

اللهم صل على محمد
والآل محمد



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای محمد واعظ پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان تصفیه پساب های صنعتی

بوسیله مواد نانو کاتالیست تثبیت شده در راکتور بستر ثابت در تاریخ

۱۳۹۰/۴/۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر عبدالصمد زرین قلم مقدم	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر نیاز محمد محمودی	استاد	
استاد ناظر	دکتر مجتبی صدر عاملی	استاد	
استاد ناظر	دکتر سیمین ناصری	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر مجتبی صدر عاملی	استاد	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تولید است.

امضای استاد راهنما:

آیین نامه چاپ 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 فعالیت های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاهمدان دانشجویان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهند.

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 **مهندسی مکانیک** است که در سال **۱۳۹۰** در دانشکده **مهندسی مکانیک** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم **احسانه آقایی دکتر زینب امام** و مشاوره سرکار خانم **احسانه آقایی دکتر محمد** و مشاوره سرکار خانم **احسانه آقایی دکتر** از آن دفاع شده است.»

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 اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۲، ۵۰٪ پهنای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت پهنای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت 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، تأمین نماید.

ماده ۶: اینجانب **محمد واعظ** دانشجوی رشته **مهندسی مکانیک** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **محمد واعظ**
تاریخ و امضا: **۹۰/۱۱/۸**

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸/۴/۸۷ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۲۳/۴/۸۷ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۱۵/۷/۸۷ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب محمد واعظ دانشجوی رشته مهندسی و ورودی سال تحصیلی ۸۷
مقطع کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاثر عار به دانشد وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گود امتیاز دیگر تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضاء: ۹۰/۱۱/۸

تاریخ:



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

تصفیه پساب‌های صنعتی به وسیله مواد نانو فتوکاتالیست تثبیت شده در راکتور بستر ثابت

محمد واعظ

استاد راهنما:

عبدالصمد زرین قلم مقدم

استاد مشاور:

نیاز محمد محمودی

بهار ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آنان که وجودم برایشان همه نبع بود و وجودشان برایم همه مهر. توانشان رفت تا به توانایی برسم و مویشان
سیدگشت تا رویم سیدباند. آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه‌های جاودانی زندگی
من است. آنان که راستی قائم در سلگتی قاتشان تجلی یافت. در برابر وجود کرامتشان زانوی ادب بر زمین
می زنم و بادی ملو از عشق، محبت و خضوع بردستان بوسه می زنم.

تقدیر و شکر

حمد و سپاس خدای را که به انسان جان بخشید و بازینت عشق جان رامزین نمود. اکنون که مدد لطف جمیلش به بار نشسته است و بهای سعادت به واسطه موببتش بر سرم بال و پر گسترانیده است، دست به قلم نیایش بردم و به شکرانه لطفش چنین به سجاده شکر می سایم و از لطف پرکراتش پاسکنداری می کنم.

لازم میدانم که از محبت و بذل بی ثأبه استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر عبدالصمد زرین قلم مقدم که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه راهنمایی اینجانب را بر عهده گرفتند و در سایه راهنمایی ها و حمایت های ایشان، تلاش هایم به بار نشست، کمال شکر و قدردانی نموده و برای ایشان و خانواده محترمشان آرزوی توفیق روزافزون و سلامت، از خداوند منان می نمایم.

از جناب آقای دکتر نیاز محمد محمودی که زحمت مشاوره این پایان نامه را بر عهده گرفتند صمیمانه پاسکندارم.

هم چنین از بهکار محترم در آزمایشگاه ایمنی و احتراق دانشگاه تربیت مدرس سرکار خانم مهندس سمیه علی جانی که در این مدت با اینجانب همکاری داشتند شکر و قدردانی می نمایم.

