

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه یزد

دانشکده علوم

گروه شیمی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

شیمی تجزیه

بررسی رفتار الکتروشیمیایی و شناسایی ترکیبات
بیولوژیکی در سطح الکترودهای اصلاح شده بر پایه
نانولوله‌های کربن

استاد راهنما: دکتر محمد مظلوم اردکانی

استاد مشاور: دکتر علی بنویدی

پژوهش و نگارش: ابوالفضل ناصر صدر آبادی

مهرماه ۱۳۹۲

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه/رساله متعلق به دانشگاه یزد است و هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی از این پایان‌نامه/رساله برای تولید دانش فنی، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس و آرایه مقاله در سمینارها و مجلات علمی از این پایان‌نامه/رساله منوط بر موافقت کتبی دانشگاه یزد است.

تقدیم به پدر و مادر عزیز و مهربانم

که در سختی ها و دشواری های زندگی، همواره یاور و دلسوز و خداکار

و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده اند.

پروردگارا:

نه میتوانم موایشان را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دستهای پینه بسته

شان که شمره تلاش برای افتخار من است، مرهمی دارم. پس توفیقم ده که هر لحظه شکر

گزارشان باشم و ثانیه های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم.

تقدیم به خواهرم:

که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است.

تقدیم به همسرم:

که در سایه همیاری و همدلی او به این منظور نائل شدم.

جناب آقایان دکتر محمد مظلوم اردکانی و دکتر علی بنویدی اساتید
راهنما و مشاورم:

شما روشنایی بخش تاریکی جان هستی و ظلمت اندیشه را نور می
بخشید. چگونه سپاس گویم مهربانی‌ها و لطف شما را که سرشار از
عشق و یقین بود. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی شما را که چراغ
روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در
مقابل این همه عظمت و شکوه شما بزرگان مرا نه توان سپاس است و
نه کلام وصف.

با تشکر از زحمات بی دریغ شما

| صفحه | عنوان |
|------|---|
| | فصل اول: مقدمه، تاریخچه و اصول نظری |
| ۳ | ۱- مقدمه |
| ۴ | ۱-۱- انواع روش‌های الکتروآنالیتیکی |
| ۵ | ۲-۱- الکترودهای اصلاح‌شده شیمیایی |
| ۶ | ۳-۱- الکترودهای خمیر کربن |
| ۷ | ۱-۳-۱- اجزای خمیر کربن |
| ۹ | ۲-۳-۱- خصوصیات الکتروشیمیایی الکترودهای خمیر کربن |
| ۹ | ۳-۳-۱- کاربرد اصلاح‌گر در بافت خمیر کربن |
| ۱۰ | ۴-۱- واکنش‌های الکتروکاتالیزوری |
| ۱۱ | ۵-۱- نانوذرات |
| ۱۳ | ۱-۵-۱- نانو لوله‌های کربن |
| ۱۴ | ۲-۵-۱- انواع نانو لوله‌های کربن |
| ۱۴ | ۱-۲-۵-۱- نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره (SWCNT) |
| ۱۵ | ۲-۲-۵-۱- نانولوله‌های کربنی چنددیواره (MWCNT) |
| ۱۶ | ۳-۵-۱- کاربرد نانولوله‌های کربنی |
| ۱۷ | ۱-۳-۵-۱- کاربرد نانولوله‌های کربنی در الکتروشیمی |
| ۱۸ | ۶-۱- سینتیک واکنش‌های الکترودی |
| | ۱-۶-۱- محاسبه‌ی ضریب انتقال بار بین اصلاح‌گر و سطح الکتروود (α) و ثابت |
| ۱۹ | سرعت انتقال بار (k_s) |

