وزارت علوم و تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

IMAM KHOMEINI
INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده علوم پایه

کاربرد نانولوله های کربنی خام و عاملدار شده آمینی در استخراج فاز جامد تجزیه ای و ساخت سنسورهای الکتروشیمیایی برای استخراج و سنجش متادون، ترامادول،مس، آهن، جیوه و آلومینیوم

رساله برای دریافت درجه دکتری در رشته شیمی گرایش تجزیه

مجید قهرمان افشار

استاد راهنما:

دکتر مجید سلیمانی

تیر ماه سال یک هزار و سیصد و نود و دو

وزارت علوم و تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی

IMAM KHOMEINI
INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده علوم پایه

گروه شیمی

کاربرد نانولوله های کربنی خام و عاملدار شده آمینی در استخراج فاز جامد تجزیه ای و ساخت سنسورهای الکتروشیمیایی برای استخراج و سنجش متادون، ترامادول،مس، آهن، جیوه و آلومینیوم

رساله برای دریافت درجه دکتری در رشته شیمی گرایش تجزیه

مجید قهرمان افشار

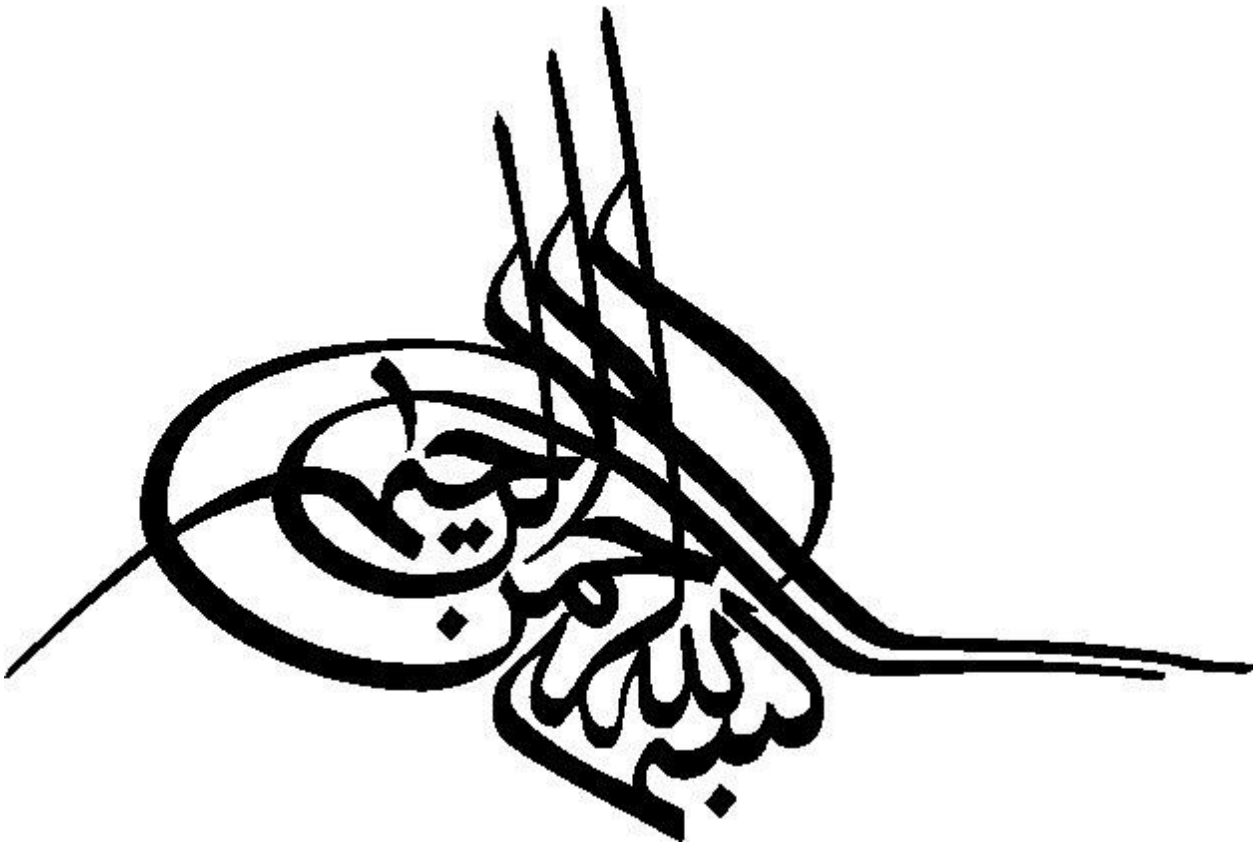
استاد راهنما:

دکتر مجید سلیمانی

اساتید مشاور:

دکتر محمد رضا گنجعلی و دکتر آرمان صدقی

تیر ماه سال یک هزار و سیصد و نود و دو


بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به مادرم

فاصله ای نیست از مادر تا عشق، از مادر تا خدا

با سپاس و قدردانی فراوان از مادرم که همواره مرا حمایت کرد و در این دنیا هیچ چیز از من دریغ نکرد و مرا مادرانه دوست دارد.

با تشکر از پدرم که در این سالها همچون کوهی استوار مرا پشتیبانی کرد.

با تشکر و سپاس فراوان از آقای دکتر مجید سلیمانی جهت مشاوره علمی، پشتیبانی بی وقفه و تمامی بزرگواری های ایشان.

با تشکر از آقای دکترمحمد رضا گنجعلی و گروه علمی ایشان که بی نهایت در زمینه علمی اینجانب را راهنمایی نمودندو هیچ حمایتی را در زمینه مواد و تجهیزات آزمایشگاهی از اینجانب دریغ ننمودند.

با سپاس فراوان از آقای دکتر آرمان صدقی و مشاوره علمی ایشان.

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

معاونت آموزشی – مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۳۰

فرم تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه/رساله

بدین وسیله گواهی میشود جلسه دفاعیه از پایان نامه کارشناسی ارشد/ دکتری ..محمد قربانی.. دانشجوی رشته ..شیمی.. گرایش ..تجزیه.. تحت عنوان.....

در تاریخ ۱۳۹۲/۴/۳ در دانشگاه برگزار گردید و این پایان نامه با نمره ..۱۹.۰۰.. و درجه ..عالی.. مورد تایید هیئت داوران قرار گرفت.

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	آقای دکتر سلیمانی	دانشیار	دانشگاه امام	
۲	استاد مشاور	آقای دکتر شیخعلی آقای دکتر صدقی	حافر نبودند استادیار	دانشگاه امام خمینی	
۳	داور خارج	آقای دکتر کارگش آقای دکتر حمید احمدی	استاد دانشیار	پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران	
۴	داور داخل	آقای دکتر خان محمدی	دانشیار		
۵	نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر ستوده نیا			

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب ..... دانش آموخته مقطع دکتری در رشته ..... گرایش ..... که در تاریخ ۱۳۹۴/۰۴/۳۱ از رساله ی خود تحت عنوان ..... با کسب درجه ی .....۱۹/۸..... دفاع کرده ام، شرعا و قانونا متعهد می شوم:

۱. مطالب مندرج در این رساله، حاصل تحقیق و مطالعه اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران اعم از رساله، کتاب، مقاله و غیره استفاده کرده ام، با رعایت کامل امانت ، مطابق مقررات، اقدام به ارجاع در متن و ذکر آن در فهرست منابع و مآخذ نموده ام.

۲. تمامی یا بخشی ازاین رساله قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی به سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳. مقالات مستخرج ازاین رساله کاملا حاصل کار اینجانب بوده و از هرگونه جعل داده و یا تغییر اطلاعات پرهیز کرده ام.

۴. از ارسال همزمان و یا تکراری مقالات مستخرج ازاین رساله (با بیش از ۳ درصد همپوشانی) به مجلات و یا همایش های گوناگون خودداری نموده و می نمایم.

۵. کلیه حقوق مادی و معنوی حاصل از این رساله متعلق به دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) بوده و متعهد می شوم هرگونه بهره مندی ویا نشر دستاوردهای حاصل از این تحقیق اعم از چاپ کتاب، مقاله، ثبت اختراع و غیره (چه در زمان دانشجویی و یا بعد از فراغت از تحصیل) با کسب اجازه از استاد (استادان) راهنما باشد.