چکیده

نگرانی روز افزون در مورد آلاینده‌های زیست محیطی آب، نیاز به استفاده از فرآیندهای مؤثر حذف و جداسازی را ضروری می‌سازد. استفاده از فتوکاتالیست، به عنوان یکی از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته، یک تکنیک مؤثر در تخلیص آلاینده‌های آب و هوا می‌باشد. در این تحقیق، از ذرات دی‌اکسید تیتانیوم، به عنوان فتوکاتالیست، به صورت دوغابی و تثبیت شده بر روی الیاف گونی جهت تخریب دو نوع رنگ Acid Black 26 و Reactive Red 152 (RR152) در یک راکتور بستر ثابت استفاده شد. آنالیز SEM/EDX تشکیل بلورهای دی‌اکسید تیتانیوم را بر روی الیاف گونی تأیید می‌کند. نتایج XRD نشان می‌دهد که در نتیجه عملیات تثبیت، در ساختار فتوکاتالیست تغییر چندانی اتفاق نمی‌افتد. نتایج COD نشان می‌دهد که ذرات TiO_2 تثبیت شده بر روی الیاف گونی، تقریباً تمامی ترکیبات آلی موجود در محلول را پس از گذشت ۳ ساعت از تجزیه فتوکاتالیستی Acid Black 26 تخریب می‌کند. داده‌های حاصل از کروماتوگرافی یونی در حین تجزیه RR152، تجزیه کامل رنگ را نشان می‌دهد. اثر پارامترهای اصلی چون pH، آنیون‌ها (CO_3^{2-} و Cl^- ، SO_4^{2-} HCO_3^-)، مقدار H_2O_2 و غلظت اولیه رنگ بر روی میزان رنگ بری در هر دو سیستم دوغابی و تثبیت شده با استفاده از آنالیز UV-vis مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر بهینه پارامترهای عملیاتی تعیین گردید. به علاوه، از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بازده سیستم تثبیت شده جهت تجزیه فتوکاتالیستی Acid Black 26 استفاده شد. نتایج حاصله نشان‌دهنده تطابق نتایج آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده می‌باشد.

کلید واژه: فتوکاتالیست تثبیت شده، رنگ‌زای صنعتی، شبکه عصبی

فهرست مطالب

مقدمه	۱
فصل ۱- کلیات	۳
۱-۱- کلیات	۱
۱-۲- فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته	۲
۱-۳- فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته فتوشیمیایی	۳
۱-۳-۱- نور و اشعه ماوراء بنفش	۴
۱-۳-۱-۱- فرآیند فتوشیمیایی فتولیز آب توسط نور ماوراء بنفش تحت خلاء (V-UV)	۶
۱-۳-۱-۲- فرآیند فتوشیمیایی آب اکسیژنه و نور ماوراء بنفش (UV/H ₂ O ₂)	۶
۱-۳-۱-۳- فرآیند فتوشیمیایی اوزون و نور ماوراء بنفش (UV/O ₃)	۶
۱-۳-۱-۴- فرآیند فتوشیمیایی آب اکسیژنه، اوزون و نور ماوراء بنفش (UV/H ₂ O ₂ /O ₃)	۶
۱-۳-۱-۵- فرآیند فتوشیمیایی فتو-فنتون (UV/H ₂ O ₂ /Fe ²⁺)	۷
۱-۴- فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته فتوکاتالیستی	۷
۱-۵- نیمه‌هادی‌ها	۸
۱-۵-۱- مکانیسم فرآیندهای فتوکاتالیستی	۸
۱-۵-۱-۱- کاربردهای فرآیندهای فتوکاتالیستی	۱۱
۱-۵-۱-۲- مزایای فرآیندهای فتوکاتالیستی	۱۱
۱-۶- فتوکاتالیست‌ها	۱۲
۱-۷- دی اکسید تیتانیوم (TiO ₂)	۱۳
۱-۸- فتوکاتالیست‌های معلق و تثبیت شده	۱۴
۱-۹- اثر حرارت بر تغییر ساختار دی اکسید تیتانیوم	۱۵
۱-۱۰- سینتیک واکنش‌های فتوکاتالیستی	۱۶
۱-۱۱- عوامل مؤثر در تجزیه فوتوکاتالیستی	۱۶
۱-۱۱-۱- تأثیر غلظت اولیه آلاینده	۱۶
۱-۱۱-۲- تأثیر مقدار TiO ₂	۱۷
۱-۱۱-۳- تأثیر pH	۱۸
۱-۱۱-۴- تأثیر شدت نور و مدت زمان تابش	۱۹
۱-۱۱-۵- دما	۱۹
۱-۱۲- راکتورهای فتوکاتالیستی متداول	۲۰
۱-۱۳- راکتورهای مورد استفاده برای استفاده در فاز مایع	۲۰
۱-۱۳-۱- نوع تابش	۲۰
۱-۱۳-۱-۱- محل قرار گرفتن منبع نور	۲۰
۱-۱۳-۱-۲- حالت فتوکاتالیست	۲۰

