

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بسمه تعالی

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

خانم منیره فرجی دیزجی رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان "مطالعه اثر نانو ذرات آلیاژی پلاتین بر کارایی الکترودهای گازی نفوذی پیل سوختی پلیمری" در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۲۱ ارائه کردند. اعضای هیأت داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تأیید کرده است و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می‌کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیأت داوران
	استاد	دکتر حسین غریبی	۱- استاد راهنما
	دانشیار	دکتر سهیلا جوادیان فرزانه	۲- استاد ناظر داخلی
	استادیار	دکتر محسن وفایی حسین آبادی	۳- استاد ناظر داخلی
	استاد	دکتر محمد کاظمینی	۴- استاد ناظر خارجی
	استادیار	دکتر رسول عبدالله میرزایی	۵- استاد ناظر خارجی
	دانشیار	دکتر سهیلا جوادیان فرزانه	۶- نماینده تحصیلات تکمیلی

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب منبیره فرجی دانشجوی رشته شیمی فیزیک ورودی سال تحصیلی ۸۶ مقطع دکتری دانشکده علوم پایه متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه و کالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: 

تاریخ:

۸۷/۱/۲۴

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموزان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته شیمی فیزیک است که در سال ۱۳۹۱ در دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر حسین غربی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب منیره فرجی دانشجوی رشته شیمی فیزیک مقطع دکتری

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: 

تاریخ و امضا:

۹۴، ۱، ۲۴



دانشکده علوم پایه

رساله دکتری

شیمی (فیزیک)

مطالعه اثر نانو ذرات آلیاژی پلاتین بر کارایی الکترودهای

گازی نفوذی پیل سوختی پلیمری

نگارنده

منیره فرجی

استاد راهنما

پروفسور حسین غریبی

اسفند ۹۱

به روان پدر عزیزم آموزگار همه خوبها در زندگیم

و مادرم

کنجیه ارزشمند عشق، محبت و صداقت، هستی ام

و دایی مهربانم (داداش)

برای محبت‌های خالصانه و حضور سبزش در کنارمان

و نعیمه و مصطفی مهربان و دوست داشتنی ام

تقدیر و شکر

منت خدای را عزل و جل که طاقش موجب قربت است و به شکر اندرش فرید نعمت، حمد و ستایش خدای را که همه از او بیم و حرچه هست از اوست. شاید نوشتن این چند سطر از سخت ترین قسمت های این پایان نامه باشد چند سطر نوشتن برای کسانی که واقعا در طی این دوره به من کمک کردند، نمی تواند حق مطلب را ادا کند. امید است که بازرگوانی و گذشته، این عزیزان عذر مرا از این چند سطر ناقص که می نویسم بپذیرند. از استاد و دکترم جناب آقای دکتر حسین غریبی که قریب به ده سال در خدمتشان بودم و در تمام مراحل تحصیل و مراحل پژوهش و تدوین این پایان نامه مراراً بهمانی کرده و از پنج کمک و مساعدتی دریغ نفرمودند و این کار با ترغیب و تشویق و زحمات بی دریغ ایشان در انجام آزمایشات طاقت فرسا که گاه تا ساعات نیمه شب به طول می انجامید به انجام رسید، سپاسگزارم.

از آقایان دکتر کاظمینی، دکتر وفایی، دکتر میرزایی و سرکار خانم دکتر جوادیان از اینکه زحمت مطالعه و داوری پایان نامه اینجانب را پذیرفتند

سپاسگزارم

از جناب آقای دکتر خیرمند که همواره سخاوتمندانه تجربیات ارزنده اش را در اختیارم قرار نهادند و زحمت مطالعه پایان نامه و مقالات اینجانب را به دوش کشیدند سپاسگزارم، و سرکار خانم دکتر جواهری که راهنمایی های ایشان، همواره برایم مفید و راهگشا بود بسیار سپاسگزارم.

از دوستان و بهکاران آزمایشگاهی از آقایان گل محمدی، سعادتی نسب، حدیری،

و خانم بهدانیان، موسوی، یاسی، امانی، خدا دادی، عقیلی و سایر دوستانی که از مساعدت و نظرات آن با بهره مند بودم بسیار سپاسگزارم.

