

Evaluation of parameters affecting electrocatalytic activity in nicotine sensor

Z.Goodarzi¹, B.Ebrahimi Hosein zadeh ^{2*}, M.Maghrebi ¹, A.Fakhari Zavareh ³, M.Barshan², H.Shaki⁴

¹ Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashad

² Department of Life Science Engineering, Faculty of New Science and Technology, University of Tehran

³ Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Beheshti University

⁴ Department of Biotechnology, Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University

Abstract

Nicotine can be measured electrochemically using Cu nanoparticles and CNT-modified glassy carbon electrode. The slow electrochemical oxidation makes it difficult to measure the concentration of nicotine electrochemically using normal electrodes. To improve the oxidation rate, different mediators and chemically modified electrodes have been used. In this experiment, concentration of nicotine in aqueous solution was determined using MWCNT-modified glassy carbon electrode in presence of copper nanoparticles (Cu NPs) as mediator.

For this purpose, the glassy carbon electrode (GCE) was modified with suspended MWCNT in dimethylformamide and Cu NPs was electrochemically deposited on MWCNT-GCE subsequently.

Also, experimental parameters affecting the deposition of Cu NPs on MWCNT-GCE such as cycles, copper salt concentration and scan rate were found to be optimum at 20 cycles, 1.75 $\mu\text{mol L}^{-1}$ and 100 mVs⁻¹ respectively.

Finally, the modified electrode was characterized by cyclic voltammetry and successfully used to measure the concentration of nicotine in aqueous solution.

Keywords: multi wall carbon nanotube, copper nanoparticles, nicotine, cyclic voltammetry, nanobiosensor.

Corresponding author

Address: Bahman Ebrahimi Hosein zadeh ,Department of Life Science Engineering, Faculty of New Science and Technology, University of Tehran

Tel: +98 21 8861 8431-3

Fax: +98 21 8861 7087

E-mail: Bahman.Ebrahimi@ut.ac.ir

بررسی فاکتورهای مؤثر بر فعالیت الکتروکاتالیستی در حسگر نیکوتین

زهره گودرزی^۱، بهمن ابراهیمی حسین زاده^{۲*}، مرتضی مغربی^۱، علیرضا فخاری زواره^۳، محمد برشان^۲، حسین شکی^۴

^۱ دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی

^۲ دانشگاه تهران، دانشکده علوم و فنون نوین، گروه نانویوتکنولوژی

Bahman.Ebrahimi@ut.ac.ir

^۳ دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده شیمی

^۴ دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی شیمی، گروه بیوتکنولوژی

چکیده

الکتروود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با نانولوله کربنی عامل دار شده و نانوذرات مس می‌تواند نیکوتین را به طریق الکتروشیمیایی اندازه‌گیری کند.

اکسایش الکتروشیمیایی نیکوتین در سطح الکتروودهای معمولی بسیار کند است، از این رو نمی‌توان آنها را در سطح الکتروودهای معمولی به روش الکتروشیمیایی تعیین و اندازه‌گیری نمود. بنابراین برای تسریع فرایند الکتروودی آنها، از واسطه‌گرهای مختلف استفاده و الکتروودهای اصلاح شده شیمیایی ساخته می‌شود، به این منظور، ساخت الکتروود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با نانولوله کربنی عامل دار شده و نانوذرات مس برای اندازه‌گیری الکتروشیمیایی نیکوتین مد نظر قرار گرفت. در این مسیر، ابتدا الکتروود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره از طریق قطره گذاری سوسپانسیونی از نانولوله کربنی چند دیواره در حلال دی متیل فرمامید بر سطح الکتروود کربن شیشه‌ای تهیه می‌شود و سپس با ترسیب الکتروشیمیایی لایه‌ای از نانوذرات مس بر سطح آن، الکتروود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با نانولوله‌های کربنی چند دیواره و نانو ذرات مس ساخته می‌شود.

بعد از بهینه کردن عوامل مؤثر بر شرایط انجام فرایند الکتروودی و تهیه الکتروودهای اصلاح شده، از روش‌های ولتامتری برای اندازه‌گیری نیکوتین در سطح الکتروود اصلاح شده استفاده شد. در ادامه‌ی این تحقیق به بهینه‌سازی فاکتورهای مؤثر بر ته‌نشینی نانوذرات مس از جمله تعداد سیکل، غلظت نمک مس و سرعت اسکن پرداختیم که به ترتیب مقادیر ۲۰، ۱/۷۵ μM و ۱۰۰ mV/s برای پارامترهای مذکور به دست آمد.

