

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۸۷/۱/۱۵۹۱۸  
۸۸-۱۲۱



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده پزشکی

رساله دکتری رشته بهداشت محیط

عنوان:

تلفیق فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم و لجن فعال در حذف رنگ  
راکتیو آبی ۱۹ و مواد آلی مرتبط با آن از فاضلاب سنتتیک نساجی

نگارش:

محمد تقی قانعیان

استاد راهنما:

دکتر عباس رضایی

اساتید مشاور:

دکتر سید جمال الدین هاشمیان

دکتر غلامرضا موسوی

۱۳۸۸ / ۱ / ۱۸

بهمن ماه ۱۳۸۷

۱۱۱۹۹۸



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای محمد تقی قانعیان رشته بهداشت محیط رساله دکتری واحدی خود را با عنوان: " تلفیق فرآیند فتوکاتالیزی دی اکسید تیتانیوم و لجن فعال در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ و مواد آلی مرتبط با آن از فاضلاب سنتتیک نساجی " در تاریخ ۸/۱۱/۸۷ 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 کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر عباس رضایی	
۲- استاد مشاور	دکتر سید جمال الدین هاشمیان	
۳- استاد مشاور	دکتر غلامرضا موسوی	
۴- استاد ناظر	دکتر سید باقر مرتضوی	
۵- استاد ناظر	دکتر حسن اصیلیان	
۶- استاد ناظر	دکتر کاظم ندافی	
۷- استاد ناظر	دکتر احمد جنیدی	
۸- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی خوانین	

آئین نامه پایان نامه (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 می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلا به طور کتبی به دفتر "دفتر نشر آثار علمی" 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 پهناشناسی محیط است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده علوم پزشکی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی دکتر عباس زاهدی، مشاوره دکتر سید جمال الدین هاشمی و از آن دفاع شده است."  
دکتر محمدرضا مرسوس

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اهداء کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

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

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداختهای بهای خسارت، دانشگاه مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می دهد 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 محمد زاهدی جانبان دانشجوی رشته پهناشناسی محیط مقطع ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی محمد زاهدی  
تاریخ امضا ۱۳۸۷/۱/۱۵

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی  
دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست های پژوهشی 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 هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی تحت عناوین پایان نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه ها/ رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هر گونه بهره برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین نامه ها و دستورالعمل های مصوب دانشگاه باشد.**

**ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشند.**  
**تبصره:** در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان نامه/ رساله نیز منتشر می شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

**ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین نامه های مصوب انجام می شود.**

**ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه ای و بین المللی حاصل از نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.**

**ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هر گونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.**

نام و نام خانوادگی  
تاریخ و امضاء

محمد رحیمی  
۹۶  
۱۵

تقدیم به:

پیشگاه مقدس حضرت ولی عصر (عج)

روح پاک و ملکوتی حضرت امام خمینی (ره) و شهیدان ایران اسلامی

مادرم به پاس مهربانی های همیشگی و پایان ناپذیرش

پدرم به پاس پشتیبانیهای دائمی اش

همسرم به پاس صبر بزرگ و همراهی و همدلی اش

فرزندانم که لحظات شیرین و کودکانه خود را اغلب بدون حضور من

سپری کردند.

و تمامی آنها که در محضرشان آموختم

## بدینوسیله

از جناب آقای دکتر عباس رضایی به پاس راهنمایی ها و حمایت های ارزنده شان از

این پژوهش

از جناب آقای دکتر سیدجمال الدین هاشمیان ، به سبب ارایه مشاوره های مفید شان

از جناب آقای دکتر غلامرضاموسوی، به سبب ارایه مشاوره های مفید شان

از جناب آقای دکتر نیما تقوی نیا ، به سبب ارایه مشاوره های مفید شان

از جناب آقای دکتر ابراهیم حاجی زاده به سبب پذیرش مشاوره آماری این پژوهش

از جناب آقای دکتر علی خوانین ، دکتر سیدباقر مرتضوی و دکتر حسن اصیلیان به

سبب لطفشان به این پژوهش

از جناب آقای مهندس اردلان سلیمانیان، آقای محمد رضا مسعود سینکی، سرکار خانم

عماری و همتی به سبب لطف و مساعدتشان در جهت تأمین تجهیزات و مواد مورد نیاز

در انجام آزمایش ها

از مدیران محترم شرکت یزدباف به سبب مساعدتشان جهت تهیه رنگ و نمونه

فاضلاب واقعی نساجی

تشکر و قدردانی مینمایم و از خداوند متعال سلامت و سربلندی این بزرگواران را

خواستارم.

