Journal of Marine Medicine
Summer 2021, Volume 3, Issue 2
Pages: 75-82
10.30491/3.2.75

Nicotine Degradation Detection by Marine Plants Using Hybrid Modified Electrode Made of Chitosan Nanofibers and Functionalized Carbon Nanotubes

Abolfazl Mirani [1], Laleh Maleknia [1 *], Amir Amirabadi [1]

[1] *Department of Biomedical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

Received: 26 April 2021 **Accepted:** 24 May 2021

Abstract

Background and Aim: The present study was performed to identify nicotine (NIC) in seawater in the presence of cigarette butts, several plants and seaweed using a modified glassy carbon electrode (MGCE) by cyclic voltammetry (CV).

Methods: The electrode was synthesized using the electrospinning technique of carbon nanotubes and chitosan and can detect the NIC of floating cigarette butts in a saltwater aquarium with the presence of two types of marine plants and a model of algae planted in sea sand.

Results: Oxidation signals at lower potentials and higher currents in the presence of cigarette butts for the three plants Acetabularia, Caulerpa Mexicana and the algae sponge Codium SP show the decomposition of nicotine by these plants during photosynthesis and over time, respectively. These numbers for these plants are 0.82, 0.81 and 0.83 mV with currents of 57.70, 56.56 and 51.49 mA, respectively. Changes in pH, voltage and electric current over time and scan rate were investigated and the results show that the present electrode for parallel detection of NIC for 5 repetitions, 97.2% with standard deviation of 4.08 was able to maintain its stability compared to the first cycle.

Conclusion: Therefore, MGCE electrode has excellent repeatability and stability, and this electrode can be used for proper diving guidance in environments with hazardous municipal waste.

Keywords: Nicotine, Nanofibers, Chitosan, Multi-walled Functionalized Carbon Nanotubes, Marine Plants.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.30491/3.2.75]

[*]**Corresponding author:** Laleh Maleknia, **Email**: maleknia.nrc@azad.ac.ir
Address: Department of Biomedical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰
صفحات: ۸۲-۷۵
10.30491/3.2.75

شناسایی روند تخریب نیکوتین توسط گیاهان دریایی با استفاده از الکترود اصلاح شده با نانوالیاف هیبریدی کیتوسان/نانولوله کربنی عاملدار

ابوالفضل میرانی [۱]، لاله ملک نیا [۱]*، امیر امیرآبادی [۱]

[۱] گروه مهندسی پزشکی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۰/۰۳/۰۳

چکیده

زمینه و هدف: پژوهش حاضر به منظور شناسایی نیکوتین (NIC) موجود در آب دریا با وجود ته سیگار، چند گیاه و جلبک دریایی با استفاده از الکترود اصلاح شده کربن شیشه‌ای (MGCE) به روش ولتامتری چرخه‌ای (CV) انجام شد.

روش‌ها: الکترود با استفاده از تکنیک الکتروریسیِ نانولوله کربنی و کیتوسان سنتز شد و می‌تواند NIC ته سیگار شناور در آکواریوم آب شور را با حضور دو نوع گیاه دریایی و یک مدل جلبک کاشته شده در ماسه دریایی شناسایی نماید.

یافته‌ها: سیگنال اکسیداسیون در پتانسیل پایین‌تر و جریان بالاتر در حضور ته سیگار به ترتیب برای سه گیاه Acetabularia، Caulerpa Mexicana و اسفنج جلبکی Codium SP نشان‌دهنده تجزیه NIC توسط این گیاهان هنگام فوتوسنتز و با گذشت زمان بود. این اعداد به ترتیب برای این گیاهان ۰/۸۲، ۰/۸۱ و ۰/۸۳ میلی ولت، با جریان های ۵۷/۷۰ ، ۵۶/۵۶ و ۵۱/۴۹ میلی آمپر بدست آمد. تغییرات pH، ولتاژ و جریان الکتریکی در گذشت زمان و نرخ اسکن بررسی گردید و نتایج نشان داد که الکترود حاضر برای تشخیص موازی NIC برای ۵ بار تکرار، ۹۷/۲٪ با انحراف معیار استاندارد ۴/۰۸ توانست پایداری خود را نسبت به چرخه اول حفظ نماید.

نتیجه‌گیری: بنابراین الکترود MGCE دارای تکرارپذیری و پایداری عالی است و می‌توان از این الکترود برای مسیریابی مناسب غواصی در محیط‌های دارای زباله خطرناک شهری بهره‌برداری نمود.

کلیدواژه‌ها: نیکوتین، نانوالیاف، کیتوسان، نانولوله کربنی چند دیواره عامل‌دار، گیاهان دریایی.

