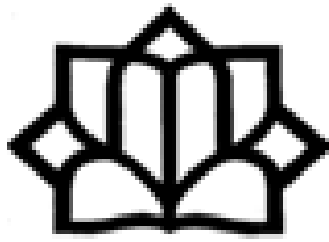


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کاشان

دانشکده شیمی

گروه شیمی تجزیه

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته شیمی تجزیه

عنوان:

تخریب فتوکاتالیزوری رنگ‌های آزویی در پساب صنایع نساجی با نانو لایه نازک

تیتانیوم دی‌اکسید آلاییده با گوگرد و نیتروژن تحت تابش نور مرئی و خورشید

استاد راهنما:

پروفسور محسن بهپور

استاد مشاور:

پروفسور سید مهدی قریشی

توسط:

مرآت مهرزاد

شهریور ماه ۱۳۹۳

تقدیم به

آنان که قلم از ستایش مهرشان عاجز است

پدر و مادر گرامی ام که به من زندگی بخشیدند

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

بدون شک جایگاه و منزلت استاد، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از استاد، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ برحسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ":

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای **پروفسور محسن بهپور** که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از استاد صبور و با تقوا؛ جناب آقای **پروفسور سید مهدی قریشی** که زحمت مشاوره این رساله

را متقبل شدند؛

و از استاد فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای **دکتر علی غلامی** که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

در دهه‌های اخیر تلاش‌هایی در زمینه پیشرفت آلاینده‌زدایی آب و هوا شده است. یکی از روش‌های مورد توجه تصفیه، اکسایش با استفاده از نیم‌رسانا به ویژه تیتانیوم دی‌اکسید با بهره‌گیری از نورخورشید است. این فرآیند مواد آلی را به کربن‌دی‌اکسید، آب و یون‌های معدنی دیگر تبدیل می‌کند. شکاف انرژی TiO_2 ۳/۲ eV است که برای استفاده اقتصادی و زیست-محیطی توجه زیادی به انتقال ناحیه جذبی TiO_2 از ناحیه فرابنفش به مرئی با روش‌هایی مانند دوپ کردن با فلزات و نافلزات شده است.

در این پژوهش نانولایه نازک تیتانیوم دی‌اکسید دوپ‌شده با گوگرد و نیتروژن به روش سل-ژل و غوطه‌وری روی بسترهای شیشه‌ای کوچک تثبیت شده است. فرآیند فتوکاتالیستی نانولایه دوپ شده با N و S با تخریب رنگ‌های آروبی تحت تابش نور مرئی و نورخورشید ارزیابی شد. آزمایشات نشان داد که تخریب در ۹ ساعت با نور مرئی ۱۰۰٪ است.

فعالیت فتوکاتالیستی با استفاده از فتوراکتور به شکل بستر ثابت فیلم نازک و از نوع جریان پیوسته سیال با بهره‌گیری از نور مرئی و نورخورشید مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای شناسایی فتوکاتالیست تثبیت شده از روش‌های میکروسکوپ نوری (SEM)، طیف سنجی فتوالکترون پرتو X (XPS)، پراش اشعه‌ی X (XRD)، طیف سنجی توزیع انرژی X (EDX) استفاده گردید. طیف سنجی مرئی-فرابنفش و اندازه‌گیری اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD) برای فرایندهای مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

کلمات کلیدی: تیتانیوم دی‌اکسید، سل-ژل، نانولایه نازک، فتوکاتالیست، رنگ‌های آروبی، فتوراکتور.

