

# بنام یزدان پاک



دانشگاه کردستان  
دانشکده علوم پایه  
گروه فیزیک

عنوان:

ساخت نانوسیم‌های فلزی و مطالعه خواص و کاربرد آن‌ها در ساخت  
حسگرها و بیوحسگرها

پژوهشگر:

زیبده سواری جمالویی

استاد راهنما:

دکتر سعید سلطانیان  
دکتر عبدالله سلیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش حالت جامد

تیر ماه ۱۳۸۹

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان نامه متعلق به دانشگاه کردستان است.

## \*\*\*تعهد نامه\*\*\*

اینجانب زبیده سواری جمالویی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش حالت جامد دانشگاه کردستان، دانشکده علوم پایه گروه فیزیک تعهد می‌نمایم که محتوای این پایان‌نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

زبیده سواری جمالویی

۱۳۸۹ / ۴ / ۲

به پاس مهربانی بی‌چشمداشت و شکیبایی‌شان که دنیا را برایم زیباتر می‌کنند

تقدیم به پدر و مادرم بزرگوارم

و به پاس محبت و دلگرمی همیشگی‌شان

تقدیم به دو خواهر و برادران عزیزم

## قدردانی و تشکر

بر خود می‌دانم از الطاف و زحمات بی دریغ استاد راهنمایی عزیزم جناب آقای دکتر سعید سلطانیان تشکر و قدردانی نمایم. از تمامی راهنمایی‌های و تلاش‌های استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر عبدالله سلیمی نیز کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از آقای دکتر عبدالله نوربخش بخاطر شکیبایی و دلگرمی‌های امید بخششان در انجام این کار بسیار سپاسگزارم.

## چکیده

نانوسیم‌های نیکل در قطر ۲۰ و ۱۰۰ نانومتر به روش الکتروانباشت DC با استفاده از قالب اکسید آلومینیوم آندی (AAO) ساخته شدند. با استفاده از سونش قالب AAO در محلول سود و محلول اسید فسفریک و اسید کرومیک نانوسیم‌ها از حصار قالب خارج شدند. مورفولوژی سطح قالب و نانوسیم‌ها با استفاده از روش‌های AFM و SEM مطالعه شدند.

الکتروود خمیر کربن با استفاده از نانوسیم‌های نیکل و FAD اصلاح شد. الکتروود اصلاح شده برای احیای الکتروکاتالیتیکی یون پرسولفات با استفاده از تکنیک ولتامتری چرخه‌ای و آمپرومتری بکار گرفته شد. ثابت سرعت کاتالیتیکی، حد تشخیص و محدوده خطی برای واکنش احیای یون پرسولفات به ترتیب برابر با  $10^{-4} \text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$ ،  $4/5523 \times 10^{-4} \mu\text{M}$  و  $100 \mu\text{M} - 1200 \mu\text{M}$  بدست آمد. در آزمایش دیگر، سطح الکتروود خمیر کربن با استفاده از نانوسیم‌های نیکل و نیوترال رد اصلاح شد. این الکتروود برای احیای الکتروکاتالیتیکی یون پرسولفات با استفاده از تکنیک ولتامتری و آمپرومتری بکار گرفته شد. ثابت سرعت کاتالیتیکی، حد تشخیص و محدوده خطی برای واکنش احیای یون پرسولفات به ترتیب برابر با  $10^{-4} \text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$ ،  $7/140 \times 10^{-4} \mu\text{M}$  و  $100 \text{ mM} - 1200 \text{ mM}$  بدست آمد. الکتروود اصلاح شده در مقایسه با الکتروود خمیر کربن کارایی بهتری نشان داد. نتایج نشان می‌دهد که این الکترودهای اصلاح شده توانایی برای کاربردهای عملی را دارند.

کلمات کلیدی: نانوسیم‌های نیکل، الکتروانباشت مستقیم، ولتامتری، آمپرومتری، ثابت سرعت کاتالیتیکی، حد تشخیص، محدوده

خطی آشکارسازی

## فهرست مطالب

۱- فصل اول: مقدمه.....	۱
۲- فصل دوم: خواص، کاربردها و روش های ساخت نانوسیم ها.....	۴
۱-۲- مقدمه ای بر فناوری نانو.....	۴
۲-۲- معرفی نانو ساختارها.....	۵
۳-۲- خواص نانوسیم ها و کاربرد آن ها.....	۸
۱-۳-۲- خواص شیمیایی.....	۸
۲-۳-۲- خواص ترمودینامیکی.....	۹
۳-۳-۲- خواص گرمایی.....	۹
۴-۳-۲- خواص اپتیکی.....	۹
۵-۳-۲- خواص الکتریکی.....	۱۰
۶-۳-۲- خواص مغناطیسی.....	۱۱
۷-۳-۲- خواص مکانیکی.....	۱۳
۴-۲- روش های ساخت نانوسیم.....	۱۳
۱-۴-۲- روش های ساخت مبتنی بر قالب.....	۱۴
۱-۴-۲-۱- قالب پله ای.....	۱۵
۲-۴-۲-۱- قالب های مثبت.....	۱۶
۳-۴-۲-۱- قالب منفی.....	۱۹
۵-۲- روش های انباشت درون قالب ها.....	۲۹
۶-۲- انحلال قالب.....	۴۰
۳- فصل سوم: ساخت نانوسیم های نیکل و بررسی سونش قالب AAO انباشت شده با نانوسیم های نیکل.....	۴۵
۱-۳- مقدمه.....	۴۶
۱-۳-۱- معرفی پیشینه الکتروانباشت DC نانوسیم های نیکل.....	۴۶
۲-۳- دستگاه های اندازه گیری.....	۴۸
۱-۲-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).....	۴۸
۲-۲-۲۳- میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM).....	۴۹
۳-۲-۳- دستگاه تراسونیک.....	۵۶
۳-۳- انجام آزمایش.....	۵۲
۱-۳-۳- الکتروانباشت نانوسیم های نیکل در قالب تجاری AAO.....	۵۲
۱-۳-۳-۱- انباشت کوتاه مدت نانوسیم های نیکل.....	۵۳
۲-۳-۳-۱- انباشت بلند مدت نانوسیم های نیکل.....	۵۶
۲-۳-۳-۲- بررسی سونش جزئی و تحتانی قالب الکتروانباشت شده با نانوسیم های نیکل.....	۵۹
۳-۳-۳-۱- بررسی اثر غلظت محلول سونش کننده بر قالب AAO الکتروانباشت شده با نانوسیم های نیکل.....	۵۹



