



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده شیمی

گرافن اصلاح شده: سنتز، شناسایی و کاربردهای آن در حسگرهای
الکتروشیمیایی، پایه الکتروکاتالیست‌های پیل سوختی متانولی مستقیم و پایه
الکتروکاتالیست‌های واکنش آزادسازی هیدروژن

رساله دکتری شیمی تجزیه

مهدی جعفری اصل

استاد راهنما

پروفسور علی اصغر انصافی

۱۳۹۳



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده شیمی

پایان نامه دکتری رشته شیمی تجزیه آقای مهدی جعفری اصل

تحت عنوان

گرافن اصلاح شده: سنتز، شناسایی و کاربردهای آن در حسگرهای الکتروشیمیایی، پایه الکتروکاتالیست‌های پیل سوختی متانولی مستقیم و، پایه الکتروکاتالیست‌های واکنش‌های آزادسازی هیدروژن

در تاریخ ۱۳۹۳/۶/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

پروفسور علی اصغر انصافی

۱-استاد راهنما

پروفسور بهزاد رضایی

۲-استاد مشاور

پروفسور محمد سراجی

۳-استاد داور

پروفسور سید حسن قاضی‌عسکر

۴-استاد داور

دکتر اسماعیل شمس سولاری

۵-استاد داور

دکتر علی‌رضا نجفی

سرپرست تحصیلات تکمیلی

تقدیر و شکر

سپاس و ستایش به درگاه آن یگانه بی‌همتا، اول الاولین و آخر الاخرین، رب العالمین که زیباست و خالق و محب زیبایی‌ها، خدایی که جهان و جهانیان را زیبا آفرید و انسان را سرودستی زیبا قرار داد. سپاس بیکران، او را که بهستیمان، شخید و به طریق علم و دانش را، بنمونان کرد و به بهمنشینی رهروان علم و دانش مفتخران نمود. او را را به خاطر همه آنچه به من ارزانی داشته عاجزان می‌تایم و سجده شکر بجای آورم.

به بهمانی این پژوهش بر خود لازم میدانم تا صمیمانه‌ترین تعابیر، تقدیر و سپاسم را به استوارترین تکیه‌گاهم "دستان پر مهر پدرم"، به سبزترین نگاه زندگیم "پشیمان سبز یادم" که هر چه آموختم در مکتب عشق ایشان آموختم و هر چه بگو شتم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانی‌شان را پاس توانم بگویم، همچنین از همسر م به پاس مست‌های بی‌درش و رمای امید بخش که در این سردترین روزگار، نابوری را تحفظ می‌کند، بنمایم.

مرم‌ترین و پر خلوص‌ترین سپاس و قدر دانی خود را از استاد ارجمندم پروفسور انصافی که جرعه نوش دریای بی‌کران علم و فزونی‌تکی ایشان بودم و نه تنها از لحاظ علمی بلکه در سبای بزرگ زندگی از ایشان آموختم مجال شکر و قدر دانی را داشته و امیدوارم، همواره لیاقت شادری ایشان را داشته باشم. همچنین از راهبانی‌ها و همکارهای صمیمانه استادشاور این رساله پروفسور رضایی بسیار متشکرم.

از اساتید داور محترم دفاعیه‌تیز، دکتر اسماعیل شمس سولاری، پروفسور سید حسن قاضی عمکر، پروفسور محمد سراجی که زحمت مطالعه این رساله را کشیده و در اصلاح آن کمک‌های فراوان نموده اند سپاسگزاری می‌کنم.

از کیه دوستانم در دانشگاه صنعتی اصفهان آقایان حسین مراتمد، حسین عیسی، مهدی مختاری، نوید زندگی، احمد رضائی و، اسماعیل یدری و کیه انی که به نوبی مرا مورد لطف و عنایت خود قرار دادند و ذکر نام آنها در این مجال نمی‌گنجد، نهایت سپاسگزاری را دارم.

مهدی بحری اصل

شهریور ۱۳۹۳

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان
است.

تقدیم به او که جهان در انتظار آمدنش نظاره برحطه‌هاست.

ماصل آموخته‌ایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مرا آسانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی ام است به همفران مهربان زندگیم:

همسر مهربانم

بهی که باواژه می‌نیب و مرور تلاش‌آشنایی دارد و مراد راه رسیدن به اهداف عالی یاری می‌رساند.

دترم الننا

که ددی شده ام رادر ره و مشیدا کردم.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	۱-۱- تعریف نانو فناوری
۳	۲-۱- فناوری نانو
۳	۳-۱- نانومواد
۳	۱-۳-۱- خواص نانومواد
۵	۲-۳-۱- دسته بندی نانومواد
۵	۴-۱- نانوذرات
۵	۱-۴-۱- رسوبدهی فاز بخار
۵	۲-۴-۱- رسوبدهی از فاز مایع
۶	۳-۴-۱- روشهای فاز جامد
۶	۵-۱- کاربردهای نانوذرات
۶	۶-۱- دو هیدروکسید لایه ای
۶	۱-۶-۱- تعریف دو هیدروکسید لایه ای
۷	۲-۶-۱- تاریخچه و ساختار پایه دو هیدروکسید لایه ای
۷	۳-۶-۱- تعویض آنیونی
۸	۴-۶-۱- روشهای تهیه دو هیدروکسید لایه ای
۸	۵-۶-۱- کاربردهای دو هیدروکسید لایه ای
۹	۷-۱- سیلیکون متخلخل
۹	۸-۱- ترکیبات مختلف کربن