فصل ۲ - مروری بر مطالعات قبلی	۲۲
۱-۲- کلیات	۲۳
۲-۲- پایه‌های متداول	۲۴
۱-۲-۲- شیشه	۲۴
۲-۲-۲- کربن فعال	۲۴
۳-۲-۲- مواد سیلیکایی	۲۵
۴-۲-۲- مواد پلیمری	۲۶
۳-۲- پایه‌های غیرمتداول	۲۶
۴-۲- برخی تحقیقات در خصوص فتوراکتورها	۲۷
فصل ۳- پیش‌بینی به کمک شبکه عصبی	۳۲
۱-۳- معرفی شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)	۳۳
۲-۳- انگیزه‌های بیولوژیکی	۳۴
۳-۳- انتظارات	۳۶
۱-۳-۳- قابلیت یادگیری	۳۶
۲-۳-۳- پراکندگی اطلاعات "پردازش اطلاعات به صورت متن"	۳۶
۳-۳-۳- قابلیت تعمیم	۳۷
۴-۳-۳- پردازش موازی	۳۷
۵-۳-۳- مقاوم بودن	۳۷
۴-۳- مدل نرون	۳۷
۵-۳- مدل تک ورودی	۳۷
۶-۳- توابع انتقال	۳۸
۱-۶-۳- تابع انتقال Hard limit	۳۸
۲-۶-۳- تابع انتقال خطی	۳۹
۳-۶-۳- تابع انتقال log sigmoid	۳۹
۷-۳- ساختار شبکه‌های عصبی	۴۰
۱-۷-۳- شبکه تک لایه	۴۰
۲-۷-۳- شبکه‌های چند لایه	۴۱
۸-۳- معماری شبکه	۴۲
۹-۳- قوانین یادگیری	۴۳
۱-۹-۳- یادگیری نظارت شده	۴۳
۲-۹-۳- یادگیری نظارت نشده	۴۴
۱۰-۳- پارامترهای مؤثر در شبکه‌های عصبی	۴۵
۱-۱۰-۳- تعداد نرون‌های هر لایه	۴۵
۲-۱۰-۳- تعداد لایه‌های شبکه	۴۵
۳-۱۰-۳- مقدار مناسب آموزش	۴۵

- ۱۱-۳- معرفی چند نمونه از شبکه‌های عصبی مصنوعی..... ۴۶
- ۱-۱۱-۳- شبکه‌های عصبی پیشرو (FFNN)..... ۴۶
- ۲-۱۱-۳- شبکه‌های بازگشتی (RN)..... ۴۶
- ۳-۱۱-۳- شبکه‌های توابع پایه شعاعی (RBF)..... ۴۶
- ۴-۱۱-۳- شبکه‌های پرسپترون چند لایه (MLP)..... ۴۹

فصل ۴- تجهیزات، مواد و روش‌های آزمایش (روش تحقیق)..... ۵۱

- ۱-۴- کلیات ۵۲
- ۲-۴- مواد شیمیایی مورد استفاده..... ۵۳
- ۳-۴- نحوه انجام آزمایشات..... ۵۳
- ۱-۳-۴- تجزیه فتوکاتالیستی Acid Black 26 در سیستم دوغابی..... ۵۳
- ۲-۳-۴- پارامترهای مورد بررسی در سیستم دوغابی..... ۵۴
- ۳-۳-۴- روش نمونه برداری..... ۵۴
- ۴-۴- تثبیت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر روی الیاف گونی..... ۵۵
- ۵-۴- تعیین مشخصات فتوکاتالیست تثبیت شده..... ۵۵
- ۱-۵-۴- آنالیز پخش اشعه ایکس (XRD)..... ۵۵
- ۲-۵-۴- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)..... ۵۶
- ۳-۵-۴- آنالیز EDX..... ۵۷
- ۶-۴- تجزیه فتوکاتالیستی Acid Black 26 در سیستم تثبیت شده..... ۵۷
- ۷-۴- مقایسه سیستم دوغابی و تثبیت شده..... ۵۷
- ۸-۴- بررسی میزان تشکیل محصولات واسطه..... ۵۸
- ۹-۴- بررسی امکان استفاده مجدد از فتوکاتالیست در سیستم تثبیت شده..... ۵۸
- ۱۰-۴- تجهیزات مورد استفاده در این پروژه..... ۵۹

فصل ۵- نتایج و بحث ۶۰

- ۱-۵- کلیات ۶۱
- ۲-۵- بخش اول-نتایج آزمایشگاهی..... ۶۲
- ۱-۲-۵- تعیین مشخصات کاتالیست تثبیت شده..... ۶۲
- ۱-۱-۲-۵- آنالیز پخش اشعه ایکس (XRD)..... ۶۲
- ۲-۱-۲-۵- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)..... ۶۳
- ۳-۱-۲-۵- آنالیز EDX..... ۶۵
- ۲-۲-۵- تعیین میزان جذب توسط الیاف گونی بدون حضور نور UV..... ۶۶
- ۳-۲-۵- مقایسه تجزیه فتوکاتالیستی Acid Black 26 در سیستم دوغابی و تثبیت شده..... ۶۷
- ۴-۲-۵- بررسی عملکرد فتوکاتالیستی TiO_2 تثبیت شده روی الیاف گونی توسط COD..... ۶۹
- ۵-۲-۵- بررسی امکان استفاده مجدد از فتوکاتالیست TiO_2 تثبیت شده روی الیاف گونی..... ۶۹
- ۶-۲-۵- ارزیابی عملکرد فتوکاتالیستی TiO_2 دوغابی در حذف RR152..... ۷۰

