



## ORIGINAL ARTICLE

Received: 2015/04/11

Accepted: 2015/05/23

# Optimization of Degradation the Basic blue 47 Dye Without the use of Oxidizing Agents by Ultrasound-Electrochemical Techniques and Central Composite Design

Atefeh-sadat Rezaei Tousi(M.Sc)<sup>1</sup>, Navid Nasirizadeh (Ph.D)<sup>2</sup>,  
 Mohammad Hassan Ehrampoush (Ph.D)<sup>3</sup>

1.M.SC Student Environmental Health Engineering School of Public Health, Yazd Shahid Sadoughi Univ Med Sci - Yazd.

2. Corresponding Author: Associate Professor, Department of Textile and Polymer Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Iran. Email: nasirizadeh@yahoo.com Tel: 09132504106

3. Professor, Department of Environmental Health, Engineering School of Public Health, Yazd Shahid Sadoughi Univ Med Sci - Yazd.

## Abstract

**Introduction:** One of the most important pollutant is dye compounds. Accordingly, numerous methods have already been proposed for removing these from industrial waste especially the textile industry. sono-electrochemical method is a new methods that has received a great deal of attention in recent years.

**Methods:** This experimental study was conducted in a batch laboratory scale. In this approach, using the Central Composite Design (CCD) statistical method, the interactive effects of four important variables of pH, the dye solution concentration, decolorization time, and potential were analyzed and investigated.

**Results:** Based on the conducted experiments and the results obtained in the absence of the hydrogen peroxide oxidant agent, the best conditions for decolorization in the optimal conditions of pH=9, dye concentration=303.3 μM, contact time of 93 min, and a potential of 0.81 V corresponding to the design by the software was 92.8% which was obtained experimentally as 92.34%. Chemical Oxygen Demand (COD) removal was mention according optimized conditions by the combination of ultrasound-electrochemical process 96 percentage in this study.

**Conclusion:** CCD was used as an effective method to measuring the concurrent effect of some important variables on BB47 dye removal. Based on the gained model. The predicted decolorization percentage by the model was 92.34 percentage in optimum conditions, where it was obtained as 92.34 percentage after the experimental test. The closeness of these responses indicated that suggested model is a good model.

**Keywords:** Sonoelectrochemical, Basic blue 47, CCD (Composite Central Design).

**Conflict of interest:** The authors declared that there is no Conflict interests.



## This Paper Should be Cited as:

Optimization of degradation the Basic blue 47 dye without the use of oxidizing agents by ultrasound-electrochemical techniques...  
 J Toloobehdasht Sci 2017; 16(2): 20-30.[Persian]



# استفاده از عوامل اکسنده با استفاده از تکنیک فراصوت-الکتروشیمی و روش آماری CCD

نویسندگان: عاطفه سادات رضایی طوسی<sup>۱</sup>، نوید نصیری زاده<sup>۲</sup>،

محمدحسن احرامپوش<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد  
۲. نویسنده مسئول: دانشیار دانشکده مهندسی نساجی و پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی یزد  
تلفن تماس: ۰۹۱۳۲۵۰۴۱۰۶ Email: nasirizadeh@yahoo.com  
۳. استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

## چکیده

**مقدمه:** یکی از آلاینده‌های مهمی که محیط زیست بشر را مورد تهدید قرار داده‌اند، ترکیبات رنگی می‌باشند. بر این اساس تاکنون روش‌های متعددی برای حذف این آلاینده‌ها از پساب صنایع به ویژه صنعت نساجی ارائه شده‌اند. یکی از این روش‌هایی که در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند، روش سونوالکتروشیمی به شمار می‌آید.

**روش بررسی:** این مطالعه از نوع بنیادی-کاربردی است، و جامعه آماری مورد بررسی شامل محلول‌های آبی سنتتیک از رنگزای بازیگ بلیو ۴۷ می‌باشد. در این کار با استفاده از روش آماری CCD اثرات متقابل چهار متغیر مهم pH محیط، غلظت محلول رنگی، مدت زمان فرآیند و پتانسیل در رنگبری از پساب ترکیب رنگی بازیگ بلیو ۴۷ (BB47) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته و نتایج حاصل بدون حضور عامل اکسنده هیدروژن پراکسید، بهترین شرایط برای رنگبری در شرایط بهینه (pH=۹، غلظت رنگ  $3.03/3 \mu\text{M}$ ، زمان تماس ۹۳min، پتانسیل ۰/۸۱۷) بدست آمد. از سوی دیگر مدل ارائه شده توسط نرم‌افزار با پیش‌بینی میزان رنگبری برابر ۹۲/۸٪ با آزمایش‌های تجربی مورد ارزیابی قرار گرفت که میزان رنگبری ۹۲/۳٪ به صورت تجربی مدل ارائه شده توسط نرم‌افزار را تایید می‌نماید. حذف COD با توجه به شرایط بهینه مذکور توسط فرآیند ترکیبی فراصوت-الکتروشیمی ۹۶٪ بوده است.

