

## اندازه گیری ولتامتری بنزآزید با بکارگیری حسگر الکتروشیمیایی اصلاح شده با

## نانوذره فریت کبالت و مایع یونی در نمونه های دارویی و بیولوژیک

حامد قائدی<sup>۱\*</sup>، فاطمه کریمی<sup>۲</sup>، حسن کریمی مله<sup>۲</sup><sup>۱</sup>دانشکده فنی و مهندسی، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران  
<sup>۲</sup>گروه مهندسی شیمی، آزمایشگاه نانوتکنولوژی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۹ تاریخ تصحیح: ۹۷/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۰۲

## چکیده

یک حسگر الکتروشیمیایی اصلاح شده براساس الکتروکدکس کربن اصلاح شده با نانوذرات فریت کبالت و مایع یونی ۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولینیم تترا فلورو بورات برای آنالیز بنزآزید طراحی شده است. در مرحله اول، نانوذرات فریت کبالت با استفاده از روش همرسوبی سنتز شده و با استفاده از آنالیز میکروسکوپ الکترونی عبوری مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه و در شرایط بهینه، سنسور طراحی شده برای آنالیز بنزآزید در گستره خطی بین ۰/۱ تا ۳۵۰/۰ میکرومولار با حدتشخیص ۰/۰۵ میکرومولار بکارگرفته شد. ضریب نفوذ بنزآزید در سطح الکتروکدکس اصلاح شده با استفاده از تکنیک کروماتوگرافی تعیین شد. سنسور پیشنهادی گزینش پذیری مناسبی را برای آنالیز بنزآزید در حضور مزاحمت های معمول نشان می دهد. در نهایت الکتروکدکس اصلاح شده برای آنالیز بنزآزید در نمونه های دارویی و بیولوژیک استفاده شد و نتایج توانمندی بالای سنسور پیشنهادی برای آنالیز بنزآزید در نمونه های حقیقی را نشان می دهد.

**کلمات کلیدی:** بنزآزید، نانوذره فریت کبالت، مایع یونی، حسگر الکتروشیمیایی، ولتامتری.

## ۱- مقدمه

توجه به سنتز نانوذرات پایه فلزی، بخصوص نانوذرات فلزی پایه آهن مانند فریت کبالت به علت نسبت سطح به حجم بالای آن ها و رسانندگی الکتریکی مناسبشان مورد توجه دانشمندان علم نانو قرار گرفته است [۱]. توانایی بالای نانوذرات فریت در کاهش مقاومت انتقال الکترون و افزایش رسانندگی الکتریکی باعث شده است تا این دسته از نانوذرات از اهمیت بالایی در تهیه سنسورهای الکتروشیمیایی برخوردار باشند [۲-۴]. نکته عمده در سنتز نانوذرات فریت فلزی ایجاد شرایط مناسب برای سنتز این دسته از نانوذرات در اندازه های کوچکتر و توزیع یکنواختتر می باشد. استفاده از نانوذراتی با اندازه کوچکتر و توزیع اندازه یکنواختتر میتواند از اتلاف انرژی در سیستم های الکتروشیمیایی مورد استفاده جلوگیری نماید. در این بین روش رسوبدهی یکی از سریع ترین و ارزان ترین روش ها برای سنتز این نانوذرات با توزیع اندازه مناسب و راندمان بالا می باشد.

کتکول آمین ها و مشتقات آن ترکیبات آلی با دو گروه هیدروکسیل بوده که دارای خواص دارویی و بیولوژیکی بالایی می- باشند [۵-۷].

کتکول آمین ها ترکیبات شیمیایی مشتق شده از آمینو اسید تیروزین بوده که شامل گروه‌های کتکول و آمین هستند. کتکول آمین ها قابل حل در آب بوده و ۵۰٪ از پروتئین های پلاسما را شامل می شوند، بنابراین آن‌ها در جریان خون در گردشند. همه کتکول آمین‌ها از فنیل آلانین و تیروزین تولید شده‌اند. تیروزین از فنیل آلانین و از طریق هیدرولیز آنزیم فنیل آلانین هیدروکسیله شده تشکیل می گردد ( تیروزین مستقیماً از روغن غذایی بدست می آید)، سپس به کتکول آمین نهفته در نوروں ها فرستاده می شود .

