بسم الله الرحمن الرحیم

همه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی‌سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی‌سینا (یا استاد یا استادان راهنمای پایان‌نامه) و نام دانشجو با ذکر مآخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

دانشکده شیمی

گروه شیمی‌فیزیک

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی (گرایش شیمی فیزیک)

عنوان:

بررسی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی سطح نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم

استاد راهنما:

پروفسور سعید عزیزیان

استاد مشاور:

دکتر بابک ژاله

پژوهشگر:

شیلا جعفری

تیر ماه ۱۳۸۹

دانشکده شیمی

گروه شیمی فیزیک

پایان‌نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی (گرایش شیمی فیزیک)

عنوان:

بررسی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی سطح نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم

استاد راهنما:

پروفسورسعید عزیزیان

استاد مشاور:

دکتربابک ژاله

پژوهشگر:

شیلا جعفری

کمیته ارزیابی پایان‌نامه:

۱) استاد راهنما: **پروفسور سعید عزیزیان**..... استاد شیمی فیزیک

۲) استاد مشاور: **دکتر بابک ژاله**..... استادیار فیزیک

۳) استاد مدعو: **پروفسور حسین ایلوخانی**..... استاد شیمی فیزیک

۴) استاد مدعو: **دکتر جلال ارجمندی**..... استادیار شیمی فیزیک

دانشکـده شیمی

جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد
(گرایش فیزیک) خانم شیلا جعفری در رشته شیمی

عنوان:

بررسی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی سطح نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم

بـه ارزش ۸ واحـد در روز سـه شـنبه ۱۳۸۹/۴/۲۹ سـاعت ۱۰ صـبح در سـالن آمفـی تئـاتر ۲ دانشکـده شیمی و با حضور اعضای هیأت داوران زیر برگزار گردید و با نمره ..... و درجه ..... به تصویب رسید.

هیأت داوران:

۱) استاد راهنما: **پروفسور سعید عزیزیان**..... استاد شیمی فیزیک

۲) استاد مشاور: **دکتر بابک ژاله**..... استادیار فیزیک

۳) استاد مدعو: **پروفسور حسین ایلوخانی**..... استاد شیمی فیزیک

۴) استاد مدعو: **دکتر جلال ارجمندی**..... استادیار شیمی فیزیک

به پاس تعبیر عظیم و انسانی از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس قلب های بزرگی که سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغی که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم

و به خواهران مهربانم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان

تقدیم به آنان که همواره پشتیبان من بوده و افق های بلند و دوری را در برابر دیدگانم روشن نموده اند.

تقدیم به استاد راهنمای بزرگوارم

جناب آقای پروفسور عزیزیان

آن که گوهر علم خویش را به تقوا و کمالات انسانی آراسته و با قامتی استوار به قله‌های رفیع دانش و وارستگی گام نهاده و وجود پربرکتش محراب حرمت ارزشهای والای انسانی است.

از زحمات بی‌شائبه ایشان که نماد برجسته‌ای در گلشن علم و معرفت می‌باشند تشکر می‌نمایم که تجربه سرشار و دریای دانش خود را از من دریغ ننمودند و طی این طریق بدون راهنمایی‌های مشفقانه و حسن برخوردهای ایشان میسر نمی‌شد و بی‌شک افتخار شاگردی ایشان بزرگ‌ترین دستاورد دوران تحصیل من می‌باشد.

از زحمات فراوان جناب آقای دکتر ژاله که با شور و شوق و پیگیری‌های مدام، امید و تلاش جهت رسیدن به هدف را در بنده می‌پروراندند و در طول مدت انجام پروژه همراه و همگام بنده بودند تشکر می‌نمایم.

در اینجا وظیفه خود می‌دانم از کلیه اساتید گران‌قدر گروه شیمی که افتخار شاگردی ایشان را داشته و اندرزهای آنها چراغ روشن راهم بوده است قدردانی کنم امید که پروردگار همواره ایامشان به عزت قرین و به توفیق توام فرماید. از جناب آقایان پروفسور ایلوخانی و دکتر ارجمندی که زحمت قرائت و داوری این پایان نامه را عهده دار بودند، صمیمانه متشکرم.

