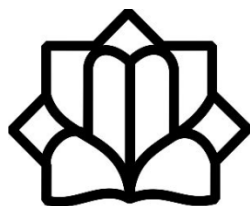


م



دانشگاه کاشان

دانشکده شیمی

گروه شیمی فیزیک

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته شیمی فیزیک

عنوان:

تهیه و تعیین مشخصات نانوکامپوزیت‌های اکسید گرافیت / اکسید

فلزات به‌عنوان آند باتری یون لیتیم

استاد راهنما:

پروفسور محسن محسن نیا

توسط:

طاهره صادقیان رنانی

بهمن ۱۳۹۲

تقدیم به:

می خوانیم و می فهمیم و می رویم اما دریغ که قدمی رفقه باشیم که هر چه می رویم جاده طولانی تری می شود و مقصد محوتر، اما همیشه در این جاده دستی هست تا تو را یاری کند؛ چشمانی که نگران مقصد است، اما دریغ که ما، من و تو از یاد می بریم مهربانانی را که آموختند و کنار ایستادند تا به نظاره بایستند عبور را و باز جاده ای دیگر و قصه ای دیگر... .

و امروز موعدی است تا یاد آور شویم چراغ افروز جاده را که بی شک بی حضور او شب طلایه دار قصه می جاده بود و

مقصد.

امروز روز اعتراف است. اعتراف به بزرگی تو، اعتراف به مهر تو، امروز روز سپاس از حسنگی تو است.

سپاسگزارم و ستایش می کنم حسنگی و مهر تو را در طول جاده آموختنم.

پدر عزیزم:

او که در زندگی همیشه امید و تکیه گاه من بوده است و شوق، انگیزه و امید را از صفای باطنش و گرمای وجودش مایه گرفتارم.

مادر عزیزم:

او که وجودش سراسر، قلبی است برای ایثار محبت و دعای خیرش در تمام دوران تحصیلم بدرقه راهم بوده است.

برادران:

آنان که صداقت، محبت و لطف بی انتهایشان در تمامی مراحل زندگی قرین سخاتم بوده است.

تقدیر و سپاس

این روزها در ازدحام همه چراها و در عبور همه ندانستن ماحرچه بیش تر می دانیم بیش تر می پرسیم. روزها و شب هایمان پر از نمی دانم است و در نهایت به یک بی نهایت می رسم، پس حمد و سپاس خدا را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا کرده است.

اکنون که به لطف ایزد متعال این پایان نامه به اتمام رسیده است، بر خود لازم می دانم به رسم ادب و حق شناسی از استاد گرامی جناب آقای پروفور محسن محسنی‌نیا که استاد راهنمای من در این پروژه بوده اند و من را مورد لطف بی دریغ خود قرار داده اند و همواره از راهنمایی ها و تجربیات ایشان بهره مند بوده ام تشکر و قدردانی نمایم.

از زحمات جناب آقای دکتر مسعود بهدانیان و خانم دکتر زهرا توانگر با عنوان استاد مدعو داخل که توفیق شاگردی ایشان را نیز داشته ام پاسگزاری می کنم.

هم چنین از تشریک مساعی جناب آقای دکتر مسعود بهدانیان به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی کمال تشکر را دارم. هم چنین از تمامی اساتید بزرگوارم به ویژه اساتید گروه شیمی دانشگاه کاشان که افتخار شاگردی نزد ایشان را داشته ام تشکر و قدردانی می نمایم.

تشکر ویژه خود را خدمت جناب آقای دکتر سید حسین رسا و جناب آقای دکتر محسن بهسور تقدیم می نمایم.

جذاب ترین مرحله عشق همین است

از من تو همان چیز خواهی که ندارم

و شمع را طریقتی است که تا پایان راه یاریگرش خواهد بود. پروانه را معرفتی است که تا پایان راه کسب خواهد کرد و شمع سان

خواهد سوخت

باساس بی دریغ خدمت خواهر کران مایه ام خانم حمیده امیری زنجیرانی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داد.