بنزرازید یک واکنش دهنده آروماتیک L-آمینواسید دکربوگسیلاز است. این داروی کتکولی به همراه لئودوپا در درمان بیماری پارکینسون مورد استفاده قرار می گیرد. از آنجائیکه این دارو نمی تواند از موانع مغزی-خونی عبور کند، این اجازه را به دوپامین می دهد که در مغز به تنهایی وارد شود. باید توجه داشت که بنزرازید نمی تواند عوارض جانبی ناشی از لئودوپا را کاهش دهد. بنزرازید به تنهایی دارای اثرات درمانی فراوانی نبوده و در تلفیق با لئودوپا می تواند بعنوان یک داروی مفید استفاده شود. با توجه به اهمیت وجود این دارو در درمان بیماران پارکینسون روشهای مختلفی برای آنالیز آن مانند الکتروفورز [۸-۱۰]، اسپکتروفتومتری [۱۱-۱۴]، کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا [۱۵،۱۶]، کمی لومینسانس [۱۷] و روشهای الکتروشیمیایی [۱۸-۲۰] گزارش شده است. با توجه به نکات بالا و مسائل ذکر شده، در این تحقیق ما به طراحی حسگر الکتروشیمیایی جدید براساس الکتروکد خیمیرکربن اصلاح شده با نانوذرات فریت کبالت و مایع یونی ۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولینیم تترا فلورو بورات پرداخته و توانایی حسگر طراحی شده برای آنالیز بنزرازید مورد بررسی قرار گرفت. حسگر طراحی شده توانایی بهبود بروی سیگنال بنزرازید را نشان داده و باعث کاهش اضافه ولتاژ اکسایش این دارو نسبت به خیمیرکربن ساده شده است.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد شیمیایی و دستگاهها

۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولینیم تترا فلورو بورات، پودر گرافیت و روغن پارافین از شرکت سیگما آلدریج تهیه شده و برای تهیه الکتروکد اصلاح شده استفاده شد. بنزرازید از شرکت سیگما آلدریج تهیه شد. نمک نیترات کبالت، سدیم هیدروکساید و کلرید آهن (III) از شرکت مرک تهیه شده و برای سنتز نانوذره فریت کبالت استفاده شد. برای ثبت سیگنال‌های الکتروشیمیایی از یک دستگاه میکروآتولب استفاده شد. از سل سه الکترودی شامل الکتروکد نقره/کلرید نقره، پلاتین و خیمیر

کربن اصلاح شده به ترتیب بعنوان الکتروود رفرنس، کمکی و الکتروود کار استفاده شد. از بافر فسفات ۰/۱ مولار تهیه شده از فسفریک اسید نیز بعنوان الکتروولیت حامل استفاده شد.

### ۲-۲- روش سنتز نانوذره فریت کبالت

در ابتدا محلول‌هایی سدیم هیدروکسید و نیترات کبالت و کلرید آهن (III) تهیه شده و سپس به مدت ۱۰ دقیقه التراسونیک شد تا محلول یکنواختی حاصل شود. نسبت غلظتی به کار رفته برای سنتز ۰/۱ به ۰/۲ میلی مولار از نیترات کبالت به کلرید آهن (III) انتخاب شد. این موضوع به علت ساختار شبکه فریت کبالت و نسبت یون‌های آهن به یون‌های دوظرفیتی است که برابر دو می‌باشد.

هر دو محلول نیترات کبالت و کلرید آهن را در داخل یک ارلن ریخته و به مدت ۱۰ دقیقه التراسونیک کرده تا محلول کاملاً یکنواخت به دست آید. در ادامه ارلن روی همزن مغناطیسی قرار داده شد. در حالیکه محلول به شدت در حال بهم خوردن است، محلول سدیم هیدروکسید را به صورت قطره قطره و به آرامی بر روی محلول نمک‌های آهن و کبالت ریخته تا هجوم یون‌ها باعث تشکیل ذرات بزرگتر نشود. با ریختن اولین قطرات محلول سدیم هیدروکسید، رسوب‌های قهوه‌ای رنگی به وجود می‌آید که به علت هم خوردن محلول حل می‌شوند. در ادامه با اضافه شدن مقدار بیشتر سدیم هیدروکسید رسوب قهوه‌ای تشکیل شد. رسوب به دست آمده را به مدت ۱ ساعت با توان ۱۵۰ و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز التراسونیک شد. در نهایت آن را چندین بار با آب مقطر، استون و اتانول شسته تا pH آن به ۷ برسد. رسوب به دست آمده را در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد [۲۱].

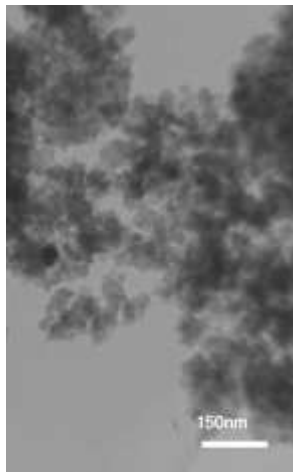
### ۲-۳- تهیه سنسور

برای تهیه الکتروود اصلاح شده، مقدار ۰/۹۵ گرم پودر گرافیت و ۰/۰۵ گرم نانوذره فریت کبالت را در یک هاون دستی ریخته و پس از پراندن مقداری دی اتیل اتر (جهت یکنواخت کردن سیستم) با ساییدن، مخلوط شد. در ادامه به پودر تهیه شده مقدار مشخصی پارافین و مایع یونی اضافه شده و عمل ساییدن به مدت چندین دقیقه برای حصول خمیر کاملاً یکنواختی ادامه پیدا کرد. خمیر کربن تهیه شده را به انتهای لوله شیشه‌ای وارد نموده و با استفاده از یک سیم مسی ارتباط الکتریکی برقرار شد.