۶. درصورت اثبات تخلف و نقض موارد پنجگانه فوق (درهر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) از درجه اعتبار ساقط و اینجانب هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام ونام خانوادگی دانشجو

امضاء

فرم پ۲-۳ : سوگندنامه / رساله

سوگندنامه دانش آموختگان دکتری دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

به نام خدا

سپاس ایزد منان را که مرا مشمول الطاف خویش نمود که با طی مراحل تحصیل موفق به اخذ درجه دکتری شوم. به شکرانه این نعمت بزرگ الهی که با امکانات این مرز و بوم، فراهم و نزد اینجانب به امانت گذاشته شده است، در پیشگاه ملت ایران به کتاب آسمانی خود، قرآن کریم، سوگند یاد می کنم که :

- در سراسر زندگی حرفه ای، در راه اعتلای کشور ایران و جامعه بشری به نحو احسن قدم برداشته و دراین راه از هیچ تلاشی دریغ ننمایم.
- در تمام فعالیت های تخصصی، رضای خدا را همراه با صداقت علمی و اجتماعی در نظر داشته و از موقعیت های به دست آمده در جهت رفع مشکلات جامعه استفاده کنم و در همه ی امور، منافع کشور را بر منافع فردی مقدم بدارم.
- همواره علم و دانش خود را به روز نگاه داشته و در ایفای مسئولیت و تعهدات حرفه ای در حد توان سعی و تلاش خود را به کار گیرم.
- و اینک از خداوند علیم توفیق بندگی و پای بندی به مفاد این سوگندنامه را خواستارم و از او می خواهم که مرا در ایفای رسالت علمی و انسانی خویش موفق بدارد.

نام ونام خانوادگی دانشجو محمدرضا اسدی

امضاء

فرم پ۲-۳: فرم مجوز بهره برداری از پایان نامه/ رساله

مجوز بهره برداری از پایان نامه/ رساله

کلیه حقوق اعم از چاپ، تکثیر، نسخه برداری، ترجمه، اقتباس و ... از نتایج این پایان نامه برای دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) قزوین محفوظ است. بهره برداری از این پایان نامه/ رساله در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می شود، بلامانع است:

☐ بهره برداری از این پایان نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☑ بهره برداری از این پایان نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلا مانع است.

☐ بهره برداری از این پایان نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

استاد راهنما می تواند یکی از گزینه های بالا را انتخاب کند و مسئولین کتابخانه موظف به رعایت موارد تعیین شده می باشد.

نام استاد و یا اساتید راهنما: دکتر محمد [illegible]

تاریخ: ۹۲/۷/۲

امضاء:

چکیده

این تحقیق شامل ۶ بخش می باشد که در ادامه هر کدام به اختصار شرح داده می شود.

الف- ساخت و کاربرد سنسور بسیار انتخابگر ترامادول بر پایه پلیمرهای قالب مولکولی و الکترود خمیر کربنی اصلاح شده با کربن نانولوله چند دیواره

در این بخش از رساله ساخت الکترود خمیر کربنی[۱] (CPE) گزارش خواهد شد که قادر به اندازه گیری ترامادول در نمونه های فیزیولوژیکی بدون آماده سازی اولیه نمونه بر اساس روش ولتامتری پالس تفاضلی[۲] (DPV) می باشد. بکارگیری پلیمر قالب مولکولی[۳] (MIP) برای افزایش خواص انتخابگری وکربن نانولوله چند دیواره[۴](MWCNT) برای بهبود خواص هدایتی به ساختار CPE اضافه می شود. در این طرح، ترامادول ابتدا به داخل سنسور استخراج می شود و طی مرحله بعدی همان سنسور با روش ولتامتری پالس تفاضلی مقدار ترامادول را سنجش می کند. مکان های انتخابگر در MIP، حفره هایی هستند که در طی فرایند پلیمریزاسیون توده ای ایجاد شده اند. درصد ترکیبات MIP–CPE و تأثیر آن بر پاسخ الکترو شیمیایی نیز مورد بررسی قرار گرفت. الکترود از نظر در صد ترکیبات (مقدار گرافیت، پارافین، MWCNT و MIP) و فرآیند استخراج (pH، زمینه نمونه، سرعت هم زدن و زمان هم زدن) نیز بهینه شد. گستره پاسخ خطی ، حد تشخیص و انحراف از استاندارد نسبی[۵] (RSD) روش به ترتیب برابر M 10^{-7} M-10^{-3}، M 5×10^{-7} و ۱/۸٪ می باشد. در نهایت این روش برای اندازه گیری ترامادول در نمونه ادرار و قرص مورد استفاده قرار گرفت.