چکیده

در این مطالعه نانو پودرهای اکسید فلزی مختلف مانند PbO , Fe_3O_4 , Cu_2O , CuO , ZnO توسط روش‌های کاهش شیمیایی، هیدروترمال و سل-ژل آماده شد. نانو پودرهای اکسید فلزی آماده شده، برای تهیه نانو کامپوزیت‌های اکسید گرافیت / اکسید فلزی به‌عنوان آند در باتری-های یون لیتیم استفاده شدند. آندها به‌وسیله دوغابی از مخلوط همگن نانوکامپوزیت‌های اکسید گرافیت / اکسید فلزی با چسب نسبتاً چسبناک پلی وینیل الکل تهیه و بر روی فویل مسی به-صورت تیغه ای نازک پوشش داده شدند. اندازه گیری‌های الکتروشیمیایی با استفاده از یک سل طراحی شده همراه یک الکتروود 1cm^2 و الکتروود کاتد تهیه شده از یک باتری تجاری انجام شد. الکتروولیت حاوی 1M از $LiClO_4$ در $50/50$ درصد وزنی مخلوط اتیلن کربنات و دی متیل کربنات بود. تست های چرخه‌ی شارژ / دشارژ گالوانواستات با استفاده از یک سیستم اندازه گیری الکتروشیمیایی (سما ۵۰۰) تحت جریان ثابت انجام شد. اثر اکسید فلزی مورد استفاده برای تهیه آندهای نانوکامپوزیت اکسید گرافیت / اکسید فلزی بروی بازده کلمبیک و ظرفیت غیرقابل برگشت از باتری‌های یون لیتیم مورد مطالعه قرا گرفت.

با توجه به نتایج بدست آمده، آند آماده شده با اکسید آهن (Fe_3O_4) عمل کرد بهتری در مقایسه با اکسیدهای فلزی دیگر نشان داد.

کلمات کلیدی:

باتری یون لیتیم، نانواکسید فلزات، اکسید گرافیت، مواد آند، الکتروولیت

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مباحث نظری و تئوری	
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- آشنایی با باتری‌ها	۶
۳-۱- اجزای تشکیل دهنده‌ی پیل‌ها	۷
۴-۱- عمل کرد پیل	۷
۱-۴-۱- عمل دشارژ	۷
۲-۴-۱- عمل شارژ	۹
۵-۱- انواع باتری	۹
۱-۵-۱- باتری‌های اولیه (غیرقابل شارژ)	۹
۲-۵-۱- باتری‌های ثانویه (قابل شارژ)	۱۱
۶-۱- مواد باتری	۱۶
۱-۶-۱- الکترولیت	۱۶
۲-۶-۱- الکتروود مثبت در باتری‌های یون لیتیم	۱۸
۳-۶-۱- الکتروود منفی در باتری‌های یون لیتیم	۲۰
۷-۱- گرافیت	۲۲
۱-۷-۱- جای دادن (بین لایه‌ای)	۲۴

۲۷	..... الکترولیت جامد سطحی (SEI)
۳۳	..... واکنش‌ها و اصول الکتروشیمیایی
۳۵	..... فرآیندهای انتقال جرم و مبادله الکترون
۳۶	..... جریان
۳۸	..... پتانسیل پیل
۳۹	..... ظرفیت باتری
۴۰	..... عمر چرخه‌ای باتری
۴۰	..... اثرات دما بر طول زمان کار یک باتری
۴۱	..... اثر مقاومت داخلی
۴۱	..... کروئوپتانسیومتری
۴۴	..... ولتامتری چرخه‌ای
۴۶	..... مقدمه‌ای بر نانوفناوری
۵۰	..... اکسید روی
۵۱	..... اکسید مس I و II
۵۲	..... اکسید آهن
۵۳	..... اکسید سرب