### ۳- نتایج و بحث

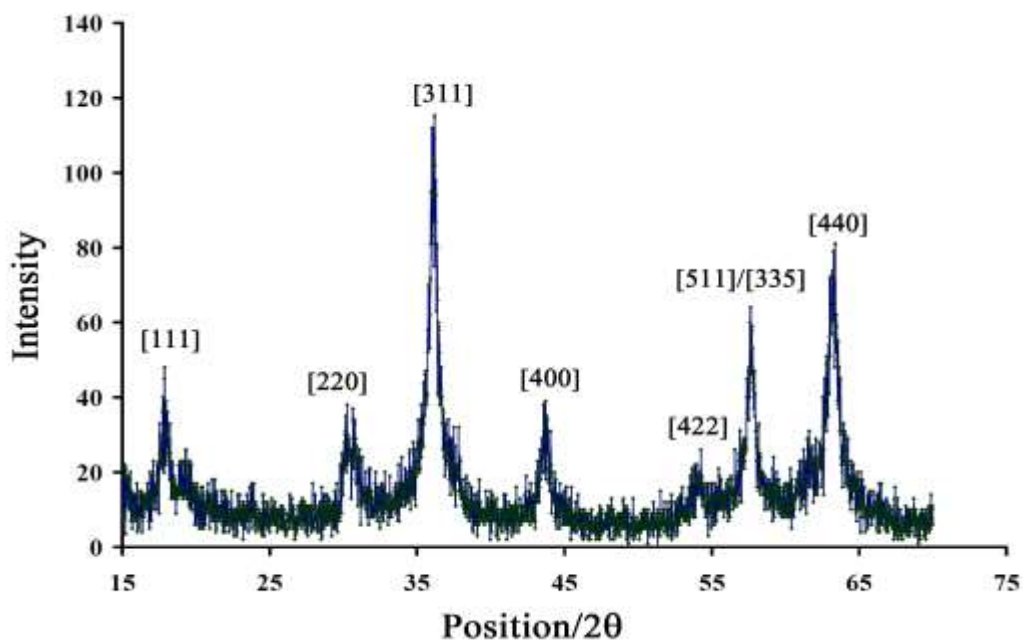
#### ۳-۱ - مشخصه یابی نانوکامپوزیت سنتزی و مورفولوژی آن

برای بررسی سایز و شکل نانوذرات فریت کبالت سنتزی از روش میکروسکوپ الکترونی عبوری استفاده شد. شکل (۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری سنتز صحیح نانوذرات فریت کبالت به شکل کروی و اندازه ذرات حدود ۳۰ نانومتر را نشان شد.



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات فریت کبالت

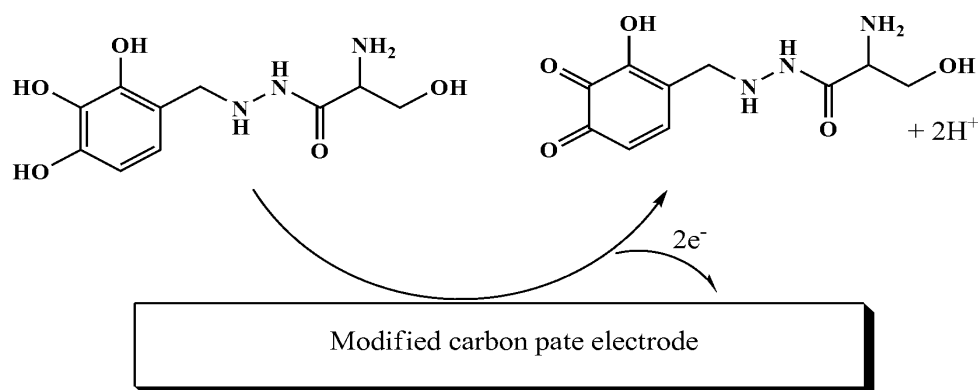
طیف پراش پرتوی X بخوبی حضور لایه‌های (۱۱۱)، (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۳۳۵) و (۴۴۰) را در موقعیت‌های مربوط به نانوذرات فریت کبالت را نشان داده که همخوانی مناسبی با طیف استاندارد این ماده دارد و سنتز صحیح این نانوذره را تایید می نماید ( شکل ۲).



