

تخریب فتوکاتالیستی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیم-کربن فعال

آمنه اسحاقی^{۱*}، سام حائری پور^۲

چکیده

رنگ‌های راکتیو به طور گسترده‌ای در صنایع نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. حذف این رنگ‌ها به دلیل حلالیت بالا در آب توسط روش‌های متداول تصفیه پساب‌ها بسیار مشکل و اغلب مواقع غیرممکن است. از این رو توجه زیادی بروی تکنیک‌های نوین که منجر به تخریب کامل این آلاینده‌ها می‌شوند، متمرکز شده است. یکی از این روش‌ها اکسیداسیون پیشرفته بر اساس فرایند فتوکاتالیستی است که سبب تخریب کامل این آلاینده‌ها می‌شود. در این تحقیق، نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیم-کربن فعال با درصد‌های وزنی مختلف (۰، ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵) به روش سل-ژل تهیه شد. خواص ساختاری و مورفولوژی نانو کامپوزیت توسط تکنیک‌های پراش اشعه ایکس و میکروسکوب الکترونی روبشی گسیل میدانی ارزیابی شد. خواص فتوکاتالیستی نانو کامپوزیت تحت تابش نور ماورای بنفش به وسیله میزان تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ به عنوان یکی از مواد موجود در پساب‌های صنایع نساجی و رنگرزی و یکی از عوامل آلودکننده آب‌های سطحی و زیرزمینی بررسی شد. نتایج نشان داد نانوذرات دی اکسید تیتانیم دارای ساختار کریستالی آناز بوده و اندازه متوسط نانوذرات حدود ۳۵ نانومتر است. نتایج تست فتوکاتالیستی نشان داد با افزایش میزان کربن فعال در نانو کامپوزیت، ابتدا فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات دی اکسید تیتانیم افزایش و سپس کاهش یافت. بالاترین فعالیت فتوکاتالیستی برای نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیم-۵ درصد وزنی کربن فعال به دست آمد. میزان تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در حضور نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیم-۵ درصد وزنی کربن فعال و نانوذرات دی اکسید تیتانیم بعد از ۲۱۰ دقیقه تابش به ترتیب حدود ۴۲ و ۳۵ درصد اندازه گیری شد.

واژه‌های کلیدی: نانو کامپوزیت، دی اکسید تیتانیم، کربن فعال، رنگ راکتیو قرمز، تخریب فتوکاتالیستی.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تنکابن، تنکابن، ایران

^۲ - استادیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تنکابن، تنکابن، ایران

* - نویسنده مسوول مقاله: paaeshaghi@gmail.com

پیشگفتار

رنگ‌های مصرفی در صنایع نساجی یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آبی هستند. از میان رنگ‌های مصرفی در فرآیندهای نساجی، رنگ‌های آزو از جمله رنگ‌های هستند که به طور گسترده استفاده می‌شوند. در دسته رنگ‌های آزو انواع مختلفی از رنگ‌ها نظیر رنگ‌های اسیدی، بازی، مستقیم و راکتیو یافت می‌شوند. رنگ‌های راکتیو به دلیل حلالیت بالا در آب و تجزیه پذیری پایین به عنوان مساله سازترین ترکیبات پساب‌های صنایع نساجی شناخته شده‌اند. این رنگ‌ها سرطان‌زا و سمی هستند و همچنین ممکن است، سبب حساسیت یا نشانه‌های تنگی نفس شوند و مشکلات تنفسی ایجاد کنند. این مواد رنگ‌زا نافذ بوده و آلوده کننده آب‌های سطحی، نهرها، رودخانه و آب‌های زیرزمینی هستند [۱،۲]. با توجه به منابع محدود آب‌های شیرین، تصفیه و پالایش آب‌های سطحی آلوده شده با انواع آلودگی‌های ناشی از رنگ‌های راکتیو مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و مطالعات گسترده‌ای در این رابطه در حال انجام است. این رنگ‌ها به دلیل ایجاد کمپلکس‌های قوی، از نظر بیولوژیکی غیر قابل تجزیه بوده و فرآیندهای تصفیه متداول فاضلاب مانند جذب سطحی، انعقاد و لخته سازی، روش‌های مؤثری برای حذف آن‌ها محسوب نمی‌گردند. ضمن این که این روش‌ها معمولاً تولید مقادیر قابل توجه‌ای لجن می‌نمایند که مشکلات زیست محیطی دیگری را به دنبال خواهند داشت [۳]. امروزه فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته بر پایه نانوذرات فتوکاتالیست (دی اکسید تیتانیم، اکسید روی،...) به دلیل کارایی بسیار بالا و همچنین عدم ایجاد آلودگی‌های ثانویه بسیار مورد توجه قرار گرفته و برای حذف انواع مختلفی از آلاینده‌ها از قبیل رنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴]. نتایج تجربی نشان داد که روش تجزیه فتوکاتالیستی یک روش مؤثر جهت تصفیه پساب‌های آلوده با آلودگی‌های آلی و غیر آلی است. در این روش نانوذرات فتوکاتالیست تحت تابش نور ماورای بنفش فعال شده و متعاقب آن رادیکال‌های فعال هیدروکسیل تولید می‌شوند. این رادیکال‌های اکسیدکننده از میل ترکیبی بسیار قوی برخوردارند و سبب تخریب آلاینده‌های آلی

