

## تصفیه و کینتیک فاضلاب مصنوعی حاوی نفتالین با استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بروی کربن فعال

احمد خدادادی<sup>۱</sup>، حسین گنجی دوست<sup>۲</sup>، حسین ایجادپناه ساروی<sup>۳</sup>

نویسنده مسئول: تهران، تقاطع بزرگراه چمران و آل احمد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده عمران و محیط زیست، گروه محیط زیست [akdarban@modares.ac.ir](mailto:akdarban@modares.ac.ir)

دریافت: ۹۰/۰۴/۲۰ پذیرش: ۹۰/۰۷/۱۹

### چکیده

**زمینه و هدف:** حذف نفتالین که کاربرد گسترده‌ای در صنایع شیمیایی دارد به دلیل سخت تجزیه پذیر بودن ترکیبات آروماتیک با فرایندهای متداول تصفیه امکان پذیر نیست. هدف از این تحقیق حذف نفتالین از محلول‌های آبی به روش اکسیداسیون پیشرفته با استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی کربن فعال می باشد.

**روش بررسی:** در این مطالعه برای تثبیت نانو ذرات  $TiO_2$  بر روی زغال فعال، پس از تهیه سوسپانسیون نانو  $TiO_2$  آن را با دانه‌های زغال اختلاط داده و مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه ماکروویو با شدت ۱۸۰ وات قرار داده شد. راکتور فوتوکاتالیستی شامل بشر ۱ لیتری با شرایط اختلاط کامل و هوادهی، تحت تابش پرتو  $UV-C$  ۲۰ وات بوده است.

**یافته‌ها:** نتایج نشان دادند که فرایند فوتوکاتالیستی  $UV/TiO_2$  با کاهش غلظت نفتالین بازدهی حذف افزایش پیدا نموده به طوری در غلظت  $ppm$  ۱۰۰ مقدار حذف نفتالین بعد از ۳ ساعت برابر با ۹۲ درصد است نتایج در صورتی که در غلظت  $ppm$  ۲۵ تقریباً در ۲ ساعت بازدهی حذف کامل است.

**نتیجه گیری:** فرایند  $UV/TiO_2$  به عنوان یکی از روش‌های اکسیداسیون پیشرفته است که پایداری و راندمان بالا از امتیازات آن به شمار می‌آید. در  $pH=11$  بیشترین بازدهی حذف نفتالین صورت گرفته و بعد از مدت ۱/۵ ساعت غلظت نفتالین از  $ppm$  ۱۰۰ به  $ppm$  ۱۰ رسید، درصد حذف نفتالین با استفاده از این روش بالغ بر ۹۰ درصد بوده است.

واژگان کلیدی: نفتالین، تصفیه فاضلاب مصنوعی، دی اکسید تیتانیوم، فرایند فوتوکاتالیست، کربن فعال

۱- دکترای مهندسی عمران محیط زیست، دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دکترای مهندسی عمران محیط زیست، استاد دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد فراوری مواد معدنی، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

## مقدمه

هیدروکربن‌های آروماتیک در دسته مواد خطرناک و سمی قرار دارند و اخیراً به عنوان ترکیبات سرطان‌زا شناخته شده‌اند. نفتالین که به نام‌های آلبوکربن، کافور قیر، قیر سفید یا نفتن نیز معروف است از دو حلقه جوش خورده بنزن ساخته شده است و از زغال سنگ به دست می‌آید. نفتالین برای گندزدایی و حشره کشی کاربرد فراوانی دارد. آلودگی منابع آب توسط نفتالین در اکثر کشورهای صنعتی گزارش شده است و میزان مجاز آن در آب آشامیدنی ۰.۵ میلی گرم بر لیتر براساس استاندارد بهداشت جهانی می باشد، بنابراین حذف آن از پساب صنعتی حایز اهمیت است (۱). در میان روش‌های حذف آلاینده‌های آلی از آب و فاضلاب تجزیه بیولوژیکی پساب توسط میکروارگانیسم‌ها بیشتر مورد توجه بوده است، ولیکن به دلیل حلقه‌های بنزنی در هیدروکربن‌های آروماتیک بازدهی حذف بیولوژیک به شدت کاهش یافته و میکروارگانیسم‌ها قادر به شکستن این ساختارها نمی‌باشند. بنابراین در سال‌های اخیر توجه بسیاری از محققین به استفاده از روش‌های نوین اکسیداسیون پیشرفته (AOP) Advanced Oxidation Process معطوف شده است (۲). از میان روش‌های مختلف این تکنیک، روش اکسیداسیون فوتوکاتالیستی با استفاده از نانوفوتوکاتالیست‌ها روشی بسیار موثر است. این روش به وسیله تابش اشعه ماورا بنفش به سطح یک نیمه رسانا مانند  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  صورت می‌گیرد. این مواد در اثر تابش تحریک شده و با انتقال الکترون در لایه‌های سطحی مولکول تولید جفت الکترون حفره می‌کنند. حفره حاصل دارای خاصیت اکسیدکنندگی قوی و الکترون احیاکننده خوبی است و با تولید رادیکال هیدروکسیل، سبب تجزیه مولکول‌های آلی آلاینده می‌شود (۳و۴). در خصوص تحقیقات انجام شده در رابطه با استفاده از نانو فوتو کاتالیست‌ها در حذف نفتول می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود.