چکیده

در این تحقیق اثر پلی آنیلین به عنوان هدایت کننده یونی و الکترونی در کنار نفیون که یک هدایت کننده یونی است در لایه کاتالیست پلاتینی الکترودهای گازی نفوذی درسامانه واقعی پیل سوختی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می دهد حضور پلی آنیلین در لایه کاتالیست در کنار نفیون منجر به کاهش مقاومت انتقال پروتون و همچنین بهبود مدیریت آب در مجموعه الکترودها می شود.

در بخشی دیگر از کار به بررسی عملکرد کاتالیست پلاتین مبتنی بر پایه کربنی گرافن پرداخته شد. برای بررسی ساختار و اندازهی ذرات و همچنین بررسی های کمی از تصاویر میکروسکوپ الکترونی و ICP استفاده می شود. همچنین ارزیابی عملکرد این الکتروکاتالیست ها در یک سیستم سه الکترودی و با به کارگیری روش های ولتامتری چرخه-ای، منحنی های پلاریزاسیون، امپدانس الکتروشیمیایی و کرومیاپرومتری در محیط اسیدسولفوریک انجام شد. همچنین به منظور سنجش عملکرد پایه کربنی در مدیریت آب مجموعه الکترودها غشا مبتنی بر کاتالیست های تهیه شده ساخته و در سیستم پیل سوختی واقعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده بیانگر بهبود فعالیت کاتالیست های با پایه گرافنی نسبت به نمونه کاتالیست تجاری پلاتین با پایه کربن بلک است. همچنین بررسی های فیزیکی انجام شده بیان می کند که خواص فیزیکی گرافن به روش تهیه آن بستگی دارد.

در قسمت دیگری کاتالیست های آلیاژی پلاتین- کبالت بر پایه های کامپوزیتی کربن تهیه شد و مورد بررسی های فیزیکی و الکتروشیمیایی قرار گرفت. نتایج حاصل بیانگر عملکرد بهتر کاتالیست های آلیاژی پلاتین- کبالت با پایه کامپوزیتی گرافن- کربن نانوتیوب نسبت سایر کاتالیست های تهیه شده و نمونه کاتالیست تجاری پلاتین با پایه کربن بلک می باشد.

کلمات کلیدی: پیل سوختی پلیمری، مجموعه الکترودها و غشا، سیستم سه

الکترودی، نانو ذرات پلاتین، گرافن

فهرست مطالب

فصل ۱ مقدمه ومباحث نظری.....	۱
۱-۱- نانوفن آوری و پیل سوختی پلیمری.....	۲
۱-۱-۱- نانو ذرات فلزی به عنوان کاتالیست پیل های سوختی.....	۴
۱-۲- اهداف پژوهش حاضر.....	۵
۱-۲-۱- بررسی اثر انتقال دهنده یونی بر عملکرد لایه کاتالیست در مجموعه الکتروود غشا پیل سوختی پلیمری.....	۵
۱-۲-۲- سنتز و تهیه الکتروکاتالیست پلاتینی بر مبنای ساپورت کربنی.....	۶
۱-۲-۳-۱- بررسی اثر سینرژیسمی نانو ذرات دو فلزی در کاتالیستهای پیل سوختی.....	۶
۳-۱- روشهای فیزیکی و الکتروشیمیایی در شناسایی نانو کاتالیست های پیل سوختی.....	۷
۱-۳-۱- اندازه گیری درصد اجزا با استفاده از تکنیک ICP.....	۷
۱-۳-۲- روشهای طیف سنجی پراش اشعه ایکس.....	۸
۱-۳-۳-۱- روش میکروسکوپ الکترونی عبوری.....	۹
۱-۳-۴- روشهای الکترونی روبشی.....	۱۱
۱-۳-۵- طیف سنجی پاشنده انرژی اشعه ایکس.....	۱۲
۱-۳-۶-۱- طیف سنجی رامان.....	۱۳
۱-۳-۷- روش اندازه گیری سطح BET.....	۱۳
۱-۳-۷-۱- طبقه بندی ایزوترم های جذبی برمبنای آیو پاک.....	۱۵
۱-۳-۸- تئوری پتانسیل زتا.....	۱۶
۱-۳-۹- تخلخل سنجی جیوههای.....	۱۷
۱-۳-۱۰- روش های الکتروشیمیایی.....	۱۹
۱-۳-۱۰-۱- ولتامتری روبش خطی (LSV).....	۲۱
۱-۳-۱۰-۲- ولتامتری چرخه ای (CV).....	۲۶