می‌گردند. در سیستم‌های تصفیه پساب‌های حاوی مواد رنگ‌زا، نانوذرات دی اکسید تیتانیم یک فتوکاتالیست مناسب است. نانوذرات دی اکسید تیتانیم از نظر شیمیایی خنثی، غیر سمی و ارزان هستند. همچنین این نانوذرات به دلیل مساحت سطحی بزرگ و درجه پخش شدن بالا در محیط واکنش فعالیت فتوکاتالیستی بالایی دارند [۵،۶]. علیرغم مزایای نانوذرات دی اکسید تیتانیم در تصفیه آلاینده‌های زیست محیطی، کاربرد این نانوذرات در عمل با محدودیت‌هایی مواجه می‌شود از جمله فرایند مشکل فیلتر کردن یا جدایش از محلول بعد از واکنش فتوکاتالیستی، آگلومره شدن ذرات در سوسپانسیون در حالت بارگذاری‌های بالا و مشکلات جدایش در سیستم‌های پیوسته. جدایش این نانوذرات بعد از فرایند فتوکاتالیستی بسیار مشکل است و ممکن است، سبب بروز مشکلات زیست محیطی دیگری شود. لذا با قرار دادن آن بر بستره‌های متخلخل متعددی نظیر ژئولیت، آلومینا، سیلیکا، نانوتیوب‌های کربنی و کربن فعال مشکلات جدایش بعد از عملیات فتوکاتالیستی برطرف می‌شود. از میان این مواد، کربن فعال به دلیل خاصیت جذب سطحی بالا بهترین گزینه جهت ساکن سازی نانوذرات دی اکسید تیتانیم است [۷،۸]. اسلیمن و همکارانش [۹]، تخریب فتوکاتالیستی متیلن بلو را با استفاده از نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیم-کربن فعال گزارش کردند. این گروه نشان دادند کربن فعال، باعث افزایش عملکرد فتوکاتالیستی نانوذرات دی اکسید تیتانیم و تخریب بیش‌تر متیلن بلو شده است. به هر حال در رابطه با تخریب فتوکاتالیستی رنگ‌های راکتیو با استفاده از نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیم-کربن فعال گزارشی ارائه نشده است. در این تحقیق ابتدا، نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیم-کربن فعال تهیه شده و سپس خواص فتوکاتالیستی آن در تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

مواد

برای تهیه نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیم و نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیم-کربن فعال از آب دی‌یونیزه دو بار تقطیر، اتانول (خلوص ۹۹/۹٪ محصول شرکت مرک)،

گرفت. سپس نمونه‌ها درون آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا کاملاً خشک گردد. پخت پودرها به مدت یک ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تحت اتمسفر آرگون انجام شد [۹]. پس از ساخت نانو کامپوزیت دی‌اکسید تیتانیم- کربن فعال با درصدهای وزنی مختلف و نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیم، تست‌های فتوکاتالیستی و مشخصه‌یابی‌های ساختاری انجام شد.

روش‌های مشخصه‌یابی

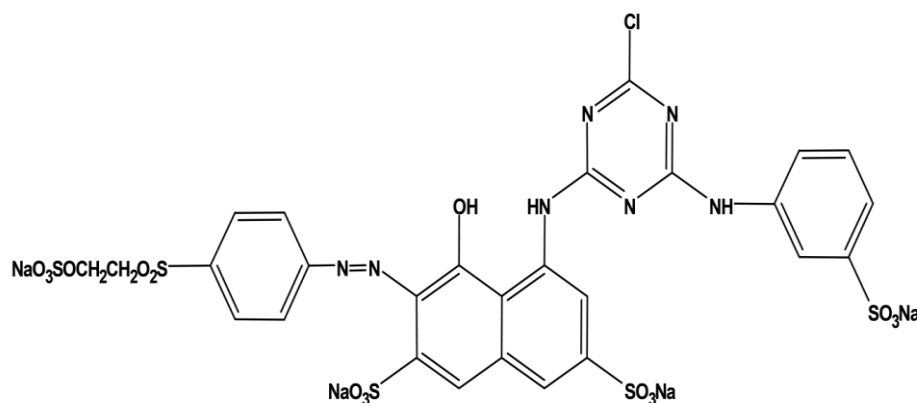
تست فتوکاتالیستی تحت شرایط کاتالیست با غلظت ۱ گرم بر لیتر و رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر و pH ۷ انجام شد. به منظور یکنواخت سازی و جلوگیری از آگلومره شدن، محلول حاوی نانو کامپوزیت به مدت نیم ساعت تحت آلتراسونیک قرار داده شد. آزمایش فتوکاتالیستی در یک راکتور با حجم مفید ۵۰۰ میلی‌لیتر تحت تابش نور فرابنفش در زمان‌های مختلف انجام شد. پس از هر ۳۰ دقیقه تابش، ۵ میلی‌لیتر محلول از راکتور برداشته شده و پس از عملیات سانتریفیوژ جهت جداسازی نانو ذرات میزان جذب نور توسط محلول رنگ به وسیله دستگاه طیف سنج UV-vis (ساخت شرکت Philips مدل 8675 vis pu Spectrophotometer) در طول موج ۵۱۸ نانومتر اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است قبل از انجام تست فتوکاتالیستی راکتور به مدت یک ساعت در مکان تاریک قرار گرفت تا حالت جذب- واجذب به تعادل برسد.

تترا بوتیل ارتوتیتانات (خلوص ۹۸٪ محصول شرکت مرک)، اسید سولفوریک (خلوص ۹۸٪ محصول شرکت پارس شیمی) و کربن فعال (محصول شرکت AppliChem) استفاده شد.

جهت انجام تست فتوکاتالیستی از رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ (RR 198) ساخت شرکت Dystar استفاده شد. ساختار شیمیایی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در شکل ۱ نشان داده شده است. هم‌چنین از لامپ فرابنفش با توان ۱۵ وات (۲ عدد) با طول موج ۲۵۴ نانومتر به عنوان منبع تابش نور استفاده شد. نانو کامپوزیت دی‌اکسید تیتانیم- کربن فعال به صورت زیر تهیه شد:

ابتدا ۵ میلی لیتر تترا بوتیل اورتوتیتانات به ۵۰ میلی لیتر اتانول اضافه شد. به محلول تهیه شده ۲۵۰ میلی لیتر آب و ۰/۵ میلی لیتر اسید سولفوریک اضافه و محلول حدود نیم ساعت هم زده شد. در این حالت محلول دی-اکسید تیتانیم تهیه شد.