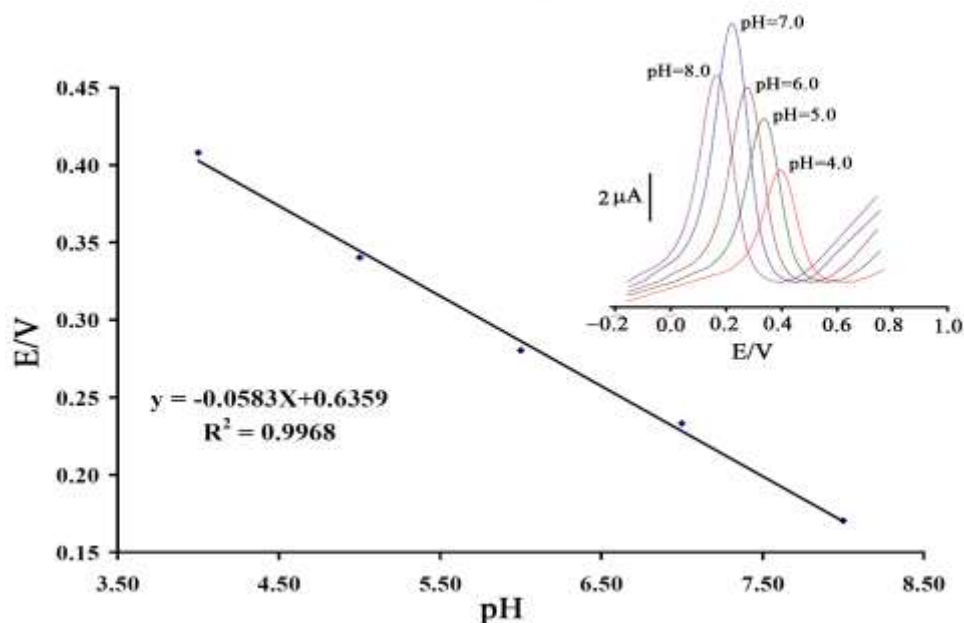
شکل ۲) طیف XRD برای نمونه سنتزی فریت کبالت

## ۲-۳- کاربرد الکترواد اصلاح شده بروی سیگنال الکتروشیمیایی بنزرازید

با توجه به ساختار کتکولی بنزرازید و وابستگی اکسیداسیون این دارو به تغییرات pH بر طبق مکانیزم ارائه شده در شکل ۲ بهینه سازی این فاکتور مهم و ضروری بنظر می رسد. براین اساس در مرحله اول شرایط pH برای آنالیز بنزرازید بهینه شد. بدین منظور ولتاموگرام های موج مربعی ۷۵/۰ میکرومولار بنزرازید در pH های مختلف ثبت شد (شکل ۳ داخلی). در ادامه منحنی تغییرات پتانسیل اکسایشی بنزرازید برحسب تغییرات pH رسم شد و شیب ۵۸/۳ میلی ولت بر pH نشان از برابری تعداد الکترون ها و پروتون های مبادله شده در اکسایش بنزرازید بوده که همخوانی مناسبی با مکانیزم ارائه شده در شکل ۲ دارد. از طرفی مقایسه جریا اکسایشی در شکل ۳ نشان میدهد که بیشترین حساسیت برای اکسایش بنزرازید در pH=۷/۰ رخ داده که این شرایط به عنوان شرایط بهینه انتخاب شد.



شکل ۲- مکانیزم اکسایش بنزرازید در سطح الکترواد [۱۸]



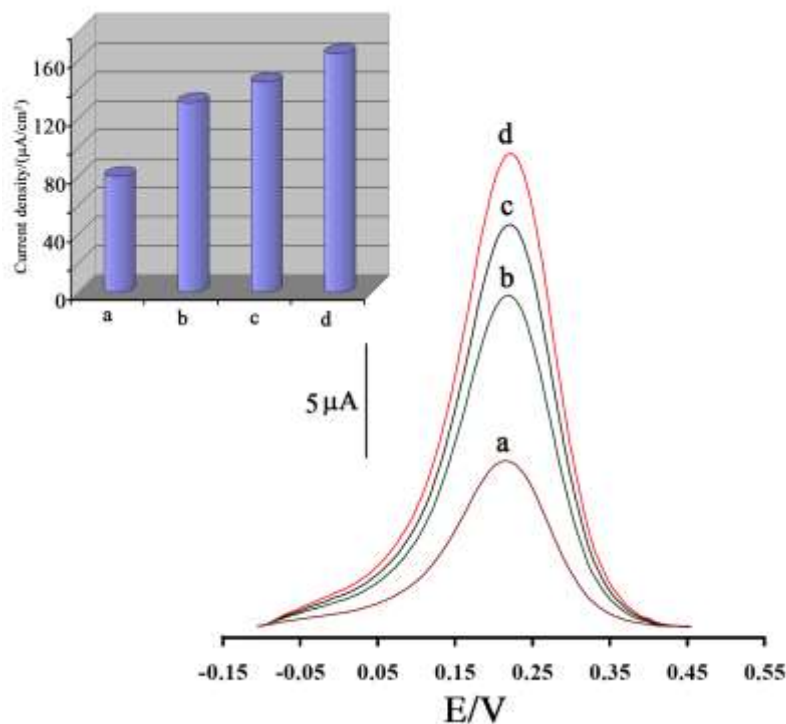
شکل ۳- منحنی تغییرات پتانسیل برحسب pH برای الکترواکسیداسیون ۷۵/۰ میکرومولار بنزرازید. شکل داخلی) ولتاموگرام موج مربعی ۷۵/۰ میکرومولار بنزرازید بر در pH بین ۴/۰ تا ۸/۰

