٩٩٥٦٤

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مواد

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد نانومواد

بررسی پارامترهای موثر در ایجاد نانولایه TiO_2/SiO_2 بر روی شیشه جهت خودتمیزکنندگی

حمید جوادی

اساتید راهنما:

دکتر امیر عبداله‌زاده

دکتر سهراب سنجابی

بهمن ۱۳۸۶

۱۳۸۷ /۸/ ۲۲

99074

۱۵۴۸۵

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای حمید جوادی پایان نامه ۸ واحدی خود را **با عنوان بررسی پارامترهای موثر د رایجاد نانو لایه** Tio_2-Sio_2 **بر روی شیشه جهت خود تمیز کنندگی** در تاریخ ۱۳۸۶/۱۱/۲۹ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد – نانو فناوری پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر امیر عبداله زاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حمید اسدی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حمید رضا شاهوردی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد قربانی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر حمید اسدی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سهراب سنجابی	استادیار	

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

امضای استاد راهنما:

۹۹۰۶۴

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

مقدمه:

با عنایت به سیاست‌های 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 که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده۱: حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها/رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

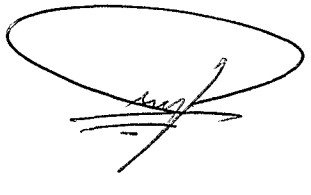
ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

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

ماده۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه 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 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 لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.



"به نام خدای انسانیت"

این چند خط‌پاره تقدیمی است به:

اسطوره‌ام، صلابتم، تکیه‌گاهم، معرفتم:

پدرم

دلسوزم، هستی‌ام، نیستی‌ام:

مادرم

مهربانم، حامی‌ام:

خاله‌ام

و گنجشککم:

خواهرم

"طاق محبتشان بر فراز خانه‌ام جاودانه باد."

تقدیر و تشکر

"حمد وسپاس خدای را، که پروردگار جهانیان است"

به عنوان بنده‌ای حقیر و ناسپاس، بر خود لازم می‌دانم تشکر ویژه‌ای از خدای خود داشته باشم که در تمامی مراحل زندگی حامی‌ام بوده است و در لحظه لحظه نفس کشیدن‌هایم، حضورش را با تمام وجود حس کرده‌ام. خدایا، امید آن دارم چنان‌که تاکنون بهترین‌ها را به من داده‌ای، در ادامه راه نیز توجهت را از من نگیری. "آمین"

خالصانه‌ترین سپاس و قدردانی این شاگرد کوچک، متعلق به استادی بزرگوار و با دانش است که به این حقیر درس زندگی آموخته و تاکنون نزدیک به هشتصد روز از ارزنده‌ترین اوقات عمرم را رقم زده است. تشکر بنده از جناب آقای دکتر امیر عبداله‌زاده، امری فراتر از وظیفه یک شاگرد در مقابل استاد است، چراکه علاوه بر آموختن علم در نزد ایشان، افتخار آشنایی با مدیری لایق و مدبر و یکی از تأثیرگذارترین چهره‌های زندگی‌ام نصیب من شده است. استاد عزیزم، امیدوارم بدی‌های این پسر کوچک خود را بخشیده باشی و دعای خیرت را توشه راه زندگی‌اش گردانی.

هم‌چنین وظیفه خود می‌دانم که از استاد دیگرم جناب آقای دکتر سهراب سنجابی قدردانی نمایم. راهنمایی‌های دلسوزانه و بسیار مفید ایشان روشنگر راه این‌جانب در مسیر پژوهش بوده است. استاد گرامی‌ام، متشکرم.

از تمام کسانی که در راه انجام این پایان‌نامه یاری‌رسان این‌جانب بوده‌اند قدردانی می‌نمایم ازجمله:

جناب آقای مهندس فیروز کارگر، مسئول آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد، که علاوه بر ایفای نقش به عنوان یک دوست، از هیچ‌گونه لطفی دریغ ننموده و همیشه کمک حال بنده بوده‌اند.

جناب آقای مهندس عبدالحمید رضایی، مسئول آزمایشگاه SEM، نیز تأثیر به‌سزایی در نتایج این تحقیق داشته‌اند. علاقه شدید و هم‌چنین دقت و کیفیت بالای ایشان در کار، سزاوار تشکر فراوان است.