ب- ساخت و کاربرد سنسور بسیار انتخابگر متادون بر پایه‌ی پلیمرهای قالب مولکولی با الکترود خمیر کربن بهینه شده با کربن نانولوله چند دیواره

---

۱ Carbon Paste Electrode
۲ Differential Pulse Voltammetry
۳ Molecularly Imprinted Polymer
۴ Multi Wall Carbon Nanotubes
۵ Relative Standard Deviation

در این بخش از رساله سنسور خمیر کربن قادر به اندازه گیری متادون در نمونه‌های فیزیولوژیکی بدون نیاز به آماده‌سازی اولیه، معرفی شده است. CPE بر پایه‌ی MIP با MWCNT بهینه شده است. MIP به عنوان ماده شناساگر در ساختار CPE می‌باشد و MWCNT در ساختار CPE قرار داده شده است تا خواص هدایت و انتقال بار را بهینه کند. در این روش، ابتدا متادون به داخل سنسور استخراج می‌شود و متادون به روش پالس ولتامتری سنجش می‌شود. MIP انتخابگر حفره‌هایی برای متادون فراهم می کند و این پلیمر به روش پلیمریزاسیون توده‌ای فراهم می‌شود. متادون به عنوان مولکول هدف در مرحله‌ی پلیمریزاسیون استفاده می‌شود. این پلیمر با استفاده از روش طیف سنجی زیر قرمز و تجزیه گرمایی تعیین ساختار می‌شود. این سنسور بر اساس ترکیب درصد خمیر کربنی مورد بررسی قرار می گیرد. بعلاوه، مرحله‌ی استخراج بر اساس pH، زمینه‌ی نمونه، سرعت هم زدن و زمان استخراج بهینه می‌شود. پاسخ الکتروشیمیایی بهینه در بافر فسفات با pH=۷ بدست می‌آید. ناحیه پاسخ خطی، حد تشخیص و انحراف از استاندارد الکترود به ترتیب برابر 10^{-2} M-10^{-7}، 10^{-8} M و ۱/۵ ٪ دارا می‌باشد. در نهایت روش مورد نظر بر اندازه‌گیری مقدار متادون در ادرار و قرص پزشکی به کار می‌رود.

پ- ساخت و کاربرد سنسور پتانسیومتری برای سنجش مقادیر ناچیز مس بر پایه‌ی الکترود خمیر کربن بهینه شده با کربن نانولوله چند دیواره

در این بخش روش پتانسیومتری با الکترود خمیر کربن بهینه شده با کربن نانولوله چند دیواره به عنوان یک ابزار تجزیه قوی برای اندازه‌گیری یون مس معرفی شده است. برای کاهش مقاومت اهمی MWCNT به ساختار CPE اضافه شده است. انتخابگری CPE با بکار گرفتن ماده یون دوست[۶] مس (II) بهینه می‌شود. برای بهینه کردن پارامترهای موثر بر روش، پاسخ روش با تغییر دادن درصد ترکیبات CPE و pH نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این الکترود انتخابگری مناسبی برای Cu^{2+} نسبت به سایر کاتیون‌ها دارد. شیب پاسخ نرنستین، حد تشخیص روش و زمان پاسخ به ترتیب برابر ۲۸/۴ mV/dec، $1/1\times10^{-6}$ M و ۱/۰۵ s می‌باشد. سپس تعدادی نمونه آب طبیعی و نمونه‌ای که مس به آن تزریق شده است با روش پتانسیومتری مورد بررسی قرار می گیرد و

[۶] Ionophore

نتایج روش پتانسیومتری با نتایج روش جذب اتمی مقایسه می‌شود. نتایج روش پتانسیومتری در تطابق کامل با نتایج روش طیف سنجی جذب اتمی (AAS[۷]) برای نمونه‌ی اسیدی شده می‌باشد.