۶۱.....	۳-۲-۲- بررسی زمان سونش.....
۶۵.....	۳-۴- نتیجه گیری.....
۶۶.....	۴- فصل چهارم: مقدمه‌ای بر حسگرها و زیست حسگرهای الکتروشیمیایی و لزوم اصلاح آنها.....
۶۶.....	۴-۱- مقدمه.....
۶۷.....	۴-۲- حسگرها و زیست حسگرهای الکتروشیمیایی.....
۶۹.....	۴-۲-۱- لزوم اصلاح سطح الکتروود.....
۷۰.....	۴-۲-۲- استفاده از نانوسیم‌ها در اصلاح سطح الکتروود.....
۷۲.....	۴-۳- تکنیک‌های الکتروشیمیایی.....
۷۲.....	۴-۳-۱- معرفی الکتروشیمی.....
۷۳.....	۴-۳-۲- تئوری ولتاموگرام چرخه‌ای (CV).....
۷۹.....	۴-۳-۳- آمپرومتری.....
	۵- فصل پنجم: اصلاح سطح الکتروود خمیر کربن با نانو سیم‌های نیکل و فلاوین آدنین دی نوکلئوتید و بکارگیری آن در احیای
۸۱.....	الکتروکاتالیتیکی یون پر سولفات.....
۸۱.....	۵-۱- مقدمه.....
۸۲.....	۵-۱-۱- معرفی فلاوین آدنین دی نوکلئوتید FAD.....
۸۳.....	۵-۲- بخش تجربی.....
۸۳.....	۵-۲-۱- مواد و تجهیزات.....
۸۴.....	۵-۲-۲- نحوه ساخت الکتروود خمیر کربن (CPE).....
۸۴.....	۵-۲-۳- نحوه اصلاح الکتروودهای خمیر کربن با نانوسیم‌های نیکل.....
۸۵.....	۵-۲-۴- نحوه اصلاح الکتروودهای خمیر کربن با نانوسیم‌های نیکل و FAD.....
۸۷.....	۵-۳- مطالعات الکتروشیمیایی سطح اصلاح شده FAD/Ni NWS/CPE.....
	۵-۳-۱- مقایسه رفتار الکتروشیمیایی الکتروود خمیر کربن (CPE)، الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانوسیم‌های نیکل
	(Ni NWS/CPE) و الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانو سیم‌های نیکل و FAD (FAD/Ni NWS/CPE) با تکنیک
۸۷.....	ولتامتری چرخه‌ای.....
۸۸.....	۵-۳-۲- بررسی میزان پایداری FAD جذب شده روی سطح Ni NWS/CPE.....
	۵-۳-۳- اثر pH روی رفتار الکتروشیمیایی FAD جذب شده روی الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانوسیم‌های
۸۹.....	نیکل.....
	۵-۳-۴- بررسی اثرات تغییرات سرعت روبش و محاسبه پارامترهای سینتیکی انتقال الکترون ناشی از FAD جذب شده
۹۱.....	روی سطح Ni NWS/CPE.....
۹۴.....	۵-۳-۵- محاسبه سطح موثر الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانوسیم‌های نیکل.....
۹۵.....	۵-۳-۶- پوشش غلظت سطحی الکتروود.....
۹۶.....	۵-۴- بررسی رفتار الکتروکاتالیتیکی FAD جذب شده بر سطح Ni NWS/CPE.....
۹۶.....	۵-۴-۱- احیای الکتروکاتالیتیکی $K_2S_2O_8$ .....

- ۹۸-۴-۲- بررسی اثر pH روی رفتار احیای الکتروکاتالیتیکی الکترواد اصلاح شده در احیای  $K_2S_2O_8$ .....
- ۹۹-۴-۳- بررسی اثر غلظت  $K_2S_2O_8$  روی واکنش احیای الکتروکاتالیزی.....
- ۱۰۰-۴-۴- اثر تغییرات سرعت روبش روی احیای الکتروکاتالیتیکی  $K_2S_2O_8$  در محیط عاری از اکسیژن.....
- ۱۰۱-۴-۵- اندازه گیری  $K_2S_2O_8$  با استفاده از سطح اصلاح شده با ساختار چند لایه ای FAD/Ni NWs/CPE با تکنیک آمپرومتری.....
- ۱۰۲-۵- نتیجه گیری.....
- ۱۰۳- فصل ششم: بررسی الکتروشیمی ترکیب نیوترال رد بر روی سطح الکترودهای خمیر کربن اصلاح شده با نانو سیم های نیکل و آشکارسازی یون پرسولفات با آن.....
- ۱۰۴-۱- مقدمه.....
- ۱۰۵-۲- بخش تجربی.....
- ۱۰۶-۱-۲- مواد و تجهیزات.....
- ۱۰۷-۲- نحوه ساخت الکترودهای خمیر کربن.....
- ۱۰۸-۲-۳- نحوه اصلاح الکترودهای خمیر کربن با نانوسیم های نیکل.....
- ۱۰۹-۲-۴- نحوه اصلاح الکترودهای خمیر کربن با نانوسیم های نیکل و ترکیب نیوترال رد.....
- ۱۱۰-۲-۵- مقایسه رفتار الکتروشیمیایی الکترواد خمیر کربن، الکترواد خمیر کربن اصلاح شده با نانوسیم های نیکل (Ni NWs/CPE)، الکترواد خمیر کربن اصلاح شده با ترکیب نیوترال رد (NR/CPE) و الکترواد خمیر کربن اصلاح شده با نانوسیم های نیکل و ترکیب نیوترال رد (NR/Ni NWs/CPE) با تکنیک ولتامتری چرخه ای.....
- ۱۱۱-۲-۶- بررسی اثر زمان شناورسازی و میزان جذب ترکیب نیوترال رد بر سطح Ni NWs/CPE.....
- ۱۱۲-۲-۷- اثر pH روی رفتار الکتروشیمیایی ترکیب نیوترال رد جذب شده روی الکترواد خمیر کربن اصلاح شده با نانوسیم های نیکل.....
- ۱۱۳-۲-۸- مقایسه و بررسی میزان پایداری ترکیب نیوترال رد جذب شده روی سطح الکترواد خمیر کربن و الکترواد خمیر کربن اصلاح شده با نانوسیم های نیکل.....
- ۱۱۴-۲-۹- بررسی اثرات تغییرات سرعت روبش و محاسبه پارامترهای سرعت انتقال الکترون ناشی از ترکیب نیوترال رد جذب شده روی سطح الکترواد خمیر کربن اصلاح شده با نانوسیم های نیکل.....
- ۱۱۵-۲-۱۰- محاسبه سطح موثر الکترواد خمیر کربن اصلاح شده با نانوسیم های نیکل به صورت پخش.....
- ۱۱۶-۲-۱۱- پوشش غلظت سطحی الکترواد.....
- ۱۱۷-۲-۱۲- بررسی رفتار الکتروکاتالیتیکی ترکیب نیوترال رد جذب شده بر سطح الکترواد خمیر کربن اصلاح شده با نانوسیم های نیکل.....
- ۱۱۸-۲-۱-۱۲- احیای الکتروکاتالیتیکی  $K_2S_2O_8$ .....
- ۱۱۹-۲-۲-۱۲- بررسی اثر pH روی شدت احیای الکتروکاتالیتیکی  $K_2S_2O_8$ .....
- ۱۲۰-۲-۳-۱۲- بررسی اثر غلظت  $K_2S_2O_8$  روی واکنش احیای الکتروکاتالیزی  $K_2S_2O_8$  در سطح NR/Ni NWs/CPE.....
- ۱۲۱-۲-۴-۱۲- اثر تغییرات سرعت روبش روی احیای الکتروکاتالیتیکی  $K_2S_2O_8$  در سطح NR/Ni NWs/CPE.....
- ۱۲۲-۲-۱۳- اندازه گیری  $K_2S_2O_8$  با استفاده از NR/Ni NWs/CPE با تکنیک آمپرومتری.....