- ۳-۱۰-۳-۱- کرونوآمپرومتری ۲۹
- ۳-۱۰-۴-۱- طیف سنجی الکتروشیمیایی امیدانس (EIS) ۳۰
- ۳-۱۰-۵-۱- مدل‌های معمول مدار معادل ۳۳
- ۳-۱۰-۵-۱- هدایت یونی ۳۶

فصل ۲ بررسی کارایی ترکیب پلی آنیلین نفیون در ساختار لایه کاتالیست پیل

- سوختی پلیمری ۳۸
- ۱-۲- پیشینه تحقیق ۳۹
- ۲-۲- مواد و روشها ۴۳
- ۱-۲-۱- مراحل ساخت الکترودهای گازی نفوذی ۴۳
- ۱-۲-۱-۱- سنتز پلی آنیلین ۴۳
- ۲-۱-۲-۱- آماده کردن کربن کاغذی ۴۳
- ۳-۱-۲-۲- ساخت لایه نفوذ الکترودها ۴۴
- ۴-۱-۲-۲- ساخت لایه کاتالیست الکترودها ۴۴
- ۵-۱-۲-۲- تهیه مجموعه الکترودها غشا الکتروکاتالیست ها ۴۶
- ۱-۲-۱-۵- آماده سازی کربن کاغذی ۴۷
- ۲-۱-۲-۵- ساخت لایه نفوذ ۴۷
- ۳-۱-۲-۵- آماده سازی غشا نفیون ۴۷
- ۴-۱-۲-۵- تهیه لایه کاتالیست ۴۸
- ۵-۱-۲-۵- نحوه بستن سل و اتصال به دستگاه ۴۹
- ۲-۱-۵-۶- فرایند مرطوب کردن ۵۲
- ۲-۲- آزمایشهای الکتروشیمیایی ۵۳
- ۱-۲-۲-۲- روبش خطی پتانسیل (LSV) ۵۴
- ۲-۲-۲- ولتامتری چرخهای ۵۵

۵۸	..... کرونو آمپرومتری ۳-۲-۲-۲
۵۹	..... طیف سنجی امیدانس ۴-۲-۲-۲
۶۲	..... تخلخل سنجی جیوه‌های ۵-۲-۲-۲
۶۴	..... نتایج حاصل از آزمایش مجموعه الکتروود غشاء ۳-۲-۲-۲
۶۸	..... اثر رطوبت بر عملکرد پیل سوختی ۱-۳-۲-۲
۶۹	..... مطالعه امیدانس اثر تغییر پارامتر رطوبت بر کارایی پیل سوختی ۲-۳-۲-۲
۷۳	..... بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی ۳-۳-۲-۲
۷۶	..... نتیجه گیری ۳-۲

فصل ۳ کاتالیستهای پلاتین با پایه گرافنی..... ۷۷

۷۸	..... پیشینه تحقیق ۱-۳
۸۰	..... تاریخچه گرافن ۱-۱-۳
۸۰	..... شیمی گرافیت ۱-۱-۱-۳
۸۱	..... شناسایی گرافن ۲-۱-۳
۸۱	..... اسپکتروسکوپی XRD ۳-۱-۲-۱
۸۲	..... میکروسکوپی نیروی اتمی ۲-۲-۱-۳
۸۳	..... گرافن مشتق شده از اکسید گرافیت به روش شیمیایی ۳-۱-۳
۸۶	..... ویژگیهای ساختاری اکسید گرافیت ۱-۳-۱-۳
۸۷	..... احیا شیمیایی ۲-۳-۱-۳
۸۸	..... گرافن و الکترو کاتالیستهای پیل سوختی ۳-۱-۴
۹۲	..... مواد و روشها ۲-۳
۹۲	..... سنتز و ورقه ورقه کردن اکسید گرافیت ۱-۲-۳
۹۳	..... احیا اکسید گرافن ۱-۱-۲-۳
۹۴	..... تهیه نانو ذرات پلاتین بر بستر گرافن های تهیه شده ۲-۲-۳