- ۱۹ ۱-۶-۲- محاسبه‌ی پوشش سطحی (Γ)
- ۲۰ ۱-۶-۳- محاسبه ثابت سرعت واکنش کاتالیستی (k'_h)
- ۲۱ ۱-۶-۴- نمودارهای تافل برای محاسبه ضریب انتقال الکترون (α) کاتالیستی
- ۲۱ ۱-۷-۷- روش‌های الکتروشیمیایی
- ۲۲ ۱-۷-۱- روش ولتامتری چرخه‌ای
- ۲۳ ۱-۷-۱-۱- سیستم برگشت پذیر
- ۲۴ ۱-۷-۱-۲- سیستم برگشت ناپذیر
- ۲۵ ۱-۷-۱-۳- سیستم‌های شبه برگشت پذیر
- ۲۶ ۱-۷-۲- روش ولتامتری پالس تفاضلی
- ۲۷ ۱-۷-۳- روش ولتامتری موج مربعی
- ۲۸ ۱-۷-۴- روش کرنوآمپرومتری
- ۲۹ ۱-۷-۵- روش کرنوکولومتری
- ۲۹ ۱-۸- کاربرد الکترودهای اصلاح‌شده شیمیایی در اندازه‌گیری گونه‌های بیولوژیکی
- ۳۰ ۱-۸-۱- دوپامین و روش‌های اندازه‌گیری آن
- ۳۲ ۱-۸-۲- ایزوپرونالین و روش‌های اندازه‌گیری آن
- ۳۴ ۱-۸-۳- لوودوپا و روش‌های اندازه‌گیری آن
- ۳۶ ۱-۹- اهداف این پروژه
- فصل دوم: وسایل، مواد شیمیایی و آزمایش‌ها**
- ۳۹ ۲-۱- دستگاه‌ها و وسایل مورد استفاده
- ۳۹ ۲-۲- مواد شیمیایی

| | |
|----|---|
| ۴۱ | ۳-۲- ساخت الکتروود |
| ۴۲ | ۴-۲- تهیه محلول‌ها و روش‌های اندازه‌گیری پارامترها |
| ۴۳ | ۲-۴-۱- روش افزایش استاندارد |
| ۴۴ | ۲-۵- ارزیابی نتایج |
| | فصل سوم: نتایج و بحث |
| ۴۹ | ۳- مقدمه |
| | ۳-۱- بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکتروود اصلاح‌شده و کاربرد آن در اکسایش |
| ۴۹ | کاتالیستی و اندازه‌گیری مواد بیولوژیکی |
| ۴۹ | ۳-۱-۱- بهینه‌سازی درصد اجزای الکتروود خمیر کربن اصلاح‌شده |
| ۵۰ | ۳-۱-۲- بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکتروود خمیر کربن اصلاح‌شده |
| ۵۰ | ۳-۱-۳- محاسبه‌ی پارامترهای سینتیکی الکتروود اصلاح‌شده |
| ۵۳ | ۳-۱-۴- وابستگی رفتار الکتروشیمیایی PNHMWCNT-MCPE به pH محیط |
| ۵۶ | ۳-۲- اکسایش الکتروکاتالیزوری دوپامین در سطح PNHMWCNT-MCPE |
| | ۳-۲-۱- اثر سرعت روبش پتانسیل بر رفتار الکتروشیمیایی دوپامین در سطح |
| ۵۸ | PNHMWCNT-MCPE |
| ۶۱ | ۳-۲-۲- کرنوآمپرومتری |
| | ۳-۲-۳- بررسی اکسایش الکتروکاتالیزوری دوپامین به‌روش ولتامتری پالس |
| ۶۴ | تفاضلی |
| ۶۵ | ۳-۲-۴- گزینش‌پذیری و بررسی مزاحمت |
| | ۳-۲-۵- اندازه‌گیری همزمان دوپامین، اوریک اسید و فولیک اسید به روش |
| ۶۶ | ولتامتری پالس تفاضلی |