۳-۶- نتیجه گیری..... ۱۲۹

مراجع..... ۱۳۱

## فهرست شکل ها

- شکل ۲-۱: منحنی تغییرات مقدار مغناطش در ماده تحت اعمال میدان خارجی (حلقه هیستریسیس)..... ۱۲
- شکل ۲-۲: تصویر SEM نانوسیم های سیلیکونی با قطر ۵۰ نانومتر..... ۱۳
- شکل ۲-۳: مراحل ساخت نانوسیم های مولیبدن با استفاده از قالب پله ای..... ۱۶
- شکل ۲-۴: تصویر AFM نانوسیم های فلزی طلا یا پلاتین بر دیواره جانبی نانولوله تک دیواره..... ۱۷
- شکل ۲-۵: مراحل ساخت نانوسیم های نقره با استفاده از قالب DNA..... ۱۸
- شکل ۲-۶: تصویر SEM از سطح یک قالب تک بلور میکا..... ۲۰
- شکل ۲-۷: تصویر SEM از نانوسیم های طلا با قطر ۲۵۰ نانومتر که در قالب PC ساخته شده اند..... ۲۱
- شکل ۲-۸: سطح مقطع قالب NCG..... ۲۲
- شکل ۲-۹: تصویر SEM از نانوسیم های نیکل-آهن که در فیلم نانوحفرهای از PS ساخته شده اند..... ۲۳
- شکل ۲-۱۰: تصویری شماتیک از قالب AAO و سطح مقطع حفرات..... ۲۴
- شکل ۲-۱۱: تصویر AFM قالب AAO تجاری با قطر ۲۰۰ نانومتر..... ۲۵
- شکل ۲-۱۲: تصویر SEM قالب AAO حاصل آندایز یک مرحله ای فیلم آلومینیوم..... ۲۵
- شکل ۲-۱۳: تصویر SEM از سطح مقطع حفرات منظم قالب AAO پس از آندایز مرحله دوم..... ۲۷
- شکل ۲-۱۴: تصاویر SEM (سمت چپ) و تصاویر شماتیک (سمت راست) آماده سازی قالب غیر تجاری AAO (a) مرحله الکتروپولیش (b) مرحله آندایز اولیه رشد لایه اکسیدی اولیه (c) مرحله سونش لایه اکسیدی اولیه (d) مرحله آندایز ثانویه رشد لایه اکسیدی با نظم حفرهای بیشتر (e) مرحله نازک سازی لایه سدی در اسید و گسترش دادن قطر حفرات..... ۲۸
- شکل ۲-۱۵: تصویر SEM از سطح مقطع حفرات قالب غیر تجاری AAO پس از انحلال بستر آلومینیوم..... ۲۹
- شکل ۲-۱۶: تصویر شماتیک انباشت نانوسیم های ایندیوم با تزریق فشار درون قالب AAO..... ۳۰
- شکل ۲-۱۷: تصاویر SEM (a) از بالای سر (b) از کنار نانوسیم های ایندیوم انباشت شده با تزریق فشار درون قالب AAO..... ۳۰
- شکل ۲-۱۸: تصاویر SEM (a) و TEM (b) از نانوسیم های آلیاژ  $Fe_2O_3$  انباشت شده تکنیک انباشت روش سل-ژل در قالب AAO..... ۳۱
- شکل ۲-۱۹: تصویر TEM از نانوسیم های (a) و (b) پالادیوم (c) نیکل (d) مس انباشت شده تکنیک انباشت SFCD در قالب CNTs..... ۳۱
- شکل ۲-۲۰: تصویر SEM (a) از بالای سر (b) از کنار از نانوسیم های آلیاژ Ni-W-P انباشت شده تکنیک انباشت غیر الکتریکی در قالب AAO..... ۳۲
- شکل ۲-۲۱: تصویر شماتیک از سلول الکتروانباشت سه الکترودی شامل الکترود کار WE، الکترود مخالف SE و الکترود مرجع RE..... ۳۳
- شکل ۲-۲۲: تصویر SEM از نانوسیم های Ni الکتروانباشت شده به صورت متناوب در قالب AAO با قطر ۲۰ نانومتر..... ۳۴
- شکل ۲-۲۳: تصویر SEM از نانوسیم های Ni الکتروانباشت شده به روش DC در قالب AAO با قطر ۷۵ نانومتر..... ۳۵

شکل ۲-۲۴: تصویر شماتیک مبتنی بر مدل رشد کمک تحرک که نشان می‌دهد رشد نانوسیم‌ها از سطح کاتدی در لبه‌های کف حفرات است..... ۳۶

