

# کاربرد فرایند فتوکاتالیستی UV/NiO در حذف رنگزای پلی آزوی مستقیم

علی اسدی<sup>۱</sup>      رویا ناطقی<sup>۲</sup>      سیمین ناصری<sup>۳</sup>  
مهران محمدیان<sup>۱</sup>      حامد محمدی<sup>۲</sup>      غلامرضا بنیادی نژاد<sup>۵</sup>

(دریافت ۸۹/۸/۲۰ پذیرش ۸۹/۱۱/۷)

## چکیده

در این مطالعه کارایی سیستم UV/NiO به عنوان یکی از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته برای حذف رنگ پلی آزوی قرمز مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق به صورت پایلوت در مقیاس آزمایشگاهی و به طور ناپیوسته راهبری گردید. پرتو فرابنفش مورد استفاده در این تحقیق توسط لامپ UV کم فشار ۱۱W تأمین شد. تأثیر عوامل مختلف از جمله pH، زمانهای تابش مختلف، غلظتهای مختلف اکسید نیکل و غلظتهای اولیه رنگ بررسی گردیدند. نتایج آزمایش با سیستم UV/NiO نشان داد که UV به تنهایی قادر به حذف رنگ DR 80 نیست. اکسید نیکل یک کاتالیست مؤثر در حذف رنگ توسط فرایند نانوفتوکاتالیستی است. با کاهش pH، کارایی حذف رنگ افزایش می یابد و pH بهینه برابر ۴ است. در نهایت بالاترین کارایی حذف برای رنگ DR 80 با غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب برابر ۹۴/۲۹ و ۸۲/۲۲ درصد توسط فرایند UV/NiO حاصل گردید. فرایند رنگبری توسط فرایند UV/NiO از سنتتیک واکنش درجه دوم کاذب تبعیت می کند. به طور کلی فرایند UV/NiO روش مؤثری در حذف رنگ پلی آزو DR 80 از محلولهای آبی است.

**واژه‌های کلیدی:** رنگ پلی آزو، فرایند نانوفتوکاتالیستی، نانو ذرات اکسید نیکل، رنگ زدایی

## Direct Poly Azo Dye Decolorization Using Nanophotocatalytic UV/NiO Process

Ali Asadi<sup>1</sup>      Roya Nateghi<sup>2</sup>      Simin Nasseri<sup>3</sup>  
Mehran Mohammadiyan<sup>1</sup>      Hamed Mohammadi<sup>4</sup>      Gholamreza Bonyadinejad<sup>5</sup>

(Received Nov. 11, 2010 Accepted Jan. 27, 2011)

### Abstract

In this study, efficiency of UV/NiO system as a forms of Advanced Oxidation Processes (AOP) to remove red poly azo was investigated. This study was conducted as a pilot scale and batch mode. Ultraviolet was achieved by 11 W low pressure lamp. Effects of various factors such as pH, different times of irradiation, different concentration of nickel oxide, primary concentration of colors were evaluated. The test results of UV/NiO system showed that no effects were observed with UV alone in photocatalysis process for removal of dye DR 80. Nickel oxide is an effective catalyst in removal of dye by the nanophotocatalytic process. The results represent that the color removal efficiency increase with pH reduction and optimum pH was found 4. Fainally, the highest removal efficiency for DR 80 dye with concentration of 25 mg/L and 50 mg/L was obtained about 94.29% and 82.22% by the process of UV/NiO respectively. Reaction kinetic in the UV/NiO process follows pseudo secondary-order reactions. Totally UV/NiO process is an effective methode for DR 80 poly azo dye removal in aqueous solutions.

**Keywords:** Poly Azo Dye, Nanophotocatalytic Process, Nickel Oxide Nanopowder, Decolorization.

1. Assist. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan
2. M.Sc. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan (Corresponding Author) (+98 311) 6807099 R59\_Nateghi@yahoo.com
3. Prof. of Environmental Health Eng., Tehran University of Medical Sciences, Tehran
4. Instructor of Environmental Health Eng., Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan
5. M.Sc. of Environmental Eng., Faculty of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan

- ۱- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان
- ۲- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان (نویسنده مسئول) ۶۸۰۷۰۹۹ (۰۳۱۱) R59\_Nateghi@yahoo.com
- ۳- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران
- ۴- مربی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان
- ۵- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان

سالانه در سراسر جهان حدود یک میلیون تن مواد رنگزای مختلف سنتز می‌شود که تقریباً ۱۰ تا ۱۵ درصد از این رنگها پس از مصرف در پسابهای نساجی باقی خواهند ماند. در دسته‌بندی کلی رنگها، رنگهای آزو بزرگ‌ترین نماینده کلاس رنگها یا به عبارت دیگر ۶۰ تا ۷۰ درصد از رنگها را به خود اختصاص می‌دهند [۵-۱]. رنگهای آزو حاوی عامل رنگی باند آزو (-N=N-) هستند که به همراه آن یک یا چند سیستم آروماتیک نیز حضور دارد [۳، ۲ و ۶]. حضور مقادیر بسیار کم رنگ در آب، بسیار قابل مشاهده است که به طور جدی بر روی کیفیت زیباشناختی، شفافیت آب و غلظت اکسیژن محلول آب تأثیر می‌گذارد و منجر به نابودی محیط زیست آبریزان می‌گردد. به علاوه محققان دریافته‌اند که در طی فرایند تجزیه، برخی رنگها و از جمله رنگهای آزو، آمین‌های آروماتیک تولید می‌نمایند که به طور بالقوه سرطان‌زا و جهش‌زا هستند [۱، ۴، ۶ و ۷]. رنگهای آزو معمولاً تحت شرایط هوازای مقاوم هستند و علی‌رغم اینکه تحت شرایط بی‌هوازی به آسانی کاهش می‌یابند، محصولات آنها آمین‌های آروماتیک است که به طور بالقوه خطر سرطان‌زایی و جهش‌زایی دارند [۴، ۶-۹].

در سالهای اخیر فن‌آوری‌های اکسیداسیون پیشرفته<sup>۱</sup> به عنوان شیوه‌های کارآمد برای به دست آوردن بازده بالای اکسیداسیون انواع مختلفی از ترکیبات آلی توصیف شده‌اند [۳، ۸ و ۱۰]. به علاوه طی دو دهه گذشته تجزیه فتوکاتالیستی مواد شیمیایی سمی که آلودگی‌های محیط‌زیستی شدیدی ایجاد نموده‌اند، به طور گسترده مطالعه شده است. کاتالیست‌های در مقیاس نانو، پتانسیل لازم برای به حداقل رساندن آلاینده‌های سمی در آب را دارند [۱۱]. NiO نیز به عنوان یک کاتالیست مؤثر برای اکسیداسیون طیف وسیعی از ترکیبات آلی استفاده شده است [۱۲ و ۱۳].

از جمله رنگهای مهم و پر کاربرد در صنایع نساجی، رنگ پلی‌آزوی Direct Red 80 با نام تجاری سولفونیل قرمز رنگ است. این رنگها به دلیل حضور بنیان‌های آروماتیک، به طور بالقوه خصوصیات سرطان‌زایی و جهش‌زایی دارند و علاوه بر آن نسبت به تجزیه‌های بیولوژیکی محیط زیست مقاوم هستند [۳، ۴ و ۶].

در تحقیقاتی که اسمیت و همکاران<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۰ در کارولینای جنوبی انجام داده‌اند، با استفاده از فرایند اکسیداسیون فتوشیمیایی پیشرفته (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) توانستند ۸۰ درصد رنگ آلی فاضلاب یک کارخانه کاغذسازی را با استفاده از ۸۰ میلی‌گرم در لیتر H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> حذف نمایند [۱۴]. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۸ بر روی رنگ مونو آزوی RO 16 در غلظت اولیه رنگ ۵۰ میلی‌گرم

در لیتر با فرایند UV/TiO<sub>2</sub> انجام گرفت، در شرایط pH اولیه برابر ۵/۶ و TiO<sub>2</sub> با غلظت ۰/۴ گرم در لیتر، بعد از زمان ۱۲۰ دقیقه مقدار حذف حدود کمتر از ۹۰ درصد به دست آمد [۱۵]. طی تحقیقاتی که در سال ۲۰۰۵ بر روی حذف رنگ DR 80 با سیستم UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در غلظت اولیه رنگ ۵۰ میلی‌گرم در لیتر انجام شد، تجزیه کامل رنگ در ۶۰ دقیقه حاصل گردید [۱۶].

هدف از انجام این مطالعه بررسی کارایی سیستم UV/NiO به عنوان یکی از شکلهای فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته برای حذف رنگ پلی‌آزوی قرمز بود. طبق بررسی‌های به عمل آمده از پایگاههای اطلاع رسانی ملی و بین‌المللی، مطالعه مشابهی در این زمینه منتشر نشده است.