*نویسنده مسئول: **لاله ملک نیا**. پست الکترونیک: maleknia.nrc@azad.ac.ir
آدرس: گروه مهندسی پزشکی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.30491/3.2.75]

مقدمه

NIC یا ۳- (۱-متیل-۲-پیرولیدینیل) پیریدین، ماده‌ای آلکالوئیدی با سمیت بالا است و معمولاً در محصولات تنباکویی مانند سیگار وجود دارد (۱). بیشترین آلودگی‌های اقیانوسی حاصل از زندگی شهری "ته‌سیگار" اعلام شده است (۲). ته مانده سیگار در دریاها که حاوی مقادیر زیادی نیکوتین است باعث انواع مخاطرات می‌شود. در گزارشی Nishimura و همکاران ثابت کرده‌اند، NIC موجب غرق شدن زودهنگام افراد غرق شده در دریا بوده است. کالبدشکافی این افراد نشان داده که بین ۲۱۳ تا ۴۸۸ نانوگرم NIC به ازای هر گرم وزن فرد غرق شده باعث رسوب در بافت چربی عضله و گرفتگی ماهیچه‌های اسکلتی از جمله ران افراد غرق شده، بوده است (۳). بنابراین، تشخیص سریع NIC و نظارت بر سطح آن از دیدگاه سم‌شناسی و دارویی مهم است، مخصوصاً برای صنعت دخانیات که باید محتوای حداکثر NIC را در محصولات خود تعیین نمایند (۴،۵).

فعالیت فتوسنتز بر روی دیسک‌های برگ گیاهان با اندازه‌گیری تبادل CO_2 و فرونشینی فلورسانس کلروفیل در طول انتقال تاریکی به نور با حضور NIC اثبات شده است. Navazio و همکاران مشاهده کردند دو مسیر برای این چرخه وجود دارد. یکی از این مسیرهای تبادل الکترون شامل فرآیند آنزیمی بوسیله ردوکتاز فردوکسین پلاستوکینون می‌شود، در حالی که دیگری با فعال کردن کمپلکس آنزیم NADH که به اختصار به آن NDH گفته می‌شود باعث آزاد شدن انرژی درون سلولی (ATP) بیشتری می‌گردد (۶). چرخه تبدیل NADPH به $NADP^+$ که در موجودات زنده (گیاهان دریایی) در جریان است باعث انتقال الکترون به NIC و تبدیل آن به کوتینین خواهد شد (۶). این مسیر با حضور گیاهان دریایی باعث تخریب NIC بیشتر، کمبود اکسیژن محیط و بالا رفتن دمای آب خواهد شد (۷).

تا به امروز، روش‌های تحلیلی مختلف از جمله کروماتوگرافی (۸)، اسپکتروفوتومتری (۹) و الکتروشیمیایی (۱۰) برای تعیین NIC در نمونه‌های مختلف استفاده شده است. اگرچه روش‌های کروماتوگرافی مانند کروماتوگرافی گازی (CG) و کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) بسیار رایج هستند، اما این تکنیک‌ها نیاز به حلال‌های گران قیمت، انواع تجهیزات، پرسنل با مهارت زیاد و زمان‌های طولانی تجزیه و تحلیل دارند (۱۱). روش‌های اسپکتروفوتومتری نیز شامل معرف‌های سمی مانند برمید سیانوژن هستند (۱۲) و نیازمند استخراج اولیه و خالص‌سازی هستند که منجر به از بین رفتن آنالیت می‌شود. تکنیک‌های الکتروشیمیایی در مقایسه با سایر روش‌ها ساده، ارزان و قابل اعتمادتر است (۱۳).

در سال‌های اخیر پژوهشگران مختلفی بر روی زیست‌حسگرها، آزمایش‌های الکتروشیمیایی انجام داده و با تغییراتی سعی در بهبود پاسخ‌های الکتریکی داشته‌اند. Xiong و همکاران با استفاده از روش الکتروشیمیایی آمپرومتری و با بکار بردن نانولوله‌های کربنی چند دیواره که بر روی الکترود کربن شیشه تثبیت شده بود، توانستند به دقت ۰/۶۲ میلی‌مول در ۱۰ بار آزمایش دست یابند (۱۴). در پژوهش دیگر گودرزی و همکاران برای بهبود الکترود کربن شیشه‌ای، از نانو ذرات مس استفاده کردند. آنها بر روی سطح الکترود کربن شیشه، نانولوله‌های کربنی چند دیواره به کار بردند. این الکترود اصلاح شده با میکروسکوپ الکترونی اسکن گردید و تحت CV آزمایش شد. آنها در بین دو ناحیه خطی حساسیت‌های مختلفی را نشان دادند. این حساسیت در ۱/۱۲۱ (R^2=۰/۹۸۲) در محدوده ۱×۱۰^{-۶} تا ۹×۱۰^{-۵} مولار ثبت شد و دقت آن را ۱ میکرومول گزارش کردند. برای ۶ بار آزمایش ۱ میلی‌مول انحراف معیار ۵/۶۸ درصد بود که نشان‌دهنده دقت مناسب این لایه اصلاح شده بود. پارامترهای دیگری از جمله pH، تمرکز اصلاح‌کنندگی و نرخ سرعت اسکن این نتیجه را داده است که مقادیر بهینه برای آنها به ترتیب ۰/۷، ۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و ۸۰ میلی‌ولت بر ثانیه بود (۱۵). گروه Lin و همکاران الکترود حساس به NIC و نورنیکوتینی ساختند که بتواند به‌روش آمپرومتری آنالیت‌های مورد نظر را در قارچ‌ها تشخیص بدهد. آنها در ولتاژ کاری ۰/۹۵ ولت توانستند برای ۸ دقیقه ۰/۰۱-۰/۲ گرم بر میلی‌لیتر ناحیه خطی را حفظ نمایند (۱۶).