- ۱-۸-۱-۱-۱ گرافن..... ۱۰
- ۱-۸-۱-۲-۱ تاریخچه‌ی کشف گرافن..... ۱۱
- ۱-۸-۱-۳-۱ روش های سنتز گرافن..... ۱۳
- ۱-۸-۱-۴-۱ خصوصیات گرافن..... ۱۴
- ۱-۸-۱-۵-۱ تعیین خصوصیات گرافن..... ۱۴
- ۱-۸-۱-۶-۱ کاربردهای گرافن..... ۱۴
- ۱-۹-۱-۹-۱ حسگرهای الکتروشیمیایی..... ۱۵
- ۱-۹-۱-۱-۱ اهمیت اندازه گیری گونه‌های زیستی..... ۱۵
- ۱-۹-۱-۲-۱ حسگرهای آب اکسیژنه و گلوکز..... ۱۶
- ۱-۹-۱-۳-۱ مطالعات اخیر در زمینه‌ی اندازه گیری گلوکز با استفاده از الکترودهای اصلاح شده..... ۱۷
- ۱-۹-۱-۴-۱ مطالعات اخیر در زمینه‌ی اندازه گیری آب اکسیژنه با استفاده از الکترودهای اصلاح شده..... ۱۷
- ۱۰-۱-۱-۱-۱ مقدمه‌ای بر پیل سوختی..... ۲۰
- ۱۰-۱-۱-۱-۱-۱ پیل سوختی چیست؟..... ۲۰
- ۱۰-۱-۱-۲-۱ انواع پیل‌های سوختی..... ۲۲
- ۱۰-۱-۱-۲-۱-۱ الف. پیل سوختی متانولی..... ۲۳
- ۱۰-۱-۱-۲-۱-۱-۱ ب. پیل سوختی قلیایی..... ۲۵
- ۱۰-۱-۱-۲-۱-۱-۱ ج. پیل سوختی پلیمری..... ۲۷
- ۱۱-۱-۱-۱-۱ مقدمه ای بر تولید گاز هیدروژن..... ۲۸
- ۱۲-۱-۱-۱-۱ تولید هیدروژن به صورت غیربهبسازی..... ۲۹
- ۱۲-۱-۱-۱-۱ هیدروژن از زیست مواد..... ۲۹
- ۱۲-۱-۲-۱-۱ هیدروژن از آب..... ۳۰

۳۰	۱-۱۲-۲-الف - شکافتگی ترموشیمیایی آب
۳۰	۱-۱۲-۲-ب - فوتوالکترولیز
۳۱	۱-۱۲-۲-ج - الکترولیز
۳۳	۱-۱۳ - اهداف این رساله
فصل دوم بخش تجربی	
۳۴	۲-۱ - دستگاه‌های مورد استفاده
۳۸	۲-۳ - سنتز گرافن اکسید
۳۹	۲-۴-۱ - حسگرهای الکتروشیمیایی
۳۹	۲-۴-۲-۱ - سنتز هیبرید کیتوسان-نانو لوله های کربنی یا کیتوسان-گرافیت و تثبیت نانوذرات مس
۳۹	۲-۴-۲-۲ - سنتز نانو ذرات کبالت اکسید روی بستر گرافن
۳۹	۲-۴-۲-۳ - استاندارد کردن آب اکسیژنه
۳۹	۲-۴-۲-۳-الف - طریقه ی استاندارد کردن پرمنگنات
۴۰	۲-۴-۲-۳-ب - تیتراژ کردن آب اکسیژنه با پرمنگنات
۴۰	۲-۴-۲-۴ - روش ثبت ولتاموگرام‌های چرخه‌ای با الکترودهای اصلاح شده در محلول‌های گلوکز یا آب اکسیژنه
۴۰	۲-۴-۲-۵ - ثبت هیدرودینامیک کرنوآمپروگرام‌ها با استفاده از الکترودهای اصلاح شده و اصلاح نشده
۴۰	۲-۴-۲-۶ - روش رسم منحنی تنظیم آباکسیژنه و گلوکز
۴۰	۲-۴-۲-۷ - روش بررسی مزاحمت سایر گونه‌ها در اندازه گیری گلوکز و آباکسیژنه
۴۱	۲-۴-۲-۹ - روش اندازه گیری گلوکز در نمونه‌ی پلاسمای خون و آب اکسیژنه در نمونه شیر
۴۱	۲-۵-۱ - پیل سوختی
۴۱	۲-۵-۱-۱ - عاملدار کردن گرافن اکسید
۴۱	۲-۵-۲ - تثبیت نانوذرات پلاتین روی گرافن اکسید و گرافن اکسید عاملدار