## ۲- مواد و روشها

این تحقیق یک مطالعه تجربی، مداخله‌ای بود که در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته انجام گردید. به این منظور از یک راکتور استوانه‌ای شکل با حجم مفید ۴/۵ لیتر و از جنس پلکسی استفاده گردید. پرتو UV مورد استفاده در این تحقیق توسط لامپ UV کم فشار ۱۱W با شدت ۲۲۰۰۰ μws/cm<sup>2</sup> و ساخت شرکت فیلیپس<sup>۳</sup> تأمین شد. لامپ درون پوشش کوارتز بسیار شفاف به قطر ۳ سانتی‌متر در امتداد کل طول راکتور و به صورت مرکزی در داخل آن قرار داده شد. رنگ مورد استفاده در این تحقیق سولفونیل قرمز 3BL با خلوص ۲۵ درصد بود که از نمایندگی کمپانی سیگما<sup>۴</sup> در ایران تهیه شد. این رنگ، یک رنگ پلی‌آزو و از گروه رنگهای مستقیم است که در صنایع نساجی کاربرد و مصرف زیادی دارد. در جدول ۱ مشخصات کامل رنگ و در شکل ۱ نیز فرمول ساختمانی رنگزای سولفونیل قرمز 3BL ارائه شده است. نانو کاتالیست مورد استفاده در این تحقیق، اکسید نیکل با متوسط اندازه ۶/۳ نانومتر بود که از شرکت سیگما خریداری شد. برای اجرای تحقیق غلظتهای اولیه رنگ، تأثیر pH، غلظتهای مختلف اکسید نیکل و زمان‌های تابش مختلف بررسی گردید.

ابتدا محلول مادر رنگ Direct Red 80 با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شد. سپس از این محلول، با استفاده از آب مقطر محلولهای استاندارد با غلظتهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر ساخته شد. بعد از اسکن نمودن دامنه جذب رنگ، طول موج حداکثر جذب (λ<sub>max</sub>) برای رنگ Direct Red 80 انتخاب گردید. این طول موج برای رنگ Direct Red 80 برابر با ۵۲۵ نانومتر بود. در مرحله بعد، جذب رنگهای استاندارد با

<sup>3</sup> Philips

<sup>4</sup> Sigma

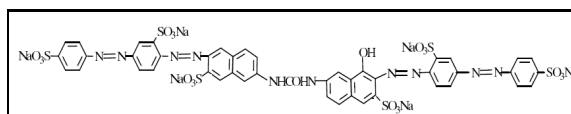
<sup>1</sup> Advanced Oxidation Process (AOP)

<sup>2</sup> Schmitt et al.

غلظتهای معلوم توسط دستگاه اسپکتروفتومتر DR 5000 قرائت شد و منحنی استاندارد رسم گردید و غلظت رنگ سولفونیل قرمز در مراحل مختلف با استفاده از معادله به دست آمده از منحنی استاندارد تعیین شد.

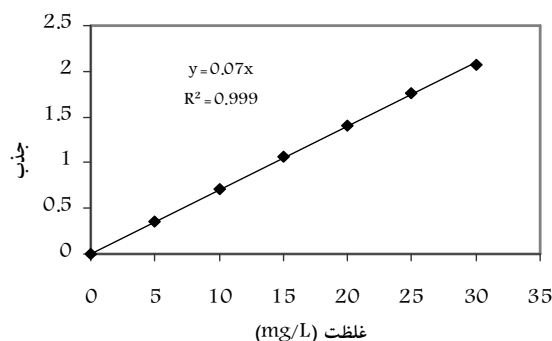
جدول ۱- مشخصات رنگ آزوی مورد استفاده در این تحقیق

تعداد پیوند آزو	وزن مولکولی	$\lambda_{max}$ (nm)	فرمول شیمیایی	نام تجاری	نام علمی
۴	۱۳۷۳/۰۷ g/mol	۵۲۵	$C_{45}H_{26}N_{10}Na_6O_{21}S_6$	سولوفنیل قرمز 3BL	C.I. Direct Red 80



شکل ۱- فرمول ساختمانی رنگزای سولوفنیل قرمز 3BL

شکل ۲ منحنی استاندارد را نشان می‌دهند. در کلیه مراحل آزمایش، حجم نهایی محلول رنگ با استفاده از آب مقطر به میزان ۴ لیتر تنظیم و سپس وارد پایلوت گردید. به منظور تنظیم pH محلول از اسید سولفوریک ۱/۰ نرمال و هیدروکسید سدیم ۱ نرمال استفاده گردید. مقدار رنگ‌زدایی محلول رنگ Direct Red 80 توسط UV-Vis اسپکتروفتومتر DR 5000، از طریق کاهش جذب در طول موج حداکثر جذب رنگ محاسبه شد. جداسازی ذرات NiO موجود در نمونه با استفاده از سانتریفیوژ شرکت سیگمای آلمان با دور ۱۰۰۰ rpm به مدت ۲۰ دقیقه انجام گردید.