**نتیجه‌گیری:** CCD یک تکنیک خوب برای بررسی و مطالعه تاثیر همزمان متغیرهای مهم بر حذف رنگ BB47 مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس شرایط بهینه (pH=۹، غلظت رنگ  $3.03/3 \mu\text{M}$ ، زمان تماس ۹۳min، پتانسیل ۰/۸۱۷) توسط نرم‌افزار تعیین گردید. درصد رنگبری پیش‌بینی شده توسط مدل در این شرایط ۹۲/۸٪ بود که پس از انجام آزمایش مقدار تجربی ۹۲/۳٪ بدست آمد که نزدیکی پاسخ‌ها نشان دهنده‌ی مناسب بودن مدل می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** سونوالکتروشیمی، بازیگ بلیو ۴۷، طراحی مرکب مرکزی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می‌باشد.

## طلوع بهداشت

دو ماهنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال شانزدهم

شماره: دوم

خرداد و تیر ۱۳۹۶

شماره مسلسل: ۶۲

تاریخ وصول: ۱۳۹۴/۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۲



## مقدمه

فرآیندهای مختلفی برای رنگ‌زدایی فاضلاب صنایع نساجی مورد استفاده قرار گرفته است که می‌توان به فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اشاره کرد. این روشها به دلیل حضور ترکیبات فراوان مواد آلی مقاوم در پساب و مشکلات مرتبط با هزینه، بهره‌وری و تولید لجن دارای محدودیت هستند که می‌توان با استفاده از فرآیندهای اکسیداسیون این محدودیت‌ها غلبه کرد (۱۱-۱۳).

از جمله این روشها می‌توان به فناوری سونوالکتروشیمی به‌منظور تخریب و تصفیه رنگ به عنوان یکی از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته اشاره کرد. در این فرآیند به دلیل پدیده کاویتاسیون ناشی از ارتعاشات فراصوت داخل مایع در دما و فشار بالا، و مدت زمان کوتاه باعث آزاد شدن رادیکال هیدروکسیل و در نتیجه تخریب ترکیبات می‌گردد (۱۴، ۱۵). این تکنولوژی ترکیبی جذاب، به دلیل دارا بودن مزایایی از قبیل قابلیت تطبیق با محیط زیست، استفاده از انرژی پاک، بازیابی فلزات سنگین، تصفیه مواد زائد با سمیت خیلی بالا، عدم ایجاد آلودگی ثانویه در محیط زیست و مقرون به صرفه بودن هزینه‌ها امروزه بیش از سایر روشها مورد توجه محققین قرار گرفته است (۱۶، ۱۷). بنابراین تجزیه سونوالکتروشیمی آلاینده‌ها یکی از روش‌های امیدوارکننده برای تصفیه‌ی پساب‌های صنعتی بویژه فاضلاب صنایع نساجی می‌باشد (۱۸، ۱۹).

هدف از این مطالعه بررسی تعیین کارایی فرآیند سونوالکتروشیمی در تخریب ترکیب رنگی بازیگ بلیو ۴۷ (BB۴۷) از محیط‌های آبی بدون استفاده از هیدروژن پراکسید در این تحقیق، متغیرهای مستقل pH محلول رنگی، غلظت

صنایع نساجی در کشورهای در حال توسعه در حال گسترش هستند. یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان آب و از جمله تولیدکنندگان فاضلاب در میان صنایع، صنعت نساجی می‌باشد (۱، ۲). در میان مراحل مختلف در صنعت نساجی، فرآیند رنگ‌رزی حجم بالایی از آب را برای رنگ‌رزی، تعمیر و شستشو مورد استفاده قرار می‌دهند. فاضلاب صنایع نساجی حاصل از فرآیندهای رنگ‌رزی و تکمیلی می‌تواند یک تهدید جدی علیه محیط زیست باشد. این فاضلاب، با غلظت COD بیش از ۱۶۰۰ mg/L و غلظت زیاد رنگ در دسته فاضلاب‌های خیلی قوی طبقه‌بندی می‌شود (۳، ۴).

تقریباً یک میلیون تن رنگ در سراسر جهان در طول سال تولید می‌شود که رنگ‌های آزو و آنتراکینون ۶۵-۷۵ درصد کل رنگ‌های نساجی را تشکیل می‌دهند (۵). علاوه بر رنگ، این فاضلاب شامل مخلوط پیچیده‌ای از مواد آلاینده، از جمله فلزات سنگین، مواد افزودنی، مواد شوینده و سورفاکتانت‌ها هستند. انتقال همه این عوامل در فاضلاب صنایع نساجی، باعث سخت‌تر شدن فرآیند تصفیه می‌شود. تخلیه فاضلاب‌های رنگی به محیط‌های آبی به دلیل وجود رنگ و تجزیه ترکیبات سمی مانند بنزیدین، نفتالن و دیگر ترکیبات آروماتیک نامطلوب، باعث ایجاد خواص سرطان‌زایی و جهش‌زایی به شکل‌های مختلف می‌گردد (۶-۸). به دلیل داشتن ساختار پیچیده، منشا مصنوعی و طبیعت مقاوم رنگ‌های نساجی، حذف آنها از فاضلاب صنایع قبل از دفع به سیستم‌های هیدرولوژیکی ضرورت می‌یابد (۹، ۱۰).



