

# بهینه‌سازی جذب رنگ Reactive Blue 19 از محلول آبی به وسیله‌ی کربن فعال پسماند انار با استفاده از روش تاگوچی

الهام ردایی<sup>۱</sup>، محمدرضا علوی مقدم<sup>۲\*</sup>، مختار آرامی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- استاد، دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Alavi@aut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۰۳

**چکیده-** هدف از انجام این پژوهش، تعیین شرایط بهینه حذف رنگ Reactive Blue 19(RB19) به وسیله‌ی کربن فعال برپایه پسماند انار با استفاده از روش طراحی تاگوچی است. چهار عامل اصلی شامل pH (۳-۱۱)، غلظت جاذب (۰/۷۵-۱/۷۵ گرم بر لیتر)، غلظت اولیه رنگ (۱۰۰-۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و زمان تماس (۱-۹ دقیقه) به عنوان فاکتورهای موثر در راندمان حذف در نظر گرفته شدند که برای هر کدام ۵ سطح تعیین شد. بر اساس نتایج حاصل از این روش، بیشینه‌ی بازدهی حذف در pH غلظت جاذب، غلظت اولیه رنگ و زمان تماس به ترتیب برابر ۱۱، ۱/۷۵ گرم بر لیتر، ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۷ دقیقه به دست آمد. برای تعیین اثرگذاری هر عامل در حذف رنگ از آنالیز واریانس استفاده شد. بر این اساس، غلظت اولیه رنگ و زمان تماس به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را بر بازدهی حذف رنگ RB19 داشته‌اند. نتایج بدست آمده نشانگر عملکرد بالا و سریع کربن فعال حاصل از پسماند انار در حذف رنگ RB19 از محلول‌های آبی است.

**واژگان کلیدی:** جذب، تاگوچی، رنگ Reactive Blue 19، پسماند انار، آنالیز واریانس

## ۱- مقدمه

روش‌های مانند بیولوژیکی، غشایی، الکتروشیمیایی و انعقاد و لخته‌سازی استفاده می‌شود. از میان روش‌های متداول حذف رنگ، فرایند جذب سطحی به خاطر سادگی، بازدهی بالا و ارزان بودن، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۱]. بیشترین جاذب، به دلیل سطح ویژه بالا و گروه‌های عاملی سطحی آن، کربن فعال است. با توجه به گران بودن این جاذب، پژوهشگران برای ساخت آن از ضایعات کشاورزی مانند پوست بادام زمینی، پسماند زیتون، برگ

انواع رنگ‌زها در صنایع مختلفی مانند نساجی و چرم استفاده می‌شود که تخلیه مستقیم آنها به محیط زیست باعث آلودگی منابع آب و خاک می‌شود. بسیاری از این رنگ‌ها موجب خطراتی مانند سرطان‌زایی و جهش‌زایی در موجودات زنده می‌شوند، بنابراین، ضرورت تصفیه فاضلاب حاوی رنگ مورد توجه بسیاری از متخصصین قرار گرفته است. برای حذف رنگ‌زها از فاضلاب انواع

استفاده از طراحی تاگوچی است. در این خصوص آزمایش‌های لازم برای چهار فاکتور شامل pH، غلظت جاذب، غلظت اولیه رنگ و زمان تماس در ۵ سطح تعیین شد و با استفاده از آنالیز  $S/N^3$ ، ANOM<sup>۴</sup> و ANOVA<sup>۵</sup> شرایط بهینه و درصد اثرگذاری هر پارامتر مشخص شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش پسماند انار از کارخانه آبمیوه و رب‌سازی میخوش واقع در یزد جمع‌آوری و پس از خشک و خرد کردن از الک شماره ۳۰ عبور داده شد. برای کربنه کردن، نمونه‌های عبوری با نسبت ۱:۱ وزنی به مدت ۲۴ ساعت در اسید فسفریک ۵۰٪ قرار داده شدند. برای فعال‌سازی پس از سرریز نمودن اسید، نمونه به مدت ۱ ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. برای حذف اسید اضافه و رساندن pH به محدوده خنثی از آب مقطر گرم استفاده شد و عبوری الک ۱۰۰ در آزمایش‌ها به عنوان جاذب انتخاب شد [10].

رنگ Reactive Blue 19 (RB19) با فرمول مولکولی  $C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$  و موج بیشینه ۵۹۴ نانومتر، از شرکت الوان ثابت تهیه شد و ساختار شیمیایی این رنگ در شکل ۱ مشاهده می‌شود. اندازه‌گیری pH به وسیله دستگاه pH متر (340i (WTW-Germany) انجام شد و pH محلول‌های رنگی بوسیله محلول‌های 1M HCl و 1M NaOH تنظیم شد. آزمایش‌های جذب رنگ به وسیله جارست ساخت شرکت زاگ-شیمی ایران با سرعت ۱۵۰ rpm و در دمای محیط انجام شد. سپس نمونه‌ها از فیلتر با منافذ  $1/6\mu m$  (فیلتر فایبرگلس<sup>۶</sup>) ساخت آلمان عبور داده شده و میزان

کنگر و... استفاده کرده‌اند [۴-۲]. انار یکی از پرمصرف‌ترین میوه‌ها در کشورهای استوایی است؛ به گونه‌ای که، سالیانه یک و نیم میلیون تن انار در دنیا تولید می‌شود که ایران با تولید بیش از ۶۰۰ هزار تن اولین تولیدکننده این میوه پاییزه است. انار به صورت طبیعی، مربا، آبمیوه، رب و... مصرف می‌شود. ضایعات این میوه که شامل پوست و دانه آن است، برای ساخت کربن فعال به کار گرفته شده است [۶ و ۵].