فصل دوم: روش انجام پژوهش

۵۵	..... مقدمه
۵۶	..... دستگاه‌ها، وسایل و مواد مورد استفاده

- ۵۶ ۱-۲-۲- دستگاه‌های مورد استفاده
- ۵۷ ۳-۲-۲- مواد مورد استفاده
- ۵۹ ۳-۲-۳- اکسید گرافیت
- ۵۹ ۱-۳-۲- سنتز اکسید گرافیت با اکسیداسیون خفیف
- ۵۹ ۲-۳-۲- سنتز اکسید گرافیت با اکسیداسیون شدید
- ۶۰ ۴-۲- سنتز نانوساختارهای ZnO
- ۶۱ ۵-۲- سنتز نانوساختارهای CuO
- ۶۲ ۶-۲- سنتز نانوساختارهای Cu₂O / Cu
- ۶۲ ۷-۲- سنتز نانوساختارهای Fe₃O₄
- ۶۳ ۸-۲- سنتز نانوساختارهای PbO
- ۶۳ ۹-۲- انجام آزمایش الکتروشیمی ذخیره‌ی لیتیم (کرونوپتانسیومتری)
- ۶۴ ۱۰-۲- روش کار
- ۶۴ ۱-۱۰-۲- پیش آماده‌سازی الکترودها
- ۶۵ ۲-۱۰-۲- تهیه‌ی الکتروود آند از اکسید گرافیت با اکسیداسیون خفیف و شدید
- ۶۶ ۳-۱۰-۲- تهیه‌ی الکتروود آند از کامپوزیت اکسید گرافیت و نانوآکسید فلزات
- ۶۷ ۴-۱۰-۲- بررسی عمل‌کرد آندهای تهیه شده
- ۶۹ ۵-۱۰-۲- اندازه‌گیری الکتروشیمیایی شارژ و دشارژ الکتروود آند
- ۷۱ ۱۱-۲- اثر تکرار چرخه‌های شارژ و دشارژ بر روی ظرفیت ذخیره‌سازی
- ۷۲ ۱۲-۲- انجام آزمایش الکتروشیمی ذخیره‌ی لیتیم (ولتامتری چرخه‌ای)

۱۳-۲-۱۳-۲ روش کار ۷۳

۱۳-۲-۱-۱۳-۲ پیش آماده‌سازی الکترودها ۷۳

فصل سوم: بحث و نتیجه گیری

۱-۳-۱-۱ نتایج و بحث ۷۵

۱-۳-۱-۱-۱ کارایی باتری ۷۵

۱-۳-۲-۱ محاسبه ظرفیت باتری ۷۶

۱-۳-۳-۱ محاسبه‌ی بازده کولمبیک باتری ۷۶

۲-۳-۱ آنالیز اکسید گرافیت با اکسیداسیون خفیف ۷۷

۳-۳-۱ آنالیز اکسید گرافیت با اکسیداسیون شدید ۸۰

۴-۳-۱ آنالیز نانوساختارهای ZnO ۸۲

۴-۳-۱-۱ طیف XRD و SEM نانوساختارهای ZnO ۸۲

۵-۳-۱ آنالیز نانوساختارهای CuO ۸۴

۵-۳-۱-۱ طیف XRD نانوساختارهای CuO ۸۴

۶-۳-۱ آنالیز نانوساختارهای Cu₂O/ Cu ۸۵

۶-۳-۱-۱ طیف XRD نانوساختارهای Cu₂O/Cu ۸۵

۷-۳-۱ ذخیره‌ی لیتیم در الکتروود اکسید گرافیت با اکسیداسیون خفیف ۸۶

۸-۳-۱ ذخیره‌ی لیتیم در الکتروود اکسید گرافیت با اکسیداسیون شدید ۹۱

۹-۳-۱ اندازه‌گیری الکتروشیمیایی شارژ و دشارژ الکتروود آند در کامپوزیت اکسید گرافیت