الکترودهای اصلاح شده پلیمری یک کلاس از الکترودهای اصلاح شده هستند که در آنها از فیلم‌ها یا نانوالیاف پلیمری برای بهبود خواص الکتروکاتالیستی، حساسیت، پایداری و تکرارپذیری الکترودها استفاده می‌شود (۱۷). در بین روش‌های مختلف موجود برای نشاندن نانو الیاف بر روی سطح الکترود، الکتروریسی به‌دلیل سادگی، کنترل ضخامت نانوالیاف، ارزانی و انعطاف‌پذیری مناسب‌ترین روش است. ما از الکترود اصلاح شده MGCE که قبلاً قابلیت آن برای تشخیص NIC اثبات شده است استفاده نمودیم (۱۸). در کار حاضر، ما با به کارگیری الکترود اصلاح شده جهت سنجش میزان NIC موجود روی سطح گیاهان دریایی به‌عنوان پژوهشی جدید استفاده نمودیم.

روش‌ها

مواد و مکان اجرا

کیتوسان (CS) با وزن مولکولی بالا، نیکوتین استاندارد (NIC)، نمک آب دریا با خلوص ۹۹٪، نمک مرجانی بیواکتیو، شرکت تروپیک مرین آلمان تهیه شد. اسید استیک از شرکت مرک آلمان، نانولوله کربنی چند دیواره با عامل کربوکسیله (MWCNT-COOH) از شرکت نانولب آمریکا و گیاهان Acetabularia، Caulerpa Mexicana که به‌صورت شناور در آب دریا رشد می‌کنند و یک نوع اسفنج جلبکی به‌نام Codium SP از شرکت آکوا ایران تهیه گردید. این پژوهش از سال ۹۵ در آزمایشگاه نانو فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب آغاز و طی سال‌های ۹۶ الی ۹۹ فاز عملی آن اجرا شد.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.30491/3.2.75]

تهیه الکترود با استفاده از نانو الیاف

برای تهیه نانو الیاف CS/ MWCNT-COOH، ابتدا محلول ۲٪ CS تهیه شد. این مخلوط به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به‌منظور حصول محلولی هموژن و یکنواخت بر روی هیتراستیرر قرار گرفت. سپس مقادیر مختلف نانولوله کربنی عامل‌دار (۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ درصد وزنی) به محلول اضافه گردید. به‌منظور دیسپرس کامل نانولوله کربنی در ماتریس پلیمری مخلوط‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در داخل حمام اولتراسونیک قرار داده شد. هر یک از مخلوط‌های نهایی به داخل یک سرنگ پلاستیکی جهت عملیات الکتروریسی انتقال یافت. الکتروریسی تحت میدان الکتریکی ثابت ۲۵ کیلوولت با استفاده از دستگاه الکتروریسی شرکت فناوران نانومقیاس بر روی یک لایه آلومینیومی به عنوان جمع‌کننده انجام گرفت. فاصله سر سوزن الکتروریسی تا جمع‌کننده ۱۰ سانتی‌متر و نرخ تغذیه پلیمر ۰/۷ میلی‌لیتر بر ساعت تنظیم شد.

آماده کردن نمونه‌های گیاهی

ابتدا با استفاده از نمک آکواریومی و ۱۵ سی‌سی آب شیرین محلول آب دریا شبیه سازی شد. سپس سه الکترود کمکی، رفرنس و کار را داخل آن قرار داده و نمونه های گیاهی را به مدت ۳ روز در این محیط قرار دادیم. روی ظرف آزمایش، کاملاً فویل پیچی شد تا آلودگی به محیط راه پیدا نکند. سپس ۲۰ گرم از هر گیاه را جدا کرده و در ظروف قرار دادیم. مقادیر مختلف نیکوتین را به محیط اضافه کرده و ۲۴ ساعت اجازه فوتوسنتز به گیاهان و جلبک داده شد. سپس مقادیر آنها در طول زمان با استفاده از روش الکتروشیمیایی سنجش شد.

مطالعات الکتروشیمیایی

الکترود MGCO با پودر آلومینای ۰/۳ میکرون و ۵۰ نانومتر بر روی پارچه جلا داده و با آب مقطر شستشو شد. نانوالیاف پلیمری بر روی الکترود MGCO جلا داده شده با شرایط بهینه تعیین شده الکتروریسی شد. بعد از الکتروریسی، الکترود در محلول آب و نمک دریا PH=۷/۴ قرار داده شد. تعیین NIC در غلظت‌های ۰/۱ تا ۱۰۰ میکرومولار با استفاده از CV برای ۱۰۰ سیکل در نرخ اسکن ۲۰ میلی ولت بر ثانیه مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج

مطالعات الکتروشیمیایی

خصوصیات الکتروکاتالیستی NIC در طول شبانه‌روز

ولتاگرام‌های چرخه‌ای (CVs) برای غلظت ۱۰ میکرومولار NIC در آب آکواریوم (PH=۷/۵) با الکترود MGCE ثبت شد. نتایج در شکل-۱ نشان می‌دهد که NIC با الکترود، واکنش اکسیداسیون برگشت‌ناپذیر دارد. این نکته را قبلاً نیز بعضی از محققین گزارش کرده‌اند (۱۹). NIC وقتی بدون حضور گیاهان در محیط آزمایش وجود داشته باشد در ۲۴ ساعت تغییر چندانی نداشته و توانسته است تا ۹۷ درصد پیکی به اندازه اولیه از خود نشان دهد. این نشان از پایداری مناسب نانو الیاف بر روی سطح الکترود در طول شبانه روز است. در حالی‌که، در الکترود MGCE اکسیداسیون NIC یک پیک مشخص برای گیاهان Acetabularia، Caulerpa Mexicana و اسفنج جلبکی Codium SP به ترتیب در حدود ۰/۸۲، ۰/۸۱ و ۰/۸۳ میلی‌ولت با جریان‌های ۵۷/۷۰، ۵۶/۵۶ و ۵۱/۴۹ میلی‌آمپر در حضور NIC آزمایشگاهی دارد. بعد از ۲۴ ساعت با استفاده از الکترود MGCE پیک جریان به میزان ۰/۰۲ به سمت پتانسیل مثبت پایین‌تر انتقال یافته است و جریان‌هایی کمتر از جریان‌های فوق از خود نشان می‌دهند که در نمودار-۱ مشاهده می‌شود. علاوه بر این، کاهش قابل توجهی در جریان پیک مشاهده شده که نشان‌دهنده تجزیه NIC با عمل فوتوسنتز در این گیاهان است.

تأثیر pH بر پیک جریان و پتانسیل

به‌منظور بررسی اثر pH بر روی رفتار الکتروشیمیایی NIC با الکترود MGCE ولتاگرام‌های چرخه‌ای (CVs) در حضور ۱۰ میکرومولار NIC در آب دریا ۰/۱ مولار از pH=۶ تا pH=۸ ثبت شد. نتایج در نمودار-۲ افزایش جریان در پیک اکسیداسیون را با افزایش pH آب دریا تا حداکثر مقدار اندازه گیری شده pH=۸/۵ نشان می‌دهد. این نتیجه مؤید آن است که فرآیند اکسیداسیون NIC به pH وابسته بوده و این پیک اکسیداسیون NIC در توافق با پیک اکسیداسیون با الکترود گرافیتی در pH=۸/۵ است (۲۰). از سویی دیگر این مشاهدات برخلاف سایر گزارش‌های دیگر به‌دست آمده با الکترود جلا داده شده و الکترودهای اصلاح شده (۲۱) برای NIC است و می‌تواند به ماهیت مواد الکترود و نوع اصلاح سطح الکترود که در واکنش الکترود شرکت دارد مربوط باشد. تقسیم پیک‌ها ممکن است به تشکیل رادیکال‌های واسطه NIC با حذف یک الکترون از گونه خنثی مربوط باشد (۲۲). پتانسیل پیک اکسیداسیون به جهت منفی (پتانسیل مثبت کمتر) با افزایش pH منتقل شده است (نمودار-۲). این نتایج نشان می‌دهد که پروتون‌ها در فرآیند الکترود نقش دارند.

نمودار خطی پتانسیل پیک تابعی از pH با معادله رگرسیون:

$$E_{pc}(mV) = 8.241pH + 4.5 \quad \text{و} \quad R^2 = 0.93 \qquad (1)$$

مقدار شیب ۸/۲۴ mV/pH نشان می‌دهد که همان تعداد الکترون و پروتون در واکنش الکترود دخیل است. هرچند مکانیسم دقیق اکسیداسیون الکتروشیمیایی NIC ناشناخته است، اما مکانیسم پیشنهادی در الکترود در رسانه‌های قلیایی که شامل تشکیل متانول و جایگزینی CH_3 با OH در نیتروژن سوم حلقه پیرولیدین با ۲ الکترون و ۲ پروتون است، مکانیسم احتمالی در الکترود MGCE می‌باشد (۲۳). اندازه‌گیری‌های بعدی در آب دریا با pH=۷/۴ به‌دلیل حداکثر جریان پیک به‌دست آمده انجام شد.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-06]

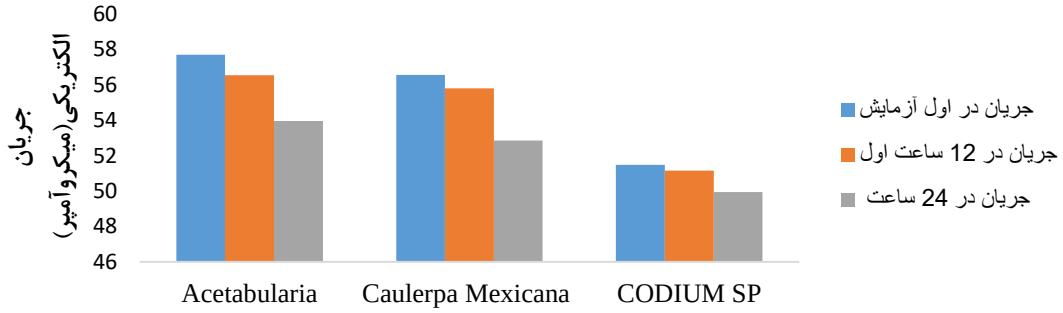
[DOI: 10.30491/3.2.75]