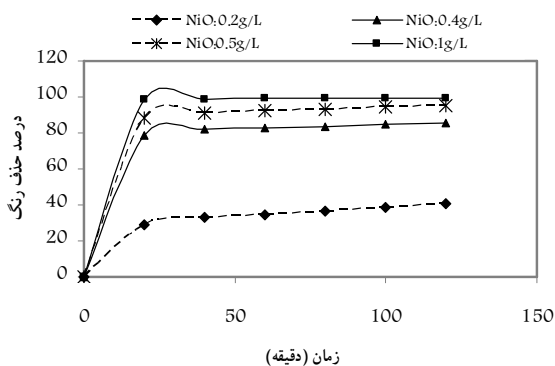


شکل ۲- منحنی استاندارد جذب برای اندازه‌گیری رنگ DR 80 در نمونه‌های مجهول،  $\lambda_{max} = 525 \text{ nm}$

### ۳- نتایج و بحث

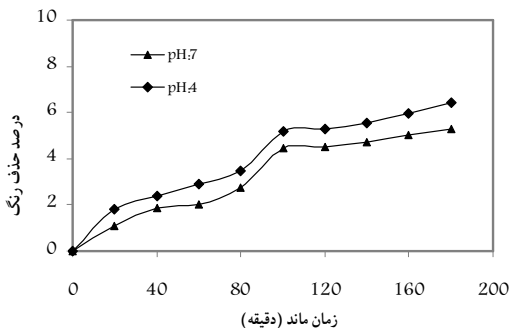
۳-۱- بررسی تأثیر مقدار NiO به تنهایی در فرایند رنگبری به منظور پی بردن به نقش مؤثر NiO به عنوان کاتالیست در حذف رنگ، این آزمایش‌ها در غلظت اولیه رنگ ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و

به مدت ۲ ساعت با غلظتهای مختلف NiO انجام گردید. مطابق شکل ۳، کارایی حذف برای NiO با غلظتهای ۰/۵، ۰/۴، ۰/۲ و ۰/۱ گرم در لیتر به ترتیب برابر ۰/۷، ۰/۵، ۰/۵ و ۰/۵ درصد به دست آمد. بنابراین نتایج به دست آمده گویای آن است که NiO به تنهایی در غلظتهای ۰/۴ تا ۱ گرم در لیتر برای حذف رنگ DR 80 بسیار کارآمد است. در حالی که در غلظت ۰/۲ گرم در لیتر و کمتر نقش جذب NiO بسیار کاهش می‌یابد، به طوری که بعد از گذشت ۴۰ دقیقه فقط ۳۳ درصد رنگ توسط NiO جذب می‌گردد. در تأیید نتایج به دست آمده، سونگ و همکاران<sup>۱</sup> نیز NiO را به عنوان یک جاذب کارآمد و قابل بازیابی برای رنگهای مختلف گزارش نموده‌اند [۱۷].



شکل ۳- تأثیر NiO به تنهایی بر درصد حذف رنگ DR 80 در pH اولیه رنگ (۵/۵ ± ۰/۵) (C<sub>0</sub>: ۵۰ mg/L)

۳-۲- بررسی تأثیر اشعه UV به تنهایی در فرایند رنگبری مطابق شکل ۴ نتایج آزمایش نشان می‌دهد که طی ۳ ساعت تابش لامپ UV به تنهایی، به ترتیب در pH خنثی و pH بهینه سیستم UV/NiO فقط ۵/۳ و ۶/۴ درصد از غلظت رنگ کاهش یافته است.

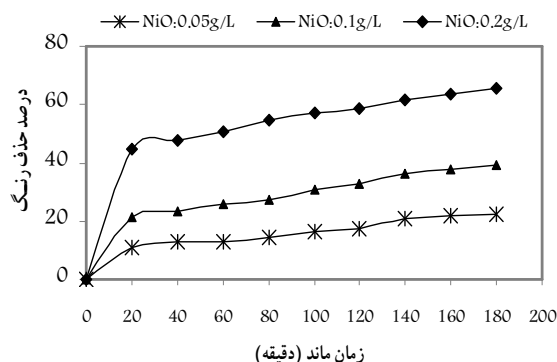


شکل ۴- تأثیر UV به تنهایی بر درصد حذف رنگ DR 80 در غلظت اولیه رنگ ۵۰ میلی‌گرم در لیتر

<sup>1</sup> Song et al.