Ania و همکاران در سال ۲۰۰۶ تجزیه فوتوکاتالیستی  $\beta$ - نفتول را توسط نانو Degussa P25 مورد مطالعه و بررسی

قرار دادند، در این تحقیق تاثیر عواملی مانند pH، غلظت ماده واکنش‌دهنده و مقدار کاتالیست مورد بررسی قرار گرفت (۵). Zielinska و همکاران در سال ۲۰۰۷ به وسیله هیدرولیز تترایزوپروکسید (TTIP) در ۱۰۰-۶۰۰ درجه سلسیوس نانو ذره دی اکسید تیتانیوم یا تولید و فعالیت فتوکاتالیستی این نانو ذرات را با کربن فعال در حذف  $\beta$ - نفتول مورد بررسی قرار دادند و درصد حذف  $\beta$ - نفتول را بیش از ۹۰ درصد گزارش نمودند (۶).

Qourazal و Barka در سال ۲۰۰۹ با استفاده از چند فتوکاتالیزور تجاری دی اکسید تیتانیوم تخریب فتوکاتالیزوری  $\beta$ - نفتول را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند و تاثیر عوامل مختلف مانند نوع  $\text{TiO}_2$ ، غلظت آلاینده، pH و حضور موادی چون پراکسید هیدروژن، برومات پتاسیم، سولفات پتاسیم و غیره را بررسی کردند همچنین نشان دادند کیتیک تجزیه  $\beta$ - نفتول از مدل لانگمیر پیروی می‌کند و یون‌های  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  و  $\text{Co}^{2+}$  تاثیر خاصی بر کارایی حذف ندارند (۷).

هدف از این تحقیق بررسی میزان حذف فوتوکاتالیستی نفتالین در شرایط مختلف pH، غلظت نفتالین و مقادیر کربن فعال حاوی نانو ذرات و مقادیر مختلف اکسیژن محلول، می‌باشد.

## مکانیسم حاصل از واکنش‌های فوتوکاتالیستی

دی اکسید تیتانیوم به علت خواص بسیار مناسب آن بیش از هر ماده دیگری برای پژوهش‌های فوتوکاتالیستی مورد استفاده قرار گرفته است و دی اکسید تیتانیوم از فعالترین کاتالیست به شمار می‌آید و شاید بتوان گفت تنها،  $\text{ZnO}$  می‌تواند از لحاظ فعالیت با آن رقابت کند (۸). برخی از خواص مهم آن که موجب این مساله شده است عبارتند از: مقاومت شیمیایی، غیر سمی بودن، ارزان بودن و پایدار بودن و همچنین، انرژی فاصله ترازهای آن ۳ تا ۳.۲ الکترون ولت می‌باشد که با نور UV با طول موج کمتر از ۳۸۵ نانومتر می‌تواند برانگیخته شود. بر خلاف فلزات که دارای محیط پیوسته‌ای از الکترون‌ها می‌باشند، نیمه هادی‌ها دارای منطقه عاری از انرژی هستند

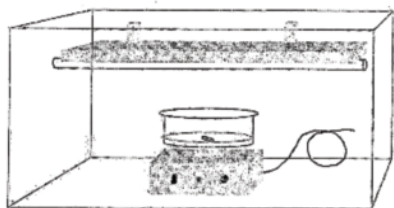
## مواد و روش‌ها

### الف. مواد مورد نیاز

نفتالین با جرم مولکولی  $128/17 \text{ g/mol}$  و با فرمول  $C_{10}H_8$  و خلوص بیش از  $99/95$  از شرکت مرک آلمان و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم از شرکت Degusa آلمان با اندازه ذرات  $21$  نانومتر و سطح مخصوص  $50 \text{ m}^2/\text{g}$  مورد استفاده قرار گرفتند.

