

# طراحی یک حسگر نانوساختار اصلاح شده برای آنالیز بوتیل هیدروگسی تولوئن

## بعنوان یک آنتی اکسیدانت در نمونه‌های غذایی

سروناز کوهی<sup>۱</sup>، محمد علی خلیل زاده<sup>۲\*</sup>، حسن کریمی مله<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساری، گروه صنایع غذایی، مازندران، ایران

<sup>۲</sup> دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائم شهر، گروه شیمی، مازندران، ایران

<sup>۳</sup> گروه مهندسی شیمی، آزمایشگاه نانوتکنولوژی، دانشگاه مهندسی فناوری های نوین قوچان، خراسان رضوی، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۰۸

تاریخ تصحیح: -

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۰۷

### چکیده

در این کار پژوهشی یک الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله کربنی و مایع یونی ۱-بوتیل ۳-متیل-ایمیدازولینیوم هگزا فلوروفسفات تهیه شده و برای اندازه‌گیری بوتیل هیدروگسی تولوئن بکار گرفته شد. نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله کربنی با استفاده از روش رسوب هی مستقیم سنتز شده و با استفاده از روش پراش پرتوی ایکس شناسایی شد. تحت شرایط بهینه، ولتاموگرام موج مربعی الکتروود اصلاح شده با افزایش غلظت بوتیل هیدروگسی تولوئن در محدوده خطی ۶۰۰-۰/۱ میکرومولار تغییر کرده است. حد تشخیص بوتیل هیدروگسی تولوئن مقدار ۰/۰۶ میکرومولار گزارش شد. سنسور اصلاح شده بخوبی برای اندازه‌گیری بوتیل هیدروگسی تولوئن در نمونه های غذایی بکار گرفته شد.

**واژگان کلیدی:** بوتیل هیدروگسی تولوئن، نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله کربنی، مایع یونی، الکتروآنالیز.

### ۱- مقدمه

توجه به مواد غذایی و بخصوص افزودنی‌های مواد غذایی بعلت تاثیرگذاری آن بروی سلامت انسان در سالهای اخیر رشد چشمگیری داشته است. سلامت مواد غذایی و غنی سازی آن با ویتامین ها و دیگر اضافه کننده‌های غذایی از مهمترین مسائل مورد بحث در سیستم‌های غذایی می‌باشد. آنتی اکسیدانها از مهمترین مواد مور نیاز برای بدن انسان بوده که از تشکیل رادیکال‌های آزاد در سلولها جلوگیری کرده و نقش مهمی در پیشگیری از سرطان دارند. اندازه‌گیری مقدار ترکیبات آنتی اکسیدانت بعلت جلوگیری از عوارض ناشی از خوردن آنها و همچنین بررسی مقدار آن در مواد غذایی از اهمیت بالایی برخوردار است. بوتیل هیدروگسی تولوئن یک آنتی اکسیدانت مهم فنلی با کاربرد فراوان در مواد غذایی می باشند. روشهای تجزیه‌ای متفاوتی برای آنالیز بوتیل هیدروگسی تولوئن تاکنون ارائه شده است که می‌توان به روشهای کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا [۱]، کروماتوگرافی گازی [۲] و تکنیک های الکتروشیمیایی [۳-۵] اشاره کرد.

در این میان، استفاده از روشهای الکتروشیمیایی بعلت سرعت آنالیز بالا، حساسیت مناسب، ارزان قیمت بودن آنالیز، امکان آنالیز چند ماده بصورت همزمان، قابلیت تبدیل به کیت‌های قابل حمل و گزینش پذیری بالا بیش از روشهای دیگر مورد توجه است [۶-۱۰].

اضافه ولتاژ بالای برخی ترکیبات الکترواکتیو مانند بوتیل هیدروگسی تولوئن امکان آنالیز مقادیر ناچیز این ترکیبات را در سطح الکترودهای معمول با دشواری‌هایی مواجه ساخته است. لذا اصلاح سازی سطوح الکترودی برای آنالیز مقادیر ناچیز ترکیباتی با اضافه ولتاژ بالا مهم و ضروری می باشد. نانومواد و بخصوص نانوذرات اکسید فلزی و یا نانولوله‌های کربنی گزینه‌های مناسب برای افزایش هدایت الکتریکی سطوح الکترودی می‌باشند [۱۱-۱۳]. از طرفی استفاده از مایعات یونی با ساختاری باردار می‌تواند یک گزینه مناسب برای کاهش مقاومت انتقال الکترون سطوح الکتریکی جهت دستیابی به حدتشخیصی‌های بسیار پایین است [۱۴-۱۶]. براین اساس، احتمال بهبود شدید حساسیت آنالیزی با استفاده از تلفیق نانومواد و مایعات یونی برای دستیابی به مقادیر ناچیز در آنالیز ترکیباتی با اضافه ولتاژ بالا محتمل است [۱۷]. عدم سمیت نانومواد و همچنین مایعات یونی کمک شایانی به طراحی سنسورهایی با سلامتی بالا جهت استفاده در سیستم‌های بیولوژیک و غذایی می‌نماید.