همچنین از دوستان ارجمندم در آزمایشگاه تحقیقاتی شیمی فیزیک، خانم‌ها ملکی، بشیری، نیک نام، فلاح، رستمیان، حجازی فر، قاسمیان، افشاری، زارع، فریدونی مقدم، حائری فرو خشنود و آقایان حاجیان، افراز و یوسفی و سایر دوستانم در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی دیگر، خانم‌ها پیرویسیان، اسدآبادی، غلامی و آقای شایگانی مدد که با شمیم محبتشان عشق و امید را در وجودم زنده نگه داشته‌اند تشکر می‌کنم و برای همه آنها از ایزد منان آرزوی روزهای خوب و توفیق روز افزون را دارم.

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

بررسی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی سطح نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم

نام نویسنده: شیلا جعفری

استاد راهنما: پروفسور سعید عزیزیان

نام استاد مشاور: دکتر بابک ژاله

دانشکده: شیمی	**گروه آموزشی: شیمی فیزیک**	
رشته تحصیلی: شیمی	**گرایش تحصیلی: شیمی فیزیک**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب: ۱۳۸۸/۰۳/۰۳	**تاریخ دفاع: ۱۳۸۹/۰۴/۲۹**	**تعداد صفحات: ۱۱۰ صفحه**

چکیــده:

در این پژوهش مشخصات نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم تغییر فاز یافته به روش گرمایی و همچنین آلایش یافته با AgI با استفاده از دستگاه XRD مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه فعالیت این ذرات برای حذف متیل‌ویولت که یکی از آلاینده‌های محیط زیست می‌باشد، ابتدا میزان جذب سطحی متیل‌ویولت (M.V.) بر روی سطح این ذرات مورد بررسی قرار گرفته است و سپس، فعالیت فوتوکاتالیزوری این ذرات تحت تابش نور خورشید جهت تخریب M.V. مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌های جذب سطحی از دیدگاه تعادلی با ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ، لانگمویر-فروندلیچ و تمکین به صورت غیرخطی برازش شده‌اند. ضرایب همبستگی به دست آمده برای جذب سطحی M.V. بر روی دی‌اکسیدتیتانیوم در اندازه‌های متفاوت و آلایش یافته با AgI نشان داده است که داده‌های تعادلی با ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ تطابق بهتری دارند. نتایج آزمایش‌های تعادلی نشان می‌دهند که ذرات TiO_2 با اندازه درشت تر و آلایش یافته با AgI بالاترین ظرفیت جذب را برای جذب سطحی متیل‌ویولت دارند. سینتیک جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی انواع دی‌اکسیدتیتانیوم از مدل شبه مرتبه دوم پیروی کرده و واجذب سطحی آن از روی انواع دی-اکسیدتیتانیوم از مدل واجذب سطحی مرتبه اول پیروی می‌کند. نتایج آزمایش سینتیکی بیانگر آن است که بیشترین ثابت سرعت جذب سطحی مربوط به تیتانیوم دی‌اکسیدی می‌باشد، که بالاترین درصد فاز آناتاز را دارا می‌باشد. آزمایش‌های جذب سطحی نشان می‌دهند که پس از حدود هشتاد دقیقه از شروع

جذب، فرآیند واجذب نیز آغاز شده و همچنین هر چه در صد فاز روتیل بیشتر باشد تمایل به واجذب کمتر می‌گردد. از طرف دیگر نتایج آزمایش تخریب فوتوکاتالیستی نشان می‌دهد که عواملی چون ساختار کریستالی آناتاز، اندازه‌ی ذرات و همچنین آلاییدن با AgI در فعالیت فوتوکاتالیزوری، نقش به سزایی دارند. با مقایسه روند و زمان جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی انواع نانو ذرات TiO_2 با اندازه و ساختارهای کریستالی متفاوت و آلایش یافته با AgI ، نسبت به روند و زمان لازم برای تخریب فوتوکاتالیستی آن می-توان نتیجه گرفت که در فرآیند تخریب فوتوکاتالیستی متیل‌ویولت توسط TiO_2، جذب سطحی نقشی ندارد.

