

## Photocatalytic Removal of Acid Red 18 Dye from Aqueous with ZnO Nanoparticles Synthesized by Hydrothermal Method

Maleki A<sup>1</sup>, Zandsalimi Y\*<sup>2,3</sup>, Jafari M<sup>3</sup>, Daraei H<sup>4</sup>, Sadeghi Sh<sup>2</sup>

1. Professor, Environmental Health Engineering, Environmental Health Research Center, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

2. MSc, Student Research Committee, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

3. B.Sc, Environmental Health Engineering, Environmental Health Research Center, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

4. MSc, Analytical Chemistry, Environmental Health Research Center, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

\* *Corresponding author.* Tel: +988733626969 Fax: +988733625131 E-mail: yzandsalimi@gmail.com

Received: Jun 7, 2014 Accepted: Feb 15, 2015

### ABSTRACT

**Background & objectives:** Dyes beside having negative effects on environmental aesthetic sight have serious negative biological and chemical effects on environment. The propose of this study is to remove photocatalistics of acid red 18 using ZnO nanoparticle synthesized with hydrothermal method discontinuous system.

**Methods:** In this experimental study first the source reactor and radiation were designed and constructed. Experiments were performed under stable conditions in pH (4, 7, and 10) with a contact time (10, 20, 30, 45 and 60) to determine the optimum pH. Then pH was fixed and effect of the initial concentration of nanoparticles (0.25, 0.5, 1, 2 and 3) grams per liter and various concentrations of Acid Red 18 (10, 25, 50, 100 and 200) milligrams per liter were studied.

**Results:** The results showed that the red dye removal efficiency of the process under study has directly increased with degree of acidity, so in acidic and alkaline efficiency was 83% and 1/59. It was also found that by lowering the initial dye concentration and increasing the contact time and concentration of nanoparticles, the removal efficiency was increased.

**Conclusion:** Photocatalytic process coupled with ZnO nanoparticles synthesized by hydrothermal method in removal of Acid Red 18 has done best and the efficiency is seemed to be considerable. we suggest that the efficiency of the removal of dyes and other pollutants needs to be further investigated.

**Keywords:** Acid Red18; Photocatalistic Process; Nanoparticle; ZnO; Aquatic Environment.

## بررسی کارایی فرایند فتوکاتالیستی نانوذرات اکسید روی سنتز شده با روش هیدروترمال در حذف رنگزای اسید رد ۱۸ از محیط آبی

افشین ملکی<sup>۱</sup>، یحیی زند سلیمی<sup>۲\*</sup>، مهرانوش جعفری<sup>۳</sup>، هیوا دارایی<sup>۴</sup>، شهرام صادقی<sup>۵</sup>

۱. دانشیار، مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی بهداشت محیط، عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، سنندج، ایران ۳. کارشناس مهندسی بهداشت محیط، کارشناس مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران ۴. مربی، کارشناس ارشد شیمی تجزیه، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران ۵. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی بهداشت محیط، عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

\* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۸۷۳۳۶۲۶۹۶۹ فکس: ۰۸۷۳۳۶۲۵۱۳۱ ایمیل: yzandsalimi@gmail.com

### چکیده

**زمینه و هدف:** رنگ‌ها علاوه بر اثرات منفی بر جنبه‌های زیباشناختی محیط، اثرات منفی بیولوژیک و شیمیایی جدی بر محیط زیست دارند. هدف از این تحقیق تعیین کارایی فرایند فتوکاتالیستی نانوذرات اکسید روی سنتز شده با روش هیدروترمال در حذف رنگزای اسید رد ۱۸ از محیط آبی می‌باشد.

**روش کار:** ابتدا طراحی و ساخت راکتور و منبع تابش صورت گرفت. سپس نانوذرات اکسید روی در آزمایشگاه سنتز و آماده گردید. انجام آزمایشات با تعیین pH اپتیمم در شرایط ثابت با pHهای (۴، ۷ و ۱۰) با زمان تماس (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰) انجام شد. در ادامه با نگه داشتن pH اپتیمم تاثیر غلظت اولیه نانوذره (۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲ و ۳) گرم در لیتر و غلظت‌های مختلف رنگزای اسیدی قرمز ۱۸ (۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰) میلی گرم در لیتر مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که کارایی حذف رنگزای اسیدی قرمز ۱۸ در فرآیندهای مورد مطالعه با pH اسیدی افزایش یافته به گونه ای که به ترتیب در pH اسیدی و قلیایی کارایی ۸۳٪ و ۵۹/۱٪ را داشته است. همچنین مشخص شد که با کاهش غلظت اولیه رنگزا، افزایش زمان تماس و غلظت نانوذره، کارایی حذف افزایش یافت.