براین اساس و در این کار تحقیقاتی، ما به طراحی یک حسگر الکتروشیمیایی برپایه الکتروکد خمیر کربن اصلاح شده با نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله کربنی و مایع یونی پرداختیم. پس از بهینه سازی شرایط آنالیز و شرایط ساخت سنسور، سنسور طراحی شده افزایش چشمگیری بروی سیگنال اکسایش بوتیل هیدروگسی تولوئن نشان داده و آنالیز مقادیر ناچیز این ترکیب را ممکن ساخته است. سنسور طراحی شده بخوبی برای آنالیز مقادیر بسیار ناچیز بوتیل هیدروگسی تولوئن در نمونه‌های غذایی بکار گرفته شد.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد شیمیایی و دستگاهها

برای سنتز نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله‌های کربنی از مواد اولیه کاملاً خالص و تهیه شده از شرکت‌های معتبر استفاده شده است. مشخصات مواد شیمیایی مورد استفاده در این کار تحقیقاتی در جدول زیر ارائه شده است

جدول ۱: مشخصات مواد مورد استفاده در این کار تحقیقاتی

شرکت تجاری	درصد خلوص	ترکیب شیمیایی
سیگما-آلد ریچ	>۹۹٪	بوتیل هیدروگسی تولوئن
مرک	>۵۰ μm	پودر گرافیت
مرک	۹۹٪	روغن پارافین
مرک	۹۹/۵٪	دی اتیل اتر
مرک	۹۷٪	سدیم هیدروکساید
مرک	۹۹٪	بوریک اسید، فسفریک اسید و استیک اسید
مرک	۹۸٪	گلوکز، ساکارز، لاکتوز، فروکتوز و نشاسته
مرک	>۹۹٪	اتانول

## ۲-۲- روش سنتز نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله کربنی

برای تهیه این نانو کامپوزیت، از نسبت مولی ۰/۲۵ به ۰/۵ مولار نیترات کادمیم به هیدروکسید سدیم استفاده خواهد شد. نسبت وزنی ۱ به ۲ از نانولوله کربنی به نمک نیترات کادمیم بدین منظور استفاده شده است. مقادیر بدست آمده را هر کدام به طور جداگانه در ۲۰ سی سی آب مقطر حل نموده و مقدار نانولوله کربنی عامل دار (کربوکسیلیک اسید) مورد نظر را به محلول سود اضافه می‌کنیم و به مدت ۱۰ دقیقه تحت اولتراسونیک قرار می‌دهیم، محلول مورد نظر را بر روی همزن مغناطیسی قرار می‌دهیم. در حالیکه محلول سود و نانولوله در حال بهم خوردن است، محلول نیترات کادمیم را به کمک بورت قطره قطره اضافه می‌کنیم به طوری که هر قطره ظرف مدت ۵ ثانیه در مخلوط سود و نانولوله سقوط کند. این فرایند همراه چرخش متوسط در دمای اتاق انجام می‌شود در پایان با استفاده از کاغذ صافی به کمک قیف بوختر رسوب حاصل را جدا کرده و به کمک دستگاه سانتیفیوژ آن شستشو می‌دهیم یک مرتبه با آب مقطر و دفعه بعد با اتانول، ای کار را تا ۸ مرحله انجام می‌دهیم آن گاه رسوب را بر روی هات پلیت در دمای ۹۰ درجه خشک می‌کنیم و در نهایت در کوره به مدت دو ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد کلسینه می‌کنیم.

