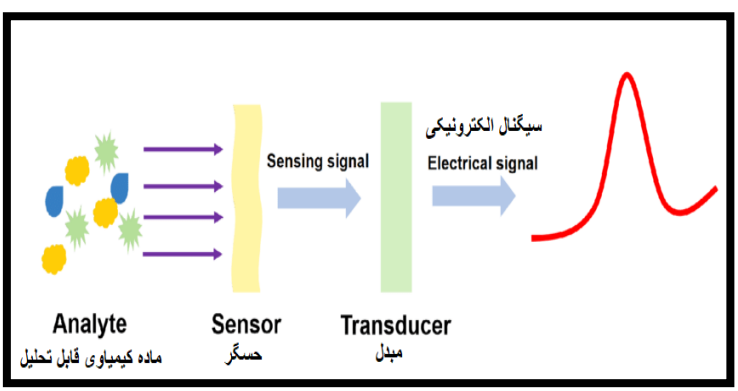
حسگرهای کیمیاوی از جمله دستگاه‌هایی هستند که اطلاعات کیمیاوی (مانند غلظت، فشار، فعالیت ذرات) را شناسایی نموده و به سیگنال‌های الکترونیکی (برقی) تبدیل می‌کند. این سیگنال‌های الکترونیکی (برقی) اطلاعات کیفی و یا کمی زمانی و مکانی را در مورد اجزای کیمیاوی خاص مهیا می‌سازند. حسگرهای کیمیاوی ممکن است براساس ویژه‌گی‌های حسگرهای مختلف مورد استفاده، برای تشخیص ذرات طبقه‌بندی شوند. متداول‌ترین ویژه‌گی‌های مورد استفاده عبارتند از هدایت، پوتانشیل، ظرفیت، حرارت، کتله یا ثابت‌های نوری که براساس تغییرات در ترکیب‌های گونه‌های کیمیاوی در تعامل با حسگر تغییر می‌کنند، می‌باشند. تنوع زیادی از حسگرهای کیمیاوی در بازار وجود دارند. نمونه‌های معمولی از حسگرهای کیمیاوی رایج به شرح زیر است: حسگر امپرومتریک گاز کاربن‌مونواکساید CO براساس اندازه‌گیری جریان در الکترولیت‌های مایع برای نظارت بر کیفیت هوا استوار است. کاوش‌گر لامبدا (Lambda-probe) که براساس اندازه‌گیری‌های پوتانشیل از الکترولیت‌های جامد برای تشخیص اوکسیجن در قسمت سلنسر موترها استوار می‌باشد. حسگر (Taguchi SnO) هدایت اکسایدها برای تشخیص گازهای قابل کاهش در سیستم‌های هشدار گاز را اندازه گیری می‌کند. الکترود حساس به pH، تغییر پوتانشیل و غیره را دنبال می‌کند و دیگر انواع حسگرهای کیمیاوی. خاصیت انتخابی بالا و تشخیص مقداری گونه‌های کیمیاوی معمولاً برای حسگرها مورد نیاز نمی‌باشد. برخلاف تجهیزات دقیق لابراتوارهای تجزیه کیمیاوی، تشخیص گونه‌های کیمیاوی با حسگرهای کیمیاوی معمولاً خاصیت انتخابی کمتری دارد؛ اما این دستگاه‌ها می‌توانند ابعاد کوچکی داشته باشند و نسبتاً ارزان هستند. لایه‌های نازک (thin films) و نانوساختارها (nanostructures) نقش مهمی را در تکنالوژی‌های پیشرفته حسگرها و محرک‌ها، هم به‌عنوان مبدل (مواد کاربردی) و هم به‌عنوان مواد ساختاری، ایفا می‌کنند. سیستم‌های مایکروالکترومیخانیکی (MEM) نمونه خوبی از استفاده رو به پیشرفت از مواد محدود شده به ابعاد زیر میکرونی (submicron dimensions) برای انجام عملکردهای متعدد و متنوع در دستگاه‌های پیشرفته می‌باشد. در زیر (شکل ۱)، شکل شیماتیک حسگر کیمیاوی نمایش داده شده است (۲).



