



نانو زیست حسگر جدید بر پایه نانوکامپوزیت نیکل(II) اکسید/گرافن اکسید/پورپالد جهت اندازه گیری غیر آنزیمی گلوکز

مجتبي قرباني'، على اكبر طرلاني*'، سعيد تقوايي گنجعلي*'، مرسده ملك زاده '

ا دانشکده شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

^۲ پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران.

چکیده: دیابت یکی از علل اصلی مرگ و میر و ناتوانی در جهان است. اندازه گیری غیر آنزیمی گلوکز در کنترل دیابت تاثیر بسزایی دارد. تشخیص و مدیریت دیابت نیاز به کنترل دقیق سطح گلوکز خون دارد. در یک رویکرد جدید، نانوساختار نیکل(II) اکسید به روش هیدورترمال(آب گرمایی) با کمک اسید آمینه دو عاملی لیزین و افزودنی اوره سنتز شد. سپس نانوساختار نیکل(II) اکسید بر روی گرافن اکسید عامل دار شده با پورپالد بارگذاری شد. مشخصه یابی نانوکامپوزیت فوق توسط طیف زیر قرمز تبدیل فوریه، طیفسنجی فوتوالکترون پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام شد. به منظور ساخت یک نانو زیست حسگر جدید برای تشخیص گلوکز بدون نیاز به گلوکز اکسیداز، نانوساختار تهیه شده بر روی الکترود کربن شیشهای قرار داده شد. حساسیت نانو زیست حسگر طراحی شده برای اندازه گیری گلوکز MM

واژگان كليدى: ولتامترى چرخە اى، آب گرمايى، نانوساختار.

Tarlani@ccerci.ac.ir, Taghvaei@hotmail.com

۱ – مقدمه

دیابت یک مشکل بهداشت عمومی در سراسر جهان است و یکی از علل اصلی مرگ و میر و ناتوانی در جهان است. تشخیص و مدیریت دیابت نیاز به نظارت دقیق بر سطح گلوکز خون دارد[۲،۱]. از زمانی که برای اولین بار در سال ۱۹۶۲ حسگرهای گلوکز توسعه یافتند[۳]، رویکردهای مختلفی در عملکرد آنها مورد بررسی قرار گرفتند. به طور کلی حسگرهای گلوکز به دلیل گزینش پذیری و حساسیت بالا بر پایه گلوکز اکسیداز ساخته شده اند. با این حال، اشکالات اجتنابناپذیری مانند ناپایداریهای شیمیایی و حرارتی ناشی از ماهیت ذاتی آنزیمها و همچنین

روش های ساخت پرزحمت ممکن است کاربردهای تجزیه ای آنها را محدود کند[۴]. تلاش های زیادی برای تعیین مستقیم گلوکز با حسگرهای غیر آنزیمی انجام شده است تا از معایب حسگرهای آنزیمی جلوگیری شود. ساخت و ذخیرهسازی حسگرهای غیرآنزیمی ساده است زیرا هیچ اتصال/تخریب آنزیمی در آنها وجود ندارد و حسگرها ممکن است تحمل بهتری نسبت به دما، pH و حضور مواد شیمیایی سمی داشته باشند[۵]. الکترودهای آلیاژی آنها به عنوان حسگرهای غیر آنزیمی گلوکز متمرکز شدهاند[۶]. از آنجایی که استفاده از این فلزات بسیار پرهزینه است، تحقیقات قابل توجهی بر روی استفاده از مواد