۷۲	تثبیت شده و Reactive Red 152 در سیستم دوغابی.....
۷۲	۱-۷-۲-۵- اثر پراکسید هیدروژن.....
۷۴	۲-۷-۲-۵- اثر غلظت اولیه Acid Black 26 و RR 152.....
۷۷	۳-۷-۲-۵- اثر آنیون.....
۸۰	۴-۷-۲-۵- اثر pH.....
۸۳	۸-۲-۵- اثر مقدار فتوکاتالیست TiO_2 بر تجزیه فتوکاتالیستی Acid Black 26 در سیستم دوغابی.....
۸۴	۳-۵- بخش دوم-نتایج بخش شبیه سازی.....
۸۴	۱-۳-۵- مقدمه.....
۸۴	۲-۳-۵- بررسی تعداد نرون ها و لایه ها.....
۹۷	فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۹۸	۱-۶- نتیجه گیری.....
۹۹	۲-۶- پیشنهادات.....
۸۹	فصل ۷- منابع.....

فهرست جداول

جدول ۱-۱	پتانسیل اکسیداسیون اکسندوها به همراه قدرت اکسیداسیون نسبی آن‌ها.....	۲
جدول ۲-۱	انرژی فاصله ترازهای برخی از فتوکاتالیست‌ها.....	۱۲
جدول ۳-۱	جدول مقایسه راکتورهای دوغابی و تثبیت شده Error! Bookmark not defined...	
جدول ۱-۴	مشخصات Acid Black 26.....	۵۳
جدول ۲-۴	تجهیزات مورد نیاز جهت انجام آزمایش.....	۵۹
جدول ۳-۴	مشخصات شرکت سازنده و مدل تجهیزات و لوازم مورد استفاده.....	۵۹
جدول ۱-۵	نتایج آنالیز ساختاری نمونه‌های کاتالیستی حاصل از نتایج XRD.....	۶۲
جدول ۲-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه Acid Black 26 در چهار فرآیند مختلف.....	۶۷
جدول ۳-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه RR 152 در سیستم دوغابی با غلظت مختلف از H ₂ O ₂	۷۲
جدول ۴-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه Acid Black 26 در سیستم دوغابی با غلظت مختلف از H ₂ O ₂	۷۳
جدول ۵-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه Acid Black 26 در سیستم تثبیت شده با غلظت مختلف از H ₂ O ₂	۷۴
جدول ۶-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه RR 152 در سیستم دوغابی با غلظت اولیه مختلف از رنگ.....	۷۶
جدول ۷-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه Acid Black 26 در سیستم دوغابی با غلظت اولیه مختلف از رنگ.....	۷۶
جدول ۸-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه Acid Black 26 در سیستم تثبیت شده با غلظت اولیه مختلف از رنگ.....	۷۷
جدول ۹-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه RR 152 در سیستم دوغابی با آنیون‌های مختلف.....	۷۹
جدول ۱۰-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه Acid Black 26 در سیستم دوغابی با آنیون‌های مختلف.....	۷۹
جدول ۱۱-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه Acid Black 26 در سیستم تثبیت شده با آنیون‌های مختلف.....	۷۹
جدول ۱۲-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه RR 152 در سیستم دوغابی با pH مختلف.....	۸۱
جدول ۱۳-۵	پارامترهای K و R ² محاسبه شده برای تجزیه Acid Black 26 در سیستم دوغابی با pH مختلف.....	۸۲

جدول ۵-۱۴ پارامترهای K و R^2 محاسبه شده برای تجزیه Acid Black 26 در سیستم تثبیت
شده با pH مختلف ۸۲

