

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی



IMAM KHOMEINI  
INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده علوم پایه

# سنتر، تعیین مشخصات و کاربرد میکرو و نانوذرات اکسیدروی در تخریب فتوکاتالیستی رنگ‌های آزو

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی تجزیه

پژوهش و تدوین:

بهناز رحمانی

اساتید راهنما:

دکتر مجید سلیمانی

دکتر محمدرضا خانمحمدی خرمی

اسفند ۱۳۹۲

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی



IMAM KHOMEINI  
INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده علوم

گروه شیمی

# سنتر، تعیین مشخصات و کاربرد میکرو و نانو ذرات اکسید روی در تخریب فتوکاتالیستی رنگ های آزو

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی تجزیه

پژوهش و تدوین: بهناز رحمانی

اساتید راهنما:

دکتر مجید سلیمانی

دکتر محمدرضا خانمحمدی خرمی

استاد مشاور:

دکتر میر محمد علوی نیکجه

اسفند ۱۳۹۲



## تقدیم به مادر عزیزم

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودش که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب بزرگش که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهش به شجاعت می‌گراید،

و به پاس محبت‌های بی‌دریغش که هرگز فروکش نمی‌کند.

## تقدیر و تشکر

شکر و سپاس خدا را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست.

سپاس فراوان تقدیم به استاد ارجمند، جناب آقای دکتر سلیمانی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی به راهنمایی اینجانب پرداختند. همچنین از استاد گرامی، جناب آقای دکتر خانمحمدی که در سمت استاد راهنمای دوم، از محضر علم و اخلاقشان کسب فیض نموده ام، تقدیر و تشکر می‌نمایم. از خداوند متعال برای آن‌ها، آرزوی سلامتی و توفیق روزافزون مسلت می‌نمایم.

سپاس بیکران بر مهدلی و همراهی و همگامی مادر دلسوز و مهربانم که سجده‌ی ایشان کل محبت را در وجودم پروراند و دامن کمربارش لحظه‌های مهربانی را به من آموخت. و سپاس فراوان تقدیم به خواهران عزیزم که همواره در طول تحصیل متحمل زحمت بودند و وجودشان مایه‌ی دلگرمی من می‌باشد.



دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

معاونت آموزشی - مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم تاییدیه هیأت داوران جلسه دفاع از پایان‌نامه/رساله

بدین وسیله گواهی میشود جلسه دفاعیه از پایان‌نامه کارشناسی ارشد بهنام رحمانی دانشجوی رشته شیمی گرایش تجزیه تحت عنوان سنتز، تعیین مشخصات و کاربرد میکرو و نانوذرات اکسید روی در تخریب فتوکاتالیستی رنگ‌های آزو در تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۱۰ در دانشگاه برگزار گردید و این پایان‌نامه با نمره به عدد ۱۹/۵ و به حروف نوزده و نیم با درجه عالی مورد تایید هیئت داوران قرار گرفت.

| ردیف | سمت                    | نام و نام خانوادگی         | مرتبیه دانشگاهی | دانشگاه یا مؤسسه                   | امضا |
|------|------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------------|------|
| ۱    | استاد راهنمای اول      | دکتر مجید سلیمانی          | دانشیار         | دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) |      |
| ۲    | استاد راهنمای دوم      | دکتر محمدرضا خانمحمدی خرمی | استاد           | دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) |      |
| ۳    | استاد مشاور            | دکتر میرمحمد علوی نیکجه    | دانشیار         | دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) |      |
| ۴    | داور داخلی             | دکتر زهرا منصف             | استادیار        | دانشگاه پیام نور قزوین             |      |
| ۵    | نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر الیاس شیوانیان        | استادیار        | دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) |      |



### تجدیدنامه اصالت اثر

اینجناب بهناز رحمانی دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد در رشته شیمی گرایش تجزیه که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۱۰ از پایان نامه خود تحت عنوان سنتز، تعیین مشخصات و کاربرد میکرو و نانوذرات اکسیدروی در تخریب فتوکاتالیستی رنگ‌های آزو با کسب درجه عالی دفاع کرده‌ام، شرعا و قانونا متعهد می‌شوم:

۱. مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل تحقیق و مطالعه اینجناب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و غیره استفاده کرده‌ام، با رعایت کامل امانت، مطابق مقررات، اقدام به ارجاع در متن و ذکر آن در فهرست منابع و مآخذ نموده‌ام.
  ۲. تمامی یا بخشی از این پایان نامه قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی به سایر دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.
  ۳. مقالات مستخرج از این پایان نامه کاملا حاصل کار اینجناب بوده و از هرگونه جعل داده و یا تغییر اطلاعات پرهیز کرده‌ام.
  ۴. از ارسال همزمان و یا تکراری مقالات مستخرج از این پایان نامه (با بیش از ۳ درصد همپوشانی) به مجلات و یا همایش‌های گوناگون خودداری نموده و می‌نمایم.
  ۵. کلیه حقوق مادی و معنوی حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) بوده و متعهد می‌شوم هرگونه بهره‌مندی و یا 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. در صورت اثبات تخلف و نقض موارد پنجگانه فوق (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) از درجه اعتبار ساقط و اینجناب هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.
- نام و نام خانوادگی دانشجو: بهناز رحمانی



## سوگندنامه دانش آموختگان کارشناسی ارشد 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 کارشناسی ارشد 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 در این 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 اینکه از خداوند علیم توفیق بندگی و پای بندی به مفاد این سوگندنامه را خواستارم و از اومی خواهم که مرا در ایفای رسالت علمی و انسانی خویش موفق بدارد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: بهناز رحمانی





### مجوز بهره برداری از پایان نامه / رساله

عنوان پایان نامه / رساله : نام و نام خانوادگی دانشجو:

سنتز، تعیین مشخصات و کاربرد میکرو و نانوذرات اکسید روی در تخریب فتوکاتالیستی رنگ‌های آزو بهناز رحمانی

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، بلامانع 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 باشند.

نام استاد و یا اساتید راهنما:

تاریخ:

۹۳، ۱، ۲۰

امضاء:

## چکیده

در این پژوهش، میکرو و نانو ذرات اکسید روی به طور موفقیت آمیزی با استفاده از روش های ساده شیمیایی سنتز شدند. تأثیر عواملی مانند نوع عامل رسوب دهنده، نوع نمک، و حضور سورفکتانت و همچنین تغییر شرایط واکنش بر روی اندازه و ریخت شناسی ذرات اکسید روی بررسی گردید. خصوصیت سنجی ذرات با روش های XRD، SEM، FTIR و TGA انجام شد. آنالیزهای XRD و SEM نشان داد که ذرات سنتز شده اندازه های مختلفی از ۲۰ نانومتر تا ۴ میکرومتر دارند. همچنین ریخت شناسی ذرات سنتز شده شامل کروی، مداد مانند، گل مانند و شش وجهی استوانه ای با استفاده از تصاویر SEM تایید گردید. در ادامه این پژوهش تخریب فتوکاتالیستی رنگزای قرمز فعال ۱۲۰ (Reactive Red 120) با استفاده از میکرو و نانو ذرات اکسید روی تحت پرتو تابی UV مورد مطالعه قرار گرفت و اثر عوامل مختلفی مانند pH، غلظت رنگزا و مقدار کاتالیست بررسی شد. همچنین، یک مطالعه مقایسه ای بین فعالیت فتوکاتالیستی میکرو و نانو ذرات اکسید روی انجام گرفت. نتایج نشان داد که راندمان تخریب نوری با افزایش مقدار کاتالیست افزایش می یابد و رابطه معکوس با غلظت اولیه رنگ دارد و حداکثر راندمان تخریب فتوکاتالیستی رنگ قرمز فعال ۱۲۰ در محلولی با pH برابر ۱۱ بدست می آید. نتایج نشان می دهد که نانو ذرات اکسید روی در مقایسه با میکرو ذرات آن، راندمان حذف رنگ بالاتری را در شرایط یکسان دارند. نتایج کار در محلول های حقیقی نشان داد که فرایند اکسایش با استفاده از نانو ذرات اکسید روی تحت پرتو تابی UV می تواند در تصفیه پساب های حاوی آلاینده های رنگی بسیار سریع، کارآمد، اقتصادی و سازگار با محیط زیست عمل کند.