اکسید فلزی مقرون به صرفه تر مانند نیکل اکسید، مس اکسید و کبالت اکسید متمرکز شده است[۱۱–۷]. به دلیل مساحت سطح بالا، زیست سازگاری خوب، هزینه نسبتا کم و فعالیت کاتالیزگری بالا، NiO و CuO مى توانند عوامل اصلاح كننده ايده آل براى اندازه گیری غیر آنزیمی گلوکز باشند. به تازگی، گرافن و مواد مشتق از آن برای طراحی حسگرهایی الکتروشیمیایی با عملکرد بالاتر استفاده شده اند[١٣–١١]. توسعه نانو زیست حسگرها برای اندازه گیری گلوکز با استفاده از نانو کامپوزیت های جدید نیکل اکسید و گرافن اکسید نتایج امیدوارکننده ای را نشان داده است[١٧-١٢]. اين نانوكاميوزيت ها حساسيت عالى، حد تشخيص کم، محدوده خطی گسترده و گزینش پذیری خوبی برای تشخيص گلوكز از خود نشان داده اند[۱۸]. به عنوان مثال، نانوهيبريد NiO-Co₃O₄/rGO پاسخی خطی از ^۴ ۲۰۰× ۱/۲۳ تا ۱۰ میلیمولار با حد تشخیص ۰/۱۳ میکرومولار نشان داده است. به طور مشابه، نانوذرات آلیاژ دو فلزی Ni-Cu که بر روی گرافن اکسید کاهش یافته قرار گرفته است، محدوده خطی گستردهای از ۰/۰۱ میکرومولار تا ۳۰ میکرومولار با حد تشخیص ۰/۰۰۵ میکرومولار نشان داده است. این پیشرفت ها در نانو زیست حسگرها پتانسیل قابل توجهی برای تعیین دقیق و کارآمد گلوکز دارند. این تحقیق شامل سنتز سولووترمال نانوساختار مس(II) اکسید با استفاده از افزودنیهای جدید است. این نانوساختار پس از این برای شناسایی مولکول زیستی گلوکز با استفاده از روش غير أنزيمي استفاده مي شود. در اين تحقيق از يک الکترود کربن شیشهای(GCE) مقرون به صرفه و ساده استفاده می شود که با استفاده از گرافن اکسید پیوند شده با پوریالد تقویت شده است. شکل ۱ ساختارهای شیمیایی گرافن اکسید(الف)، پورپالد(ب) و کامپوزیت گرافن اکسید/پورپالد(ج) را نشان میدهد. همچنین در این شکل راهکار مورد استفاده برای سنتز نیکل اکسید آورده شده است(۱ د).

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد و دستگاه ها

پودر گرافیت با قطر کمتر از ۲۰ میکرومتر از شرکت شیمی پژوهش آسیا تهیه شد. نیکل(II) نیترات هگزا هیدرات، لیزین،



شکل ۱. ساختارهای شیمیایی (الف) گرافن اکسید، (ب) پورپالد و (ج) کامپوزیت گرافن اکسید/پورپالد و (د) راهکار سنتز نانوساختار نیکل(II) اکسید به روش هیدروترمال با کمک اسید آمینه دو عاملی لیزین و افزودنی اوره.

اوره، پتاسیم هیدروکسید و اتانول از شرکت شیمیایی مرک خریداری و پورپالد (۴–آمینو–۳–هیدرازینو–۵–مرکاپتو–۱،۲،۴– تریازول) از سیگما آلدریچ خریداری شد.

طیفهای FT-IR گرافن اکسید و کامپوزیت آن با استفاده از طیفسنج مادون قرمز تبدیل فوریه، 55 Spectrum (PERKIN-ELMER) به دست آمد. طیفها در محدوده عدد موجی ¹-۴۰۰۰ cm⁻¹ با وضوح ¹⁻۴ به دست آمدند.

حالتهای شیمیایی گرافن اکسید اصلاحشده با استفاده از طیفسنجی فوتوالکترون اشعه ایکس(XPS) با استفاده از یک منبع اشعه ایکس آند AL تجزیه و تحلیل شدند. اندازه گیریها در فشار خلاء ^{۱۰-} ۱۰ میلیبار با استفاده از طیفسنج BesTec انجام شد. پیکهای حاصل در طیفهای XPS با استفاده از یک تابع شد. پیکهای حاصل در طیفهای SER با استفاده از یک تابع گوسین تجزیه و تحلیل شدند. ریختشناسی نمونهها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) ساخت شرکت SERON میکروسکوپ الکترونی روبشی(ALS2100) ساخت شرکت Jech نالیز الکتروشیمیایی با استفاده از یک آنالیز الکتروشیمیایی با استفاده از یک شد.