## چکیده

در این تحقیق تلفیق اکسیداسیون فتوکاتالیستی دی اکسیدتیتانیوم و فرآیند بیولوژیکی لجن فعال برای حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ و مواد آلی مرتبط با آن از فاضلاب نساجی بررسی شد. نتایج نشان داد که فرآیند اکسیداسیون نوری پرتو ماوراء بنفش در شرایط قلیایی (pH ۱۱) در حالت ایده آل برای حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ است. آزمایشات فتوکاتالیستی با و بدون حضور پراکسید هیدروژن و پرسولفات پتاسیم در حضور غلظت های مختلف رنگ، دی اکسیدتیتانیوم، pH و زمان واکنش در راکتور ناپیوسته انجام و پارامترهای اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و غلظت رنگ در پساب اندازه گیری شد. فرآیندهای UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و UV/K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> نشان داد که حذف رنگ در شرایط اسیدی (pH ۳) دارای کارایی بالاتری است. سرعت واکنش حذف رنگ برای غلظت های مورد مطالعه تابع سینتیک واکنش درجه اول بوده، ثابت سرعت واکنش جهت تجزیه رنگ راکتیو آبی ۱۹ برای فرآیندهای UV-C/TiO<sub>2</sub>، UV-A/TiO<sub>2</sub>، UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، UV-UV-C/K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> و A/K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> به ترتیب ۰/۰۲۰۴، ۰/۰۰۹۸، ۰/۰۱۳۷، ۰/۰۱۴ و ۰/۲۳۷ بوده است. نتایج این مطالعه نشان داد که نمونه های فاقد مواد آلی در حضور غلظت های متفاوت پرسولفات پتاسیم و پراکسید هیدروژن دارای مقادیر مختلفی از COD هستند. در مرحله دیگری از مطالعه، با بهره برداری از راکتور فتوکاتالیستی تحت شرایط بهینه (BOD<sub>5</sub>/COD: ۰/۴۰۶)، پساب این راکتور به فرآیند بیولوژیکی لجن فعال منتقل گردید. این نتایج نشان داد که تصفیه تلفیقی فتوکاتالیستی و بیولوژیکی یک روش ممکن جهت حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ از فاضلاب مصنوعی و واقعی نساجی است. در پایان، کارایی دی اکسیدتیتانیوم تثبیت شده بر روی شیشه و خاکستر استخوان در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ بررسی گردید.

**کلمات کلیدی:** فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسیدتیتانیوم، لجن فعال، حذف رنگ، فاضلاب نساجی،

رنگ راکتیو آبی ۱۹.



## فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- طبقه بندی رنگ ها
۶	۳-۱- رنگ راکتیو آبی ۱۹
۸	۴-۱- روش های حذف رنگ
۱۳	۱-۴-۱- تصفیه فیزیکی - شیمیایی
۱۳	- جذب
۱۴	- فیلتراسیون غشایی
۱۴	- انعقاد و لخته سازی
۱۵	- فرآیندهای الکتروشیمیایی
۱۵	- ازن
۱۶	- فرآیند فنتون
۱۶	- فرآیند های فتوشیمیایی و فتوکاتالیستی
۱۸	- فرآیند فتوکاتالیز ناهمگن
۱۹	- مکانیسم فتوکاتالیزور ناهمگن
۲۰	- فرآیند فتوکاتالیزوری دی اکسید تیتانیوم
۲۲	- فاکتورهای مؤثر بر فرآیند فتوکاتالیزوری
۲۵	۱-۴-۲- تصفیه بیولوژیک
۳۰	۱-۴-۳- فرآیندهای تلفیقی
۳۳	فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده
۳۴	۱-۲- تاریخچه رنگ های نساجی
۳۵	۲-۲- انعقاد و لخته سازی
۳۵	۳-۲- فنتون
۳۶	۴-۲- UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
۳۷	۵-۲- تصفیه الکتروشیمیایی
۳۷	۶-۲- ازن زنی
۳۸	۷-۲- فرآیندهای غشایی
۳۸	۸-۲- تصفیه فتوکاتالیستی
۴۰	۹-۲- تصفیه بیولوژیک
۴۱	۱۰-۲- فرآیندهای تلفیقی