واژه‌های کلیدی: جذب سطحی، نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم، متیل‌ویولت، واجذب سطحی، سینتیک جذب

مقدمه

با گسترش صنایع گوناگون از قبیل نساجی، داروسازی، شیمیایی، پتروشیمی و غیره، آلودگی منابع آب نیز افزایش یافته است. برخی از مهمترین مواد آلاینده موجود در پساب‌ها عبارتند از مواد جامد معلق، جامدات معدنی حل شده، پسماند روغن‌ها، فلزات و آلیاژهای فلزات و آلاینده‌های آلی همچون حلال‌های کلره، رنگها و پاک کننده‌ها.

با توجه به تنوع آلاینده‌های موجود در پساب‌ها و نیز گستره وسیع آنها، روش‌های متفاوتی برای حذف آلاینده‌های موجود در پساب‌ها پیشنهاد شده است.

بطور کلی روش‌های حذف مواد آلاینده به دو روش فیزیکی و شیمیایی صورت می‌گیرد. از روش‌های فیزیکی می‌توان به فیلتراسیون ساده، فیلتراسیون غشایی، شناورسازی و تکنیک جذب سطحی اشاره کرد. تکنیک جذب سطحی اخیراً به خاطر کارایی آن، در حذف آلاینده‌ها توجه بیشتری را جلب نموده و فرآیندی است که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. از روش‌های شیمیایی می‌توان به ته‌نشینی شیمیایی، اکسیداسیون شیمیایی، اکسیداسیون الکتروشیمیایی و فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته مانند اکسایش فوتوکاتالیزوری نام برد.

با توجه به رشد روز افزون در عرصه فناوری نانو، امروزه جنبه کاربردی این علم اهمیت فراوانی دارد و تلاش‌های زیادی جهت تولید مواد نانو با خواص کاربردی جدید شده است. استفاده از مواد در ابعاد نانو، منجر به تغییر در خواص نوری، الکتریکی، مکانیکی، شیمیائی و کاتالیزوری می‌شود. لذا کاربردهای این علم برای تجزیه آلاینده‌های محیط زیست نیز مورد توجه واقع شده است. بنابراین استفاده از کاتالیزورها و جاذب‌ها در ابعاد نانو، که سبب افزایش مساحت سطح کاتالیزورها و جاذب‌ها و همچنین تغییر برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی می‌شود، کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم به عنوان یک نیمه‌رسانا با ویژگی‌های خاص آبدوستی، فوتوکاتالیستی و آنتی‌باکتریال کاربردهای فراوانی در تصفیه آب و هوا، سلول‌های خورشیدی و سنسورها دارد. در این پژوهش، از TiO_2 در ابعاد نانو، به‌عنوان جاذب و همچنین فوتوکاتالیزور

برای حذف یک آلاینده نساجی به نام متیل‌ویولت استفاده شده است، تا اثر جذب سطحی بر روی فرآیند فوتوکاتالیستی بررسی شود.

در فصل اول جذب سطحی و فناوری نانو به صورت مختصر معرفی شده و برخی از مدل‌های سینتیکی و تعادلی موجود در زمینه جذب سطحی ارائه گردیده‌اند.

درفصل دوم دستگاه‌ها، مواد مورد استفاده و آزمایشهای انجام شده شرح داده شده‌اند.

در فصل سوم داده‌های تعادلی و سینتیکی جذب سطحی و داده‌های تخریب فوتوکاتالیستی به دست آمده، ارائه شده‌اند. نتایج در قالب جداول و نمودارها ارائه شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

عنوان	فهرست مطالب	صفحه

مقدمه .....