۹۵	.....مراحل ساخت الکترودهای گازی نفوذی.....
۹۵	.....ساخت لایه نفوذ الکترودها.....
۹۵	.....ساخت لایه کاتالیست الکترودها.....
۹۷	.....نتایج و بحث.....
۹۷	.....اندازه گیری خواص فیزیکی گرافن و کاتالیست های تهیه شده.....
۹۷	.....طیف XRD نمونه های گرافن آماده شده.....
۹۹	.....λ طول موج اشعه X (1.54 Å) / 2θ (56°).....
۱۰۰	.....طیف XRD نمونه های کاتالیست سنتز شده.....
۱۰۱	.....شکل ۸-۳ طیف XRD کاتالیستهای سنتز شده.....
۱۰۵	.....تعیین مساحت سطح BET.....
۱۰۸	.....اندازه گیری پتانسیل زتا نمونه های GO, GNS و Pt/GNS.....
۱۱۰	.....میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).....
۱۱۳	.....تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری.....
۱۱۵	.....ازمایشات الکتروشیمیایی.....
۱۱۵	.....ولتامتری چرخه ای.....
۱۱۷	.....رویش خطی پتانسیل (LSV).....
۱۲۰	.....کرونو آمپرومتری.....
۱۲۱	.....طیف سنجی امپدانس.....
۱۲۳	.....ارزیا بی کارایی مجموعه الکترودها.....
۱۲۴	.....منحنی های پلاریزاسیون مجموعه الکترودها.....
۱۲۵	.....منحنی های امپدانس مجموعه های الکترودها.....
۱۲۸	.....نتیجه گیری.....
۱۲۹	.....فصل ۴ بررسی کاتالیست های آلیاژی پلاتین با پایه کامپوزیت کربنی.....

- ۱۳۰ ۴-۱- پیشینه تحقیق
- ۱۳۰ ۴-۱-۱- کاتالیست های آلیاژی پایه پلاتینی برای کاند پیلهای سوختی غشاء پلیمری
- ۱۳۰ ۴-۱-۱-۱- تاثیر آلیاژی شدن برای فعالیت کاتالیستی کاند
- ۱۳۵ ۴-۱-۱-۲- اثر آلیاژ شدن بر مکانیسم واکنش کاتدی
- ۱۳۵ ۴-۱-۱-۲-۱- اثر آلیاژ شدن بر ساختار کاتالیست پلاتین
- ۱۳۶ ۴-۱-۲-۲- اثر بازدارندگی آلیاژ بر جذب OH_{ads}
- ۱۳۷ ۴-۱-۲-۳- اثر آلیاژ شدن بر انتقالات الکترونیکی
- ۱۳۹ ۴-۱-۳- پایداری کاتالیست کاند مبتنی بر آلیاژ پلاتینی
- ۱۴۳ ۴-۲- مواد و روشها
- ۱۴۳ ۴-۲-۱- عامل دار کردن نانولوله کربن
- ۱۴۴ ۴-۲-۲- تهیه گرافن
- ۱۴۴ ۴-۲-۳- سنتز کاتالیستهای مورد نظر
- ۱۴۶ ۴-۲-۳-۱- ساخت الکترودها
- ۱۴۶ ۴-۲-۳-۱-۱- ساخت لایه نفوذ
- ۱۴۶ ۴-۲-۳-۲- ساخت لایه کاتالیست
- ۱۴۷ ۴-۳- نتایج و بحث
- ۱۴۷ ۴-۳-۱- نتایج فیزیکی
- ۱۴۷ ۴-۳-۱-۱- محاسبه مقادیر پلاتین با تکنیک ICP
- ۱۴۸ ۴-۳-۱-۲- نتایج میکروسکوپ الکترونی
- ۱۵۰ ۴-۳-۱-۳- نتایج XRD
- ۱۵۵ ۴-۳-۲- آزمایش های الکتروشیمیایی
- ۱۵۵ ۴-۳-۲-۱- ولتامتری چرخه ای
- ۱۶۰ ۴-۳-۲-۲- روش روبش خطی پتانسیل
- ۱۶۵ ۴-۴- نتیجه گیری