**نتیجه گیری:** فرایند فتوکاتالیستی توام با نانوذرات اکسید روی سنتز شده با روش هیدروترمال، در حذف رنگزای اسیدی قرمز ۱۸ مناسب و از راندمان قابل توجهی برخوردار است. همچنین پیشنهاد می‌شود که کارایی فرایند مورد نظر در حذف سایر رنگ‌ها و آلایندها بررسی گردد.

**واژه‌های کلیدی:** رنگزای اسیدی قرمز ۱۸، فرآیند فتوکاتالیستی، نانوذره، اکسید روی، محیط آبی

دریافت: ۹۳/۳/۱۷ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۶

### مقدمه

یکی از بزرگترین صنایع مصرف کننده آب، صنایع نساجی می‌باشد. این صنایع بطور معمول به ازای هر تن محصول تولیدی بین ۲۵-۲۵۰ مترمکعب آب مصرف می‌نمایند، در نتیجه فاضلاب‌های رنگی با کمیت و کیفیت شیمیایی متفاوت تولید می‌کنند (۱). بارزترین مشخصه فاضلاب صنایع نساجی رنگی بودن آن است (۲). یکی از مهمترین گروه رنگ‌های مصنوعی،

رنگ‌های آزو هستند که به دلیل قیمت پایین، حلالیت‌پذیری و پایداری بالا در نساجی استفاده می‌شوند (۳). محققان دریافته‌اند که طی فرآیند تجزیه برخی رنگزاهای از جمله رنگ‌های آزو، آمین‌های آروماتیک تولید می‌نمایند که بطور بالقوه سرطانزا و جیش‌زا هستند (۴-۶). یک روش تصفیه ایده آل برای آب و فاضلاب شامل تجزیه تمام مواد سمی موجود، بدون خروج مواد خطرناک از فرآیند

(۱۲). نانوذرات  $\text{TiO}_2$  و  $\text{ZnO}$  برای تخریب طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی آلی و رنگ‌های مصنوعی، به عنوان فتوکاتالیست‌های نیمه‌هادی موثر، ارزان و غیرسمی به ویژه در سال‌های اخیر استفاده شده‌اند. نانوذرات در نقش کاتالیست، فتون‌های پراانرژی طیف UV را جذب می‌کنند و رادیکال هیدروکسیل که اکسیدکننده قوی است، شکل می‌گیرد. هنگامی که یک نانوذره فتونی با انرژی برابر یا بیشتر از عرض شکاف باند<sup>۱</sup> نانوذره دریافت کند، یک الکترون از باند ظرفیت به باند رسانا منتقل می‌شود که به موجب این جداسازی الکترون، یک فضای خالی حفره<sup>۲</sup> در باند ظرفیت ایجاد می‌شود. اگر تفکیک بار الکتریکی صورت‌گیرد، الکترون و حفره روی سطح کاتالیست (نانوذره) منتقل شده و در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا شرکت می‌کنند (۱۳). اکسید روی به عنوان یکی از نیمه‌هادی‌های فلزی تجزیه‌کننده آلاینده‌های آب توسط پرتو فرابنفش مورد توجه بوده، اگرچه میزان کاربرد آن کمتر از دی اکسید تیتانیوم است. اکسید روی دارای حفره باندی (3.2 eV) مشابه دی اکسید تیتانیوم است (۱۴). مزیت اکسید روی به اکسید تیتانیوم قابلیت جذب طیف وسیعی از امواج و قابلیت فتوکاتالیستی آن در معرض تابش پرتو UV است (۱۵). هدف از این تحقیق تعیین کارایی فرایند فتوکاتالیستی نانوذرات اکسید روی سنتز شده با روش هیدروترمال در حذف رنگزای اسید رد ۱۸ از محیط آبی می‌باشد.

## روش کار

### مشخصات راکتور و منبع تابش اشعه UV

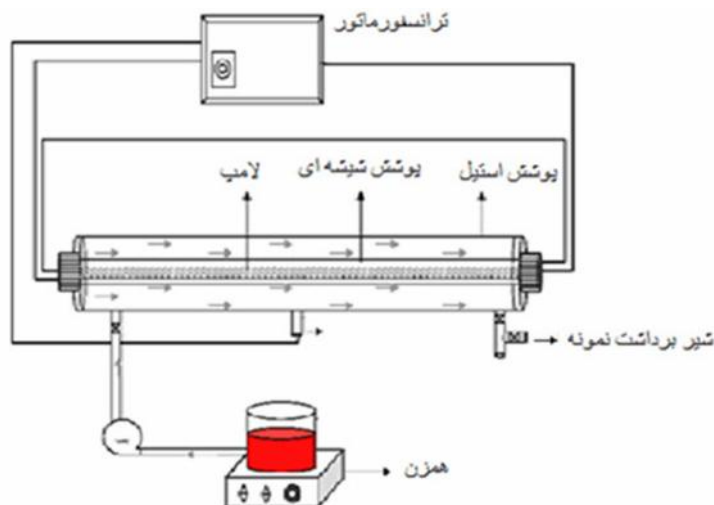
همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده، در این تحقیق از راکتور با جریان منقطع با حجم ۲/۸ لیتر از جنس استیل ساخت شرکت نیک آب استفاده گردید که درون آن دارای پوشش کوارتز بوده و حاوی لامپ