- ۴۲-۳-۵-۲-کاهش شیمیایی اکسید گرافن.....
- ۴۲-۴-۵-۲-تثیت نانوذرات Cu_2O روی سطح گرافن اکسید احیا شده و اکسید گرافن عاملدار احیا شده.....
- ۴۳-۵-۵-۲-جایگزینی خودبه خودی نانوذرات پالادیم با نانوذرات مس (I).....
- ۴۳-۶-۵-۲-تعیین مقدار پالادیم جایگزین شده با نانوذرات مس اکسید.....
- ۴۳-۷-۵-۲- سنتز نانوذرات Pt, Pd و Pt-Pd بر روی پودر سیلیکون متخلخل:.....
- ۴۴-۸-۵-۲- فرایند رسوب الکتروشیمیایی گرافن اکسید روی سطح الکتروود کار.....
- ۴۴-۹-۵-۲- روش ثبت ولتاموگرام های چرخه ای با الکترودهای اصلاح شده در محلول های متانول و فرمیک اسید.....
- ۴۴-۱۰-۵-۲- مطالعات طیف سنجی مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی براکسایش الکتروشیمیایی متانول.....
- ۴۴-۱۱-۵-۲- روش ثبت ولتاموگرام های چرخه ای به منظور تعیین سطح ویژه پلاتین و پالادیم.....
- ۴۵-۱۲-۵-۲- روش ثبت ولتاموگرام های چرخه ای به منظور تعیین پایداری الکتروکاتالیست.....
- ۴۵-۶-۲- واکنش آزادسازی هیدروژن.....
- ۴۵-۱-۶-۲- سنتز نانوذرات Pt, Pt-Rh, Pt-Pd و Pt-Ru بر روی پودر سیلیکون متخلخل.....
- ۴۵-۲-۶-۲- سنتز روتیم اکسید روی سطح گرافن اکسید.....
- ۴۵-۳-۶-۲- سنتز هیبرید دو هیدروکسید لایه ای گرافن.....
- ۴۶-۴-۶-۲- سنتز هیبرید دو هیدروکسید لایه ای - نانوکامپوزیت روتیم اکسید/ گرافن اکسید.....
- ۴۶-۵-۶-۲- بررسی واکنش آزادسازی هیدروژن.....
- ۴۶-۶-۶-۲- بررسی پایداری الکتروکاتالیست در محیط اسیدی.....
- ۴۶-۷-۶-۲- مطالعات مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی انجام شده برای واکنش آزادسازی هیدروژن.....

فصل سوم نتایج و بحث

- ۴۷-۱-۳-سنتز گرافن اکسید.....
- ۴۷-۱-۱-۳-آنالیز و بررسی گرافن اکسید.....

- ۳-۱-۱-الف. بررسی آنالیز عنصری گرافن اکسید ۴۷
- ۳-۱-۱-ب. بررسی آنالیز تفرق انرژی اشعه ایکس ۴۸
- ۳-۱-۱-ج. بررسی آنالیز طیف سنجی مادون قرمز و رامان ۴۸
- ۳-۱-۱-د. بررسی ریخت‌شناسی ۴۹
- ۳-۲-حسگرهای الکتروشیمیایی ۵۰
- ۳-۲-۱- سنتز نانوذرات مس تثبیت شده روی بستر گرافیت/کیتوسان اصلاح‌شده یا نانولوله کربنی/کیتوسان اصلاح‌شده به منظور اندازه‌گیری الکتروشیمیایی گلوکز و آباکسیژنه ۵۰
- ۳-۲-۲-آنالیز و بررسی نانو هیبریدهای Cu@M-Chit-G و Cu@M-Chit-CNT ۵۱
- ۳-۲-۲-الف. بررسی آنالیز عنصری بسترهای هیبریدی ۵۲
- ۳-۲-۲-ب. بررسی نتایج آنالیز BET بسترهای هیبریدی و نانو هیبریدهای Cu@M-Chit-G و Cu@M-Chit-CNT ۵۲
- ۳-۲-۲-ج. آنالیز طیف سنجی فتوالکترون پرتو ایکس ۵۳
- ۳-۲-۲-د. تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی عبوری ۵۴
- ۳-۲-۳-بررسی رفتار الکتروشیمیایی نانو هیبریدهای Cu@M-Chit-G و Cu@M-Chit-CNT ۵۵
- ۳-۲-۳-الف. بررسی اثر pH بر رفتار الکتروود اصلاح شده ۵۶
- ۳-۲-۳-ب. بررسی اثر سرعت پیمایش پتانسیل ۵۸
- ۳-۲-۳-۴-بررسی اثر الکتروکاتالیستی الکتروود اصلاح شده بر واکنش اکسایش گلوکز و احیای آب اکسیژنه ۵۹
- ۳-۲-۴-الف. بهینه‌سازی pH برای اندازه‌گیری گلوکز و آب اکسیژنه ۶۱
- ۳-۲-۴-ب. بهینه‌سازی پتانسیل اعمالی به روش آمپرومتری برای اندازه‌گیری گلوکز و آب اکسیژنه ۶۲
- ۳-۲-۴-ج. بهینه‌سازی نوع بستر به برای تثبیت نانوذرات مس برای اندازه‌گیری گلوکز و آب اکسیژنه ۶۲
- ۳-۲-۵-رسم منحنی تنظیم آب اکسیژنه و گلوکز ۶۴
- ۳-۲-۶-بررسی اثر مزاحمت سایر گونه‌ها در اندازه‌گیری آب اکسیژنه و گلوکز ۶۷
- ۳-۲-۷-بررسی تکرارپذیری و حد تشخیص الکتروود اصلاح شده در اندازه‌گیری آب اکسیژنه و گلوکز ۶۹