۴۵	فصل سوم: روش تحقیق
۴۶	۱-۳- مواد و وسایل مورد نیاز
۴۸	۲-۳- تعیین مشخصات رنگ راکتیو آبی ۱۹
۴۹	۳-۳- طراحی و ساخت راکتور فتوکاتالیستی
۵۰	۴-۳- طراحی و ساخت راکتور بیولوژیکی
۵۱	۵-۳- بررسی اثر تصفیه شیمیایی در حذف رنگ و COD رنگ راکتیو آبی ۱۹
۵۱	۱-۵-۳- بررسی اثر پرتو ماوراء بنفش در حذف رنگ RB19 از فاضلاب مصنوعی
۵۱	۲-۵-۳- بررسی اثر فرآیند فتوکاتالیستی $TiO_2/UV$ در حذف رنگ RB19 از فاضلاب مصنوعی
۵۲	۳-۵-۳- بررسی اثر فرآیند $UV/H_2O_2$ در حذف رنگ RB19
۵۲	۴-۵-۳- بررسی اثر فرآیند $UV/K_2S_2O_8$ در حذف رنگ RB19
۵۲	۵-۵-۳- بررسی اثر مداخله ای پراکسید هیدروژن و پرسولفات پتاسیم در آزمایش COD
۵۳	۶-۵-۳- بررسی اثر گیرنده های الکترون (پرسولفات پتاسیم و پراکسید هیدروژن) بر فرآیند فتوکاتالیستی در حذف رنگ و COD مرتبط با آن از فاضلاب مصنوعی
۵۳	۶-۳- شناسایی محصولات جانبی حاصل از تجزیه فتوکاتالیستی رنگ RB19 طی فرآیند $TiO_2/UV-C/H_2O_2$
۵۴	۷-۳- بررسی اثر فرآیند فتوکاتالیستی در حذف رنگ و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نمونه فاضلاب واقعی
۵۶	۸-۳- تثبیت دی اکسید تیتانیوم
۵۷	۱-۸-۳- تثبیت بر روی شیشه پیرکس
۵۷	۲-۸-۳- بررسی خاصیت فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی شیشه
۵۷	۳-۸-۳- طرز تهیه و آماده سازی خاکستر استخوان
۵۸	۴-۸-۳- تثبیت بر روی خاکستر استخوان
۵۹	۵-۸-۳- بررسی خاصیت فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی خاکستر استخوان
۶۰	۹-۳- تهیه نانو الیاف دی اکسید تیتانیوم
۶۰	- بررسی خاصیت فتوکاتالیستی نانو الیاف دی اکسید تیتانیوم
۶۲	۱۰-۳- تصفیه بیولوژیک پساب فرآیند فتوکاتالیستی
۶۲	- تهیه کنسرسیون میکروبی تجزیه گر پساب حاصل از تجزیه فتوکاتالیستی رنگ RB19
۶۳	- راکتور بیولوژیکی