در پایان از زحمات و دلسوزی‌های همیشگی خانواده عزیزم که مشوق و راهنمای اصلی بنده در طول مسیر زندگی‌ام بوده‌اند، نهایت سپاس‌گزاری را دارم. امیدوارم با کسب موفقیت‌های بزرگ در آینده، حتی برای لحظه‌ای دلشادشان گردانم.

"ایران سربلند

ایرانی سرفراز

و پرچم سبز و سفید و سرخش همیشه در احتزاز"

حمید جوادی

بهمن ماه ۱۳۸۶

چکیده

دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2)، یک نیمه‌هادی با باند گپ بزرگ است که دارای خواص ویژه بسیاری هم‌چون شفافیت در ناحیه نور مرئی، اندیس انعکاسی بالا، آب‌دوستی، قابلیت تجزیه فوتوکاتالیستی مواد آلی و غیره می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق، استفاده از ترکیب دو خاصیت فوتوکاتالیستی و آب‌دوستی TiO_2 جهت حصول خاصیت خودتمیزکنندگی این ماده به شکل لایه‌نازک بر روی شیشه‌های سودالایم بود. هم‌چنین رسیدن به ترکیب بهینه محلول لایه‌نشانی و جلوگیری از نفوذ عناصر مخرب فوتوکاتالیستی موجود در شیشه به درون پوشش، از دیگر اهداف این تحقیق بودند.

در این تحقیق، ترکیبات مختلفی از سل دی‌اکسیدتیتانیوم با تغییر در نسبت‌های مولی مواد اولیه تشکیل‌دهنده آن (آلکوکسید تیتانیوم، آب مقطر، کاتالیزور اسیدی)، آماده گشتند. مقدار مول حلال، برای تمام این ترکیبات ثابت است و در نهایت، ترکیب بهینه سل با بهترین شرایط جهت لایه‌نشانی انتخاب شد. لایه‌های نازک و شفاف دی-اکسیدتیتانیوم به وسیله روش پوشش‌دهی چرخشی (Spin-coating) و غوطه‌وری (Dip-coating) سل-ژل بر روی شیشه‌های سودالایم تهیه شدند. لایه‌های نازک این تحقیق در دماهای مختلف عملیات حرارتی شده و سپس به وسیله آزمون‌های تفرق اشعه X (XRD)، آنالیز حرارتی DTA، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، پراکنش انرژی اشعه X (EDX) و سنجش درصد عبور نور مرئی با اسپکتروفوتومتر UV-Visible مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که لایه‌های نازک عملیات حرارتی شده در دمای ^{o}C ۴۵۰ کاملاً یکنواخت، نانوساختار، متراکم و بدون تخلخل بوده و همچنین دارای ساختار آناتاز و اندازه دانه‌های ۱۶-۱۴ نانومتر هستند. قدرت فوتوکاتالیستی لایه‌های نازک دی‌اکسیدتیتانیوم نیز با سنجش میزان تجزیه فوتوکاتالیستی محلول اسید استیک به عنوان یک آلودگی آلی تحت تابش نور UV اندازه‌گیری می‌شود. لایه‌های حاصل پس از ۲۴ ساعت، نزدیک به ۳۷٪ از محلول اسید استیک را تجزیه می‌نمایند. خاصیت آب‌دوستی نیز با اندازه‌گیری تغییرات زاویه تماس قطره آب تحت تابش نور UV سنجیده شد. لایه‌های نازک TiO_2 حاصل از این تحقیق به سرعت دارای زاویه تماس صفر درجه گشته و آب‌دوست می‌شوند که حتی پس از باقی‌ماندن در مکانی تاریک نیز این ویژگی را حفظ می‌کنند. هم‌چنین استفاده از نشاندن پیش‌لایه SiO_2 بر روی شیشه‌های سودالایم قبل از لایه‌نشانی TiO_2، از نفوذ عناصر سدیم و کلسیم که مخرب راندمان فوتوکاتالیستی هستند، جلوگیری نموده و قدرت تجزیه اسید استیک را تا ۱۳٪ بهبود می-بخشد.