اکسید نانوذرات ۹۴

- ۹۵-۳-۱۰- ذخیره‌ی لیتیم در الکتروود اکسید گرافیت با نانو اکسید فلزات.....
- ۳-۱۱- نمودار شارژ و دشارژ در چرخه‌ی اول آند ساخته شده با نانوکامپوزیت اکسید گرافیت/ اکسید روی (GO /ZnO).....
- ۹۶-۳-۱۱-۱- اثر تکرار چرخه‌های شارژ و دشارژ بر روی ظرفیت ذخیره‌سازی لیتیم در نانوکامپوزیت اکسید گرافیت /اکسید روی (GO /ZnO).....
- ۹۸-۳-۱۲- نمودار شارژ و دشارژ در چرخه‌ی اول آند ساخته شده با نانوکامپوزیت اکسید گرافیت /اکسید مس (GO /CuO).....
- ۱۰۲-۳-۱۲-۱- اثر تکرار چرخه‌های شارژ و دشارژ بر روی ظرفیت ذخیره‌سازی لیتیم در نانوکامپوزیت اکسید گرافیت /اکسید مس (GO /CuO).....
- ۱۰۴-۳-۱۳- نمودار شارژ و دشارژ در چرخه‌ی اول آند ساخته شده از نانوکامپوزیت اکسید گرافیت/ اکسید مس - مس (GO /Cu₂O.Cu).....
- ۱۰۹-۳-۱۳-۱- اثر تکرار چرخه‌های شارژ و دشارژ بر روی ظرفیت ذخیره‌سازی لیتیم در نانوکامپوزیت اکسید گرافیت /اکسید مس - مس (GO /Cu₂O.Cu).....
- ۱۱۰-۳-۱۴- نمودار شارژ و دشارژ در چرخه‌ی اول آند ساخته شده از کامپوزیت اکسید گرافیت/ اکسید آهن (GO /Fe₃O₄).....
- ۱۱۴-۳-۱۴-۱- اثر تکرار چرخه‌های شارژ و دشارژ بر روی ظرفیت ذخیره‌سازی لیتیم در نانوکامپوزیت اکسید گرافیت /اکسید آهن (GO /Fe₃O₄).....
- ۱۱۶-۳-۱۵- نمودار شارژ و دشارژ در چرخه‌ی اول آند ساخته شده از نانوکامپوزیت اکسید گرافیت /اکسید سرب (GO /PbO).....
- ۱۲۰-۳-۱۵-۱- اثر تکرار چرخه‌های شارژ و دشارژ بر روی ظرفیت ذخیره‌سازی لیتیم در نانوکامپوزیت اکسید گرافیت /اکسید سرب (GO /PbO).....

۳-۱۵-۱- اثر تکرار چرخه‌های شارژ و دشارژ بر روی ظرفیت ذخیره‌سازی لیتیم در

نانوکامپوزیت اکسید گرافیت / اکسید سرب (GO /PbO) ۱۲۲

۳-۱۶- نتیجه‌گیری ۱۲۷

منابع ۱۳۲

فهرست شکل‌ها

عنوان.....	صفحه
شکل ۱-۱- فناوری باتری در طول سال‌ها [۵].....	۳
شکل ۲-۱- مقایسه بین دانسیته‌ی انرژی و انرژی ویژه باتری‌های اولیه و ثانویه [۵].....	۴
شکل ۳-۱- عمل‌کرد الکتروشیمیایی پیل در حال شارژ و دشارژ [۵].....	۸
شکل ۴-۱- نمونه‌هایی از باتری لیتیم تجاری اولیه: (a) باتری لیتیم CR1130 (کاتد: دی اکسید منگنز؛ آند: فلز لیتیم، ظرفیت اسمی 40 میلی‌آمپر در ساعت، وزن 1.0 گرم)، (b) الترا توشیبا لیتیم ER3VP (کاتد: کلرید-تیونیل؛ آند: فلز لیتیم ظرفیت اسمی 1000 میلی‌آمپر ساعت، وزن 8.5 گرم)، (c) پاناسونیک لیتیم BR-C (ظرفیت اسمی 5000 میلی‌آمپر ساعت، وزن 42.0 گرم d (سانو لیتیم CR17450E-R (ظرفیت اسمی 2400 میلی‌آمپر ساعت، وزن 23.0 گرم) [۵] ..	۱۱
شکل ۵-۱- شماتیک از تشکیل SEI و تشکیل دندریت [۱۱].....	۱۲
شکل ۶-۱- باتری قابل شارژ یون لیتیم [۵].....	۱۴
شکل ۷-۱- نمونه‌هایی از باتری‌های یون لیتیم قابل شارژ تجاری (a) NB-5L یون لیتیم، 3.7V. 1120 میلی‌آمپر ساعت (دوربین دیجیتال: HP OmniBook 6000) (b) یون لیتیم، 14.8 V. 4.4 Ah (لپ‌تاپ)؛ NOK. BL.....	۱۵
شکل ۸-۱- نمایش شماتیک باتری‌های لیتیم (a) باتری قابل شارژ لیتیم فلز (b) باتری قابل شارژ یون لیتیم [۵].....	۱۵
شکل ۹-۱- فرمول ساختاری حلال‌های آلی رایج [۵].....	۱۶
شکل ۱۰-۱- تصاویر شماتیک از ساختار بلور در (a) LiCoO_2 (ساختار لایه لایه)، (b) LiMn_2O_4 (ساختار اسپینل)، و (c) LiFePO_4 (ساختار اولیوین) [۵].....	۲۰