- ۹-۲-۱- صنعت نساجی ۹
- ۱۰-۲-۱- رنگ‌های آزویی در نساجی ۱۰
- ۱۰-۳-۱- کاتالیزور ۱۰
- ۱۰-۳-۱- تعریف کاتالیزور ۱۰
- ۱۰-۳-۱- نانوکاتالیزور ۱۰
- ۱۱-۳-۱- فتوکاتالیزور ۱۱
- ۱۲-۳-۱- فتوکاتالیزورهای همگن و ناهمگن ۱۲
- ۱۳-۳-۱- مزایای فتوکاتالیزور ۱۳
- ۱۴-۳-۱- خواص یک کاتالیزور مناسب ۱۴
- ۱۵-۴-۱- تیتانیوم دی‌اکسید ۱۵
- ۱۵-۴-۱- ساختارهای تیتانیوم دی‌اکسید ۱۵
- ۱۷-۴-۱- کاربردهای تیتانیوم دی‌اکسید ۱۷
- ۱۷-۴-۱- خاصیت فتوکاتالیستی تیتانیوم دی‌اکسید ۱۷
- ۱۷-۳-۴-۱- تاریخچه ۱۷
- ۱۸-۳-۴-۱- کاربردهای فتوکاتالیستی تیتانیوم دی‌اکسید ۱۸
- ۱۸-۳-۴-۱- خودتمیزشوندگی ۱۸

- ۱۹-۱-۴-۳-۲-۲- ضدمات شدگی ۱۹
- ۱۹-۱-۴-۳-۲-۳- میکروب کشی ۱۹
- ۲۰-۱-۴-۳-۲-۴- تصفیه هوا ۲۰
- ۲۱-۱-۴-۳-۲-۵- تولید سوخت پاک ۲۱
- ۲۲-۱-۴-۳-۲-۶- اثرات بیولوژیکی ۲۲
- ۲۳-۱-۴-۴- مکانیسم فرآیند تجزیه فتوکاتالیزوری تیتانیوم دی اکسید ۲۳
- ۲۴-۱-۵- روش های اصلاح رفتار فتوکاتالیزوری ۲۴
- ۲۵-۱-۵-۱- نیم رساناهای جفت شده ۲۵
- ۲۵-۱-۵-۲- رنگ های حساس شده ۲۵
- ۲۶-۱-۵-۳- دوپ کردن ۲۶
- ۲۷-۱-۵-۳-۱- اثر دوپ کردن بر فعالیت فتوکاتالیزوری فیلم های نازک تیتانیوم دی اکسید ۲۷
- ۲۸-۱-۶- فناوری نانو ۲۸
- ۲۸-۱-۶-۱- تعریف نانو ۲۸
- ۲۹-۱-۶-۲- اثرهای فناوری نانو در کاتالیزورها ۲۹
- ۲۹-۱-۷- فرآیند سل-ژل ۲۹
- ۳۰-۱-۷-۱- مزایای روش سل-ژل ۳۰

۳۱	۱-۷-۲- معایب روش سل-ژل
۳۱	۱-۷-۳- مکانیسم فرآیند سل-ژل در تهیه لایه نازک تیتانیوم دی‌اکسید در محیط اسیدی
۳۶	۱-۸-۸- نانولایه‌های نازک
۳۶	۱-۸-۱- مزایای استفاده از نانولایه‌های نازک
۳۷	۱-۹- آنالیز COD
۳۸	۱-۱۰- روش‌های آنالیز
۳۸	۱-۱۰-۱- طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)
۳۸	۱-۱۰-۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۳۹	۱-۱۰-۳- طیف‌سنجی فتوالکترون اشعه ایکس (XPS)
۳۹	۱-۱۰-۴- طیف‌سنجی توزیع انرژی اشعه ایکس (EDX)
۴۰	۱-۱۱- مروری بر کارهای انجام شده
۴۳	۱-۱۲- هدف از پژوهش