اثر سرعت اسکن

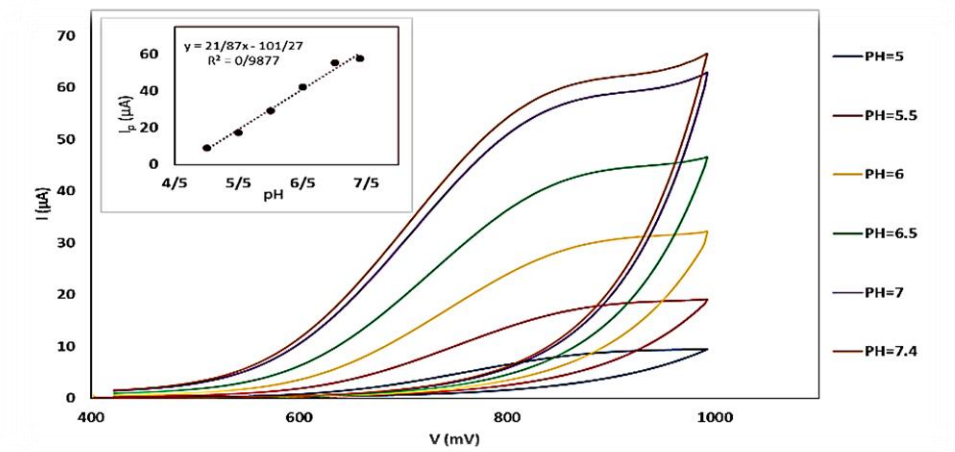
اثر نرخ اسکن بر روی پیک اکسیداسیون NIC با الکترود MGCE توسط CV بررسی شد. نمودار-۳ نشان می‌دهد با افزایش نرخ اسکن در محدوده ۲۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌ولت بر ثانیه پیک با معادله خطی زیر رابطه دارد:

$$I_{pc}(\mu A) = 0.0913\ S.R\left(\frac{mV}{s}\right) + 82.252 \quad \text{و} \quad R^2 = 0.822 \qquad (2)$$

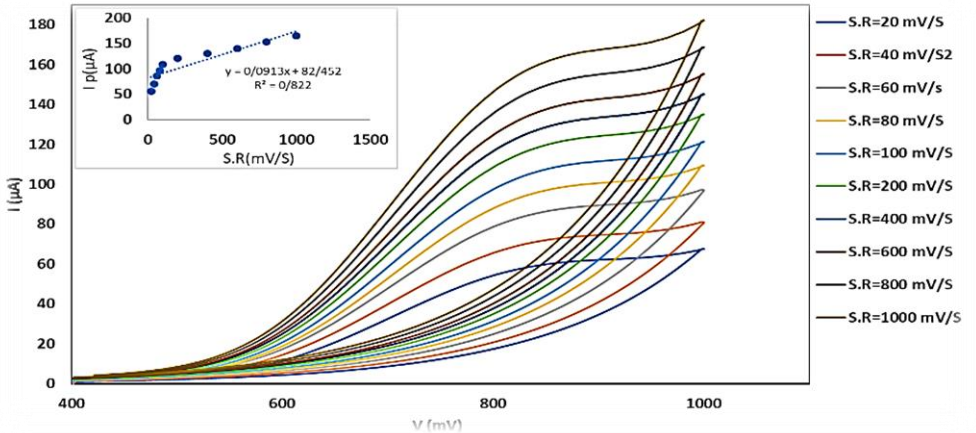
این رابطه نشان می‌دهد با افزایش نرخ اسکن پیک جریان به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. بنابراین، رفتار الکتروشیمیایی NIC با الکترود MGCE به‌نظر می‌رسد که یک فرآیند جذب سطحی کنترل شده باشد (۲۴) از آنجایی‌که NIC دارای دو مقدار pK_a برابر ۳/۱۲ و ۸ به ترتیب مربوط به گروه‌های Pyridinic و Pyrrolininic است (۲۵). این ماده عمدتاً در pH=۷/۵ به‌صورت یونیزه مثبت است. در حالی‌که، نانوالیاف CS/MWCNT-COOH دارای گروه R-COOH و بار منفی در pH=۷/۵ است. بنابراین مکانیسم تعامل بین سطح اصلاح شده و آنالیت را می‌توان به جز عوامل الکترواستاتیک نسبت داد.



نمودار-۱. تفاوت ماکزیمم جریان با الکترود MGCE در حضور ۱۰ میکرومولار NIC در آب شور ۰/۱ مولار (pH=۷/۴) در نرخ اسکن ۲۰ میلی‌ولت برثانیه در ۲۴ ساعت و حضور سه گیاه Acetabularia، Caulerpa Mexicana و اسفنج جلبکی Codium SP



نمودار-۲. CV ها برای NIC ۱۰میکرومولار با الکترود MGCE در PBS یک دهم مولار pH=۵-۸/۵ در نرخ اسکن ۲۰ میلی ولت بر ثانیه



نمودار-۳. CV برای ۱۰ میکرومولار NIC، با الکترود MGCE در PBS یک دهم مولار (pH=۷/۵) در نرخ‌های اسکن ۲۰ تا ۱۰۰۰ میلی ولت بر ثانیه