تصفیه است که باید از نظر صرف هزینه و منابع نیز اثربخش باشد. با وجود توسعه و پیشرفت روش‌های بدست آمده در این حوزه، عملاً هیچ روشی ما را به این هدف ایده‌آل نمی‌رساند. تصفیه بیولوژیک، هوادهی، جذب بر روی کربن فعال، سوزاندن و ازن زنی عملاً برای تصفیه و حذف مواد آلی مقاوم کارا نیستند، زیرا عموماً این مواد نسبت به تجزیه بیولوژیک مقاومند و تخریب نیز نمی‌شوند. روش‌های فوق هزینه‌بر هستند و تجزیه مواد آلاینده یادشده توسط روش ازن زنی نیز جزئی است و علاوه بر این محصولات جانبی سمی و مخاطرات زیست محیطی نیز از دیگر ملاحظات است که در این خصوص مطرح می‌شوند (۷). طی سال‌های اخیر فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) شیوه‌ای کارآمد برای بدست آوردن بازده بالای اکسیداسیون انواع مختلفی از ترکیبات آلی بوده است (۹،۸،۲). مبنای فرآیند اکسیداسیون پیشرفته تولید رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل ( $\text{OH}^0$ ) است، بنابراین از  $\text{O}_3$ ،  $\text{H}_2\text{O}_2$  یا هوا به عنوان اکسیدکننده و از امواج فرابنفش به عنوان انرژی خارجی استفاده می‌شود. رادیکال‌های هیدروکسیل دارای توانایی اکسیدکنندگی بالایی در واکنش با مولکول‌های رنگ بوده و باعث تخریب رنگ و حذف آن از آب و پساب می‌شوند (۱۰). این فرآیند شامل استفاده از عوامل اکسیدکننده قوی ( $\text{O}_3$ ، UV، UV/ $\text{O}_3$ ، UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O}_2$ / $\text{O}_3$ ،  $\text{O}_3$ /UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ ) برای تخریب آلاینده‌های آلی در حضور یا عدم حضور منبع تابش است (۱۱). مزیت اصلی این روش جلوگیری از آلودگی محصولات ثانویه در محیط، از بین بردن خطر افزایش دوز عوامل اکسیدکننده، سرعت بالای فرآیند و بهره‌وری می‌باشد (۱۰). به علاوه طی دو دهه گذشته تجزیه فتوکاتالیستی مواد شیمیایی سمی که آلودگی‌های زیست‌محیطی شدیدی ایجاد نموده‌اند، به طور گسترده مطالعه شده است. کاتالیست‌هایی در مقیاس نانو پتانسیل لازم برای به حداقل رساندن آلاینده‌های سمی در آب را دارند

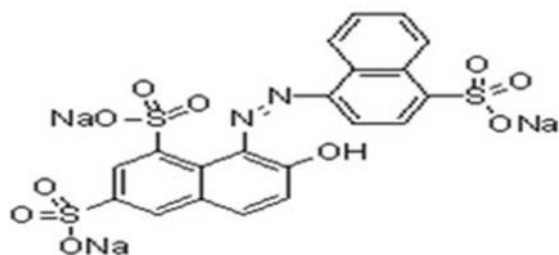
<sup>1</sup> Band Gap

<sup>2</sup> Hole

کم فشار ۵۵ وات به طول ۹۰ سانتی متر و ساخت شرکت Philips هلند بود.



