بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم پایه

رساله دوره دکتری شیمی (فیزیک)

بررسی خواص هم افزایی نانو کربنها در لایه الکتروکاتالیستی الکترود گازی نفوذی پیل سوختی پلیمری

نگارش:
معصومه جواهری

استاد راهنما:
دکتر حسین غریبی

شهریور ۱۳۸۸

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم پایه

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

خانم **معصومه جواهری** رساله واحدی خود را باعنوان: «**بررسی خواص هم افزائی نانوکربنها در لایه الکتروکاتالیستی الکترود گازی نفوذی پیل سوختی پلیمری**» در تاریخ ۸۸/۶/۱۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده است و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می کند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	آقای دکتر حسین غریبی	استاد	
۲- استاد ناظر داخلی	خانم دکتر سهیلا جوادیان	استادیار	
۳- استاد ناظر خارجی	آقای دکتر علیرضا ذوالفقاری	دانشیار	
٤- استاد ناظر خارجی	آقای دکتر رسول عبدا... میرزائی	استادیار	
۵- استاد ناظر خارجی	آقای دکتر مجید جعفریان	استاد	
٦- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	خانم دکتر سهیلا جوادیان	استادیار	

بسمه تعالی

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (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 آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» 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 است که در سال ۱۳۸۸ در دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر حسین غریبی ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر - و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر - از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

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

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد 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 معصومه جواهری دانشجوی رشته شیمی مقطع دکتری تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: معصومه جواهری

تاریخ و امضا:
۱۳۸۸/۷/۲

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 پایان نامه/ 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 پایان نامه 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 می باشد، 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 در 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.

دانشگاه تربیت مدرس

تقدیم به عزیزانی که از صمیم قلب دوستشان دارم؛

پدر و مادرم،

همسرم،

فرزند دلبندم ارشیا

تشکر وتقدیر

حال که به یاری آفریدگار دانا و توانا توانستم به این مرحله دست یابم، بر خود لازم می‌دانم، از عزیزانی تشکر کنم که بدون کمک و همراهی آنها نمی‌توانستم این کار را به انجام برسانم.

ازآقای پروفسور حسین غریبی، که راهنماییهای ایشان همواره، برایم روشن کننده مسیر تحقیق بوده و هست؛ کمال تقدیر و تشکر را دارم.

از آقای دکتر رسول عبداله میرزایی که راهنماییها و توصیه‌های ایشان برایم بسیار ارزنده بود.

از آقای دکتر خیرمند، خانم فرجی، آقای کاکایی، آقای گل محمدی، آقای حیدری و آقای قاری قرآن و دیگر دوستانی که در آزمایشگاه پیل سوختی فعالیت داشتند و دارند و من از کمکها و نظراتشان بهره برده‌ام متشکرم.

از خانواده عزیزم، همسر خوبم، فرزند دلبندم، مادر دلسوز و مهربانم، پدر بزرگوار و خوبم، خواهران و برادران عزیزم که همیشه حضورشان برایم قوت بخش و مثمر ثمر بوده و هست صمیمانه تشکر می‌کنم.

از درگاه خداوند منان، برای همه این عزیزان و آنهایی که از محضرشان استفاده کردم آرزوی سلامتی، موفقیت روزافزون و طول عمر دارم.

خلاصه

تحقیق حاضر شامل دوبخش کلی است. یکی بررسی تاثیر نانولوله کربن چند دیواره در MPL [1] (لایه با تخلخلهای ریز) ؛ و دیگری بررسی تاثیر حضور نانولوله کربن چند دیواره چند دیواره در لایه کاتالیست بر کارآیی الکترودهای گازی نفوذی.