کلیدواژگان: نانولوله‌ی کربنی چند جداره؛ نانوذرات مس؛ نیکوتین؛ ولتامتری سیکلی؛ نانویوسنسور

*عهده‌دار مکاتبات

نشانی: تهران، خیابان کارگر شمالی، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

تلفن: ۰۲۱۶۱۱۸۴۰۱، دورنگار: ۰۲۱۶۱۱۸۴۰۱، پیام نگار: Bahman.Ebrahimi@ut.ac.ir

۱- مقدمه

نانولوله‌ها توجه قابل ملاحظه‌ای را در سال‌های اخیر به خود اختصاص داده‌اند. آن‌ها دارای خواص منحصر به فردی همچون پایداری، مقاومت مکانیکی، رسانایی، سطح ویژه بالا و فعالیت کاتالستی خوبی می‌باشند [۱-۵]. بنابراین به طور گسترده‌ای در زمینه‌ی الکتروآنالیز مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶، ۱۰]. گزارشات اخیر حاکی از این است که الکترودهای اصلاح‌شده با نانولوله‌ها به طور مؤفقت‌آمیزی قادر به شناسایی گونه‌های الکترواکتیو می‌باشند [۱۱-۱۳] و باعث بهبود پاسخ جریان می‌شوند.

اخیراً! مطالعات زیادی در مورد موادی که بتوانند با نانولوله‌ها اثر هم‌افزایی داشته باشند، صورت گرفته است که در این بین نانوذرات فلزات واسطه [۱۴-۱۷] به عنوان کاندید مناسبی جهت دستیابی به این هدف انتخاب شده‌اند. از بین تمام آن‌ها، نانوذرات مس به علت ارزانی، در دسترس بودن و راحتی کار با آن‌ها، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده‌اند.

علاوه‌براین، در حال حاضر روش‌های ته‌نشینی این نانومواد از دیگر سرتیترهای جذاب علم الکتروشیمی می‌باشد. روش جدیدی که ما به این منظور در کار قبلی‌مان به کار بردیم، استفاده از روش ولتامتری سیکلی جهت ته‌نشینی نانوذرات مس بر روی نانولوله‌هاست. که این روش، پیش‌تر توسط لیانگ سو و همکارانش به منظور ته‌نشینی نانوفلورهای پلاتین بر روی غشای نانولوله‌های کربنی تک-جداره به کار گرفته شد [۱۸].

نیکوتین یکی از مواد شیمیایی بسیار سمی مرتبط با آلکالوئیدهای تنباکو می‌باشد [۱۹]. مصرف تنباکو باعث ایجاد بیماری‌های بسیار زیادی در بدن فرد می‌گردد از جمله انواع متعدد سرطان همچون سرطان ریه و مشکلات قلبی-عروقی. مصرف دخانیات علت اصلی مرگ و میر در ایالات متحده آمریکا است که باعث بیش از ۴۴۰۰۰۰ مرگ ناشی از بیماری‌های مختلف و هزینه بیش از ۷۵ میلیارد دلار در سال به منظور هزینه‌های مستقیم پزشکی می‌شود [۲۰]. بنابراین شناسایی نیکوتین دارای اهمیت وافر است. تا کنون کارهای

زیادی در زمینه‌ی شناسایی الکتروآنالیتیکی نیکوتین انجام نشده است.

یکی از کاربردهای جذاب نانوذرات و نانولوله‌های کربنی تسهیل واکنش‌های انتقال الکترون است، به همین دلیل به عنوان یک واسطه‌گر در ساخت حسگرها و زیست حسگرها استفاده می‌شوند که سینتیک واکنش‌های الکتروشیمیایی کند را طی فرایندی به نام الکتروکاتالیز، تسریع کرده و راهی برای اندازه‌گیری الکتروشیمیایی آنها فراهم می‌نماید.

کار قبلی‌مان ساخت الکترودی بود که برای اولین بار از نانوذرات به همراه نانولوله‌ها برای ساخت الکترودی که نیکوتین را شناسایی کند، استفاده شد. همچنین روش ته‌نشینی به کار گرفته شده، روش ولتامتری سیکلی بود که اخیراً توسط لیانگ سو نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸]. در کار حاضر به بررسی و بهینه‌سازی شرایط جهت ایجاد و ته‌نشینی نانوذرات به منظور دستیابی به پاسخ جریان بهتر، پرداخته‌ایم.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

نانولوله‌های کربنی چند دیواره از پژوهشکده‌ی صنعت نفت خریداری گردید. نیکوتین، اسید نیتریک، اسید سولفوریک (۹۸٪) و دی‌متیل فراماید (۹۹/۸٪) و سایر مواد شیمیایی رایج از شرکت مرک خریداری شد. حلال اصلی که آب مقطر بود در آزمایشگاه تهیه گردید. گاز نیتروژن جهت خشک کردن الکتروود دارای خلوص ۹۹/۹۹٪ استفاده شد.

۲-۲- دستگاه‌ها

ولتامتری سیکلی توسط آنالیزکننده‌ی شیمیایی (μ اتولب نوع III ساخت کشور هلند) انجام شد. در پژوهش حاضر از سیستم سه الکترودی استفاده شد که از الکتروود کربن شیشه‌ای اصلاح‌شده (قطر ۱/۸ میلی‌متر) به عنوان الکتروود کار، از سیم پلاتین به عنوان الکتروود کمکی و از الکتروود Ag/AgCl (۳ مولار) به عنوان الکتروود مرجع استفاده شد. به منظور ایجاد سوسپانسیون همگن نانولوله‌های کربنی از دستگاه اولتراسوند (ساخت شرکت wiseClean کره) استفاده شد.