- ۷۰ ۸-۲-۳ کاربرد تجزیه‌ای الکتروود اصلاح شده در بافت‌های پیچیده‌تر
- ۷۱ ۹-۲-۳ نتیجه‌گیری
- ۷۲ ۱۰-۲-۳ سنتز نانو کامپوزیت کبالت اکسید تثبیت شده روی گرافن اکسید
- ۷۲ ۱۱-۲-۳ آنالیز و بررسی نانو کامپوزیت $\text{Co}_3\text{O}_4@\text{EGO}$
- ۷۳ ۱۱-۲-۳ الف. آنالیز طیف XRD نانو کامپوزیت $\text{Co}_3\text{O}_4@\text{EGO}$
- ۷۳ ۱۱-۲-۳ ب. آنالیز طیف FT-IR نانو کامپوزیت $\text{Co}_3\text{O}_4@\text{EGO}$
- ۷۵ ۱۱-۲-۳ ج. آنالیز تصویر SEM نانو کامپوزیت $\text{Co}_3\text{O}_4@\text{EGO}$
- ۷۵ ۱۲-۲-۳ مطالعات اولیه‌ی الکتروشیمیایی نانو کامپوزیت $\text{Co}_3\text{O}_4@\text{EGO}$
- ۷۷ ۱۲-۲-۳ الف. بررسی اثر pH بر رفتار الکتروود اصلاح شده
- ۷۸ ۱۱-۲-۳ ب. بررسی اثر سرعت پیمایش پتانسیل بر رفتار الکتروود اصلاح شده
- ۷۹ ۱۲-۲-۳ بررسی اثر الکتروکاتالیستی الکتروود اصلاح شده در واکنش اکسایش آب اکسیژنه
- ۸۰ ۱۳-۲-۳ مطالعات سنتیکی
- ۸۱ ۱۴-۲-۳ بهینه‌سازی شرایط برای اندازه‌گیری آب اکسیژنه به روش آمپرومتری
- ۸۲ ۱۵-۲-۳ مشخصات تجزیه‌ای سیستم بهینه شده برای اندازه‌گیری آب اکسیژنه
- ۸۴ ۱۶-۲-۳ پایداری و تکرارپذیری حسگر آب اکسیژنه
- ۸۵ ۱۷-۲-۳ بررسی اثر مزاحمت‌ها
- ۸۶ ۱۸-۲-۳ نتیجه‌گیری
- ۸۶ ۳-۳ پیل سوختی
- ۸۷ ۱-۳-۳ سنتز و شناسایی گرافن اکسید عامل‌دار
- ۸۷ ۱-۳-۳ الف. بررسی آنالیز طیف‌سنجی فتوالکترون پرتو ایکس و طیف FT-IR گرافن اکسید عامل‌دار
- ۸۹ ۱-۳-۳ ب. بررسی الکتروشیمیایی گرافن اکسید عامل‌دار

- ۳-۳-۲- سنتز و شناسایی نانوذرات پلاتین تثبیت شده روی گرافن اکسید و گرافن اکسید عاملدار ۹۰
- ۳-۳-۲- الف. بررسی پراش پرتو ایکس نانوذرات پلاتین تثبیت شده روی گرافن اکسید و گرافن اکسید عاملدار ۹۰
- ۳-۳-۲- ب. ریخت شناسی و توزیع حجم نانوذرات پلاتین تثبیت شده روی گرافن اکسید و گرافن اکسید عاملدار ۹۲
- ۳-۳-۲- ج. بررسی الکتروشیمیایی نانوذرات پلاتین تثبیت شده روی گرافن اکسید و گرافن اکسید عاملدار ۹۳
- ۳-۳-۳- مساحت فعال الکتروشیمیایی نانوکاتالیست پلاتین ۹۴
- ۳-۳-۴- اکسایش الکتروشیمیایی متانول ۹۵
- ۳-۳-۵- بررسی پایداری نانوکاتالیست های Pt@rGO و Pt@S-C₆H₄-rGO ۹۶
- ۳-۳-۶- مطالعات طیف سنجی مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی انجام شده در اکسایش متانول ۹۸
- ۳-۳-۷- کاهش الکتروکاتالیستی اکسیژن بر روی نانوکاتالیست های پلاتین ۹۹
- ۳-۳-۸- اکسایش الکتروشیمیایی فرمیک اسید ۱۰۰
- ۳-۳-۹- سنتز و شناسایی نانوذرات مس (I) تثبیت شده روی گرافن اکسید و گرافن اکسید عاملدار ۱۰۱
- ۳-۳-۱۰- تجزیه و تحلیل ساختار و ریخت شناسی ۱۰۱
- ۳-۳-۱۰- الف. آنالیز پراش پرتو ایکس ۱۰۱
- ۳-۳-۱۱- ساخت نانوکاتالیست تک لایه به روش الکتروشیمیایی ۱۰۳
- ۳-۳-۱۲- تعیین سطح فعال الکتروشیمیایی نانوکاتالیست های PdCu₂O ۱۰۶
- ۳-۳-۱۳- اکسایش الکتروکاتالیستی فرمیک اسید ۱۰۷
- ۳-۳-۱۴- بررسی پایداری نانوکاتالیست های PdCu₂O@rGO و PdCu₂O@SC₆H₄-rGO ۱۰۹
- ۳-۳-۱۵- نتیجه گیری ۱۰۹
- ۳-۳-۱۶- اکسایش الکتروشیمیایی متانول با استفاده از نانو ساختارهای سیلیکونی ۱۱۰
- ۳-۳-۱۷- سنتز نانوذرات Pt، Pd و Pt-Pd بر روی پودر سیلیکون متخلخل: ۱۱۱
- ۳-۳-۱۸- شناسایی نانوذرات Pt، Pd و Pt-Pd تثبیت شده روی پودر سیلیکون متخلخل: ۱۱۳