تاثیر اصلاح کننده‌های بستر الکتروود بروی سیگنال اکسایشی بنزرازید با استفاده از رسم ولتاموگرام‌های موج مربعی ۷۵/۰ میکرومولار دارو در سطح الکتروود خمیر کربن (منحنی a)، الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانوذره فریت کبالت (منحنی b)، الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با مایع یونی (منحنی c) و الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با مایع یونی و نانوذره فریت کبالت (منحنی d) بررسی شد (شکل ۴). از طرفی شکل داخلی نشان دهنده منحنی دانسیته جریان بر حسب نوع الکتروود بکار رفته در اکسایش بنزرازید است که تایید میکند اصلاح کننده‌ها باعث افزایش رسانندگی سطح الکتروود شده‌اند.

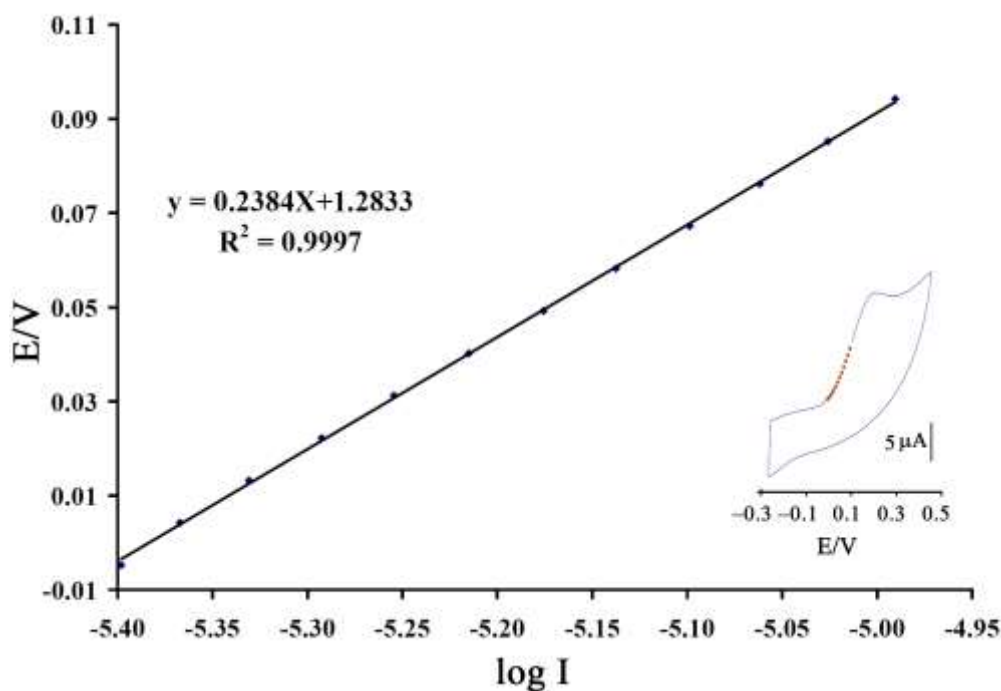
برای تعیین ضریب انتقال الکترون ( $\alpha$ ) از منحنی تافل استفاده شد. بدین منظور از داده‌های مربوط به ولتاموگرام‌های چرخه ای در محدوده‌ای که سینتیک کنترل کننده فرایند است (قسمت بالا رونده نمودار) استفاده شد. شیب منحنی تغییرات لگاریتم

جریان بر حسب پتانسیل برابر با  $\frac{n(1-\alpha)F}{2.303RT}$  می‌باشد. با توجه به مقادیر معلوم برای  $R= 8/314$ ،  $F=96485$  و  $T=298$  مقدار

$\alpha$  محاسبه می‌شود. شکل (۵) نمودار تافل برای بنزرازید را نشان می‌دهد. با توجه شیب مشاهده شده در شکل ۵ و معادله تافل مقدار ضریب انتقال الکترون  $\alpha=0.87$  بدست آمده است.



شکل ۴- ولتاموگرام‌های موج مربعی (a) الکتروود خمیر کربن ساده در حضور ۷۵/۰ میکرو مولار بنزرازید (b) الکتروود اصلاح شده با نانوذره فریت کبالت در حضور ۷۵/۰ میکرو مولار بنزرازید (c) الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با مایع یونی در حضور ۷۵/۰ میکرو مولار بنزرازید و (d) الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با مایع یونی و نانوذره فریت کبالت در حضور ۷۵/۰ میکرومولار بنزرازید، شکل داخلی منحنی تغییرات دانسیته جریان بر حسب نوع الکتروود