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ گستره طیف‌های امواج الکترومغناطیس..... ۵
- شکل ۲-۱ محدوده طیف اشعه UV..... ۵
- شکل ۳-۱ شمای کلی و ساده از مکانیسم فرآیندهای فتوکاتالیستی..... ۱۱
- شکل ۴-۱ ساختارهای کریستالی آناز (a)، روتایل (b) و بروکیت (c)..... ۱۳
- شکل ۱-۲ شماتیک راکتور لوله‌ای بافل‌دار ارتعاشی - تصویر بافل نیز نشان داده شده است..... ۲۷
- شکل ۲-۲ شماتیک فتوراکتور لوله‌ای تثبیت شده..... ۲۸
- شکل ۳-۲ نما از بالای فتوراکتور در بررسی صورت گرفته توسط Mozia et al..... ۲۹
- شکل ۴-۲ دیاگرام شماتیک راکتور با سطح تثبیت شده..... ۳۰
- شکل ۵-۲ شماتیک فتوراکتور آبشاری در مقیاس پایلوت - (A) صفحات فولاد ضدزنگ پوشیده شده با TiO_2 (B) مخزن همراه با شیر تخلیه (C) شیر کنترل (D) پمپ سانتریفیوژ (E) کوئل خنک کننده در حمام آب (F) فلومتر (G) مخزن ذخیره کننده مایع..... ۳۰
- شکل ۱-۳ نواحی اصلی یک سلول عصبی بیولوژیک..... ۳۶
- شکل ۲-۳ نرون حسی..... ۳۶
- شکل ۳-۳ مدل نرون تک ورودی..... ۳۸
- شکل ۴-۳ تابع انتقال Hard limit..... ۳۹
- شکل ۵-۳ تابع انتقال خطی..... ۳۹
- شکل ۶-۳ تابع انتقال لگاریتم سیگموئید..... ۳۹
- شکل ۷-۳ شبکه تک لایه با S نرون..... ۴۰
- شکل ۸-۳ فرم فشرده یا ماتریسی شبکه تک لایه با S نرون..... ۴۰
- شکل ۹-۳ لایه ترکیبی با دو نوع تابع محرک f^1 و f^2 ۴۱
- شکل ۱۰-۳ شبکه پیش‌خور دو لایه..... ۴۱
- شکل ۱۱-۳ فرم ساده شده شبکه پیش‌خور با دو لایه میانی..... ۴۲
- شکل ۱۲-۳ شبکه تابع شعاع مدار..... ۴۷
- شکل ۱۳-۳ یک تابع گوسین با میانگین ۰ و انحراف معیار ۰.۵..... ۴۸
- شکل ۱۴-۳ ساختار یک شبکه عصبی سه لایه..... ۴۹
- شکل ۱-۴ ساختار شیمیایی Acid Black 26..... ۵۳
- شکل ۲-۴ تشعشع سنج مورد استفاده جهت اندازه‌گیری میزان تابش نور UV..... ۵۴
- شکل ۳-۴ دستگاه اسپکتروفتومتر مورد استفاده..... ۵۵
- شکل ۴-۴ (الف) میکروسکوپ الکترونی مورد استفاده در این تحقیق، (ب) دستگاه لایه نشانی طلا بر روی نمونه و (پ) نمونه‌هایی که توسط طلا پوشش داده شده‌اند..... ۵۷

شکل ۵-۱ آنالیز پرش اشعه ایکس نمونه پودر قبل از تثبیت (الف)، فتوکاتالیست تثبیت شده روی الیاف گونی (ب)..... ۶۳

شکل ۵-۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی الیاف گونی در بزرگنمایی کوچک (الف) و بزرگنمایی بزرگ (ب)..... ۶۳

شکل ۵-۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی الیاف گونی پس از تثبیت بدون بزرگنمایی (پ) و با بزرگنمایی (ت)..... ۶۴

شکل ۵-۴ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم..... ۶۴

شکل ۵-۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم تثبیت شده..... ۶۵

شکل ۵-۶ آنالیز EDX الیاف گونی..... ۶۶

شکل ۵-۷ آنالیز EDX فتوکاتالیست تثبیت شده بر روی الیاف گونی..... ۶۶

شکل ۵-۸ میزان جذب رنگ از روی الیاف گونی در حضور نور UV..... ۶۷

شکل ۵-۹ اثر فتوکاتالیست روی سرعت تجزیه Acid Black 26 برای (الف) الیاف گونی با تابش نور UV، (ب) دی‌اکسید تیتانیوم تثبیت شده بدون تابش نور UV، (ج) دی‌اکسید تیتانیوم دوغابی با تابش نور UV و (د) دی‌اکسید تیتانیوم تثبیت شده با تابش نور UV..... ۶۷

شکل ۵-۱۰ حذف اکسیژن شیمیایی مورد نیاز محلول در طی تجزیه فتوکاتالیستی Acid Black 26 (غلظت رنگ ۲۵ppm، pH نرمال، H_2O_2 : ۰/۵۲۸ ml/L و بدون حضور آنیون)..... ۶۹