- ۱۱۳-۱۸-۳-۳ الف. آنالیز تفرق انرژی پرتو ایکس نانو ساختارهای سیلیکونی.....
- ۱۱۴-۱۸-۳-۳ ب. آنالیز پراش پرتو ایکس نانو ساختارهای سیلیکونی.....
- ۱۱۴-۱۸-۳-۳ ج. تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی عبوری نانو ساختارهای سیلیکونی.....
- ۱۱۵-۱۸-۳-۳ د. آنالیز طیف سنجی فتوالکترون پرتو ایکس نانو ساختارهای سیلیکونی.....
- ۱۱۵-۱۹-۳-۳ احیا الکتروشیمیایی گرافن اکسید روی الکتروود صفحه‌ای چایی کربن و بررسی ویژگی‌های آن.....
- ۱۱۹-۲۰-۳-۳ خصوصیات الکتروشیمیایی نانو ساختارهای Pt-Pd@PSiF, Pt@PSiF, Pd@PSiF.....
- ۱۲۰-۲۰-۳-۳ تعیین سطح فعال الکتروشیمیایی نانو ساختارهای سیلیکونی.....
- ۱۲۱-۲۱-۳-۳ اکسایش الکتروشیمیایی متانول.....
- ۱۲۲-۲۳-۳-۳ بررسی پایداری نانو ساختارهای سیلیکونی در فرایند الکترواکسایش متانول.....
- ۱۲۳-۲۴-۳-۳ مطالعات طیف سنجی مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی.....
- ۱۲۵-۲۵-۳-۳ نتیجه گیری.....
- ۱۲۶-۴-۳ واکنش آزاد سازی هیدروژن.....
- ۱۲۷-۱-۴-۳ سنتز و شناسایی نانو ساختارهای Pt, Pt-Pd, Pt-Rh و Pt-Ru روی پودر سیلیکون متخلخل.....
- ۱۲۷-۱-۴-۳ الف. آنالیز تفرق انرژی پرتو ایکس نانو ساختارهای سیلیکونی.....
- ۱۲۹-۱-۴-۳ ب. آنالیز پراش پرتو ایکس نانو ساختارهای سیلیکونی.....
- ۱۲۹-۱-۴-۳ ج. آنالیز تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی عبوری نانو ساختارهای سیلیکونی.....
- ۱۳۰-۲-۴-۳ رسوب الکتروشیمیایی گرافن اکسید روی الکتروود کربن شیشه‌ای و ویژگی‌های آن.....
- ۱۳۲-۳-۴-۳ خصوصیات الکتروشیمیایی نانو ساختارهای سیلیکونی.....
- ۱۳۲-۴-۴-۳ فعالیت الکتروکاتالیستی نانو ساختارهای سیلیکونی در واکنش آزاد سازی هیدروژن.....
- ۱۳۴-۵-۴-۳ ضربه ناهمواری سطح.....
- ۱۳۶-۶-۴-۳ مطالعات سینتیکی.....

- ۱۳۹-۷-۴-۳ بررسی مکانیسم واکنش آزاد سازی هیدروژن روی نانو ساختارهای سیلیکونی
- ۱۴۱-۸-۴-۳ مطالعات طیف سنجی مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی انجام شده در واکنش آزاد سازی هیدروژن
- ۱۴۲-۹-۴-۳ بررسی پایداری الکتروود اصلاح شده با Pt-Pd@PSiF، Pt@PSiF
- ۱۴۳-۱۰-۴-۳ واکنش آزاد سازی هیدروژن روی هیبرید Ni/Al@RuO₂-EGO LDH و RuO₂-EGO
- ۱۴۳-۱۱-۴-۳ شناسایی نانو هیبرید Ni/Al@RuO₂-EGO LDH و نانو کامپوزیت RuO₂-EGO
- ۱۴۴-۱۱-۴-۳ الف. آنالیز طیف سنجی مادون قرمز
- ۱۴۵-۱۱-۴-۳ ب. آنالیز پراش پرتو ایکس
- ۱۴۶-۱۱-۴-۳ ج. تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی عبوری
- ۱۴۷-۱۱-۴-۳ د. تخمین سطح ویژه
- ۱۴۸-۱۲-۴-۳ خصوصیات الکتروشیمیایی RuO₂-EGO و Ni/Al@RuO₂-EGO-LDH
- ۱۴۹-۱۳-۴-۳ بررسی واکنش آزاد سازی هیدروژن بر روی الکترودهای اصلاح شده با Ni/Al@rGO-LDH
- ۱۴۴-۴-۳ بررسی واکنش آزاد سازی هیدروژن نانو کامپوزیت RuO₂-EGO و نانو هیبرید Ni/Al@ RuO₂-EGO
- ۱۴۹ LDH
- ۱۵۲-۱۵-۴-۳ بررسی تغییر سرعت پیمایش پتانسیل روی واکنش آزاد سازی هیدروژن الکترودهای اصلاح شده با نانو هیبرید
- ۱۶-۴-۳ بررسی سینتیک و مکانیسم آزاد سازی هیدروژن روی الکتروود اصلاح شده با نانو کامپوزیت RuO₂-EGO و نانو هیبرید Ni/Al@ RuO₂-EGO LDH
- ۱۵۳-۱۷-۴-۳ مطالعات طیف سنجی مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی انجام شده برای واکنش آزاد سازی هیدروژن الکترو اصلاح شده RuO₂-EGO و هیبرید Ni/Al@ RuO₂-EGO LDH
- ۱۵۷-۱۸-۴-۳ بررسی پایداری RuO₂-EGO و هیبرید Ni/Al@RuO₂-EGOLDH برای واکنش آزاد سازی هیدروژن
- ۱۵۸-۱۹-۴-۳ نتیجه گیری