فصل اول: مقدمه و مروری بر کارهای تجربی

۱-۱- جذب سطحی ۲

۱-۱-۱- مقدمه ۲

۱-۱-۲-اهمیت و کاربردها ۲

۱-۱-۳- انواع جذب سطحی ۳

۱-۲-ایزوترم‌های جذب سطحی ۴

۱-۲-۱- ایزوترم لانگمویر ۴

۱-۲-۲- ایزوترم فروندلیچ ۶

۱-۲-۳- ایزوترم لانگمویر- فروندلیچ (سیپس) ۷

۱-۲-۴- ایزوترم تمکین ۸

۱ـ۳ـ مدل‌های سینتیکی سیستم‌های جذب سطحی ۸

۱-۳-۱- سینتیک جذب سطحی ۹

۱-۳-۱-۱- معادله سرعت شبه مرتبه اول ۹

۱-۳-۱-۲- معادله سرعت شبه مرتبه دوم ۱۰

۱-۳-۲- سینتیک واجذب سطحی ۱۲

۱-۴- فناوری نانو ۱۳

۱-۴-۱- مقدمه ۱۳

۱-۴-۲- کاربردهای فناوری نانو ۱۳

۱-۴-۳- ساختار ۱۳

۱-۵- نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم ۱۵

۱-۵-۱- کاربردها ۱۵

۱-۵-۲- خواص نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم ۱۶

۱-۵-۳- روش‌های سنتز نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم ۲۰

۱-۵-۴- اصلاحات در نانوذرات TiO_2 ..... ۲۱

۱-۶- مروری بر کارهای انجام شده ۲۳

فصل دوم: کارهای تجربی

۲-۱- مقدمه ۲۷
۲-۲- مواد و دستگاه‌ها ۲۷
-۲-۱- مواد ۲۷
۲-۲-۲- دستگاه‌ها ۳۰
۲-۳- تهیه ی $AgI-TiO_2$ ۳۱
۲-۴- رسم نمودار استاندارد خطی ۳۲
۲-۵- آزمایش تعادلی جذب سطحی متیل ویولت بر روی TiO_2 ..... ۳۳
۲-۶- آزمایش سینتیکی جذب سطحی متیل ویولت بر روی TiO_2P25 تغییر فاز یافته ۳۴
۲-۷- آزمایش فوتوکاتالیستی تخریب متیل ویولت بر روی TiO_2P25 تغییر فاز یافته ۳۵

فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱- مطالعه‌ی ساختار دی‌اکسیدتیتانیوم ۳۸
۳-۲- بررسی انتقال فاز و اثر افزایش دما بر مساحت سطح ویژهی TiO_2P25 ..... ۴۳
۳-۳- بررسی و انجام محاسبات مربوط به تخریب فوتوکاتالیستی متیل‌ویولت بر روی TiO_2P25 تغییر فاز یافته ۴۵
۳-۴- بررسی و انجام محاسبات مربوط به جذب سطحی متیلویولت بر روی دی‌اکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) ... ۴۸
۳-۴-۱- نتایج آزمایش تعادلی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی دی‌اکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) ۴۸
۳-۴-۲- نتایج آزمایش سینتیکی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی دی‌اکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) ۵۱
۳-۴-۳- نتایج آزمایش سینتیک واجذب سطحی متیل‌ویولت از روی دی‌اکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) ۵۵
۳-۵- بررسی و انجام محاسبات مربوط به جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی TiO_2P25 ..... ۵۷
۳-۵-۱- نتایج آزمایش تعادلی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی TiO_2P25 ..... ۵۷
۳-۶- بررسی و انجام محاسبات مربوط به جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی $AgI-TiO_2(P25)$ ۶۰
۳-۶-۱- نتایج آزمایش تعادلی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی $AgI-TiO_2(P25)$ ۶۰
۳-۶-۲- نتایج آزمایش سینتیکی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی $AgI-TiO_2(P25)$ ۶۲
۳-۷- بررسی و انجام محاسبات مربوط به جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی $AgI-TiO_2(300\,nm)$ ۶۵

۳-۷-۱- نتایج آزمایش تعادلی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی $AgI-TiO_2(300\ nm)$ ۶۵

۳-۷-۲- نتایج آزمایش سینتیکی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی $AgI-TiO_2(300\ nm)$ ۶۷

۳-۸- بررسی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی TiO_2P25 تغییر فاز یافته ۷۰

۳-۸-۱- نتایج آزمایش سینتیکی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی TiO_2P25 تغییر فاز یافته ۷۰