شکل ۱: دیاگرام شیماتیک یک حسگر کیمیاوی (۲)

حسگرهای الکتروکیمیاوی

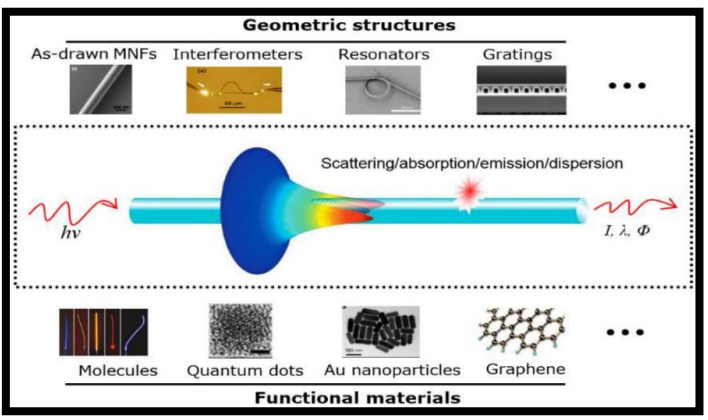
حسگرهای کیمیاوی از نوع خاص پاسخ که مستقیماً با کمیت یک گونه کیمیاوی مشخص ارتباط دارد (شکل ۲)، استفاده می‌کنند. همه حسگرهای کیمیاوی حاوی یک مبدل (transducer) که پاسخ را به یک سیگنال قابل تشخیص در وسایل دقیق مدرن تبدیل نموده و یک قشر انتخابی کیمیاوی که پاسخ ماده کیمیاوی قابل تحلیل (analyte) را از محیط آن جدا می‌کند، می‌باشند. تصنیف براساس ویژه‌گی‌هایی که باید به‌عنوان حسگرهای الکترونیکی (برقی)، نوری، کتلوی و یا حرارتی تعیین می‌شوند و برای شناسایی و پاسخ به یک ماده کیمیاوی قابل تحلیل (analyte) در حالت گاز، مایع یا جامد طراحی شده اند، صورت می‌پذیرد. حسگرهای الکتروکیمیاوی در مقایسه با حسگرهای نوری، کتلوی و حرارتی به دلیل قابلیت تشخیص قابل توجه، ساده‌گی تجربی و قیمت پایین از جذابیت بیشتری برخوردار می‌باشند. در مجموع سه نوع معروف حسگرهای الکتروکیمیاوی بنام‌های پوتانشیومتری، امپرومتری و کاندکتومتری وجود دارند (۳).



شکل ۲: طرزکار کلی حسگرهای الکتروکیمیاوی (۴)

حسگرهای نوری

حسگرهای نوری وسایلی هستند که امواج نور را به سیگنال‌های الکترونیکی (برقی) تبدیل می‌کنند. حسگرهای نوری عموماً براساس اندازه‌گیری میزان تغییرات شدت در یک یا چند شعاع نور و یا تغییرات فاز در شعاعات نوری را که با یکدیگر تعامل یا تداخل دارند، تجزیه و تحلیل می‌کنند. از این‌رو، حسگرهای متعلق به این دسته یا حسگرهای شدت و یا حسگرهای تداخل‌سنجی نامیده می‌شوند. مزیت حسگرهای نوری در مقایسه با انواع معمولی، در ظرفیت فایبرهای نوری نهفته است که سیگنال‌های نوری را در فواصل طولانی ارسال و دریافت می‌کنند (شکل ۳) (۵).

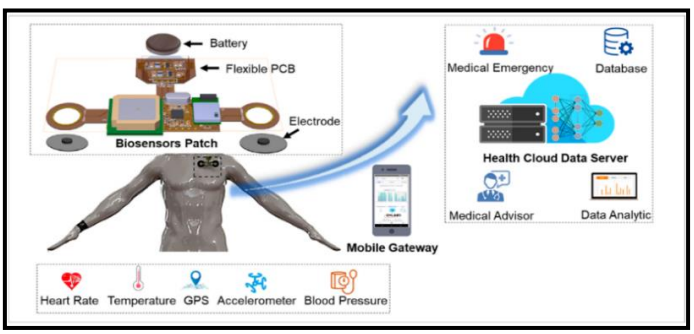


شکل۳: دسته‌بندی شیماتیکی حسگرهای نوری (۵)