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: ساختار پایه دوهیدروکسید لایه‌ای.....	۷
شکل ۲-۱: برش دادن دیواره‌ی نانولوله‌های کربنی در راستای طول نانولوله.....	۱۰
شکل ۳-۱: ساختار اتمی صفحه گرافن.....	۱۲
شکل ۴-۱: الف) سوسپانسیون ساخته شده به وسیله ی برودی و ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از تکه‌ی خیلی نازکی از گرافن اکسید کاهش یافته در سال ۱۹۶۲.....	۱۲
شکل ۵-۱: پیل سوختی متانولی.....	۲۵
شکل ۶-۱: پیل سوختی قلبایی.....	۲۶
شکل ۷-۱: پیل سوختی پلیمری.....	۲۸
شکل ۸-۱: پردازش سوخت از سوخت‌های گازی، جامد و مایع برای تولید هیدروژن.....	۲۹
شکل ۹-۱: دیاگرام انرژی برای پیل‌های فوتوالکتریکی نیمه‌هادی نوع-n.....	۳۱
۱-۳: (A) طیف FT-IR و (B) طیف رامان گرافن اکسید.....	۴۹
شکل ۲-۳: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (A) گرافیت اکسید و (B) گرافن اکسید.....	۴۹
شکل ۳-۳: تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری گرافن اکسید.....	۵۰
شکل ۴-۳: شماتیک سنتز هیبرید نانولوله کربنی چند دیواره با کیتوسان اصلاح شده و تثبیت نانوذرات مس.....	۵۱
شکل ۵-۳: طیف XPS Cu(2p) مربوط به نانوهیبریدهای: (A) Cu@Chit-CNT، (B) Cu@N-Chit-CNT، (C) Cu@S-Chit-CNT.....	۵۴
شکل ۶-۳: تصاویر TEM مربوط به نانوهیبریدهای: (A) Cu@Chit-CNT، (B) Cu@N-Chit-CNT، (C) Cu@S-Chit-CNT.....	۵۴
شکل ۷-۳: (A) ولتاموگرام‌های چرخه‌ای (a) Cu@Chit-G، (b) Cu@N-Chit-G و (c) Cu@S-Chit-G، (B) ولتاموگرام‌های چرخه‌ای (a) Cu@N-Chit-G و (b) Cu@N-Chit-CNT در محلول فسفات با pH=۵/۰ (C) منحنی	

- شکل ۳-۸: ولتاموگرام‌های چرخه‌ای Cu@N-Chit-G بر حسب pH در محدوده ۰/۲-۱۰/۰. ۵۷
- شکل ۳-۹: تغییرات پتانسیل پیک بر حسب pH محدود ۱۰/۰-۵/۰. ۵۸
- شکل ۳-۱۰: (A) ولتاموگرام‌های چرخه‌ای Cu@N-Chit-G در بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH=۵/۰ در سرعت‌های پیمایش پتانسیل ۳۰، ۲۰، ۱۰، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۱۷۵، ۲۰۰ میلی‌ولت بر ثانیه. (B) منحنی تغییرات جریان اکسایش/کاهش Cu@N-Chit-G بر حسب جذر سرعت پیمایش. ۵۹
- شکل ۳-۱۱: (A) ولتاموگرام‌های چرخه‌ای Cu@Chit-CNT در محلول ۰/۰۵ مولار سود (a) ۰/۲۰ میلی‌مولار (b) ۰/۴ میلی‌مولار (c) گلوکز (B) ولتاموگرام‌های چرخه‌ای Cu@N-Chit-CNT در محلول ۰/۱۰ مولار فسفات با pH=۷/۰ (a) ۰/۵ میلی‌مولار (b) ۱/۰ میلی‌مولار (c) آب اکسیژنه با سرعت پیمایش ۵۰ میلی‌ولت بر ثانیه (C) هیدرودینامیک کرونوآمپروگرام در محلول ۰/۰۵ مولار سود در محدوده غلظتی ۴۰/۰ تا ۴۰۰/۰ میکرومولار گلوکز روی الکترودهای اصلاح نشده (a) اصلاح شده با CNT Chit- (b) و اصلاح شده با Cu@Chit-CNT (D) هیدرودینامیک کرونوآمپروگرام در محلول ۰/۱۰ مولار فسفات در pH=۷/۰ در محدوده غلظتی ۰/۱۰ تا ۱/۰ میلی‌مولار آب اکسیژنه روی الکترودهای اصلاح نشده (a) اصلاح شده با N-Chit-CNT (b) و اصلاح شده با Cu@N-Chit-CNT (c). ۶۰
- شکل ۳-۱۲: (A) بررسی اثر pH بر احیای آب اکسیژنه (نسبت جریان احیا و ولتامتری چرخه‌ای در حضور و عدم حضور آب اکسیژنه) (B) بررسی اثر غلظت سدیم هیدروکسید بر اکسایش گلوکز (میانگین ۱۰ تزریق ۴۰/۰ میکرومولار). ۶۱
- شکل ۳-۱۳: (A) هیدرودینامیک کرونوآمپر محلول ۰/۱۰ مولار فسفات در pH=۷/۰ در محدوده غلظتی ۰/۱۰ تا ۱/۰ میلی‌مولار آب اکسیژنه (B) هیدرودینامیک کرونوآمپر و گرام در محلول ۰/۰۵ مولار سود در محدوده غلظتی ۴۰/۰ تا ۴۰۰/۰ میکرومولار گلوکز روی الکترودهای اصلاح شده با نانوهیبریدهای (a) Cu@Chit-CNT (b) Cu@N-Chit- (c) CNT (c) Cu@S-Chit-CNT (d) Cu@Chit-G (e) Cu@N-Chit-G (f) Cu@S-Chit-G. ۶۳
- شکل ۳-۱۴: (A) هیدرودینامیک کرونوآمپر و گرام گلوکز روی Cu@N-Chit-CNT/GCE در شرایط بهینه و در محدوده غلظتی ۰/۱ تا ۱۰۰۰/۰ میکرومولار. (B) هیدرودینامیک کرونوآمپر و گرام آب اکسیژنه روی Cu@Chit- CNT/GCE در شرایط بهینه و در محدوده غلظتی ۰/۵ تا ۱۰۰۰ میکرومولار. (C) منحنی تنظیم گلوکز به روش هیدرودینامیک آمپرومتری در ناحیه‌ی غلظتی ۰/۱ تا ۱۰۰۰/۰ میکرومولار. (D) منحنی تنظیم آب اکسیژنه به روش هیدرودینامیک آمپرومتری در ناحیه‌ی غلظتی ۰/۵ تا ۱۰۰۰/۰ میکرومولار در شرایط بهینه. ۶۴
- شکل ۳-۱۵: (A) هیدرودینامیک کرونوآمپر و گرام ۵۰/۰ میکرومولار آب اکسیژنه روی Cu@N-Chit-CNT/GCE در شرایط بهینه و مزاحمت گونه‌های گلوکز، اوریک اسید، آسکوربیک اسید و دوپامین با غلظت ۵۰/۰، ۱۰۰/۰، ۱۵۰/۰، ۲۰۰/۰، ۲۵۰/۰ میکرومولار. (B) هیدرودینامیک کرونوآمپر و گرام ۰/۵۰ میلی‌مولار گلوکز روی Cu@Chit-