در بخش اول، ابتدا میزان بهینه تفلون لازم در لایه MPL در حضور نانولوله کربن چند دیواره به دست آمد. بررسیهای ما نشان داد ۳۰٪ وزنی تفلون در لایه MPL می‌تواند بهترین کارآیی و کمترین مقاومت الکترود را

[1] MicroPorous Layer

در پی داشته باشد. پس از تعیین مقدار بهینه تفلون به بررسی تاثیر مخلوط نانولوله کربن چند دیواره و ولکان به عنوان لایه MPL پرداختیم. که در این مطالعه، سه سری الکترود با بارگذاریهای متفاوت پلاتین و یا به عبارت دیگر با ضخامتهای متفاوت لایه کاتالیست (۰/۱۱۵، ۰/۵ و ۱ میلی گرم بر سانتیمتر مربع) مورد بررسی فیزیکی و الکتروشیمیایی قرار گرفتند. در هر سری ۶ الکترود گازی نفوذی با ترکیب درصدهای متفاوتی از نانولوله کربن چند دیواره و ولکان در لایه MPL ساخته شد و مورد بررسی قرار گرفت. بررسیهای حاصل از پروسیمتری جیوه، عبورپذیری گاز و تصاویر SEM[1] همچنین هدایت الکتریکی لایه MPL ، و مطالعه خواص الکتروشیمیایی الکترودهای گازی نفوذی (ولتامتری روبش خطی، ولتامتری چرخه‌ای، طیف سنجی امپدانس و کرونوآمپرومتری) نشان داد که تاثیر لایه MPL بر کارآیی الکترود علاوه بر خواص فیزیکی لایه MPL به ضخامت لایه کاتالیست نیز بستگی دارد، به طوریکه در الکترودهای گازی نفوذی با لایه کاتالیست نازکتر (بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۱۱۵) ۶۰٪ وزنی نانولوله کربن چند دیواره در لایه MPL، و برای بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۵، مقدار ۸۰٪ وزنی نانولوله کربن چند دیواره و برای بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۱، مقدار ۴۰٪ وزنی نانولوله کربن چند دیواره بهترین کارآیی را نشان دادند. و در بین همه الکترودها ۸۰٪ وزنی نانولوله کربن چند دیواره در لایه MPL و بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۵ (GDE 52) بهترین کارآیی را دارد.

در بخش دوم تحقیق، از نانولوله کربن چند دیواره در لایه کاتالیست استفاده کردیم. به این ترتیب که ۵ الکترود با پایه‌های متفاوت کاتالیست تهیه و مورد مطالعه قرار دادیم. می‌دانیم که برای بهبود هدایت پروتون در لایه کاتالیست نفیون به کار می‌رود؛ که این باعث بهبود کارآیی الکترود می‌شود. در این بخش از کار به بررسی تاثیر مقدارنفیون و چگونگی حضور آن در این لایه پرداختیم.

در الکترودهای ۱ تا ۴ از کامپوزیت نانولوله کربن چند دیواره عاملدار و نفیون (مقادیر متفاوت از نفیون ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و $mg.cm^{-2}$ ۱/۲۵) به عنوان پایه کاتالیست و در الکترود ۵ از نانولوله کربن چند دیواره عاملدار به

[1] Scaning Electronic Microscopy

عنوان پایه کاتالیست استفاده کردیم. نشاندن پلاتین روی این پایه‌ها با استفاده از محلول هگزا کلروپلاتینیک اسید و احیاء کننده سدیم فرمات با روش شیمیایی انجام شد. بررسیهای XRD نشان می‌دهد که احیاء پلاتین روی پایه‌های مورد مطالعه با موفقیت انجام شده و اندازه ذرات پلاتین احیاء شده در محدوده ۰/۷۵ تا ۳/۵ nm است. ساختار الکترودها با تصاویر SEM و TEM مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسیهای الکتروشیمیایی شامل بررسی ولتامتری روبش خطی، ولتامتری چرخه‌ای، طیف سنجی امپدانس و کرونوآمپرومتری نشان دادند که کارآیی الکترود در حالتی که کامپوزیت نانولوله کربن چند دیواره عاملدار و نفیون پایه کاتالیست بوده و مقدار نفیون $mg.cm^{-2}$ ۱ است بهترین کارآیی را دارد. می‌توان بهبود کارآیی الکترود را به بیشتر بودن منطقه سه فازی (گاز- کاتالیست- الکترولیت) و در نتیجه آن بهتر انجام شدن واکنش الکتروشیمیایی نسبت داد. در الکترود ۵ (نفیون به نانولوله کربن چند دیواره عاملدار پلاتینه شده افزوده شده است)، نفیون باعث مسدود شدن برخی از مکانهای فعال کاتالیستی شده و بهره‌وری کاتالیست و در نتیجه کارآیی الکترود را کاهش می‌دهد.