- ۶۴ ۱۱-۳- روش های آزمایش
- ۶۴ ۱-۱۱-۳- اندازه گیری رنگ راکتیو آبی ۱۹
- ۶۴ ۲-۱۱-۳- اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)
- ۶۵ ۳-۱۱-۳- اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ( $BOD_5$ )
- ۶۶ ۴-۱۱-۳- جامدات معلق مایع مخلوط (MLSS)
- ۶۶ ۵-۱۱-۳- بررسی میکروسکوپ الکترونی و سیستم آنالیز EDX
- ۶۶ ۶-۱۱-۳- بررسی محصولات جانبی تولید شده با استفاده از GC/MS
- ۶۸ فصل چهارم: نتایج، بحث و پیشنهادات
- ۶۹ ۱-۴- تعیین مشخصات رنگ راکتیو آبی ۱۹
- ۷۴ ۲-۴- بررسی اثر تصفیه شیمیایی در حذف رنگ و COD رنگ راکتیو آبی ۱۹
- ۷۴ ۱-۲-۴- بررسی اثر پرتو ماوراء بنفش در حذف رنگ RB19 از فاضلاب مصنوعی
- ۸۰ ۲-۲-۴- بررسی اثر فرآیند فتوکاتالیستی  $TiO_2/UV$  در حذف رنگ RB19 از فاضلاب مصنوعی
- ۸۰ - بررسی اثر فرآیند فتوکاتالیستی  $TiO_2/UV-C$  در حذف رنگ RB19 از فاضلاب مصنوعی
- ۸۷ - بررسی اثر فرآیند فتوکاتالیستی  $TiO_2/UV-A$  در حذف رنگ RB19 از فاضلاب مصنوعی
- ۹۳ ۳-۲-۴- بررسی اثر فرآیند  $UV/H_2O_2$  در حذف رنگ RB19
- ۹۸ ۴-۲-۴- بررسی اثر فرآیند پرسولفات  $UV/$  در حذف رنگ RB19
- ۱۰۳ ۵-۲-۴- بررسی اثر مداخله ای پراکسید هیدروژن و پرسولفات پتاسیم در آزمایش COD
- ۱۰۶ ۶-۲-۴- بررسی اثر گیرنده های الکترون (پرسولفات پتاسیم و پراکسید هیدروژن) بر فرآیند فتوکاتالیستی  $TiO_2/UV$  در حذف رنگ و COD مرتبط با آن از فاضلاب مصنوعی
- ۱۰۶ - اثر پراکسید هیدروژن بر فرآیند فتوکاتالیستی  $TiO_2/UV$  در حذف رنگ و COD مرتبط با آن از فاضلاب مصنوعی
- ۱۱۰ - اثر پرسولفات پتاسیم بر فرآیند فتوکاتالیستی  $TiO_2/UV$  در حذف رنگ و COD مرتبط با آن از فاضلاب مصنوعی
- ۱۱۴ ۳-۴- شناسایی محصولات جانبی حاصل از تجزیه فتوکاتالیستی رنگ RB19 طی فرآیند  $TiO_2/UV-C/H_2O_2$
- ۱۱۶ ۴-۴- حذف رنگ و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نمونه فاضلاب واقعی
- ۱۱۶ - بررسی کارایی فرآیند فتوکاتالیستی در حذف رنگ و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی
- ۱۱۹ - بررسی کارایی فرآیند انعقاد و لخته سازی و فرآیند فتوکاتالیستی دی

- اکسیدتیتانیوم در حذف رنگ و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی از فاضلاب واقعی
- ۱۲۳ ۵-۴- حذف رنگ از فاضلاب مصنوعی در حضور دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده
- ۱۲۳ ۴-۵-۱- ویژگی های دی اکسیدتیتانیوم تثبیت شده بر روی شیشه پیرکس
- ۱۲۵ ۴-۵-۲- بررسی خاصیت فتوکاتالیستی دی اکسیدتیتانیوم تثبیت شده بر روی شیشه
- ۱۲۶ ۴-۵-۳- ویژگی های خاکستر استخوان
- ۱۲۸ ۴-۵-۴- ویژگی خاکستر استخوان حاوی دی اکسیدتیتانیوم
- ۱۳۰ ۴-۵-۵- بررسی خاصیت فتوکاتالیستی دی اکسیدتیتانیوم تثبیت شده بر روی خاکستر استخوان
- ۱۳۲ ۴-۶- بررسی خاصیت فتوکاتالیستی نانو الیاف دی اکسید تیتانیوم
- ۱۳۸ ۴-۷- تصفیه بیولوژیک پساب فرآیند فتوکاتالیستی
- ۱۴۲ ۴-۸- نتیجه گیری نهایی
- ۱۴۴ ۴-۹- پیشنهادها
- ۱۴۶ منابع