۳-۸-۲- نتایج آزمایش سینتیک واجذب سطحی متیل‌ویولت بر روی TiO_2P25 تغییر فاز یافته ۷۹

۳-۹- بحث در مورد دی‌اکسیدتیتانیوم ۸۴

۳-۱۱- بحث در مورد اثر افزایش دما بر روی انتقال فاز TiO_2P25 ۸۸

۳-۱۲- بحث در مورد پارامترهای تعادلی ۸۹

۳-۱۳- بحث در مورد پارامترهای سینتیکی ۹۱

۳-۱۳-۲- ثابت سرعت مرتبه اول در سینتیک واجذب ۹۲

۳-۱۴- بحث در مورد مکانیسم عمل فوتوکاتالیستی دی‌اکسیدتیتانیوم ۹۶

۳-۱۵- مقایسه جذب سطحی ۹۷

۳-۱۶- نتیجه گیری ۹۹

منابع

شکل ۱-۱: منحنی ایزوترم لانگمویر برای جذب از فاز مایع ۶

شکل ۲-۱: منحنی ایزوترم فروندلیچ برای جذب از فاز مایع ۷

شکل ۱-۴: آرایش بلوری آناتاس ۱۷

شکل ۱-۵: آرایش بلوری بروکیت ۱۸

شکل ۱-۶: الف: نمونه‌هائی از XRD نانوذرات TiO_2 و ب: نمونهای از XRD برای $AgI\text{-}TiO_2$ ۱۹

شکل ۲-۱: ساختار مولکولی متیل‌ویولت ۲۹

شکل ۲-۲: طیف UV/Vis متیل‌ویولت با غلظت C=۰/۰۱mM ۲۹

شکل ۲-۳: نمودار استاندارد خطی برای متیل‌ویولت ۳۲

شکل۳-۱: تصاویر مختلف میکروسکوپ الکترونی روبشی از TiO_2P25 ..... ۳۸

شکل۳-۲. تصویر TiO_2P25 بهدست آمده با میکروسکوپ الکترونی روبشی ۳۹

شکل۳-۳. تصویر TiO_2(300 nm) بهدست آمده با میکروسکوپ الکترونی روبشی ۳۹

شکل۳-۴. الگوی پراش اشعه ایکس TiO_2P25 ..... ۴۰

شکل۳-۵: الگوی پراش اشعه ایکس ۴۰

شکل۳-۶: الف) الگوی پراش اشعه ایکس $AgI\text{-}TiO_2$ با ماتریس TiO_2P25، ب) الگوی پراش اشعه ایکس $AgI\text{-}TiO_2$ با ماتریس TiO_2(300 nm) ۴۱

شکل ۳-۷: مشاهده انتقال فازTiO_2P25 با افرایش دما در الگوی پراش اشعه ایکس ۴۴

شکل ۳-۸: درصد حذف .M.V در فرآیند تخریب فوتوکاتالیستی بر روی کاتالیزورهای TiO_2P25 تغییر فاز یافته ۴۶

شکل ۳-۹: محلول‌هائی با غلظت یکسان از .M.V در حضور کاتالیزورهای مختلف قبل از تخریب فوتوکاتالیستی ۴۷

شکل ۳-۱۰: محلولهائی با غلظت یکسان از .M.V در حضور کاتالیزورهای مختلف بعد از تخریب فوتوکاتالیستی در حضور نور خورشید پس از ۴ دقیقه ۴۷

شکل ۳-۱۱: نمودار داده‌های تعادلی جذب سطحی .M.V بر روی دی‌اکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) در دمای ۳۰/۰ ^oC ۴۹

شکل۳-۱۲: منحنی داده‌های جذب سطحی تعادلی تجربی و حاصل از برازش با ایزوترم‌های مختلف برای ماده جذب شونده ۵۰

شکل ۳-۱۳: تغییرات طیف جذبی UV/Vis مربوط به .M.V با گذشت زمان ۵۲

شکل۳-۱۴(الف): منحنی داده‌های سینتیکی .M.V بر روی دی‌اکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) در گستره زمانی ۰-۳۵۰ دقیقه، (ب): منحنی داده‌های سینتیکی جذب سطحی .M.V بر روی دی‌اکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) در گستره زمانی ۰-۹۰ دقیقه..... ۵۲