- شکل ۱-۱۱- (چپ) رسم شماتیکی از ساختار بلوری گرافیت شش ضلعی، نشان دادن لایه AB انباشته و سلول واحد. (راست) مشاهده سطح پایه از گرافیت شش ضلعی. سطوح منشوری را می‌توان به شکل صندلی و زیگزاگ تقسیم کرد [۵]..... ۲۳
- شکل ۱-۱۲- شماتیکی از جای‌گیری لیتیم در ساختار گرافیت [۴۳]..... ۲۴
- شکل ۱-۱۳- ساختار LiC_6 (چپ): رسم شماتیک نشان دادن لایه AA انباشته شده با لیتیم. (راست): نمایش ساده و نمای عمود بر سطح پایه LiC_6 [۵]..... ۲۵
- شکل ۱-۱۴- منحنی‌های گالوانوستات افزایشی / غیرافزایشی لیتیم در ساختار گرافیت [۵]..... ۲۶
- شکل ۱-۱۵- مراحل شکل‌گیری افزایشی الکتروشیمیایی لیتیم به گرافیت. (چپ): منحنی شماتیک گالوانوستات (راست): منحنی شماتیک ولتامتری [۵]..... ۲۷
- شکل ۱-۱۶- تشکیل SEI در آند گرافیت در اولین روند افزایشی گالوانوستات [۵]..... ۲۸
- شکل ۱-۱۷- اجزای اصلی تشکیل دهنده SEI [۴۶]..... ۲۹
- شکل ۱-۱۸- مکانیزم‌های شکل‌گیری SEI [۵]..... ۲۹
- شکل ۱-۱۹- رسم شماتیک از دوتایی LiC_n و سه تایی $Li(solv)_yC_n$ ترکیبات افزایشی لیتیم / گرافیت [۵]..... ۳۱
- شکل ۱-۲۰- مدل شماتیک از مکانیزم تشکیل فیلم درون / بیرون گرافیت (a) قبل از واکنش (b) سه‌گانه تشکیل ترکیبات افزایشی محلول لیتیم / گرافیت $(Li_x(solv)_yC_6)$ (c) تشکیل فیلم به علت تجزیه‌ی $Li_x(solv)_yC_6$ [۵]..... ۳۲
- شکل ۱-۲۱- کرونیپتانسیومتری جریان ثابت [۵]..... ۴۲
- شکل ۱-۲۲- کرونیپتانسیومتری با افزایش جریان خطی [۵]..... ۴۲
- شکل ۱-۲۳- جریان کرونیپتانسیومتری معکوس (a) و کرونیپتانسیومتری چرخه‌ای (b). [۵]..... ۴۳