- شکل ۱-۱- مهمترین گروه های عامل رنگ ۴
- شکل ۱-۲- گروه های عامل رنگ و عامل کمکی رنگ در رنگ راکتیو آبی ۱۹ ۴
- شکل ۱-۳- ساختار مولکولی رنگ راکتیو آبی ۱۹ ۷
- شکل ۱-۴- افزایش شکاف انرژی با کاهش تعداد ذرات ۱۹
- شکل ۱-۵- برانگیخته شدن الکترون در یک نیمه هادی ۱۹
- شکل ۱-۶- فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم ۲۲
- شکل ۱-۷- کاربرد تلفیق فرآیند های شیمیایی و بیولوژیکی در تصفیه فاضلاب های صنعتی ۳۱
- شکل ۳-۱- راکتورهای مورد استفاده جهت واکنش های فتوشیمیایی ۴۹
- شکل ۳-۲- طرح شماتیک راکتور بیولوژیکی مورد استفاده ۵۰
- شکل ۳-۳- نمودار توزیع ذرات خاکستر استخوان خام در الکهای مختلف ۵۹
- شکل ۱-۴- طیف جذب رنگ راکتیو آبی ۱۹ اندازه گیری شده با اسپکتروفتومتر در طول موجهای ۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر ۷۱
- شکل ۲-۴- منحنی استاندارد رنگ راکتیو آبی ۱۹ در طول موج ۵۹۲ نانومتر برای غلظت های کاری ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر ۷۲
- شکل ۳-۴- اثر pH و زمان پرتودهی بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه ۷۴
- شکل ۴-۴- اثر pH و زمان پرتودهی بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه ۷۵
- شکل ۵-۴- اثر pH و زمان پرتودهی بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه ۷۶
- شکل ۶-۴- اثر pH و زمان پرتودهی بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه ۷۶
- شکل ۷-۴- اثر غلظت اکسیژن و زمان پرتودهی بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه ۷۸
- شکل ۸-۴- اثر غلظت اولیه رنگ و زمان پرتودهی بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه ۷۹
- شکل ۹-۴- اثر غلظت رنگ بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه ۷۹
- شکل ۱۰-۴- اثر غلظت دی اکسید تیتانیوم و زمان تماس در جذب رنگ راکتیو آبی ۱۹ توسط  $TiO_2$  در تاریکی ۸۱
- شکل ۱۱-۴- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ ۸۲
- شکل ۱۲-۴- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ ۸۲
- شکل ۱۳-۴- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در حذف رنگ راکتیو آبی ۸۳

- ۱۹
- ۸۴ شکل ۴-۱۴- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسیدتیتانیوم در حذف رنگ راکتیو آبی  
۱۹
- ۸۵ شکل ۴-۱۵- نمودار تغییرات  $LnC_0/C$  نسبت به زمان پرتودهی جهت تعیین سرعت  
و درجه واکنش
- ۸۶ شکل ۴-۱۶- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسیدتیتانیوم در حذف COD ناشی از  
رنگ راکتیو آبی ۱۹
- ۸۸ شکل ۴-۱۷- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در حذف رنگ راکتیو آبی  
۱۹
- ۸۸ شکل ۴-۱۸- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در حذف رنگ راکتیو آبی  
۱۹
- ۸۹ شکل ۴-۱۹- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در حذف رنگ راکتیو آبی  
۱۹
- ۹۰ شکل ۴-۲۰- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در حذف رنگ راکتیو آبی  
۱۹
- ۹۱ شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات  $LnC_0/C$  نسبت به زمان پرتودهی جهت تعیین سرعت  
و درجه واکنش
- ۹۲ شکل ۴-۲۲- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در حذف COD ناشی از  
رنگ راکتیو آبی ۱۹
- ۹۴ شکل ۴-۲۳- اثر فرآیندهای فتواکسیداسیون پرتو UV، پراکسیدهیدروژن و UV-  
 $C/H_2O_2$  بر میزان نسبت
- ۹۵ شکل ۴-۲۴- اثر pH و زمان پرتودهی بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه  
در طی فرآیند UV-C /  $H_2O_2$
- ۹۶ شکل ۴-۲۵- اثر غلظت اولیه رنگ بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه در  
فرآیند UV /  $H_2O_2$
- ۹۷ شکل ۴-۲۶- سینتیک درجه اول تجزیه فتوشیمیایی رنگ RB19
- ۹۸ شکل ۴-۲۷- حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ در حضور پرسولفات پتاسیم در تاریکی
- ۹۹ شکل ۴-۲۸- اثر pH و زمان پرتودهی بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه  
راکتیو آبی ۱۹ در طی فرآیند پرسولفات پتاسیم / UV-A
- ۹۹ شکل ۴-۲۹- اثر pH و زمان پرتودهی بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ اولیه  
در طی فرآیند پرسولفات پتاسیم / UV-C
- ۱۰۰ شکل ۴-۳۰- اثر غلظت پرسولفات پتاسیم بر میزان نسبت رنگ باقیمانده به رنگ  
اولیه در فرآیند پرسولفات پتاسیم / UV-C