جدول (۱) آزمون‌های رنگبری از محلول‌های رنگی بدون حضور اکسنده در شرایط مذکور ۴ بار تکرار و میانگین، میزان رنگبری با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$\text{تخریب رنگ (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

که  $C_0$  و  $C_t$  به ترتیب غلظت رنگ‌ها در زمان‌های واکنش 0 و  $t$  برحسب  $\text{mg/L}$  می‌باشد.

لازم به ذکر است که غلظت رنگ باقی‌مانده با استفاده از اندازه‌گیری مقدار جذب در طول موج بیشینه ( $\lambda_{\text{max}} = 617 \text{nm}$ ) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و نمودار درجه‌بندی محاسبه گردید.

تخریب مواد آلی توسط COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی Chemical Oxygen Demand) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقدار COD توسط دی‌کرومات پتاسیم با روش تقطیر برگشتی (رفلکس بسته) مشخص گردید. درصد حذف COD با استفاده از رابطه زیر در شرایط بهینه بدست آمده محاسبه شد.

$$100 \times \frac{COD_0 - COD_t}{COD_0} = \text{Percentage COD removal}$$

که  $COD_0$  و  $COD_t$  به ترتیب اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در مدت زمان  $t$  (اولیه) و  $t$  می‌باشد.

طراحی آزمایش: در راستای طراحی آزمایش و بهینه‌سازی شرایط تخریب رنگ با استفاده از سیستم سونوالکتروشیمی، تأثیر همزمان عوامل مختلفی همچون pH، غلظت محلول رنگ، زمان و پتانسیل اعمالی بر میزان رنگبری محلول رنگی BB47، به روش آماری CCD و با استفاده از نرم‌افزار Design Expert ۸/۰/۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. محدوده و سطوح متغیرها در جدول ۱ آورده شده است. هر یک از چهار عامل، در بر اساس مقدار آلفا برابر ۱۱ محاسبه شده است.

محلول رنگی، پتانسیل اعمال شده و مدت زمان رنگبری به روش CCD، مورد بهینه‌سازی قرار گرفت.

### روش بررسی

رنگ BB47 از شرکت سیبا تهیه شد و بدون هیچ خالص سازی مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات ساختار شیمیایی رنگزا در شماتیک (۱) ارائه شده است. وسایل به کار رفته در این مطالعه عبارتند از: دستگاه اسپکتروفتومتر مدل کری ۱۰۰ ساخت کشور ژاپن، دستگاه pH متر مدل ۸۷۶ ساخت شرکت مترام سوئیس، دستگاه گالوانواستات-پتانسیو استات مدل میکرو ساخت شرکت اتولب هلند، سل سه الکترودی شامل الکترودهای کربنی، پلاتین و کالومل ساخت شرکت آذر الکترو ایران، دستگاه فراصوت ساخت شرکت ایتالیا.

آزمایش‌های تخریب فراصوت-الکتروشیمی در یک سل الکترولیتی غیر مجزا ساخته شده از ورق پریکس انجام گرفت. الکتروود کار و الکتروود کمکی به طور عمودی و موازی با یکدیگر با فاصله  $2/5 \text{cm}$  در داخل سل قرار داده شدند. الکتروود کربنی به عنوان الکتروود کار (آند) و صفحه پلاتین به عنوان الکتروود کمکی (کاتد) و از کالومل به عنوان الکتروود مرجع استفاده گردید.

در هر آزمایش ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول BB47 با غلظت‌های مختلف اولیه تهیه شد. متغیرهای مختلف نظیر pH اولیه محلول، پتانسیل اعمال شده، مدت زمان رنگبری و غلظت محلول رنگی به طور همزمان با روش CCD مورد بهینه‌سازی قرار گرفتند. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار CCD، بر اساس چهار متغیر مذکور ۳۰ آزمون طراحی شد که داده‌های مربوط به آن در جدول (۱) آورده شده است. بر اساس شرایط موجود در



جدول ۱: متغیرها و دامنه مورد مطالعه آن‌ها

$\alpha$	دامنه مورد بررسی			متغیر
	+1	+	-1	
۱۱	۸/۷۵	۶/۵	۴/۲۵	pH
۱۰۰۰	۷۵۲/۵	۵۰۵	۲۷۵/۵	غلظت رنگزا ( $\mu\text{M}$ )
۱۲۰	۹۱/۲۵	۶۲/۵	۳۳/۷۵	زمان فرآیند (min)
۰/۹	۰/۷۱	۰/۵۲	۰/۳۳	ولتاژ اعمال شده (V)