### ب. فوتو راکتور

فوتو راکتور مورد نظر از یک جعبه چوبی که در داخل آن لامپ UV-C ( $20 \text{ W}$ )، یک همزن و یک ظرف آزمایشگاهی به قطر  $14$  و ارتفاع  $7/5$  تشکیل گردید. در این سیستم کنترل دقیق دما به دلیل کمبود امکانات میسر نبوده و به همین دلیل اثرات تغییرات دما بر روی حذف نفتالین صورت نگرفت.



شکل ۱: نمایی از فوتو راکتور مورد استفاده در حذف نفتالین

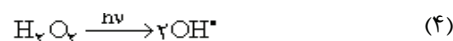
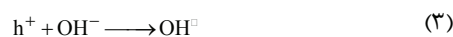
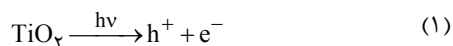
### ج. روش کار

به دلیل هدر روی نانو ذرات در روش‌های معلق امروزه رویکرد تحقیقات به سمت ثابت ماندن جایگاه نانو ذرات معطوف گردیده. نانو ذرات مختلف با روش‌های متفاوت تثبیت بروی سطوح مختلفی نشانده شده‌اند، از جمله نانو ذرات  $TiO_2$  که بروی سطوح مواد جاذبی چون سیلیس، شیشه، سیلیکاژل خاک، دیاتومه، بنتونیت، کربن فعال و کیتوزان تثبیت گردیده است (۹).

که در آن هیچ سطحی از انرژی برای تشویق به باز ترکیب زوج الکترون - حفره که در اثر فعال‌سازی نوری در جامدات نیمه هادی به وجود می‌آید، وجود ندارد. این ناحیه خالی از انرژی را که از بالای تراز الکترونی پر شده ظرفیت تا زیر تراز الکترونی هدایت (که دارای جای خالی الکترون‌هاست) امتداد می‌یابد، فاصله ترازها می‌نامند (۸ و ۹).

اگر انرژی یک فوتون نوری برابر یا بیشتر از فاصله ترازهای الکترونی یک نیمه هادی باشد، جذب این فوتون توسط جامدات نیمه هادی، یک الکترون ( $-e$ ) را از تراز ظرفیت آن برانگیخته ساخته و به تراز هدایت انتقال می‌دهد. در این زمان یک جای خالی الکترون یا بار مثبت که به آن حفره می‌گویند ( $h^+$ ) نیز در تراز ظرفیت به وجود می‌آید. زوج الکترون و حفره تشکیل شده یا بار دیگر با یکدیگر ترکیب می‌شوند که در نتیجه آن انرژی گرمایی تولید خواهد شد و یا در واکنش‌های اکسیداسیون - احیا با ترکیبات جذب شده روی سطوح نیمه هادی شرکت خواهند نمود و به علت نیاز نور UV جهت انجام نقش کاتالیستی مزبور به آن فوتوکاتالیست اطلاق می‌گردد (۸).

در سطح کاتالیزور دی اکسید تیتانیوم تابش اشعه ماورا بنفش با طول موج  $380$  نانومتر باعث برانگیخته شدن الکترون می‌شود، اکسیژن موجود در محیط محلول الکترون برانگیخته را می‌پذیرد. حفره‌های با بار مثبت باقی می‌ماند و با جذب یون  $OH^-$  موجود در محیط، رادیکال  $OH^0$  تولید می‌کند. رادیکال تولید شده به شدت فعال می‌باشد و آلاینده‌های موجود در آب یا فاضلاب را اکسید می‌کند. واکنش‌های زیر نحوه تولید رادیکال هیدروکسیل در دی اکسید تیتانیوم را توصیف می‌کنند (۸):



## یافته ها

عوامل تاثیرگذار بر فرایند فوتوکاتالیستی مانند pH و غلظت آلاینده و غلظت کربن فعال حلال نانوذرات و همچنین وجود اکسیژن محلول بر راندمان حذف نفتالین مورد بررسی قرار گرفت که خلاصه‌ای از نتایج به دست آمده در ادامه اشاره می‌گردد.

### بررسی اثر pH بروی تجزیه نفتالین

pH محیط دارای اثرات پیچیده‌ای بر سرعت واکنش اکسیداسیون مواد می‌باشد اما به طور کلی اثر این پارامتر بستگی به نوع آلاینده و نقطه بار صفر (ZPC) کاتالیست در فرایند اکسیداسیون دارد و در اثر تغییرات اسیدیته نیروی الکترواستاتیک میان سطح آلاینده و کاتالیست تغییر می‌نماید (۱۱). تعیین pH بهینه با استفاده از محلول ۱۰۰ ppm از نفتالین در حضور نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم انجام شد. با توجه به نتایج بدست آمده (شکل ۱) مشاهده می‌شود که با افزایش pH بازدهی حذف افزایش می‌یابد، دلیل این موضوع را می‌توان این‌طور بیان نمود که نقطه بار صفر نانوذرات  $TiO_2$  برابر ۶/۲ است و در مقادیر pH های بالاتر از ۶/۲ سطح نانوذرات دارای بار منفی می‌شوند و جاذبه بیشتری به وجود آمده. در نتیجه با برقراری نیروی الکترواستاتیک میان نانوذرات و آلاینده امکان واکنش بیشتر گردیده و در نتیجه سرعت واکنش افزایش می‌یابد. همچنین نشان داد فرایند در محیط بازی با pH برابر با ۱۰ پیشرفت بیشتری دارد که با نتایج به دست آمده هم‌خوانی دارد (۴).