شدند. محدوده پتانسیل -0.75 ولت تا $+0.3$ ولت بر اساس $Ag/AgCl$ (۳ مولار) و تعداد ۲۰ سیکل و سرعت رویش بهینه شده 100 mV/s ته نشینی الکتریکی نانوذرات مس از محلول نمکی اش انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین محدوده پتانسیل به منظور ته نشینی

نانوذرات مس

شکل (۱) ولتاموگرام سیکلی معمول الکتروود کربن شیشه-ای را در الکترولیت $1 \text{ mol.L}^{-1} \text{ KCl}$ را نشان می دهد که شامل $1 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1} \text{ CuCl}_2$ می باشد. همان طور که در شکل (۱) مشاهده می گردد این ولتاموگرام شامل دو جفت پیک ردوکس A_1/C_1 و A_2/C_2 می باشد که می توان آن ها را به واکنش شبه بازگشت پذیر کوپل های ردوکس $Cu(II)/Cu(I)$ و $Cu(I)/Cu(0)$ نسبت داد. همان طور که در شکل (۱) ملاحظه می شود، $Cu(II)$ در 0.327 شروع به دی اکسیدایز شدن به $Cu(I)$ می کند که این روند دی اکسیدایز شدن به $Cu(0)$ تا پتانسیل کمتر از 0.257 ادامه می یابد. بنابراین حد پایین محدوده اعمالی پتانسیل جهت ته نشینی نانوذرات مس باید کمتر از 0.257 باشد. که محدوده پتانسیل اعمالی باید تمامی پیک ها را در برگیرد. یعنی از 0.75 تا 0.37 باید محدوده پتانسیل اعمالی جهت ته نشینی نانوذرات مس باشد.

۳-۲- آماده سازی نانولوله های کربنی چندجداره

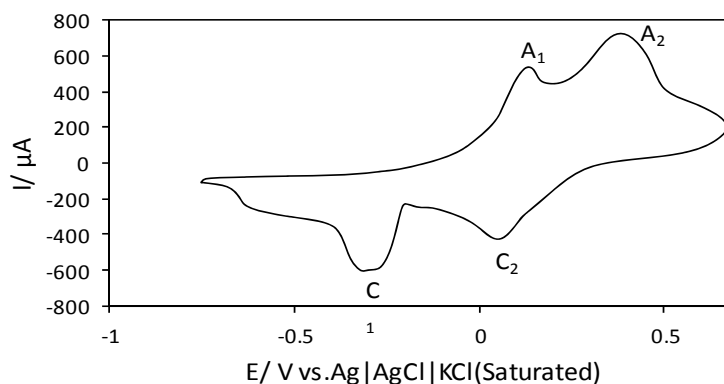
به منظور فعال کردن نانولوله های کربنی، ۲ میلی گرم MWNTs به ۱۰ میلی لیتر محلول اسید سولفوریک و اسید نیتریک اشباع با نسبت ۳:۱ اضافه می گردد. سپس محلول فوق به مدت ۲۴ ساعت رفلاکس می شود. سپس MWNTs چندین بار با آب دو بار تقطیر شسته می شوند تا جایی که نانولوله ها خنثی شوند. در این روش، نانولوله های کربنی توسط اسید اکسید می شوند و با تشکیل گاز CO_2 و خروج آن از محلول، گروه های فعال کربوکسیل در انتهای نانولوله های کربنی تشکیل شده و به این ترتیب نانولوله های کربنی فعال می شوند.

۴-۲- آماده سازی MWNTs/GCE

قبل از اصلاح سطح، الکتروود کربن شیشه ای با دوغاب آلومینا پولیش داده می شود و با آب یون زدایی شده چندین بار شسته می شود. سپس ۲ میلی گرم MWNTs در ۱ میلی لیتر دی متیل فرماید به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه اولتراسوند قرار می گیرد تا یک سوسپانسیون سیاه کاملاً همگن به دست بیاید. سپس ۱۰ میکرو لیتر از این سوسپانسیون روی سطح الکتروود ریخته می شود و توسط باد گرم سشوار سطح الکتروود خشک می شود.

۵-۲- آماده سازی Cu NPs /MWNTs/GCE

نانوذرات مس به صورت الکتروشیمیایی روی الکتروود MWNTs/GCE تحت ولتامتری سیکلی در محلول $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ KCl}$ شامل $1 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1} \text{ CuCl}_2$ ته نشین الکتریکی



شکل ۱- ولتاموگرام چرخه ای در محلول $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ KCl}$ شامل 0.2 M CuCl_2 با سرعت رویش 50 mVs^{-1} .