### ۳-۳- تأثیر مقدار کاتالیست NiO در فرایند رنگبری

به منظور سنجش اثر غلظت‌های اولیه اکسید نیکل در سیستم UV/NiO از غلظت‌های مختلف اکسید نیکل به مقدار ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۰۵ گرم در لیتر در یک غلظت ثابت رنگ و محدوده pH خنثی در زمان‌های مختلف تابش استفاده گردید. مطابق شکل ۵ نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که میزان تجزیه رنگ پلی‌آزو DR 80 با افزایش بارگذاری NiO از ۰/۰۵ به ۰/۲ گرم در لیتر افزایش یافته است. یعنی با افزایش سطح فعال کاتالیست، مقدار رنگبری نیز افزایش می‌یابد [۱۵]. بنابراین مقدار ۰/۲ گرم در لیتر، NiO به عنوان غلظت بهینه انتخاب گردید.



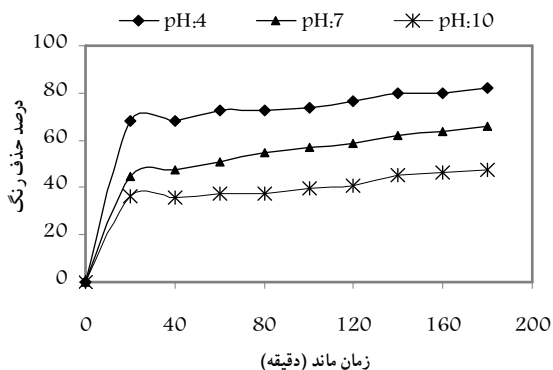
شکل ۵- تأثیر غلظت‌های متفاوت NiO بر درصد حذف رنگ DR 80 در فرایند UV/NiO (UVC: ۱۱W - pH: ۷ -  $C_0$ : ۵۰ mg/L)

کارایی حذف رنگ در سیستم‌های UV/NiO، تنها و UV<sub>11W</sub> تنها بعد از گذشت ۴۰ دقیقه به ترتیب ۳۳، ۶۸ و ۲/۴ درصد بود که نشان دهنده نقش مؤثر کاتالیزوری NiO در حذف رنگ پلی‌آزو با فرایند UV/NiO بود. تحت این شرایط حداکثر جذب فوتون به وسیله کاتالیست اتفاق می‌افتد و عامل اکسیداسیون یا رادیکال‌های هیدروکسیل باند شده یا حفره‌های آزاد تولید می‌شوند که مولکول‌های رنگ را در سطح مشترک جامد- مایع اکسید می‌نمایند [۱۸ و ۱۹].

### ۳-۴- تأثیر pH در فرایند رنگبری

فاضلاب صنایع نساجی معمولاً دامنه گسترده‌ای از pH را در بر می‌گیرد. به طور کلی pH نقش مهمی را در ویژگی‌های فاضلاب نساجی و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل بازی می‌کند. به عبارت دیگر یکی از پارامترهای مهم در واکنش‌های فتوکاتالیزوری که در سطح ذرات رخ می‌دهد و بر سرعت واکنش‌های شیمیایی مؤثر است، pH محیط است. زیرا pH محیط خصوصیات بار سطحی ذرات فتوکاتالیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۶]. بنابراین

تجزیه فتوکاتالیتیکی رنگ DR 80 در محدوده pH اسیدی، خنثی و بازی مطالعه شد. pH محلول‌های رنگ با NaOH و H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> قبل از تابش تنظیم گردیدند. نتایج حاصل که در شکل ۶ ارائه شده است، گویای آن است که اکسیداسیون و درصد حذف رنگ تحت تأثیر pH محیط بوده و بیشترین کارایی حذف برای سیستم‌های UV/NiO برابر ۸۲/۲۲ درصد در pH بهینه برابر ۴ به دست آمد.



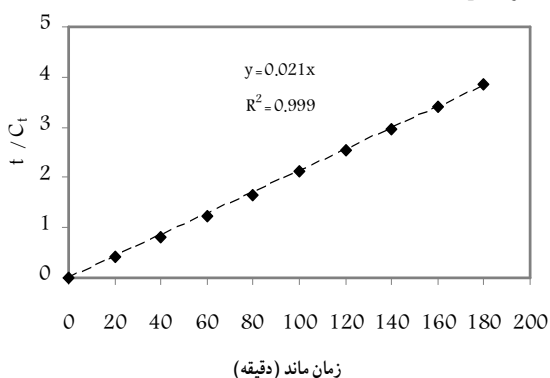
شکل ۶- تأثیر pH مختلف بر درصد حذف رنگ DR 80 در فرایند UV/NiO (UVC: ۱۱W -  $C_0$ : ۵۰ mg/L - NiO: ۰/۲ g/L)

نتایج بیانگر آن است که با کاهش pH، کارایی حذف رنگ پلی‌آزو DR 80 افزایش می‌یابد. در pH پایین، احیای مستقیم توسط الکترون‌ها در باند هدایت ممکن است نقش مهمی را در تجزیه رنگ بازی کند که منجر به ایجاد شکاف احیا کننده در باندهای آزو می‌شود [۱۵]. تاکنون مطالعاتی که در آنها از سیستم UV/NiO برای حذف ماده آلی استفاده شده باشد، یافت نشده است ولی محوی و همکاران نیز pH اسیدی را به عنوان pH بهینه برای حذف رنگ RO 16 با سیستم UV/TiO<sub>2</sub> گزارش نموده‌اند [۱۵].