**کلیدواژه ها:** میکرو ذرات اکسید روی، نانو ذرات اکسید روی، تخریب فتوکاتالیستی، رنگ قرمز فعال ۱۲۰، پساب نساجی.

## فهرست مطالب

|         |   |    |
|---------|---|----|
| ۲.....  | فصل اول: اهمیت آب و حذف آلاینده های آن        | ۱  |
| ۲.....  | ۱-۱ آب و اهمیت آن در زندگی                    | ۲  |
| ۳.....  | ۲-۱ آلودگی آب و آلاینده های آن                | ۳  |
| ۴.....  | ۳-۱ ملاک های میزان آلودگی پساب ها و فاضلاب ها | ۴  |
| ۵.....  | ۴-۱ آلودگی آب بر اثر پساب های صنعتی           | ۵  |
| ۶.....  | ۵-۱ پساب صنایع نساجی                          | ۶  |
| ۷.....  | ۶-۱ تصفیه پساب کارخانه های نساجی و رنگرزی     | ۷  |
| ۸.....  | ۷-۱ طبقه بندی رنگ ها                          | ۷  |
| ۹.....  | ۱-۷-۱ رنگ های سنتزی                           | ۹  |
| ۱۰..... | ۲-۷-۱ رنگ های آزو                             | ۱۰ |
| ۱۱..... | ۱-۲-۷-۱ رنگ های اسیدی:                        | ۱۱ |
| ۱۱..... | ۲-۲-۷-۱ رنگ های کاتیونی (قلیایی)              | ۱۱ |
| ۱۲..... | ۳-۲-۷-۱ رنگ های پخشی                          | ۱۲ |
| ۱۲..... | ۴-۲-۷-۱ رنگ های مستقیم                        | ۱۲ |
| ۱۲..... | ۵-۲-۷-۱ رنگ های فعال                          | ۱۲ |
| ۱۳..... | ۸-۱ روش های حذف رنگ                           | ۱۳ |
| ۱۴..... | ۱-۸-۱ روش های فیزیکی                          | ۱۴ |
| ۱۴..... | ۲-۸-۱ روش های شیمیایی                         | ۱۴ |
| ۱۵..... | ۱-۲-۸-۱ انعقاد و لخته سازی                    | ۱۵ |
| ۱۶..... | ۲-۲-۸-۱ انعقاد الکتریکی                       | ۱۶ |
| ۱۶..... | ۳-۲-۸-۱ تبادل یون                             | ۱۶ |
| ۱۷..... | ۳-۸-۱ فرایندهای زیستی                         | ۱۷ |

## فهرست مطالب

|    |  |         |
|----|--|---------|
| ۱۸ | فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs):             | ۴-۸-۱   |
| ۱۹ | فرایند فتون:                                     | ۱-۴-۸-۱ |
| ۲۰ | فرایند فتوفتون:                                  | ۲-۴-۸-۱ |
| ۲۰ | فرایند UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :        | ۳-۴-۸-۱ |
| ۲۰ | فرایند سونوکافت:                                 | ۴-۴-۸-۱ |
| ۲۲ | اوزوناسیون:                                      | ۵-۴-۸-۱ |
| ۲۳ | فتوکاتالیز:                                      | ۶-۴-۸-۱ |
| ۲۵ | <b>فصل دوم: نانو فناوری و اکسید روی</b>          | ۲       |
| ۲۵ | مقدمه  | ۱-۲     |
| ۲۵ | ماکرو- میکرو- نانو ساختار                        | ۲-۲     |
| ۲۸ | تغییر خواص مواد با عبور از میکروذرات به نانوذرات | ۳-۲     |
| ۲۹ | تاریخچه ی نانو                                   | ۴-۲     |
| ۳۰ | تقسیم بندی نانو مواد                             | ۵-۲     |
| ۳۰ | ۱-۵-۲ نانو مواد صفر بعدی                         |         |
| ۳۱ | ۱-۱-۵-۲ فولرنها                                  |         |
| ۳۱ | ۲-۱-۵-۲ نانوپودرها                               |         |
| ۳۱ | ۳-۱-۵-۲ درخت سانها                               |         |
| ۳۲ | ۴-۱-۵-۲ نانو نقاط کوانتومی                       |         |
| ۳۲ | ۵-۱-۵-۲ نانوذرات                                 |         |
| ۳۲ | ۲-۵-۲ نانومواد یک بعدی                           |         |
| ۳۳ | ۱-۲-۵-۲ نانوسیمها                                |         |
| ۳۳ | ۲-۲-۵-۲ نانولولهها                               |         |
| ۳۳ | ۳-۵-۲ نانو مواد دو بعدی                          |         |