- ۶۸ ۳-۲-۶- تجزیه‌ی نمونه‌ی حقیقی
- ۳-۳- اکسایش الکتروکاتالیزوری ایزوپروپونالین در سطح PNHO/MWCNT-
 ۶۹ MCPE
- ۶۹ ۳-۳-۱- اکسیداسیون نانو لوله کربن
- ۷۱ ۳-۳-۲- بهینه‌سازی درصد اجزای الکتروود خمیر کربن اصلاح‌شده
- ۷۱ ۳-۳-۳- بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکتروود خمیر کربن اصلاح‌شده
- ۷۲ ۳-۳-۴- محاسبه‌ی پارامترهای سینتیکی الکتروود اصلاح‌شده
- ۳-۳-۵- وابستگی رفتار الکتروشیمیایی PNHO/MWCNT-MCPE به
 ۷۴ pH محیط
- ۳-۳-۶- اکسایش الکتروکاتالیزوری ایزوپروپونالین در سطح
 ۷۷ O/MWCNTCPE در حضور اصلاح‌گر PNH
- ۳-۳-۷- اثر سرعت روبش پتانسیل بر رفتار الکتروشیمیایی
- ۷۹ ایزوپروپونالین در سطح PNHO/MWCNT-MCPE
- ۸۱ ۳-۳-۸- کرنوآمپرومتری
- ۳-۳-۹- بررسی اکسایش الکتروکاتالیزوری ایزوپروپونالین به‌روش
 ۸۳ ولتامتری موج مربعی
- ۳-۳-۱۰- گزینش‌پذیری و بررسی مزاحمت
 ۸۴
- ۳-۳-۱۱- اندازه‌گیری همزمان ایزوپروپونالین و کاپتوپریل به‌روش
 ۸۶ ولتامتری موج مربعی
- ۳-۳-۱۲- تجزیه‌ی نمونه‌ی حقیقی
 ۸۸
- ۳-۳-۴- اکسایش الکتروکاتالیزوری لوودوپا در سطح DTDMWCNT-MCPE
 ۸۹ ۳-۴-۱- بررسی رفتار الکتروشیمیایی اصلاح‌گر (DTD) با استفاده از

- ۹۰ الکتروُد (MWCNTCPE) و محاسبه پارامترهای سینتیکی
- ۹۲ ۳-۴-۲- وابستگی رفتار الکتروشیمیایی اصلاح گر (DTD) به pH محیط
- ۳-۴-۳- بررسی رفتار الکتروُد اصلاح شده (DTDMWCNT-MCPE) و کاربرد آن در اکسایش کاتالیستی و اندازه گیری کمی لوودوپا
- ۹۳ ۳-۴-۴- اکسایش الکتروکاتالیزوری لوودوپا در سطح DTDMWCNT-MCPE
- ۹۴ ۳-۴-۵- بهینه سازی pH محیط
- ۳-۴-۶- اثر سرعت روبش پتانسیل بر رفتار الکتروشیمیایی لوودوپا در سطح الکتروُد DTDMWCNT-MCPE
- ۹۶ ۳-۴-۷- کرنوآمپرومتری
- ۹۷ ۳-۴-۸- بررسی اکسایش الکتروکاتالیزوری لوودوپا به روش ولتامتری پالس
- تفاضلی
- ۱۰۲ ۳-۴-۹- گزینش پذیری و بررسی مزاحمت
- ۳-۴-۱۰- اندازه گیری همزمان لوودوپا، استامینوفن و تریپتوفان به روش ولتامتری پالس تفاضلی
- ۱۰۲ ۳-۴-۱۱- تعیین لوودوپا در نمونه حقیقی
- ۱۰۵ ۳-۵- آینده الکترودهای اصلاح شده
- ۱۰۷ ۳-۶- نتیجه گیری
- ۱۰۸ مراجع