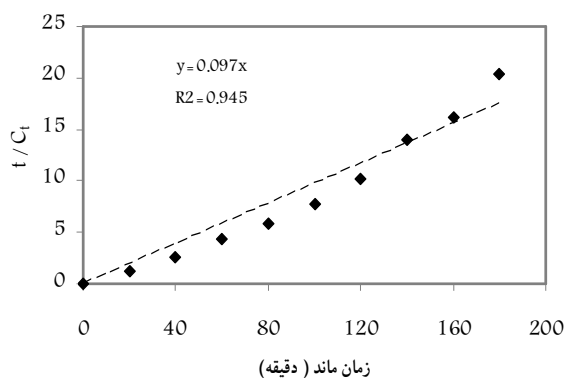
### ۳-۵- اثر غلظت اولیه رنگ در فرایند رنگبری

به این منظور غلظت‌های مختلف رنگ به ترتیب برابر با ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر مورد مطالعه قرار گرفت. برای بررسی این بخش از تحقیق، از بهترین ناحیه اثر pH و غلظت بهینه NiO به دست آمده از مراحل قبل به همراه غلظت‌های مختلف رنگ استفاده گردید. همان‌گونه که شکل ۷ نشان می‌دهد، با افزایش غلظت اولیه رنگ از ۲۵ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سرعت رنگبری کاهش می‌یابد به طوری که کارایی حذف در غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر رنگ DR 80 به ترتیب برابر ۹۴/۲۹، ۸۲/۲۲ و ۶۲/۶۴ درصد بود. عموماً این نکته مورد توجه است که با افزایش غلظت رنگ تا سطح مشخصی، میزان تجزیه رنگ نیز افزایش می‌یابد و یا افزایش بیشتر در غلظت رنگ منجر به کاهش میزان

می‌کنند و ثابتهای سرعت واکنش برای فرایندهای UV<sub>11W</sub> و UV/NiO به ترتیب برابر ۰/۰۲۱ و ۰/۰۹۷ است. نتایج مشابهی نیز در این خصوص توسط سایر محققان به دست آمده است [۱۷ و ۲۴].



شکل ۸- تعیین درجه واکنش در سیستم UV به تنهایی در شرایط بهینه (C<sub>0</sub>: ۵۰ mg/L - UVC: ۱۱ W - pH<sub>opt</sub>: ۴)



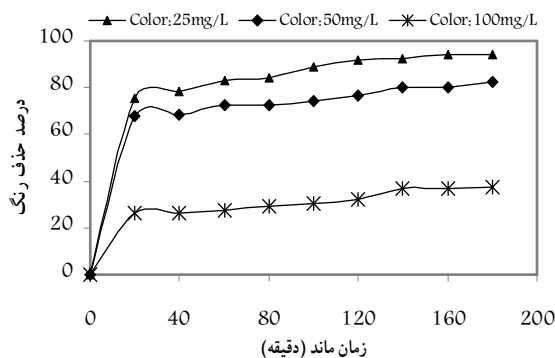
شکل ۹- تعیین درجه واکنش در سیستم UV/NiO در شرایط بهینه (C<sub>0</sub>: ۵۰ mg/L - NiO<sub>opt</sub>: ۰/۲ g/L - pH<sub>opt</sub>: ۴ - UVC: ۱۱ W)

#### ۴- نتیجه‌گیری

این مطالعه به منظور ارزیابی کاربرد سیستم فتوکاتالیزوری در تجزیه و حذف رنگ پلی آزو DR 80 انجام گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که به طور کلی فرایند UV/NiO روش مؤثری در حذف رنگ پلی آزو DR 80 از محلولهای آبی است و میزان حذف رنگ تحت تأثیر مقدار NiO، pH محلول، غلظت اولیه رنگ و مدت زمان تابش UV است ولی کارایی UV به تنهایی مطلوب نیست.

درصد حذف رنگ توسط فرایند نانوفتوکاتالیزوی مورد استفاده تابعی از غلظت کاتالیست مورد نظر در محلول است که با افزایش بارگذاری کاتالیست تا مقدار بهینه، کارایی حذف افزایش می‌یابد.