شکل ۲-۲۵: منحنی نوعی الکتروانباشت مستقیم نانوسیم‌های نیکل..... ۳۷

شکل ۲-۲۶: تصویر SEM از کلاهک نیم کرومی نیکل AAO..... ۳۸

شکل ۲-۲۷: تصویر شماتیک از مراحل انباشت نانوسیم‌های نیکل درون قالب با گذشت زمان..... ۳۸

شکل ۲-۲۸: تصویر شماتیک از سونش قالب AAO انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل و ایجاد سطح شانه مانند..... ۴۰

شکل ۲-۲۹: تصویر SEM از خوشه‌ای شدن نانوسیم‌های کبالت بر سطح قالب AAO پس از سونش جزئی قالب..... ۴۱

شکل ۲-۳۰: منحنی زمانی سونش قالب AAO (a) در سود سود ۳ مولار (b) در ۱/۸ wt اسید کرمیک و ۶ wt اسید فسفریک (c) در اسید کرمیک با غلظت‌های ۱۰ wt ، ۵ wt و ۳ wt..... ۴۲

شکل ۲-۳۱: پدیده آسمان خراش در الکتروانباشت نانوسیم‌های کبالت در قالب AAO..... ۴۳

شکل ۲-۳۲: تصویر شماتیک از مراحل الکتروانباشت نانوسیم‌های نیکل و سونش تحتانی قالب AAO پس از انباشت..... ۴۴

شکل ۲-۳۳: تصاویر SEM از نانوسیم‌های نیکل با قطر ۷۵ نانومتر خارج شده از قالب تحت سونش با سود ۲ wt در زمان‌های (a) ۱۵ ، (b) ۳۰ و (c) ۴۵ دقیقه..... ۴۴

شکل ۳-۱: تصویری شماتیک از نحوه عملکرد SEM..... ۴۹

شکل ۳-۲: تصویر شماتیک از چگونگی عملکرد AFM..... ۵۰

شکل ۳-۳: شکل نمونه‌ای از تیرک‌های (a) تخته گونه و (b) بازو مثلی..... ۵۱

شکل ۳-۴: شکل انواع سوزن (a) نوک تیز، (b) نوک شکل T، (c) نوک تخت و (d) شامل نوک کروی..... ۵۲

شکل ۳-۵: تصویر SEM قالب AAO با قطر ۱۰۰ نانومتر انباشت شده با نیکل با ولتاژ ۲/۵ ولت به مدت ۲ ساعت..... ۵۴

شکل ۳-۶: منحنی تغییرات جریان الکتروانباشت با زمان برای انباشت کوتاه مدت نانوسیم‌های نیکل با قطر ۱۰۰ نانومتر تحت ولتاژ ۲/۵ ولت در زمان ۱۲۰ دقیقه..... ۵۵

شکل ۳-۷: منحنی تغییرات جریان الکتروانباشت با زمان برای نانوسیم‌های نیکل با قطر ۲۰ نانومتر تحت ولتاژ ۲/۵ ولت در زمان ۱۲۰ دقیقه..... ۵۶

شکل ۳-۸: منحنی تغییرات جریان الکتروانباشت با زمان برای نانوسیم‌های نیکل با قطر ۲۰ نانومتر تحت ولتاژ ۲/۵ ولت در مدت زمان ۶۰۰ دقیقه..... ۵۷

شکل ۳-۹: تصویر SEM از نانوسیم‌های نیکل با قطر ۱۰۰ نانومتر انباشت شده در قالب AAO به مدت ۹۰ دقیقه..... ۵۸

شکل ۳-۱۰: تصویر SEM از فیلم نیکل ناشی از الکتروانباشت نانوسیم‌های نیکل در قالب AAO به مدت ۶۰۰ دقیقه..... ۵۸

شکل ۳-۱۱: تصویر AFM دو بعدی از قالب AAO (۲۰ نانومتری انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل به روش بلند مدت) پس از انحلال از کف حفرات در سود ۰/۱ مولار به مدت ۴ دقیقه..... ۶۰

شکل ۳-۱۲: تصویر AFM سه بعدی از قالب AAO (۲۰ نانومتری انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل به روش بلند مدت) پس از انحلال از کف حفرات در سود ۰/۵ مولار به مدت ۴ دقیقه..... ۶۰

شکل ۳-۱۳: تصویر AFM دو بعدی از قالب AAO (۲۰ نانومتری انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل به روش بلند مدت) پس از انحلال از کف حفرات در سود ۰/۵ مولار به مدت ۱ دقیقه..... ۶۱

شکل ۳-۱۴: تصویر AFM سه بعدی از قالب AAO (۲۰ نانومتری انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل به روش بلند مدت) پس از انحلال از کف حفرات در سود ۰/۵ مولار به مدت ۶ دقیقه..... ۶۲

شکل ۳-۱۶: تصویر AFM دو بعدی از قالب AAO (۲۰ نانومتری انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل به روش بلند مدت) پس از انحلال از کف حفرات در سود ۰/۵ مولار به مدت ۷ دقیقه..... ۶۳

شکل ۳-۱۷: تصویر AFM دو بعدی از قالب AAO (۲۰ نانومتری انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل به روش بلند مدت) پس از انحلال از کف حفرات در سود ۰/۵ مولار به مدت ۸ دقیقه..... ۶۳

شکل ۳-۱۸: تصویر SEM از قالب AAO (۱۰۰ نانومتری انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل به روش بلند مدت) پس از انحلال از کف حفرات در سود ۰/۵ مولار به مدت ۴ دقیقه..... ۶۴

شکل ۳-۱۹: تصویر SEM از قالب AAO (۱۰۰ نانومتری انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل به روش بلند مدت) پس از انحلال از کف حفرات در سود ۰/۵ مولار به مدت ۶ دقیقه..... ۶۵

شکل ۴-۱: المان‌های سازنده‌ی یک زیست حسگر..... ۶۸

شکل ۴-۲: اعمال ولتاژ موج مثلثی به سطح الکتروود حین ولتاموگرام چرخه‌ای..... ۷۴

شکل ۴-۳: تصویر نوعی یک ولتاموگرام چرخه‌ای..... ۷۵

شکل ۴-۴: تصویر شماتیک از لایه دوگانه شامل (۱) IHP، (۲) OHP، (۳) لایه پخشی، (۴) یون‌های محلول، (۵) یون‌های جذب شده بصورت اختصاصی و (۶) مولکول‌های حل شده است..... ۷۶