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-06]

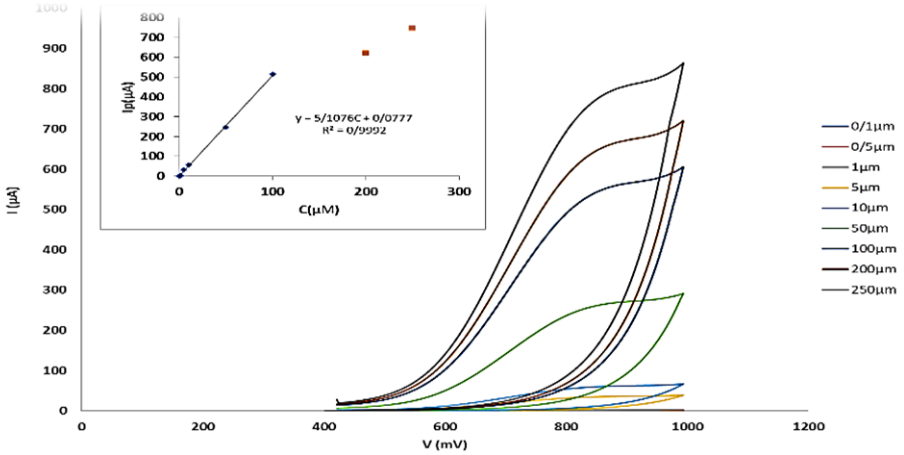
[DOI: 10.30491/3.2.75]

منحنی کالیبراسیون

در شرایط بهینه، منحنی کالیبراسیون برای برخی محلول‌های استاندارد NIC در محدوده غلظت ۰/۵ تا ۱۰۰ میکرومولار بررسی شد. نمودار-۴ افزایش خطی پیک در ۰/۸۲ میلی‌ولت برای NIC را نشان می‌دهد. ارتباط خطی از معادله رگرسیون:

$$I_{pc}(\mu A) = 4.81\, C(\mu M) + 0.038 \quad \text{و} \quad R^2 = 0.9987 \qquad (3)$$

پیروی کرده است. حد تشخیص محاسبه شد. این مقدار پایین‌تر از گزارشات قبلی برای شناسایی NIC با الکترودهای اصلاح شده مختلف است (جدول-۱).



نمودار -۴. CV به‌دست آمده در غلظت‌های به‌دست آمده NIC از ۰/۱ تا ۱۰۰ میکرومولار

جدول-۱. مقایسه الکترودهای اصلاح شده مختلف برای شناسایی NIC

رفرنس	توضیحات	pH	کمترین حد تشخیص (LOD(nM))	محدوده خطی (uM)	روش	نوع الکترود
(۱۳)	NIC آزمایشگاهی	۸	۸۱/۵	۵۰۰-۵	CV	Boron-Doped Diamond Electrode (BDDE)
(۲۸)	NIC آزمایشگاهی	۸	۳۶۰	۰/۸ -۸۰۰	LSV CV	SNMCPE- CP-Ag
(۱۸)	NIC آزمایشگاهی	۷/۴	۷۷	۰/۱-۱۰۰	CV	MGCE
مطالعه حاضر	ته سیگار تجاری و گیاه دریایی Acetabularia	۷/۵	۹۶	۰/۱-۱۰۰	CV	MGCE
مطالعه حاضر	Caulerpa تەسیگار تجاری و گیاه دریایی Mexicana	۷/۵	۸۱	۰/۱-۱۰۰	CV	MGCE
مطالعه حاضر	تەسیگار تجاری و گیاه دریایی Codium SP	۷/۵	۸۰	۰/۱-۱۰۰	CV	MGCE

بحث

با توجه به اینکه وجود NIC و آثار آن باعث کاهش واقعی حجم ریه‌ها می‌شود، یافتن کوچکترین مقادیر آنها نیز اهمیت پیدا می‌کند (۲). استفاده از فناوری نانو و نانو ذراتی مانند نانولوله کربنی توانسته به بهبود کارایی الکترود سنتز شده کمک نماید (۲۶). ما نیز از این نانوتیوب‌ها به علت کوچک بودن قطر و به دام انداختن درشت مولکول‌هایی مانند NIC جهت شناسایی الکتروشیمیایی استفاده نمودیم و به نتایج عملی مناسبی رسیدیم (۲۷). برای اینکه ارزش کار در مقایسه با کار دیگران دیده شود؛ چند نمونه از مشخصات دیگر الکترودهای ساخته شده در سال‌های اخیر برای NIC با کار فعلی مقایسه می‌گردد: تکرارپذیری روش از ۵ اندازه‌گیری متوالی برای ۱۰ میکرومولار NIC انجام شد. انحراف استاندارد نسبی (%RSD) ۴/۰۸ به‌دست آمد که نشان از تکرارپذیری جذب الکترود اصلاح شده است. با توجه به جذب بالای نیکوتین در گیاه Acetabularia این گیاه بیشترین مقدار را در بین ۳ گیاه داشته است که قبلاً نیز به آن اشاره شده است (۲۹). ما نیز دریافتیم بیشترین حد تشخیص مربوط به این گیاه است. برای حفظ جان شناگر یا غواص در برخورد با ماده سمی NIC محاسبه و شناخت محدوده خطی مناسب الکترود سنتز شده برای تسریع در تشخیص این ماده سمی بسیار ضروری است، زیرا ممکن است اثرات عصب شناختی آن سریعاً ظاهر شود (۳۰).