۲-۲- سنتز گرافن اکسید

ابتدا یک ظرف شیشه ای در یک حمام سرد قرار می گیرد. در مرحله اول این مرحله آزمایشی، حفظ دمای زیر ۱۰ درجه سانتیگراد با قرار دادن دماسنج در حمام بسیار مهم است. ۴۶ میلی لیتر اسید سولفوریک با غلظت ۹۸ درصد به همراه ۲ گرم گرافیت خالص به ظرف اضافه شد. سپس محتویات ظرف به مدت ۱۵ دقیقه همزده شد. در حالی که محلول فوق به مدت ۱/۵ ساعت به شدت همزده می شد، مقدار ۶ گرم پودر پتاسیم پرمنگنات به آرامی به مخلوط اضافه شد. پس از اتمام مرحله اختلاط، هم زدن به مدت نیم ساعت اضافی ادامه یافت. سپس دمای حمام به ۳۵ درجه سانتیگراد افزایش یافت. پس از رسیدن به دمای پایدار، فرآیند اختلاط برای یک ساعت دیگر ادامه یافت. برای رقیقسازی، ۴۰۰ میلیلیتر آب مقطر به ظرف اضافه شده و سپس مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه بهطور مداوم همزده شد. حفظ دمای حمام زیر ۴۰ درجه سانتیگراد در این نقطه بسیار مهم است. پس از افزودن آب مقطر به مخلوط، ۲۰ میلی لیتر هیدروژن پراکسید با غلظت ۳۰ درصد به آرامی به ظرف اضافه شد. عملیات اختلاط به مدت نیم ساعت ادامه یافت. در طول این مرحله خاص، محلول یک انتقال کوتاه را تجربه می کند که منجر به تغییر رنگ به زرد روشن می شود. پس از آن، مخلوط تحت یک روش شستشو شامل محلول اسید هیدروکلریک ۱ مولار و سپس شستشوی بيشتر با آب مقطر قرار گرفت. هدف از اين فرآيند حذف يونها و افزایش مقدار pH بود[۲۰, ۱۹].

۲–۳– سنتز گرافن اکسید عامل دار شده با پورپالد(PUR-g-GO)

افزودن ۱۰۰ میلی گرم گرافن اکسید به ۲۰۰ میلی لیتر آب بدون یون در یک بالن ۵۰۰ میلی لیتری ته گرد منجر به پراکندگی یکنواخت شد. سپس محلولی حاوی ۲۰۰ میلی گرم پورپالد و ۲۰۰ میلی گرم پتاسیم هیدروکسید اضافه شده و مخلوط به مدت ۱ ساعت در معرض امواج فراصوت قرار گرفت. پس از آن، مخلوط به یک حمام روغن منتقل شده و در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت با همزدن مداوم تا زمانی که یک محلول سیاه همگن به دست آمد، در معرض رفلاکس قرار گرفت. محلول با استفاده از نانوصافی صاف شده، سپس با محلول اسید هیدروکلریک ۱ مولار و آب مقطر شستشو داده شد. رسوب جمع

آوری شده با احتیاط در یک بشر ریخته شده و سپس در یک خشک کن مجهز به دریچه خلاء در دمای محیط ثابت قرار داده شد[۲۰, ۲۰].

۲-٤- سنتز نیکل اکسید

در ابتدا ۱/۰۲ گرم اوره و ۰/۲۹ گرم لیزین به بشر اضافه شد. سپس محلول ۴۰ میلی لیتری متشکل از مقادیر مساوی آب و اتانول به بشر اضافه شد و به خوبی هم زده شد. مقدار ۱/۸۶ گرم نیکل(II) نیترات به بشر دیگری اضافه شده و سیس ۴۰ میلی لیتر محلول متشکل از مقادیر مساوی آب و اتانول اضافه و همزده شد. محتویات دو بشر در یک بشر ۲۰۰ میلی لیتری ترکیب شده و با استفاده از همزن مغناطیسی به مدت ۱۵ دقیقه همزده شد. محلول به دست آمده با استفاده از اتوکلاو تفلونی به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد تحت یک فرآیند حرارت دهی قرار گرفت. سپس، محصول به دست آمده خنک و pH آن در عدد ۹ تنظیم شد. سوسپانسیون سپس صاف شده و در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در آون خشک شد. برای دستیابی به اندازه ذرات ثابت، رسوب در هاون پودر شده و فرآیند کلسینه کردن در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد با سرعت گرمایش ۵ درجه سانتیگراد در دقیقه به مدت ۳ ساعت در داخل کوره انجام شد. ابعاد نانو نيكل اكسيد با استفاده از ميكروسكوپ الكتروني روبشي(SEM) و ميكروسكوپ الكترونى عبورى(TEM) تشخيص داده مى شود. این فنها بهطور گسترده برای بررسی مورفولوژی و اندازه نانوذرات استفاده مي شوند [۲۴].