### اثر غلظت نفتالین

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت نفتالین راندمان حذف کاهش می‌یابد. می‌توان علت این امر را چنین توجیه کرد که با افزایش غلظت نفتالین تعداد جایگاه‌های فعال سطح کاتالیست (به واسطه اشغال آنها با غلظت بالایی از مولکول‌های آلاینده) کاسته می‌شود و در نتیجه سرعت تولید مواد اکسیدکننده مانند رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل در اثر دریافت پرتوهای UV کاسته می‌شود و بنابراین سرعت

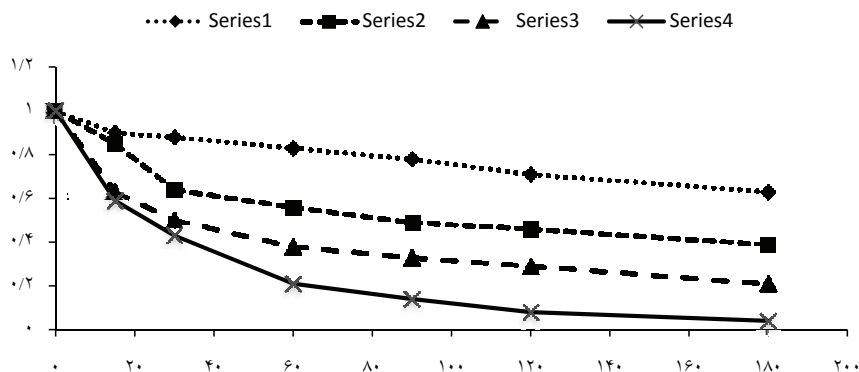
در این مطالعه تثبیت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر روی سطح کربن فعال انجام گردید برای این منظور مخلوط ۴ گرم نانوذره در ۱۰۰ سی سی اتانول قرار گرفت و با اسید نیتریک رقیق pH مخلوط بروی عدد ۳ تنظیم گردید، سپس به منظور پراکندگی کامل نانوذرات، به مدت ۱۵ دقیقه مخلوط حاصل اولتراسونیک شده و در نهایت در مجاورت کربن اکتیو به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت و برای عملیات تثبیت حرارتی به مدت ۳۰ دقیقه در ماکروفر ۱۸۰ وات با دمای ۱۵۰ درجه قرار گرفت. سپس محلول نفتالین (۱۰۰ ppm) با نانوذرات تثبیت شده بروی کربن فعال (۵ گرم بر لیتر) درون فوتو راکتور مورد نظر قرار گرفتند بعد از روشن کردن لامپ و آغاز فرایند در زمان‌های مشخص از محتویات درون راکتور نمونه گیری شد (۹).