حسگرهای بیولوژیکی

حسگر بیولوژیکی عبارت از یک دستگاه تحلیلی بوده که یک تغییر بیولوژیکی را به یک سیگنال قابل اندازه‌گیری و قابل پروسس تبدیل می‌کند. حسگرهای بیولوژیکی شامل یک جزء بیولوژیکی (گیرنده بیوشیمی) همراه با یک مبدل (transducer) بوده که معلومات بیولوژیکی را به سیگنال الکترونیکی (برقی) تبدیل می‌کند. یک مالیکول بیولوژیکی، مانند انزایم یا حجرات، تکه‌ای از نسج، عضویت، پیپتاید، انتی‌بادی، نوکلییک اسید و غیره، شناسایی مالیکولی را تضمین نموده و ممکن ماده کیمیاوی قابل تحلیل (analyte) را به نحوی تغییر دهد. مبدل الکتروکیمیاوی (پوتانشیومتری، امپرومتری و یا کاندکتومتری) تغییر را نشان می‌دهد. انتخاب مبدل مورد نظر به تعامل بیولوژیکی بستگی دارد. تشخیص مالیکولی می‌تواند با تبدیل شدن کیمیاوی ماده قابل تحلیل به محصولات آن، که توسط حسگر بیوکتلستی (biocatalytic sensor) تعیین می‌شود، همراه باشد. در موارد دیگر، زمانی‌که یک انتی‌بادی استفاده می‌شود، سیستم‌های تشخیص بیولوژیکی اختصاصی و فعل و انفعالات بدون تبدیل ماده کیمیاوی قابل

تحلیل انجام پذیرفته که در نتیجه آن یک حسگر میل ترکیبی ایجاد می‌شود. ترکیب تکنالوژی نانو و بیوالکترونیک امکانات جدیدی را برای کوچک‌سازی و بهینه‌سازی دستگاه‌های با مقیاس مایکرو در مقیاس نانو نشان داده است. این حالت اندازه‌گیری خصوصیات الکترونیکی (برقی) خاص در ترکیب با مبدل‌های مختلف الکتروکیمیاوی را امکان‌پذیر ساخته است. نسبت سطح به حجم بالاتر نانو اجسام (nanoobjects)، خصوصیات الکترونیکی (برقی) آن‌ها را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در مقابل تأثیرات خارجی حساس می‌کند، به خصوص زمانی‌که این ساختارها هم‌چنان به سمت حد اتومی کوچک می‌شوند (٦). از آن‌جایی‌که ابعاد نانومتری این اجسام با اندازه مالیکول‌های بیولوژیکی هدف قابل مقایسه است، حساسیت اندازه‌گیری بالاتری ممکن است انجام شود و حساسیت نیز ممکن است به دلیل بازده‌ای جذب بالاتر افزایش یابد. نانوساختارها (nanostructures) درحال حاضر مؤلفه‌های جدید مهمی را در حسگرهای بیولوژیکی الکتروکیمیاوی توسعه‌یافته اخیر نشان می‌دهند، مانند استفاده از نانوذرات به‌عنوان لیبل‌های (labels) الکتروکیمیاوی برای سنجش DNA (۷، ۸). به‌عنوان مثال، نانو سیم‌ها (nanowires)، نانوتیوب‌های کاربنی (carbon nanotubes) و نانو میله‌ها (nanoparticles) صرفاً از جمله اشیاء آشنا هستند که به‌عنوان کاندیدان تبدیل شدن به عناصر حیاتی دستگاه‌های بیوالکترونیکی و حسگرهای بیولوژیکی آینده ظاهر می‌شوند (۹، ۱۰).