جدول ۲: شرایط طراحی شده برای به دست آوردن شرایط بهینه با کمک روش CCD

شماره آزمون	pH	غلظت رنگزا ( $\mu\text{mol}$ )	زمان فرآیند (min)	ولتاژ اعمالی / V	درصد رنگبری %
۱	۴/۲۵	۷۵۲/۵	۹۱/۲۵	۰/۷۱۲۵	۴۲
۲	۸/۷۵	۷۵۲/۵	۹۱/۲۵	۰/۳۳۷۵	۴۶/۴۶
۳	۴/۲۵	۲۵۷/۵	۳۳/۷۵	۰/۷۱۲۵	۴۰
۴	۶/۵	۵۰۵	۶۲/۵	۰/۵۲۵	۵۸
۵	۶/۵	۵۰۵	۱۲۰	۰/۵۲۵	۶۲
۶	۸/۷۵	۲۵۷/۵	۹۱/۲۵	۰/۷۱۲۵	۶۳/۰۶
۷	۶/۵	۵۰۵	۶۲/۵	۰/۵۲۵	۵۴/۲
۸	۶/۵	۵۰۵	۶۲/۵	۰/۵۲۵	۵۳/۶
۹	۸/۷۵	۷۵۲/۵	۳۳/۷۵	۰/۳۳۷۵	۳۸/۹۹
۱۰	۶/۵	۵۰۵	۶۲/۵	۰/۹	۵۹/۵
۱۱	۶/۵	۱۰	۶۲/۵	۰/۵۲۵	۵۶/۹۲
۱۲	۴/۲۵	۷۵۲/۵	۹۱/۲۵	۰/۳۳۷۵	۴۰/۱۲
۱۳	۶/۵	۵۰۵	۶۲/۵	۰/۵۲۵	۵۲
۱۴	۸/۷۵	۲۵۷/۵	۳۳/۷۵	۰/۷۱۲۵	۵۱/۶
۱۵	۴/۲۵	۲۵۷/۵	۹۱/۲۵	۰/۳۳۷۵	۶۰
۱۶	۴/۲۵	۷۵۲/۵	۳۳/۷۵	۰/۷۱۲۵	۴۱/۹۳
۱۷	۸/۷۵	۷۵۲/۵	۳۳/۷۵	۰/۷۱۲۵	۴۰/۳۳
۱۸	۸/۷۵	۲۵۷/۵	۳۳/۷۵	۰/۳۳۷۵	۵۰/۳
۱۹	۴/۲۵	۲۵۷/۵	۳۳/۷۵	۰/۳۳۷۵	۳۸/۸
۲۰	۲	۵۰۵	۶۲/۵	۰/۵۲۵	۳۵/۲۱
۲۱	۶/۵	۵۰۵	۶۲/۵	۰/۵۲۵	۵۲/۶۵
۲۲	۶/۵	۵۰۵	۶۲/۵	۰/۱۵	۵۳/۱۴
۲۳	۸/۷۵	۲۵۷/۵	۹۱/۲۵	۰/۳۳۷۵	۵۳
۲۴	۴/۲۵	۷۵۲/۵	۳۳/۷۵	۰/۳۳۷۵	۳۲
۲۵	۸/۷۵	۷۵۲/۵	۹۱/۲۵	۰/۷۱۲۵	۵۹/۲
۲۶	۶/۵	۱۰۰۰	۶۲/۵	۰/۵۲۵	۵۴/۹۵
۲۷	۱۱	۵۰۵	۶۲/۵	۰/۵۲۵	۷۵
۲۸	۶/۵	۵۰۵	۶۲/۵	۰/۵۲۵	۵۱
۲۹	۴/۲۵	۲۵۷/۵	۹۱/۲۵	۰/۷۱۲۵	۷۳
۳۰	۶/۵	۵۰۵	۵	۰/۵۲۵	۲۰/۵



## یافته ها

Anova برای آزمایش معنی دار بودن و مناسب بودن مدل مورد نیاز است که در جدول ۳ آورده شده است. برای Anova مدل F-value کمتر از ۰.۰۰۰۱ دلالت بر معنی دار بودن دارد. مطابق با جدول ۲، F-VALUE مدل برابر با ۱۷/۵۸، نشان می دهد که مدل معنی دار است. قابلیت این مدل با استفاده از ضریب همبستگی ( $R^2=0.999$ ) آزمایش گردیده است که نشان می دهد که بیشتر از ۹۹/۹٪ از تغییر نمونه با مدل ارائه شده مطابقت و تنها ۰/۱٪ از کل انحراف دارد. مقدار کمتر از ضریب تغییرات ( $CV\%=7/81$ ) نشان می دهد که آزمایش ها دقیق و قابل اعتمادند. Adeq Precision نسبت سیگنال به نویز را اندازه گیری می کند. نسبت بزرگتر از ۱۹/۶۰۷ مطلوب است.