شکل ۱. شماتیک رآکتور مورد استفاده و متعلقات آن

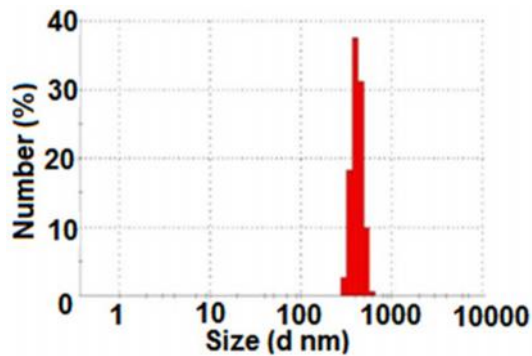


شکل ۲. فرمول گسترده شیمیایی رنگ Acid Red 18

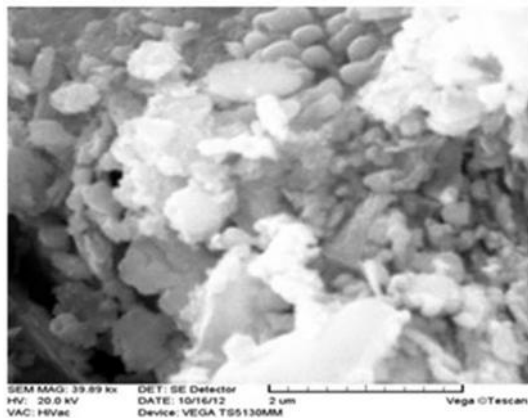
محلول مادر رنگزای اسیدی قرمز ۱۸ (۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر) با حل کردن ۱ گرم رنگ در آب بدون یون تهیه و برای جلوگیری از تغییرات غلظت، محلول استوک در یخچال نگهداری شد. به منظور تعیین مناسبترین طول موج جهت اندازه گیری غلظت‌های رنگ مورد مطالعه از روش استاندارد استفاده شد (۱۶). در نهایت مناسبترین طول موج که حداکثر جذب را برای رنگ مورد نظر داشت، ۵۰۸ نانومتر تعیین گردید. پس از تعیین مناسبترین طول موج با استفاده از محلول اصلی، محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف (۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) تهیه و جذب آنها در طول موج بهینه قرائت و در نرم افزار Excel منحنی استاندارد به همراه معادله خط با  $R^2 = 0.991$  ترسیم گردید. غلظت مجهول رنگ در مراحل بعدی آزمایش با استفاده از فرمول بدست

این تحقیق یک مطالعه نیمه تجربی- کاربردی است که در مقیاس آزمایشگاهی در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کردستان انجام گردیده است. مراحل انجام تحقیق به شرح ذیل می‌باشد.

رنگزای مورد استفاده از گروه رنگ‌های آزو با نام تجاری Acid Red 18 ساخت شرکت الوان ثابت همدان می‌باشد، علت انتخاب این رنگ کاربرد زیاد آن در صنایع نساجی کشور می‌باشد. جهت تنظیم pH نیز از هیدروکسید سدیم (NaOH) و اسید هیدروکلریک (HCl) ۱ نرمال استفاده گردید. تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده ساخت شرکت Merck با گرید آزمایشگاهی و درجه خلوص بالا بود. به منظور تعیین مشخصات نانوذرات سنتز شده از پراش پرتو ایکس XRD, D<sub>8</sub> Advance, Bruker, (Germany) و برای تصویر میکروسکوپ الکترونی از (SEM, JOEL. Ltd., Tokyo, Japan) استفاده گردید. ساختار رنگ با فرمول شیمیایی  $C_{20}H_{11}N_2Na_3O_{10}S_3$  در شکل ۲ نشان داده شده است.

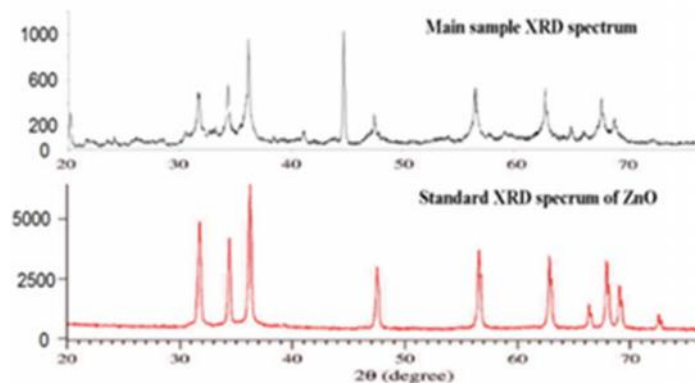


شکل ۳. توزیع اندازه نانوذرات اکسید روی



شکل ۴. SEM نانوذرات اکسید روی

تجزیه و تحلیل XRD برای تایید ساختار کریستالی و خصوص نانوذرات اکسید روی استفاده گردید. این نتایج نشان می‌دهد که ۹۹/۶٪ خالص و ۰/۴٪ ناخالصی مربوط به مس وجود دارد. مقایسه طیف XRD با طیف استاندارد اکسید روی که در شکل ۵ نشان داده شده است، مطابقت خوبی را نشان می‌دهد.



شکل ۵. طیف XRD نانوذرات سنتز شده و طیف استاندارد نانوذره اکسید روی

آمد و برای محاسبه میزان درصد حذف رنگ از رابطه ۱ استفاده گردید.

$$R\% = [C_0 - C_t / C_0] \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه:  $R\%$  = درصد حذف رنگ;  $C_0$  = غلظت رنگ در زمان صفر (mg/l);  $C_t$  = غلظت رنگ در زمان  $t$  (mg/l) می‌باشد.