۲-۵- بارگذاری نیکل(II) اکسید بر روی PUR-g-GO

در ابتدا، نیکل اکسید در ۱۰ میلی لیتر دی اتیلن گلیکول حل شد. پس از آن، گرافن اکسید عامل دار اضافه شد و به دنبال آن ۱۰ میلی لیتر آب بدون یون اضافه شد. نمونه به مدت ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوت قرارگرفت. پس از آن، مخلوط با استفاده از یک همزن مغناطیسی با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ ساعت همزده شد. این فرآیند در داخل یک ظرف شیشه ای انجام شده که با روکش فویل آلومینیومی بسته شده بود. پس از آن، مخلوط تحت سانتریفیوژ قرار گرفته و سپس جدا شد. قبل از خشک شدن در آون با دمای

۵۰ درجه سانتی گراد، چندین بار شستشو با آب و اتانول انجام شد.

۲-۲- أماده سازي الكترود

مقدار ۵ میلی گرم از مخلوط خشک شده در مرحله قبل در ۵ میلی لیتر دی متیل فرمامید با استفاده از حمام فراصوت به مدت ۲ ساعت همگن شده و پس از آن، به مدت ۲۴ ساعت همزده شد. سپس مقدار ۳ میکرولیتر از آن بر روی الکترود کربن شیشه ای قرار داده شده و سپس در کوره خشک شد. به دنبال آن، الکترود حاوی پودر خشک شده برای تعیین کمی محلول های آماده شده با غلظتهای مختلف با استفاده از دستگاه الکتروآنالایزر استفاده شد[۳۳, ۲۲]. برای اطمینان از بارگذاری نیکل اکسید بر روی گرافن اکسید عاملدار شده، روشهای سختلفی مانند طیفسنجی پرتو ایکس(XRD)، میکروسکوپ پوشش مواد استفاده میشوند. این روشها میتوانند اطلاعات پوشش مواد استفاده میشوند. این روشها میتوانند اطلاعات به گرافن اکسید عاملدار شده ارائه دهند که این روش مطابق با مطالعات پیشین گزارششده میباشد [۲۴،۲۵].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مشخصه یابی نانوکامپوزیت

شکل ۲ الف، طیف زیر قرمز تبدیل فوریه ترکیب گرافن اکسید را نشان میدهد. یک نوار جذبی که در عدد موج ⁽⁻۳۳۹ ۳۳۹۶ مشاهده می شود، به ارتعاش کششی پیوندهای H-O موجود در کربوکسیلیک اسید و گروههای هیدروکسیل گرافن اکسید نسبت داده میشود. نوار ارتعاشی که در عدد موج ⁽⁻۳۳ ۲۹۲۲ مشاهده می شود ، به کشش پیوندهای H-C نسبت داده شود، در حالی که حالت ارتعاشی در ⁽⁻۳۳ ۱۷۲۴ مربوط به کشش پیوندهای O=C می موجود در ۱۰۴۹ و ⁽⁻۳۲ ۸۵۱ نشان دهنده کشش O-C مربوط به گروههای اپوکسی است. طیف زیر قرمز تبدیل فوریه گرافن اکسید عامل دار شده نیز در شکل ۲ ب نشان داده شده است. به دنبال عامل دار شدن با مولکول های زیستی

آمینه، قدرت حالت کشش C=O کاهش می یابد. وجود نوارهای کششی OH و NH در محدوده طیفی'-۳۴۱۵ cm شواهدی برای تولید نانوکامپوزیتها بین گرافن اکسید و مولکولهای زیستی آمینه فراهم میکند[۲۶]. طیف FTIR مربوط به ترکیب PUR-g-GO وجود پیوند C-N را در عدد موجی برابر با ۱۳۳۶cm⁻¹ نشان داد[۲۷]. شکل ۳، طیف XPS مربوط به گرافن اکسید و گرافن اکسید عامل دار شده با پورپالد را نشان می دهد. دو نوار متمرکز در ۲۸۶/۸ و ۵۳۳/۹ eV به ترتیب به Cls و Ols برای گرافن اکسید اختصاص داده شدهاند، که نوار O1s شدیدتر از نوار C1s است. نوار C1s از ینج جزء تشکیل شده است، C=C در C-C ،۲۸۴/۳۰ eV در C-O ،۲۸۵/۶ eV در C-O ۲۸۶/۷ eV در O=C-O ،۲۸۷/۵ eV در ۲۸۹/۰۳ eV]. علاوه بر این، نوار Ols در حدود eV در گرافن اکسید دیده می شود، که نشان دهنده حضور اکسیژن در گروههای عاملی کربونیل(C=O) و اتر(C-O-C) است. حضور N1s در محدوده ۴۰۰ تا ۴۰۷ در نتیجه عاملدار کردن گرافن اکسید با مولکول های حاوی نیتروژن پیشینی می شود. محدوده انرژی ویژه N1s به محیط شیمیایی اتمهای نیتروژن بستگی دارد.