فهرست جداول

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۴ | جدول ۱-۱ انواع روش‌های الکتروشیمی. کمیت‌های اندازه‌گیری شده داخل پرانتزها عبارتند از: (I = جریان، E = پتانسیل، t = زمان) |
| ۷ | جدول ۲-۱ انواع پودرهای کربن مورد استفاده در تهیه خمیر کربن |
| ۸ | جدول ۳-۱ انواع نگه‌دارنده‌های مورد استفاده در تهیه خمیر کربن |
| ۱۲ | جدول ۴-۱ نانوذرات به کار رفته در اصلاح سطح الکترودها |
| ۲۴ | جدول ۵-۱ آزمون تشخیص سیستم‌های کاملاً برگشت‌پذیر |
| ۲۵ | جدول ۶-۱ آزمون‌های تشخیص برای سیستم‌های کاملاً برگشت‌ناپذیر |
| ۲۶ | جدول ۷-۱ آزمون‌های تشخیص برای سیستم‌های شبه برگشت‌پذیر |
| ۴۰ | جدول ۱-۲ نام مواد مورد استفاده |
| ۵۰ | جدول ۱-۳ بهینه‌سازی % نانوذرات |
| ۵۶ | جدول ۲-۳ بهینه‌سازی pH برای اکسایش کاتالیستی دوپامین با الکترودهای مختلف |
| ۵۷ | جدول ۳-۳ مقایسه‌ی اکسایش الکتروکاتالیزوری دوپامین در سطح الکترودهای مختلف |
| ۶۸ | جدول ۴-۳ نتایج تجزیه‌ی نمونه‌ی دارویی آمپول دوپامین را با استفاده از روش ولتامتری پالس تفاضلی |
| ۷۱ | جدول ۵-۳ بهینه‌سازی % نانوذرات |
| ۷۶ | جدول ۶-۳ بهینه‌سازی pH برای اکسایش کاتالیستی ایزوپروپونالین با الکترودهای مختلف |
| ۷۸ | جدول ۷-۳ مقایسه‌ی اکسایش الکتروکاتالیزوری ایزوپروپونالین در سطح الکترودهای مختلف |
| ۸۸ | جدول (۳-۸) تعیین ایزوپروپونالین در نمونه دارویی |

جدول ۳-۹ مقایسه جریان پیک آندی و پتانسیل اکسایش الکتروکاتالیزوری لوودوپا در
سطح الکترودهای مختلف

جدول ۳-۱۰ بهینه‌سازی pH مربوط به آنالیت

جدول ۳-۱۱ نتایج تجزیه‌ای دارویی قرص مادوپار با استفاده از روش ولتامتری پالس

تفاضلی

۱۰۴

فهرست زیرنویس شکل‌ها

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۱۴ | شکل ۱-۱ صفحات گرافنی در هم پیچیده شده و نانولوله‌های کربنی تشکیل شده |
| ۱۵ | شکل ۲-۱ نانولوله کربنی تک‌دیواره |
| ۱۶ | شکل ۳-۱ نانولوله کربنی چنددیواره |
| ۲۳ | شکل ۴-۱ پروفایل پتانسیل-زمان برای ولتامتری چرخه‌ای |
| ۲۳ | شکل ۵-۱ ولتاموگرام چرخه‌ای برای فرآیند برگشت پذیر $R \leftrightarrow e + O$ |
| ۲۷ | شکل ۶-۱ شکل موج پتانسیل-زمان برای ولتامتری موج مربعی |
| ۲۸ | شکل ۷-۱ ولتاموگرام موج مربعی |
| ۳۰ | شکل ۸-۱ ساختار شیمیایی دوپامین |
| ۳۳ | شکل ۹-۱ ساختار شیمیایی ایزوپروپونالین |
| ۳۵ | شکل ۱۰-۱ ساختار شیمیایی لوودوپا |
| ۴۰ | شکل ۱-۲ ساختار شیمیایی اصلاح‌گرهای مورد استفاده |
| | شکل ۱-۳ ولتاموگرام‌های چرخه‌ای PNHMWCNT-MCPE در محلول بافر ۰/۱ M |
| | فسفات با $pH = 7/0$ در سرعت روبش‌های پتانسیل مختلف ۱-۱۱ به ترتیب شامل سرعت روبش‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰، |
| ۵۲ | ۱۲۵۰، ۱۰۰۰ و 1500 mV s^{-1} را نشان می‌دهد. |
| | شکل ۲-۳ A تغییرات جریان آندی و کاتدی الکتروود PNHMWCNT-MCPE نسبت به |
| | سرعت روبش پتانسیل در محدوده‌ی ۵۰ تا 1500 mV s^{-1} B تغییرات پتانسیل |
| ۵۳ | آندی و کاتدی نسبت به لگاریتم روبش پتانسیل. |
| | شکل ۳-۳ ولتاموگرام‌های چرخه‌ای PNHMWCNT-MCPE به شماره‌های ۱-۱۰ به |
| | ترتیب مربوط به pHهای ۲ تا ۱۱ در سرعت روبش پتانسیل 100 mV s^{-1} |

۵۵

می‌باشد.