## فهرست مطالب

|    |   |
|----|---|
| ۳۴ | ..... نانو روکش‌ها ۱-۳-۵-۲                      |
| ۳۴ | ..... صفحات گرافن ۲-۳-۵-۲                       |
| ۳۴ | ..... نانو مواد سه بعدی ۴-۵-۲                   |
| ۳۵ | ..... نانو کامپوزیت ۱-۴-۵-۲                     |
| ۳۵ | ..... نانو حفره‌ها ۲-۴-۵-۲                      |
| ۳۶ | ..... روش‌های تولید نانو ذرات ۶-۲               |
| ۳۷ | ..... روش‌های سنتز نانو ساختارهای اکسید روی ۷-۲ |
| ۳۸ | ..... رسوب‌دهی شیمیایی بخار (CVD) ۱-۷-۲         |
| ۳۹ | ..... فرایند سل-ژل ۲-۷-۲                        |
| ۴۰ | ..... روش سولوترمال/هیدروترمال ۳-۷-۲            |
| ۴۰ | ..... روش اسپری پیرولیزی ۴-۷-۲                  |
| ۴۱ | ..... روش مکانیکی شیمیایی ۵-۷-۲                 |
| ۴۲ | ..... رسوب‌دهی شیمیایی ۶-۷-۲                    |
| ۴۳ | ..... سنتز احتراقی در محلول (SCS) ۷-۷-۲         |
| ۴۴ | ..... سنتز ریزموج (میکروویو) ۸-۷-۲              |
| ۴۵ | ..... میکروامولسیون ۹-۷-۲                       |
| ۴۶ | ..... میکروامولسیون هیدروترمال ۱۰-۷-۲           |
| ۴۶ | ..... روش سونو شیمیایی ۱۱-۷-۲                   |
| ۴۷ | ..... تجزیه حرارتی ۱۲-۷-۲                       |
| ۴۹ | ..... تعیین خصوصیات نانو ذرات ۸-۲               |
| ۴۹ | ..... میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۱-۸-۲      |
| ۴۹ | ..... میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری (TEM) ۲-۸-۲  |
| ۵۰ | ..... پراش اشعه ایکس (XRD) ۳-۸-۲                |
| ۵۰ | ..... اندازه‌گیری مساحت سطح مخصوص ۴-۸-۲         |

## فهرست مطالب

|    |  |
|----|--|
| ۵۱ | ۵-۸-۲ طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR).....                              |
| ۵۱ | ۶-۸-۲ آنالیز وزن سنجی حرارتی (TGA).....  |
| ۵۱ | ۹-۲ کاربرد نانوفناوری در صنعت تصفیه آب و فاضلاب.....                           |
| ۵۲ | ۱۰-۲ معرفی نانو فتوکاتالیست.....   |
| ۵۵ | ۱۱-۲ اکسید روی.....  |
| ۵۶ | ۱-۱۱-۲ خصوصیات اکسیدروی.....   |
| ۵۸ | ۲-۱۱-۲ کاربردهای اکسیدروی.....   |
| ۶۰ | ۱۲-۲ پیشینه پژوهشی حذف رنگ های آزو.....  |
|    | ۱-۱۲-۲ نمونه هایی از پژوهش های انجام شده برای حذف رنگ های آزو توسط فتوکاتالیست |
| ۶۰ | اکسیدروی.....  |
| ۶۳ | ۲-۱۲-۲ نمونه هایی از پژوهش های انجام شده برای حذف رنگزای قرمز فعال ۱۲۰.....    |
| ۶۸ | <b>۳ فصل سوم: سنتز و تعیین مشخصات میکرو و نانو ذرات اکسید روی.....</b>         |
| ۶۸ | ۱-۳ مقدمه.....   |
| ۶۹ | ۲-۳ بخش تجربی.....   |
| ۶۹ | ۱-۲-۳ دستگاهوری.....   |
| ۷۰ | ۲-۲-۳ مواد شیمیایی.....  |
| ۷۰ | ۳-۲-۳ سنتز ذرات اکسید روی.....   |
| ۷۱ | ۱-۳-۲-۳ سنتز میکروذرات اکسید روی.....  |
| ۷۳ | ۲-۳-۲-۳ سنتز نانوذرات اکسید روی.....   |
| ۷۷ | ۳-۳ بحث و تفسیر نتایج.....   |
| ۷۷ | ۱-۳-۳ تعیین مشخصات میکرو و نانو ذرات اکسید روی.....                            |
| ۷۸ | ۱-۱-۳-۳ الگوی پراش پرتو ایکس اکسید روی.....                                    |
| ۸۰ | ۲-۱-۳-۳ طیف سنجی FTIR اکسید روی.....   |