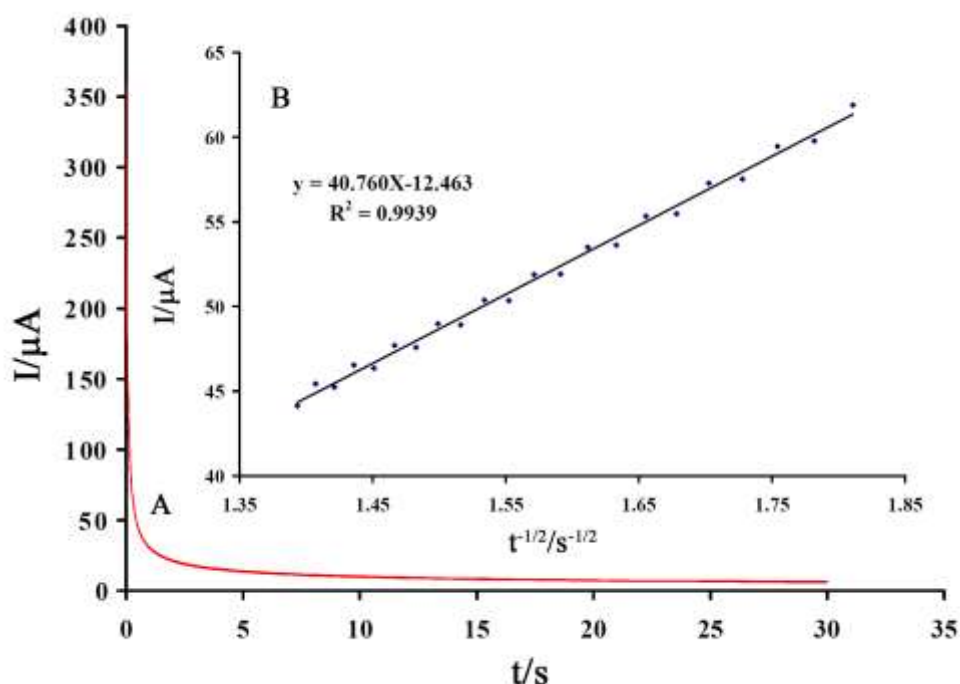


شکل ۵- نمودار تافل برای الکتروود اصلاح شده با نانوذره فریت کبالت و مایع یونی در حضور بنزآزید بافر فسفات ۱/۰ مولار pH=۷/۰

از روش کروئوآمپرومتری برای تعیین ضریب نفوذ بنزآزید استفاده شد. بدین منظور از پله پتانسیل ۴۵۰ میلی ولت استفاده شد. کروئوآمپروگرام ۵۰۰ میکرومولار بنزآزید در سطح الکتروود اصلاح شده ثبت (شکل ۶- A) و با استفاده از داده‌های قسمت پایین رونده منحنی های کاترل رسم شد (شکل ۶- B). با استفاده از شیب منحنی های کاترل و معادله کاترل ارائه شده در معادله (۱):

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

مقدار میانگین ضریب نفوذ برای اکسایش بنزآزید در محلول  $D = 3/6 \times 10^{-5}$  سانتی متر مربع بر ثانیه محاسبه شد.

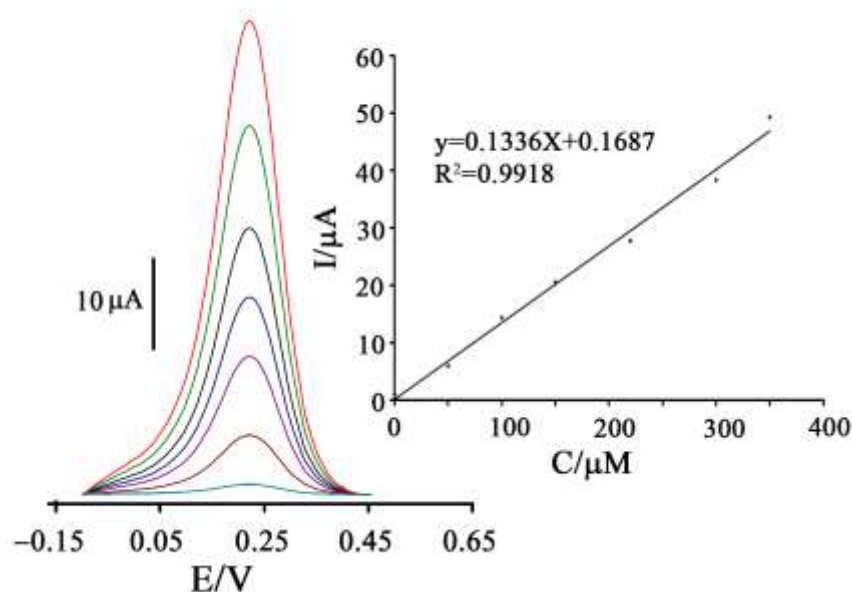


شکل ۶- کروئوآمپروگرام به دست آمده برای الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانوذره فریت کبالت و مایع یونی در حضور غلظت ۵۰۰ میکرومولار بنزرازید در محلول بافر فسفات ۷/۰ pH (B) منحنی‌های کاترل به دست آمده از کروئوآمپروگرام