برای این طراحی و بر اساس چهار فاکتور، ۳۰ آزمایش طراحی گردید که در جدول ۱ شرایط هر آزمایش ذکر گردیده است. به منظور به حداقل رساندن متغیرهایی که به هر دلیل قابل کنترل نیستند، ترتیب آزمایش ها به صورت تصادفی انتخاب شد. در واقع برای رفع مشکل تداخل اثر عوامل مختلف بر روی یکدیگر و نیز کاهش زمان و هزینه لازم برای بهینه کردن شرایط برای حذف رنگزا، از روش طراحی مرکب مرکزی استفاده شد. به طور کلی هدف طراحی آزمایش این است که با کمترین تعداد آزمایش، متغیرهای مؤثر روی واکنش و بر هم کنش آن ها را مشخص نموده و از این طریق بهترین نتیجه برای دستیابی به بالاترین ضریب تاثیر را که مطابق با کارهای آماری می باشد، گزارش نماید (۲۰).

جدول ۳: نتایج حاصل از آنالیز Anova برای مدل ارائه شده

عامل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F مقدار	p-value Prob > F
مدل	۳۸۰۲/۶۴	۱۴	۲۷۱/۶۲	۱۷/۵۸	< ۰/۰۰۰۱
A-pH	۱/۱۳	۱	۱/۱۳	۰/۰۷۳	۰/۷۹۰۵
B- غلظت رنگزا	۱/۹۴	۱	۱/۹۴	۰/۱۳	۰/۷۲۸۰
C- زمان فرآیند	۸۶۱/۱۳	۱	۸۶۱/۱۳	۵۵/۷۳	< ۰/۰۰۰۱
D- ولتاژ اعمالی	۱۷۰/۶۷	۱	۱۷۰/۶۷	۱۱/۰۴	۰/۰۰۴۶
AB	۳۱/۹۲	۱	۳۱/۹۲	۲/۰۷	۰/۱۷۱۲
AC	۲۹/۵۹	۱	۲۹/۵۹	۱/۹۲	۰/۱۸۶۶
BC	۷۲/۰۰	۱	۷۲/۰۰	۴/۶۶	۰/۰۴۷۵
A <sup>2</sup>	۲/۲۳	۱	۲/۲۳	۰/۱۴	۰/۷۰۹۴
B <sup>2</sup>	۰/۱۶	۱	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۹۲۱۳
C <sup>2</sup>	۳۹۲/۸۹	۱	۳۹۲/۸۹	۲۵/۴۲	۰/۰۰۰۱
ABC	۲۱۰/۸۳	۱	۲۱۰/۸۳	۱۳/۶۴	۰/۰۰۲۲
A <sup>2</sup> B	۱۳۶/۷۶	۱	۱۳۶/۷۶	۸/۸۵	۰/۰۰۹۴
B <sup>2</sup> C	۸۲/۶۴	۱	۸۲/۶۴	۵/۳۵	۰/۰۳۵۴
A <sup>3</sup>	۳۱۹/۷۱	۱	۳۱۹/۷۱	۲۰/۶۹	۰/۰۰۰۴
باقیمانده	۲۳۱/۷۹	۱۵	۱۵/۴۵		
عدم تناسب	۲۰۱/۸۵	۱۰	۲۰/۱۹	۳/۳۷	۰/۰۹۶۰
خطای مطلق	۲۹/۹۴	۵	۵/۹۹		
Cor Total	۴۰۳۴/۴۳	۲۹			



است که با افزایش غلظت محلول رنگی تعداد مولکولهای رنگ افزایش یافته و در نتیجه مصرف رادیکالهای هیدروکسیل به وسیلهی مولکولهای رنگ بیشتر از تولید رادیکال آزاد می‌گردد. کاهش تعداد رادیکالهای آزاد به نسبت تعداد مولکولهای رنگ از کارایی سیستم، جهت تخریب رنگ می‌کاهد (۲۲).

شکل شماره‌ی (۱-ج) تاثیر هم‌زمان مدت زمان فرآیند رنگبری و اعمال پتانسیل‌های الکترودی مختلف بر میزان رنگبری در  $pH=6/5$  و غلظت رنگ  $505 \mu M$  را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان تماس از  $33/75 \text{ min}$  به  $91/25$  درصد رنگبری روند صعودی داشته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد هر چه قدر میزان اعمال پتانسیل در این روش افزایش یابد تعداد مولکولهای رنگ بیشتری در معرض عمل سونوالکتروشیمی و رادیکالهای آزاد حاصل از این روش قرار می‌گیرد در نتیجه، میزان تخریب مولکولهای رنگ در بازه‌ی زمانی اعمال شده افزایش می‌یابد. همچنین بر اساس نتایج حاصل با افزایش پتانسیل اعمالی میزان کارایی روش افزایش یافته و رنگبری روند صعودی داشته است.