کلید واژه: شیشه‌های خودتمیزکننده، دی‌اکسیدتیتانیوم، لایه‌نازک، سل-ژل، فوتوکاتالیست، نانوساختار، آناتاز.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	أ
فهرست جداول	د
فهرست شکل‌ها و نمودارها	و
فصل ۱ مقدمه	۱
۱-۱- TiO_2 فوتوکاتالیست	۳
۱-۲- آب‌دوستی TiO_2	۴
فصل ۲ مروری بر منابع	۶
۲-۱- فوتوکاتالیستی دی‌اکسید تیتانیوم	۷
۲-۱-۱- برانگیختگی الکترونی نیمه‌هادی TiO_2	۸
۲-۱-۲- واکنش‌های اکسایش- کاهش نوری در سطح TiO_2	۱۱
۲-۲- آب‌دوستی دی‌اکسید تیتانیوم	۱۸
۲-۲-۱- فوق‌آب‌دوستی چیست؟	۱۸
۲-۲-۲- مکانیزم آب‌دوستی TiO_2	۲۱
۲-۳- خودتمیزکنندگی دی‌اکسید تیتانیوم و کاربردهای آن	۲۵
۲-۳-۱- ارتباط بین فوتوکاتالیستی و آب‌دوستی TiO_2	۲۵
۲-۳-۲- نقش فوتوکاتالیستی و آب‌دوستی در نگهداری اثر خودتمیزکنندگی	۲۶
۲-۳-۳- کاربردهای TiO_2	۲۸
۲-۴- فرایند سل ژل	۳۰
۲-۴-۱- سل ژل سرامیک‌ها	۳۰
۲-۴-۲- مزایا و معایب فرآیند سل ژل	۳۲

عنوان	صفحه
۲-۴-۳- اصول شیمی سل ژل	۳۴
۲-۴-۴- روش‌های لایه‌نشانی پوشش‌های سل ژل	۴۱
فصل ۳ اهداف تحقیق	۴۷
فصل ۴ روش تحقیق	۵۰
۴-۱- ایجاد پوشش‌های لایه نازک TiO_2	۵۱
۴-۲- اهمیت شستشوی زیرلایه	۵۳
۴-۳- روش لایه‌نشانی لایه نازک TiO_2	۵۴
۴-۴- فرآیند خشک کردن و عملیات حرارتی لایه‌های نازک TiO_2	۵۶
۴-۵- مشخصه‌یابی لایه نازک TiO_2	۵۶
۴-۵-۱- بررسی فازها	۵۶
۴-۵-۲- ارزیابی ریزساختار	۵۷
۴-۵-۳- آزمون فعالیت فوتوکاتالیستی	۵۸
۴-۵-۴- بررسی استحاله‌های حرارتی موجود	۵۹
۴-۵-۶- بررسی شفافیت لایه و میزان درصد عبور نور مرئی	۶۱
۴-۵-۷- بررسی آب‌دوستی	۶۲
فصل ۵ نتایج و بحث	۶۴
۵-۱- خواص محلول سل ژل TiO_2	۶۵
۵-۱-۱- تأثیر غلظت مواد اولیه بر روی خواص محلول سل ژل	۶۵
۵-۱-۲- وابستگی زمان ژلاسیون به pH	۷۲

عنوان	صفحه

۵-۱-۳- وابستگی ویسکوزیته سل به pH	۷۵
۵-۱-۴- نسبت مولی اجزای تشکیل‌دهنده سل	۷۷
۵-۲- نتایج و بحث آنالیز DTA و طراحی عملیات حرارتی	۷۹
۵-۳- تحلیل نتایج آزمون XRD و بررسی فازهای موجود در پودر و پوشش TiO_2	۸۱
۵-۴- ریزساختار لایه‌های نازک TiO_2	۸۷
۵-۵- میزان شفافیت لایه‌های نازک TiO_2	۹۰
۵-۶- قدرت فوتوکاتالیستی پوشش‌های TiO_2	۹۲
۵-۷- تحلیل آب‌دوستی TiO_2	۹۵
۵-۸- تأثیر افزودن لایه SiO_2	۹۸
فصل ۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات	۱۰۲
۶-۱- نتیجه‌گیری	۱۰۳
۶-۲- پیشنهادات	۱۰۶
فهرست منابع و مراجع	۱۰۷