### سنتز ZnO

مقدار ۶ گرم استات روی ( $ZnAc_2 \cdot 2H_2O$ ) به ۱۰۰ سی سی هیدروکسید سدیم (NaOH) اضافه و روی همزن قرار داده شد. در ادامه ۴۰ سی سی آب مقطر بدون یون، قطره قطره به آن افزوده شده و ۲۴ ساعت در همین حال باقی ماند. سپس محلول فوق سانتریفیوژ شده و چند بار با آب مقطر بدون یون شستشو شده و در دمای  $100^{\circ}C$  خشک گردید (۱۷). همچنین برای تایید نانوذرات ZnO تشکیل شده از طیف سنج پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده گردید و از میکروسکوپ الکترونی روبشی برای تعیین قطر منافذ و شکل نانوذرات اکسید روی استفاده گردید.

### مشخصات نانوذرات

اندازه سایز نانوذرات سنتز شده نشان داد که متوسط سایز ذرات ۸۸۸ نانومتر می‌باشد که در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین از میکروسکوپ الکترونی برای توصیف شکل و اندازه ذرات اکسید روی استفاده شد. در شکل ۴ نشان داده شده است که اندازه ذرات ۸۰۰ نانومتر تعیین شده، از این رو توزیع اندازه ذرات مناسب می‌باشد.

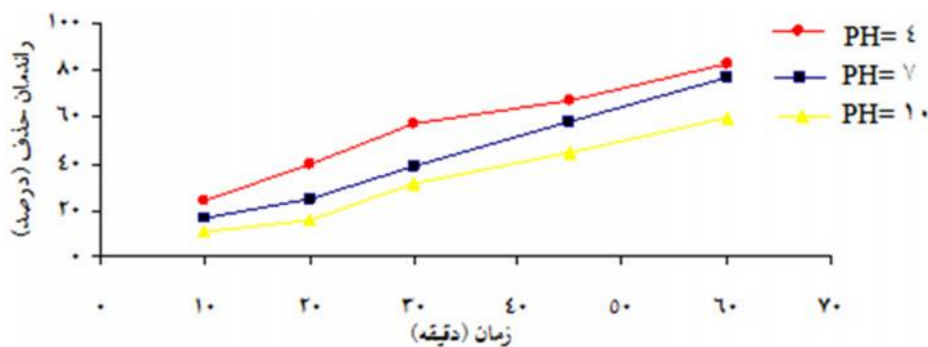
**یافته‌ها**

**تأثیر pH بر کارایی فرایند فتوکاتالیستی حذف رنگزای**

**اسیدی قرمز ۱۸**

از محلول استاندارد اولیه رنگی با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر، غلظت نانوذره اکسید روی ۱ گرم در لیتر، pH برابر ۴، ۷ و ۱۰ تهیه گردیده و در معرض نور

فرابنفش قرار داده شد و در زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه نمونه برداری و با اسپکتروفتومتر میزان جذب قرائت گردید، سپس راندمان حذف رنگ از منحنی استاندارد و رابطه ۱ مشخص شد. داده‌های حاصل در نمودار ۱ نشان داده شده‌اند.



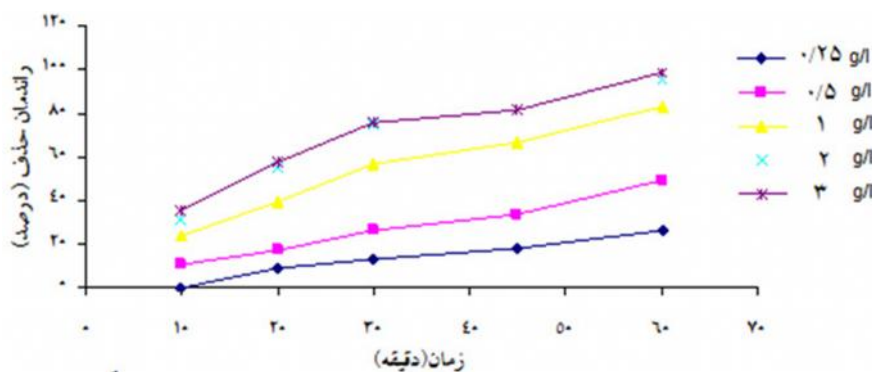
نمودار ۱. تأثیر pH بر کارایی فرایند فتوکاتالیستی در حذف رنگزای اسیدی قرمز ۱۸

زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه نمونه برداری و میزان جذب قرائت گردید. سپس راندمان حذف رنگ از منحنی استاندارد و رابطه ۱ مشخص شد که داده‌ها در نمودار ۲ نشان داده شده‌اند.