شکل ۴-۵: تصویر نوعی یک آمپرومتر..... ۷۹

شکل ۵-۱: (a) ساختار FAD و (b) واکنش انتقالی الکترونی FAD..... ۸۲

شکل ۵-۲: تصویر SEM از قالب AAO بعد از انباشت داراز مدت نانوسیم‌های نیکل و پولیش لایه طلا پشت قالب..... ۸۵

شکل ۵-۳: مراحل ساخت الکتروود اصلاح شده به صورت شماتیک (۱) تهیه قالب AAO، (۲) الکتروانباشت داراز مدت نانوسیم‌های نیکل در قالب AAO، (۳) پولیش طلای پشت قالب، (۴) قرار دادن قالب انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل بر بستر الکتروود خمیر کربن، (۵) سونش جزئی قالب AAO با اسید فسفریک و اسید کرومیک و ایجاد سطح شانه مانند از نانوسیم‌های نیکل، (۶) اصلاح سطح شانه مانند نانوسیم‌های نیکل با FAD..... ۸۶

شکل ۵-۴: مقایسه ولتاموگرام‌های CPE (a)، (b) Ni NWs/CPE و (c) FAD/Ni NWs/CPE در شرایط بافری pH=۲ و سرعت روبش ۲۰ میلی ولت بر ثانیه..... ۸۷

شکل ۵-۵: ولتاموگرام‌های FAD/Ni NWs/CPE به ترتیب از جهت بیرون به درون، بعد از دو سیکل، ۱۰۰ سیکل و ۱۵۰ سیکل در pH=۲ و سرعت روبش ۲۰ میلی ولت بر ثانیه..... ۸۸

شکل ۵-۶: (A) ولتاموگرام‌های سطح FAD/Ni NWs/CPE به ترتیب از راست به چپ در pHهای ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ و (B) دیاگرام جانبی تغییرات پتانسیل‌ها بر حسب pH برای سطح FAD/Ni NWs/CPE با سرعت روبش ۲۰۰ میلی ولت بر ثانیه را نشان می‌دهد..... ۹۰

شکل ۵-۷: ولتاموگرام‌های چرخه‌ای سطح FAD/Ni NWs/CPE در سرعت روبش های ۱۰ تا ۱۰۰ میلی ولت بر ثانیه را در بافر با pH=۲ به ترتیب از داخل به بیرون را نشان می‌دهد..... ۹۱

شکل ۵-۸: دیاگرام تغییرات جریان با سرعت روبش برای سطح FAD/Ni NWs/CPE شکل در بافر با pH=۲ نشان داده شده است..... ۹۲

شکل ۵-۹: دیاگرام‌های تغییرات جریان با جذر سرعت روبش برای سطح FAD/Ni NWs/CPE شکل در بافر با pH=۲ نشان داده شده است..... ۹۳

شکل ۵-۱۰: دیاگرام تغییرات  $\Delta E$  پیک های آندی و کاتدی بر حسب لگاریتم سرعت روبش برای سطح اصلاح شده ی FAD/Ni NWS/CPE شکل در بافر  $\text{pH}=2$  نشان داده شده است..... ۹۳

شکل ۵-۱۱: (A) ولتاموگرام های سطح اصلاح شده Ni NWS/CPE به ترتیب در سرعت های روبش ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ میلی ولت بر ثانیه (B) دیاگرام جریان بر حسب مجذور سرعت روبش در محلول بافر با  $\text{pH}=2$  شامل  $0.02$  مولار از فروسیانید پتاسیم..... ۹۵

شکل ۵-۱۲: (A) ولتاموگرام های (a) سطح CPE در عدم حضور  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  و (b) سطح CPE در حضور محلول  $1$  میلی مولار  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ؛ ولتاموگرام های سطح اصلاح شده (c) Ni NWS/CPE، در عدم حضور  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  و (d) در حضور محلول  $1$  میلی مولار  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ . (B) ولتاموگرام های (e) مربوط به سطح اصلاح شده FAD/ Ni NWS/CPE در عدم حضور  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  و (f) در حضور محلول  $1$  میلی مولار  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ . تمام ولتاموگرام ها در بافر  $\text{pH}=2$  و با سرعت روبش  $20$  (mV/S) رسم شده اند..... ۹۷

شکل ۵-۱۳: (A) ولتاموگرام های سطح اصلاح شده FAD/Ni NWS/CPE در محیط بافری با  $\text{pH}$  های مختلف از  $2$  تا  $9$  (به ترتیب از راست به چپ) در حضور  $1$  میلی مولار  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  و سرعت روبش  $20$  میلی ولت بر ثانیه. (B) دیاگرام تغییرات جریان کاتالیتیکی با تغییرات  $\text{pH}$  در حضور  $1$  میلی مولار  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  و با سرعت روبش  $20$  میلی ولت بر ثانیه را نشان می دهد..... ۹۹

شکل ۵-۱۴: (A) ولتاموگرام های سطح اصلاح شده FAD/Ni NWS/CPE رسم شده در شرایط بافری  $\text{pH}=2$  در سرعت روبش  $20$  میلی ولت بر ثانیه. ولتاموگرام (a) در عدم حضور آنالیت و باقی ولتاموگرام ها مربوط به دفعات تزریق  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  هر دفعه  $1$  میلی مولار در محیط است (B) دیاگرام بیان کننده تغییرات جریان با افزایش دفعات تزریق  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  در محیط با شرایط بافری  $\text{pH}=2$  در سرعت روبش  $20$  میلی ولت بر ثانیه..... ۱۰۰

شکل ۵-۱۵: (A) ولتاموگرام های سطح اصلاح شده FAD/Ni NWS/CPE در بافر  $\text{pH}=2$  و سرعت روبش  $10$ ،  $15$ ،  $20$ ،  $30$ ،  $40$ ،  $50$ ،  $60$ ،  $70$ ،  $80$ ،  $90$  و  $100$  میلی ولت بر ثانیه از داخل به خارج در محلول  $20$  میکرومولار  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ . (B) دیاگرام جریان بر حسب مجذور سرعت روبش (C) دیاگرام تغییرات لگاریتم جریان بر حسب تغییرات پتانسیل در  $\text{pH}=2$  و سرعت روبش  $20$  میلی ولت بر ثانیه برای سطح اصلاح شده FAD/Ni NWS/CPE..... ۱۰۱

شکل ۵-۱۶: نمودار رسم شده توسط آندره و ساوینت برای تعیین ثوابت a و b برای محاسبه ثابت سرعت کاتالیتیکی..... ۱۰۳