فهرست علائم

CV (Cyclic Voltammetry)	ولتامتری چرخه‌ای
D	ضریب نفوذ بر حسب سانتیمتر مربع بر ثانیه
ECSA (Electrochemical active Surface Area)	سطح فعال الکتروشیمیایی
EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy)	ا طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی
F	ثابت فارادی ($96485/3 \text{ C.mol}^{-1}$)
GC (Glassy Carbon)	کربن شیشه‌ای
GDL (Gas Diffusion Layer)	لایه‌ی گازی نفوذی
HCD(High Current Density)	چگالی جریان بالا
I	چگالی جریان
ICP (Inductively Coupled Plasma)	طیف بینی نشری جفت شده با پلاسما
LCD (Low Current Density)	چگالی جریان پایین
LSV (Linear Sweep Voltammetry)	ولتامتری روبش خطی
MEA (Membrane Electrode Assembly)	مجموعه الکتروود-غشا
ORR (Oxygen Reduction Reaction)	واکنش احیاء اکسیژن
PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)	پیل سوختی با غشای تبادلگر پروتون
RH(Relative humidity)	رطوبت نسبی

RDE (Rotating Disk Electrode)	الکتروود صفحه‌ای چرخان
SEM (Scanning Electron Microscopy)	میکروسکوپ الکترونی روبشی
SHE (Standard Hydrogen Electrode)	الکتروود استاندارد هیدروژن
t	زمان (S)
T	دما (K)
η	پتانسیل مازاد (V)
π	۳/۱۴۱۵
ρ	چگالی [kg m ^۳]

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۲ مشخصات مجموعه الکتروده غشاهای تهیه شده..... ۴۹
- جدول ۲-۲ شرایط اعمال شده برای کاهش و تثبیت مقاومت ۵۳
- جدول ۳-۲ دانسیته جریان ، شیب تافل، پتانسیل مدار در باز بارگذاری پلاتین^{-۲} mg.cm^{-۲} ۰/۵ و درصد وزنی متفاوت نفیون و پلی آنیلین..... ۵۵
- جدول ۴-۲ مساحت فعال الکتروشیمیایی چرخهای الکترودهای با بارگذاری پلاتین^{-۲} mg.cm^{-۲} ۰/۵ و درصد های مختلف نفیون و پلی آنیلین در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار و دمای C ۲۵°..... ۵۷
- جدول ۵-۲ ضریب نفوذ الکترودهایی با بارگذاری پلاتین^{-۲} mg.cm^{-۲} ۰/۵..... ۵۹
- جدول ۶-۲ مقاومت پلاریزاسیون و یونی الکترودهایی با بارگذاری پلاتین^{-۲} mg.cm^{-۲} ۰/۵ و درصد وزنی متفاوت نفیون و پلی آنیلین..... ۶۲
- جدول ۷-۲ مقادیر حجم حفرات حاصل از تخلخل سنجی جیوه‌ای برای لایه‌های کاتالیست متفاوت ۶۳
- جدول ۸-۲ جدول پارامتر های سینتیکی بدست آمده از منحنی پلاریزاسیون منحنی پلاریزاسیون مجموعه های الکتروده غشاء ساخته شده در رطوبت ۱۰۰٪، جریان گاز هیدروژن ۲۲۰ ml/min، جریان گاز اکسیژن ۵۰۰ ml/min ، دمای سل ۸۰ درجه سانتیگراد، فشار پشت الکتروده کاتد و آند ۱ atm، مساحت سطح سل ۶/۲۵ cm^۲..... ۶۶
- جدول ۹-۲ مقادیر بدست آمده از نمودارهای امیدانس مجموعه الکتروده غشا های ساخته شده در پتانسیل ۰/۷ و ۰/۱ ولت در رطوبت ۱۰۰٪، ۷۰٪، ۹۰٪، جریان گاز هیدروژن ۲۲۰ ml/min، جریان گاز اکسیژن ۵۰۰ ml/min ، دمای سل ۸۰ C° ، فشار پشت الکتروده کاتد و آند ۱ atm، ۷۲
- ۱-۳-۳ مشخصات الکترودهای تهیه شده ۹۵
- جدول ۲-۳ فاصله صفحات را از طیف را XRD نشان می دهد..... ۱۰۰
- جدول ۳-۳ مقادیر اندازه ذرات بدست آمده با استفاده از طیف XRD..... ۱۰۱