ت- اکتا اتیل پورفیرین به عنوان یک ماده یون دوست انتخابگر برای اندازه‌گیری آلومینیوم به روش پتانسیومتری بر پایه‌ی الکترود خمیر کربن

در این بخش یک روش جدید برای اندازه‌گیری Al^{3+} در نمونه‌های طبیعی به روش پتانسیومتری[۸] با بکارگیری الکترود یون گزین مطرح شده است. بکارگیری اکتا اتیل پورفیرین[۹] (OEP) به عنوان یک ماده شناساگر در ساختار CPE موجب انتخابگری مناسب برای Al^{3+} نسبت به یون‌های مزاحم خواهد شد. شیب پاسخ نرنست[۱۰] و حد تشخیص پایین به ترتیب برابر ۱۸/۴ mV/decade و $۲/۵\times۱۰^{-۶}$ M می‌باشد. در آخرین بخش روش مطرح شده برای اندازه‌گیری غلظت آلومینیوم در نمونه‌های حقیقی بکار گرفته شده است. نتایج این روش در تطابق کامل با روش طیف سنجی جذب اتمی می‌باشد.

ث- استخراج و پیش تغلیظ آهن (III) از نمونه های حقیقی مثل سرکه، کنسرو ماهی تن و آب با استفاده از کربن نانولوله اکسید شده به عنوان جاذب استخراج فاز جامد تجزیه ای

در این بخش MWCNT با استفاده از معرف های اکسنده شامل اسید نیتریک، پرمنگنات پتاسیم، یدات پتاسیم و اسید سولفوریک اکسید شده است و به عنوان جاذب استخراج فاز جامد[۱۱] (SPE) Fe^{3+} استفاده شده است. MWCNT اکسید شده از اکسید کردن MWCNT خام بدست آمده است. خواص MWCNT خام و اکسید شده به وسیله‌ی روش طیف سنجی FT-IR وآنالیز گرمایی و تیتراسیون بوهم[۱۲] مورد بررسی قرار می‌گیرد. MWCNT اکسید شده برای استخراج فاز جامد Fe^{3+} از نمونه کنسرو ماهی تن، سرکه و آب مورد استفاده قرار

[۷] Atomic Absorption Spectroscopy
[۸] Potentiometric Method
[۹] Octaethylporphyrine
[۱۰] Nernstian Slope
[۱۱] Solid Phase Extraction
[۱۲] Boehm Titration

گرفت. ماهیت سطح MWCNT بعد از اکسیداسیون بهینه می‌شود و اکسیداسیون خاصیت آب دوستی و جذب Fe^{3+}را بر روی سطح MWCNT افزایش می‌دهد. پارامترهای مؤثر بر روی استخراج Fe^{3+} شامل pH، سرعت جریان عبور نمونه، ماهیت حلال شویشی و قدرت یونی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بیشینه‌ی مقدار جذب جاذب و حد تشخیص روش برابر ۱۰ mg/g و $۱/۲۵\times۱۰^{-۳}$ mg/L می‌باشد. گستره خطی روش شامل ۰/۰۲-۲۰ mg/L می‌باشد و میزان انحراف استاندارد روش برابر ۲/۲۳ ٪ می‌باشد.

ج-آمین دار نمودن کربن نانولوله چند دیواره و کاربرد آن به عنوان جاذب استخراج فاز جامد یون جیوه از نمونه های ماهی

در این بخش از رساله روشی برای اکسید کردن و پس از آن آمین دار[۱۳] نمودن MWCNT شرح داده و سپس MWCNT آمین دار شده به عنوان جاذب در استخراج فاز جامد Hg^{2+} بکار برده می‌شود. MWCNT آمین دار شده قابلیت بسیار بالایی برای جذب Hg^{2+} دارد در حالی که MWCNT خام و اکسید شده توانایی جذب Hg^{2+} را ندارند. فرآیند آمین دار کردن MWCNT اکسید شده با استفاده از معرف اتیلن دی آمین[۱۴] انجام می‌گیرد. خواص فیزیکوشیمیایی MWCNT خام، اکسید شده و آمین دار شده به روش طیف سنجی FTIR، آنالیز گرمایی و تیتراسیون بوهم تعیین می‌شود. جاذب MWCNT آمین دار شده برای استخراج Hg^{2+} از بافت های پیچیده ای شامل نمونه ماهی و آب بکار گرفته می‌شود. پارامترهای مؤثر بر بازداری Hg^{2+} شامل pH، سرعت جریان نمونه، ماهیت حلال شویشی، قدرت یونی و ضریب انتخابگری و ماکزیمم جذب بررسی می‌شود. حجم رسوخ، بیشترین ظرفیت جذب و گستره خطی روش به ترتیب برابر ۱۰۰ ml، ۱۱/۵۸ mg/g و ۰/۰۰۳-۰/۳ mg/L می‌باشد. حد تشخیص و تکرارپذیری روش به ترتیب $۱/۲۵\times۱۰^{-۳}$ mg/L و ۲/۲۳٪ می‌باشد. آزمایش انتخابگری نشان می‌دهد که این روش انتخابگری بسیار بالایی نسبت به یون Hg^{2+} دارد.