شکل ۵-۱۷: (A) آمپروگرام سطح FAD/Ni NWS/CPE با هر بار تزریق  $100$  میکرو مولار از محلول پرسولفات با سرعت چرخش  $1000$  دور بر دقیقه در محلول بافر  $0.1$  مولار فسفات در  $\text{pH}=2$  و در پله پتانسیل  $170$ - میلی ولت. (B) منحنی های کالیبراسیون برای آمپروگرام (A). (C) آمپروگرام رسم شده در حضور  $2$  میلی مولار از محلول پرسولفات..... ۱۰۴

شکل ۵-۱۸: آمپروگرام سطح FAD/Ni NWS/CPE با هر بار تزریق  $0.1$  میکرو مولار از محلول پرسولفات با سرعت چرخش  $1000$  دور بر دقیقه در محلول بافر  $0.1$  مولار فسفات در  $\text{pH}=2$  و در پله پتانسیل  $170$ - میلی ولت. (B) منحنی های کالیبراسیون برای آمپروگرام (A)..... ۱۰۵

شکل ۶-۱: ساختار شیمیایی مونومر NR..... ۱۰۸

شکل ۶-۲: تصویر SEM از شبکه نانو سیمی ایجاد شده با الکتروانباشت PNR بر سطح الکتروود پلاتین..... ۱۰۸

شکل ۶-۳: تصویر SEM از نانوسیم های نیکل پخش شده در محلول متانول..... ۱۱۱

شکل ۶-۴: ولتاموگرام های سطح CPE اصلاح شده با نانوسیم های نیکل بدون حضور قالب AAO در محلول سود با غلظت  $0.05$  مولار با به ترتیب از سمت بیرون به داخل به ترتیب بعد از  $2$ ،  $30$  و  $50$  سیکل در سرعت روبش  $50$  میلی ولت بر ثانیه..... ۱۱۲

شکل ۶-۵: مراحل ساخت الکتروود اصلاح شده به صورت شماتیک (۱) تهیه قالب AAO، (۲) الکتروانپاشی کوتاه مدت نانوسیم های نیکل در قالب AAO، (۳) پولیش طلای پشت قالب، (۴) انحلال کامل قالب AAO با سود و پخش کردن نانوسیم های نیکل در محلول اتانول، (۵) اصلاح سطح الکتروود خمیر کربن با نانوسیم های نیکل (۶) اصلاح سطح شانه مانند نانوسیم های نیکل با نیوترال رد.....۱۱۳

شکل ۶-۶: (A) مقایسه ولتاموگرام های (a) الکتروود خمیر کربن (b) سطح اصلاح شده Ni NWs/CPE و (c) سطح اصلاح شده NR/Ni NWs/CPE. (B) مقایسه ولتاموگرام های (a) الکتروود خمیر کربن (d) سطح اصلاح شده NR/CPE در شرایط بافری  $pH=2$  و سرعت روبش ۲۰ میلی ولت بر ثانیه .....۱۱۴

شکل ۶-۷: (A) ولتاموگرام های NR/Ni NWs/CPE در  $pH$  های ۱، ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ به ترتیب از راست به چپ، (B) تغییرات پتانسیل ها با افزایش  $pH$  برای NR/Ni NWs/CPE و (C) تغییرات جریان پیک ها با  $pH$  برای NR/Ni NWs/CPE با سرعت روبش ۱۰۰ میلی ولت بر ثانیه.....۱۱۶

شکل ۶-۸: A و B ولتاموگرام های الکتروود های اصلاح شده به ترتیب NR/Ni NWs/CPE و NR/CPE و بعد از دو سیکل (بیرون) و بعد از صد سیکل (درون) در  $pH=2$  و سرعت روبش ۲۰ میلی ولت بر ثانیه.....۱۱۸

شکل ۶-۹: ولتاموگرام های چرخه ای NR/Ni NWs/CPE در سرعت روبش های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ میلی ولت بر ثانیه به ترتیب از درون به بیرون در بافر  $pH=2$ .....۱۱۹

شکل ۶-۱۰: دیاگرام تغییرات جریان با سرعت روبش برای NR/Ni NWs/CPE الکتروود در بافر  $pH=2$  نشان داده شده است.۱۱۹

شکل ۶-۱۱: دیاگرام های تغییرات جریان با جذر سرعت روبش برای NR/Ni NWs/CPE در بافر  $pH=2$  نشان داده شده است.۱۲۰

شکل ۶-۱۲: دیاگرام تغییرات  $\Delta E$  پیک آندی و کاتدی با لگاریتم سرعت روبش برای NR/Ni NWs/CPE در بافر  $pH=2$  نشان داده شده است.....۱۲۰

شکل ۶-۱۳: (A) ولتاموگرام های سطح اصلاح شده Ni NWs/CPE به ترتیب در سرعت روبش های ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ میلی ولت بر ثانیه (B) دیاگرام جریان بر حسب مجذور سرعت روبش در محلول بافر  $pH=7$  شامل  $0.02$  مولار از فروسیانید پتاسیم.....۱۲۱

شکل ۶-۱۴: (A) مقایسه ولتاموگرام های سطح CPE a در عدم حضور  $K_2S_2O_8$  و b در حضور  $K_2S_2O_8$ ، ولتاموگرام های سطح اصلاح شده Ni NWs/CPE، c در عدم حضور  $K_2S_2O_8$  و d در حضور  $K_2S_2O_8$  و سطح اصلاح شده NR/Ni NWs/CPE، e در عدم حضور  $K_2S_2O_8$  و f در حضور  $K_2S_2O_8$ . (B) مقایسه ولتاموگرام های سطح اصلاح شده NR/Ni NWs/CPE، c در عدم حضور  $K_2S_2O_8$  و d در حضور  $K_2S_2O_8$  و ولتاموگرام های سطح اصلاح شده NR/CPE، a در عدم حضور  $K_2S_2O_8$  و b' در حضور  $K_2S_2O_8$ ، تمام ولتاموگرام ها در بافر  $pH=2$  و با سرعت روبش (mV/S) ۲۰ و غلظت  $K_2S_2O_8$  بکار رفته ۲ میلی مولار رسم شده اند.....۱۲۲