فصل دوم : مواد، دستگاه‌ها، وسایل و روش‌های انجام تحقیق

۴۶	مقدمه
۴۷	۲-۱- دستگاه‌ها، وسایل و مواد مورد استفاده

- ۴۷-۱-۱-۲- دستگاه‌های مورد استفاده.....
- ۴۸-۲-۱-۲- وسایل مورد استفاده.....
- ۴۸-۳-۱-۲- مواد مورد استفاده.....
- ۴۹-۱-۳-۱-۲- رنگ‌های آزویی مورد بررسی.....
- ۵۲-۲-۲- روش انجام آزمایش.....
- ۵۲-۱-۲-۲- آماده سازی بسترهای مورد نظر جهت انجام لایه‌نشانی.....
- ۵۳-۲-۲-۲- تهیه‌ی محلول سل نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید دوپ‌شده با گوگرد و نیتروژن.....
- ۵۵-۳-۲-۲- تهیه نانولایه‌ی تیتانیوم دی‌اکسید دوپ‌شده با گوگرد و نیتروژن.....
- ۵۸-۴-۲-۲- فتوراکتور در مقیاس آزمایشگاهی.....
- ۶۰-۵-۲-۲- آزمایش فتوکاتالیست محلول ترکیبی رنگ‌های آزویی.....
- ۶۲-۱-۵-۲-۲- بررسی عدم تخریب رنگ‌های آزویی بدون حضور فتوکاتالیست در شرایط نور مری.....
- ۶۳-۱-۵-۲-۲- آزمایش فتوکاتالیست رنگ‌های آزویی در شرایط نور مری.....
- ۶۴-۲-۵-۲-۲- آزمایش فتوکاتالیست محلول رنگ‌های آزویی در برابر نورخورشید.....
- ۶۵-۳-۲-۲- بررسی اثر pH در میزان تخریب فتوکاتالیستی رنگ‌های آزویی.....
- ۶۵-۴-۲-۲- بررسی اثر سرعت جریان خروجی فتوراکتور (دبی) در میزان تخریب فتوکاتالیستی.....
- ۵-۲-۵- بررسی حجم ابتدایی رنگ‌های آزویی در مقدار ثابت بسترهای لایه‌نشانی‌شده در میزان تخریب فتوکاتالیستی.....
- ۶۶- فتوکاتالیستی.....

- ۶۶-۲-۶- بررسی تکرارپذیری و پایداری بسترهای لایه‌نشانی شده ۶۶
- ۶۶-۲-۷- بررسی تجزیه فتوکاتالیزوری رنگ‌های آزویی در برابر نور مرئی در حجم زیاد ۶۶
- ۶۷-۲-۸- آنالیز COD ۶۷
- ۶۷-۲-۸-۱- آماده سازی محلول‌های آزمایش محلول COD ۶۷
- ۶۸-۲-۸-۲- روش کار آزمایش COD ۶۸
- ۶۸-۲-۸-۲-۱- محلول نمونه آلاینده ۶۸
- ۶۹-۲-۸-۲-۲- محلول شاهد ۶۹
- ۷۰-۲-۹- تعیین خواص نانولایه‌های تهیه شده ۷۰
- ۷۰-۲-۹-۱- آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) ۷۰
- ۷۰-۲-۹-۲- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۷۰
- ۷۰-۲-۹-۳- طیف سنجی توزیع انرژی پرتو ایکس (EDX) ۷۰
- ۷۱-۲-۹-۴- طیف سنجی فتوالکترون پرتو ایکس (XPS) ۷۱

فصل سوم: نتایج و بحث

- مقدمه ۷۳
- ۷۴-۳-۱- طیف سنجی مرئی / فرابنفش ۷۴
- ۷۵-۳-۲- بررسی عدم تخریب رنگ‌های آزویی بدون حضور فتوکاتالیست در شرایط نور مرئی ۷۵