- ۶۹ CNT/GCE در شرایط بهینه و اثر مزاحمت گونه‌های اوریک اسید، آسکوربیک اسید و دوپامین با غلظت ۰/۳۰، ۰/۶۰ و ۰/۹۰ میلی‌مولار.....
- ۷۴ شکل ۳-۱۶: الگوی XRD مربوط به نانو کامپوزیت $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO}$
- ۷۴ شکل ۳-۱۷: طیف FT-IR مربوط به نانو کامپوزیت $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO}$
- ۷۵ شکل ۳-۱۸: تصاویر SEM مربوط به (A) گرافن اکسید (B) کبات اکسید تثبیت شده روی بستر گرافن اکسید.....
- ۷۶ شکل ۳-۱۹: (A) ولتاموگرام‌های چرخه‌ای (B) مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی الکتروود اصلاح نشده (a)، اصلاح شده با نافیون (b)، اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO}$ (c) و اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO}$ و نافیون (d) در ردياب آهن ۵/۰ میلی‌مولار و الکتروولت حامل ۰/۱۰ مولار پتاسیم نترات.....
- ۷۷ شکل ۳-۲۰: ولتاموگرام چرخه‌ای الکتروود کربن شیشه اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO} / \text{Nafion}$ در محلول ۰/۱ مولار فسفات ۱۲/۰ $\text{pH} =$
- ۷۷ شکل ۳-۲۱: ولتاموگرام‌های چرخه‌ای الکتروود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO} / \text{Nafion}$ در محدوده pH های ۴/۰ تا ۱۲/۰ در محلول فسفات (داخل شکل) تغییرات پتانسیل پیک اکسایش-کاهش کبات اکسید بر حسب pH
- ۷۸ شکل ۳-۲۲: ولتاموگرام‌های چرخه‌ای الکتروود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO} / \text{Nafion}$ در محلول ۰/۱ مولار محلول فسفات در $\text{pH} = ۱۲/۰$ در محدوده‌ی سرعت‌های پیمایش ۱۰ تا ۱۵۰ میلی‌ولت بر ثانیه و (داخل شکل) تغییرات جریان پیک اکسایش و کاهش اکسید کبات تا ۱۵۰ میلی‌ولت بر حسب سرعت پیمایش.....
- ۷۹ شکل ۳-۲۳: ولتاموگرام چرخه‌ای الکتروودهای اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO} / \text{Nafion}$ (a و b) الکتروودهای کربن شیشه اصلاح نشده (c و d) در بافر فسفات با $\text{pH} = ۷/۰$ در عدم حضور آب اکسیژنه (a و c) و حضور محلول ۱/۰ میلی‌مولار آب اکسیژنه (b و d).....
- ۸۰ شکل ۳-۲۴: هیدرودینامیک ولتاموگرام پیمایش خطی محلول ۰/۱۰ میلی‌مولار آب اکسیژنه روی سطح الکتروود اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO} / \text{Nafion}$ در سرعت‌های چرخش در محدوده ۰-۲۵۰۰ دور بر دقیقه. داخل شکل (A) نمودار کونجی-لویج و داخل شکل (B) نمودار لویج.....
- ۸۱ شکل ۳-۲۵: تغییرات حساسیت اندازه‌گیری آب اکسیژنه روی الکتروود اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO} / \text{Nafion}$ با pH محلول در محدوده ۴/۰ الی ۱۲/۰.....
- ۸۲ شکل ۳-۲۶: (A، B) پاسخ جریان-زمان مشاهده شده روی الکتروود اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4@ \text{EGO} / \text{Nafion-GCE}$ در محلول ۰/۱ مولار بافر فسفات در شرایط بهینه ($\text{pH} = ۷/۰$ و $E_{\text{app}} = +۰/۷۶\text{V}$) با افزایش متوالی غلظت‌های آب اکسیژنه داخل نمودار (A) منحنی تنظیم آب اکسیژنه به روش آمپرومتری در ناحیه‌ی غلظتی ۲۰/۰ تا ۵۰۰۰/۰ میکرومولا و داخل شکل (B) منحنی تنظیم آب اکسیژنه به روش آمپرومتری در ناحیه‌ی غلظتی ۱/۰ تا ۱۰۰/۰ میکرومولار در شرایط بهینه.....