### د. روش آنالیز

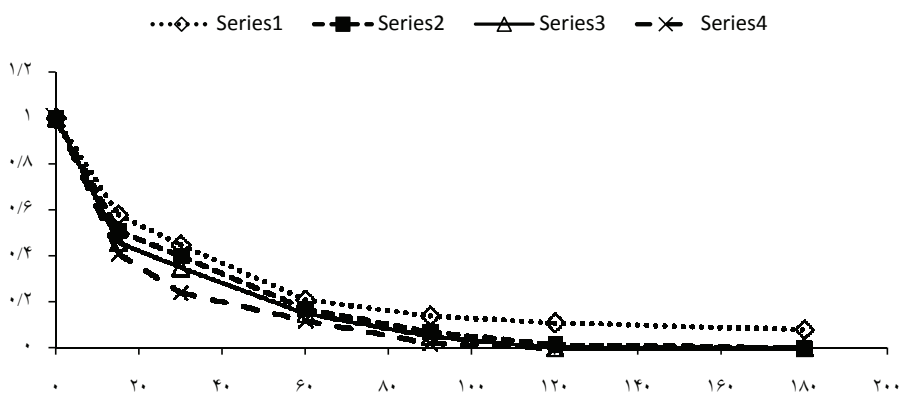
تعیین غلظت نفتالین توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC Varian) صورت گرفت و برای تزریق نمونه به دستگاه GC لازم است که نمونه از فاز آبی به فاز آلی منتقل گردد. برای این منظور ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر از نمونه را با ۲ میلی‌لیتر دی‌کلر متان مخلوط کرده و بروی همزن قرار داده بعد از نیم ساعت ۲ میلی‌لیتر دی‌کلر متان را که سنگین‌تر از نمونه آبی بوده جدا گردید و این روند را ۲ بار دیگر تکرار شد و در نهایت ۶ میلی‌لیتر دی‌کلر متان حاوی نفتالین به دست آمده با حرارت ملایم به حجم یک میلی‌لیتر رسانیده شد (لازم به ذکر است به دلیل حلالیت بالای نفتالین در دی‌کلر متان در فاز آلی می‌ماند و به فاز گازی نمی‌رود). در نهایت تنظیم دمایی دستگاه به صورت مقابل بوده: دمای اولیه آن ۶۵ درجه به مدت یک دقیقه و سپس با گردیدن ۱۵ درجه بر دقیقه به ۲۱۰ رسیده و ۳ دقیقه در این دما باقی ماند، دمای اینجکتور در حالت اسپلیت لس (splitless) برابر ۲۰۰ درجه و دمای دکتور ۲۱۰ درجه تنظیم گردید (۱۰). در نهایت پس از آماده سازی نمونه و تنظیم دستگاه یک میکرولیتر نمونه به دستگاه تزریق شد.

برابر است با ۱۰۰، ۹۲٫۸۵ درصد. مسلماً در مقدار ۱۰ gr/L تعداد کل نانو ذرات بیشتر از سایر غلظت‌ها بوده و در نتیجه دارای بیشترین بازدهی حذف بوده است نتایج مشابهی توسط Tryba و سایر محققین گزارش شده است (۱۲-۱۴).

واکنش نیز کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود در غلظت ۱۰۰ ppm مقدار حذف نفتالین بعد از ۳ ساعت برابر با ۹۲ درصد است در صورتی که در غلظت ۲۵ ppm تقریباً در ۲ ساعت بازدهی حذف کامل است.



شکل ۱: تغییرات غلظت نفتالین به غلظت اولیه نفتالین نسبت به زمان در pH های مختلف (مقدار کربن فعال حاوی نانو ذرات تثبیت شده ۵ gr/L و ۲۰W UV-C)



شکل ۲: تاثیر غلظت اولیه نفتالین بر بازدهی حذف در زمان (مقدار کربن فعال حاوی نانو ذرات تثبیت شده ۵ gr/L)

## بحث

### تاثیر درصد کربن فعال حاوی نانو ذرات تثبیت شده

باتوجه به شکل ۳ مشخص است که با افزایش غلظت کربن فعال حاوی نانو ذرات تثبیت شده در سطح آن بازدهی حذف افزایش می‌یابد. علت این امر نیز افزایش تعداد جایگاه‌های فعال سطحی بروی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم است. همان‌طور که دیده می‌شود درصد حذف نفتالین در مقادیر ۱۰، ۵، ۲ gr/L از کربن فعال در زمان ۳ ساعت به ترتیب