۵۵

شکل ۳-۴ نمودار تغییرات پتانسیل بر حسب pH را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۵ پاسخ‌های ولتامتری چرخه‌ای الکترودهای مختلف در محلول بافر

فسفات ۰/۱ M (pH = ۷/۰) در سرعت روبش 20 mV s^{-1} . پیک‌های (f,d) مربوط

به PNHMWCNT-MCPE در غیاب و حضور ۱/۰ mM دوپامین، پیک‌های

(b,c) مربوط به CPE در حضور ۱/۰ mM دوپامین در غیاب و حضور نانو لوله

کربن، پیک e مربوط به PNH-MCPE در حضور ۱/۰ mM دوپامین و پیک

۵۸

a مربوط به Bare-CPE در بافر فسفاتی را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۶ ولتاموگرام‌های چرخه‌ای PNHMWCNT-MCPE در محلول بافر ۰/۱ M

فسفات با pH = ۷/۰ حاوی ۰/۲ mM دوپامین در سرعت‌های روبش پتانسیل

مختلف ۱-۱۲ به ترتیب سرعت روبش‌های پتانسیل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰،

۴۰، ۵۰، ۶۰، ۸۰، ۹۰ و 100 mV s^{-1} را نشان می‌دهد. ضمیمه a نمودار جریان

کاتالیستی نسبت به جذر روبش پتانسیل، ضمیمه b نمودار تابع جریان نرمال

شده بر حسب سرعت روبش و ضمیمه c نمودار تافل به دست آمده از منحنی

۶۰

جریان پتانسیل ثبت شده در سرعت روبش 20 mV s^{-1} می‌باشد.

شکل ۳-۷ کرونوآمپروگرام‌های حاصل از اعمال پله پتانسیل در 250 mV به الکترو

PNHMWCNT-MCPE در محلول بافر ۰/۱ M فسفات با pH = ۷/۰ و

غلظت‌های مختلف از دوپامین. ۱-۶ به ترتیب نشان دهنده غلظت‌های ۰،

۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۰ mM می‌باشد. ضمیمه a نمودار I نسبت به $t^{1/2}$ از

کرونوآمپروگرام‌های مربوطه. ضمیمه b شیب خطوط به دست آمده بر حسب

۶۲

غلظت دوپامین

۶۳

شکل ۳-۸ نمودار I_c/I_L نسبت به $t^{1/2} / \text{s}^{1/2}$ مشتق شده از داده‌های کرونوآمپرومتری

شکل ۳-۹ ولتاموگرام‌های پالس تفاضلی در محلول بافر فسفات ۰/۱ M (pH = ۷/۰) در سطح PNHMWCNT-MCPE شامل غلظت‌های مختلف دوپامین. ولتاموگرام‌های ۱-۱۲ به ترتیب نشان دهنده غلظت‌های ۱/۰، ۵/۰، ۱۰/۰، ۲۰/۰، ۱۰۰/۰، ۲۰۰/۰، ۴۰۰/۰، ۶۰۰/۰، ۸۰۰/۰، ۱۰۰۰/۰، ۱۲۰۰/۰ و ۱۵۰۰/۰ μM دوپامین می‌باشد. ضمیمه a تغییرات جریان اندازه‌گیری شده بر حسب غلظت دوپامین در دامنه ۱/۰ تا ۱۵۰۰/۰ μM . ضمیمه b و c نشان دهنده دو محدوده خطی ۱/۰ تا ۲۰/۰ μM و ۲۰/۰ تا ۱۵۰۰/۰ μM با شیب‌های متفاوت از غلظت دوپامین می‌باشد.