کلید واژه‌ها: الکترود گازی نفوذی، واکنش احیاء اکسیژن، هم افزائی، نانولوله کربن چند دیواره، پیل سوختی پلیمری، لایه متخلخل میکرو، لایه کاتالیست، کامپوزیت، نفیون.

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول : مقدمه‌ای بر نانولوله‌های کربنی و پیلهای سوختی ۱

بخش۱ :پیلهای سوختی ۲

۱-۱-۱- مقدمه ۳

۱-۱-۲-اجزای سازنده یک پیل سوختی ۴

۱-۱-۳- چگونگی و روشهای ساخت اجزای الکترود گازی نفوذی ۷

۱-۱-۳-۱- روشهای تجربی در پیلهای سوختی با دمای پایین ۷

۱-۱-۳-۲-کاتالیست ۸

۱-۱-۳-۲-۱- روشهای آماده سازی کاتالیست ۸

۱-۱-۳-۳-الکترود ۱۱

۱-۱-۳-۳-۲- ساخت الکترود ۱۲

۱-۱-۳-۴- لایه نفوذ ۱۶

۱-۱-۴- خصوصیات فیزیکی ۱۹

۱-۱-۵-روشهای الکتروشیمیایی ۲۰

۱-۱-۵-۱- ولتامتری روبش خطی(LSV) ۲۲

۱-۱-۵-۲- ولتامتری چرخه ای (CV) ۲۷

۱-۱-۵-۳- کرونوآمپرومتری ۳۰

۱-۱-۵-۴- طیف سنجی الکتروشیمیایی امپدانس (EIS) ۳۱

۱-۱-۵-۴-۱-عناصر مدار الکتریکی ۳۵

عنوان

صفحه

۱-۱-۵-۴-۲-مقاومت الکترولیت ۳۵

۱-۱-۵-۴-۳-مقاومت الکترونی ۳۶

۱-۱-۵-۴-۴-مقاومت انتقال بار ۳۶

۱-۱-۵-۴-۵-مقاومت نفوذ..... ۳۷

۱-۱-۵-۴-۶-مدلهای معمول مدار معادل ۳۸

۱-۱-۵-۴-۷- هدایت یونی ۴۰

بخش۲: نانولوله کربن، ویژگیها و کاربردها ۴۲

۱-۲-۱- مقدمه ۴۳

۱-۲-۲- انواع نانولوله کربنی (CNT) ۴۴

۱-۲-۳- روشهای تولید نانولوله‌های کربنی ۴۶

۱-۲-۳-۱- فرایند قوس الکتریکی ۴۸

۱-۲-۳-۲- روش رسوب بخار شیمیایی ۴۸

۱-۲-۳-۳- روش سایش لیزری ۴۹

۱-۲-۴- خواص و کاربردهای نانولوله‌های کربنی (CVD) ۴۹

۱-۲-۵- برخی از بررسیهای محاسباتی انجام شده روی نانولوله های کربنی ۵۳

۱-۲-۵-۱- تاثیر تغییر شکل شعاعی بر خواص نانولوله های کربنی ۳۵

۱-۲-۵-۲- بررسی چگونگی جذب اکسیژن روی سطح نانولوله های کربنی ۵۴

۱-۲-۶- برخی از بررسیهای تجربی انجام شده در کاربرد نانولوله های کربنی ۵۶

۱-۲-۶-۱- مقایسه کربن بلک و نانولوله کربنی در پیل سوختی ۵۶

۱-۲-۶-۲- استفاده از نانولوله کربن تک دیواره منظم در پیل سوختی پلیمری ۵۷

۱-۲-۶-۳- استفاده از نانولوله کربن در پیل سوختی متانول ۵۹

عنوان

صفحه

۱-۲-۶-۴- تاثیر اندازه کاتالیست در کارآیی پیل سوختی متانول ۶۰

۱-۲-۶-۵- نانولوله کربن در کامپوزیتهای پلیمری ۶۰

فصل دوم : بهینه کردن تفلون لازم برای نانولوله کربن در لایه MPL الکترود گازی نفوذی ۶۹