- شکل ۴-۳۱- نمودار سینتیک درجه اول تجزیه نوری رنگ راکتیو آبی ۱۹ در فرآیند پرسولفات پتاسیم / UV-C
- شکل ۴-۳۲- نمودار سینتیک درجه اول تجزیه نوری رنگ راکتیو آبی ۱۹ در فرآیند پرسولفات پتاسیم / UV-A
- شکل ۴-۳۳- تأثیر پرسولفات پتاسیم در ایجاد COD کاذب مثبت در فاضلاب مصنوعی
- شکل ۴-۳۴- تأثیر زمان ماند بر میزان COD کاذب ناشی از پرسولفات و پراکسید هیدروژن
- شکل ۴-۳۵- تأثیر غلظت پرسولفات بر میزان COD
- شکل ۴-۳۶- اثر فرآیندهای  $TiO_2/UV-C$  ،  $UV-C/H_2O_2$  و  $TiO_2/UV-C/H_2O_2$  در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹
- شکل ۴-۳۷- اثر غلظت پراکسید هیدروژن بر حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ در فرآیند  $TiO_2/UV-C/H_2O_2$
- شکل ۴-۳۸- اثر غلظت پراکسید هیدروژن در حذف COD ناشی از رنگ RB19 طی فرآیند  $TiO_2/UV-C/H_2O_2$
- شکل ۴-۳۹- اثر فرآیندهای  $TiO_2/UV-C$  ،  $UV-C/K_2S_2O_8$  و  $TiO_2/UV-C/K_2S_2O_8$  در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹
- شکل ۴-۴۰- اثر غلظت پرسولفات پتاسیم بر حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ در فرآیند  $TiO_2/UV-C/K_2S_2O_8$
- شکل ۴-۴۱- اثر غلظت پرسولفات پتاسیم در حذف COD ناشی از رنگ RB19 طی فرآیند  $TiO_2/UV-C/K_2S_2O_8$
- شکل ۴-۴۲- طیف GC/MS پساب فتوکاتالیستی
- شکل ۴-۴۳- اثر فرآیند فتوشیمیایی UV-C ،  $TiO_2/UV-C$  و  $TiO_2/UV-C/H_2O_2$  در حذف رنگ RB19 از فاضلاب واقعی
- شکل ۴-۴۴- اثر غلظت پراکسید هیدروژن بر حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ از فاضلاب
- شکل ۴-۴۵- اثر غلظت پراکسید هیدروژن بر حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ و COD از فاضلاب واقعی در فرآیند  $TiO_2/UV-C$
- شکل ۴-۴۶- تأثیر غلظت آلوم در حذف رنگ و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی
- شکل ۴-۴۷- تأثیر غلظت پلی الکترولیت در حذف رنگ و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی
- شکل ۴-۴۸- کارایی فرآیند  $TiO_2/UV/H_2O_2$  در حذف رنگ از پساب فرآیند انعقاد و لخته سازی
- شکل ۴-۴۹- تصاویر میکروسکوپ الکترونی دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی شیشه

- شکل ۴-۵۰- طیف EDX مرتبط با دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی شیشه ۱۲۴
- شکل ۴-۵۱- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی شیشه ۱۲۵  
در حذف رنگ RB19
- شکل ۴-۵۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی خاکستر استخوان ۱۲۷
- شکل ۴-۵۳- طیف EDX مرتبط با خاکستر استخوان ۱۲۷
- شکل ۴-۵۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی خاکستر استخوان حاوی دی اکسید ۱۲۹  
تیتانیوم
- شکل ۴-۵۵- طیف EDX مرتبط با خاکستر استخوان حاوی دی اکسید تیتانیوم ۱۲۹
- شکل ۴-۵۶- اثر فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی ۱۳۱  
خاکستر استخوان در حذف رنگ RB19
- شکل ۴-۵۷- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نانوالیاف دی اکسید تیتانیوم ۱۳۲
- شکل ۴-۵۸- اثر pH در جذب رنگ بر روی نانوالیاف دی اکسید تیتانیوم در تاریکی ۱۳۳
- شکل ۴-۵۹- اثر فرآیند فتوکاتالیستی نانوالیاف دی اکسید تیتانیوم در حذف ۱۳۴  
رنگ RB19
- شکل ۴-۶۰- اثر فرآیند فتوکاتالیستی نانوالیاف دی اکسید تیتانیوم در حذف ۱۳۴  
رنگ RB19
- شکل ۴-۶۱- کارایی فرآیند فتوکاتالیستی نانوالیاف دی اکسید تیتانیوم در حذف ۱۳۵  
COD از فاضلاب مصنوعی
- شکل ۴-۶۲- تأثیر عوامل گیرنده الکترون بر کارایی حذف رنگ در فرآیند ۱۳۶  
فتوکاتالیستی نانوالیاف دی اکسید تیتانیوم
- شکل ۴-۶۳- سینتیک واکنش فتوکاتالیستی نانوالیاف دی اکسید تیتانیوم ۱۳۷
- شکل ۴-۶۴- طیف GC/MS پساب نهایی ۱۴۰