۶۵

شکل ۳-۱۰ A ولتاموگرام‌های پالس تفاضلی در محلول بافر فسفات ۰/۱ M (pH = ۷/۰) در سطح الکتروود PNHMWCNT-MCPE در سرعت روبش 20 mV S^{-1} و در حضور غلظت‌های مختلف دوپامین، اوریک اسید و فولیک اسید ولتاموگرام‌های ۱ تا ۶ به ترتیب نشان دهنده غلظت‌های (۱۰۰/۰ + ۷۵/۰ + ۵۰/۰)، (۱۰۰۰/۰ + ۱۰۰/۰)، (۱۰۰۰/۰ + ۷۵۰/۰ + ۵۰۰/۰)، (۴۰۰/۰ + ۳۰۰/۰ + ۲۰۰/۰)، (۲۰۰/۰ + ۱۵۰/۰)، (۲۰۰۰/۰ + ۱۵۰۰/۰ + ۱۰۰۰/۰) μM و (۱۶۰۰/۰ + ۱۲۰۰/۰ + ۸۰۰/۰) دوپامین، اوریک اسید و فولیک اسید می‌باشد. ضمیمه a, b, c تغییرات جریان اندازه‌گیری شده بر حسب غلظت دوپامین، اوریک اسید و فولیک اسید را به ترتیب در دامنه‌ی غلظت‌های گفته شده را نشان می‌دهد.

۶۷

شکل ۳-۱۱ تصاویر SEM کربن نانو تیوب قبل از فعال سازی (a) و کربن نانو تیوب فعال شده (b)

۷۰

شکل ۳-۱۲ ولتاموگرام‌های چرخه‌ای PNHO/MWCNT-MCPE در محلول بافر ۰/۱ M فسفات با pH = ۸/۰ در سرعت روبش‌های پتانسیل مختلف ۱-۱۵ به ترتیب شامل سرعت روبش‌های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰،

۷۳ ۱۲۰۰، ۱۴۰۰، ۱۶۰۰ و 1800 mV s^{-1} را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۱۳ A تغییرات جریان آندی و کاتدی الکتروکود PNHO/MWCNT-MCPE نسبت به سرعت روبش پتانسیل در محدوده‌ی ۱۰ تا 1800 mV s^{-1} . B تغییرات

۷۴ پتانسیل آندی و کاتدی نسبت به لگاریتم روبش پتانسیل.

شکل ۳-۱۴ ولتاموگرام‌های چرخه‌ای PNHO/MWCNT-MCPE شماره‌های ۱-۱۱ به ترتیب مربوط به pH های ۲ تا ۱۲ در سرعت روبش پتانسیل 100 mV s^{-1}

۷۶ می‌باشد.

۷۶ شکل ۳-۱۵ نمودار تغییرات پتانسیل بر حسب pH را نشان می‌دهد

شکل ۳-۱۶ پاسخ‌های ولتامتری چرخه‌ای الکترودهای مختلف در محلول بافر فسفات

0.1 M (pH = ۸/۰) در سرعت روبش 15 mV s^{-1} . پیک‌های (f,d) مربوط به

PNHO/MWCNT-MCPE در غیاب و حضور 0.2 mM ایزوپروپونالین، پیک‌های

(b,c) مربوط به CPE در حضور 0.2 mM ایزوپروپونالین در غیاب و حضور نانو لوله

کربن، پیک e مربوط به PNH-MCPE در حضور 0.2 mM ایزوپروپونالین و پیک

۷۸ a مربوط به Bare-CPE در بافر فسفاتی را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۱۷ ولتاموگرام‌های چرخه‌ای PNHO/MWCNT-MCPE در محلول بافر 0.1 M

فسفات با pH = ۸/۰ حاوی 0.2 mM ایزوپروپونالین در سرعت‌های روبش پتانسیل

مختلف ۱-۱۳ به ترتیب سرعت روبش‌های پتانسیل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰،

۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و 100 mV s^{-1} را نشان می‌دهد. ضمیمه a نمودار

تغییرات جریان کاتالیستی نسبت به جذر روبش پتانسیل، ضمیمه b نمودار تابع

جریان کاتالیستی بر حسب سرعت روبش و ضمیمه c نمودار تافل به دست آمده

۸۰ از منحنی جریان پتانسیل ثبت شده در سرعت روبش 20 mVs^{-1} می‌باشد.