[۱۳] Amino-functionalization
[۱۴] Ethylenediamine

کلمات کلیدی: یون جیوه؛ یون آهن؛ متادون؛ ترامادول؛ یون مس؛ یون آلومینیوم؛ عاملدار کردن؛ آمین دارکردن؛ کربن نانولوله چند دیواره؛ استخراج فاز جامد؛ نمونه ماهی؛ استخراج فاز جامد؛ اکسیداسیون؛ نمونه آب؛ سرکه؛ کنسرو ماهی تن؛ الکترود خمیر کربن؛ پلیمر قالب مولکولی؛ پتانسیومتری؛

فهرست مطالب

بخش اول تئوری ۱

فصل اول مقدمه ای بر ساختار، خواص و کاربرد کربن نانولوله ها ۲

۱-۱. مقدمه ای بر کربن ۳

۱-۱-۱. الماس ۳

۱-۱-۲. گرافیت ۴

۱-۱-۳. فولرن ۵

۱-۱-۴. نانولوله کربنی ۵

۱-۲. ساختار نانولوله های کربنی ۶

۱-۳. خواص نانولوله های کربنی ۷

۱-۳-۱. خواص فیزیکی ۷

۱-۳-۲. خواص الکتریکی ۹

۱-۳-۳. خواص حرارتی ۱۰

۱-۳-۴. خواص مغناطیسی ۱۰

۱-۴. روشهای تولید نانولوله های کربنی ۱۱

۱-۴-۱. تخلیه قوس الکتریکی ۱۱

۱-۴-۲. تبخیر لیزری ۱۳

۱-۴-۳. روش رسوبدهی شیمیایی بخارهیدروکربنه ۱۴

۱-۵. روشهای تعیین مشخصه نمودن نانولوله های کربنی ۱۵

۱-۵-۱. پراش پرتوX (XRD) ۱۵

۱-۵-۲. میکروسکوپ روبش الکترونی SEM ۱۶

۱-۵-۳. میکروسکوپ عبوری الکترونی TEM ۱۶

۱-۵-۴. طیف سنجی رامان ۱۷

۱-۵-۵. آنالیز گرمایی وزن سنجی (TGA) ۱۷

۱-۶. روش های بهبود برهم کنش بین نانولوله ۱۸
۱-۶-۱. اصلاح شیمیایی ۱۹
۱-۶-۲. هالوژنه دار کردن دیواره CNT ۲۰
۱-۶-۳. حلقه زایی روی CNT ۲۰
۱-۶-۴. واکنش های رادیکالی ۲۱
۱-۶-۵. عامل دار کردن مکانیکی – شیمیایی ۲۱
۱-۶-۶. اتصال پلیمرها به نانولوله ها ۲۲
۱-۶-۷. استفاده از نواقص ساختاری ۲۴
۱-۶-۸. استفاده از سورفکتانت ۲۵
۱-۷. کاربردهای نانولوله های کربنی ۲۶
۱-۷-۱. صفحه نمایش مسطح ۲۶
۱-۷-۲. منبع نور ۲۶
۱-۷-۳. کامپوزیت ها ۲۷
۱-۷-۴. بافتهای استخوان ۲۷
۱-۷-۵. ذخیره انرژی ۲۸
۱-۷-۶. ذخیره هیدروژن ۲۸
۱-۷-۷. الکترونیک ۲۹
۱-۷-۸. پوشش ۲۹
۱-۷-۹. ترانزیستورها ۲۹
۱-۷-۱۰. نمایشگرهای گسیل میدانی ۳۰
۱-۷-۱۱. حافظه‌های نانولوله‌ای ۳۱
۱-۷-۱۲. دارو رسانی به وسیله نانولوله های کربنی ۳۱
۱-۷-۱۳. تهیه الیاف از نانولوله های کربنی ۳۲
۱-۷-۱۴. جاذب استخراج فاز جامد ۳۲
۱-۷-۱۵. حسگرها ۳۳