برای ساخت نانو کامپوزیت دی‌اکسید تیتانیم-کربن فعال، کربن فعال با درصدهای وزنی مختلف (۰، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵٪) به محلول دی‌اکسید تیتانیم اضافه شد. سپس محلول دی‌اکسید تیتانیم- کربن فعال به مدت ۲ ساعت تحت هم زدن قرار گرفت تا این که محلول دی‌اکسید تیتانیم-کربن فعال یکنواخت به دست آید. پس از تهیه محلول دی‌اکسید تیتانیم- کربن فعال، محلول به مدت ۲ ساعت در آب گرم با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار



شکل ۱ - ساختار شیمیایی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ [۱۰]

خالص و نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-کربن فعال با استفاده از پراش سنج پرتو ایکس مدل Philips و با تابش $K\alpha$ مس که دارای $\lambda=1/54 A_0$ می باشد در بازه 2θ بین $5-85^\circ$ به دست آمد. مورفولوژی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با درصدهای وزنی مختلف کربن فعال به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مدل Hitachi S4160 (Cold Field Emission) بررسی شد.

نتایج و بحث

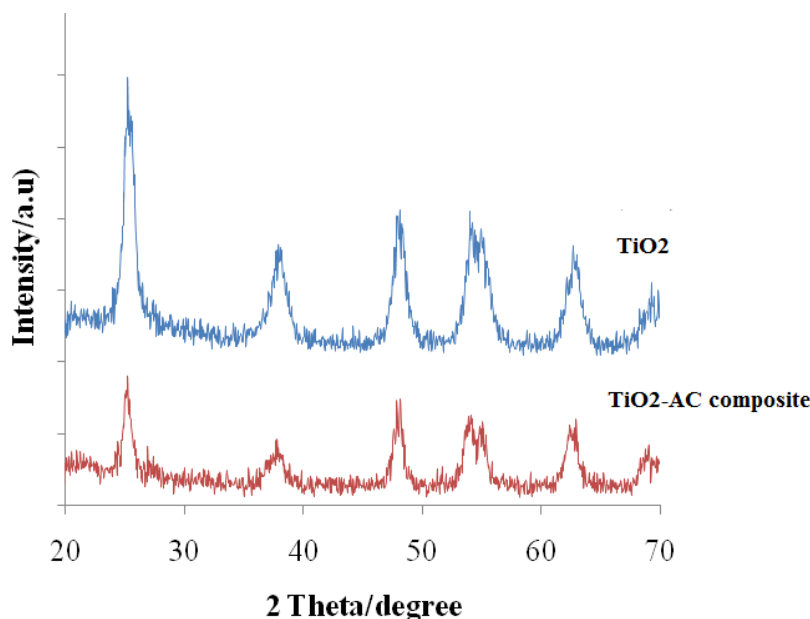
طیف های پراش سنجی پرتو ایکس نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم خالص و نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-۵ درصد وزنی کربن فعال در شکل ۲ آورده شده است. پیک های موجود در طیف ها، تشکیل فاز آاناتاز دی اکسید تیتانیوم را نشان می دهد. با توجه به شکل مشاهده می شود که طیف پراش سنجی پرتو ایکس نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-۵ درصد وزنی کربن فعال با طیف پراش سنجی پرتو ایکس نانو پودر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم خالص منطبق است. بنابراین، کربن فعال روی ساختار کریستالی دی اکسید تیتانیوم در نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-۵ درصد وزنی کربن فعال اثری نداشته است [۱۲].

میزان بی رنگ شدن راکتیو قرمز ۱۹۸، معیاری از فعالیت فتوکاتالیستی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-کربن فعال است که با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می شود [۱۱]:

$$\eta = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

جایی که A_0 میزان جذب نور قبل از تابش و A میزان جذب نور بعد از تابش توسط رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ است.

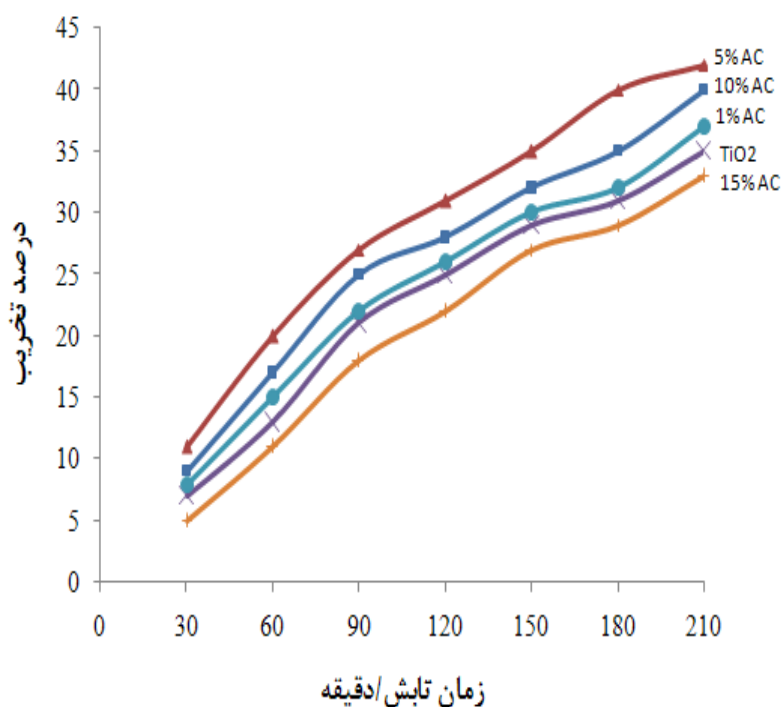
به منظور بررسی میزان جذب محلول رنگ راکتیو قرمز در حالت اولیه و در حالت های تخریب شده تحت کاتالیست های دی اکسید تیتانیوم و نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-کربن فعال طیف سنجی در محدوده ۹۰۰-۳۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف سنج نوری انجام شد. طیف سنجی توسط دستگاه طیف سنج UV-vis (مدل V-670 ساخت شرکت JASCO) صورت گرفت. به منظور مشخصه یابی ساختاری، آنالیز پراش سنجی پرتو ایکس روی نمونه ها صورت گرفت. در این پژوهش الگوهای پراش پرتو ایکس نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم



شکل ۲- الگوی پراش اشعه ایکس نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-کربن فعال

فتوکاتالیستی مشاهده می‌شود بالاترین تخریب فتوکاتالیستی رنگ راکتیو قرمز پس از ۲۱۰ دقیقه تابش در حضور نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-۵ درصد وزنی کربن فعال حاصل شده است. بنابراین، ترکیب بهینه فتوکاتالیست جهت کسب حداکثر تخریب رنگ راکتیو قرمز نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-۵ درصد وزنی کربن فعال است.

درصد تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ طی فرایند فتوکاتالیستی در شرایط مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود با ساخت نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-کربن فعال خواص فتوکاتالیستی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم ابتدا، افزایش یافته است. با افزایش بیش از ۱۰ درصد وزنی کربن فعال در نانوکامپوزیت خواص فتوکاتالیستی کاهش یافته است، به گونه‌ای که خواص فتوکاتالیستی نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-۱۵ درصد وزنی کربن فعال از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم نیز کم‌تر شده است. با مقایسه نتایج تست

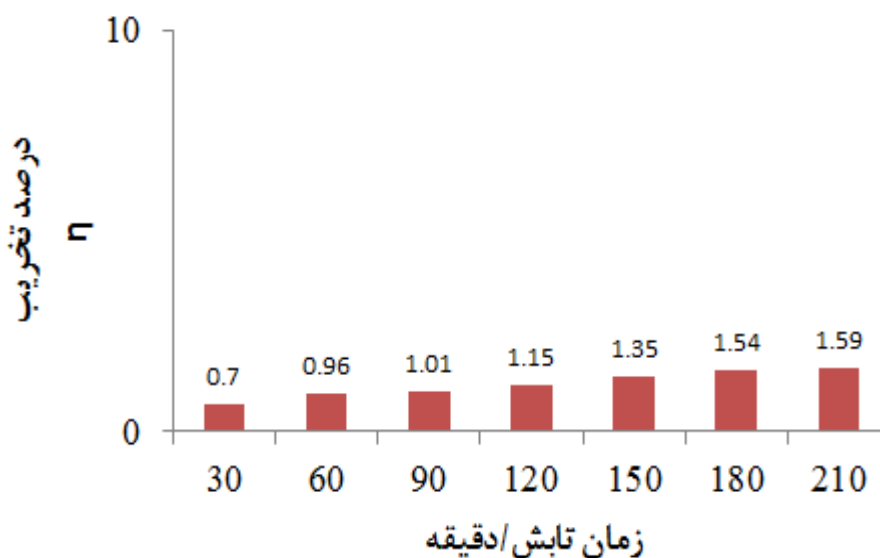


شکل ۳ - اثر غلظت کربن فعال بر فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم

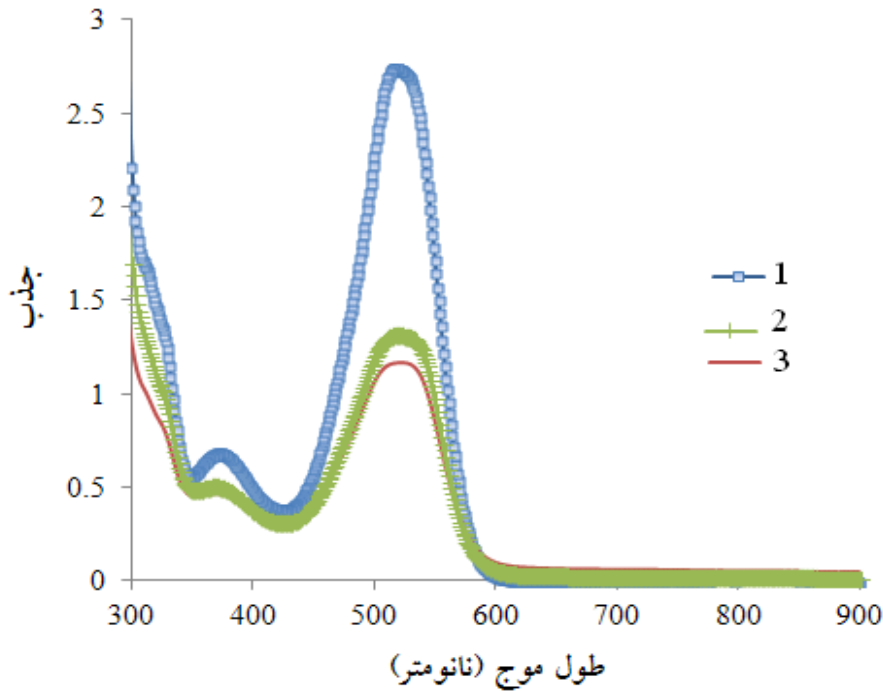
نانومتر صورت می‌گیرد. نتایج نشان داد که محلول‌ها پس از تابش، جذب کم‌تری در طول موج ۵۱۸ نانومتر دارند و این تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ را تحت تابش نور فرابنفش اثبات می‌کند. شکل ۵ نشان می‌دهد، میزان جذب در طول موج ۵۱۸ نانومتر برای محلول رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در حضور نانو کامپوزیت دی‌اکسید تیتانیم-۵ درصد وزنی کربن فعال نسبت به محلول رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ حاوی نانودرات دی اکسید تیتانیم کم‌تر است. دلیل این امر، تخریب بیش‌تر رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در حضور نانو کامپوزیت دی‌اکسید تیتانیم-۵ درصد وزنی کربن فعال نسبت به نانودرات دی اکسید تیتانیم است.