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.30491/3.2.75]

نتیجه‌گیری

الکترود کربن شیشه‌ای با روشی آسان توسط نانو الیاف CS/MWCNT-COOH اصلاح شد و به‌منظور مطالعه اکسیداسیون کاتالیزوری NIC مطالعه گردید. دو نوع گیاه دریایی در محیط آبی شبیه‌سازی شده دریا برای تست در نظر گرفته شد. سیکل غیرقابل بازگشتی به‌دست آمد که در آن پیکی بالاتر نسبت به الکترود صیقلی شیشه‌ای کربن در مقایسه با الکترود اصلاح شده داشت. این سطح بازتر کار به علت وجود ذرات نانولوله کربنی موجود در الکترود و الکتروریسی بود. مقادیر تعداد الکترون و پروتون‌های انتقال‌یافته ۲ عدد محاسبه گردید. در ضمن کمترین حد تشخیص ۷۷ نانومولار محاسبه و محدوده خطی از ۰/۱ تا ۱۰۰ میکرومولار حفظ شد. با استفاده از این روش، حد تشخیص کم، تثبیت مناسب و اندازه‌گیری تکرارپذیر به‌دست آمد. بیشترین تجزیه مربوط به گیاه دریایی Acetabularia و کمترین تجزیه NIC مربوط به اسفنج جلبکی Codium بود که نشان‌دهنده آن است که احتمال مسمومیت و وجود NIC در محیط آلوده دریایی مربوط به محل‌هایی است که در آن جلبک دریایی وجود دارد و می‌بایست انسان‌ها از این خطر احتمالی اطلاع داشته باشند.

تشکر و قدردانی: از همه اساتیدی که در غنای مطالب حاضر یاری‌رسان بودند، نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می‌پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Bhatnagar A, Whitsel LP, Blaha MJ, Huffman MD, Krishan-Sarin S, Maa J, et al. New and emerging tobacco products and the nicotine endgame: the role of robust regulation and comprehensive tobacco control and prevention: a presidential advisory from the American Heart Association. Circulation. 2019; 139(19):e937-e58. doi:10.1161/CIR.0000000000000669

2. Ghoshooni H, Marefati N, Sahraei H, Mahabadi M. The Effect of Smoking on the Occurrence of COVID-19 and Comparison with Non-Smokers. Journal of Marine Medicine. 2021;3(1):13-20. doi:10.30491/3.1.13

3. Nishimura H, Furumiya J, Nakanishi A, Hashimoto Y. Forensic implication of muscle level of nicotine in an adipocere body found in the sea. Legal medicine. 2009;11:S565-S7. doi:10.1016/j.legalmed.2009.01.009

4. Picciotto MR, Zoli M. Neuroprotection via nAChRs: the role of nAChRs in neurodegenerative disorders such as Alzheimer's and Parkinson's disease. Front Biosci. 2008;13(2):492-504. doi:10.2741/2695

5. Joët T, Cournac L, Horvath EM, Medgyesy P, Peltier G. Increased sensitivity of photosynthesis to antimycin A induced by inactivation of the chloroplast ndhB gene. Evidence for a participation of the NADH-dehydrogenase complex to cyclic electron flow around photosystem I. Plant Physiology. 2001;125(4):1919-29. doi:10.1104/pp.125.4.1919

6. Navazio L, Bewell MA, Siddiqua A, Dickinson GD, Galione A, Sanders D. Calcium release from the endoplasmic reticulum of higher plants elicited by the NADP metabolite nicotinic acid adenine dinucleotide phosphate. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2000;97(15):8693-8. doi:10.1073/pnas.140217897

7. Raven J. Physiology of inorganic C acquisition and implications for resource use efficiency by marine phytoplankton: relation to increased CO2 and temperature. Plant, Cell & Environment. 1991; 14 (8):779-94. doi:10.1111/j.1365-3040.1991.tb01442.x

8. Nguyen T-D, Riordan-Short S, Dang T-TT, O'Brien R, Noestheden M. Quantitation of Select Terpenes/Terpenoids and Nicotine Using Gas Chromatography–Mass Spectrometry with High-Temperature Headspace Sampling. ACS omega. 2020;5(10):5565-73. doi:10.1021/acsomega.0c00384

9. Mohamadi N, Pournamdari M, Sharififar F, Ansari M. Simultaneous spectrophotometric determination of trigonelline, diosgenin and nicotinic acid in dosage forms prepared from fenugreek seed extract. Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR. 2020; 19(2):153. doi: 10.22037/IJPR.2019.1100790

10. Mehmeti E, Kilic T, Laur C, Carrara S. Electrochemical determination of nicotine in smokers' sweat. Microchemical Journal. 2020; 158: 105155. doi:10.1016/j.microc.2020.105155

11. Mullett WM, Lai EP, Sellergren B. Determination of nicotine in tobacco by molecularly imprinted solid phase extraction with differential pulsed elution. Analytical communications. 1999;36(6):217-20 . doi:10.1039/A902509J