فهرست جداول

شماره | صفحه

جدول ۲-۱ محل‌های باند ظرفیت و هدایت برای تعدادی از نیمه‌هادی‌های فوتوکاتالیست در آب با pH=۱ **۱۰**

جدول ۲-۲ لیست محلول‌های آلودگی آلی قابل تجزیه توسط فرایند فوتوکاتالیستی **۱۷**

جدول ۲-۳ کاربردهای منتخب TiO_2 فوتوکاتالیست **۲۹**

جدول ۲-۴ تشکیل شبکه‌های مختلف از ژل‌ها بر اساس چگالی و توزیع چگالی آن‌ها **۳۵**

جدول ۲-۵ محصولاتی که بر حسب سرعت‌های نسبی هیدرولیز و کندانسیون به دست می‌آیند **۳۹**

جدول ۵-۱ تغییرات ویسکوزیته و زمان ژلاسیون با تغییر مقدار مول آب (برای مقادیر ثابت ۰/۵ مول HCl و ۱ مول $Ti(O\text{-}nBu)_4$) **۶۶**

جدول ۵-۲ مقدار مولی اجزای تشکیل‌دهنده سل با تغییر نسبت آلکوکسید تیتانیوم **۶۷**

جدول ۵-۳ مقدار مولی اجزای تشکیل‌دهنده سل با تغییر نسبت اسید هیدروکلریک **۶۸**

جدول ۵-۴ تغییرات pH به ازای تغییر در مقدار آب هیدرولیز برای مقدار کاتالیزور و آلکوکسید تیتانیوم ثابت **۷۲**

جدول ۵-۵ تغییرات زمان ژلاسیون و ویسکوزیته به ازای تغییر pH برای مقادیر مختلف کاتالیزور اسیدی (برای مقادیر ثابت ۱ مول $Ti(O\text{-}nBu)_4$ و ۲ مول آب) **۷۳**

جدول ۵-۶ مقدار مولی بهینه اجزای تشکیل‌دهنده سل TiO_2 **۷۸**

شماره		صفحه
جدول ۵-۷	عملیات حرارتی طراحی شده جهت پوشش‌های لایه‌نازک TiO_2	۸۰
جدول ۵-۸	مقدار تجزیه اسید استیک بر روی لایه‌های نازک TiO_2 تحت تابش نور UV	۹۴

فهرست شکل‌ها و نمودارها

شماره		صفحه
شکل ۲-۱	نمایش فرایندهای اصلی حادث شونده در یک ذره نیمه‌هادی در اثر برانگیختگی الکترون	۹
شکل ۲-۲	مکان لبه باند برای تعدادی نیمه‌هادی در تماس با محلول الکترولیت با pH=۱	۱۰
شکل ۲-۳	(I) برانگیختگی اولیه مولکول جذب‌شده در واکنش نوری کاتالیزوری و (II) برانگیختگی اولیه جامد در واکنش نوری حساس	۱۲
شکل ۲-۴	تأثیر پارامترهای فیزیکی مختلف بر سرعت واکنش نوری r (A) جرم TiO_2 فوتوکاتالیست، (B) طول موج نور، (C) غلظت اولیه واکنش‌دهنده، (D) دما، (E) شدت تابش نور	۱۶
شکل ۲-۵	حالت قطره آب بر روی سطوح مختلف	۱۸
شکل ۲-۶	وقوع آب‌دوستی تحت تابش نور UV	۲۰
شکل ۲-۷	تغییر زاویه تماس قطره آب قبل و بعد از تابش نور UV	۲۰
شکل ۲-۸	مکانیزم آب‌دوستی ایجادشده نوری	۲۲
شکل ۲-۹	مرحله اول مکانیزم فوق‌آب‌دوستی	۲۳
شکل ۲-۱۰	مرحله دوم مکانیزم فوق‌آب‌دوستی	۲۴