شکل ۳-۱۸ کروئوآمپروگرام‌های حاصل از اعمال پله پتانسیل در ۲۸۰ mV به الکتروده سطحی PNHO/MWCNT-MCPE در محلول بافر ۰/۱ M فسفات با pH = ۸/۰ و غلظت‌های مختلف از ایزوپروپونالین. ۷-۱ به ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱/۰ و ۱/۲ mM می‌باشد. ضمیمه a نمودار I بر حسب $t^{-1/2}$ از کروئوآمپروگرام‌های مربوطه. ضمیمه b شیب خطوط به دست آمده بر حسب

غلظت ایزوپروپونالین

۸۲

شکل ۳-۱۹ نمودار I_C/I_L نسبت به $t^{1/2} / s^{1/2}$ مشتق شده از داده‌های کروئوآمپرومتری

شکل ۳-۲۰ ولتاموگرام‌های پالس تفاضلی در محلول بافر فسفات ۰/۱ M (pH = ۸/۰) در سطح PNHO/MWCNT-MCPE شامل غلظت‌های مختلف ایزوپروپونالین. ولتاموگرام‌های ۱-۱۴ به ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های ۱/۰، ۲۰/۰، ۴۰/۰، ۶۰/۰، ۸۰/۰، ۱۰۰/۰، ۱۲۰۰/۰، ۱۴۰۰/۰، ۱۶۰۰/۰ و ۱۸۰۰/۰ μM ایزوپروپونالین می‌باشد. ضمیمه a تغییرات جریان اندازه‌گیری شده بر حسب غلظت ایزوپروپونالین در دامنه ۱/۰ تا ۱۸۰۰/۰ μM ، ضمیمه b و c نشان‌دهنده دو محدوده خطی غلظتی با شیب‌های متفاوت از غلظت ایزوپروپونالین می‌باشد.

۸۵

شکل ۳-۲۱ A ولتاموگرام‌های موج مربعی در محلول بافر فسفات ۰/۱ M (pH = ۸/۰) در سطح الکتروده PNHO/MWCNT-MCPE در سرعت روبش 6 mV S^{-1} و در حضور غلظت‌های مختلف ایزوپروپونالین و کاپتوپریل ولتاموگرام‌های ۱ تا ۱۰ به ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های (۸۰/۰ + ۱۷۷/۷)، (۲۰۰/۰ + ۴۴۴/۴)، (۴۰۰/۰ + ۸۸۸/۹)، (۶۰۰/۰ + ۱۳۳۳/۳)، (۸۰۰/۰ + ۱۷۷۸/۸)، (۱۰۰۰/۰ + ۲۲۲۲/۲)، (۱۲۰۰/۰ + ۲۶۶۶/۷)، (۱۴۰۰/۰ + ۳۱۱۱/۱)، (۱۶۰۰/۰ + ۳۵۵۵/۵) و μM (۱۸۰۰/۰ + ۴۰۰۰/۰) ایزوپروپونالین و کاپتوپریل می‌باشد. ضمیمه a و b تغییرات

جریان اندازه‌گیری شده برحسب غلظت ایزوپروپونالین و کاپتوپریل را به ترتیب در

۸۷ دامنه‌ی غلظت‌های گفته شده را نشان می‌دهد.

۸۹ شکل ۲۲-۳

شکل ۲۳-۳ a ولتاموگرام‌های چرخه‌ای الکتروود (DTDMWCNT-MCPE) در محلول

بافر فسفات ۰/۱ M (pH = ۷/۰) در سرعت روبش‌های پتانسیل مختلف ۱-۱۲ به

ترتیب شامل سرعت روبش‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰

۷۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و 1400 mV s^{-1} . ضمیمه b نمودار I_p کاتدی و

آندی برحسب v در سرعت روبش‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰

۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و 1400 mV s^{-1} است. ضمیمه c تغییرات

پتانسیل آندی نسبت به روبش پتانسیل ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و