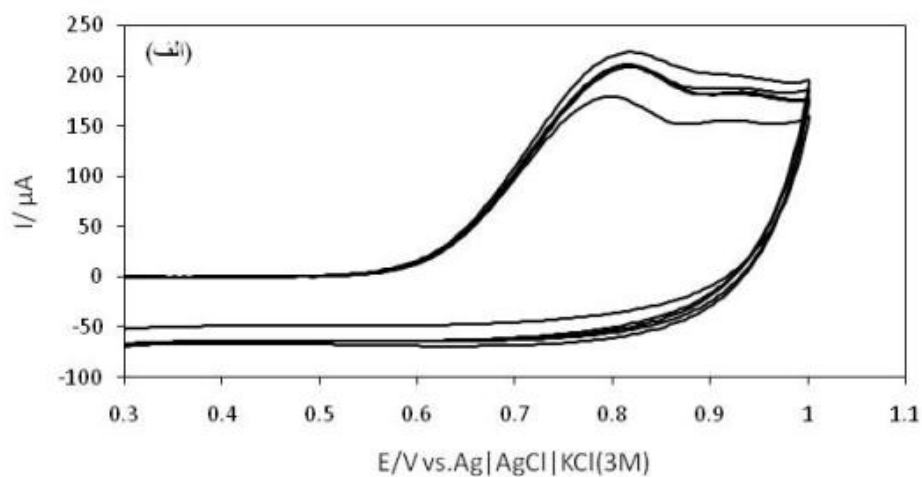
۲-۳- سرعت روبش به منظور ته‌نشینی الکتریکی

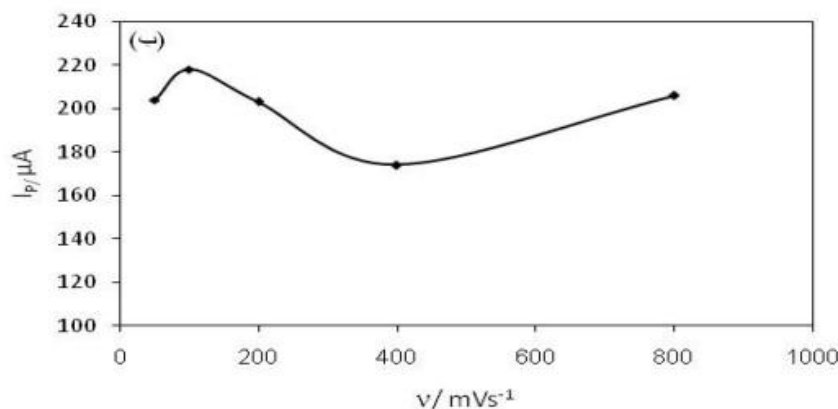
نانوذرات مس

با توجه به بررسی‌های انجام شده به نظر می‌رسد که بتوان با تغییر سرعت روبش در مرحله‌ی نشانیدن نانوذرات مس شرایط را برای الکتروکاتالیز اکسایش نیکوتین مناسب کرد و باعث افزایش حساسیت و کاهش حد تشخیص گردید. در این راستا ۵ سرعت مختلف ($1\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ و 400 ، 200 ، 100 ، 50) مورد بررسی قرار گرفت و تعداد سیکل‌ها در هر بار آزمایش ثابت است و تغییر نمی‌کند و تنها پارامتر متغیر سرعت روبش به منظور ته‌نشینی الکتریکی می‌باشد. با افزایش سرعت روبش به منظور ته‌نشینی نانوذرات مس در حالی که تعداد سیکل‌ها ثابت می‌باشد و تغییر نمی‌کند، فیلم ته‌نشین شده بر روی سطح الکتروکاتالیز می‌گردد و این افزایش ضخامت دو اثر متفاوت به همراه دارد اول اینکه با افزایش ضخامت فیلم نانوذرات، فعالیت کاتالیستی الکتروکاتالیز به دلیل افزایش سایت‌های فعال افزایش می‌یابد و از طرفی دیگر با افزایش ضخامت فیلم، مقاومت در برابر انتقال یون برای موازنه بار در فرآیند اکسایش و کاهش فیلم افزایش می‌یابد و از طرفی لایه‌های جدید در تماس مستقیم با نانولوله‌ی کربنی نخواهند بود و باعث کاهش اثر هم‌افزایی نانولوله‌ی کربنی چندجداره و نانوذرات مس می‌-