۲-۱- مقدمه ۷۰

۲-۲- مراحل ساخت الکترودهای گازی نفوذی ۷۱

۲-۲-۱- آماده کردن کربن کاغذی ۷۱

۲-۲-۲- ساخت لایه نفوذ الکترودها ۷۲

۲-۳- ساخت لایه کاتالیست الکترودها ۷۲

۲-۴- آزمایشهای الکتروشیمیایی ۷۳

۲-۴-۱- روبش خطی پتانسیل (LSV) ۷۴

۲-۴-۲- کرونو آمپرومتری ۷۵

۲-۴-۳- طیف سنجی امپدانس ۷۶

۲-۳- بحث و نتیجه‌گیری ۷۸

فصل سوم: کاربرد نانولوله کربن و کربن ولکان در لایه MPL الکترود گازی نفوذی ۸۰

۳-۱- مقدمه ۸۱

۳-۲- استفاده از نانولوله کربنی در لایه نفوذ الکترود گازی نفوذی ۸۳

۳-۲-۱- آماده کردن کربن کاغذی ۸۳

۳-۲-۲- ساخت لایه نفوذ الکترودها ۸۴

۳-۳- ساخت لایه کاتالیست الکترودها ۸۵

۳-۴- آزمایشهای الکتروشیمیایی ۸۷

۳-۴-۱- روبش خطی پتانسیل (LSV) ۸۷

عنوان

صفحه

۳-۴-۲- کرونو آمپرومتری ۹۱

۳-۴-۳- طیف سنجی امپیدانس ۹۴

۳-۴-۴- ولتامتری چرخه‌ای ۹۹

۳-۴-۴- میکروسکوپ الکترونی ۱۰۳

۳-۴-۵- عبورپذیری گاز ۱۰۶

۳- ۴- ۶- پروسیمتری جیوه‌ای ۱۰۸

۳- ۴- ۷- هدایت الکتریکی ۱۱۱

۳-۵- اندازه گیری نتایج در منوسل ۱۱۳

۳-۵-۱- ساخت مجموعه الکترود غشاء ۱۱۳

۳-۵-۱-۱روش پرس گرم ۱۱۴

۳-۵-۱-۲- روش انتقال چاپی ۱۱۵

۳-۵-۲- ارزیابی کارایی مجموعه الکترود غشاء ۱۱۶

۳-۵-۲-۱- فرایند مرطوب کردن ۱۱۹

۳-۵-۲-۲- آزمایش عبور ۱۱۹

۳-۵-۲-۳- روند تطبیق دادن ۱۲۰

۳-۵-۳- نتایج حاصل از تست مجموعه الکترود غشاء ۱۲۳

۳-۶- بحث ونتیجه‌گیری ۱۲۵

۳-۶-۱- خواص فیزیکی ۱۲۶

۳-۶-۲- خواص الکتروشیمیایی ۱۲۸

۳-۶-۲-۴- جمع بندی نتایج ۱۳۲

فصل چهارم: استفاده از کامپوزیت نانولوله کربن /نفیون به عنوان پایه کاتالیست در الکترود گازی نفوذی ۱۳۴