## ۲-۳- تهیه سنسور

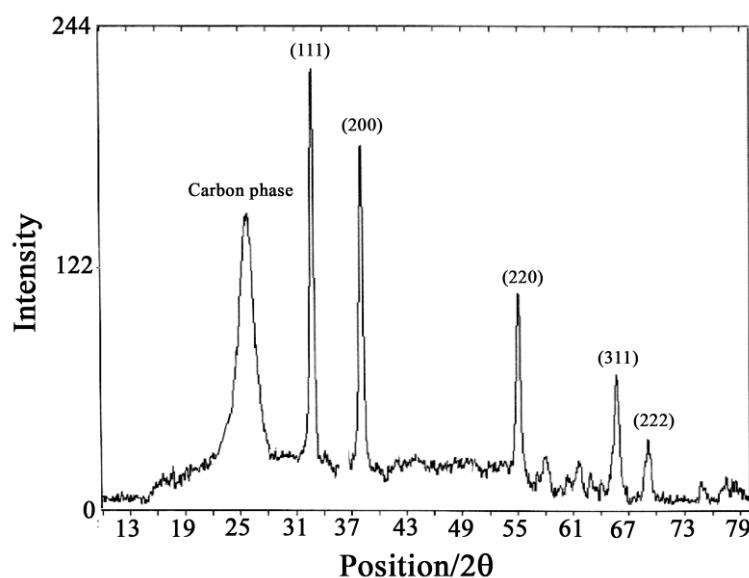
برای تهیه الکتروود اصلاح شده، مقدار ۰/۹ گرم پودر گرافیت و ۰/۱ گرم نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله کربنی را در یک هاون دستی ریخته و با ساییدن، مخلوط شد. برای حصول اطمینان از یکنواختی مخلوط بدست آمده، مقداری دی اتیل اتر به عنوان حلالی با فراریت بالا و عدم اثر بخشی شیمیایی بر ترکیب حد واسط، به مخلوط اضافه گردید. عمل ساییدن تا تبخیر کامل حلال ادامه یافت. سپس به مخلوط بدست آمده، قطره قطره روغن پارافین اضافه کرده و بعد از هر مرحله به مدت

چندین دقیقه مخلوط ساییده شد تا خمیر کاملاً یکنواخت به دست آمد. برای تهیه الکتروود اصلاح شده با نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله کربنی و مایع یونی، ۰/۲۸ گرم از ۱-بوتیل-۳-متیل-ایمیدازولینیوم هگزافلوروفسفات، ۰/۷۲ گرم روغن پارافین، ۰/۲ گرم نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله کربنی و ۰/۸ گرم پودر گرافیت را با هم مخلوط می‌کنیم و مخلوط حاصل را به مدت ۵۰ دقیقه به خوبی هم می‌زنیم. خمیر کربن تهیه شده را به انتهای بازوی کاملاً صاف یک لوله شیشه‌ای وارد کرده و با مالیدن سطح بر روی یک ورق کاغذ گلاسه، سطح کاملاً صاف و یکنواختی حاصل می‌گردد. برای اتصال الکتریکی الکتروود، از یک سیم مسی استفاده شد که از یک طرف وارد لوله شیشه‌ای شده و با خمیر اتصال پیدا می‌کند و از طرف دیگر، توسط یک فیش به دستگاه الکتروشیمیایی مربوطه متصل می‌گردد. ساختار الکتروودها مانند پیستون عمل کرده و به این طریق با فشار دادن سیم مسی موجود در لوله به طرف پایین، می‌توان خمیر کربن موجود در انتهای لوله را به راحتی از لوله خارج کرده و سطح الکتروود را تجدید نمود.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی صحت سنتز نانوکامپوزیت سنتزی و مورفولوژی آن

برای بررسی صحت نانوکامپوزیت کادمیم اکساید/نانولوله کربنی سنتز شده که به عنوان اصلاح ساز در تهیه الکتروود اصلاح شده مورد استفاده قرار گرفته است از روش پراش پرتوی X استفاده شده است. شکل (۱) تصاویر پراش پرتوی X را برای نانوکامپوزیت کادمیم اکساید/نانولوله کربنی را نشان می‌دهد. حضور اندیس‌های میلر مربوط به نانوذره اکسید کربن و همچنین پیک مشخصه نانولوله‌های کربنی در موقعیت حدود ۲۶ درجه نشان از سنتز درست نانوکامپوزیت مورد استفاده است. با استفاده از رابطه دبی-شرر اندازه نانوذرات اکسید کادمیم حدود ۲۵ نانومتر تعیین شد.