گردد. با توجه به اینکه در هر مرحله کدام یک از این دو اثر مخالف بر دیگری غلبه کند منحنی تغییرات شدت جریان پیک برحسب سرعت روبش ته‌نشینی الکتریکی حالت صعودی و یا نزولی خواهد داشت. در شکل (۲) قسمت ابتدایی منحنی که از سرعت $1\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ شروع و تا $100\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ ادامه می‌یابد روند صعودی دارد که ممکن است به دلیل افزایش تولید سایت‌های فعال باشد در واقع در این‌جا، فیلم نانوذرات مس ضخامت چندانی ندارد و مقاومت فیلم ناچیز می‌باشد. قسمت دوم منحنی از سرعت $1\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ شروع و تا $400\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ ادامه می‌یابد و روندی نزولی دارد که ممکن است به علت افزایش یافتن ضخامت فیلم و در نتیجه افزایش بیشتر مقاومت فیلم در برابر اکسیداسیون و احیا یون‌ها باشد. قسمت سوم منحنی از سرعت $1\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ شروع و تا $800\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ ادامه می‌یابد و روند صعودی آن ممکن است به علت تولید نانوذرات کوچکتر در واحد سطح و در نتیجه کاهش ضخامت فیلم و از طرفی فعالیت بیشتر به علت کوچکتر شدن سایز نانوذرات باشد بنابراین در این ناحیه روند صعودی خواهیم داشت.

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود سرعت روبش بهینه $100\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ می‌باشد.





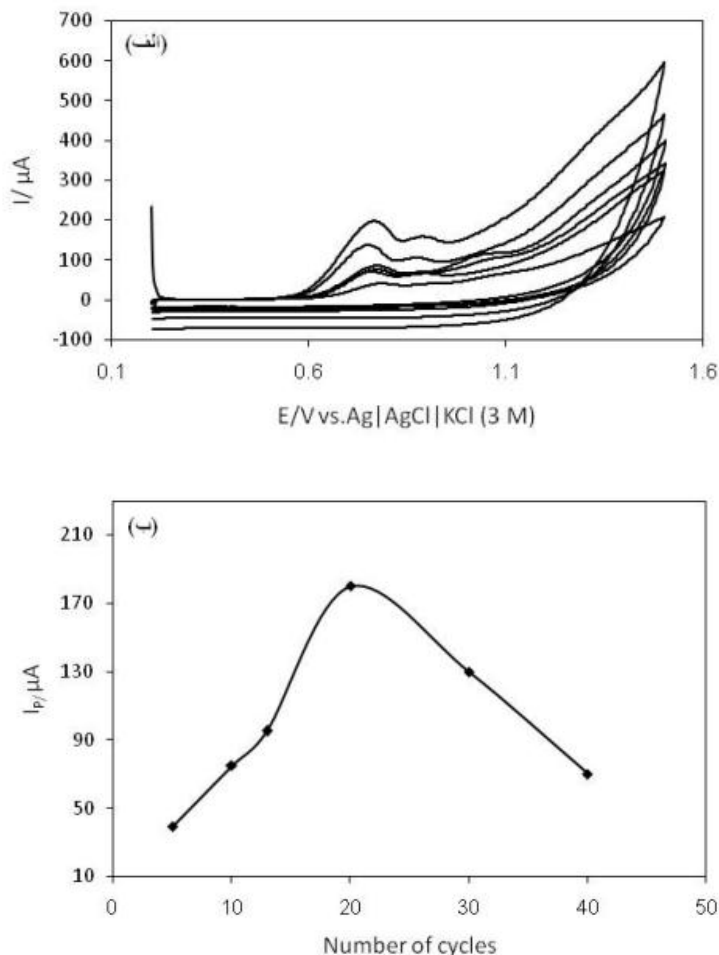
شکل ۲- (الف) ولتاموگرام‌های چرخه‌ای در حضور محلول ۰/۰۰۱M از نیکوتین در سطح الکتروود اصلاح‌شده با نانولوله‌ی کربنی چندجداره با غلظت ۲mg/ml از اصلاح‌گر با سرعت‌های روبش متفاوت (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ mV.S⁻¹) جهت ته‌نشینی نانوذرات مس (ب) تغییرات جریان پیک آندی بر-حسب سرعت روبش ته‌نشینی الکتریکی در حلال DMF و بافر فسفات ۰/۱ M با pH=۷

در واقع سایز ذرات مس با افزایش بیشتر تعداد سیکل‌ها افزایش می‌یابد و باعث می‌شود تا فعالیت کاتالیستی مربوط به ذرات مس کم شود.

۳-۳- تعداد سیکل به منظور ته‌نشینی الکتریکی نانوذرات مس

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته به نظر می‌رسد که تعداد سیکل بر روی تعداد، شکل و سایز نانوذرات مؤثر باشد و در نتیجه با بهینه کردن تعداد سیکل می‌توان شرایط را برای الکتروکاتالیز نیکوتین بر روی سطح الکتروود بهبود داد به این منظور ابتدا سطح الکتروود کربن شیشه‌ای توسط اصلاح‌گر نانولوله‌ی کربنی با غلظت ۲mg.mL⁻¹ اصلاح گردید و سپس در محلول با غلظت ۱/۷۵ μM از نمک مس CuCl₂.2H₂O قرار داده شد و با تعداد سیکل‌های متفاوت (۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۴۰) مورد آزمایش قرار گرفت.