4000 3500 3000 2500 2000 1500 1000 500 طول موج (cm⁻¹)







شیمی و نانوشیمی



بر اساس بررسی طیف گرافن اکسید (شکل ۴)، می توان مشاهده کرد که دو نوار متمایز در ۲۸۴ و $V9 \ 871/75$ وجود دارد که به ترتیب به سطوح انرژی C18 و C18 نسبت داده می شوند. نوار C13 تفکیک شد و منجر به ایجاد چهار طیف مجزا با محوریت مقادیر انرژی C10/76، V10/76 و $V9 \ 740/76$ شد. این منحنیها به ترتیب به پیکربندیهای پیوند شیمیایی C-C، این منحنیها به در تنب به پیکربندیهای پیوند شیمیایی C-C، شد که منجر به دو منحنی مجزا با محوریت مقادیر C10 نیز تفکیک شد که منجر به دو منحنی مجزا با محوریت مقادیر C10/176 و $C=0 \ 9 \ 0-C=0$ نسبت داده شدهاند. نوار C10 نیز تفکیک محافی منجر به دو منحنی مجزا با محوریت مقادیر C10/176 و

بر اساس بررسی طیف PUR-g-GO (شکل ۵)، می توان مشاهده کرد که چهار نوار مجزا وجود دارد، که سطوح انرژی مربوطه آنها در ۲۹۹/۴۲، ۲۸۴، ۲۹۹/۴۲ و ۵۳۱/۵۶ eV متمرکز شده است. این نوارها به ترتیب به اوربیتالهای N1s ،C1s ،S2p و O1s نسبت داده شدهاند. نوار C1s تفکیک شدکه منجر به کشف چهار منحنی مختلف با موقعیتهای مرکزی در ۲۸۳/۹۲، ۲۸۶/۰۷، ۲۸۷/۰۹ و ۲۸۹/۲۳ eV شد. منحنیهای مشاهده شده به ترتیب به پیوندهای شیمیایی C=O ،C-N ،C-C و O-C=O نسبت داده شدند[۳۰,۳۱]. نوار O1s به دو منحنی مجزا، با مراکز نوار واقع در ۵۳۰/۹۲ و ۵۳۲/۵۱ تفکیک شد. این نوارها به ترتیب به گونههای شیمیایی O-C=O و C-OH نسبت داده شدند. نوار N1s تفکیک شد و منجر به دو منحنی مجزا با محوریت ۳۹۸/۹۹ و ۴۰۱/۵۰ eV شد. این منحنیها به ترتیب به گونههای شيميايي NH [۳۲]، NH₂، =N-، C-N، وNH [۳۳] فسبت داده شدند. همچنین نوار S2p به دو منحنی مجزا تفکیک شد که مراکز آن در ۱۶۷/۲۹ و ۱۶۹/۷۱ قرار داشتند. این منحنیها به ترتیب به حالتهای S2p3/2 و S2p1/2 نسبت داده شدند[۳۴]. عاملدار شدن موثر گرافن اکسید توسط PUR ممکن است از وجود نوار S2p استنباط شود.

شکل های ۶ الف، ب و ج به ترتیب تصاویر SEM از نیکل(II) اکسید خالص، PUR-g-GO و نیکل(II) اکسید بارگذاری شده بر روی PUR-g-GO را نشان می دهند که در آن نانوذرات NiO به وضوح قابل مشاهده هستند. به دلیل ماهیت موجدار نانوصفحه به وضوح قابل مثاهده هستند. به طور همگن روی سطح نانو صفحه PUR-g-GO توزیع شدهاند.







شکل ع تصویر EEM از (الف) نیکل(II) اکسید خالص، (ب) PUR-g-GO، (ج) شکل ع تیکل(II) اکسید بارگذاری شده بر روی PUR-g-GO.