## فهرست مطالب

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| ۲-۳-۳    | تعیین مشخصات میکروذرات اکسیدروی                           | ۸۱  |
| ۱-۲-۳-۳  | آنالیز XRD میکروذرات اکسیدروی                             | ۸۱  |
| ۲-۲-۳-۳  | تصاویر SEM میکروذرات اکسیدروی                             | ۸۴  |
| ۳-۲-۳-۳  | آنالیز FTIR میکروذرات اکسیدروی                            | ۸۷  |
| ۴-۲-۳-۳  | آنالیز TGA میکروذرات اکسیدروی                             | ۸۸  |
| ۳-۳-۳    | تعیین مشخصات نانو ذرات اکسید روی                          | ۸۹  |
| ۱-۳-۳-۳  | آنالیز XRD نانوذرات اکسیدروی                              | ۸۹  |
| ۲-۳-۳-۳  | تصاویر SEM نانوذرات اکسیدروی                              | ۹۴  |
| ۳-۳-۳-۳  | آنالیز FTIR نانوذرات اکسید روی                            | ۹۹  |
| ۴-۳-۳-۳  | آنالیز TGA نانوذرات اکسیدروی                              | ۱۰۰ |
| ۴-۳      | نتیجه گیری  | ۱۰۲ |
| <b>۴</b> | <b>فصل چهارم: تخریب فتوکاتالیستی رنگزای قرمز فعال ۱۲۰</b> | ۱۰۴ |
| ۱-۴      | مقدمه   | ۱۰۴ |
| ۲-۴      | بخش تجربی   | ۱۰۵ |
| ۱-۲-۴    | دستگاهوری   | ۱۰۵ |
| ۲-۲-۴    | مواد شیمیایی  | ۱۰۶ |
| ۳-۲-۴    | ساختار رنگ قرمز فعال ۱۲۰                                  | ۱۰۶ |
| ۴-۲-۴    | مطالعه رفتار جذبی رنگزای قرمز فعال ۱۲۰                    | ۱۰۷ |
| ۵-۲-۴    | روش تهیه محلول های مورد استفاده                           | ۱۰۸ |
| ۶-۲-۴    | طراحی فتوراکتور مورد استفاده برای آزمایش های فتوکاتالیستی | ۱۰۹ |
| ۷-۲-۴    | روش آزمایش تخریب فتوکاتالیستی رنگزای قرمز فعال ۱۲۰        | ۱۱۰ |
| ۱-۷-۲-۴  | آزمایش بررسی تأثیر pH اولیه                               | ۱۱۱ |
| ۲-۷-۲-۴  | آزمایش بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگزا                       | ۱۱۱ |