۵	جدول ۱-۱- طبقه بندی رنگ ها از نظر کاربرد
۸	جدول ۲-۱- مشخصات رنگ راکتیو آبی ۱۹
۱۱	جدول ۳-۱- کارایی فرآیندهای مهم تصفیه در حذف رنگ
۱۲	جدول ۴-۱- مزایا و معایب بعضی از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی حذف رنگ
۱۶	جدول ۵-۱- پتانسیل اکسیداسیون اکسیدکننده های مختلف
۴۶	جدول ۱-۳- تجهیزات شیمیایی مورد استفاده
۴۷	جدول ۲-۳- مواد مورد استفاده
۴۸	جدول ۳-۳- مشخصات رنگ راکتیو آبی ۱۹
۵۶	جدول ۴-۳- مشخصات سوسپانسیون دی اکسید تیتانیوم (TW01)
۶۳	جدول ۵-۳- مواد مغذی و معدنی مورد استفاده جهت آماده سازی میکروارگانسیم ها
۷۱	جدول ۱-۴- طول موج های مطرح برای رنگ راکتیو آبی ۱۹
۷۳	جدول ۲-۴- مقادیر اکسیژن مورد نیاز شیمیایی رنگ راکتیو آبی ۱۹
۸۷	جدول ۳-۴- تأثیر غلظت دی اکسید تیتانیوم بر بهبود قابلیت تجزیه بیولوژیک در فرآیند $TiO_2/UV-C$
۹۲	جدول ۴-۴- تأثیر غلظت دی اکسید تیتانیوم بر بهبود قابلیت تجزیه بیولوژیک در فرآیند $TiO_2/UV-A$
۱۱۰	جدول ۵-۴- تأثیر غلظت پراکسید هیدروژن بر بهبود قابلیت تجزیه بیولوژیک در فرآیند $TiO_2/UV-C/H_2O_2$
۱۱۴	جدول ۶-۴- تأثیر غلظت پرسولفات پتاسیم بر بهبود قابلیت تجزیه بیولوژیک در فرآیند $TiO_2/UV-C/K_2S_2O_8$
۱۱۷	جدول ۷-۴- مشخصات نمونه فاضلاب واقعی
۱۲۴	جدول ۸-۴- آنالیز عناصر (EDX) موجود بر روی سطح شیشه تثبیت شده با سوسپانسیون $TiO_2$
۱۲۸	جدول ۹-۴- آنالیز عناصر (EDX) خاکستر استخوان اولیه
۱۳۰	جدول ۱۰-۴- آنالیز عناصر (EDX) خاکستر استخوان تثبیت شده
۱۳۷	جدول ۱۱-۴- مقادیر ثابت سرعت واکنش ( $k'$ ) و ضریب رگرسیون خطی رنگ برای شرایط مختلف
۱۳۹	جدول ۱۲-۴- تأثیر زمان ماند هیدرولیکی بر حذف COD در راکتور بیولوژیکی
۱۴۱	جدول ۱۳-۴- تأثیر زمان ماند و MLSS بر حذف COD در راکتور بیولوژیکی (در نمونه فاضلاب واقعی)

فصل اول

کلیات

یکی از بزرگترین صنایع مصرف کننده آب، صنایع نساجی و رنگرزی می باشند. میزان مصرف آب در این صنایع بین ۲۵-۲۵۰ مترمکعب به ازاء هر تن محصول ( با توجه به نوع فرآیند تولید) است [۱، ۲]. رنگ ها موادی با ساختار پیچیده بوده که در نتیجه مراحل مختلف نظیر رنگرزی و تکمیل در صنعت نساجی به محیط زیست وارد می شوند [۳]. این مواداز نقطه نظر ساختار شیمیایی، به انواع آزو، تری آریل متان، آنتراکوئینون، هتروسیکلیک و فتالوسیانین طبقه بندی می شوند. همچنین رنگ ها براساس کاربردشان به انواع وات، راکتیو، دایرکت، اسیدی، دیسپرس و کاتیونی تقسیم می گردند [۴]. به دلیل عملکرد نامطلوب واحد رنگرزی و ماهیت رنگ ها، در حدود ۵۰ درصد از رنگ های راکتیو، ۲۰-۸ درصد از رنگ های دیسپرس و ۱ درصد از رنگ های پیگمنت بطور مستقیم به جریان فاضلاب وارد می شود [۵، ۶].