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد با افزایش تعداد سیکل تا عدد ۲۰ بهبود در الکتروکاتالیز نیکوتین را مشاهده می‌کنیم که به علت افزایش تولید نانوذرات مس بر روی سطح الکتروود می‌باشد و افزایش تولید نانوذرات مس یعنی افزایش خصوصیت کاتالیستی‌ای که نانوذرات مس به طور ذاتی دارای آن می‌باشند. از طرفی با افزایش بیشتر تعداد سیکل، کاهش در فرآیند الکتروکاتالیز نیکوتین را مشاهده می‌کنیم که به علت توده شدن نانوذرات و در نتیجه کاهش خاصیت رسانش الکتریکی و کاتالیستی آن‌ها می‌باشد.



شکل ۳- (الف) ولتاموگرام‌های چرخه‌ای در حضور محلول ۰/۰۰۱M از نیکوتین در سطح الکترواد اصلاح‌شده با نانولوله‌ی کربنی چندجداره با غلظت mg.ml^{-1} ۱ و نانوذرات مس تعداد سیکل‌های متفاوت (۴۰، ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵) (ب) تغییرات جریان پیک آنودی برحسب تعداد سیکل جهت نشان دادن نانوذرات مس در حلال DMF و بافر فسفات ۱ M. با $\text{pH}=7$ و سرعت روبش 50 mVs^{-1} .

این محلول‌ها قرار داده شد و توسط ۲۰ سیکل الکتروادهایی اصلاح شده یعنی الکترواد اصلاح‌شده توسط نانولوله‌ی کربنی چندجداره و نانوذرات مس تهیه گردید. با افزایش غلظت نمک مس از $1 \mu\text{M}$ تا $1/75 \mu\text{M}$ منحنی سیر صعودی دارد که به علت افزایش تولید نانوذرات مس و در نتیجه افزایش تعداد سایت‌های فعال می‌باشد. با افزایش بیشتر غلظت نمک مس تا غلظت $2 \mu\text{M}$ ، منحنی روند نزولی را طی می‌کند که به دلیل تولید بیش از حد نانوذرات مس و از بین رفتن خاصیت هم‌افزایی نانولوله‌های کربنی چندجداره و نانوذرات مس می‌باشد در واقع در این قسمت به دلیل تشکیل چندین لایه