- جدول ۳-۴ مقادیر نسبت شدت پیکها را در رامان..... ۱۰۵
- جدول ۳-۵ مساحت سطح محاسبه شده با استفاده از ایزوترم جذبی و واجذبی نیتروژن..... ۱۰۷
- جدول ۳-۶ مقادیر پتانسیل زتا برای نمونه های گرافنی..... ۱۰۹
- جدول ۳-۷ مقادیر مساحت سطح فعال الکترودهای با بارگذاری 0.2 mg.cm^{-2} پلاتین..... ۱۱۷
- جدول ۳-۸ پارامترهای سینتیکی بدست آمده از منحنی های پلاریزاسون..... ۱۱۹
- جدول ۳-۹ ضریب نفوذ الکترودها استفاده از منحنی کرونو آمپرمتری..... ۱۲۱
- جدول ۳-۱۰ مقادیر مقاومت پلاریزاسیون الکتروکاتالیستها..... ۱۲۲
- جدول ۳-۱۱ مشخصات مجموعه الکترودها غشا های ساخته شده..... ۱۲۳
- جدول ۳-۱۲ پارامترهای سینتیکی بدست آمده از منحنی های پلاریزاسیون برای مجموعه الکترودها غشا های ساخته شده..... ۱۲۵
- جدول ۳-۱۳ پارامتر های امپدانس بدست آمده در پتانسیل ۰/۱ ولت و ۰/۷ ولت در رطوبت ۹۰٪، جریان گاز هیدروژن 220 ml/min ، جریان گاز اکسیژن 500 ml/min ، دمای سل ۸۰ درجه سانتیگراد، فشار پشت الکترودها کاتد و آند 1 atm ، مساحت سطح سل $6/25 \text{ cm}^2$ برای مجموعه الکترودها ساخته شده..... ۱۲۸
- جدول ۴-۱ مشخصات کاتالیستهای تهیه شده..... ۱۴۵
- جدول ۴-۲ مشخصات الکترودهای ساخته شده..... ۱۴۷
- جدول ۴-۳ پارامترهای بدست آمده از طیفهای XRD کاتالیستهای سنتز شده..... ۱۵۲
- جدول ۴-۴ محل پیکهای مختلف پلاتین در الیازها و کاتالیست استاندارد تجاری..... ۱۵۳
- جدول ۴-۵ مساحت فعال الکتروشیمیایی و مقدار بار واجذبی هیدروژن..... ۱۵۷
- جدول ۴-۶ پارامترهای سینتیکی بدست آمده برای الکترودها با استفاده از منحنی های پلاریزاسیون..... ۱۶۱
- جدول ۴-۷ مقاومت انتقال بار و مقاومت انتقال یون حاصل از امپدانس..... ۱۶۴