۱-۷-۱۶. سنسورهای شیمیایی ۳۴
۱-۷-۱۶-۱. سنسورهای گازی ۳۴
۱-۷-۱۶-۲. سنسور ولتامتری و پتانسیومتری ۳۴
۱-۷-۱۶-۳. بیو سنسورها ۳۵

فصل دوم مقدمه ای بر استخراج فاز جامد تجزیه ای ۳۶
۲-۱. معرفی روش استخراج فاز جامد ۳۷
۲-۲. تاریخچه استخراج فاز جامد ۳۷
۲-۳. دسته بندی های روش های استخراج ۳۸
۲-۴. مفاهیم بنیادی استخراج فاز جامد تجزیه ای ۳۹

فصل سوم مقدمه ای بر سنسورهای الکتروشیمیایی بر پایه پلیمرهای قالب مولکولی ۴۲
۳-۱. مقدمه ای بر سنسور های ولتامتری ۴۳
۳-۲. مقدمه ای بر پلیمرهای قالب مولکولی ۴۵
۳-۳. عوامل موثر در سنتز پلیمر قالب مولکولی ۴۶
۳-۳-۱. مولکول هدف ۴۷
۳-۳-۲. مونومر عاملی ۴۷
۳-۳-۳. اتصال دهنده عرضی ۴۷
۳-۳-۴. حلال ۴۸
۳-۳-۵. آغازگر ۴۸
۳-۴. کاربرد پلیمرهای قالب مولکولی ۴۸
۳-۵. حسگرهای بر پایه پلیمرهای قالب مولکولی ۴۹
۳-۵-۱. حسگرهای آمپرومتری ۴۹
۳-۵-۲. حسگرهای هدایت سنجی ۵۰
۳-۵-۳. حسگرهای پتانسیومتری ۵۰

۳-۵-۴. حسگرهای خازنی ۵۱
۳-۵-۵. حسگرهای ولتامتری ۵۱
۳-۶. مقدمه ای بر روش ولتامتری ۵۲
۳-۷. اساس ولتامتری ۵۳
۳-۸. روشهای رسیدن ماده به سطح الکترود ۵۳
۳-۹. کاربردهای ولتامتری ۵۴
۳-۱۰. انواع روشها ولتامتری ۵۵
۳-۱۰-۱. پلاروگرافی ۵۵
۳-۱۰-۲. ولتامتری عریان سازی ۵۵
۳-۱۰-۳. روش جریان مستقیم ۵۶
۳-۱۰-۴. روش نمونه برداری از جریان ۵۶
۳-۱۰-۵. ولتامتری پا لس نرمال ۵۶
۳-۱۰-۶. ولتامتری پالس تفاضلی ۵۷
۳-۱۰-۷. ولتامتری جریان متناوب ۵۷
۳-۱۰-۸. ولتامتری موج مربعی ۵۸
۳-۱۰-۹. روش ولتامتری چرخه ای ۵۸
۳-۱۱. روشهای مختلف تعیین غلظت به کمک ولتامتری ۵۸
۳-۱۱-۱. رسم منحنی کالیبراسیون ۵۸
۳-۱۱-۲. روش افزایش استاندارد ۵۹

فصل چهارم مقدمه ای بر روشهای شناسایی و جداسازی ترکیبات ترامادول، متادون، یون مس (II)، یون آلومینیوم (III)، یون آهن (III) و یون جیوه (II) ۶۰