عنوان

صفحه

۴-۱- مقدمه ۱۳۵

۴-۲- چگونگی آماده سازی الکترودها ۱۳۷

۴-۲-۱- عاملدار کردن نانولوله کربن ۱۳۷

۴-۲-۲- تهیه کامپوزیت ۱۳۸

۴-۲-۳- پلاتینه کردن نانولوله کربن و کامپوزیت نانولوله کربن/ نفیون ۱۳۹

۴-۲-۴- ساخت GDEs ۱۴۰

۴-۳- بررسیهای فیزیکی الکترودها ۱۴۱

۴-۳-۱- طیف XRD ۱۴۱

۴-۳-۲- آزمایش ICP ۱۴۳

۴-۳-۳- تصاویر SEM ۱۴۵

۴-۳-۴- تصاویر TEM ۱۴۸

۴-۴- آزمایشهای الکتروشیمیایی ۱۵۱

۴-۴-۱- روبش خطی پتانسیل (LSV) ۱۵۱

۴-۴-۲- ولتامتری چرخه ای ۱۵۳

۴-۴-۳- کرونو آمپرومتری ۱۵۵

۴-۴-۴- طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی ۱۵۶

۴-۵- بحث و نتیجه گیری ۱۵۹

۴-۵-۱- نتیجه گیری از بررسی امپدانس ۱۶۰

۴-۵-۲- نتایج XRD ۱۶۱

۴-۵-۳- مساحت سطح فعال الکتروکاتالیستی ۱۶۲

۴-۵-۴- نتایج حاصل از کرونوآمپرومتری ۱۶۳

عنوان

صفحه

۴-۵-۵- نتایج حاصل از تصاویر SEM و TEM ۱۶۳

۴-۶- جمع بندی و نتیجه‌گیری ۱۶۵

فصل پنجم: نتیجه گیری ۱۶۶

۵-۱- نتیجه گیری ۱۶۷

مراجع ۱۶۹

پیوست ۱۷۷

پیوست الف- اثبات رابطه مربوط به امپدانس ۱۷۸

پیوست ب- اثبات رابطه مربوط به مقاومت انتقال بار ۱۸۱

پیوست ج- اثبات روابط پروسیمتری ۱۸۲

فهرست علائم اختصاری

میکروسکوپ نیروی اتمی	AFM (Atomic Force Microscope)
الکترود گازی نفوذی	GDE (Gas Diffusion Electrode)
امپدانس حقیقی	Z_{rel}
امپدانس موهومی	Z_{im}
افت فشار	ΔP
اهم	Ω
بار لازم برای واجذب هیدروژن	Q_h
پتانسیل	E
پتانسیل تعادلی	E_{eq}
پتانسیل مدار باز	OCV (Open Circuit Voltage)
پتانسیل مازاد	η
پهنا در نصف ارتفاع پیک	$B_{2\theta}$
پیل سوختی با غشاء پلیمری	PEMFC (Polymer Exchange Membrane Fuel Cell)
تغییر فلوی گاز	ΔX
تعداد الکترونها	n
ثاب فارادی	F
جرم مولکولی	M
دانسیته جریان	i
دانسیته جریان تبادلی	i_0
رسوب بخار شیمیایی	CVD (Chemical Vapore Diposition)
زمان	t

زاویه ظهور پیک	θ
شعاع حفرات	r
شیب تافل	b
ضریب نفوذ	D
طیف سنجی الکتروشیمیایی امپدانس	EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy)
طول موج اشعه X	λ
عبورپذیری گازی	K
غلظت گونه	C^*
فاکتور تصحیح	K
اندازه کریستال (مجموعه کریستالها ذرات را تشکیل می‌دهد)	d
لایه میکرو حفره	MPL (Microporus Layer)
ضخامت نمونه	T
مجموعه اکترود غشاء	MEA (Membrane Electrode Asembly)
مساحت سطح الکترود	A
مقاومت پلاریزاسیون	R_P
مقاومت الکتریکی	ρ
مساحت سطح الکتروکاتالیست	EAS (Electrochemical Active Surface)
مساحت هندسی	S
میکروسکوپ الکترونی روبشی	SEM (Scaning electronic Microscope)
نانولوله کربن	CNT (Carbon nano tube)
نانولوله کربن چند دیواره	MWCNT (Multi-Wall carbon nanotube)
ولت	V
ولتامتری چرخه‌ای	CV (Cyclic Voltametry)

ولتامتری روبش خطی	LSV (Linier Sweep Voltametry)
هدایت الکتریکی	σ
مقدار بارگذاری پلاتین	[Pt]
دانسیته پلاتین	ρ
نفوذپذیری	$D^{1/2} \times C^{*}$
میکروسکوپ الکترونی عبوری	TEM (Transmision Electronic microscope)

فهرست جدولها

عنوان

صفحه

جدول۱- ۱- روشهای اساسی تهیه کاتالیست ۱۰

جدول ۱-۲- روابط مربوط به امپدانس عناصر مدار ۳۵

جدول۲- ۱- دانسیته جریان در دو ناحیه پتانسیل بالا (۰/۸ ولت) و پتانسیل پایین (۰/۳ ولت)

الکترودهایی با بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۱۱۵ و درصد وزنی متفاوت تفلون ۷۵

جدول ۲-۲- ضریب نفوذ الکترودهایی با بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۱۱۵