هم‌چنین تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ طی تابش نور فرابنفش و بدون حضور کاتالیست در شکل ۴ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد درصد تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ طی تابش نور فرابنفش و بدون حضور کاتالیست ناچیز است و تابش نور فرابنفش به تنهایی توان تخریب رنگ را ندارد.

منحنی جذب بر حسب طول‌موج برای سه نمونه محلول رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ قبل از تابش، محلول رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در حضور کاتالیست‌های دی‌اکسید تیتانیم و نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیم-۵ درصد وزنی کربن فعال بعد از ۲۱۰ دقیقه تابش در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که از منحنی‌ها مشاهده می‌شود، بیش‌ترین جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در طول‌موج ۵۱۸



شکل ۴ - درصد تخریب رنگ راکتیو قرمز تحت تابش نور فرابنفش و بدون حضور کاتالیست

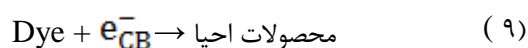
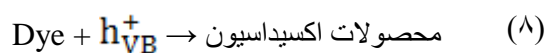
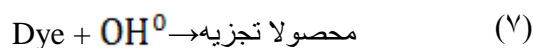
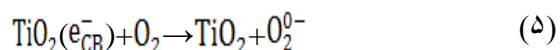
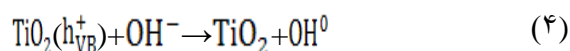
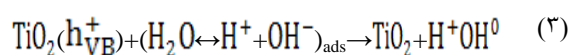
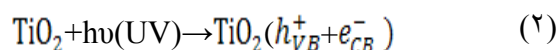


شکل ۵ - منحنی جذب رنگ راکتیو قرمز: در حالت اولیه ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر (منحنی ۱) ، بعد از ۲۱۰ دقیقه تابش: در حضور نانوذرات دی اکسید تیتانیم (منحنی ۲) و نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیم-۵ درصد وزنی کربن فعال (منحنی ۳)

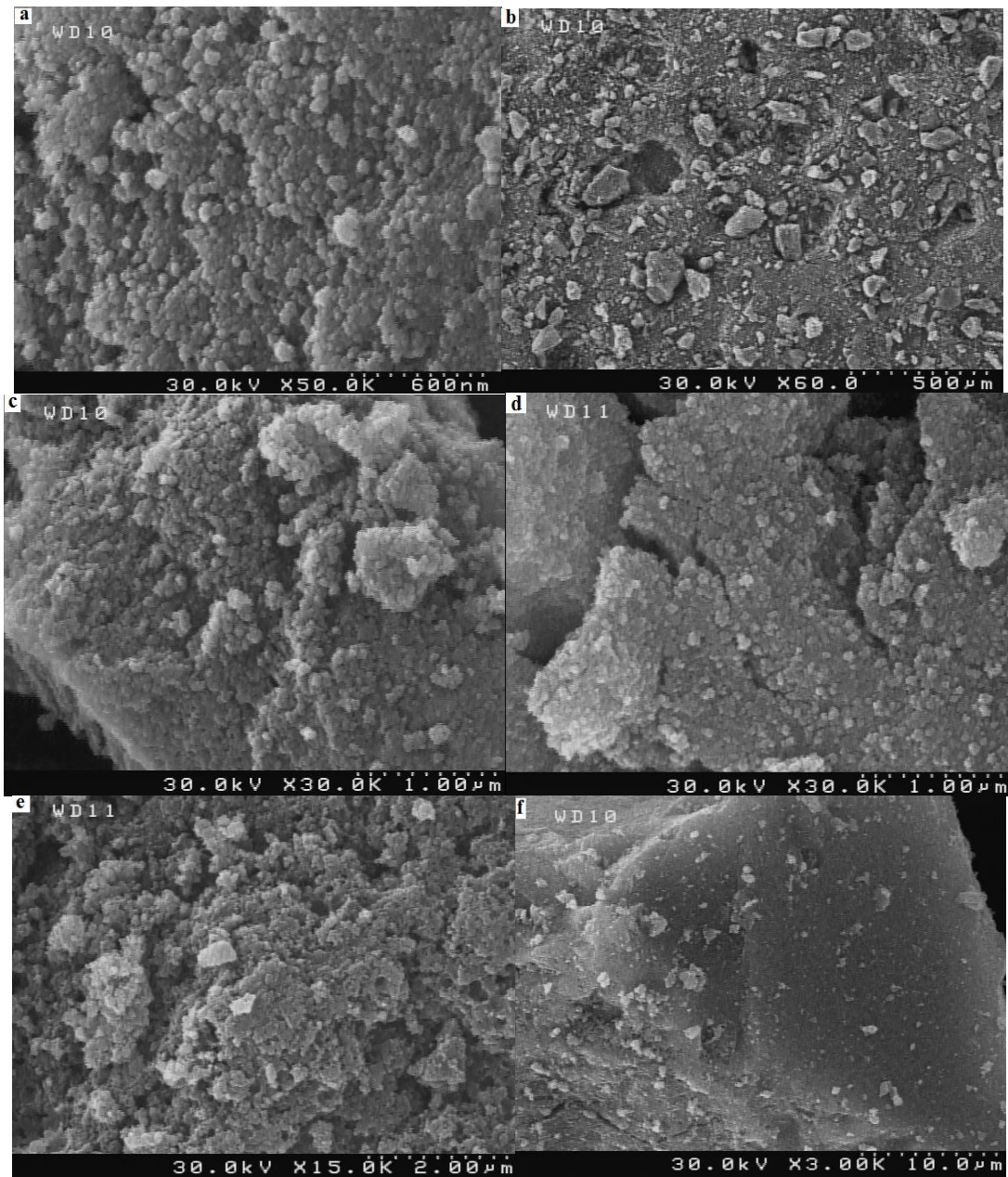
به نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیم-۵ درصد وزنی کربن فعال می باشد، مشاهده می شود که نانو ذرات دی اکسید تیتانیم به طور یکنواخت بر روی سطوح کربن فعال قرار گرفته اند. شکل های ۶e و ۶f تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی پودرهای کامپوزیتی دی اکسید تیتانیم-۱۰ درصد وزنی کربن فعال و دی اکسید تیتانیم-۵ درصد وزنی کربن فعال را نشان می دهد. این تصاویر، نشان می دهند که نانو ذرات دی اکسید تیتانیم به طور یکنواخت و همگن بر روی ذرات کربن فعال قرار نگرفته اند و با افزایش درصد کربن فعال، سطح کربن فعال به طور کامل توسط نانو ذرات دی اکسید تیتانیم پوشیده نشده است. مکانیزم تجزیه فتوکاتالیستی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در حضور نانوذرات دی اکسید تیتانیم به صورت زیر است [۱۳]:

مورفولوژی نانو ذرات دی اکسید تیتانیم و نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیم- کربن فعال به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی بررسی شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذرات دی اکسید تیتانیم، نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیم- کربن فعال و کربن فعال در شکل ۶ نشان داده شده است.

شکل ۶a، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذرات دی اکسید تیتانیم را نشان می دهد. با توجه به شکل مشاهده می شود که اندازه متوسط نانوذرات دی- اکسید تیتانیم حدود ۳۵ نانومتر است. شکل ۶b، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی کربن فعال متخلخل را نشان می دهد. شکل ۶c، تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیم- یک درصد وزنی کربن فعال را نشان می دهد. با توجه به شکل مشاهده می شود که نانوذرات دی اکسید تیتانیم به طور کامل در سطح کربن فعال قرار گرفته و در برخی مکان ها نانوذرات آگلومره شده اند. در شکل ۶d که مربوط



در اثر تابش نور ماورای بنفش به سطح نانوذرات دی-اکسید تیتانیم، الکترون و حفره در نوار هدایت و ظرفیت دی اکسید تیتانیم تولید می شود. الکترون تولید شده، رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ را احیا کرده و یا این که با اکسیژن جذب شده روی سطح و اکسیژن حل شده در آب واکنش داده و آن را به آنیون رادیکالی $\text{O}_2^{\bullet -}$ احیا می کند. حفرات تولید شده می توانند مولکول های رنگ راکتیو قرمز را اکسید نمایند. همچنین حفرات تولید شده می توانند با OH^- و یا مولکول های آب واکنش داده و رادیکال های OH^0 را ایجاد کنند [۱۳]. این رادیکال های هیدروکسیل نیز می توانند مولکول های رنگ راکتیو قرمز را اکسید نمایند. به عبارت دیگر، رادیکال های هیدروکسیل در اثر برخورد با رنگ سبب شکستن ساختمان آن می شوند و احتمال شکستن پیوند $\text{N}=\text{N}$ و حلقه های آروماتیکی و تبدیل آن به ترکیباتی از قبیل آب و گاز دی اکسید کربن می شوند. بنابراین، واکنش های صورت گرفته در سطح دی اکسید تیتانیم که موجب تجزیه رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ می شود به شکل روابط (۲) الی (۹) قابل بیان است [۱۳].



شکل ۶ - تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-کربن فعال (a) دی اکسید تیتانیوم (b) کربن فعال (c) ۱ درصد وزنی کربن فعال (d) ۵ درصد وزنی کربن فعال (e) ۱۰ درصد وزنی کربن فعال (f) ۱۵ درصد وزنی کربن فعال

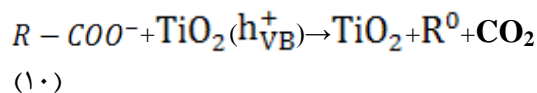
غلظت بالایی از آلودگی در اطراف دی اکسید تیتانیم نسبت به کل حجم محلول ایجاد شود و لذا نرخ تجزیه آلودگی‌ها افزایش می‌یابد.

۲- انتقال بار میان دی اکسید تیتانیم و کربن فعال، موجب اسیدی کردن گروه‌های هیدروکسیل موجود روی سطح دی اکسید تیتانیم می‌شود؛ لذا بر همکنش میان آلودگی‌ها و دی اکسید تیتانیم افزایش یافته و در نتیجه تجزیه افزایش می‌یابد. افزون بر این توانایی جذب نور مرئی نیز در کامپوزیت دی اکسید تیتانیم- کربن فعال نسبت به دی اکسید تیتانیم وجود دارد. در نتیجه، جذب نور نیز در کامپوزیت دی اکسید تیتانیم- کربن فعال نسبت به دی اکسید تیتانیم افزایش می‌یابد. در واقع، کربن فعال نسبت به دی اکسید تیتانیم توانایی جذب نور با طول موج بزرگ‌تر و انتقال آن به سطح دی اکسید تیتانیم را دارد.

۳- مواد آلی واسطه که در اثر تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ تولید می‌شود نیز می‌تواند توسط کربن فعال جذب شده و اکسید گردند.