هدر رفتن رنگ در مراحل رنگرزی ناشی از تثبیت کم رنگ بر روی الیاف و حضور رنگ هیدرولیز شده غیر راکتیو در حمام رنگ است. هیدرولیز رنگ زمانی اتفاق می افتد که مولکول رنگ به جای واکنش با گروه های هیدروکسیل سلولز با آب واکنش می دهد [۷]. رنگ های هیدرولیز شده در فاضلاب حمام رنگ و در فرآیند رنگرزی قابل استفاده مجدد نمی باشند [۶]. رنگ های راکتیو دارای گروههای کروموفوریک نظیر آزو، آنتراکوئینون، تری آریل متان و گروههای راکتیو نظیر وینیل سولفون، کلروتریازین، تری کلروپرمیدین بوده که تشکیل پیوند های کووالانسی با الیاف می دهند. رنگ های راکتیو آزو بزرگترین دسته از رنگ های مصنوعی محلول در آب بوده که دارای بیشترین تنوع از نظر نوع و ساختار رنگ می باشند. این رنگ ها معمولاً به تجزیه بیولوژیکی هوازی مقاوم بوده و با فرآیند های تصفیه بیولوژیکی متداول قابل حذف نمی باشند. دلیل احتمالی غیرقابل تجزیه بودن این رنگ ها در

سیستم های متداول، فقدان آنزیم های ضروری برای تجزیه این رنگ ها در محیط است [۸]. صنایع نساجی بعلاوه تنوع رنگ مصرفی و روشهای تولید، پسابهایی با کمیت و کیفیت شیمیائی متفاوت، تولید می کنند. در این صنایع مقادیر زیادی از فاضلاب های بسیار رنگی تولید شده که معمولاً سمی، مقاوم به تجزیه بیولوژیک و پایدار در محیط زیست می باشد. لذا روش های بیولوژیکی متداول برای حذف اغلب رنگ های مصنوعی، به دلیل ساختار حلقوی پیچیده و ماهیت مقاوم رنگ مؤثر نیستند [۱۱-۳]. مطالعات نشان داده است که فاضلاب های نساجی دارای نسبت BOD به COD پایین (۰/۱) بوده که ناشی از ماهیت غیر قابل تجزیه بیولوژیک رنگ ها است [۵]. تخلیه فاضلاب های رنگی حاصل از صنایع نساجی به آب های پذیرنده، منجر به کاهش نفوذ نور خورشید و وضعیت دید، بروز پدیده اتروفیکاسیون و تداخل در اکولوژی آبهای پذیرنده شده، که ضمن اثر بر شدت فتوسنتز گیاهان آبی و جلبک ها در محیط های آبی، باعث آسیب به محیط زیست می شود [۱، ۱۲، ۶، ۷]. مطالعات نشان داده است که رنگ ها دارای خاصیت سرطانزایی و جهش زایی بوده و برای محیط زیست زیان آور می باشند [۲، ۱۴، ۱۳]. مطالعات اپیدمیولوژیکی نشان داده که استفاده از رنگ های با پایه بنزیدین باعث ایجاد سرطان مثانه در انسان می شود [۱۵]. حذف رنگ از فاضلاب، اغلب مهمتر از مواد آلی بی رنگ است زیرا حضور مقادیر کمی از رنگ (کمتر از ۱ppm)، از نظر ظاهری قابل رؤیت می باشد [۱۶]. فاضلاب های حاصل از صنایع نساجی به عنوان یک تهدید زیست محیطی در سراسر جهان است [۱۷]. بنابراین قبل از تخلیه به محیط زیست باید به نحو مطلوبی تصفیه شوند [۱۸]. در سال های اخیر، فرآیندهای جدیدی برای تجزیه رنگ ها و استفاده مجدد از فاضلاب ها توسعه یافته است [۱۹].

## ۱-۲- طبقه بندی رنگ ها

تمام مولکول های پرتوهای الکترومغناطیس را جذب نمایند ولی هر ماده طول موج خاصی از این پرتوها را جذب می کند. مولکول های رنگ، دارای دو گروه عامل رنگی<sup>۱</sup> و عامل کمکی<sup>۲</sup> می باشند. گروه های عامل رنگ، گروهی از اتم ها بوده که معمولاً گیرنده الکترون، دارای باند دوگانه و عامل ایجاد

<sup>۱</sup>Chromophore

<sup>۲</sup>Auxochrome