### اثر اکسیژن محلول بر حذف نفتالین

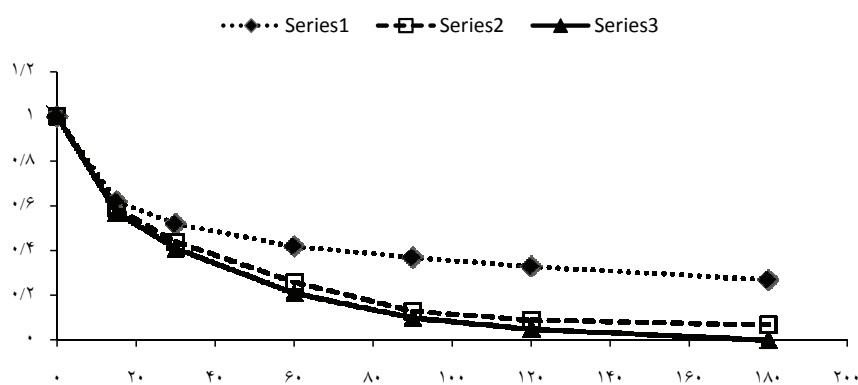
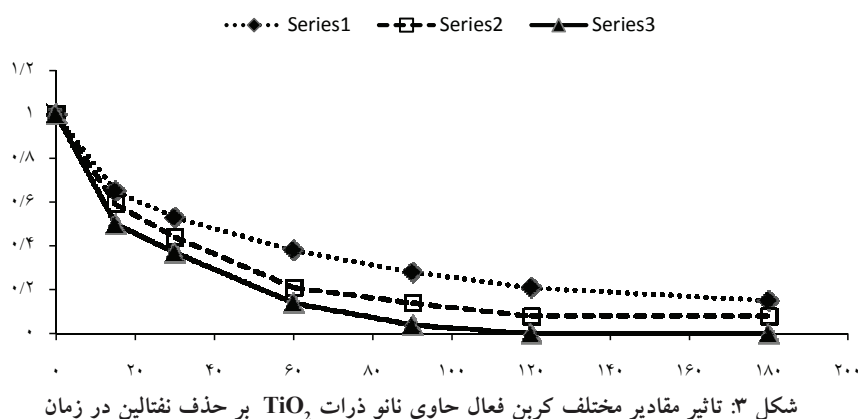
سرعت و کارایی فرایندهای فوتوکاتالیستی به طور قابل توجهی در حضور اکسیژن و یا افزودن بعضی عوامل اکسیدکننده نظیر پراکسیدها بهبود می‌یابد. علت این موضوع را می‌توان چنین بیان کرد، که مولکول اکسیژن به عنوان یک عامل گیرنده الکترون عمل کرده و مانع از ترکیب مجدد الکترون-حفره در سطح کاتالیست می‌شود و در نتیجه آنیون سوپر اکسید که عاملی

به ۹۶ درصد افزایش یافته و در دقیقه ۱۰۰ راندمان حذف  $\beta$ - نفتول نزدیک به ۹۰ درصد بوده است و علت این امر را تولید ازن ناشی از تابش پرتوهای UV-C و اکسیداسیون شیمیایی ناشی از ازن می‌باشد (۵).

مقایسه بازدهی نانو ذرات تثبیت شده و نانو ذرات معلق در نقطه pH بهینه

به منظور بررسی تفاوت بازدهی میان استفاده از روش نانو ذرات معلق در سیستم و روش نانو ذرات تثبیت شده در جایگاه ثابت این بررسی صورت گرفت. در شکل ۵ مشاهده می‌شود

اکسیدکننده است تولید شده و مجدداً از طریق انجام واکنش ممکن است تولید رادیکال هیدروکسیل کند. به منظور بررسی حضور اکسیژن در یک مرحله با استفاده از محلول سولفید سدیم (۱۰ gr/L) اکسیژن محلول موجود در نمونه را حذف نموده و از طرف دیگر در ظرفی دیگر، با استفاده از پمپ اکواریوم هوادهی انجام شد و غلظت اکسیژن محلول به ppm ۶٫۲ رسانده شد و میزان حذف نفتالین را محاسبه گردید. طبق شکل ۴ نتایج بیانگر این موضوع می‌باشد که میزان حذف نفتالین در حالت هوادهی بیشتر از حالت عادی و نیز در حالت



که در حالت استفاده از نانو ذرات دگوسا به صورت معلق میزان حذف در مرحله زمانی مشابه از نانو ذرات تثبیت شده بالاتر می‌باشد و در زمان ۳ ساعت بازدهی حذف تقریباً کامل می‌باشد در صورتی که نانو ذرات تثبیت شده پس از ۳ ساعت حدود ۹۲ درصد حذف دارند. ولی علی‌رغم بازدهی بالاتر به

عادی نیز حذف نفتالین بیشتر از حالت بدون اکسیژن محلول بود. Qourazal نشان داد در غیاب اکسیژن، حذف  $\beta$ - نفتول افت شدیدی می‌کند، به طوری که در غیاب اکسیژن و زمان پرتودهی ۳ ساعت حذف  $\beta$ - نفتول ۴۷/۶ درصد بوده و راندمان حذف در حضور اکسیژن با غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر

معادل ثابت سرعت واکنش درجه اول است. جدول ۱ مقادیر  $k$  و  $R^2$  واکنش تجزیه فوتوکاتالیستی نفتالین را در شرایط بهینه نشان می دهد، همان طور که دیده می شود روند تغییرات غلظت با زمان از مدل سینتیکی درجه اول می باشد و می توان اثر غلظت را بروی ثابت سرعت واکنش دید (با افزایش غلظت اولیه مقدار ثابت سرعت واکنش کاهش می یابد).