## فهرست مطالب

|     |   |
|-----|---|
| ۱۱۱ | ..... ۳-۷-۲-۴ آزمایش بررسی تأثیر مقدار کاتالیست                                   |
| ۱۱۲ | ..... ۳-۴ بحث و تفسیر نتایج   |
| ۱۱۳ | ..... ۱-۳-۴ تاثیر پارامترهای مختلف بر روی تخریب فتوکاتالیستی رنگزای قرمز فعال ۱۲۰ |
| ۱۱۳ | ..... ۱-۱-۳-۴ بررسی تأثیر pH اولیه  |
| ۱۱۶ | ..... ۲-۱-۳-۴ بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگزا  |
| ۱۱۸ | ..... ۳-۱-۳-۴ بررسی تأثیر مقدار کاتالیست  |
| ۱۲۰ | ..... ۲-۳-۴ بررسی تغییرات طیفی رنگزای قرمز فعال ۱۲۰ در طی فرایند رنگ زدایی        |
| ۱۲۱ | ..... ۳-۳-۴ مقایسه فعالیت فتوکاتالیستی میکرو و نانوذرات اکسید روی                 |
| ۱۲۳ | ..... ۴-۳-۴ مکانیسم فرایند فتوکاتالیستی اکسید روی                                 |
| ۱۲۴ | ..... ۵-۳-۴ مطالعات معدنی سازی  |
| ۱۲۶ | ..... ۶-۳-۴ بررسی FTIR نانوذرات اکسید روی قبل و بعد از تخریب رنگ قرمز فعال ۱۲۰    |
| ۱۲۷ | ..... ۷-۳-۴ پایداری و قابلیت استفاده مجدد از فتوکاتالیست                          |
| ۱۲۸ | ..... ۴-۴ پارامترهای آماری  |
| ۱۳۰ | ..... ۵-۴ تجزیه نمونه حقیقی   |
| ۱۳۳ | ..... ۶-۴ نتیجه گیری  |
| ۱۳۴ | ..... مراجع   |



## فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) ساختار ماکرومتری ..... ۲۶
- شکل (۲-۲) میکروساختار ..... ۲۶
- شکل (۳-۲) ماده نانو ساختار ..... ۲۷
- شکل (۴-۲) شماتیک مکانیسم فتوکاتالیز ..... ۵۵
- شکل (۵-۲) ساختارهای بلوری اکسیدروی ..... ۵۷
- شکل (۱-۳) پهنای پیک در نصف ارتفاع ..... ۷۸
- شکل (۲-۳) الگوی استاندارد پراش پرتو ایکس ذرات اکسید روی ..... ۸۰
- شکل (۳-۳) طیف FTIR استاندارد اکسید روی ..... ۸۱
- شکل (۴-۳) الگوی پراش پرتو ایکس میکروذرات اکسید روی نمونه (الف) ..... ۸۲
- شکل (۵-۳) الگوی پراش پرتو ایکس میکروذرات اکسید روی نمونه (ب) ..... ۸۲
- شکل (۶-۳) الگوی پراش پرتو ایکس میکروذرات اکسید روی نمونه (ج) ..... ۸۳
- شکل (۷-۳) الگوی پراش پرتو ایکس میکروذرات اکسید روی نمونه (د) ..... ۸۳
- شکل (۸-۳) تصویر SEM میکروذرات اکسید روی نمونه (الف) ..... ۸۵
- شکل (۹-۳) تصویر SEM میکروذرات اکسید روی نمونه (ب) ..... ۸۵
- شکل (۱۰-۳) تصویر SEM میکروذرات اکسید روی نمونه (ج) ..... ۸۶
- شکل (۱۱-۳) تصویر SEM میکروذرات اکسید روی نمونه (د) ..... ۸۶
- شکل (۱۲-۳) طیف FTIR میکروذرات اکسیدروی ..... ۸۷
- شکل (۱۳-۳) طیف TG نمونه بهینه میکروذرات اکسیدروی ..... ۸۸

## فهرست اشکال

- شکل (۱۴-۳) الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید روی نمونه (الف)..... ۸۹
- شکل (۱۵-۳) الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید روی نمونه (ب)..... ۹۰
- شکل (۱۶-۳) الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید روی نمونه (ج)..... ۹۰
- شکل (۱۷-۳) الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید روی نمونه (د)..... ۹۱
- شکل (۱۸-۳) الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید روی نمونه (ه)..... ۹۱
- شکل (۱۹-۳) الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید روی نمونه (و)..... ۹۲
- شکل (۲۰-۳) الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید روی نمونه (ز)..... ۹۲
- شکل (۲۱-۳) الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید روی نمونه (ح)..... ۹۳
- شکل (۲۲-۳) الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید روی نمونه (ط)..... ۹۳
- شکل (۲۳-۳) تصویر SEM نانوذرات اکسید روی نمونه (الف)..... ۹۴
- شکل (۲۴-۳) تصویر SEM نانوذرات اکسید روی نمونه (ب)..... ۹۵
- شکل (۲۵-۳) تصویر SEM نانوذرات اکسید روی نمونه (ج)..... ۹۵
- شکل (۲۶-۳) تصویر SEM نانوذرات اکسید روی نمونه (د)..... ۹۶
- شکل (۲۷-۳) تصویر SEM نانوذرات اکسید روی نمونه (ه)..... ۹۶
- شکل (۲۸-۳) تصویر SEM نانوذرات اکسید روی نمونه (و)..... ۹۷
- شکل (۲۹-۳) تصویر SEM نانوذرات اکسید روی نمونه (ز)..... ۹۷
- شکل (۳۰-۳) تصویر SEM نانوذرات اکسید روی نمونه (ح)..... ۹۸
- شکل (۳۱-۳) تصویر SEM نانوذرات اکسید روی نمونه (ط)..... ۹۸