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱ تابشهای ایجاد شده بر اثر بمباران اتمی در TEM..... ۱۱
- شکل ۲-۱ طبقه بندی آیوپاک برای ایزوترم های جذبی..... ۱۶
- شکل ۳-۱ الکتروود که در آزمایش سه الکتروودی میتوان استفاده کرد..... ۲۱
- شکل ۴-۱ نمودار تغییرات پتانسیل بر حسب زمان در روش LSV..... ۲۲
- شکل ۵-۱ منحنی LSV با سرعتهای روبش متفاوت برای واکنش سریع و برگشت پذیر..... ۲۳
- شکل ۶-۱- منحنی LSV با سرعتهای روبش متفاوت برای واکنش آهسته و شبه برگشت پذیر یا برگشت ناپذیر..... ۲۳
- شکل ۷-۱ رابطه بین دانسیته جریان تبدلی و جریانهای آندی و کاتدی..... ۲۴
- شکل ۸-۱ منحنی تافل برای یک الکتروود گاز نفوذی در اتمسفر اکسیژن. سرعت روبش 1 mV.min^{-1} و دمای 25°C ۲۶
- شکل ۹-۱ نمودار پتانسیل- زمان در آزمایش CV..... ۲۶
- شکل ۱۰-۱ ولتاموگرام و پیکهای مهم آن..... ۲۷
- شکل ۱۱-۱ پیکهای مربوط به جذب و واجذب هیدروژن، منحنی حاصل از الکتروودی با بارگذاری پلاتین 0.1 mg.cm^{-2} و محلول اسید سولفوریک 0.5 مولار با سرعت روبش 50 mV.sec^{-1} با استفاده از الکتروود صفحههای چرخان 1500 rpm ۲۸
- شکل ۱۲-۱ کروئوآمپروگرام و منحنی جریان نسبت به عکس ریشه دوم زمان..... ۳۰
- شکل ۱۳-۱ منحنی نایکوییست با بردار امیدانس..... ۳۲
- شکل ۱۴-۱ منحنی بود در آزمایش امیدانس..... ۳۳
- شکل ۱۵-۱ منحنی نایکوییست مدار شامل خازن و یک مقاومت..... ۳۴
- شکل ۱۶-۱ مدار شامل خازن و یک مقاومت..... ۳۴
- شکل ۱۷-۱ منحنی نایکوییست مدل راندلز..... ۳۵

- شکل ۱-۱۸ مدار معادل مدل راندلز ۳۵
- شکل ۱-۱۹ منحنی نایکویست سیستمی که تحت کنترل سینتیکی و نفوذ باشد ۳۶
- شکل ۱-۲۰ مدار معادل سیستمی که تحت کنترل سینتیکی و نفوذ باشد ۳۶
- شکل ۱-۲۱ نایکویست شبیه سازی شده از مدل توده ای لایه واکنش در ولتاژ مدار باز، در محدوده ۱۰ کیلو تا ۱۰۰ میلی هرتز ۳۷
- شکل ۲-۱ مجموعه الکتروود غشا پیل سوختی که پلی آنیلین بین لایه کاتالیست و لایه گازی نفوذی متخلخل در هردو سمت آند و کاتد قرار گرفته است. [۵۲] ۴۱
- شکل ۲-۲ مجموعه الکتروود و غشا تهیه شده ۴۹
- شکل ۲-۳ شماتیکی از اجزای سل ۵۱
- شکل ۲-۴: نمایی از سل بسته شده ۵۱
- شکل ۲-۵ منحنی LSV الکترودهایی با بارگذاری پلاتین 0.5 mg.cm^{-2} و درصد وزنی متفاوت نفیون و پلی آنیلین، در دمای سل 25°C درجه، در اتمسفر اکسیژن در محلول 2 M اسید سولفوریک با سرعت روبش 1 mV.s^{-1} ۵۴
- شکل ۲-۶ منحنی ولتامتری چرخهای الکترودهای با بارگذاری 0.5 mg.cm^{-2} پلاتین و درصد های مختلف نفیون و پلی آنیلین در محلول اسید سولفوریک 0.5 مولار و دمای 25°C ۵۷
- شکل ۲-۷ نمودار دانسیته جریان بر حسب عکس مجذور ثانیه الکترودهایی با بارگذاری پلاتین 0.5 mg.cm^{-2} درصد های مختلف نفیون و پلی آنیلین در محلول اسید سولفوریک 2 M و دمای 25°C ۵۸
- شکل ۲-۸ الف وب منحنی نایکویست الکترودهای با مقدار متفاوت نفیون و پلی آنیلین در ولتاژهای 0.5 نسبت به الکتروود Ag/AgCl برای به دست آوردن مقاومت پلاریزاسیون و در OCV برای به دست آوردن مقاومت یونی در محدوده فرکانس 10 kHz تا 1 Hz در اتمسفر اکسیژن و پتانسیل 0.47 V ۶۱
- شکل ۲-۹ منحنی حاصل از تخلخل سنجی جیوه های لایه های کاتالیست شامل درصدهای وزنی مختلف از نفیون و پلی آنیلین ۶۳