شکل ۶-۱۵: (A) ولتاموگرام های سطح اصلاح شده NR/Ni NWs/CPE در محیط بافری با  $pH$  های فرد از ۱ تا ۹ به ترتیب از راست به چپ، در حضور ۱ میلی مولار  $K_2S_2O_8$  و با سرعت روبش ۲۰ میلی ولت بر ثانیه. (B) دیاگرام تغییرات جریان کاتالیتیکی با تغییرات  $pH$  برای NR/Ni NWs/CPE در محیط از  $pH$  های ۱ تا ۱۰.....۱۲۴

شکل ۶-۱۶: (A) ولتاموگرام های سطح اصلاح شده NR/Ni NWs/CPE رسم شده در شرایط بافری  $pH=2$  در سرعت روبش ۲۰ میلی ولت بر ثانیه. ولتاموگرام a در عدم حضور آنالیت و باقی ولتاموگرام ها مربوط به دفعات تزریق  $K_2S_2O_8$  هر دفعه ۱ میلی مولار در محیط است. شکل (B) دیاگرام بیان کننده تغییرات جریان با افزایش غلظت  $K_2S_2O_8$  مربوط به ولتاموگرام های قسمت (A) است.....۱۲۵

شکل ۶-۱۷: (A) ولتاموگرام‌های NR/Ni NWS/CPE رسم شده در شرایط بافری  $\text{pH} = 2$  در سرعت روبش ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ میلی ولت بر ثانیه در محلول ۰/۰۵ میلی مولار  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ . (B) دیاگرام جریان بر حسب مجذور سرعت روبش (C) دیاگرام های تغییرات لگاریتم جریان بر حسب تغییرات پتانسیل در  $\text{pH} = 2$  در سرعت روبش ۲۰ میلی ولت بر ثانیه برای NR/Ni NWS/CPE است..... ۱۲۶

شکل ۶-۱۸: (A) آمپروگرام NR/Ni NWS/CPE با هر بار تزریق ۱ میلی مولار از محلول پرسولفات با سرعت چرخش ۱۰۰۰ دور بر دقیقه در محلول بافر ۰/۱ مولار فسفات در  $\text{pH} = 2$  و در پله پتانسیل ۰/۲- ولت. (B) منحنی های کالیبراسیون برای آمپروگرام (A). (C) آمپروگرام رسم شده در حضور ۵ میلی مولار از محلول پرسولفات..... ۱۲۸

شکل ۶-۱۹: آمپروگرام NR/Ni NWS/CPE با هر بار تزریق ۰/۱ میکرو مولار از محلول پرسولفات با سرعت چرخش ۱۰۰۰ دور بر دقیقه در محلول بافر ۰/۱ مولار فسفات در  $\text{pH} = 2$  و در پله پتانسیل ۰/۲- ولت. (B) منحنی های کالیبراسیون برای آمپروگرام (A)..... ۱۲۹

## فهرست جداول

جدول ۱-۲: تاثیر شرایط آندایز بر قطر و چگالی حفرات در قالب AAO..... ۲۶

جدول ۱-۳: خلاصه‌ای از جزییات الکتروانباشت نانوسیم‌های نیکل به روش DC در قالب‌های AAO، NCG و PC..... ۴۶

جدول ۲-۳: جزییات مربوط به ساخت نانوسیم‌های نیکل با استفاده از قالب AAO تحت الکتروانباشت کوتاه مدت..... ۵۳

جدول ۳-۳: جزییات مربوط به ساخت نانوسیم‌های نیکل با استفاده از قالب AAO تحت الکتروانباشت بلند مدت..... ۵۷

جدول ۳-۴: نتایج حاصل از بررسی زمانی سونش تحتانی قالب AAO با سود ۰/۵ مولار..... ۶۱

جدول ۱-۴: استفاده از نانوسیم‌ها در اصلاح سطح الکتروود و نتایج الکتروکاتالیز با آنها..... ۷۱

جدول ۱-۶: مقایسه ویژگی‌های ولتاموگرام‌های حاصل از احیای نیوترال رد جذب شده، روی الکترودهای CPE و NWS/CPE..... ۱۱۵



## فصل اول

### مقدمه

#### ۱-۱ - مقدمه

فناوری نانو ما را قادر می‌سازد تا از طریق کنترل مواد در مقیاس اتمی و مولکولی، مواد، ابزارها و سیستم‌های مفیدی را تولید نموده و از ویژگی‌ها و پدیده‌های جدیدی بهره‌مند شویم. با توجه به وابستگی بیشتر حسگرهای شیمیایی، زیستی و فیزیکی به برهم‌کنشی که در این سطح اتفاق می‌افتد، تاثیر فن‌آوری نانو به ساخت و عملکرد بهینه حسگرها با کارایی بالا و در حجم کم روشن است.

تمایل به مقیاس‌های کوچک‌تر با کوچک‌سازی در روش‌های ماکرو آغاز شد و منجر به فناوری میکرو گردید که در حال حاضر کاملاً متداول شده است. فناوری میکروالکترونیکی، نوری و مکانیکی همگی از مزایای حسگرهای مینیاتوری به صورت هوشمندتر و ارزان‌تر است که نتیجه کار بر روی فیبرهای نوری و سیستم‌های میکروالکترومکانیکی هستند.

با پیشرفت کار به وسیله این واحدهای ساختمانی بسیار کوچک، میان فن‌آوری نانو، فناوری زیستی و فناوری اطلاعات همگرایی بوجود آمده و از پیشرفت‌های هم بهره‌مند شده‌اند. اندازه کوچکتر منجر به وزن کمتر، مصرف انرژی پایین‌تر، حساسیت بیشتر و عملکرد گزینشی حسگرها و بیوحسگرها می‌گردد و این‌ها تنها برخی از تاثیرات فناوری نانو بر حسگرها هستند. نانوحسگرها و حسگرهای توانمند شده با فن‌آوری نانو،

کاربردهای مختلفی در صنایع گوناگون مانند حمل و نقل، ارتباطات، پزشکی، سلامتی و ایمنی ملی (شامل دفاع ملی و عملیات نظامی) دارند.

تمایل جهانی به فن آوری نانو حاصل پیشرفت‌های ایجاد شده در اواخر قرن بیستم است. از مهمترین این پیشرفت‌ها می‌توان به توانایی دستکاری اتم‌هایی منفرد به شکلی کنترل شده، به صورت نوعی ساختمان سازی با اتم‌ها توسط روش‌هایی مانند میکروسکوپ روبشی پیمایشگر، خودآرایی مولکولی با DNA، انباشت درون قالب‌های نانوحفره‌ای اشاره کرد. سطح بالای یکپارچگی ایجاد شده توسط فناوری نانو موجب تبدیل اساسی مواد در سازه‌هایی بسیار هوشمند همراه خواص مفید و جدید در مقیاس اتمی و مولکولی ناشی از اثرات سطحی و کوانتومی است. از میان این حسگرها می‌توان به حسگرهای نانوسیمی که مواد شیمیایی و زیستی را تشخیص می‌دهند اشاره کرد.