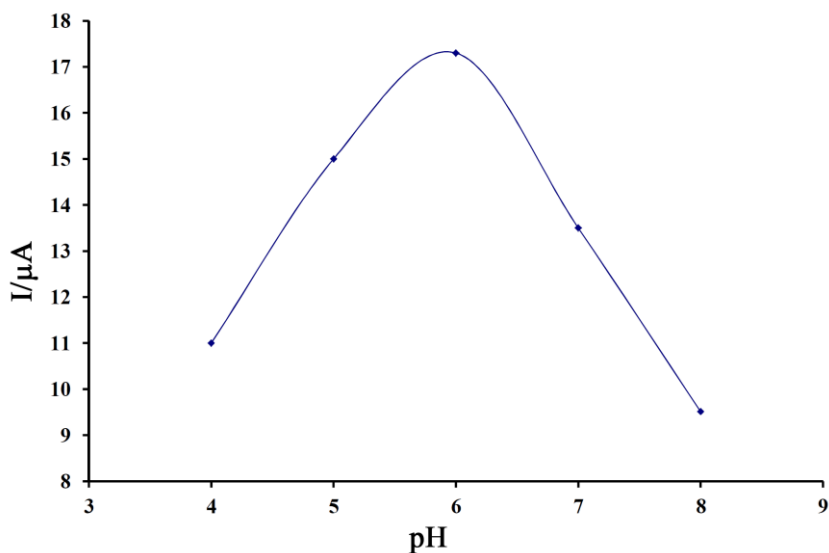


شکل (۱): تصاویر پراش پرتوی X برای نانوکامپوزیت کادمیم اکساید/نانولوله کربنی.

## ۳-۲- بررسی های الکتروشیمیایی اکسیداسیون بوتیل هیدروگسی تولوئن

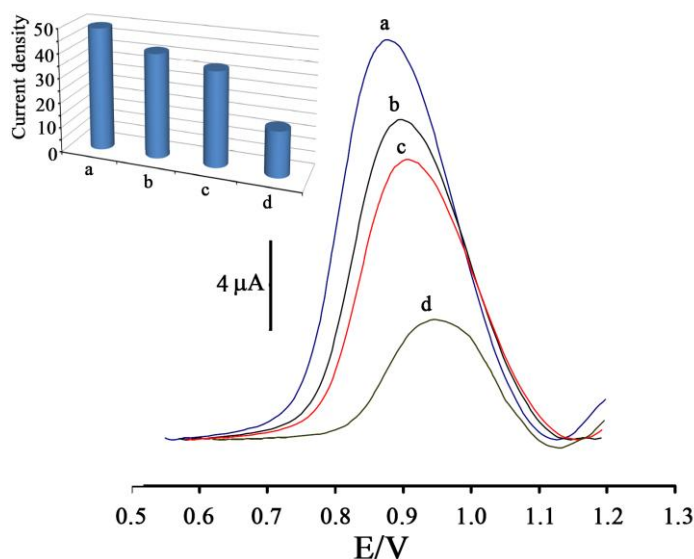
از آنجایی که بوتیل هیدروگسی تولوئن جزء دسته ترکیبات فنلی کم محلول در آب بوده و نتایج بررسی ها نشان می دهد که پاسخ ردوکس آن ها به pH بستگی دارد. بدین علت در ابتدا شرایط pH برای آنالیز این ترکیبات بهینه شد. برای تعیین pH بهینه در آنالیز این ترکیب، ولتاموگرام موج مربعی الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانوکامپوزیت کادمیم اکساید/نانولوله کربنی و مایع یونی در حضور ۵۰ میکرومولار بوتیل هیدروگسی تولوئن در pH های مختلف ثبت شد. در ادامه منحنی تغییرات شدت جریان آندی را برای بوتیل هیدروگسی تولوئن در محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار در pH های مختلف نشان می دهد (شکل ۲). همانطور که مشاهده شده است بهترین شرایط آنالیز  $pH=6/0$  بدست آمده و این شرایط برای ادامه بررسی ها انتخاب شد.

برای بررسی تاثیر اصلاح کننده های سطح الکتروود بر سیگنال الکتروشیمیایی از ولتامتری موج مربعی استفاده شد. شکل (۳) ولتاموگرام های موج مربعی الکتروود های مختلف در حضور ۵۰ میکرومولار بوتیل هیدروگسی تولوئن را نشان می دهد. ولتاموگرام های ۵۰ میکرومولار بوتیل هیدروگسی تولوئن در سطح الکتروود خمیر کربن ساده، خمیر کربن اصلاح شده با نانوکامپوزیت کادمیم اکساید/نانولوله کربنی، خمیر کربن اصلاح شده با مایع یونی و خمیر کربن اصلاح شده با نانوکامپوزیت کادمیم اکساید/نانولوله کربنی و مایع یونی در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۲): منحنی تغییرات جریان بر حسب pH برای ۵۰ میکرومولار بوتیل هیدروگسی تولوئن.