شکل۳-۱۵: منحنی داده‌های سینتیکی جذب سطحی .M.V بر روی دیاکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) و نتایج حاصل از معادلات شبه مرتبه اول (PFO) و شبه مرتبه دوم (PSO) ۵۴

شکل ۳-۱۶: منحنی تغییرات داده‌های سینتیکی وا جذب سطحی .M.V از روی دی‌اکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) ۵۵

شکل ۳-۱۷: منحنی تغییرات داده‌های تجربی سینتیکی واجذب سطحی .M.V از روی دی‌اکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) با معادلات مرتبه صفر (ZO)، مرتبه اول (FO) و مرتبه دوم (SO) ۵۷

شکل ۳-۱۸: نمودار داده‌های تعادلی جذب سطحی .M.V بر روی TiO_2P25 در دمای $30/0\ ^oC$ ۵۸

شکل۳-۱۹: منحنی داده‌های جذب سطحی تعادلی تجربی و حاصل از برازش با ایزوترم‌های مختلف برای ماده .M.V روی TiO_2P25. L لانگمویر، F فروندلیچ، T تمکین ۵۹

شکل ۳-۲۰: نمودار داده‌های تعادلی جذب سطحی .M.V بر روی AgI-TiO_2(P25) در دمای $30/0\ ^oC$ ۶۱

شکل۳-۲۱: منحنی داده‌های جذب سطحی تعادلی تجربی (.Exp) و حاصل از برازش با ایزوترم‌های لانگمویر (L) و فروندلیچ (F) برای .M.V روی AgI-TiO_2(P25)..... ۶۲

شکل۳-۲۲: منحنی داده‌های جذب سطحی تعادلی تجربی (.Exp) و حاصل از برازش با ایزوترم‌های تمکین (T) و لانگمویر- فروندلیچ (L-F) برای .M.V روی AgI-TiO_2(P25)..... ۶۲

شکل ۳-۲۳: تغییرات طیف جذبی .M.V با زمان برای جذب سطحی بر روی AgI-TiO_2(P25) ۶۳

شکل۳-۲۴ : منحنی داده‌های سینتیکی جذب سطحی .M.V بر روی AgI-TiO_2(P25)..... ۶۴

شکل۳-۲۵: نمودار داده‌های تجربی سینتیکی جذب سطحی .M.V بر روی AgI-TiO_2(P25) و نتایج حاصل از معادلات شبه مرتبه اول (PFO) و شبه مرتبه دوم (PSO) ۶۴

شکل۳-۲۶: نمودار داده‌های جذب سطحی تعادلی .M.V بر روی AgI-TiO_2(300 nm) در دمای $30/0\ ^\circ C$..... ۶۶

شکل۳-۲۷: داده‌های جذب سطحی تعادلی تجربی (.Exp) و حاصل از برازش با ایزوترمهای لانگمویر (L) و فروندلیچ (F) برای ماده جذب شـونده .M.V بر روی AgI-TiO_2(300 nm)..... ۶۶

شکل۳-۲۸: داده‌های جذب سطحی تعادلی تجربی(.Exp) و حاصل از برازش با ایزوترم‌های لانگمویر - فروندلیچ (L-F) و تمکین (T) برای ماده جذب شـونده .M.V بر روی AgI-TiO_2(300 nm)..... ۶۷

شکل ۳-۲۹: تغییرات جذب سطحی .M.V بر روی AgI-TiO_2(300 nm) با گذشت زمان ۶۸

شکل۳-۳۰: منحنی داده‌های سینتیکی جذب سطحی M.V. بر روی AgI-TiO_2(300 nm) ۶۸

شکل۳-۳۱: : نمودار داده‌های تجربی سینتیکی جذب سطحی M.V. بر روی AgI-TiO_2(300 nm) و نتایج حاصل از معادلات شبه مرتبه اول (PFO)، شبه مرتبه دوم (PSO) ۶۹