شکل۴: نمایه‌ای از حسگر بیولوژیکی قابل پوشیدن (۱۱)

نتیجه‌گیری

یکی از جمله پیشرفت‌های اخیر که در زمینه‌های مختلف ساینس و تکنالوژی توسط بشریت به ارمغان آورده شده است، موضوع مهم و حیاتی حسگرها می‌باشد. حسگرها در حقیقت فهم دقیق و عمیق از اطلاعات مختلف منجمله اطلاعات کیمیاوی را در اختیار محققان قرار داده تا با تحلیل اطلاعات داده شده، پیرامون دنیای عظیم مواد کیمیاوی معلومات حاصل نمایند. در این رساله‌ای تحقیقی مروری، در مورد حسگرهای کیمیاوی که اطلاعات کیمیاوی (مانند غلظت، فشار، فعالیت ذرات) را به سیگنال‌های الکترونیکی تبدیل می‌نماید، بحث شده است. این حسگرها در تشخیص گازات مختلف مانند

کاربن‌دای‌اکساید، اوکسیجن و غیره کاربرد داشته و برای تشخیص محیط‌های مختلف مواد جهت تعیین pH مورد نظر نیز استفاده می‌شوند. در مورد نوع دیگر حسگر کیمیاوی که بنام حسگرهای الکتروکیمیاوی یاد می‌شوند، معلومات جمع‌آوری شده است. حسگرهای متذکره در مقایسه با سایر حسگرها (نوری، کتلوی، حرارتی وغیره) به دلیل ظرفیت تشخیص قابل توجه، ساده‌گی تجربی و قیمت پایین از جذابیت بیشتری برخوردار می‌باشد. به همین ترتیب، حسگرهای نوری که امواج نور را به سیگنال‌های الکترونیکی تبدیل می‌کنند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این حسگرها دارای مزیت ظرفیت فایبر نوری نسبت به دیگر حسگرها بوده که سیگنال‌های نوری را در فواصل طولانی ارسال و دریافت می‌کنند . هم‌چنان، در مورد حسگرهای بیولوژیکی تحلیل که یک تغییر بیولوژیکی را به یک سیگنال قابل‌اندازه‌گیری و قابل پروسس تبدیل می‌کند، بحث صورت گرفته است. نتیجه مشخص از این بحث مروری موضوعات مختلف را پیشنهاد می‌نماید. این‌که، برای پیشرفت فعالیت‌های علمی و تحقیقی که در نهایت منجر به فعالیت‌های کاربردی در سطح جامعه می‌شوند، استفاده از این وسایل در مراکز علمی کشور به‌خصوص پوهنتون کابل یک امر ضروری و حیاتی پنداشته می‌شود. بحث در مورد حسگرها و کاربرد آن‌ها خیلی وسیع بوده و از حوصله‌ای این مقاله مروری خارج می‌باشد. کوشش می‌شود تا در مقالات آینده در مورد حسگرهای مختلف و کاربرد آن‌ها به‌صورت مشخص بحث صورت گیرد.

منابع

1. Mabe TL, Ryan JG, Wei J. Functional thin films and nanostructures for sensors. Elsevier Inc. 2018; 169–213.
2. Grandke T, Göpel W, Hesse J, Zemel JN, editors. Sensors: Fundamentals and general aspects. VCH Publishers; 1989.
3. Stradiotto NR, Yamanaka H, Valnice M, Zanoni B. Electrochemical sensors: a powerful tool in analytical chemistry. J. Braz. Chem. Soc. 2003; 14(2): 159–173.
4. Li Fu, Aimin Yu, Guosong Lai. Conductive Hydrogel-Based Electrochemical Sensor: A Soft Platform for Capturing Analyte. Chemosensors. 2021; 9: 282.
5. Tong L. Micro/Nanofibre Optical Sensors: Challenges and Prospects. 2018; 18: 903.
6. Grieshaber D, MacKenzie R, Vörös J, Reimhult E. Electrochemical biosensors- sensor principles and architectures. Sensors. 2008; 8: 1400–1458.
7. Merkoci A. Electrochemical biosensing with nanoparticles. FEBS J. 2007; 274(4): 310–316.
8. Park SJ, Taton TA, Mirkin CA. Array-based electrical detection of DNA with nanoparticle probes. Science. 2002; 295(5559): 1503–1506.
9. Wanekaya AK, Chen W, Myung NV, Mulchandani A. Nanowire-based electro-chemical biosensors. Electroanalysis. 2006; 18(6): 533–550.
10. Stadler B, et al. Nanopatterning of gold colloids for label-free biosensing. Nanotechnology. 2007; 18(15): 1–6.
11. Phan DT, et al. A Flexible, Wearable, and Wireless Biosensor Patch with Internet of Medical Things Applications. Biosensors. 2022; 12: 139.