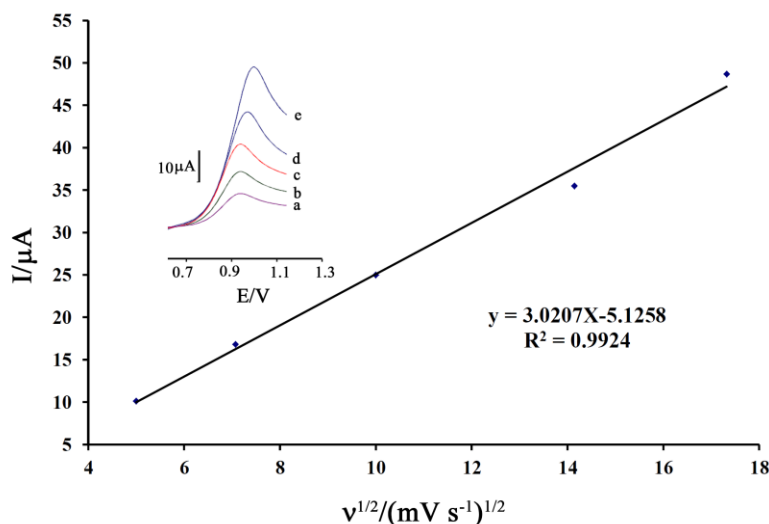
از طرفی شکل داخلی نشان دهنده منحنی دانسیته جریان بر حسب نوع الکتروود بکار رفته در اکسایش بوتیل هیدروگسی تولوئن می‌باشد. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود اکسایش بوتیل هیدروگسی تولوئن در سطح الکتروود خمیر کربن دارای ولتاژ اضافی بالا و جریان کاتالیزی پایین است. پس از افزایش نانوکامپوزیت به سطح الکتروود جریان فارادی افزایش یافته و پتانسیل اکسایش آن کاهش یافته است. در سطح الکتروود اصلاح شده با مایع یونی نسبت به الکتروود خمیر کربن باز جریان اکسایش افزایش یافته و پتانسیل کاهش می‌یابد. لذا از این دو آزمایش نتیجه می‌شود امکان بهبود بیشتر سطح الکتروود با تلفیق این دو اصلاح کننده می‌باشد. سیگنال a نشان دهنده افزایش جالب جریان اکسایش بوتیل هیدروگسی تولوئن در حضور اصلاح کننده‌های مایع یونی و نانوکامپوزیت سنتزی است.



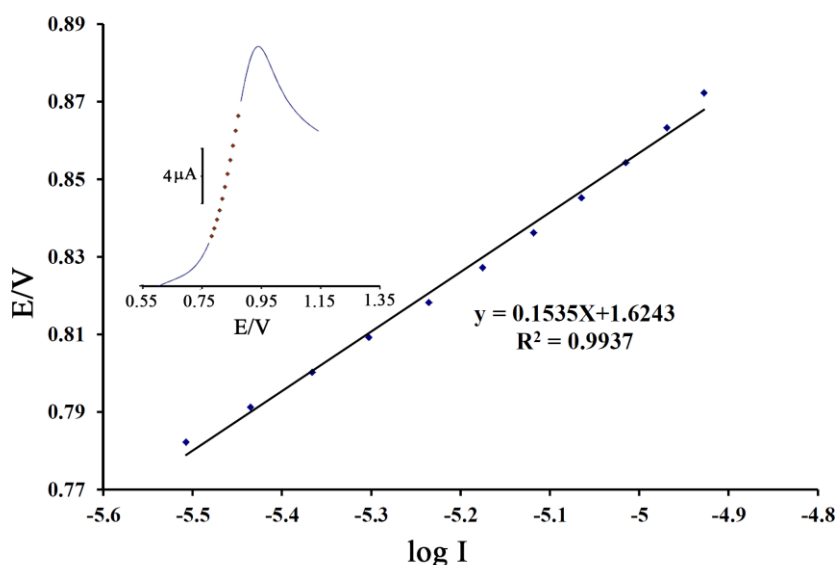
شکل (۳): ولتاموگرام‌های موج مربعی (a) الکتروود اصلاح شده با نانوکامپوزیت کادمیم اکساید/نانولوله کربنی و مایع یونی در غلظت ۵۰ میکرو مولار بوتیل هیدروگسی تولوئن (b) الکتروود اصلاح شده با مایع یونی در غلظت ۵۰ میکرو مولار بوتیل هیدروگسی تولوئن (c) الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانوکامپوزیت کادمیم اکساید/نانولوله کربنی در غلظت ۵۰ میکرو مولار بوتیل هیدروگسی تولوئن و (d) الکتروود خمیر کربن ساده الکتروود در غلظت ۵۰ میکرو مولار بوتیل هیدروگسی تولوئن در  $\text{pH}=6/0$ ، شکل داخلی منحنی تغییرات دانسیته جریان بر حسب نوع الکتروود

برای بررسی نفوذی و یا جذب سطحی بودن فرایند اکسایش بوتیل هیدروگسی تولوئن مورد بررسی از روش ولتامتری روبش خطی در سرعت‌های روبش مختلف استفاده شد. شکل (۴) ولتاموگرام اکسایش بوتیل هیدروگسی تولوئن در سرعت‌های روبش ۲۰ تا ۳۰۰ میلی‌ولت بر ثانیه را نشان می‌دهد.