شکل ۳-۲۷: (A) پاسخ جریان- زمان (محلول ۱۰۰/۰ میکرومولار آب اکسیژنه) به مدت ۱ ساعت روی سطح الکترواد اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4 @ \text{EGO}/ \text{Nafion}$ (B) (a) هیدرودینامیک آمپروگرام ۱۰ تزریق پی در پی ۲۰/۰ میکرومولار آب اکسیژنه (b) هیدرودینامیک آمپروگرام ۱۰ تزریق ۲۰/۰ میکرومولار آب اکسیژنه بعد از ۲ هفته روی الکترواد اصلاح شده با $\text{Co}_3\text{O}_4 / \text{EGO}/ \text{Nafion}$ در محلول ۰/۱ مولار بافر فسفات در شرایط بهینه ($\text{pH}=7/0$ و $E_{\text{app}}=+0/76\text{V}$)..... ۸۴

شکل ۳-۲۸: (A) نتایج مربوط به طیف های XPS ۴-آمینو تیوفنول/گرافن اکسید، (B) طیف XPS مربوط به عنصر گوگرد (2p) و (C) طیف XPS مربوط به عنصر نیتروژن (1s)..... ۸۸

شکل ۳-۲۹: طیف های FT-IR مربوط به (a) گرافن اکسید و (b) ۴-آمینو تیوفنول/گرافن اکسید..... ۸۹

شکل ۳-۳۰: ولتاموگرام های چرخه ای (a) ۴-آمینو تیوفنول/گرافن اکسید و (b) گرافن اکسید تثبیت شده روی الکترواد کربن شیشه در حضور ردیاب آهن (۵/۰ میلی مولار) در محلول ۰/۱ مولار پتاسیم نترات..... ۹۰

شکل ۳-۳۱: شماتیک عامل دار کردن گرافن اکسید و تثبیت نانوذرات پلاتین..... ۹۱

شکل ۳-۳۲: الگوهای پراش پرتو ایکس مربوط به (a) $\text{Pt}@ \text{rGO}$ و (b) $\text{Pt}@ \text{S-C}_6\text{H}_4\text{-rGO}$ ۹۱

شکل ۳-۳۳: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (A) $\text{Pt}@ \text{S-C}_6\text{H}_4\text{-rGO}$ ، (B) $\text{Pt}@ \text{rGO}$ و نتایج حاصل از میکروسکوپ نیروی اتمی (C) $\text{Pt}@ \text{S-C}_6\text{H}_4\text{-rGO}$ و (D) $\text{Pt}@ \text{rGO}$ ۹۲

شکل ۳-۳۴: (A) ولتاموگرام چرخه ای و (B) مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی (a) $\text{Pt}@ \text{S-C}_6\text{H}_4\text{-rGO}$ و (b) $\text{Pt}@ \text{rGO}$ تثبیت شده بر روی الکترواد کربن شیشه در حضور ردیاب $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ در محلول ۰/۱ مولار پتاسیم نترات..... ۹۳

شکل ۳-۳۵: ولتاموگرام چرخه ای (a) $\text{Pt}@ \text{S-C}_6\text{H}_4\text{-rGO}$ و (b) $\text{Pt}@ \text{rGO}$ ، تثبیت شده بر روی الکترواد کربن شیشه در محلول ۰/۵۰ مولار سولفوریک اسید با سرعت پیمایش ۲۵ میلی ولت بر ثانیه..... ۹۴

شکل ۳-۳۶: ولتاموگرام چرخه ای (a) $\text{Pt}@ \text{rGO}$ و (b) $\text{Pt}@ \text{S-C}_6\text{H}_4\text{-rGO}$ ، تثبیت شده بر روی الکترواد کربن شیشه (A) در محلول ۰/۵ مولار سولفوریک اسید (B) و در محلول ۰/۵ مولار سولفوریک اسید حاوی متانول یک مولار..... ۹۶

شکل ۳-۳۷: ولتاموگرام های چرخه ای پی در پی مربوط به پایداری نانوکاتالیست (A) $\text{Pt}@ \text{rGO}$ و (B) $\text{Pt}@ \text{S-C}_6\text{H}_4\text{-rGO}$ تثبیت شده روی سطح کربن شیشه در محلول ۰/۵ مولار سولفوریک اسید حاوی ۱/۰ مولار متانول با سرعت پیمایش پتانسیل ۵۰ میلی ولت بر ثانیه پیمایش های شماره ۲، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰..... ۹۷

شکل ۳-۳۸: منحنی نایکویست حاصل از مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی فرایند اکسایش متانول روی سطح نانوکاتالیست های (A) $\text{Pt}@ \text{S-C}_6\text{H}_4\text{-rGO}$ و (B) $\text{Pt}@ \text{rGO}$ تثبیت شده روی سطح الکترواد کربن شیشه در پتانسیل های مختلف (۳۰۰- تا ۹۰۰- میلی ولت نسبت به الکترواد مرجع Ag/AgCl)..... ۹۹

شکل ۳-۳۹: ولتاموگرام های چرخه ای نانوکاتالیست های (a) $\text{Pt}@ \text{rGO}$ و (b) $\text{Pt}@ \text{S-C}_6\text{H}_4\text{-rGO}$ در محلول سولفوریک اسید ۰/۵ مولار اکسیژن زدایی شده (a و b) و اشباع از اکسیژن (b و d) با سرعت پیمایش ۲۰ میلی ولت بر ثانیه... ۱۰۰