گستره خطی و حدتشخیص دوفاکتور مهم تجزیه‌ای برای یک سنسور جدید است. براین اساس توانمندی آنالیز بنزرازید در سطح حسگر طراحی شده را با استفاده از روش ولتامتری موج مربعی به علت حساسیت بالای آن مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۷) ولتاموگرام موج مربعی به همراه منحنی تغییرات غلظت برای الکترواکسیداسیون بنزرازید در سطح الکتروود اصلاح شده را نشان می‌دهد. با استفاده از این سنسور گستره غلظتی ۰/۱ تا ۳۵۰ میکرومولار با حد تشخیص ۰/۰۵ میکرومولار برای بنزرازید محاسبه شد. این مقدار از گستره خطی و حدتشخیص با مقادیر گزارش شده دیگر قابل مقایسه و در برخی موارد بهتر نیز می‌باشد (جدول ۱).

گزینه پذیرش سنسور برای آنالیز بنزرازید در حضور گونه‌های بیولوژیک و دارویی دیگر مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور سیگنال ۲۵/۰ میکرومولار بنزرازید ثبت و حد مزاحمت تغییر ۵٪ در جریان و یا پتانسیل بنزرازید در غیاب و حضور مزاحمت در نظر گرفته شد. نتایج در جدول (۲)، نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده شده است مزاحمت قابل توجهی در آنالیز گونه‌های نام برده شده وجود ندارد.





شکل ۷- ولتاموگرام‌های موج مربعی الکتروود اصلاح شده در حضور غلظت‌های ۰/۱، ۵۰/۰، ۱۰۰/۰، ۱۵۰/۰، ۲۲۰/۰، ۳۰۰/۰ و ۳۵۰/۰ میکرومولار بنزآزید و منحنی تغییرات شدت جریان آندی بر حسب تغییرات غلظت بنزآزید، pH=۷/۰.

جدول ۱. مقایسه کارایی سنسور طراحی شده با سنسورهای الکتروشیمیایی دیگر برای آنالیز بنزآزید

الکتروود	اصلاح کننده	گستره خطی بر حسب میکرومولار	حد تشخیص بر حسب میکرومولار	رفرنس
خمیر کربن	نانو کامپوزیت اکسید کادمیم/نانولوله کربنی به همراه مایع یونی	۰/۴۵۰-۱	۰/۰۶	[۲۲]
خمیر کربن	نانوذره اکسید روی به همراه مایع یونی	۰/۴۳۰-۱	۰/۰۶	[۲۳]
خمیر کربن	نانو کامپوزیت اکسید نیکل/گرافن به همراه مایع یونی	۰/۶۰۰-۱	۰/۰۵	[۱۹]
خمیر کربن	نانوذره فریت کبالت به همراه مایع یونی	۰/۳۵۰-۱	۰/۰۵	کار حاضر

برای بررسی تکرارپذیری ساخت سنسور، چهار سنسور طبق شرایط بهینه شده ساخت تهیه شده و سیگنال ۲۰ میکرومولار بنزآزید در سطح این چهار سنسور ثبت شد. مقدار انحراف استاندارد ۲/۸ برای چهار اندازه‌گیری ثبت شده که این میزان تکرارپذیری مناسب ساخت سنسور را نشان می‌دهد. از طرفی ثبت سیگنال اکسایشی ۲۰ میکرومولار بنزآزید در سطح یک سنسور و در ۱۰ آزمایش متوالی انحراف استاندارد ۱/۵ را نشان داد که نشان از تکرار مناسب جواب سنسور برای آنالیز دارد.

جدول ۲. بررسی مزاحمت گونه‌های خارجی در اندازه‌گیری ۲۵/۰ میکرومولار از بنزآزید

گونه‌های مورد بررسی	حد مجاز غلظت گونه به غلظت بنزآزید
گلوکز، فروکتوز، متانول، لاکتوز، اتانول، ساکاروز	۹۰۰
$\text{NH}_4^+$ , $\text{Br}^-$ , $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Li}^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ,	۸۵۰
گلايسين، متيونين، تريپتوفان، والين، آلانين،	۶۰۰

در نهایت برای بررسی توانایی حسگر پیشنهادی برای آنالیز بنزرآزید در نمونه‌های حقیقی از نمونه های سرم دارویی و ادرار استفاده شد. نتایج بدست آمده با استفاده از روش افزایش استاندارد در جدول ۲ گزارش شده و نشان از توانمندی بالای سنسور پیشنهادی برای آنالیز بنزرآزید دارد. نمونه سرم دارویی پس از خرید از داروخانه بصورت مستقیم و بدون هیچ پیش آماده سازی مورد استفاده قرار گرفت. نمونه ادرار پس از جمع آوری، سانتریفیوژ شده و پس از فیلتر شدن در یخچال قرار گرفت. مقدار مشخصی از آن به بافر اضافه شده و برای آنالیز استفاده شد.