در ادامه شکل (۴) منحنی تغییرات شدت جریان اکسایشی بر حسب جذر سرعت روبش را برای الکتروود اصلاح شده با نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله های کربنی و مایع یونی برای بوتیل هیدروگسی تولوئن را نشان می دهد. نتایج و ارتباط خطی بین جریان و جذر سرعت روبش پتانسیل تاییدی بر فرایند نفوذی اکسایش آنالیت در سطح الکتروود خمیر کربن اصلاح شده است. برای تعیین ضریب انتقال الکترون ( $\alpha$ ) از منحنی تافل استفاده شد. بدین منظور از داده های مربوط به ولتاموگرام های روبش خطی در محدوده ای که سینتیک کنترل کننده فرایند است (قسمت بالا رونده نمودار) استفاده شد. شیب منحنی تغییرات لگاریتم جریان بر حسب پتانسیل برابر با  $\frac{n(1-\alpha)F}{2/303RT}$  می باشد. با توجه به مقادیر معلوم برای  $R=8/314$ ،  $T=298$  و  $F=96485$  مقدار  $\alpha$  محاسبه می شود. شکل (۵) نمودار تافل برای بوتیل هیدروگسی تولوئن را نشان می دهد. با توجه به مقادیر به دست آمده مقدار  $\alpha=0/8$  می باشد.



شکل (۴): نمودار تغییرات جریان بر حسب جذر سرعت روبش برای اکسیداسیون آنالیت در سطح الکتروود اصلاح شده است. در محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار، pH=۷/۰، شکل داخلی: ولتاموگرام های روبش خطی بوتیل هیدروگسی تولوئن در سرعت اسکن های مختلف ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی ولت بر ثانیه در محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار، pH=۶/۰

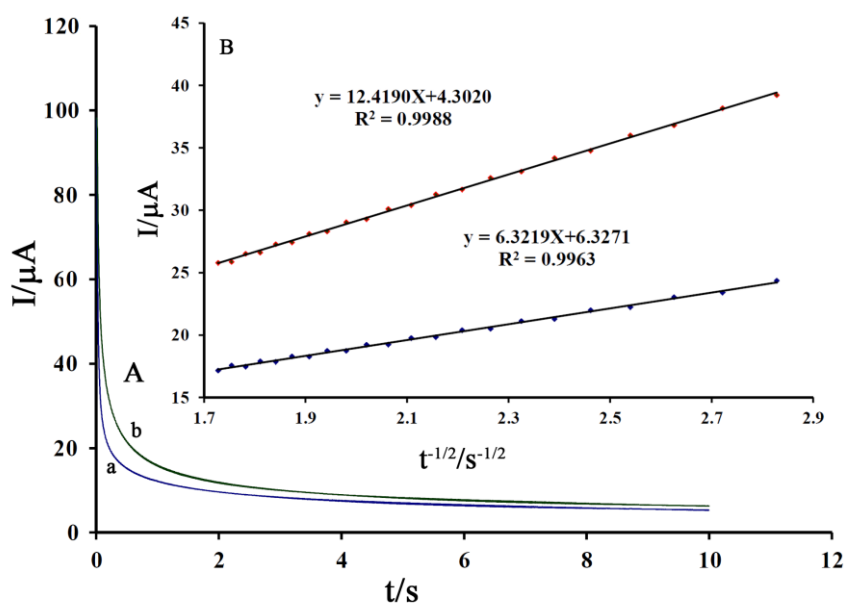


شکل (۵): نمودار تافل برای الکتروود اصلاح شده با نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله های کربنی و مایع یونی در بافر فسفات ۱/۰ مولار (pH= ۶/۰) برای تعیین ضریب نفوذ ترکیب مورد مطالعه از روش کروئوآمپرومتری استفاده شد. شکل (۶) به ترتیب کروئوآمپروگرام های الکتروود اصلاح شده با نانوکامپوزیت سنتزی و مایع یونی را در حضور غلظت های مختلف بوتیل هیدروگسی تولوئن نشان می-دهند. به منظور ثبت کروئوآمپروگرام ها پتانسیل ۱۱۰۰ میلی ولت به سیستم اعمال شد. با توجه به نفوذی بودن فرایند اکسایش بوتیل هیدروگسی تولوئن و به منظور تعیین ضریب نفوذ، منحنی کاترل این ترکیب در غلظت های مختلف رسم شد. همان طور که مشاهده شده است منحنی های به دست آمده بر طبق رابطه کاترل حالت خطی دارد. با توجه به معادله کاترل:

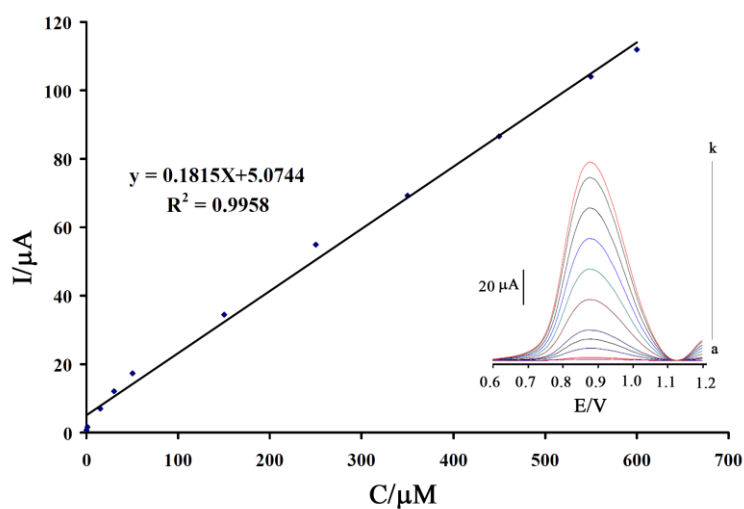
$$I = \frac{nFACD^{\frac{1}{2}}}{t^{\frac{1}{2}}\pi^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

در این رابطه  $n$  الکترون های مبادله شده،  $A$  سطح فعال الکتروود ( $\text{cm}^2$ )،  $D$  ضریب نفوذ ( $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )،  $C$  غلظت ترکیب مورد آنالیز ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )،  $t$  زمان (s) و  $F=96485$  می باشد. مقدار میانگین ضریب نفوذ برای اکسایش بوتیل هیدروگسی تولوئن در محلول  $D=2/67 \times 10^{-6}$  سانتی متر مربع بر ثانیه محاسبه شد.





شکل (۶): کروماتوآمپروگرام به دست آمده برای الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانوکامپوزیت و مایع یونی در حضور غلظت‌های (a) ۱۰۰/۰ (b) ۲۰۰/۰ میکرومولار بوتیل هیدروکسی تولوئن در محلول بافر فسفات ۶/۰ pH. نمودار داخلی: منحنی‌های کاترل به دست آمده از کروماتوآمپروگرام از روش ولتامتری موج مربعی به علت حساسیت بالای آن نسبت به روشهای دیگر ولتامتری برای تعیین گستره خطی و حد تشخیص بوتیل هیدروکسی تولوئن استفاده شد. شکل (۷) ولتاموگرام موج مربعی به همراه منحنی تغییرات غلظت برای الکترواکسیداسیون بوتیل هیدروکسی تولوئن در سطح الکتروود اصلاح شده را نشان می‌دهد. با استفاده از این سنسور گستره غلظتی برای بوتیل هیدروکسی تولوئن در محدوده ۰/۱ تا ۶۰۰ میکرومولار با حد تشخیص ۰/۰۶ میکرومولار گزارش شد.



شکل (۷): منحنی تغییرات شدت جریان آندی بر حسب تغییرات غلظت بوتیل هیدروکسی تولوئن. شکل داخلی) ولتاموگرام‌های موج مربعی الکتروود اصلاح شده در سطح الکتروود اصلاح شده در غلظت‌های در محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار، pH=۶/۰.

به منظور بررسی توانایی حسگر پیشنهادی در آنالیز نمونه‌های حقیقی و تشخیص‌پذیری آن تاثیر برخی گونه‌های مهم غذایی و ترکیبات موجود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در جدول (۲)، نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده شده است مزاحمت قابل توجهی در آنالیز گونه‌های نام برده شده وجود ندارد.