- شکل ۱-۲۴- تغییرات پتانسیل اعمال شده با گذشت زمان در ولتامتری چرخه‌ای: نرخ رفت و برگشت [۵] ۴۵
- شکل ۱-۲۵- ساختار کریستالی اکسید روی (دایره‌های سیاه: روی و دایره‌های خاکستری: اکسیژن) [۶۶] ۵۰
- شکل ۱-۲۶- ساختار بلوری مگنتیت [۷۲] ۵۲
- شکل ۱-۲۷- ساختار کریستالی β -PbO [۷۴] ۵۳
- شکل ۲-۱- شماتیکی از دستگاه EG&G Pontentiostat / Galvanostat ۶۴
- شکل ۲-۲- کاتد و آند و غشای سل تهیه شده ۶۶
- شکل ۲-۳- شماتیک و عکس از سل تهیه شده برای اندازه‌گیری آند باتری ۶۸
- شکل ۲-۴- الکترودهای مصرف شده ۷۱
- شکل ۳-۱- تصویر شماتیک از فرآیند شکل‌گیری یک فیلم SEI مؤثر از طریق اکسیداسیون خفیف [۵] ۷۸
- شکل ۳-۲- شماتیکی از اکسید گرافیت و ایجاد سایت بر روی سطح آن و قرارگیری لیتیم در سایت‌ها [۸۳] ۷۸
- شکل ۳-۳- طیف (FT-IR) گرافیت خالص ۷۹
- شکل ۳-۴- طیف (FT-IR) تهیه شده از اکسید گرافیت با اکسیداسیون خفیف ۸۰
- شکل ۳-۵- طیف (FT-IR) تهیه شده از اکسید گرافیت با اکسیداسیون شدید ۸۱
- شکل ۳-۶- طیف پراش پرتو ایکس (XRD) نانوذرات اکسید روی ۸۳
- شکل ۳-۷- الگوی SEM نانوساختارهای ZnO ۸۴
- شکل ۳-۸- طیف پراش پرتو ایکس (XRD) نانوذرات اکسید مس (II) ۸۵
- شکل ۳-۹- طیف پراش پرتو ایکس (XRD) نانوذرات اکسید مس (I) ۸۶

فهرست جدول‌ها

عنوان.....	صفحه
جدول ۱-۱- شیمی باتری‌های گوناگون و ویژگی آن‌ها [۵]	۵.....
جدول ۱-۲- خواص فیزیکی حلال‌ها در دماهای 25°C (a) ، 30°C (b) ، 40°C (c) 20°C [۵]	۱۷.....
جدول ۱-۳- ظرفیت‌های نظری برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر تعدادی از اکسیدهای فلزی [۵]	۲۱.....

فهرست نمودارها

عنوان.....	صفحه
نمودار ۱-۲- نمودار شارژ الکتروود آند در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱ میلی‌آمپر	۷۰
نمودار ۲-۲- نمودار دشارژ الکتروود آند در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱ (-) میلی‌آمپر	۷۰
نمودار ۳- ۱- ظرفیت شارژ اکسید گرافیت با اکسیداسیون خفیف برای جریان ۰/۱ میلی‌آمپر	۸۷
نمودار ۳- ۲- ظرفیت دشارژ اکسید گرافیت با اکسیداسیون خفیف برای جریان ۰/۱ (-) میلی- آمپر	۸۸
نمودار ۳- ۳- ولتامتری چرخه‌ای اکسید گرافیت با اکسیداسیون خفیف	۹۰
نمودار ۳- ۴- ظرفیت شارژ اکسید گرافیت با اکسیداسیون شدید برای جریان ۰/۱ میلی‌آمپر	۹۱
نمودار ۳- ۵- ظرفیت دشارژ اکسید گرافیت با اکسیداسیون شدید برای جریان ۰/۱ (-) میلی- آمپر	۹۲
نمودار ۳- ۶- ولتامتری چرخه‌ای اکسید گرافیت با اکسیداسیون شدید	۹۳
نمودار ۳- ۷- ظرفیت شارژ الکتروود آن GO /ZnO در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱ میلی- آمپر	۹۷
نمودار ۳- ۸- ظرفیت دشارژ الکتروود آند GO /ZnO در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱ (-) میلی‌آمپر	۹۷
نمودار ۳- ۹- ظرفیت شارژ الکتروود آند GO/ ZnO در چرخه‌های گوناگون به ازای جریان ۰/۱ میلی‌آمپر	۹۸