۳-۴- غلظت نمک مس به منظور ته‌نشینی الکتروکاتیونیک

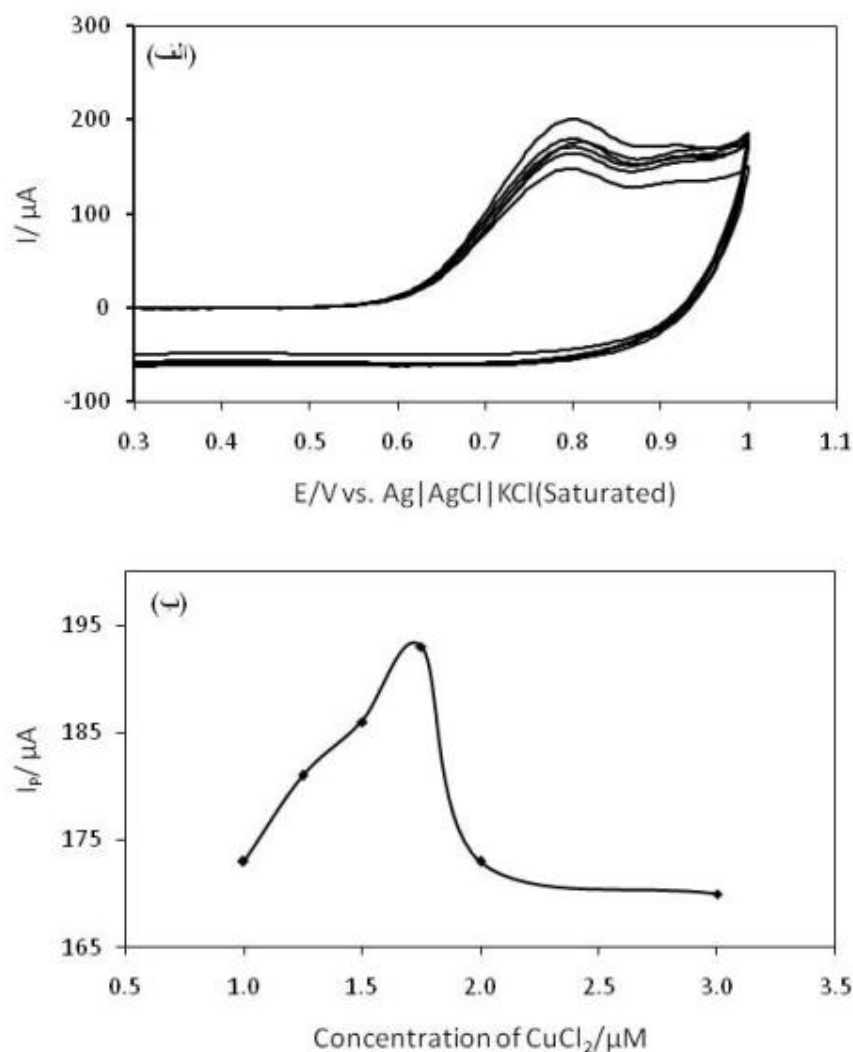
نانوذرات مس

با توجه به بررسی‌های انجام شده به نظر می‌رسد که بتوان با تغییر غلظت نمک مس شرایط را برای الکتروکاتالیز اکسایش نیکوتین مناسب کرد و باعث افزایش حساسیت و کاهش حد تشخیص گردید. جهت بهینه‌سازی غلظت نمک مس، تعداد ۵ محلول از نمک مس با غلظت‌های مختلف (1 mg.mL^{-1} و ۲، $1/75$ ، $1/5$ ، $1/25$ ، ۱) در حلال آب تهیه شد و الکترواد اصلاح شده با نانولوله‌ی کربنی (غلظت سوسپانسیون نانولوله‌ی کربنی 1 mg.mL^{-1}) در هر کدام از

محلول نمک مس با غلظت 1 mg mL^{-1} در مقایسه با سایر محلول‌ها شدت جریان پیک اکسایشی افزایش یافته و بنابراین باعث افزایش حساسیت و کاهش حد تشخیص می‌گردد.

آقای لون ژی و همکارانش نیز غلظت بهینه‌ی نمک مس جهت ته‌نشینی نانوذرات اکسید مس بر روی الکتروکربن شیشه‌ای را $1/667 \mu\text{M}$ تخمین زدند که این عدد بسیار نزدیک به غلظت بهینه‌ی ($1/75 \mu\text{M}$) نمک مسی است که ما به دست آوردیم [۶۲]

نانوذرات مس بر روی یکدیگر ارتباط مستقیم نانوذرات مس در تماس با آنالیت و نانولوله‌های کربنی منقطع می‌گردد با افزایش بیشتر غلظت نمک مس دیگر تغییری در جریان پیک مشاهده نمی‌گردد که علت آن این است که با افزایش غلظت نمک مس تعداد لایه‌های نانوذرات مس افزایش می‌یابد که از این مرحله فقط نانوذرات مس به تنهایی عمل الکتروکاتالیز را به دست می‌گیرند و با افزایش بیشتر غلظت جریان پیک ثابت می‌ماند و تغییری در جریان پیک مشاهده نمی‌گردد. همان‌گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود استفاده از



شکل ۴- (الف) ولتاموگرام‌های چرخه‌ای در حضور محلول $0/001 \text{ M}$ از نیکوتین در سطح الکتروکود اصلاح‌شده با نانولوله‌ی کربنی چندجداره و نانوذرات مس با غلظت‌های متفاوت از نمک مس (3 mg mL^{-1} و 2 ، $1/667$ ، $1/5$ ، $1/25$) (ب) تغییرات جریان پیک آندی برحسب غلظت نمک مس در حلال آب و بافر فسفات $0/1 \text{ M}$ با $\text{pH}=7$ و سرعت روبش 50 mVs^{-1} .

- Applications; *ADVANCED MATERIALS* 2008; **20**: 2899-2906.
- [8] Zhang, Y.Z.C.Y.W.P.J.; Carbon nanotube-based DNA biosensor for monitoring phenolic pollutants; *Microchim Acta* 2009; **166**: 21-26.
- [9] Sun, W., Zhai, Z., Li, X., Qu, L., Zhan, T., Jiao, K.; Direct Electrochemistry of Hemoglobin in Chitosan/Multiwalled Carbon Nanotubes/Ionic Liquid-Modified Carbon-Paste Electrode; *Analytical Letters* 2009; **42**: 2460-2473.
- [10] Suffredini, HB, Santos, MC, De Souza, D., Codognoto, L., Homem-de-Mello, P., Honório, KM, da Silva, ABF, Machado, SAS, Avaca, L.A.; Electrochemical Behavior of Nicotine Studied by Voltammetric Techniques at Boron-Doped Diamond Electrodes; *Analytical Letters* 2005; **38**: 1587-1599.
- [11] Sun, Y., Fei, J., Hou, J., Zhang, Q., Liu, Y., Hu, B.; Simultaneous determination of dopamine and serotonin using a carbon nanotubes-ionic liquid gel modified glassy carbon electrode; *Microchim Acta* 2009; **165**: 373-379.
- [12] Ying-Ling Liu, W.-H.C., Yu-Hsun Chang; Preparation and properties of chitosan/carbon nanotube nanocomposites using poly(styrene sulfonic acid)-modified CNTs; *Carbohydrate Polymers* 2009; **76**: 232-238.
- [13] Shu-Kun Cui a, D.-J.G.; Highly dispersed Pt nanoparticles immobilized on 1,4-benzenediamine-modified multi-walled carbon nanotube for methanol oxidation; *Journal of Colloid and Interface Science* 2009; **333**: 300-303.
- [14] Ruifang Gao, J.Z.; Amine-terminated ionic liquid functionalized carbon nanotube-gold nanoparticles for investigating the direct electron transfer of glucose oxidase; *Electrochemistry Communications* 2009; **11**: 608-611.
- [15] Xinyu Pang, D.H., Shenglian Luo, Qingyun Cai; An amperometric glucose biosensor fabricated with Pt nanoparticle-decorated carbon nanotubes/TiO₂ nanotube arrays composite; *Sensors and Actuators* 2009; **137**: 134-138.
- [16] Ying Wang, W.W., Xiaoying Liu, Xiandong Zeng; Carbon nanotube/chitosan/gold nanoparticles-based glucose biosensor prepared by a layer-by-layer technique; *Materials Science and Engineering* 2009; **29**: 50-54.
- [17] Liao-Chuan Jiang, W.-D.Z.; Electrodeposition of TiO₂ Nanoparticles on Multiwalled Carbon Nanotube Arrays for Hydrogen Peroxide Sensing; *Electroanalysis* 2009; **21**: 988 - 993.
- [18] Liang Su, W.J., Lichun Zhang, Cynthia Beacham, Heng Zhang, and Yu Lei; Facile Synthesis of a Platinum Nanoflower Monolayer on a Single-Walled Carbon Nanotube Membrane and Its Application in Glucose Detection; *Phys. Chem.* 2010; **114**: 18121-18125.
- [19] Al-Tamrah, S.A.; Spectrophotometric determination of nicotine; *ANALYTICA CHIMICA Acta* 1999; **379**: 75-80.
- [20] Levert, S.; In The fact about nicotine, Marshall cavendish; 2006: 41-42.