جدول (۲) بررسی مزاحمت گونه‌های خارجی در اندازه‌گیری ۱۰/۰ میکرومولار از بوتیل هیدروگسی تولوئن

گونه‌های مورد بررسی	حد مجاز غلظت گونه به غلظت بوتیل هیدروگسی تولوئن
گلوکز، فروکتوز، لاکتوز، ساکاروز	۱۰۰۰ ۹۰۰
$Br^-$ , $Na^+$ , $K^+$ , $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Ba^{2+}$ , $Li^+$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , $Al^{3+}$ , $NH_4^+$ و $F^-$	
متیونین، والین، گلیسین، فنیل آلانین، آلانین،	۸۰۰

در نهایت برای بررسی توانایی حسگر پیشنهادی برای آنالیز در نمونه‌های حقیقی از روش ولتامتری موج مربعی استفاده شد. برای آنالیز بوتیل هیدروگسی تولوئن از نمونه‌های سس مایونز و روغن مارگارین استفاده شد. داده‌های نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: آنالیز بوتیل هیدروگسی تولوئن در نمونه های حقیقی

نمونه	مقدار اضافه شده میلی گرم/۱۰۰ گرم	مقدار تعیین شده میلی گرم/۱۰۰ گرم	بازیابی
سس مایونز	---	$2/55 \pm 0/45$	-----
---	۱۰/۰	$12/32 \pm 0/65$	۹۸/۱۶
روغن مارگارین	---	$5/22 \pm 0/55$	---
---	۱۰/۰	$15/72 \pm 0/85$	۱۰۳/۲۸

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این کار تحقیقاتی یک حسگر الکتروشیمیایی حساس و گزینش‌پذیر برای اندازه‌گیری هیدروگسی تولوئن برپایه الکتروکدکس کربن اصلاح شده با مایع یونی و نانوکامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله کربنی طراحی شد. الکتروکدکس اصلاح شده سیگنال اکسایش هیدروگسی تولوئن را در مقایسه با خمیر کربن اصلاح شده به شدت افزایش می‌دهد. سنسور پیشنهادی حدتشخیص

۰/۰۶ میکرومولار برای آنالیز هیدروگسی تولوئن را پیشنهاد میکنند. در نهایت سنسور پیشنهادی برای آنالیز هیدروگسی تولوئن در نمونه‌های غذایی بکارگرفته شد.

## ۵-مراجع

- [1] J. F. Schabron, L. E. Fenska, *Anal. Chem.*, 52 (1980) 1411–1415.
- [2] M. Ding, J. Zou, *Food Chem.* 131 (2012) 1051–1055
- [3] C. D. Garcia, P. I. Ortiz, *Electroanalysis*, 10 (1998) 832–835.
- [4] M. Tomášková, J. Chýlková, V. Jehlička, T. Navrátil, I. Švancara, R. Šelešovská, *Fuel*, 123 (2014) 107–112.
- [5] M. Asunción Ruiz, P. Sedeñ, J.M. Pingarrón, *Electroanalysis* 6 (1994) 475–479.
- [۶] حسن کریمی مله ، علی پهلوان، رویا صادقی ، سید کمال شیردل، مجله شیمی کاربردی (اندیشه علوم) سال هفتم، شماره ۲۲ سال ۱۳۹۱ صفحه ۴۹.
- [7] A.L. Sanati, H. Karimi-Maleh, M. Abbasghorbani, *Journal of Applied Chemistry*, 9 (2015) 35.
- [8] H. Karimi-Maleh, A. FallahShojaei, K. Tabatabaeian, F. Karimi, S. Shakeri, R. Moradi, *Biosens. Bioelect.* 86 (2016) 879–884.
- [9] N.F. Atta, A. Galal, S.M. Azab, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 6 (2011) 5082-5096.
- [10] N.F. Atta, A. Galal, A.A. Wassel, A.H. Ibrahim, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 7 (2012) 10501–10518.
- [11] K.S. Ngai, W.T. Tan, Z. Zainal, R.M. Zawawi, M. Zidan, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8 (2013) 10557 – 10567.
- [12] H.R. Naderi, P. Norouzi, M.R. Ganjali, *Appl. Surf. Sci.* 366 (2016) 552-560.
- [13] R. Bavandpour, H. Karimi-Maleh, M. Asif, V.K. Gupta, N. Atar, M. Abbasghorbani, *J. Mol. Liq.* 213 (2016) 369–373.
- [14] T. Tavana, M.A. Khalilzadeh, H. Karimi-Maleh, A.A. Ensafi, H. Beitollahi, D. Zareyee, *J. Mol. Liq.* 168 (2012) 69–74
- [15] B. Nikahd, M.A. Khalilzadeh, *J. Mol. Liq.* 215 (2016) 253-257.
- [16] S. Cheraghi, M.A. Taher, H. Karimi-Maleh, *Electroanalysis* 28 (2016) 366 – 371.
- [17] R. Sadeghi, H. Karimi-Maleh, A. Bahari, M. Taghavi, *Phys. Chem. Liq.*, 51 (2013) 704-717