## فهرست اشکال

- شکل (۳-۳۲) طیف FTIR نانوذرات اکسیدروی ..... ۹۹
- شکل (۳-۳۳) طیف TG نمونه بهینه نانوذرات اکسیدروی ..... ۱۰۰
- شکل (۴-۱) ساختار شیمیایی رنگزای قرمز فعال ۱۲۰ ..... ۱۰۷
- شکل (۴-۲) طیف جذبی رنگزای قرمز فعال ۱۲۰ ..... ۱۰۸
- شکل (۴-۳) فتوراکتور مورد استفاده برای آزمایش های فتوکاتالیستی ..... ۱۰۹
- شکل (۴-۴) شماتیک فتوراکتور مورد استفاده برای آزمایش های فتوکاتالیستی ..... ۱۱۰
- شکل (۴-۵) تأثیر PH اولیه محلول بر روی راندمان حذف رنگ با استفاده از میکرو ذرات اکسید روی ..... ۱۱۵
- شکل (۴-۶) تأثیر PH اولیه محلول بر روی راندمان حذف رنگ با استفاده از نانو ذرات اکسید روی ..... ۱۱۶
- شکل (۴-۷) تأثیر غلظت اولیه رنگزا بر روی راندمان حذف رنگ با استفاده از میکرو ذرات اکسید روی ..... ۱۱۷
- شکل (۱-۱) تأثیر غلظت اولیه رنگزا بر روی راندمان حذف رنگ با استفاده از نانو ذرات اکسید روی ..... ۱۱۸
- شکل (۴-۹) تأثیر مقدار کاتالیست بر روی راندمان حذف رنگ با استفاده از میکرو ذرات اکسیدروی ..... ۱۱۹
- شکل (۴-۱۰) تأثیر مقدار کاتالیست بر روی راندمان حذف رنگ با استفاده از نانو ذرات اکسید روی ..... ۱۲۰
- شکل (۴-۱۱) تغییرات طیف فرابنفش - مرئی رنگ قرمز فعال ۱۲۰ در طی واکنش با استفاده از نانو ذرات اکسید روی ..... ۱۲۱
- شکل (۴-۱۲) مقایسه راندمان حذف رنگ با UV / نانوذرات اکسید روی، UV / میکرو ذرات اکسید روی، UV تنها و در غیاب نور UV ..... ۱۲۲
- شکل (۴-۱۳) خط سیر پیشنهاد شده برای تخریب رنگ قرمز فعال ۱۲۰ با استفاده از فتوکاتالیست اکسیدروی ..... ۱۲۵
- شکل (۴-۱۴) بررسی طیف FTIR قبل و بعد از تخریب فتوکاتالیستی ..... ۱۲۶

## فهرست اشکال

- شکل (۴-۱۵) استفاده مجدد از نانو ذرات اکسیدروی برای رنگ زدایی از رنگ قرمز فعال ۱۲۰ برای سه چرخه متوالی..... ۱۲۸
- شکل (۴-۱۶) نمودار کالیبراسیون برای تعیین غلظت رنگزای قرمز فعال ۱۲۰..... ۱۲۹
- شکل (۴-۱۷) راندمان حذف رنگ در محیط آبی و پساب با استفاده از میکرو ذرات اکسید روی..... ۱۳۱
- شکل (۴-۱۸) راندمان حذف رنگ در محیط آبی و پساب با استفاده از نانو ذرات اکسید روی..... ۱۳۲