تجزیه رنگ می‌شود. میزان تجزیه با احتمال تشکیل رادیکال‌های OH<sup>•</sup> روی سطح کاتالیست و احتمال واکنش این رادیکال‌ها با مولکول‌های رنگ، مرتبط است. بنابراین افزایش غلظت اولیه رنگ، احتمال واکنش بین مولکول‌های رنگ و انواع اکسیدکننده‌ها را زیاد می‌کند که منجر به افزایش میزان رنگبری می‌شود. در مقابل با افزایش بیشتر غلظت رنگ، کارایی تجزیه رنگ کاهش می‌یابد [۲۰]. از دلایل احتمالی این است که در غلظتهای بالای رنگ، مکان‌های فعال کاتالیست با یون‌های رنگ پوشیده می‌شود و در نتیجه تولید رادیکال‌های OH<sup>•</sup> روی سطح کاتالیست کاهش می‌یابد. از دلایل دیگر برای این قبیل نتایج، اثر UV-Screening خود رنگ است [۲۰]. همچنین با افزایش غلظت رنگ و ثابت ماندن غلظت کاتالیست و تابش UV، تعداد رادیکال‌های هیدروکسیل تولید شده نیز ثابت باقی می‌ماند، در نتیجه سرعت رنگبری کم می‌شود. به علاوه با افزایش غلظت اولیه رنگزا، محصولات واسطه تشکیل شده در اثر تجزیه رنگزا نیز افزایش یافته و در نتیجه احتمال رقابت این مواد واسطه تولید شده با مولکول‌های رنگزای مادر برای تجزیه شدن وجود دارد [۲۱-۲۳].



شکل ۷- درصد حذف رنگ در شرایط بهینه و غلظتهای اولیه مختلف رنگ DR 80 در فرایند UV/NiO (UVC: ۱۱ W - pH<sub>opt</sub>: ۴ - NiO<sub>opt</sub>: ۰/۲ g/L)

#### ۳-۶- روند تجزیه رنگ و سینتیک واکنش

به منظور بررسی میزان تجزیه رنگ DR 80 در فرایندهای مختلف فتوکاتالیزوری مورد استفاده و مقایسه آنها با یکدیگر، سینتیک واکنش بررسی شد و براساس ثابتهای سرعت واکنش و کارایی‌های حذف به دست آمده از آن، نتایج تفسیر گردید. همان‌طور که در شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده می‌شود با توجه به خطی بودن تغییرات t/C<sub>t</sub> بر حسب زمان و همبستگی خطی بالای نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که معادله‌های تجزیه رنگ DR 80 توسط UV به‌طور مجزا و فرایند UV/NiO از سینتیک واکنش درجه دوم کاذب پیروی

میزان تجزیه رنگ DR 80 در کلیه فرایندهای مورد مطالعه به pH محیط وابسته است. نتایج بیانگر آن است که با کاهش pH کارایی حذف رنگ افزایش می‌یابد و pH بهینه برابر ۴ است.

نتایج نشان دهنده نقش مؤثر کاتالیزوری NiO در حذف رنگ توسط فرایندهای کاتالستی است. غلظت بهینه برای کاهش رنگ در سیستم UV/NiO برابر ۰/۲ گرم در لیتر به دست آمد.