شکل ۳-۳۲: تغییرات جذب M.V. با زمان در حضور TiO_2P25-600 ۷۱

شکل ۳-۳۳: تغییرات جذب M.V. با زمان در حضور TiO_2P25-700 ۷۱

شکل ۳-۳۴: تغییرات جذب M.V. با زمان در حضور TiO_2P25-800 ۷۲

شکل ۳-۳۵: تغییرات جذب M.V. با زمان در حضور TiO_2P25-900 ۷۲

شکل ۳-۳۶: تغییرات جذب M.V. با زمان در حضور TiO_2P25-1000 ۷۳

شکل ۳-۳۷: منحنی داده‌های سینتیکی جذب سطحی M.V. بر روی جاذبهای TiO_2P25 تغییر فاز یافته ۷۳

شکل۳-۳۸: نتایج تجربی سینتیکی و نمودارهای حاصل از برازش با مدل‌های سینتیکی برای جذب M.V. بر روی TiO_2P25-600 ۷۵

شکل۳-۳۹: نتایج تجربی سینتیکی و نمودارهای حاصل از برازش با مدل‌های سینتیکی برای جذب M.V. بر روی TiO_2P25-700 ۷۶

شکل۳-۴۰: : نتایج تجربی سینتیکی و نمودارهای حاصل از برازش با مدل‌های سینتیکی برای جذب M.V. بر روی TiO_2P25-800 ۷۶

شکل۳-۴۱: نتایج تجربی سینتیکی و نمودارهای حاصل از برازش با مدل‌های سینتیکی برای جذب M.V. بر روی TiO_2P25-900 ۷۷

شکل۳-۴۲: نتایج تجربی سینتیکی و نمودارهای حاصل از برازش با مدل‌های سینتیکی برای جذب M.V. بر روی TiO_2P25-1000 ۷۷

شکل ۳-۴۳: منحنی داده‌های سینتیکی جذب سطحی M.V. بر رویTiO_2 P25 تغییر فاز یافته ۸۰

شکل۳-۴۴: مقایسه‌ی داده‌های سینتیکی واجذب سطحی M.V. از روی TiO_2P25-600 با معادلات مرتبه صفر (ZO)، مرتبه اول (FO) و مرتبه دوم (SO) ۸۱

شکل۳-۴۵: مقایسه‌ی داده‌های سینتیکی واجذب سطحی M.V. از روی TiO_2P25-700 با معادلات مرتبه صفر (ZO)، مرتبه اول (FO) و مرتبه دوم (SO) ۸۲

شکل۳-۴۶: مقایسه‌ی داده‌های سینتیکی واجذب سطحی M.V. از روی TiO_2P25-800 با معادلات مرتبه صفر (ZO)، مرتبه اول (FO) و مرتبه دوم (SO) ۸۲

شکل ۳-۴۷: منحنی داده‌های سینتیکی واجذب سطحی .M.V از روی TiO_2P25-700 در گستره زمانی ۲۴ ساعت ۸۳

شکل۳-۴۸: مقایسه‌ی داده-های سینتیکی واجذب سطحی .M.V از روی TiO_2P25-700 با معادلات مرتبه صفر (**ZO**)، مرتبه اول (FO) و مرتبه دوم (SO) در گستره زمانی ۲۴ ساعت ۸۳

شکل۳-۴۹: نمایی از برانگیختگی نوری در نیمه‌رسانا ۸۵

شکل۳-۵۰: طیف جذبی دی‌اکسیدتیتانیوم ۸۶

شکل ۳-۵۱: تغییرات مساحت سطح ویژه (SA) و اندازه دانه‌های آناتاس (PGS) با افزایش دما ۸۹

شکل ۳-۵۲: مقادیر ظرفیت جاذب به دست آمده از ایزوترم لانگمویر برای .M.V بر حسب نوع جاذب ۹۰

شکل۳-۵۳: نمودار لگاریتم ثابت لانگمویر بر حسب نوع جاذب ۹۱

شکل ۳-۵۴: نمودار لگاریتم ثابت سرعت مدل شبه مرتبه دوم بر حسب نوع جاذب ۹۲

شکل ۳-۵۵: نمودار ثابت سرعت مرتبه اول در سینتیک واجذب سطحی بر حسب نوع جاذب و همچنین بر حسب در صد فاز آناتاس موجود در جاذب ۹۳