- ۳-۳- بررسی اثر pH در میزان تخریب فتوکاتالیستی رنگ‌های آزویی ۷۶
- ۳-۴- بررسی اثر سرعت جریان خروجی فتورآکتور (دبی) در میزان تخریب فتوکاتالیستی محلول رنگ‌های آزویی ۸۲
- ۳-۵- بررسی اثر حجم ابتدایی محلول رنگ‌های آزویی در مقدار ثابت بسترهای لایه‌نشانی شده در میزان تخریب فتوکاتالیستی ۸۶
- ۳-۶- بررسی تکرارپذیری و پایداری بسترهای لایه‌نشانی شده ۹۰
- ۳-۷- بررسی تجزیه فتوکاتالیزوری رنگ‌های آزویی توسط بسترهای لایه‌نشانی شده تحت شرایط نور مریی.. ۹۲
- ۳-۸- بررسی تجزیه فتوکاتالیزوری رنگ‌های آزویی توسط بسترهای لایه‌نشانی شده تحت شرایط نور خورشید ۹۵
- ۳-۹- بررسی تجزیه فتوکاتالیزوری رنگ‌های آزویی در برابر نور خورشید در حجم زیاد ۹۷
- ۳-۱۰- سنجش مواد آلی پساب ۹۹
- ۳-۱۰-۱- آزمایش COD ۱۰۰
- ۳-۱۱- نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس ۱۰۱
- ۳-۱۱-۱- تخمین اندازه ذرات لایه‌های نازک با استفاده از رابطه شرر ۱۰۲
- ۳-۱۲- بررسی تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی ۱۰۳
- ۳-۱۳- نتایج طیف سنجی توزیع انرژی ایکس (EDX) ۱۰۵
- ۳-۱۴- نتایج آنالیز طیف سنجی فتوالکترون پرتو ایکس (XPS) ۱۰۶
- ۳-۱۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۸
- فهرست منابع و مراجع ۱۱۰

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه و مباحث نظری

- شکل ۱-۱: ساختارهای بلوری الف) آناتاز ب) روتیل ج) بروکیت ۱۶
- شکل ۲-۱: مکانیسم عمل فتوکاتالیستی TiO_2 در فرآیند حذف آلاینده‌های آلی آب ۲۴
- شکل ۳-۱: برخی از روش‌های متداول در فعال کردن TiO_2 در ناحیه نورمیری ۲۴
- شکل ۴-۱: استفاده از رنگ حساس شده در مکانیسم فتوکاتالیستی TiO_2 ۲۶
- شکل ۵-۱: مراحل تبدیل سل به ژل ۳۰
- شکل ۶-۱: مکانیسم فعال شدن TiO_2 در ناحیه مری با دوپ کردن تیواوره ۳۵

فصل دوم: مواد، وسایل، دستگاه‌ها و روش‌های انجام تحقیق

- شکل ۱-۲: ساختار و مشخصات رنگ Blue 41 ۵۰
- شکل ۲-۲: ساختار و مشخصات رنگ Red 46 ۵۰
- شکل ۳-۲: ساختار و مشخصات رنگ Yellow 28 ۵۱
- شکل ۴-۲: دستگاه طیف سنجی مری / فرابنفش به کار گرفته شده در اندازه‌گیری میزان تخریب رنگ‌های آزویی ۵۳

- شکل ۲-۵: دانه‌های شیشه‌ای کوچک به‌عنوان بستر انتخاب‌شده جهت تثبیت نانوذرات TiO_2 ۵۳
- شکل ۲-۶: ساختار نمک تترابوتیل‌اورتوتیتانات ۵۴
- شکل ۲-۷: ساختار استیل‌استون ۵۴
- شکل ۲-۸: ساختار تیواوره ۵۵
- شکل ۲-۹: مراحل آماده‌سازی نانولایه نازک TiO_2 دوپ شده با تیواوره ۵۷
- شکل ۲-۱۰: شماتیکی از اجزای فتوراکتور ۶۰
- شکل ۲-۱۱: شماتیک فتوراکتور در مقیاس آزمایشگاهی ۶۲
- شکل ۲-۱۲: شمای محفظه‌ی فتوشیمیایی ۶۴
- شکل ۲-۱۳: آزمایش فتوکاتالیست الف: در برابر نور مرئی و ب: در برابر نور خورشید ۶۵