و درصد وزنی متفاوت تفلون ۷۶

جدول۲- ۳- مقاومت پلاریزاسیون الکترودهایی با بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۱۱۵

و درصد وزنی متفاوت تفلون ۷۸

جدول۳-۱- مشخصات لایه‌های کاتالیست و MPL الکترودهای گازی نفوذی مورد مطالعه ۸۶

جدول ۳- ۲- دانسیته جریان در دو ناحیه پتانسیل بالا (۰/۸ ولت) و پتانسیل پایین (۰/۳ ولت)

الکترودهایی با بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۱۱۵ ..... ۸۸

جدول ۳- ۳- دانسیته جریان در دو ناحیه پتانسیل بالا (۰/۸ ولت) و پتانسیل پایین (۰/۳ ولت)

الکترودهایی با بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۵ ..... ۸۹

جدول۳- ۴- دانسیته جریان در دو ناحیه پتانسیل بالا (۰/۸ ولت) و پتانسیل پایین (۰/۳ ولت)

الکترودهایی با بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۱ ..... ۹۰

جدول۳- ۵- ضریب نفوذ الکترودهایی با بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۱۱۵ ..... ۹۲

جدول ۳- ۶- ضریب نفوذ الکترودهایی با بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۵ ..... ۹۳

جدول ۳- ۷- ضریب نفوذ الکترودهایی با بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۱ ..... ۹۴

جدول۳- ۸- مقاومت پلاریزاسیون و مقاومت یونی الکترودهایی

با بارگذاری پلاتین $mg.cm^{-2}$ ۰/۱۱۵ ..... ۹۶

عنوان

صفحه

جدول۳- ۹- مقاومت پلاریزاسیون و مقاومت یونی الکترودهایی با بارگذاری پلاتین

$mg.cm^{-2}$ ۰/۵ ..... ۹۸

جدول۳- ۱۰- مقاومت پلاریزاسیون و مقاومت یونی الکترودهایی با بارگذاری پلاتین

$mg.cm^{-2}$ ۱ ..... ۹۹

جدول ۳-۱۱- مقادیر مساحت سطح فعال الکترودهای با بارگذاری $mg.cm^{-2}$ ۰/۱۱۵ پلاتین ۱۰۱

جدول ۳-۱۲- مقادیر مساحت سطح فعال الکترودهای با بارگذاری $mg.cm^{-2}$ ۰/۵ پلاتین ۱۰۲

جدول ۳-۱۳- مقادیر مساحت سطح فعال الکترودهای با بارگذاری $mg.cm^{-2}$ ۱ پلاتین ۱۰۳

جدول ۳-۱۴- مقادیر عبورپذیری گاز برای لایه‌های MPL متفاوت ۱۰۸

جدول ۳-۱۵- مقادیر حجم حفرات حاصل از تخلخل سنجی جیوه‌ای برای لایه‌های MPL متفاوت ۱۱۱

جدول ۳-۱۶- مقادیر هدایت الکتریکی برای لایه‌های MPL متفاوت ۱۱۳

جدول ۳-۱۷- مشخصات MEA آماده شده ۱۱۳

جدول ۳-۱۸- شرایط اعمالی اولیه برای تست سل ۱۲۲

جدول ۳-۱۹- شریط اعمالی در ولتاژ نیم ولت جهت کاهش و ثابت شدن مقاومت سل ۱۲۲

جدول ۴-۱- مشخصات الکترودهای گازی نفوذی ساخته شده ۱۴۱

جدول ۴- ۲- نتایج حاصل از طیف XRD ۱۴۲

جدول ۴-۳- مقادیر شدت به دست آمده در آزمایش ICP برای نمونه‌های مختلف ۱۴۵

جدول ۴-۴- مقادیر دانسیته جریان تبادلی و شیب تافل الکترودهای گازی نفوذی ۱۵۲

جدول ۴-۵- مقادیر مساحت سطح فعال الکترودهای گازی نفوذی ۱۵۴

جدول ۴-۶ - ضریب نفوذ محاسبه شده برای الکترودهای مختلف ۱۵۵

جدول ۴-۷- مقادیر مقاومت پلاریزاسیون الکترودهای مختلف ۱۵۷