۹۱ 1400 mVs^{-1}

شکل ۲۴-۳ a ولتاموگرام‌های pH‌های مختلف از ۲ تا ۱۱ در محلول بافر فسفات

۹۳ ۰/۱ M در سرعت روبش 100 mVs^{-1} . ضمیمه b شیب $E_{1/2}$ بر حسب pH

شکل ۲۵-۳ ولتاموگرام‌های چرخه‌ای الکتروودهای مختلف در محلول بافر فسفات

۰/۱ M (pH = ۷/۰) در سرعت روبش 15 mV s^{-1} . (a) الکتروود خمیرکربن در

محلول بافر (b) الکتروود خمیرکربن در حضور ۰/۱۵ mM لوودوپا (c) الکتروود

اصلاح شده با اصلاح‌گر در محلول بافر (d) DTD-CNTCPE در حضور

۰/۱۵ mM لوودوپا (e) الکتروود اصلاح شده با اصلاح‌گر در حضور ۰/۱۵ mM

لوودوپا (f) الکتروود DTDMWCNT-MCPE در حضور ۰/۱۵ mM لوودوپا

۹۴ می‌باشد

شکل ۲۶-۳ ولتاموگرام‌های چرخه‌ای الکتروود DTDMWCNT-MCPE در بافر ۰/۱ M

فسفات با (pH = ۷/۰) حاوی ۰/۲ mM لوودوپا در سرعت‌های روبش مختلف به

ترتیب از پایین به بالا ۱، ۴، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و 90 mV s^{-1} . ضمیمه a نمودار جریان کاتالیستی نسبت به جذر روبش پتانسیل، ضمیمه b نمودار جریان کاتالیستی بر حسب سرعت روبش، ضمیمه c نمودار تافل به دست آمده از منحنی جریان - پتانسیل ثبت شده در سرعت روبش های 20 mV s^{-1} می باشد

۹۷

شکل ۳-۲۷ A کروئوآمپروگرام های حاصل از اعمال پله پتانسیل در 260 mV به الکتروُد DTDMWCNT-MCPE با بافر 0.1 M فسفات با $(\text{pH} = 7.0)$ و غلظت های مختلف از لوودوپا، در کروئوآمپروگرام های ۶-۱ به ترتیب نشان دهنده غلظت های $0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 \text{ mM}$ می باشد. ضمیمه a منحنی I بر حسب $t^{-1/2}$ به دست آمده از کروئوآمپروگرام های ۶-۱. ضمیمه b منحنی شیب خط راست در مقابل غلظت های مختلف لوودوپا

۹۸

شکل ۳-۲۸ نمودار I_C/I_L نسبت به $t^{1/2} / s^{1/2}$ مشتق شده از داده های کروئوآمپرومتری شکل ۳-۲۹ A ولتاموگرام های پالس تفاضلی در محلول بافر فسفات 0.1 M ($\text{pH}=7$) در سطح الکتروُد DTD-MWCNTCPE در سرعت روبش 20 mV S^{-1} و در حضور غلظت های مختلف لوودوپا ولتاموگرام های ۱ تا ۱۸ به ترتیب نشان دهنده ی غلظت های $1.0, 5.0, 10.0, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0, 100.0, 200.0, 400.0, 600.0, 800.0, 1000.0, 1200.0, 1400.0, 1600.0, 1800.0 \mu\text{M}$ لوودوپا می باشد. ضمیمه A تغییرات جریان اندازه گیری شده بر حسب غلظت لوودوپا در دامنه ی غلظت های گفته شده را نشان می دهد. ضمیمه b و c نشان دهنده ی دو محدوده خطی با شیب های متفاوت از غلظت لوودوپا می باشد

۱۰۱

شکل ۳-۳ A ولتاموگرام‌های پالس تفاضلی در محلول بافر فسفات 0.1 M ($\text{pH} = 7.0$) در سطح الکتروود DTD-MWCNTCPE در سرعت روبش 20 mV S^{-1} و در حضور غلظت‌های مختلف لوودوپا، استامینوفن و تریپتوفان ولتاموگرام‌های ۱ تا ۷ به ترتیب نشان دهنده‌ی غلظت‌های $(300.0 + 300.0 + 400.0)$ ، $(500.0 + 500.0 + 666.6)$ ، $(700.0 + 700.0 + 933.3)$ ، $(900.0 + 900.0 + 1200.0)$ ، $(1100.0 + 1100.0 + 1466.6)$ ، $(1300.0 + 1300.0 + 1733.3)$ و $(1500.0 + 1500.0 + 2000.0)$ لوودوپا، استامینوفن و تریپتوفان می‌باشد. ضمیمه a, b و c تغییرات جریان اندازه‌گیری شده برحسب غلظت لوودوپا، استامینوفن و تریپتوفان را به ترتیب در دامنه‌ی غلظت‌های گفته شده را نشان