فصل سوم: نتایج و بحث

- شکل ۳-۱: آزمایش فتوکاتالیستی رنگ‌های آزویی با تابش دهی لامپ مرئی ۹۳
- شکل ۳-۲: آزمایش فتوکاتالیستی محلول رنگ‌های آزویی در برابر نور خورشید ۹۶
- شکل ۳-۳: محل قرار گرفتن پیک‌های پراش اشعه ایکس TiO_2 در فاز آناتاز ۱۰۱
- شکل ۳-۴: طیف پراش اشعه ایکس از سطح لایه نازک ۱۰۲
- شکل ۳-۵: تصاویر SEM نانولایه نازک TiO_2 خالص ۱۰۳

شکل ۳-۶: تصاویر SEM نانولایه نازک TiO_2 دوپ شده با تیواوره ۱۰۵

شکل ۳-۷: طیف EDX مربوط به نانولایه نازک TiO_2 دوپ شده با نیتروژن و گوگرد ۱۰۶

شکل ۳-۸: طیف XPS نانوذرات TiO_2 لایه نشانی شده ۱۰۷

فهرست جدول ها

عنوان.....صفحه

فصل دوم : مواد ، دستگاهها و روش ها

جدول ۱-۲: دستگاه‌های مورد استفاده ۴۷

جدول ۲-۲: مواد شیمیایی مورد استفاده و ویژگی‌های آن ۴۸

فصل سوم: نتایج و بحث

جدول ۱-۳: نتایج درصد تجزیه محلول ترکیبی ۳ رنگ مورد بررسی برحسب زمان تابش در برابر نورمری در pH:۲ ۷۷

جدول ۲-۳: نتایج درصد تجزیه محلول ترکیبی ۳ رنگ مورد بررسی برحسب زمان تابش برابر نور مری در pH:۴/۷۵ ۷۸

جدول ۳-۳: نتایج درصد تجزیه محلول ترکیبی ۳ رنگ مورد بررسی برحسب زمان تابش برابر نورمری در pH:۷ ۷۹

جدول ۴-۳: نتایج درصد تجزیه محلول ترکیبی ۳ رنگ مورد بررسی برحسب زمان تابش برابر نورمری در pH:۹ ۸۰

جدول ۵-۳: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مری در سرعت جریان خروجی برابر (ml/min) ۴۰ ۸۲

جدول ۳-۶: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریبی در سرعت جریان خروجی برابر (ml/min) ۲۰..... ۸۳

جدول ۳-۷: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریبی در سرعت جریان خروجی برابر (ml/min) ۱۰..... ۸۴

جدول ۳-۸: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریبی در حجم برابر ۵۰۰ میلی‌لیتر ۸۷

جدول ۳-۹: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریبی در حجم برابر ۱۰۰۰ میلی‌لیتر ۸۸

جدول ۳-۱۰: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریبی در حجم برابر ۱۵۰۰ میلی‌لیتر ۸۹

جدول ۳-۱۱: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریبی در سیکل اول و پانزدهم ۹۱

جدول ۳-۱۲: نتایج درصد تجزیه ۱۰۰ میلی‌لیتر رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش برابر نور مریبی در (pH: ۴/۷۵، سرعت جریان: ۱۰ میلی‌لیتر بر دقیقه) ۹۴

جدول ۳-۱۳: نتایج درصد تجزیه ۱۰۰ میلی‌لیتر رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور خورشید در (pH: ۴/۷۵، سرعت جریان: ۱۰ میلی‌لیتر بر دقیقه) ۹۶

جدول ۳-۱۴: نتایج درصد تجزیه ۵۰۰ میلی‌لیتر رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور خورشید در (pH: ۴/۷۵، سرعت جریان: ۱۰ میلی‌لیتر بر دقیقه) ۹۸

جدول ۳-۱۵: تخمین اندازه ذرات لایه‌های نازک برحسب نانومتر با استفاده از رابطه‌ی شرر ۱۰۲