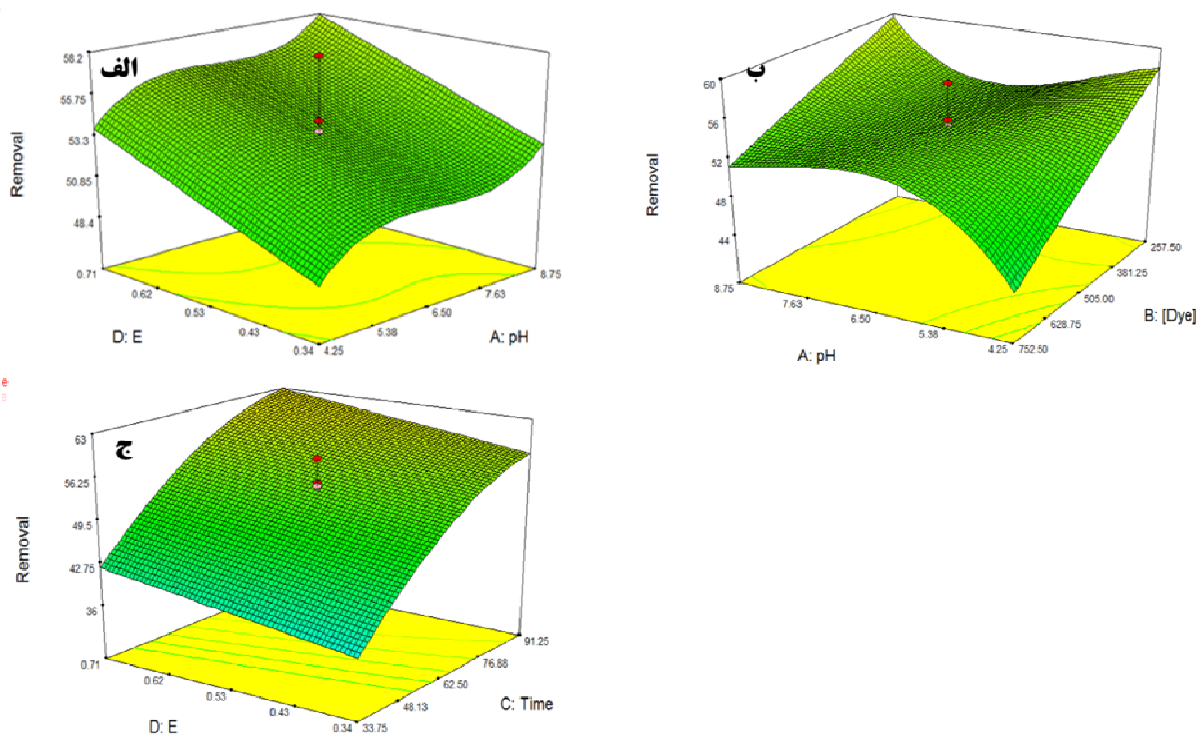
با توجه به شرایط بهینه پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار طراحی آزمون بر حذف COD رنگ بازیگ بلیو ۴۷ با تکنولوژی ترکیبی فراصوت-الکتروشیمی، میزان COD عامل رنگزا از  $100 \text{ mg/L}$  به  $4 \text{ mg/L}$  کاهش یافته است که این مقدار برابر با حذف ۹۶ درصدی COD می‌باشد.

بنابراین روش ترکیبی فوق، عامل موثری در کاهش و حذف مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی همواره مورد توجه قرار می‌گیرد.

شکل شماره‌ی ۱ (الف) نشان‌دهنده‌ی تاثیر هم‌زمان  $pH$  و پتانسیل‌های مختلف بر محلول رنگی با غلظت  $505 \mu M$  و زمان  $62/5 \text{ min}$  می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش  $pH$  از  $4/25$  تا  $7/7$ ، درصد رنگبری افزایش یافته و سپس با افزایش  $pH$  تا مقدار  $8/8$  به طور آرام روند صعودی داشته است. بر اساس نتایج حاصل می‌توان پیشنهاد نمود که با افزایش  $pH$  محلول رنگی رفته رفته بر غلظت گروه هیدروکسیل ( $OH^-$ ) افزوده می‌شود. در  $pH$ های قلیایی آنیون‌های اصلی  $OH^-$  است که با از دست دادن الکترون در سطح آند به رادیکالهای  $OH^-$  تبدیل می‌شود. از طرفی حضور امواج فراصوت باعث افزایش مهاجرت آنیون‌های هیدروکسیل به سمت آند می‌شود (۲۱). لذا با افزایش  $pH$  محلول به تعداد رادیکالهای هیدروکسیل به عنوان عامل اصلی در تخریب رنگ افزوده می‌شود.