شکل ۵-۱۱ عملکرد فتوکاتالیستی سیلیکی نانو ذرات TiO_2 تثبیت شده روی الیاف گونی برای تجزیه Acid Black 26 (غلظت رنگ ۲۵ppm، pH نرمال، H_2O_2 : ۰/۵۲۸ ml/L و بدون حضور آنیون)..... ۷۰

شکل ۵-۱۲ تشکیل و از بین رفتن اسیدهای کربوکسیلی آلیفاتیک در محلول در حین تجزیه فتوکاتالیستی RR152 (غلظت اولیه رنگ ۵۰ ppm، H_2O_2 : ۳۰۰ mg/L و بدون حضور آنیون)..... ۷۱

شکل ۵-۱۳ تشکیل سولفات، کلرید و نیترات در محلول در حین تجزیه فتوکاتالیستی RR152 (غلظت اولیه رنگ ۵۰ ppm، H_2O_2 : ۳۰۰ mg/L و بدون حضور آنیون)..... ۷۲

شکل ۵-۱۴ رنگ زدایی RR 152 توسط TiO_2 دوغابی در حضور مقادیر مختلف پراکسید هیدروژن (غلظت اولیه رنگ ۵۰ ppm، pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۷۲

شکل ۵-۱۵ رنگ زدایی Acid Black 26 توسط TiO_2 دوغابی در حضور مقادیر مختلف پراکسید هیدروژن (غلظت اولیه رنگ ۵۰ ppm، pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۷۳

شکل ۵-۱۶ رنگ زدایی Acid Black 26 توسط TiO_2 تثبیت شده بر روی الیاف گونی در حضور مقادیر مختلف پراکسید هیدروژن (غلظت رنگ ۵۰ ppm، pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۷۴

شکل ۵-۱۷ رنگ زدایی RR 152 توسط TiO_2 دوغابی در حضور مقادیر مختلف رنگ (mg/L) H_2O_2 : ۳۰۰، pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۷۵

شکل ۵-۱۸ رنگ زدایی Acid Black 26 توسط TiO_2 دوغابی در حضور مقادیر مختلف رنگ (H_2O_2 : ۰/۵۲۸ ml/L، pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۷۵

شکل ۵-۱۹ رنگ زدایی Acid Black 26 توسط TiO_2 تثبیت شده در حضور مقادیر مختلف پراکسید هیدروژن (H_2O_2 : ۰/۵۲۸ ml/L، pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۷۶

شکل ۵-۲۰ اثر افزودن آنیون بر رنگ زایی RR 152 توسط TiO_2 دوغابی (غلظت رنگ‌زا 50 ppm، H_2O_2 : 300 mg/L، غلظت آنیون 1.5 mM و pH نرمال)..... ۷۸

شکل ۵-۲۱ اثر افزودن آنیون بر رنگ زایی Acid Black 26 توسط TiO_2 دوغابی (غلظت رنگ‌زا 50 ppm، H_2O_2 : 0/528 ml/L، غلظت آنیون 1.5 mM و pH نرمال)..... ۷۸

شکل ۵-۲۲ اثر افزودن آنیون بر رنگ زایی Acid Black 26 توسط TiO_2 تثبیت شده بر الیاف گونی (غلظت رنگ‌زا 50 ppm، H_2O_2 : 0/528 ml/L، غلظت آنیون 1.5 mM و pH نرمال)..... ۷۹

شکل ۵-۲۳ اثر تغییر pH بر تجزیه فتوکاتالیستی RR 152 توسط TiO_2 دوغابی (غلظت رنگ‌زا 50 ppm، H_2O_2 : 300 mg/L، pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۸۱

شکل ۵-۲۴ اثر تغییر pH بر تجزیه فتوکاتالیستی Acid Black 26 توسط TiO_2 دوغابی (غلظت رنگ‌زا 50 ppm، H_2O_2 : 0/528 ml/L، pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۸۱

شکل ۵-۲۵ اثر تغییر pH بر تجزیه فتوکاتالیستی Acid Black 26 توسط TiO_2 تثبیت شده روی الیاف گونی (غلظت رنگ‌زا 50 ppm، H_2O_2 : 0/528 ml/L و بدون حضور آنیون)..... ۸۲

شکل ۵-۲۶ اثر افزایش مقدار کاتالیست روی تخریب Acid Black 26 (H_2O_2 : 0/528 ml/L و pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۸۳

شکل ۵-۲۷ شماتیک شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده..... ۸۴

شکل ۵-۲۸ تغییرات خطا RSME برای لایه‌ها و نرون‌های مختلف با مدل انتقال Tansig..... ۸۴

شکل ۵-۲۹ تغییرات خطا SSE برای لایه‌ها و نرون‌های مختلف با مدل انتقال Tansig..... ۸۴