نتایج نشان می‌دهد که استفاده از کربن فعال برای بهبود خاصیت فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیم یک اثر هم‌افزایی دارد و سرعت تجزیه آلودگی را افزایش می‌دهد. این اثر هم‌افزایی این چنین توجیه می‌شود که یک فصل مشترک تماس میان دو فاز جامد ایجاد شده که در آن کربن فعال فرایند جذب و به دام اندازی مناسب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ را به عهده دارد. هم‌چنین به طور قابل قبولی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ را به سطح دی اکسید تیتانیم منتقل کرده و نرخ تجزیه آلودگی‌ها توسط نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیم-کربن فعال را بالا می‌برد. مکانیزم بهبود فعالیت فتوکاتالیستی نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیم- کربن فعال در شکل ۷ نشان داده شده است.

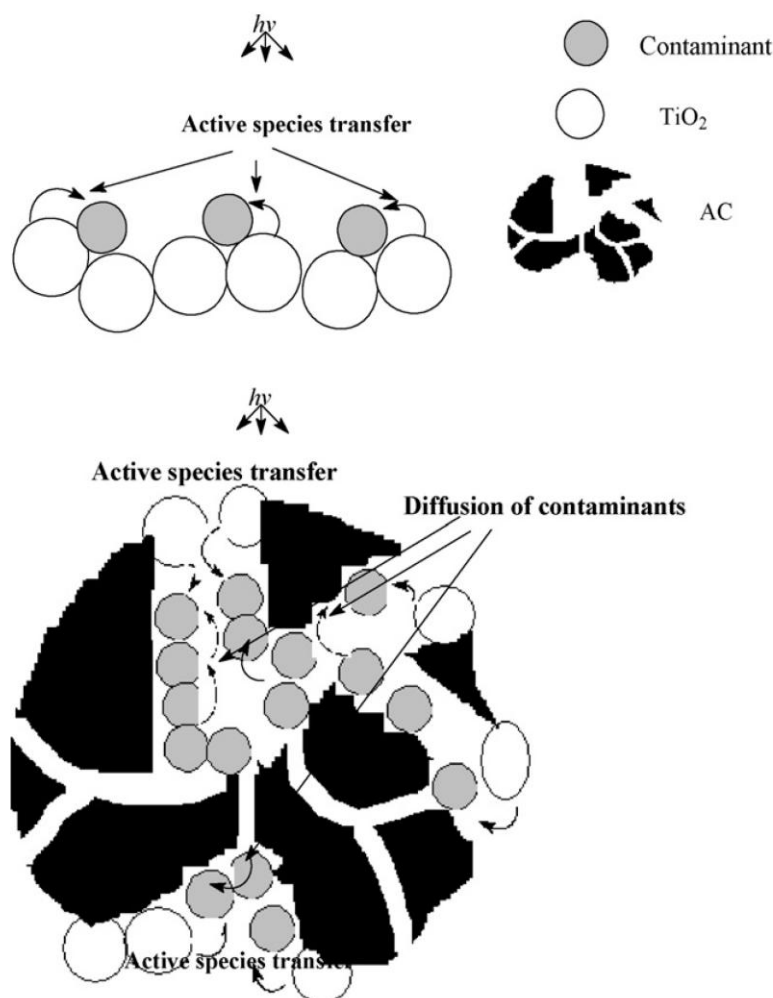
رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ دارای چندین گروه بنیادی، مانند وینیل سولفون و مونوکلروتریازین می‌باشد. در طول تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ چندین ماده آلی واسطه تولید می‌شوند. در نتیجه، تخریب این رنگ بایستی به عنوان یک تخریب کلی شامل: تخریب مولکول رنگ و مواد آلی واسطه آن ارزیابی شود. رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در حضور نانو ذرات دی اکسید تیتانیم تحت تابش فرابنفش به مواد واسطه اروماتیک تجزیه شده و در نهایت این مواد واسطه اکسید شده و به مواد معدنی و گاز شامل CO_2 ، H_2O ، NO_3^- ، SO_4^{2-} و تبدیل می‌شود. فورمات و اکسالات به عنوان مهم‌ترین عناصر واسطه الیفاتیک (چربی‌دار) در طول تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ تشکیل و سپس تجزیه می‌شوند. میزان اکسالات با آغاز تابش فرابنفش افزایش می‌یابد و سپس از مقدار آن به سرعت کاسته می‌شود در حالی که فورمات با آغاز تابش فرابنفش اندکی افزایش یافته و سپس از بین می‌رود. کربوکسیلیک اسید می‌تواند به طور مستقیم با حفره‌ها واکنش داده و طبق واکنش فتو-کولب^۳ (۱۰) تولید CO_2 نماید [۱۴]:



فرایند کلی تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ به شکل زیر می‌باشد:

مولکول رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ ← مواد واسطه آروماتیک ← اسید کربوکسیلیک آلی ← آنیون‌های غیر آلی ← محصولات نهایی (CO_2 ، H_2O ، NO_3^- ، SO_4^{2-} و Cl^-).
افزایش فعالیت فتوکاتالیستی نانو ذرات دی اکسید تیتانیم در حضور کربن فعال را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:
کربن فعال به عنوان یکی از مواد جاذب آلی شناخته شده است. لذا در حضور کربن فعال آلودگی‌های رنگی جذب سطحی کربن فعال می‌شوند. در نانو کامپوزیت دی اکسید تیتانیم-کربن فعال، کربن فعال دارای ویژگی‌های زیر است:

۱- کربن فعال توانایی جذب رنگ راکتیو قرمز و سپس آزادسازی آن‌ها بر روی سطح دی اکسید تیتانیم را دارد که در نتیجه سبب می‌شود یک



شکل ۷ - نقش کربن فعال در بهبود فعالیت فتوکاتالیستی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیم [۱۵]

بالتر بودن فعالیت فتوکاتالیستی نانو کامپوزیت دی‌اکسید تیتانیم-۵ درصد وزنی کربن فعال را نسبت به سایر نانو کامپوزیت‌ها در این پژوهش توجیه می‌کند.