12. Geto A, Amare M, Tessema M, Admassie S. Voltammetric Determination of Nicotine at Poly (4-Amino-3-Hydroxynaphthalene Sulfonic Acid)-Modified Glassy Carbon Electrode. Electroanalysis. 2012; 24(3):659-65. doi: 10.1002/elan.201100653

13. Suffredini H, Santos dM, De Souza D, Codognoto L, Homem-de-Mello P, Honório K, et al. Electrochemical behavior of nicotine studied by voltammetric techniques at boron-doped diamond electrodes. Analytical letters. 2005;38(10):1587-99. doi: 10.1081/AL-200065801

14. Xiong H, Zhao Y, Liu P, Zhang X, Wang S. Electrochemical properties and the determination of nicotine at a multi-walled carbon nanotubes modified glassy carbon electrode. Microchimica Acta. 2010; 168 (1-2):31-6. doi: 10.1007/s00604-009-0258-8

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.30491/3.2.75]

15. Goodarzi Z, Maghrebi M, Zavareh AF, Mokhtari-Hosseini Z-B, Ebrahimi-Hoseinzadeh B, Zarmi AH, et al. Evaluation of nicotine sensor based on copper nanoparticles and carbon nanotubes. Journal of Nanostructure in Chemistry. 2015;5(3):237-42. doi: 10.1007/s40097
16. Lin X, Sun Y, Xu D, Li Y, Liu S, Xie Z. Sensitive capillary electrophoretic profiling of nicotine and nornicotine in mushrooms with amperometric detection. Electrophoresis. 2013;34(14):2033-40. doi: 10.1002/elps.201200527
17. Wang H-S, Li T-H, Jia W-L, Xu H-Y. Highly selective and sensitive determination of dopamine using a Nafion/carbon nanotubes coated poly (3-methylthiophene) modified electrode. Biosensors and Bioelectronics. 2006;22(5):664-9. doi:10.1016/j.bios.2006.02.007
18. Mirani A, Maleknia L, Amirabadi A. Glassy carbon electrode modified with hybrid nanofibers containing carbon nanotubes trapped in chitosan for the voltammetric sensing of nicotine at biological pH. Nanotechnology. 2020;31(43):435504. doi:10.1088/1361-6528/aba20e
19. Kowalcze M, Jakubowska M. Voltammetric determination of nicotine in electronic cigarette liquids using a boron-doped diamond electrode (BDDE). Diamond and Related Materials. 2020;103: 107710. doi:10.1016/j.diamond.2020.107710
20. Levent A, Yardim Y, Senturk Z. Voltammetric behavior of nicotine at pencil graphite electrode and its enhancement determination in the presence of anionic surfactant. Electrochimica Acta. 2009;55(1): 190-5. doi:10.1016/j.electacta.2009.08.035
21. De Toledo R, Santos M, Honório K, Da Silva A, Cavalheiro E, Mazo L. Use of graphite polyurethane composite electrode for imipramine oxidation-mechanism proposal and electroanalytical determination. Analytical letters. 2006;39(3):507-20. doi: 10.1080/00032710500536020
22. Lin MS, Wang JS, Lai CH. Electrochemiluminescent determination of nicotine based on tri (2, 2′-bipyridyl) ruthenium (II) complex through flow injection analysis. Electrochimica acta. 2008;53(26):7775-80. doi:10.1016/j.electacta.2008.05.057
23. Ikeda T, Tsuda S, Shirasu Y. Metabolic induction of the hepatic cytochrome P450 system by chlorfenvinphos in rats. Toxicological Sciences. 1991; 17(2):361-7. doi:10.1016/0272-0590(91)90225-s
24. Bard AJ, Faulkner LR. Fundamentals and applications. Electrochemical methods. 2001;580 (432).
25. Ruela ALM, Figueiredo EC, Pereira GR. Molecularly imprinted polymers as nicotine transdermal delivery systems. Chemical Engineering Journal. 2014;248:1-8. doi:10.1016/j.cej.2013.12.106
26. Ahmadi A, Soleimanian J. Pollution of Drinking Water Sources with Biological Toxins; Potential Threat of Bioterrorism. Journal of Marine Medicine. 2020;1(4):182-9. doi: 10.30491/1.4.5
27. Zardar S, Barati B. Water and Food Management using Nanotechnology in Crises and Unconventional Battles. Journal of Marine Medicine. 2021;2(4):0-. doi: 10.30491/2.4.193
28. Ameer M, Fekry A, Azab S, Shehata M. Synthesis of a simply modified electrochemical nicotine sensor based on silver nanoparticles. Canadian Journal of Chemistry. 2018;96(8):821-7. doi: 10.1139/cjc-2017-0492
29. Souri S. Identification of Aquatic Plant Species that Absorb Heavy Metals in Aquatic Ecosystems. Journal of Marine Medicine. 2020;2(3):164-70. doi:10.30491/2.3.164
30. Zarei S. Practical and Modern Methods of First Aid to Protect Sailors from the Bites of Poisonous Marine Animals in Coastal Areas. Journal of Marine Medicine. 2020; 2(2):71-2.doi:10.30491/2.2.1

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.30491/3.2.75]