### نتیجه گیری

برای حذف آلاینده های سخت تجزیه پذیر به جای استفاده از فرایندهای معمول بیولوژیکی می توان از فرایند فوتوکاتالیستی با بازدهی بالا و سرعت بیشتر استفاده کرد. درصد حذف نفتالین با غلظت ۱۰۰ ppm در pH های ۷، ۹، ۱۱ در زمان سه ساعت به ترتیب برابر با ۳۷، ۶۱، ۷۸، ۹۲ درصد است. با کاهش غلظت آلاینده، بازدهی حذف افزایش می یابد و در غلظت ۲۵ ppm نفتالین در زمان ۲ ساعت راندمان حذف کامل می باشد.

با افزایش غلظت کربن فعال حاوی نانو ذرات  $TiO_2$  (تثبیت شده بر روی آن)، درصد حذف آلاینده افزایش می یابد. ثابت سرعت در غلظت های ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ برابر با ۰/۰۱۹۸۷، ۰/۰۲۶۶۲، ۰/۰۲۹۰۷، ۰/۰۲۹۵۳ است، مشاهده می شود با کاهش غلظت سرعت واکنش نیز افزایش می یابد.

دلیل مشکلات مربوط به بازیابی نانو ذرات و اتلاف بیش از اندازه و غیر اقتصادی شدن فرایند استفاده از روش نانو ذرات معلق به تدریج رو به کاهش است. همچنین با مقایسه نتایج با راکتورهای شاهد می توان مشاهده نمود راندمان حذف در حالت استفاده تنها از UV حدود ۱۱ درصد و در حالت استفاده توأم از کربن فعال و UV حدود ۳۹ درصد می باشد.

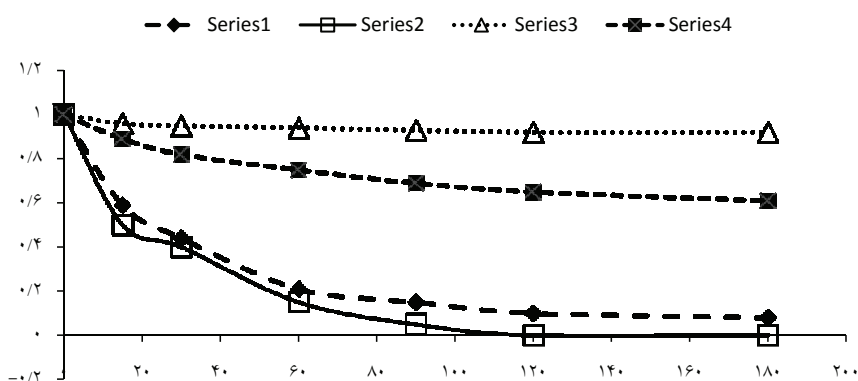
### کینتیک واکنش

عوامل متعددی ممکن است بر نحوه عملکرد واکنش ها اثر گذار باشد، بر اساس غلظت آلاینده بر سرعت واکنش ها یک واکنش می تواند دارای درجه صفر، اول و دوم باشد. بر اساس مدل های سینتیکی فرایندهای فوتوکاتالیستی مشخص شده که این فرایند از درجه یک است و مدل لانگمیر-هینشلوود، مدل سینتیکی است که برای توصیف واکنش های درجه اول در سطح مشترک بین فازهای جامد-مایع کاربرد داشته و رابطه آن به صورت زیر است:

$$r_a = -dc/dt = K_r K_a C / (1 + K_a C) \quad (1)$$

در این رابطه  $C$ ،  $K_a$ ،  $K_r$  به ترتیب غلظت اولیه، ثابت جذب و ثابت سرعت می باشد (۱۲).

اگر نمودار  $(Ln(C_0/C))$  نسبت به زمان رسم و تغییرات این پارامترها به صورت خط راست نمایش داده شود، شیب خط



شکل ۵: مقایسه حذف نفتالین توسط نانو ذرات  $TiO_2$  به حالت معلق در نمونه و تثبیت یافته بر روی کربن فعال

جدول ۱: مقادیر k و R<sup>2</sup> واکنش تجزیه فوتوکاتالیستی نفتالین در شرایط بهینه (مقدار کربن فعال حاوی نانو ذرات تثبیت شده ۵ gr/L و UV-C 20W و pH=۱۱)

C <sub>0</sub> (ppm)	K(min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
۱۰۰	۰/۰۱۹۸۷	۰/۹۷۶۴
۷۵	۰/۰۲۶۶۲	۰/۹۸۷۷
۵۰	۰/۰۲۹۰۷	۰/۹۸۴۳
۲۵	۰/۰۲۹۵۳	۰/۹۶۸۱