با توجه به لزوم استفاده از نانو ساختارها در اصلاح سطح الکترودها، در این پایان‌نامه تلاش شده تا با استفاده از نانوسیم‌ها سطح حسگرها و بیوحسگرهای الکتروشیمیایی اصلاح شده و بیوحسگری با حساسیت و دقت بالا و پایداری بیشتری ساخته شود. سپس از آن در آشکارسازی یون پرسولفات به عنوان یک ترکیب موجود در ساختار داروها، رنگ مو، چسب‌ها و ... استفاده شده است.

با توجه به اینکه روش‌های ساخت پایین به بالا از روش‌های ساخت بالا به پایین (شامل لیتوگرافی با نانو خودکارها و لیزر) در خلق نانو ساختارها مقرون بصره‌تر و کنترل پذیرتر است، از روش سنتز با استفاده از قالب به عنوان یکی از روش‌های ساخت پایین به بالا برای ساخت نانوسیم‌ها بهره گرفته شده است.

استحکام شیمیایی و حرارتی قالب آلومینای آندی موجب شده که به عنوان گزینه مناسبی برای ساخت نانوسیم‌ها در حسگرها و بیوحسگرها مورد توجه قرار گیرد. این قالب امکان کنترل بیشتر در کیفیت و ابعاد نانوسیم‌ها را فراهم می‌کند.

با توجه به عملکرد موفق نانو ساختارهای نیکل در حفظ فعالیت زیستی بیومولکول‌ها و پایداری سطح الکتروود در محیط‌های بیولوژیکی و شیمیایی، نانوسیم‌های نیکل با استفاده از روش الکتروانباشت در قالب آلومینای آندی ساخته شدند.

این پایان‌نامه در شش فصل ارائه می‌شود. فصل دوم شامل معرفی فناوری نانو، نانو ساختارها به ویژه نانوسیم‌ها، خواص متمایز کننده نانوسیم‌ها از سیم‌های ماکروسکوپی، روش‌های ساخت نانوسیم‌ها، معرفی

روش‌های مبتنی بر قالب در ساخت نانوسیم‌ها، روش‌های انباشت درون قالب‌ها به ویژه روش الکتروانباشت و بکارگیری روش‌های سونش ملایم برای خارج ساختن جزیی و کنترل شده نانوسیم‌ها از قالب آلومینای آندی است.

در فصل سوم روند تجربی طی شده برای ساخت نانوسیم‌های نیکل با روش الکتروانباشت مستقیم در قالب آلومینای تجاری و نیز پیشینه این روش در ساخت نانوسیم‌های نیکل ارائه شده است. سپس بررسی‌های تجربی سونش ملایم قالب آلومینای انباشت شده با نانوسیم‌های نیکل ارائه شده است.

فصل چهارم شامل معرفی حسگرها و بیوحسگرها، ویژگی‌ها و مزایای حسگرهای الکتروشیمیایی، لزوم اصلاح سطح الکترودها با واسطه‌های شیمیایی و نانو ساختارها به ویژه نانوسیم‌ها و نیز پیشینه استفاده از نانوسیم‌ها در حسگرهای الکتروشیمیایی و معرفی تکنیک ولتاموگرام چرخه‌ای و آمپرومتری است.

در فصل پنجم روند انجام آزمایشات مربوط به اصلاح الکتروود خمیر کربن با نانوسیم‌های نیکل و ترکیب فلاوین آدنین دی‌نوکلئوتید، مطالعات الکتروشیمیایی الکتروود اصلاح شده با تکنیک آمپرومتری و ولتاموگرام چرخه‌ای در کاتالیز یون پرسولفات گزارش و نتایج آزمایشگاهی ارائه شده است.

فصل ششم شامل روند تجربی اصلاح الکتروود خمیر کربن با نانوسیم‌های نیکل و ترکیب نیوترال رد ارائه شده است. سپس مطالعات الکتروشیمیایی الکتروود اصلاح شده با تکنیک آمپرومتری و ولتاموگرام چرخه‌ای در کاتالیز یون پرسولفات گزارش شده و در پایان نتایج آزمایشگاهی ارائه شده اند.

## فصل دوم

### خواص، کاربردها و روش‌های

### ساخت نانوسیم‌ها

#### ۲-۱- مقدمه‌ای بر فناوری نانو

نانو از یک کلمه یونانی (به معنای چیزی کوچکتر از اندازه معمولی) گرفته شده و یکی از پیشوندهای مقیاس اندازه گیری در سیستم SI به معنای یک میلیاردم واحد آن مقیاس است. به عبارتی یک نانومتر معادل یک میلیاردم متر است. موضوع این علم به حوزه‌ای مربوط می‌شود که با موادی با اندازه یک الی ۱۰۰ نانومتر سروکار دارد و شامل مطالعات نظری و نیز طراحی و ساخت مواد و ساختارهایی است که دارای حداقل یک بعد به اندازه ۱۰۰ نانومتر یا کمترند.

قدمت نانو تکنولوژی و حضور آن در طبیعت به ابتدای خلقت در اولین شیوه حیات در موجودات تک سلولی باز می‌گردد. ایده اولیه فن‌آوری نانو توسط فایمن<sup>۱</sup> در سال ۱۹۵۹ ارائه شد. اما از زمانی که بشر به تولید مواد نانو ساختار و کاربرد آن در زمینه‌های مختلف ابراز علاقه نموده بیش از چند دهه نمی‌گذرد. با این حال برای اولین بار کلمه نانو تکنولوژی توسط یک محقق ژاپنی به نام نوریو تانی گوجی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۷۴ ابداع شد. بسیاری از ایده‌های فایمن از قبیل تهیه رنوشت الکترونیکی از کتب، تولید میکروسکوپ‌های الکترونی بسیار قوی و یا ساخت کامپیوترهای فوق‌العاده کوچک اکنون تا حدود زیادی بوقوع پیوسته است.

---

<sup>1</sup>Feynman

<sup>2</sup>Norio Taniguchi