**تأثیر غلظت نانوذره بر کارایی فرایند فتوکاتالیستی**

**حذف رنگزای اسیدی قرمز ۱۸**

نمونه رنگزایی با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر، pH برابر ۴ و غلظت نانوذره ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲ و ۳ تهیه شده، در معرض نور فرابنفش قرار گرفت و در



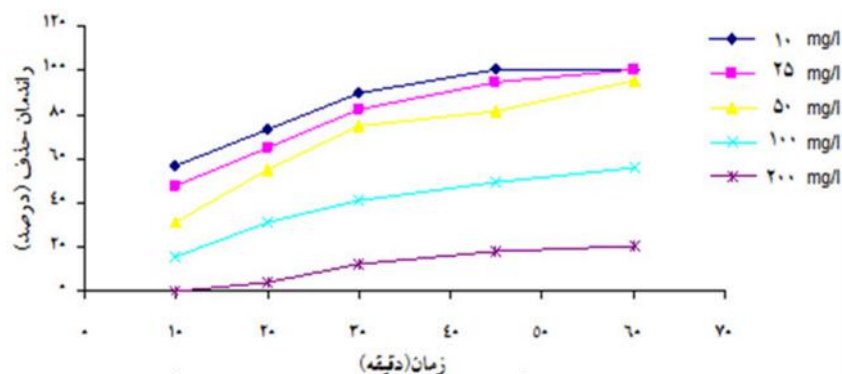
نمودار ۲. تأثیر غلظت نانوذره اکسید روی بر کارایی فرایند فتوکاتالیستی در حذف رنگزای اسیدی قرمز ۱۸

سپس راندمان حذف رنگ از منحنی استاندارد و رابطه ۱ مشخص شد که داده‌ها در نمودار ۳ نشان داده شده‌اند.

**تأثیر غلظت اولیه رنگزا بر کارایی فرایند**

**فتوکاتالیستی حذف رنگزای اسیدی قرمز ۱۸**

نمونه‌هایی از رنگزا با غلظت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر، pH برابر ۴ و غلظت نانوذره ۲ گرم در لیتر تهیه شده، در معرض نور فرابنفش قرار گرفت و در زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه نمونه برداری و میزان جذب قرائت گردید،



نمودار ۳. تاثیر غلظت اولیه رنگزا بر کارایی فرآیند فتوکاتالیستی در حذف رنگزای اسیدی قرمز ۱۸

### بحث

فرایندهای فتوکاتالیستی از جمله فرایندهای پاک و دوستدار محیط زیست می‌باشد که امروزه کاربرد آنها در در مقیاس وسیع مورد توجه قرار گرفته و در حال توسعه است. این فرایند با بهبود قابلیت تجزیه بیولوژیکی رنگ و آلاینده‌های مقاوم، کاهش انرژی و هزینه مواد مورد نیاز، عملکرد پایدار و مطلوب‌تر تصفیه بیولوژیکی و کاهش تولید لجن همراه است. وجود گروه‌های آکسوکروم در رنگ اسید قرمز ۱۸، مانند گروه‌های عامل هیدروکسیل، آمینو و نیترو بسته به مقدار pH خاصیت الکترون‌گاتیو خواهند داشت، بنابراین اثر pH در راندمان حذف با این خاصیت رنگ قابل توجیه می‌باشد. همانطور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، در شرایط اسیدی (pH= 4) راندمان حذف برابر ۸۳٪ است، در حالی که در شرایط قلیایی (pH=10) برابر ۵۹/۱٪ می‌باشد. دلیل افزایش کارایی حذف در pH اسیدی آن است که سطح نانوذرات اکسید روی دارای بار مثبت شده و باعث حذف بیشتر رنگ آنیونی اسید رد ۱۸ می‌شوند، همچنین تولید رادیکال هیدروکسیل و همانطور میزان تجزیه در محیط اسیدی بیشتر می‌شود، در نتیجه کارایی حذف افزایش می‌یابد. همچنین دلیل کاهش راندمان در محیط بازی را می‌توان به سطح نانوذرات اکسید روی نسبت داد که دارای بار منفی شده و

باعث کاهش تولید رادیکال هیدروکسیل و کاهش راندمان در محیط بازی می‌شود (۱۸، ۱۹). آزمایشات صورت گرفته با مقادیر مختلف نانوذرات نشان می‌داد که اثر فتوکاتالیستی با افزایش مقدار کاتالیست از ۰/۲۵ به ۳ گرم در لیتر افزایش می‌یابد. با افزایش میزان نانوذرات سطح فعال کاتالیست، مقدار رنگبری افزایش می‌یابد (۲۰). گونکالو و همکاران افزایش عملکرد کاتالیست در غلظت‌های بیشتر ناشی از حضور جایگاه‌های فعال بیشتر در سطح کاتالیست و امکان اثر بیشتر پرتوهای UV بر روی آن نسبت دادند (۲۱). همچنین از نتایج مشخص شده است که راندمان ۲ و ۳ گرم در لیتر نانوذرات اختلاف قابل توجهی در راندمان ندارند. پس افزایش مقدار نانوذرات تا حد مشخص رابطه مستقیمی با افزایش راندمان حذف رنگزا دارند و اگر از مقدار مشخصی بالاتر رود، تاثیری نخواهد داشت، بلکه ممکن است به دلیل مختل کردن مسیر نور با ذرات معلق باعث کاهش راندمان نیز گردد. یاداو<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۳ در مطالعه‌ای تحت عنوان تجزیه فتوکاتالیستی رنگزای متیل اورانژ با نانوذرات اکسید روی دوپ شده با کروم نتیجه مشابهی بدست آورد (۱۹). کارتال گزارش کرد با افزایش میزان کاتالیست، به علت افزایش کدورت در سوسپانسیون، کاهش در نفوذ