## منابع

1. Jafapour M. Evaluation of bioreactor and advanced oxidation process for wastewater treatment, Proceedings of Seminar of Environmental Engineering; 2006; Tarbiat Modares University, Tehran (in Persian).
2. Hemmati Borji S, Nasser S, Nabizadeh R, Mahvi AH, Javadi AH. Photocatalytic degradation of phenol in aqueous solutions by Fe(III)-doped TiO<sub>2</sub>/UV Process. Iranian Journal of Health and Environment. 2011;3(4):369-80 (in Persian).
3. Rahmani A, Enayati Movafagh A. Investigation of photocatalytic degradation of phenol through UV/TiO<sub>2</sub> Process. Journal of Water & Wastewater. 2006;58:32-37 (in Persian).
4. Ania CO, Bandosz TJ. Importance of structural and chemical heterogeneity of activated carbon surfaces for adsorption of dibenzothiophene, Langmuir. 2005;21(17):7752-59.
5. Fujishima A, Rao TN, Tryk DA. Titanium dioxide photocatalysis. Journal of Photochemistry and Photobiology C Photochemistry Reviews. 2000;1(1):1-21.
6. Ania CO, Parra JB, Pevida C, Arenillas A, Rubiera F, Pis JJ. Pyrolysis of activated carbons exhausted with organic compounds. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2005;74(1-2):518-24.
7. Zielinska B, Grzechulska J, Grzmil B, Morawski AW. Photocatalytic degradation of Reactive Black 5 A comparison between TiO<sub>2</sub>-Tytanpol A11 and TiO<sub>2</sub>-Degussa P25 photocatalysts. Applied Catalysis B: Environmental. 2001;35(1):1-7.
8. Qourzal S, Barka N, Tamimi M, Assabbane A, Nounah A, Ihlal A, et al. Sol-gel synthesis of TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> photocatalyst for  $\beta$ -naphthol photodegradation. Materials Science and Engineering: C. 2009;29(5):616-20.
9. Diebold U. The surface science of titanium dioxide. Surface Science Reports. 2003;48(5-8):53-229.
10. Ganeian MT. Activated sludge and photocatalytic for Azo 19 Color. [dissertation]. Tarbiat Modares University: Iran; 2009 (in Persian).
11. Tomoki, T., Naoko, K., Ikuichiro, I., Norio, I., Masahiro, T., Michio, I., Carbon coating of anatase-type TiO<sub>2</sub> and photoactivity. J Mater Chem. 2002;12:1391-96.
12. Daneshvar N, Hejazi MJ, Rangarany B, Khataee AR. Kinetic modeling of photocatalytic degradation of Acid Red 27 in UV/TiO<sub>2</sub> process. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 2004;168(1-2):39-45.
13. Tryba B. Increase of the photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> by carbon and iron modification. International Journal of Photoenergy. 2008;doi:10.1155/2008/721824
14. Seredych M, Gierak A. Influence of water on adsorption of organic compounds from its aqueous solutions on surface of synthetic active carbons. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2004;245:61-7.
- Ania CO, Cabal B, Pevida C, Arenillas A, Parra JB, Rubiera F, et al. Removal of naphthalene from aqueous solution on chemically modified activated carbons. Water Res. 2007;41(2):333-40.

## Treatment and Kinetic of Synthetic Wastewater Containing $\beta$ -naphthol by Nano Titanium Oxide Coated on Activated Carbon

\*Khodadadi A.<sup>1</sup>, Ganjidoust H.<sup>2</sup>, Ijad panah H.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Faculty of Environmental Engineering Division, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received; 11 July 2011 Accepted; 11 October 2011

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Many industrial effluent plants contain amounts of hard biodegradable compounds such as  $\beta$ -naphthol which can be removed by conventional treatment systems. The objective of this research is to treat wastewater containing naphthalene by nano titanium oxide coated on activated carbon.

**Materials and Methods:** Photocatalytic experiments were carried out for different concentrations of  $\beta$ -naphthol using time and pH as dependent factors. Nano TiO<sub>2</sub> coated on activated carbone in one liter batch reactor and the resultants compounds' concentration were measured in a photocatalytic reactor with UV-C of 12 Watt.

**Results:** The experimental results indicated that UV/ nano TiO<sub>2</sub> coated on activated carbone removed 92% of  $\beta$ -naphthol with concentrations of 100 mg/L within an overall elapsed time of three hours.  $\beta$ -naphthol total removal with concentration of 25 mg/L was observed in two hours.

**Conclusions:** UV/ nano TiO<sub>2</sub> process is very fast and effective method for removal of  $\beta$ -naphthol and pH 11 was indicated as the optimum pH.

**Keywords:**  $\beta$ -naphthol, Synthetic wastewater, Nano-TiO<sub>2</sub> Photo catalysis process, Activated carbon

---

\*Corresponding Author: [akdarban@modares.ac.ir](mailto:akdarban@modares.ac.ir)

Tel: +98 9126185023 Fax: +98 21 88 4914