شماره		صفحه
شکل ۲-۱۱	مرحله سوم مکانیزم فوق‌آب‌دوستی	۲۴
شکل ۲-۱۲	مرحله چهارم مکانیزم فوق‌آب‌دوستی	۲۴
شکل ۲-۱۳	مکانیزم خودتمیزکنندگی فیلم آب‌دوست TiO_2	۲۷
شکل ۲-۱۴	نمایش شماتیکی از مراحل مختلف فرایند سل-ژل	۳۱
شکل ۲-۱۵	نمایی شماتیک از محصولات مختلف حاصل از روش سل-ژل	۳۲
شکل ۲-۱۶	نمایی شماتیک از انواع تحولات ساختاری آلکوکسیدهای فلزی در محلول	۳۵
شکل ۲-۱۷	فرایند لایه‌نشانی به روش پوشش‌دهی غوطه‌وری	۴۳
شکل ۲-۱۸	ضخامت پوشش بر حسب سرعت زیرلایه برای تعدادی از سل‌های سیلیکایی	۴۴
شکل ۲-۱۹	شماتیکی از روش پوشش‌دهی غوطه‌وری که مراحل مختلف تحولات ساختاری پوشش را همراه تبخیر حلال نشان می‌دهد	۴۵
شکل ۲-۲۰	فرایند لایه‌نشانی به روش پوشش‌دهی چرخشی	۴۶
شکل ۴-۱	مراحل آماده‌سازی لایه‌های نازک TiO_2	۵۲
شکل ۴-۲	دستگاه Spin Coater مورد استفاده در این تحقیق	۵۵
شکل ۴-۳	تصویر شماتیک محفظه واکنش تجزیه اسید استیک	۵۹
شکل ۴-۴	ساختار شماتیک دستگاه آنالیز حرارتی DTA	۶۰

شماره		صفحه
شکل ۴-۵	دستگاه DTA دانشگاه تربیت مدرس	۶۱
شکل ۴-۶	دستگاه اندازه‌گیری تغییرات زاویه تماس قطره آب بر روی سطح	۶۳
شکل ۵-۱	(الف) وابستگی ویسکوزیته و زمان ژلاسیون سل به مقدار آب (برای مقادیر ثابت ۰/۵ مول HCl و ۱ مول $Ti(O\text{-}nBu)_4$) و (ب) نمای ظاهری سل‌های تحقیق حاضر	۶۹
شکل ۵-۲	(الف) وابستگی ویسکوزیته و زمان ژلاسیون سل به مقدار آلکوکسید تیتانیوم (برای مقادیر ثابت ۰/۵ مول HCl و ۲ مول آب) و (ب) نمای ظاهری سل‌های تحقیق حاضر	۷۰
شکل ۵-۳	(الف) وابستگی ویسکوزیته و زمان ژلاسیون سل به مقدار کاتالیزور اسیدی (برای مقادیر ثابت ۱ مول $Ti(O\text{-}nBu)_4$ و ۲ مول آب) و (ب) نمای ظاهری سل‌های تحقیق حاضر	۷۱
شکل ۵-۴	وابستگی زمان ژلاسیون به pH سل (تغییر pH به وسیله افزودن آب)	۷۳
شکل ۵-۵	وابستگی ویسکوزیته به pH سل (مقدار pH با افزودن آب هیدرولیز تغییر می‌کند)	۷۶
شکل ۵-۶	وابستگی ویسکوزیته به pH سل (مقدار pH با افزودن کاتالیزور اسیدی HCl تغییر می‌کند)	۷۶
شکل ۵-۷	نمودار آنالیز حرارتی DTA ژل TiO_2 حاصل از ترکیب بهینه سل	۸۰
شکل ۵-۸	الگوی XRD پودرهای عملیات حرارتی شده در دماهای (الف) ۳۰۰، (ب) ۴۵۰، (ج) ۶۰۰، (د) ۷۵۰ و (ه) ۹۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت	۸۳