جدول ۲. آنالیز بنزرآزید در نمونه های حقیقی

نمونه	مقدار اضافه شده میکرومولار	مقدار تعیین شده میکرومولار	بازیابی
سرم دارویی	----	کمتر از حد تشخیص	---
---	۵/۰۰	۵/۲۳±۰/۴۵	۱۰۴/۶
---	۲۰/۰۰	۱۹/۸۲±۰/۵۶	۹۹/۱
ادرار	----	کمتر از حد تشخیص	---
---	۱۰/۰۰	۱۰/۳۲±۰/۴۶	۲۱۰/۳

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک حسگر الکتروشیمیایی اصلاح شده و حساس برای اندازه‌گیری بنزرآزید در نمونه‌های دارویی و بیولوژیک پایه الکتروود خمیرکربن اصلاح شده با مایع یونی ۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولینیم تترا فلورو بورات و نانوذره فریت کبالت ارائه شد. الکتروود اصلاح شده باعث افزایش حساسیت آنالیزی بنزرآزید و کاهش اضافه ولتاژ این دارو در مقایسه با خمیر کربن اصلاح شده شده است. الکتروود اصلاح شده گستره خطی ۰/۱-۳۵۰/۰ میکرومولار و حدتشخیص ۰/۰۵ میکرومولار برای آنالیز بنزرآزید نشان داده است. در نهایت الکتروود اصلاح شده برای آنالیز بنزرآزید در نمونه‌های واقعی بکارگرفته شد.

#### ۵- مراجع

- [1] F. Karimi, A. Fallah Shojaei, K. Tabatabaeian, H. Karimi-Maleh, S. Shahryar, *IET Nanobiotechnology*, (2017) DOI: 10.1049/iet-nbt.2017.0057
- [2] R. Bavandpour, H. Karimi-Maleh, M. Asif, V.K. Gupta, N. Atar, M. Abbasghorbani, *Journal of Molecular Liquids* **213** (2016) 369.
- [3] F. Karimi, A.F. Shojaei, K. Tabatabaeian, S. Shakeri, *Journal of Molecular Liquids* **242** (2017) 685
- [4] A.F. Shojaei, K. Tabatabaeian, S. Shakeri, F. Karimi, *Sensors and Actuators B* **230** (2016) 607.
- [5] H. Beitollahi, H. Karimi-Maleh, H. Khabazzadeh, *Analytical Chemistry* **80** (2008) 9848.
- [6] H. Yaghoobian, H. Karimi-Maleh, M.A. Khalilzadeh, F. Karimi, *Int. J. Electrochem. Sci.*, **4** (2009) 993.
- [7] J.J. Schildkraut, *The American Journal of Psychiatry* **122** (1965) 509.

- [8] Y. Tu, Q. XU, Q.J. Zou, Z.H. Yin, Y.Y. Sun, Y.D. Zhao, *Anal. Sci.* **23** (2007) 1321.
- [9] S. Viswanathan, W.C. Liao, C.C. Huang, W.L. Hsu, J.A. Ho, *Talanta* **74** (2007) 229.
- [10] C. Xiang, Y. Zou, J. Xie, X. Fei, *Anal. Lett.* **39** (2006) 2569.
- [11] S. Li, Y. Yang, Y. Chen, *Yaowu Fenxi Zazhi* **26** (2006) 1506.
- [12] M. Chamsaz, A. Safavi, J. Fadaee, *Anal. Chim. Acta* **603** (2007) 140.
- [13] T. Madrakian, M. Mohammadnejad, *Chern. Pharm. Bull.* **55** (2007) 865.
- [14] S. Zhao, W. Bai, B. Wang, M. He, *Talanta* **73** (2007) 142.
- [15] Y. Tang, L. Cao, X. Qian, R. Zhang, *Sepu.* **2** (1985) 56.
- [16] J. Wang, Y. Zhou, J. Liang, P.G. He, Y.Z. Fang, *Chromatographia* **61** (2005) 265.
- [17] J.Q. Lu, W.W. He, X.W. Zhou, *Chin. Chem. Lett.* **17** (2006) 1233.
- [18] A.A. Ensafi, H. Bahrami, B. Rezaei, H. Karimi-Maleh, *Materials Science and Engineering C* **33** (2013) 831.
- [19] M. Shabani-Nooshabadi, M. Roostae, H. Karimi-Maleh, *J. Iran. Chem. Soc.* **14** (2017) 955.
- [20] A.A. Ensafi, A. Arabzadeh, H. Karimi-Maleh, *J. Braz. Chem. Soc.*, **21** (2010) 1572.
- [21] F. Karimi, A.F. Shojaei, K. Tabatabaeian, S. Shakeri, *J. Mol. Liq.*, **242** (2017) 685.
- [22] E. Rahmanifar, M. Yoosefian, H. Karimi-Maleh, *Current Anal. Chem.* **13** (2017) 46.
- [23] M. Fouladgar, *Measurement* **86** (2016) 141.