۲-۳- مطالعات الکتروشیمیایی در تعیین گلوکز

شکل ۷ الف ولتامتری چرخهای الکترود طراحی شده NiO/PUR-g-GO/GCE در غلظت های مختلف گلوکز را نشان می دهد. در این شکل، یک پنجره پتانسیل از ۱– تا ۱ + ولت با سرعت اسکن ۱/۰ میلی ولت بر ثانیه استفاده شده است. همانطور که مشاهده می شود، افزایش جریان با افزایش غلظت گلوکز مشاهده می شود. پیک اصلی اکسایش گلوکز در حدود ملوکز مشاهده می شود. پیک اصلی اکسایش گلوکز در حدود نشاندهنده واکنش اکسایش الکتروشیمیایی گلوکز روی سطح نشاندهنده واکنش اکسایش الکتروشیمیایی گلوکز روی سطح گلوکز اصلاحشده می باشد. حساسیت در غلظت ۱۰ میلی مولار گلوکز و اصلاحشده می باشد. حساسیت در غلظت ۱۰ میلی مولار گلوکز یستی با ضریب همبستگی ۹۹۶۶ در شکل ۷ ب نشان



شکل ۲. (الف) ولتاموگرام چرخه ای الکترود NiO/PUR-g-GO/GCE در حضور غلظت های ۱ تا ۱۰ میلی مولار گلوکز در PBS، (ب) منحنی کالیبراسیون حسگر زیستی (ج) بررسی اثر مزاحمت آسکوربیک اسید، دوپامین و فروکتوز ۴/۴ میلی مولار در حضور ۴ میلی مولار گلوکز در PBS.

داده شده است. حد تشخیص حسگرزیستی ۱/۷۳ میلی مولار بود. به منظور بررسی تکرارپذیری حسگر زیستی، از الکترود طراحی شده NiO/PUR-g-GO/GCE سه بار به طور متوالی برای اندازه گیری غلظت ۱۰ میلی مولار گلوکز استفاده شد. RSD اندازه گیری شده ۲۹/۰ بدست آمد. علاوه بر این، پاسخ الکتروشیمیایی ۲/۴ میلی مولار دوپامین، اسکوربیک اسید و فروکتوز به عنوان مداخله گر بر پاسخ حسگر طراحی شده در غلظت ۴ میلی مولار گلوکز در PBS، مورد مطالعه قرار گرفت(شکل ۷ ج). نتایج نشان داد که هیچ کدام از مزاحم ها پاسخ قابل توجهی در حضور ۴ میلی مولار گلوکز نشان نمی دهند.

در جدول ۱ خلاصه ای از عملکرد الکترودهای حاوی نیکل اکسید که تاکنون برای اندازه گیری گلوکز مورد استفاده قرار گرفته است، آورده شده است.

جدول ۱. مقایسه نانو زیست حسگرهای مختلف برای تشخیص گلوکز

مراجع	حد تشخيص	حساسيت	الكترود
	(mM)	$(\mu A \ mM^{-1})$	
		cm^{-2})	
کار حاضر	١/٧٣	٧/١	NiO/PUR-g-GO/GCE
[٣۵]	•/٣٢	1826	NiO HPA/GCE
[78]	۲۵/۳۵	۶۷/۳۴	NiO/GCE
[٣٢]	٠/٢	88N/Y	Pt/NiO/ERGO/GCE
[٣٨]	١/٢	۱۰۵۲/۸	Hedgehog-like NiO
[٣٩]	•/٣١٣	۱۸۰/۸	Pt-NiO nanofiber/GCE
[٤.]	١/٣٧	۱٩/٣	Ag/NiO nanofibers
[41]	•/٧٢	۱۲۰	NiO-Ag nanofiber/GCE
[47]	۴۷	٣۴٣	NiO hollow nanospheres
[47]	۰/۳۵	T17/Y1	NiO-CdO nanofiber/GCE
[44]	۰/۵	۱۳۱/۸	Cu/NiO nanocomposites

٤- نتيجه گيري

در این مطالعه، نانوساختار بلوری نیکل(II) اکسید با روش هیدروترمال و با استفاده از نیکل(II) نیترات، اسید آمینه لیزین و

زمستان ۱٤٠٣|شماره ٤ | سال سوم

7. L. Wang, Y. Zheng, X. Lu, Z. Li, L. Sun, Y. Song. Sens. Actuators B Chem. 195, 1–7 (2014).

8. H. Yu, X. Jian, J. Jin, X.-C. Zheng, R.-T. Liu, G.-C. Qi. Microchim. Acta 182, 157–165 (2015).

9. X. Zhu, Q. Jiao, C. Zhang, X. Zuo, X. Xiao, Y. Liang, et al. Microchim. Acta 180, 477–483 (2013).

10. H. Chen, C.L. Li, N. Li, K.X. Xiang, Z.L. Hu. Micro Nano Lett. 8, 544–548 (2013).

11. A. Ambrosi, C.K. Chua, A. Bonanni, M. Pumera. Chem. Rev. 114, 7150–7188 (2014).

12. F. Yavari, N. Koratkar. J. Phys. Chem. Lett. 3, 1746–1753 (2012).

13. Z. Hu, Y. Chen, H. Chen. Micro Nano Lett. 6, 709–712 (2011).

14. S.-C. Hung, C.-C. Chen, Y.-C. Lin, C.-W. Lin. ECS Trans. 111, 55 (2023).

15. A. Mustafa, I.A. Alsafari, H. Somaily, S. Yousaf, M.I. Din, J. Rahman, et al. Phys. B Condens. Matter 648, 414404 (2023).