همچنین این شکل نشان می‌دهد که با افزایش پتانسیل اعمالی از مقدار  $0/347$  به  $0/717$  میزان تخریب رنگ افزایش نشان داده است. همانطور که این شکل به خوبی نشان می‌دهد با افزایش پتانسیل اعمال شده میزان تخریب رنگ افزایش یافته است. این مشاهده به دلیل اعمال نیروی بیشتر در راستای تولید رادیکالهای هیدروکسیل فعال می‌باشد. در حقیقت با افزایش پتانسیل اعمال شده تعداد رادیکالهای آزاد افزایش یافته است.

شکل (۱-ب) تاثیر هم‌زمان متغیرهای غلظت رنگ و  $pH$  بر روی درصد رنگبری را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در زمان ثابت  $62/5 \text{ min}$  و پتانسیل  $0/537$  با افزایش  $pH$  از  $4/25$  به  $8/75$  درصد رنگبری افزایش یافته در حالی که با کاهش غلظت رنگ از  $752/5 \mu M$  به  $257/5 \mu M$  درصد رنگبری نیز روند صعودی دارد. بر اساس نتایج حاصل، بدیهی



شکل ۱: نمودار طرح سه بعدی تاثیر همزمان (الف) pH و پتانسیل‌های مختلف در غلظت ثابت رنگ  $5.05 \mu\text{M}$  و زمان تماس  $62/5 \text{ min}$ ، (ب) غلظت رنگ و pH در زمان  $62/5 \text{ min}$  و پتانسیل  $0/53 \text{ V}$  (ج) مدت زمان تماس و پتانسیل‌های مختلف در  $\text{pH}=6/5$  و غلظت رنگ  $5.05 \mu\text{M}$ .

( $\text{pH}=9$ )، غلظت رنگ  $3.03/3 \mu\text{M}$ ، زمان تماس  $93 \text{ min}$ ، پتانسیل  $(0/81 \text{ V})$  توسط نرم‌افزار تعیین گردید. نکته قابل توجه این که در روش طراحی شده‌ی حاضر بدون استفاده از هیچ عامل اکسنده‌ای که معمولاً باقی مانده‌ی آن‌ها از عوامل مخرب محیط زیست به شمار می‌آیند، رنگبری یک ترکیب رنگی با کارایی  $92/3\%$  صورت پذیرفت.

بر اساس مطالعه یان-زی رن و همکاران، حداکثر میزان تخریب سونوالکتروشیمیایی تریکلوزان در آب  $92\%$  بود که با نتایج حاصل شده از تحقیق مطابقت دارد (۲۴). بر اساس مطالعه یانگ و همکاران، حداکثر تخریب سونوالکتروشیمیایی رنگ متیلن بلو

## بحث و نتیجه‌گیری

CCD یک تکنیک خوب برای بررسی و مطالعه تاثیر همزمان متغیرهای مهم بر حذف رنگ BB47 مورد استفاده قرار گرفت (۲۳). بر اساس مدل بدست آمده هر یک از عوامل در گستره مجاز به نحوی تغییر داده شد که پاسخ بهینه که حداکثر مقدار رنگبری است بدست آید. براساس بررسی‌های به عمل آمده و مدل نمودن فرآیند، با افزایش pH محیط، افزایش پتانسیل اعمال شده، کاهش غلظت محلول رنگی و افزایش مدت زمان اعمال پتانسیل، فرآیند رنگبری با کارایی بالاتری صورت می‌پذیرد. در نهایت بهترین شرایط جهت انجام مناسب فرآیند رنگبری شامل





دانشجویی انجام شده است که بدینوسیله نویسندگان مقاله لازم می‌دانند از کسانی که در اجرای این پژوهش مساعدت نموده‌اند، تشکر و قدردانی نمایند.

### تضاد منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

با استفاده از نانوالکترودها ۹۲٪ می‌باشد که با نتایج حاصل شده این مطالعه مطابقت دارد (۲۵).

### تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد و با همکاری دانشگاه آزاد اسلامی یزد گروه مهندسی نساجی و پلیمر در قالب پایان نامه