شکل ۵-۳۰ مقایسه داده‌های تجری و پیش‌بینی شده برای رنگ زدایی Acid Black 26 توسط TiO_2 تثبیت شده بر روی الیاف گونی در حضور مقادیر مختلف پراکسید هیدروژن (غلظت رنگ 50 ppm، pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۸۴

شکل ۵-۳۱ مقایسه داده‌های تجری و پیش‌بینی شده برای رنگ زدایی Acid Black 26 توسط TiO_2 تثبیت شده در حضور مقادیر مختلف پراکسید هیدروژن (H_2O_2 : 0/528 ml/L، pH نرمال و بدون حضور آنیون)..... ۸۴

شکل ۵-۳۲ مقایسه داده‌های تجری و پیش‌بینی شده برای اثر افزودن آنیون بر رنگ زایی Acid Black 26 توسط TiO_2 تثبیت شده بر الیاف گونی (غلظت رنگ‌زا 50 ppm، H_2O_2 : 0/528 ml/L، غلظت آنیون 1.5 mM و pH نرمال)..... ۸۵

شکل ۵-۳۳ مقایسه داده‌های تجری و پیش‌بینی شده برای اثر تغییر pH بر تجزیه فتوکاتالیستی Acid Black 26 توسط TiO_2 تثبیت شده روی الیاف گونی (غلظت رنگ‌زا 50 ppm، H_2O_2 : 0/528 ml/L و بدون حضور آنیون)..... ۸۵

شکل ۵-۳۴ مقایسه بین داده‌های تجربی و داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی..... ۸۵

۱- مقدمه

حدوداً چهار میلیارد از مردم سراسر جهان، به آب تمیز دسترسی ندارند و یا دسترسی اندکی به آب تمیز دارند [۱]. این نتایج آماری در آینده نزدیک، به دلیل تخلیه بی‌حد و اندازه میکرو آلاینده‌ها و آلاینده‌ها به سیکل طبیعی آب افزایش خواهد یافت. نگرانی روز افزون در مورد آلاینده‌های زیست محیطی آب، نیاز به استفاده از عملیات‌های مؤثر حذف و جداسازی را ضروری می‌سازد [۲]. تاکنون، بسیاری از روش‌های متداول مانند روش‌های فیزیکی (مثل جذب)، روش بیولوژیکی، روش‌های شیمیایی (مثل کلرزدن و ازن زدن) و ترکیبی از این روش‌ها به طور وسیعی برای تصفیه پساب‌های حاوی آلاینده استفاده شده است [۳]. فرآیندهای متداول برای تصفیه این پساب‌ها مانند جذب یا انعقاد، به اندازه کافی مؤثر نیستند چون این روش‌ها، باعث تخریب ناقص ترکیبات آلاینده می‌شوند و فقط این ترکیبات را از یک فاز به فاز دیگر تبدیل می‌کنند به علاوه، استفاده از جاذب معمولاً گران و پرهزینه می‌باشد [۳]. سایر فرآیندهای متداول تصفیه آب مانند رسوب گذاری، فیلتراسیون، تکنولوژی‌های غشایی هزینه‌های عملیاتی بالایی دارند و می‌توانند آلاینده‌های سمی ثانویه‌ای در اکوسیستم تولید کنند. بنابراین استفاده از روش‌های شیمیایی بر پایه فرآیندهای اکسایشی مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که اغلب آلاینده‌های موجود در محیط زیست از نوع ترکیبات آلی اند که غالباً طی فرآیندهای اکسایشی قابل تجزیه‌اند، لذا در این روش‌ها، از اکسنددهای خیلی قوی مثل پراکسید هیدروژن و اوزن استفاده می‌شود. البته ترکیباتی مثل اوزن، خود نیز خطرناک بوده و استفاده بیش از حد این گونه ترکیبات شیمیایی سبب مسموم شدن محیط می‌گردد؛ لذا محققین به منظور رفع نواقص مطرح شده و بهبود فرآیند حذف آلاینده‌ها، تلاش خود را به سمت فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته^۱ سوق داده‌اند [۴]. در میان فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته، استفاده از فتوکاتالیست، یک تکنیک مؤثر در تخلیص آب و هوا می‌باشد. اولاً، فتوکاتالیست با تجزیه آلاینده یا تبدیل آن به موادی که کمتر مضر می‌باشند، در حضور نور UV و یا نوری نزدیک به طیف UV، آلاینده را از بین می‌برد. ثانیاً، می‌توان از چندین ماده غیرسمی به عنوان فتوکاتالیست نیمه‌هادی استفاده نمود. ثالثاً، این فرآیند می‌تواند در فشار اتمسفریک و در دمای اتاق یا نزدیک به آن مورد استفاده قرار بگیرد. از سوی دیگر، فرآیندهای فتوکاتالیستی کم هزینه هستند چون از نور خورشید به عنوان منبع نوری نیز استفاده می‌کنند، همچنین به عنوان یک فرآیند سازگار با محیط زیست شناخته می‌شود [۳]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که فتوکاتالیست‌های هتروژن، با بکارگیری اکسیدهای نیمه‌هادی مانند ZnO , WO_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 ، بازده بالایی در تجزیه انواع مختلف آلاینده‌های آبی و تبدیل آنها به مواد معدنی، H_2O و CO_2 دارند [۱]. این اکسیدهای فلزی بادوامند، بلورینگی متنوعی دارند، دارای ساختارهای