16. H. Yang, Y. Hu, X. Yin, J. Huang, C. Qiao, Z.Hu, et al. Analyst 148, 153–162 (2023).

17. R. Akter, P. Saha, S.S. Shah, M.N. Shaikh, M.A. Aziz, A.S. Ahammad. Chem. Asian J. 17, e202200897 (2022).

18. X. Xu, R. Tan, X. Lv, C. Geng, Y. Li, B. Cui, et al. Anal. Methods 13, 5628–5637 (2021).

19. W.S. Hummers Jr, R.E. Offeman. J. Am. Chem. Soc. 80, 1339 (1958).

20. M. Ghorbani, A. Tarlani, S. Taghvaei-Ganjali,M. Malekzade. Chem. Select 9, e202304045 (2024).

اوره سنتز شد. این نانوساختار بر روی بستر پورپالد-گرافن اکسید عاملدار شده (PUR-g-GO) بارگذاری شد تا حسگر زیستی ماملدار شده (NiO/PUR-g-GO/GCE ساخته شود. حسگر طراحی شده در محدوده خطی ۱ تا ۱۰ میلیمولار عملکرد پایداری از خود نشان داد. نتایج اندازهگیری نشان داد که این حسگر دارای حساسیت بالا و حد تشخیص مطلوبی برای گلوکز است. علاوه بر این، بررسی تأثیر مزاحمت هایی نظیر دوپامین، اسید اسکوربیک و فروکتوز (با غلظت ۲/۴ میلیمولار) نشان داد که این ترکیبات ساختار منحصربهفرد نانوکامپوزیت و افزایش گزینش پذیری آن است. این نتایج نشان میدهد که حسگر توسعهیافته پتانسیل بالایی برای کاربردهای عملی در پایش سطح گلوکز دارد.

سپاسگزاری و قدردانی

از حمایت و همکاری دانشگاه آزاد اسلامی (واحد تهران شمال) و پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران (CCERCI) کمال تشکر و قدردانی را داریم. نویسندگان از کمک های دکتر فرنوش فریدبد از دانشگاه تهران در آزمایشهای حسگر تشکر می کنند.

مراجع

1. W. Siangproh, W. Dungchai, P. Rattanarat, O. Chailapakul. Anal. Chim. Acta 690, 10–25 (2011).

2. M.M. Rahman, A. Ahammad, J.-H. Jin, S.J. Ahn, J.-J. Lee. Sensors 10, 4855–4886 (2010).

3. L.C. Clark, C. Lyons. Ann. N. Y. Acad. Sci. 102, 29–45 (1962).

4. J.R. Siqueira Jr, L. Caseli, F.N. Crespilho, V. Zucolotto, O.N. Oliveira Jr. Biosens. Bioelectron. 25, 1254–1263 (2010).

5. S. Park, H. Boo, T.D. Chung. Anal. Chim. Acta 556, 46–57 (2006).

6. J. Tang, D. Tang. Microchim. Acta 182, 2077–2089 (2015).

34. J. Zhou, S. Chen, L. Zhang, Y. Feng, H. Zhai.J. Electroanal. Chem. 612(2), 257–268 (2008).

35. G. He, L. Tian, Y. Cai, et al. Nanoscale Res. Lett. 13, 3 (2018).

36. L. Wang, X.P. Lu, C.J. Wen, Y.Z. Xie, L.F. Miao, S.H. Chen, et al. J. Mater. Chem. A 3, 608–616 (2015).

37. M. Li, X.J. Bo, Z.C. Mu, Y.F. Zhang, L.P.Guo. Sens. Actuators B Chem. 192, 261–268 (2014).

38. R.A. Soomro, Z.H. Ibupoto, Sirajuddin, M. Willander. Sens. Actuators B 209, 966–974 (2015).

39. Y. Ding, Y.X. Liu, L.C. Zhang, Y. Wang, M. Bellagamba, J. Parisi, C.M. Li, Y. Lei. Electrochim. Acta 58, 209–214 (2011).