<sup>1</sup> Yadav

رادیکال‌های فعال هیدروکسیل و انجام واکنش‌ها می‌باشد و همچنین رادیکال‌های فعال هیدروکسیل فرصت کافی برای واکنش و حمله به مولکول رنگزا را دارند (۲۴).

### نتیجه گیری

به طور کلی pH محلول، غلظت نانوذره و غلظت اولیه رنگزا نقش مهمی را در راندمان فرایند مورد مطالعه ایفا می‌کنند. با افزایش مقدار نانوذرات به دلیل امکان دسترسی بیشتر مولکول‌های رنگزا به سطح آن، مقدار رنگبری افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت رنگزا مقدار رنگبری کاهش می‌یابد، زیرا نقاط در دسترس کمتر می‌شود. با توجه به نتایج مطلوب فرایند تجزیه فتوکاتالیستی رنگزای اسیدی قرمز ۱۸ با نانوذرات سنتز شده اکسید روی پیشنهاد می‌گردد که کارایی فرایند مورد نظر در حذف سایر رنگ‌ها و آلاینده‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرد، تا با تعیین دامنه عملکرد این فرایند قابلیت استفاده از آن برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی آلاینده‌های رنگی مختلف تعیین گردد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی ۹۳/۹۱ کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی کردستان بوده که با حمایت مالی این کمیته انجام شده است. همچنین از دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کردستان به منظور فراهم نمودن امکانات لازم کمال تشکر و قدردانی را می‌نماید.

پرتو UV رخ می‌دهد و می‌تواند باعث اثر فتوکاتالیست گردد (۲۲).

رابطه بین غلظت اولیه رنگزا و راندمان حذف در نمودار ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که درصد حذف با افزایش غلظت رنگ کاهش می‌یابد. در مطالعات مشابه نیز همین نتایج بدست آمده است. از جمله در تحقیق دارینی و همکاران که برای حذف رنگ اسید بلاک ۱ از محلول‌های آبی با استفاده از نانوذرات آهن با ظرفیت صفر انجام شد، در زمان تماس ۱۲۰ دقیقه، pH خنثی، غلظت جاذب ۱/۶ گرم در ۲۰۰ میلی لیتر و غلظت اولیه رنگزا از ۲۵ تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر مورد بررسی قرار گرفت که درصد حذف با افزایش اولیه غلظت رنگزا کاهش یافت. این امر نشان می‌دهد که راندمان حذف تا حد زیادی به غلظت اولیه رنگ بستگی دارد، با این حال در غلظت‌های بالا، نقاط در دسترس کمتر می‌شود و در نتیجه درصد جذب کمتر می‌شود و راندمان کاهش می‌یابد (۲۳). در کلیه مراحل آزمایش نشان داده شده است که با افزایش زمان تماس کارایی حذف رنگزا افزایش می‌یابد. نوری مطلق و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان بررسی کارایی فرایند فتوکاتالیستی نانوذرات اکسید روی بر روی رنگ متیلن بلو و حذف COD از فاضلاب سنتتیک نشان دادند که راندمان کاهش رنگ متیلن بلو و COD با افزایش زمان تماس، افزایش یافته است. بطوری که راندمان رنگبری و COD به ترتیب از ۶ به ۱/۸ درصد در زمان تماس ۵ دقیقه، به ۱۰۰ و ۸۲ درصد در ۱۳۰ دقیقه رسیده است. دلیل این امر احتمالاً افزایش زمان کافی برای تولید

### References

- 1- Masombaigi H, Rezaee A, Nasiri A. Photocatalytic degradation of Methylene Blue using ZnO nano-particles. Iranian Journal of Health and Environment. 2009;2(3):188-95.
- 2- Muthukumar M, Karuppiah MT, Raju GB. Electrochemical removal of CI Acid orange 10 from aqueous solutions. Separation and purification technology. 2007;55(2):198-205.
- 3- Shirmardi M, Mesdaghinia A, Mahvi AH, Nasserri S, Nabizadeh R. Kinetics and equilibrium studies on adsorption of acid red 18 (Azo-Dye) using multiwall carbon nanotubes (MWCNTs) from aqueous solution. Journal of Chemistry. 2012;9(4):2371-83.