نتیجه گیری

در این پژوهش نانو کامپوزیت دی‌اکسید تیتانیم - کربن فعال با درصد‌های وزنی مختلف کربن فعال تولید و خواص فتوکاتالیستی آن در تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله از این پژوهش نشان داد:

- ۱- با افزایش کربن فعال به نانو کامپوزیت دی‌اکسید تیتانیم، میزان تخریب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است.

هم‌چنین مورفولوژی نانو کامپوزیت پارامتر مهم دیگری است که می‌تواند فعالیت فتوکاتالیستی آن را تحت تاثیر قرار دهد [۱۲]. اندازه نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیم تشکیل شده روی سطح کربن فعال به مقدار این ماده در نانو کامپوزیت بستگی دارد. با افزایش میزان کربن فعال اندازه نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیم بزرگ‌تر می‌شود که این عمل، سبب کاهش سطح فعال دی‌اکسید تیتانیم و در نتیجه، کاهش فعالیت فتوکاتالیستی آن می‌شود [۱۵]. از تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی مشخص است که فقط در نانو کامپوزیت دی‌اکسید تیتانیم-۵ درصد وزنی کربن فعال، نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیم دارای توزیع یکنواخت است. این تصاویر دلیل

تابش نور فرابنفش به ترتیب حدود ۴۲ و ۳۵ درصد تخریب شده است.

تشکر و قدردانی

از صنایع نساجی اردکان به دلیل تامین رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنیم.

۲- میزان بهینه کربن فعال در نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-کربن فعال جهت کسب بالاترین بازدهی تخریب فتوکاتالیستی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ حدود ۵ درصد وزنی است.

۳- رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در حضور نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیوم-۵ درصد وزنی کربن فعال و نانوذرات دی اکسید تیتانیوم پس از ۲۱۰ دقیقه

References:

- 1- A. Matilainen, M. Sillanpaa, "Removal of natural organic matter from drinking water by advanced oxidation processes", *Chemosphere*, Vol. 80, pp. 351-3654, 2010.
- 2- D. Georgiou, P. Melidis, A. Aivasidis, K. "Gimouhopoulos, Degradation of azo-reactive dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen peroxide", *Dye and Pigments*, Vol. 52, pp. 69-75, 2002.
- 3- O. K Mahadwad, P. A. Parikh, R. V. Jasra, C. Patil, "Photocatalytic degradation of reactive black-5 dye using TiO₂ impregnated ZSM-5", *Bulletin of Materials Science*, Vol. 34, pp. 551-556, 2011.
- 4- E. M. Saggioro, A. S. Oliveira, T. Pavesi, C. G. Maia, L. F. Ferreira, J. C. Moreira, "Use of titanium dioxide photocatalysis on the remediation of model textile wastewaters containing azo dyes", *Molecules*, Vol. 16, pp. 10370-10386, 2011.
- ۵- ا. بذرافشان، ف. کرد مصطفی پور، ب. باریک بین، حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از محلول های آبی با استفاده از خاکستر حاصل از زائدات پسته، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، ۱۹، ۱۳۹۱، صفحه ۲۷۶-۲۶۶.
- ۶- ز. نوری مطلق، ق. شمس خرمآبادی، ح. گودینی، ر. درویشی چشمه سلطانی، بررسی کارایی فرآیند فتوکاتالیستی نانوذرات ZnO رنگبری متیلن بلو از فاضلاب سنتتیک، فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی لرستان، دوره چهاردهم، شماره ۵، ۱۳۹۱، صفحه ۶۱-۵۱.
- 7- K.Y. Foo, B.H. Hameed, "Decontamination of textile wastewater via TiO₂/activated carbon composite materials", *Advances in Colloid and Interface Science*, 159, 130-143, 2010.
- 8- W. C. Oh, J. S. Bae, "Preparation of Fe-ACF/TiO₂ Composites and their Photocatalytic Degradation of Waste Water", *Journal of the Korean Ceramic Society*, 45, 667-674, 2008.
- 9- H. Slimen, A. Houas, J. P. Nogier, "elaboration of stable anatase TiO₂ through activated carbon addition with high photocatalytic activity under visible light", *Journal of photochemistry and photobiology A: Chemistry*, Vol. 221, pp. 13-21, 2011.
- 10- A. S. Tunali, T. Akar, A. Cabuk, "Decolorization of a textile dye, Reactive Red 198 (RR198) by aspergillus parasiticus fungal

biosorbent”, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 26, pp. 399 – 405, 2009.

11- A. Giwa, P. O. Nkeonye, K. A. Bello, E. G. Kolawole, A. Oliveira, “Solar photocatalytic degradation of Reactive Yellow 81 and Reactive Violet in aqueous solution containing semiconductor oxides”, International Journal of Applied Science and Technology, Vol. 2, pp. 90-105, 2012.

12- R. Ravichandran, K. Selvan, M. Swaminathan, “Highly efficient activated carbon loaded TiO₂ for photo defluoridation of pentafluorobenzoic acid”, Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, Vol. 317, pp. 89-96, 2010.

13- I. K. Konstantinou, T. A. Albanis, “TiO₂ assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous

solution: kinetic and mechanistic investigations”, Applied Catalysis, Vol. 94, pp. 1-14, 2004.

14- N. M. Mahmoodi, M. Arami, N. Yousefi Limaee, “Photocatalytic degradation triazinc ring-containing azo dye (Reactive Red 198) by using immobilized TiO₂ photoreactor bench scale study”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 133, pp. 113-118, 2006.

15- S. X. Liu, X. Y. Chen, X. Chen, “A TiO₂/AC composite photocatalyst with high activity and easy separation prepared by a hydrothermal method”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 143, pp.257-263, 2007.