- نمودار ۳-۱۰- ظرفیت دشارژ الکتروود آند GO/ZnO در چرخه‌های گوناگون به ازای
جریان ۰/۱ (-) میلی‌آمپر ۹۹
- نمودار ۳-۱۱- ولتاژمتری چرخه‌ای کامپوزیت GO/ZnO ۱۰۱
- نمودار ۳-۱۲- ظرفیت شارژ الکتروود آند GO/CuO در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱ میلی-
آمپر ۱۰۳
- نمودار ۳-۱۳- ظرفیت دشارژ الکتروود آند GO/CuO در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱ (-)
میلی‌آمپر ۱۰۳
- نمودار ۳-۱۴- ظرفیت شارژ الکتروود آند GO/CuO در چرخه‌های گوناگون به ازای جریان ۰/۱
میلی‌آمپر ۱۰۵
- نمودار ۳-۱۵- ظرفیت دشارژ الکتروود آند GO/CuO در چرخه‌های گوناگون به ازای جریان
۰/۱ (-) میلی‌آمپر ۱۰۵
- نمودار ۳-۱۶- ولتاژمتری چرخه‌ای کامپوزیت GO/CuO ۱۰۷
- نمودار ۳-۱۷- ظرفیت شارژ الکتروود آند GO/Cu₂O,Cu در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱
میلی‌آمپر ۱۰۹
- نمودار ۳-۱۸- ظرفیت دشارژ الکتروود آند GO/Cu₂O,Cu در چرخه‌ی اول به ازای جریان
۰/۱ (-) میلی‌آمپر ۱۱۰
- نمودار ۳-۱۹- ظرفیت شارژ الکتروود آند GO/Cu₂O,Cu در چرخه‌های گوناگون به ازای
جریان ۰/۱ میلی‌آمپر ۱۱۱
- نمودار ۳-۲۰- ظرفیت دشارژ الکتروود آند GO/Cu₂O,Cu در چرخه‌های گوناگون به ازای
جریان ۰/۱ (-) میلی‌آمپر ۱۱۱
- نمودار ۳-۲۱- ولتاژمتری چرخه‌ای GO/Cu₂O,Cu ۱۱۳

- نمودار ۳-۲۲- ظرفیت شارژ الکتروود آند GO/Fe_3O_4 در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱ میلی‌آمپر ۱۱۵
- نمودار ۳-۲۳- ظرفیت دشارژ الکتروود آند GO/Fe_3O_4 در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱ (-) میلی‌آمپر ۱۱۵
- نمودار ۳-۲۴- ظرفیت شارژ الکتروود آند GO/Fe_3O_4 در چرخه‌های گوناگون به ازای جریان ۰/۱ میلی‌آمپر ۱۱۷
- نمودار ۳-۲۵- ظرفیت دشارژ الکتروود آند GO/Fe_3O_4 در چرخه‌های گوناگون به ازای جریان ۰/۱ (-) میلی‌آمپر ۱۱۷
- نمودار ۳-۲۶- ولتامتری چرخه‌ای GO/Fe_3O_4 ۱۱۹
- نمودار ۳-۲۷- ظرفیت شارژ الکتروود آند GO/PbO در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱ میلی‌آمپر ۱۲۱
- نمودار ۳-۲۸- ظرفیت دشارژ الکتروود آند GO/PbO در چرخه‌ی اول به ازای جریان ۰/۱ (-) میلی‌آمپر ۱۲۱
- نمودار ۳-۲۹- ظرفیت شارژ الکتروود آند GO/PbO در چرخه‌های گوناگون به ازای جریان ۰/۱ میلی‌آمپر ۱۲۳
- نمودار ۳-۳۰- ظرفیت دشارژ الکتروود آند GO/PbO در چرخه‌های گوناگون به ازای جریان ۰/۱ (-) میلی‌آمپر ۱۲۳
- نمودار ۳-۳۱- ولتامتری چرخه‌ای GO/PbO ۱۲۵

فصل اول:

مباحث نظری و تئوری