- 4- Attar, H.M. and R. Rezaee, 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 . Journal of Water & Wastewater , 2006. 59: 75-86
- 5- Daneshvar N, Aber S, Vatanpour V, Rasoulifard MH. Electro-Fenton treatment of dye solution containing Orange II: Influence of operational parameters. Journal of Electroanalytical Chemistry. 2008;615(2):165-74
- 6- Lopes A, Martins S, Morao A, Magrinho M, Gonçalves I. Degradation of a textile dye CI Direct Red 80 by electrochemical processes. Portugaliae Electrochimica Acta. 2004;22:279-94.
- 7- Ollis DF, Pelizzetti E, Serpone N. Photocatalyzed destruction of water contaminants. Environmental Science & Technology. 1991;25(9):1522-9.
- 8- Tantak NP, Chaudhari S. Degradation of azo dyes by sequential Fenton's oxidation and aerobic biological treatment. Journal of Hazardous Materials. 2006;136(3):698-705.
- 9- Hassani A, Mirzayee R, Nasser S, Borghei M, Gholami M, Torabifar B. Nanofiltration process on dye removal from simulated textile wastewater. International Journal of Environmental Science & Technology. 2008;5(3):401-8.
- 10- Rezaee-Mofrad MR, Miranzadeh MB, Pourgholi M, Akbari H, Dehghani R. Evaluating the efficiency of advanced oxidation methods on dye removal from textile wastewater. Journal of Kashan University of Medical Sciences March, 2013; 17(1): 32-39
- 11- Gharbani P, Tabatabaie S, Mehrizad A. Removal of Congo red from textile wastewater by ozonation. International Journal of Environmental Science & Technology. 2008;5(4):495-50
- 12- Asadi A, Nateghi R, Naseri S, Mohammadian M, Mohammadi H, Bonyadinjad G.
- 13- Direct poly azo dye decolorization using nanophotocatalytic UV/NIO process. Journal of water and waste water 2012; 23(3): 78 - 84.
- 14- Joshi KM, Patil BN, Shirsath DS, Shrivastava VS. Photocatalytic removal of Ni (II) and Cu (II) by using different Semiconducting materials. Advances in Applied Science Research. 2011;2(3):445-54.
- 15- Jonidi Jafari A, Rezae Kalantari R, Gholami M, Esrafil A. Photocatalytic removal of aniline from synthetic wastewater using ZnO nanoparticle under ultraviolet irradiation. Iranian Journal of Health and Environment. 2012;5(2):167-78.
- 16- Chakrabarti S, Dutta BK. Photocatalytic degradation of model textile dyes in wastewater using ZnO as semiconductor catalyst. Journal of hazardous materials. 2004;112(3):269-78.
- 17- Jenkins-sh, Standardized methods of water examination. water research 1998: p. 41:531-546.
- 18- Kansal SK, Ali AH, Kapoor S. Photocatalytic decolorization of bieberich scarlet dye in aqueous phase using different nanophotocatalysts. Desalination. 2010;259(1):147-55.
- 19- Hosseinzadeh E ,Zare M, Torabi E, Rahimi S, Shokouhi R. Sodium alginate magnetic beads for removal of acid cyanine 5R from aqueous solution. Bimonthly Journal of Hormozgan University of Medical Sciences. 2012;16(2):101-11.
- 20- EhramPoosh M, M.G., Ghaneuyan M, Rahimi S, FallahZade H, Performance Comparison Of Batch And Tubular Reactors For The Removal Of Methylene Blue Dye From Synthetic Textile Wastewater Using Aphotocatalytic Process/ UV-C Tio<sub>2</sub>. Toloe BehdashtJournal Of Yazd SchoolHealth, 2010;7(3):41-51.
- 21- Eyasu A, Yadav O, Bachheti R. Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye using Cr-doped ZnS Nanoparticles under Visible Radiation. International Journal of ChemTech Research. 2013; 5(4): 1452-1461
- 22- 21.Goncalves MS, Oliveira-Campos AM, Pinto EM, Plasencia PM, Queiroz MJR. Photochemical treatment of solutions of azo dyes containing TiO<sub>2</sub>. Chemosphere. 1999;39(5):781-786.
- 23- Kuo W, Ho P. Solar photocatalytic decolorization of methylene blue in water. Chemosphere. 2001;45(1):77-83.
- 24- Dareini F, Amini MA, Zarei SH, Saghi MH. Removal of Acid Black 1 Dye from Aqueous Solution Using Nano-Iron Particles. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences. 2014 ; 20(5):782-790.
- 25- Noorimotlagh Z, Shams G, Godini H, Darvishi R. Study of ZnO nano particles photocatalytic process efficiency in decolorization of methylene blue and COD removal from synthetic wastewater. Yafteh. 2013; 14 (5) :51-61