۴-۱. ترامادول ۶۱
۴-۲. متادون ۶۲
۴-۳. یون مس ۶۳

۴-۴. یون آلومینیوم ۶۵
۴-۵. آهن ۶۷
۴-۶. جیوه ۶۸

بخش دوم تجربی ۷۱
فصل پنجم ساخت و کاربرد سنسور بسیار انتخابگر ترامادول و متادون بر پایه پلیمرهای قالب مولکولی و الکترود خمیر کربنی اصلاح شده با کربن نانولوله چند دیواره ۷۲
۵-۱. هدف پژوهش ۷۳
۵-۱-۱. سنسور بسیار انتخابگر ترامادول بر پایه پلیمرهای قالب مولکولی و الکترود خمیر کربنی اصلاح شده با کربن نانولوله چند دیواره ۷۳
۵-۱-۲. سنسور بسیار انتخابگر متادون بر پایه‌ی پلیمرهای قالب مولکولی با الکترود خمیر کربن بهینه شده با کربن نانولوله چند دیواره ۷۴
۵-۲. بخش آزمایشگاهی ۷۴
۵-۲-۱. معرف ها ۷۴
۵-۲-۲. دستگاه‌ها ۷۵
۵-۲-۳. تهیه MIP ترامادول و متادون ۷۵
۵-۲-۴. تهیه MIP – CPE ترامادول و متادون ۷۶
۵-۲-۵. روش الکتروشیمیایی اندازه‌گیری ترامادول و متادون ۷۶
۵-۳. بحث و تفسیر نتایج ۷۸
۵-۳-۱. بررسی طیف سنجی FTIR برای MIP-CPE و MIP نمونه ترامادول ومتادون ۷۸
۵-۳-۲. بررسی ترموگرام آنالیز گرمایی برای MIP-CPE و MIP ترامادول و متادون ۷۹
۵-۳-۳. رفتار الکترو شیمیایی ترامادول ۸۲
۵-۳-۴. رفتار الکترو شیمیایی متادون ۸۳
۵-۳-۵. پاسخ الکتروشیمیایی MIP-CPE، NIP-CPE و CPE به ترامادول و متادون ۸۴
۵-۳-۶. بهینه کردن درصد ترکیبات MIP-CPE ترامادول ومتادون ۸۶

۵-۳-۷. بهینه کردن شرایط استخراج ترامادول و متادون ۸۹
۵-۴. پارامترهای تجزیه ای ۹۳
۵-۴-۱. پارامترهای تجزیه ای سنسور ترامادول ۹۳
۵-۴-۲. پارامترهای تجزیه ای سنسور متادون ۹۵
۵-۵. کاربرد در نمونه های حقیقی ۹۷
۵-۵-۱. کاربرد در نمونه های حقیقی سنسور ترامادول ۹۷
۵-۵-۲. کاربرد در نمونه های حقیقی سنسور متادون ۹۹
۵-۶. نتیجه گیری ۱۰۱
۵-۶-۱. نتیجه گیری و امتیازات سنسور ساخته شده برای اندازه گیری ترامادول ۱۰۱
۵-۶-۲. نتیجه گیری و امتیازات سنسور ساخته شده برای اندازه گیری متادون ۱۰۲

فصل ششم ساخت و کاربرد سنسور پتانسیومتری برای سنجش مقادیر ناچیز مس (II) و آلومینیوم (III) بر پایه‌ی الکترود خمیر کربن بهینه شده با کربن نانولوله چند دیواره ۱۰۴
۶-۱. هدف پژوهش ۱۰۵
۶-۱-۱. سنسور پتانسیومتری برای آنالیز مقادیر ناچیز مس بر پایه‌ی الکترود خمیر کربن بهینه شده با کربن نانولوله چند دیواره ۱۰۵
۶-۱-۲. اکتا اتیل پورفیرین به عنوان یک ماده یون دوست انتخابگر برای اندازه‌گیری آلومینیوم به روش پتانسیومتری بر پایه‌ی الکترود خمیر کربن ۱۰۵
۶-۲. بخش آزمایشگاهی ۱۰۶
۶-۲-۱. معرف‌ها ۱۰۶
۶-۲-۲. دستگاه‌ها ۱۰۶
۶-۲-۳. روش ساخت CPE برای سنسور مس و آلمینیوم ۱۰۷
۶-۲-۴. روش معمول برای اندازه‌گیری مس و آلمینیوم به روش پتانسیومتری ۱۰۷
۶-۳. بحث و تفسیر نتایج ۱۰۸
۶-۳-۱. بهینه کردن و بررسی پارامترهای موثر بر الکترود مس و آلومینیوم ۱۰۸