## ۵- مراجع

- 1- Somasiri, W., Li, X. F., Ruan, W. Q., and Jian, C. (2008). "Evaluation of the efficacy of upflow anaerobic sludge blanket reactor in removal of colour and reduction of COD in real textile wastewater." *Bioresource Technology*, 99, 3692-3699.
- 2- Movahedian Attar, H., and Rezaee, R. (2006). "Investigating the efficiency of advanced photochemical oxidation (APO) technology in degradation of direct azo dye by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process." *J. of Water and Wastewater*, 59, 75-83. (In Persian)
- 3- Daneshvar, N., Aber, S., Vatanpour, V., and Rasoulifard, M. H. (2008). "Electro-fenton treatment of dye solution containing orange II, Influence of operational parameters." *J. of Electroanalytical Chemistry*, 615, 165-174.
- 4- Peng, Y., Fu, D., Liu, R., Zhang, F., and Liang, X. (2008). "NaNO<sub>2</sub>/FeCl<sub>3</sub> catalyzed wet oxidation of the azo dye acid orange 7." *Chemosphere*, 71, 990-997.
- 5- Joshi, T., Iyengar, L., Singh, K., and Garg, S. (2008). "Isolation, identification and application of novel bacterial consortium TJ-1 for the decolourization of structurally different azo dyes." *Bioresource Technology*, 99, 7115-7121.
- 6- Lopes, A., Martins, S., Morao, A., Magrinho, M., and Goncalves, I. (2004). "Degradation of a textile dye C. I. direct red 80 by electrochemical processes." *Portugaliae Electrochimica Acta*, 22, 279-294.
- 7- Tauber, M. M., Gubitz, G. M., and Rehorek, A. (2008). "Degradation of azo dyes by oxidative processes – Laccase and ultrasound treatment." *Bioresource Technology*, 99, 4213-4220.
- 8- Zhang, G., Yang, F., and Liu, L. (2009). "Comparative study of Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Fe<sup>3+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> electro-oxidation systems in the degradation of amaranth using anthraquinone/polypyrrole composite film modified graphite cathode." *J. of Electroanalytical Chemistry*, 632, 154-161.
- 9- Chen, Y. P., Liu, S. Y., Yu, H. Q., Yin, H., and Li, Q.R. (2008). "Radiation-induced degradation of methyl orange in aqueous solutions." *Chemosphere*, 72, 532-536.
- 10- Wang, J., Sun, W., Zhang, Z., Jiang, Z., Wang, X., Xu, R., Li, R., and Zhang, X. (2008). "Preparation of Fe-doped mixed crystal TiO<sub>2</sub> catalyst and investigation of its sonocatalytic activity during degradation of azo fuchsine under ultrasonic irradiation." *J. of Colloid and Interface Science*, 320, 202-209.
- 11- Schutte, C. F., and Focke, W. (2007). *Evaluation of nanotechnology for application in water and wastewater treatment and related aspects in south Africa*, Report Number KV 195/07.
- 12- Lai, T. L., Wang, W. F., Shu, Y. Y., Liu, Y. T., and Wang, C. B. (2007). "Evaluation of microwave-enhanced catalytic degradation of 4-chlorophenol over nickel oxides." *J. of Molecular Catalysis A, Chemi.*, 273, 303-309.
- 13- Wang, H. Ch., Chang, S. H., Hung, P. Ch., Hwang, J. F., and Chang, M. B. (2008). "Catalytic oxidation of gaseous PCDD/Fs with ozone over iron oxide catalysts." *Chemosphere*, 71, 388-397.
- 14- EPA. (1997). *Sector notebook project*, Textile Industry, USA.
- 15- Ghanbarian, R., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., and Saeedniya, S. (2008). "A pilot study of RO16 discoloration and mineralization in textile effluents using the nanophotocatalytic process." *J. of Water and Wastewater*, 69, 45-51. (In Persian)

- 16- Mahmoodi, N. M., Arami, M., Yousefi Limaee, N., and Salman Tabrizi, N. (2005). "Decolorization and aromatic ring degradation kinetics of direct red 80 by UV oxidation in the presence of hydrogen peroxide utilizing TiO<sub>2</sub> as a photo catalyst." *J. Chem. Eng.*, 112, 191-196.
- 17- Song, Z., Chen, L., Hu, J., and Richards, R. (2009). "NiO(111) nanosheets as efficient and recyclable adsorbents for dye pollutant removal from wastewater." *Nanotechnology*, 20, 1-10.
- 18- Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A., and Marotta, R. (1999). "Advanced Oxidation Processes (AOP) for water purification and recovery." *Catalysis Today*, 53, 51-59.
- 19- USEPA. (1998). *Handbook of advanced photochemical oxidation processes*, EPA/625/R-98/004, Office of Research and Development, USA.
- 20- Konstantinou, I. K., and Albanis, T. A. (2004). "TiO<sub>2</sub>-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution, kinetic and mechanistic investigations, A review." *Appl. Catal. B, Environ.*, 49, 1-4.
- 21- Mahmoodi, N. M., Rayat Tari, K. H., Borhany, S., Arami, M., and Nourmohammadian, F. (2008). "Decolorization of colored wastewater containing azo acid dye using photo-fenton process, operational parameters and a comparative study." *J. Color Science and Technology*, 2, 31-40.
- 22- Mahmoodi, N. M., Arami, M., Gharanjig, K., and Nourmohammadian, F. (2007). "Decolorization and mineralization of basic dye using nanophotocatalysis, pilot scale study." *J. Color Science and Technology*, 1, 1-6.
- 23- Daneshvar, N., Khataee, A., Rasoulifard, M. H., and Seyed Dorraji, M. (2007). "Removal of organic dyes from industrial wastewaters using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe (II), UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe (III) processes." *J. Water and Wastewater*, 61, 34-42. (In Persian)
- 24- Mahmoodi, N. M., Arami, M., Yousefi Limaee, N., and Salman Tabrizi, N. (2006). "Kinetics of heterogeneous photo-catalytic reactor." *J. Colloid Interface Sci.*, 295, 159-164.