شکل ۲-۱۰ منحنی پلاریزاسیون مجموعه های الکتروود غشاء ساخته شده در رطوبت ۱۰۰٪، جریان گاز هیدروژن ۲۲۰ ml/min، جریان گاز اکسیژن ۵۰۰ ml/min، دمای سل ۸۰ درجه سانتیگراد، فشار پشت الکتروود کاتد و آند ۱ atm، مساحت سطح سل $۶/۲۵\text{cm}^2$ ۶۵

شکل ۲-۱۱ منحنی پلاریزاسیون رفت و برگشتی مجموعه های الکتروود غشاء، ساخته شده در رطوبت ۱۰۰٪، جریان گاز هیدروژن ۲۲۰ ml/min، جریان گاز اکسیژن ۵۰۰ ml/min، دمای سل ۸۰ درجه سانتیگراد، فشار پشت الکتروود کاتد و آند ۱ atm، مساحت سطح سل $۶/۲۵\text{cm}^2$ ۶۷

شکل ۲-۱۲ منحنی پلاریزاسیون مجموعه های الکتروود غشاء، ساخته شده در رطوبت ۱۰۰٪، ۷۰٪، ۹۰٪، جریان گاز هیدروژن ۲۲۰ ml/min، جریان گاز اکسیژن ۵۰۰ ml/min، دمای سل ۸۰C° ، فشار پشت الکتروود کاتد و آند ۱ atm، مساحت سطح سل $۶/۲۵\text{cm}^2$ ۶۸

شکل ۲-۱۳، نمودار امیدانس مجموعه الکتروود غشا های ساخته شده در پتانسیل ۰/۱ ولت در رطوبت ۱۰۰٪، ۷۰٪، ۹۰٪، جریان گاز هیدروژن ۲۲۰ ml/min، جریان گاز اکسیژن ۵۰۰ ml/min، دمای سل ۸۰ درجه سانتیگراد، فشار پشت الکتروود کاتد و آند ۱ atm، مساحت سطح سل $۶/۲۵\text{cm}^2$ ۷۰

شکل ۲-۱۴، نمودار امیدانس مجموعه الکتروود غشا های ساخته شده در پتانسیل ۰/۷ ولت در رطوبت ۱۰۰٪، ۷۰٪، ۹۰٪، جریان گاز هیدروژن ۲۲۰ ml/min، جریان گاز اکسیژن ۵۰۰ ml/min، دمای سل ۸۰ درجه سانتیگراد، فشار پشت الکتروود کاتد و آند ۱ atm، مساحت سطح سل $۶/۲۵\text{cm}^2$ ۷۱

شکل ۲-۱۵، مدار معادل انتخاب شده برای استخراج داده های امیدانس سل..... ۷۲

شکل ۲-۱۶ تصویر SEM از GDE۱، بارگذاری پلاتین $۰/۵\text{mgcm}^{-۲}$ ، بارگذاری نفیون $۱\text{mgcm}^{-۲}$ ، بارگذاری پلی آنیلین..... ۷۳

شکل ۲-۱۷ تصویر SEM از GDE۲، بارگذاری پلاتین $۰/۵\text{mgcm}^{-۲}$ ، بارگذاری نفیون $۰/۸\text{mgcm}^{-۲}$ ، بارگذاری پلی آنیلین $۰/۲\text{mgcm}^{-۲}$ ۷۴

شکل ۲-۱۸ تصویر SEM از GDE۳، بارگذاری پلاتین $۰/۵\text{mgcm}^{-۲}$ ، بارگذاری نفیون $۰/۶\text{mgcm}^{-۲}$ ، بارگذاری پلی آنیلین $۰/۴\text{mgcm}^{-۲}$ ۷۴

شکل ۲-۱۹ تصویر SEM از GDE۴، بارگذاری پلاتین $۰/۵\text{mgcm}^{-۲}$ ، بارگذاری نفیون $۰/۴\text{mgcm}^{-۲}$ ، بارگذاری پلی آنیلین $۰/۶\text{mgcm}^{-۲}$ ۷۵