40. Y. Ding, Y. Wang, L.A. Su, H. Zhang, Y. Lei. J. Mater. Chem. 20, 9918–9926 (2010).

41. Y.A.K. Reddy, B. Ajitha, P.S. Reddy, M.S.P. Reddy, J.H. Lee. Electron. Mater. Lett. 5, 907–913 (2014).

42. C.C. Li, Y.L. Liu, L.M. Li, Z.F. Du, S.J. Xu,M. Zhang, et al. Talanta 77, 455–459 (2008).

43. Y. Ding, Y. Wang, L.C. Zhang, H. Zhang, Y. Lei. J. Mater. Chem. 22, 980–986 (2012).

44. X.J. Zhang, A.X. Gu, G.F. Wang, Y. Huang, H.Q. Ji, B. Fang. Analyst 136, 5175–5180 (2011).

21. J. Yang, C. Liu, L. Gao, J. Wang, Y. Xu, R. He. RSC Adv. 5, 101049–101054 (2015).

22. A. Tarlani, M. Fallah, B. Lotfi, A. Khazraei, S. Golsanamlou, J. Muzart, et al. Biosens.Bioelectron. 67, 601–607 (2015).

23. A. Khazraei, A. Tarlani, M. Eslami-Moghadam, J. Muzart. Talanta 221, 121560 (2021).

24. M. Li, X. Bo, Z. Mu, Y. Zhang, L. Guo. Sens. Actuators B Chem. 192, 261–268 (2014).

25. L. Wang, X. Lu, C. Wen, Y. Xie, L. Miao, S. Chen, H. Li, P. Li, Y. Song. J. Mater. Chem. A 3, 608–616 (2015).

26. C. Guati, L. Gomez-Coma, M. Fallanza, I. Ortiz. Phys. Sci. Rev. (2025).

27. G. Surekha, K.V. Krishnaiah, N. Ravi, R.P. Suvarna. J. Phys. Conf. Ser. (2020).

28. S. Sheshmani, M.A. Fashapoyeh. Acta Chim. Slov. 60(4) (2013).

29. K. Muthoosamy, R.G. Bai, I.B. Abubakar, S.M. Sudheer, H.N. Lim, H.-S. Loh, et al. Int. J. Nanomed. (2015) 1505–1519.

30. D. Briggs. Pract. Surf. Anal. 1, 151–152 (1990).

31. M. Outirite, M. Lagrenée, M. Lebrini, M. Traisnel, C. Jama, H. Vezin, et al. Electrochim. Acta 55(5), 1670–1681 (2010).

32. O. Olivares-Xometl, N. Likhanova, M. Domínguez-Aguilar, J. Hallen, L. Zamudio, E. Arce. Appl. Surf. Sci. 252(6), 2139–2152 (2006).

33. F. Bentiss, M. Traisnel, L. Gengembre, M. Lagrenée. Appl. Surf. Sci. 161(1-2), 194–202 (2000).

زمستان ۱٤۰۳|شماره ٤ | سال سوم



A novel nanobiosensor based on nickel(II) oxide/graphene oxide/purpald nanocomposite for non-enzymatic glucose determination

Mojtaba Ghorbani¹, AliAkbar Tarlani^{*2}, Saeed Taghvaei Ganjali^{*1}, Mersedeh Malekzadeh¹

¹ Department of Chemistry, Chemistry & Chemical Engineering Research Center of Iran (CCERCI), Tehran, Iran.

² Department of Chemistry, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Postal Code: 1913674711, Tehran, Iran.

Abstract: Diabetes is one of the leading causes of death and disability in the world. Non-enzymatic glucose measurement has a significant impact on diabetes control. Diagnosis and management of diabetes requires accurate control of blood glucose levels. In a new approach, nickel(II) oxide nanostructures were synthesized by solvothermal method with the help of bifunctional amino acid lysine and urea additive. Then, nickel(II) oxide nanostructures were loaded on graphene oxide functionalized with Purpald. The above nanocomposite was characterized by Fourier transform infrared spectroscopy, X-ray photoelectron spectroscopy and scanning electron microscopy. In order to construct a new nanobiosensor for glucose detection without the need for glucose oxidase, the prepared nanostructure was placed on a glassy carbon electrode. The sensitivity of the designed nanobiosensor for glucose determination was $1.7 \ \mu A/cm^2$ mM at a concentration of 10 mM. Meanwhile, the fabricated glucose sensor showed no interference with dopamine, fructose, and ascorbic acid.

Keywords: Cyclic voltammetry, Hydrothermal, Nanostructure.