^۱Advanced Oxidation Processes(AOPs)

الکترونی با چندین حالت اکسایش، اعداد کئوردینانسیون متفاوت و متقارن، پایداری میدان لیگند و خواص اسیدی - بازی می‌باشند.

در میان انواع مختلف فتوکاتالیست‌ها، TiO_2 ، به عنوان فتوکاتالیست نیمه‌هادی، در تبدیل آلاینده‌های آلی به مواد بی‌ضرر به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. TiO_2 در مقایسه با سایر فتوکاتالیست‌ها مانند، ZnO , ZnS , Fe_2O_3 , CdS و WO_3 ، نسبتاً خنثی، غیرسمی، ارزان‌تر و در برابر خوردگی مقاوم می‌باشد [۲]. فرآیندهای اصلی فتوکاتالیستی زمانی اتفاق می‌افتد که پرتو نور با انرژی مساوی یا بیشتر از باند گپ TiO_2 (۳/۲ev) به سطح آن تابیده شود، در این حالت، الکترون‌ها (که از نوار ظرفیت به نوار هدایت منتقل می‌شوند) و حفره‌ها (که در نوار ظرفیت باقی می‌مانند) بر روی سطح کاتالیست ایجاد شده و متناوباً گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن مانند رادیکال‌های OH^\bullet و O_2^\bullet ایجاد می‌کنند تا آلاینده‌های رنگی آلی را تجزیه کنند [۳]. به هر حال، بسیاری از بررسی‌های تجزیه فتوکاتالیستی آلاینده‌های آبی با استفاده از TiO_2 پودری و به فرم سوسپانسیون شده در محلول انجام می‌شود [5-7]. علاوه بر کلوخه شدن ذرات در سیستم دوغابی، از نقطه نظر جداسازی فتوکاتالیست از مخلوط واکنش، فرآیند بازیافت ذرات فتوکاتالیستی (۲۰۰-۳۰۰nm) از محیط، وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد [۲]. لذا تثبیت کاتالیست روی یک پایه مناسب حائز اهمیت است. تاکنون از پایه‌های مختلفی مانند شیشه [8-12]، کربن فعال [13-17]، سیلیکا [۲۲-۱۸ و ۵]، مواد پلیمری [۲۴-۲۳]، سنگ متخلخل^۱ [۲۷]، فولاد ضدزنگ [28-29]، ماسه کوارتز [30] آلومینا و فوم‌های سرامیکی [31-33] برای تثبیت فیلم TiO_2 استفاده شده است.

بسیاری از این زیر لایه‌ها، به صورت گرانوله به کار رفته‌اند که ممکن است بازده فتوکاتالیستی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد، به دلیل این که TiO_2 بارگذاری شده در منافذ این نوع پایه‌ها، دسترسی اندکی به نور فوتون دارد [14]. در این تحقیق، از الیاف گونی‌های بکار رفته در کارهای عمرانی، برای اولین بار به عنوان پایه استفاده شده است. ساختار فیبر مانند گونی، دسترسی نور UV به ذرات فتوکاتالیستی را تسهیل می‌کند. این نوع گونی، معمولاً در عایق کاری ساختمانی استفاده می‌گردد، لذا از پایداری مکانیکی و دوام خوبی به منظور استفاده در تصفیه آب برخوردار می‌باشد. امکان جابجایی آسان آن نسبت به پایه‌های گرانوله، قیمت بسیار پایین و دسترسی آسان از سایر ویژگی‌های این نوع گونی است. در ادامه، پارامترهای مؤثر بر بازده فتوکاتالیستی دی‌اکسید تیتانیوم جهت تجزیه دو گونه رنگ صنعتی در سیستم دوغابی و تثبیت شده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در پایان از داده‌های تجربی جهت پیش‌بینی به وسیله شبکه عصبی استفاده شده است.

¹ Pumice stone

فصل اول

کلیات