فهرست نمودارها

عنوان.....صفحه

فصل سوم: نتایج و بحث

نمودار ۳-۱: طیف جذبی ۳ رنگ Yellow 28 ،Blue 41،Red 46 ۷۴

نمودار ۳-۲: طیف جذبی محلول ترکیبی ۳ رنگ آزویی (۵۰ ppm) ۷۵

نمودار ۳-۳: نتایج روند بررسی درصد تجزیه ۱۰۰ میلی لیتر محلول ترکیبی رنگ‌های آزویی (۵۰ ppm)

در شرایط نور مری بدون حضور فتوکاتالیست در ۷ روز ۷۶

نمودار ۳-۴: نتایج درصد تجزیه محلول ترکیبی ۳ رنگ مورد بررسی برحسب زمان تابش در برابر نور مری

در pH:۲ ۷۷

نمودار ۳-۵: نتایج درصد تجزیه محلول ترکیبی ۳ رنگ مورد بررسی برحسب زمان تابش برابر نور مری

در pH:۴/۷۵ ۷۸

نمودار ۳-۶: نتایج درصد تجزیه محلول ترکیبی ۳ رنگ مورد بررسی برحسب زمان تابش برابر نور مری در

pH:۷ ۷۹

نمودار ۳-۷: نتایج درصد تجزیه محلول ترکیبی ۳ رنگ مورد بررسی برحسب زمان تابش برابر نور مری

در pH:۹ ۸۰

نمودار ۳-۸: نتایج درصد تجزیه آزو رنگ ها برحسب تابش در برابر نور مری در pHهای (۲/۰، ۴/۷۵،

۷/۰، ۹/۰) ۸۱

نمودار ۳-۹: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریی در سرعت جریان خروجی برابر (ml/min) ۴۰..... ۸۳

نمودار ۳-۱۰: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریی در سرعت جریان خروجی برابر (ml/min) ۲۰..... ۸۴

نمودار ۳-۱۱: نتایج درصد تجزیه ۱۰۰ میلی‌لیتر مخلوط رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش برابر نور مریی در (pH:۴/۷۵، سرعت جریان: ۱۰ میلی‌لیتر بر دقیقه)..... ۸۵

نمودار ۳-۱۲: درصد تجزیه رنگ‌های آزویی در برابر نور مریی در سرعت جریان‌های خروجی ۱۰ ، ۲۰ و ۴۰ (pH:۴/۷۵، حجم محلول: ۱۰۰ میلی‌لیتر)..... ۸۵

نمودار ۳-۱۳: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریی در حجم برابر ۵۰۰ میلی‌لیتر..... ۸۷

نمودار ۳-۱۴: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریی در حجم برابر ۱۰۰۰ میلی‌لیتر..... ۸۸

نمودار ۳-۱۵: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریی در حجم برابر ۱۵۰۰ میلی‌لیتر..... ۸۹

نمودار ۳-۱۶: درصد تجزیه رنگ‌های آزویی در برابر نور مریی در حجم‌های مختلف ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌لیتر..... ۹۰

نمودار ۳-۱۷: نتایج درصد تجزیه رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نور مریی در سیکل اول و پانزدهم..... ۹۱

- نمودار ۳-۱۸: تغییرات جذب برحسب طول موج تجزیه محلول رنگ‌های آزویی توسط بسترهای لایه نشانی شده در برابر نور مرئی در (pH: ۴/۷۵، سرعت جریان: ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه) ۹۳
- نمودار ۳-۱۹: نتایج درصد تجزیه ۱۰۰ میلی لیتر مخلوط رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش برابر نور مرئی در (pH: ۴/۷۵، سرعت جریان: ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه) ۹۴
- نمودار ۳-۲۰: نتایج درصد تجزیه ۱۰۰ میلی لیتر رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش برابر نورخورشید در (pH: ۴/۷۵، سرعت جریان: ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه) ۹۷
- نمودار ۳-۲۱: نتایج درصد تجزیه ۵۰۰ میلی لیتر رنگ‌های آزویی برحسب زمان تابش در برابر نورخورشید در (pH: ۴/۷۵، سرعت جریان: ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه) ۹۸