### References

- 1- Eslami A, Moradi M, Ghanbari F, Mehdipour F, Decolorization and COD removal from real textile Waste water by chemical and electrochemical Fenton processes: a comparative study. *Journal of Environmental Health Sciences & Engineering* 2013; 11:31-40.
- 2- Chowdhury P, viraraghavan T, Sonochemical degradation of chlorinated organic compounds, phenolic compounds and organic dyes – A review, *Science of the total environment* 2009; 407: 2474-2492.
- 3- Souza FL, Saez C, Canizares P, Motheo AJ, and Rodrigo MA, Sonoelectrolysis of Wastewaters Polluted with Dimethyl Phthalate. *Industrial & Engineer Chemistry Research* 2013; 52: 9674–9682.
- 4- Yong B, Zuo J, Tang X, Liu F, Yu X, Tang X, Jiang H, Gan L, Effective ultrasound electrochemical degradation of methylene blue waste water using a nanocoated electrode. *Ultrasonics Sonochemistry* 2014; 21: 1310–1317.
- 5- Demim S, Drouiche N, Aouabed A, Benayad T, Couderchet M, Semsari S, Study of heavy metal removal from heavy metal mixture using the CCD method. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2013; 20:512-520.
- 6- Abid T, Malik SN, Hussain N, Siddiqe M, Mahmood Q, Hussain I, Mateen F, Ahmed Z and Farooq R, Electrolyte Assisted Sono Electrochemical Decomposition of Reactive Red 195, *Journal of the Chemical Society of Pakistan* 2013; 35(2): 378-385.
- 7- Yaqub A, Ajab H, Isa MH, Jusoh H, Junaid M and Farooq R, Effect of Ultrasound and Electrode Material on Electrochemical Treatment of Industrial Wastewater. *Journal of New Materials for Electrochemical Systems* 2012; 15: 289-292.
- 8- Phi NQ, Zhaonan S, Xiaomin H, Decolorization of Direct yellow R dye from aqueous solution by Aluminum anode electrochemical. *Advanced Materials Research* 2012; 581: 58-63.



- 9-Maleki A, Mahvi AH, Ebrahimi R, Zandsalimi Y, Study of photochemical and Sonochemical processes efficiency for degradation of dyes in aqueous solution. *Korean Journal of Chemical Engineering* 2010, 27(6):1805–1810.
- 10- Zhang F, Feng C, Li W, Cui J, Indirect Electrochemical Oxidation of Dye Wastewater Containing Acid Orange 7 Using Ti/RuO<sub>2</sub>-Pt Electrode. *International Journal of Electrochemical Science* 2014; 9: 943 – 954.
- 11-Abbasi M, Razzaghi Asl N, Sonochemical degradation of Basic Blue 41 dye assisted by nanoTiO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Journal of Hazardous Materials* 2008; 153: 942–947.
- 12- Raghu S, Ahmed Basha C, Chemical or electrochemical techniques, followed by ion exchange, for recycle of textile dye wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 2007; 149: 324–330.
- 13-Rivera M, Pazos M and Sanroman MA, Improvement of dye electrochemical treatment by combination with ultrasound technique. *Journal of Chemistry Technology and Biotechnology* 2009; 84: 1118–1124.
- 14-Martinez SS, Uribe EV. Enhanced Sonochemical Degradation of Azure B Dye by the Electrofenton Process. *Ultrasonics Sonochemistry* 2012; 19(1): 174–178.
- 15- Weng M, Zhou Z, Zhang Q, Electrochemical Degradation of Typical Dyeing Wastewater in Aqueous Solution: Performance and Mechanism. *International Journal of Electrochemical Science* 2013; 8:290-296.
- 16- ermentzis K, Valsamidou E, Chatzichristou C, Mitkidou S, Decolorization Treatment of Copper Phthalocyanine Textile Dye Wastewater by Electrochemical Methods. *Journal of Engineering Science and Technology Review* 2013; 6 (1): 33-37.
- 17- Siddique M, Farooq R, Mehmood Khan Z, Khan Z, Shaukat SF, Enhanced decomposition of reactive blue 19 dye in ultrasound assisted electrochemical reactor. *Ultrasonics Sonochemistry* 2011; 18: 190–196.
- 18-Yaqub A, Ajab H, Applications of sonoelectrochemistry in wastewater treatment system. *Review in Chemical Engineering* 2013; 29(2): 123–130.
- 20-Nasirizadeh N, Dehghanizadeh H, Yazdanshenas ME, Rohani Moghadam M, Karimi A, Optimization of wool dyeing with rutin as natural dye by central composite design method. *Industrial Crops and Products* 2012; 40: 361– 366.
- 21-Etemadifar A, Dehghani M, Jafari S, Nasirizadeh N, Investigation of Sonoelectrochemistry Process on Discoloration of Basic Yellow 28 in Presence of Titanium Dioxide Nanoparticles. *Journal of applied chemistry*, 2017; 42: 125-138. [Persian]



22-He Z, Song S, Zhou H, Ying H, Chen J. Reactive Black 5 decolorization by combined sonolysis and ozonation. *Ultrasonics Sonochemistry* 2007; 14: 298-304.

23-Duc DS, Response surface optimization for decolorization of Basic Blue 41 by Fenton's reagent. *International journal of Chemtech research* 2014; 6(7):3943-3948.

24-Ren YZ, Franke M, Anschuetz F, Ondruschka B, Ignaszak A, Braeutigam P, Sonoelectrochemical degradation of triclosan in water, *Ultrasonics Sonochemistry* 2014; 21 (6): 2020-2025.

25-Yang B, Zuo J, Tang X, Liu F, Yu X, Tang X, Jiang H, Gan L, Effective ultrasound electrochemical degradation of methylene blue wastewater using a nanocoated electrode. *Ultrasonics Sonochemistry* 2014; 21:1310-1317.