۴- نتیجه گیری

در پژوهش قبلی الکتروود کربن شیشه‌ای اصلاح‌شده با نانولوله‌ی کربنی چندجداره و نانوذرات مس تهیه گردید. در آنجا قابلیت الکتروکاتالیز فرآیند اکسایش نیکوتین در سطح الکتروود کربن شیشه‌ای اصلاح‌شده با نانولوله‌ی کربنی چند-جداره و نانوذرات مس با روش ولتامتری چرخه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهند که فرآیند اکسایش نیکوتین در سطح الکتروود اصلاح‌شده کاتالیز می‌شود. در این پژوهش، پارامترهای مؤثر در تهنشینی نانوذرات مس همچون تعداد سیکل، غلظت نمک مس و سرعت روبش در مرحله‌ی تهنشینی بهینه شدند که به ترتیب دارای مقادیر ۲۰، ۱/۷۵ μM و ۱۰۰ mV.s-1 بودند.

مراجع

- [1] Pikna S.Š.a.L.u.; Optimization of Conditions for Preparation of Carbon Origin Solid Electrodes Modified with Carbon Nanotube;. *Particulate Science and Technology* 2011; **29**: p. 311-319.
- [2] Weilin Xu, H.S., Yoon Ji Kim, Xiaochun Zhou, Guokun Liu, Jiwoong Park, and Peng Chen; Single-Molecule Electrocatalysis by Single-Walled Carbon Nanotubes; *NANO LETTERS* 2009; **9**: 3968-3973.
- [3] Hao-Xu Zhang, C.F., Yong-Chao Zhai, Kai-Li Jiang, Qun-Qing Li, and Shou-Shan Fan; Cross-Stacked Carbon Nanotube Sheets Uniformly Loaded with SnO₂ Nanoparticles: A Novel Binder-Free and High-Capacity Anode Material for Lithium-Ion Batteries; *ADVANCED MATERIALS* 2009; **21**: 2299-2304.
- [4] Jian-Ding Qiu a, b., Wen-Mei Zhou a, Jin Guo a, Rui Wang a, Ru-Ping Liang; Amperometric sensor based on ferrocene-modified multiwalled carbon nanotube nanocomposites as electron mediator for the determination of glucos;. *Analytical Biochemistry* 2009; **385**: 264-269.
- [5] Ying Wang, W.W., Jinxiang Zeng, Xiaoying Liu, Xiandong Zeng; Fabrication of a copper nanoparticle=chitosan=carbon nanotube-modified glassy carbon electrode for electrochemical sensing of hydrogen peroxide and glucos;. *Microchim Acta* 2008; **160**: 253-260.
- [6] Hu, M.G.a.Y.J.Y.a.S.H.a.M.G.b.M.G.c.S.; The Voltammetric Determination of Phenolphthalein on Multi-walled Carbon Nanotube-DHP Composite Film-modified Glassy Carbon Electrode. Fullerenes; Nanotubes and Carbon Nanostructures 2009; **17**: 285-297.
- [7] Jie Yan, H.Z., Ping Yu, Lei Su, and Lanqun Mao; Rational Functionalization of Carbon Nanotubes Leading to Electrochemical Devices with Striking