شماره		صفحه

شکل ۵-۹	الگوی XRD لایه‌های ۳بار پوشش داده و عملیات حرارتی شده در دماهای (الف) محیط (بدون عملیات حرارتی)، (ب) ۱۵۰، (ج) ۳۰۰، (د) ۴۵۰ و (ه) ۶۰۰ درجه سانتیگراد	۸۵
شکل ۵-۱۰	مقایسه الگوی XRD (الف) پودر و (ب) لایه‌های ۳ بار پوشش حاصل از سل TiO_2 عملیات حرارتی شده در دمای ^{o}C ۴۵۰ به مدت ۱ ساعت	۸۶
شکل ۵-۱۱	الگوی پیک آناتاز (۱۰۱) حاصل از سرعت پایین روبش (۱ درجه در ۱۲ دقیقه) لایه-های ۱بار پوشش TiO_2	۸۶
شکل ۵-۱۲	تصاویر SEM تک‌لایه‌های TiO_2 عملیات حرارتی شده در دمای (الف) ۱۵۰ و (ب) ۳۰۰ درجه سانتیگراد	۸۸
شکل ۵-۱۳	تصاویر SEM تک‌لایه‌های TiO_2 عملیات حرارتی شده در دمای (الف) ۴۵۰ و (ب) ۶۰۰ درجه سانتیگراد	۸۹
شکل ۵-۱۴	تصاویر SEM تک‌لایه‌های TiO_2 عملیات حرارتی شده در دمای (الف) ۷۰۰ و (ب) ۷۵۰ درجه سانتیگراد	۹۰
شکل ۵-۱۵	نمودار درصد عبور نور برای (الف) شیشه بدون پوشش و (ب) شیشه به همراه پوشش TiO_2	۹۱
شکل ۵-۱۶	مقایسه میزان شفافیت لایه‌های TiO_2	۹۱
شکل ۵-۱۷	میزان قدرت تجزیه‌کنندگی پوشش‌های TiO_2 عملیات حرارتی شده در دماهای مختلف	۹۴

شماره		صفحه
شکل ۵-۱۸	نمودار شماتیک حصول آب‌دوستی تحت تابش UV	۹۶
شکل ۵-۱۹	نمودار تغییرات زاویه تماس آب بر روی سطح شیشه و پوشش TiO_2	۹۸
شکل ۵-۲۰	تأثیر افزودن پیش‌لایه SiO_2 بر روی قدرت فوتوکاتالیستی پوشش‌های TiO_2	۹۹
شکل ۵-۲۱	آنالیز EDX پوششTiO_2 عملیات حرارتی شده در دمای ۴۵۰ °C	۱۰۰
شکل ۵-۲۲	آنالیز EDX پوشش SiO_2-TiO_2 عملیات حرارتی شده در دمای ۴۵۰ °C	۱۰۱

فصل ۱

مقدمه

واکنش‌های حالت جامد[1] معمولاً به عنوان روش‌های اصلی تولید انواع مختلف سرامیک‌ها در نظر گرفته می‌شوند. این واکنش‌ها به دماهای بالا و زمان واکنش نسبتاً طولانی نیازمندند. برای مثال، جهت تولید یک بدنه کاملاً سینتر شده و فشردن پودر TiO_2، نیاز به عملیات حرارتی در دماهای بالای ^{o}C ۱۸۰۰، برای چندین ساعت می‌باشد.

به عنوان یک روش جدید جهت تولید سرامیک‌های یک‌جزئی یا چندجزئی با خلوص بالا و دمای فرآیند نسبتاً پایین، روش سل ژل به طور نسبتاً گسترده‌ای در دهه‌های اخیر به کار رفته و گسترش یافته است. این روش که در دهه ۱۹۶۰ گسترش یافت، یک روش شیمیایی جهت تولید مواد مختلف با خواص بی‌همتا است. خواص مطلوب و کنترل شده‌ای مانند خلوص بالا و همگونی مواد حاصل، که طی این روش به دست می‌آیند، منجر به ایجاد کاربردهای بسیار زیاد برای محصولات روش سل ژل شده است [۲،۱].

دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) به طور معمول به عنوان ماده اولیه سرامیکی در حباب‌های فلزی و سرامیکی به کار می‌رفته است. همچنین به خاطر اندیس انعکاسی[2] نسبتاً بالای آن، مقادیر زیاد این اکسید به عنوان سفیدکننده در صنایع رنگ و کاغذ استفاده می‌شود. کاربردهای اخیر این اکسید بر روی خواص فوتوکاتالیستی[3] آن پایه‌گذاری شده است. خلوص و همگنی بالا، به همراه خصوصیات ریزساختاری مطلوب TiO_2 تولیدی، فاکتورهای ضروری این نیمه هادی جهت نشان دادن خواص فوتوکاتالیستی در حضور نور UV می‌باشند [۴،۳].

[1] Solid-state Reactions
[2] Refractive Index
[3] Photocatalytic Properties