شکل ۳-۵۶: نمودار ثابت سرعت واجذب مرتبه اول نسبت به سایز ذرات جاذب ۹۴

شکل ۳-۵۷: : نمودار q_e به دست آمده از معادله سرعت شبه مرتبه دوم بر حسب نوع جاذب (برای جاذب‌های تغییر فاز یافته) ۹۵

شکل۳-۵۸: نمودار q_e به دست آمده از معادله سرعت شبه مرتبه دوم بر حسب نوع جاذب ۹۶

جدول ۲-۱: مشخصات فیزیکی ماده جاذب TiO_2 P25 ..... ۲۸
جدول ۲-۲: مشخصات متیل‌ویولت ۲۹
جدول ۲-۳: مقادیر عددی مربوط به غلظت‌های مختلف و جذب محلول‌ها ۳۳
جدول ۲-۴: داده‌های تعادلی جذب سطحی متیل‌ویولت بر روی TiO_2(300 nm) ۳۴
جدول ۲-۵: داده‌های سینتیکی مربوط به جذب سطحی متیل‌ویولت روی TiO_2 P25-1000 ..... ۳۵
جدول ۲-۶: داده‌های تخریب فوتوکاتالیستی متیل‌ویولت روی TiO_2P25 تغییر فاز یافته ۳۶
جدول ۳-۱: اطلاعات به‌دست آمده از الگوی پراش اشعه‌ی ایکس TiO_2P25 ..... ۴۲
جدول ۳-۲: مقادیر پارامترهای پراش اشعه ایکس TiO_2 ..... ۴۲
جدول ۳-۳: اطلاعات بدست آمده از الگوی پراش اشعه ایکس TiO_2P25 گرما داده شده در دماهای مختلف ۴۵
جدول ۳-۴: در صد حذف فوتوکاتالیستی M.V. برای سایر کاتالیزورها ۴۸
جدول ۳-۵: معادلات مربوط به ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و لانگمویر – فروندلیچ ۴۹
جدول ۳-۶: مقادیر پارامترهای ایزوترم‌های مختلف برای جذب سطحی M.V. بر روی دی‌اکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) ۵۰
جدول۳-۷: معادلات غیرخطی مدل‌های سینتیکی جذب سطحی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم ۵۳
جدول ۳-۸: مقادیر k و q_e محاسبه شده براساس مدلهای سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم ۵۳
جدول ۳-۹: مقادیر $\beta\theta$ برای جذب سطحی M.V. بر روی دیاکسیدتیتانیوم (۳۰۰ نانومتری) با غلظت اولیه $C_0 = ۳/۹۳\times۱۰^{-۳}$ g/L ۵۵
جدول۳-۱۰: معادلات مربوط به مدل‌های سینتیکی واجذب سطحی مرتبه صفر، مرتبه اول و مرتبه دوم ۵۶
جدول ۳-۱۱: مقادیر k محاسبه شده براساس سینتیک واجذب سطحی مرتبه صفر، مرتبه اول و مرتبه دوم ۵۶
جدول ۳-۱۲: مقادیر پارامترهای ایزوترم‌های مختلف برای جذب سطحی M.V. بر روی TiO_2P25 ..... ۵۸
جدول ۳-۱۳: مقادیر پارامترهای ایزوترم‌های مختلف برای جذب سطحی M.V. بر روی AgI-TiO_2(P25) ۶۱
جدول ۳-۱۴: مقادیر k و q_e محاسبه شده براساس مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم ۶۴
جدول ۳-۱۵: مقادیر پارامترهای ایزوترم‌های مختلف برای جذب سطحی M.V. بر روی AgI-TiO_2(300 nm) ۶۵
جدول ۳-۱۶: مقادیر k و q_e محاسبه شده براساس مدل‌های سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم ۶۸
جدول ۳-۱۷: مقادیر $\beta\theta$ برای جذب سطحی M.V. بر روی AgI-TiO_2(300nm) با غلظت اولیه $C_0 = ۳/۹۳\times۱۰^{-۳}$ g/L ۶۹