در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مانند تاگوچی و رویه پاسخ<sup>۱</sup>، برای رسیدن به بهترین جواب، توجه پژوهشگران رشته‌های مختلف قرار گرفته است. با توجه به کاهش تعداد آزمایش‌ها در این روش‌ها نسبت به روش کلاسیک، هزینه آزمایش، زمان و آلودگی محیط زیست آنها کمتر خواهد شد. روش تاگوچی که به وسیلهی Genichi Taguchi در دهه ۱۹۵۰ شکل گرفته است، برای بهینه‌سازی فرایند جذب سطحی استفاده شده است [۹-۷]. Elizalde-González و همکارانش برای بهینه‌سازی حذف رنگ AO18<sup>۲</sup> به وسیلهی کربن با سطح ویژه کم از این روش استفاده کرده‌اند. در پژوهش این دو نفر دما (C ۱۰-۱۰)، سطح ویژه ( $67-143 m^2/g$ )، غلظت اولیه رنگ (۲۵۰-۱۵۰۰ mg/L)، pH (۲-۱۳) و غلظت جاذب (۱۰-۱۵۰ g/L) به عنوان پارامترهای موثر در ۴ سطح در نظر گرفته شدند. بهترین شرایط به دست آمده از آنالیز تاگوچی شامل دما (C ۱۰)، سطح ویژه ( $143 m^2/g$ )، غلظت اولیه رنگ (۵۰۰ mg/L)، pH (۲) و غلظت جاذب (۱۵۰ g/L) است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که pH و غلظت جاذب بیشترین و کمترین اثر را در حذف رنگ AO18 داشته‌اند [۷].

هدف این پژوهش تعیین شرایط بهینه حذف رنگ RB19 به وسیلهی کربن فعال تهیه شده از پسماند انار با

3- Signal to Noise Ratio  
4- Analysis of mean  
5- Analysis of Variance  
6- MS Glass Fiber Filter

1- Response Surface  
2- Acid Orange 18 (AO18)

فاکتور در سطحی معلوم محاسبه می‌شود. به طور مثال، میانگین نسبت S/N فاکتور I در سطح i از رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$(M)_{Factor=I}^{Level=i} = \frac{1}{n_{ii}} \sum_{j=1}^{n_{ii}} \left[ \left( \frac{S}{N} \right)_{Factor=I}^{Level=i} \right]_j \quad (3)$$

در رابطه (۳)،  $n_{ii}$  تعداد وجود شرط فاکتور I و سطح i در طرح آزمایش‌ها است که در اینجا برابر ۵ است و همچنین نسبت  $\left[ \left( \frac{S}{N} \right)_{Factor=I}^{Level=i} \right]_j$  مربوط به آزمایش‌ها با شرط فاکتور I و سطح i است. به همین ترتیب برای تمامی عوامل و سطوح میانگین این نسبت محاسبه می‌شود. سرانجام آزمایش با شرایط بهینه برای تأیید روش استفاده شده، انجام می‌شود. در این پژوهش برای بررسی اثر هر فاکتور در میزان حذف رنگ از آنالیز واریانس<sup>۱</sup> (ANOVA) استفاده شد. درصد اثرگذاری هر فاکتور از رابطه (۴) تعیین می‌شود:

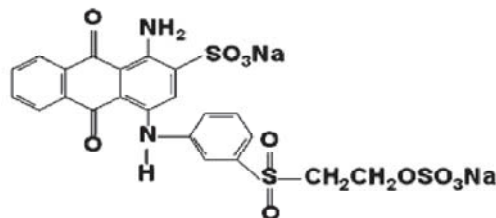
$$\rho_F = \frac{SS_F - (DOF_F V_{ER})}{SS_T} \times 100 \quad (4)$$

در این رابطه DOF درجه آزادی هر فاکتور (یک واحد کمتر از تعداد سطوح فاکتور مورد نظر که در این تحقیق برابر ۴ است) مجموع مربع‌های کل  $SS_T$  نیز از رابطه (۵) قابل محاسبه است:

$$SS_T = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) - mn(\bar{Y}_T)^2 \quad (5)$$

مقدار  $\bar{Y}_T$  از رابطه (۶) به دست می‌آید که در این رابطه m تعداد آزمایش‌ها است (در این پژوهش برابر ۲۵ است) و n تعداد تکرار آزمایش در شرایط یکسان است (در اینجا برابر ۳ است).

رنگ باقی‌مانده به وسیله ی نورسنج اسپکتروفوتومتر Hach/DR4000 UV-Vis اندازه‌گیری شد.



شکل (۱) ساختار شیمیایی رنگ RB19

### ۳- طراحی آزمایش و روش تاگوچی

در این مطالعه ۴ عامل با ۵ سطح برای هر کدام در نظر گرفته شد که مقادیر آنها در جدول ۱ مشاهده می‌شود. برای طراحی آزمایش تاگوچی با توجه به تعداد عامل و سطوح انتخاب شده از ماتریس L25 استفاده شد که شرایط آزمایش‌ها در جدول ۱ آورده شده است. برای ارزیابی نتایج آزمایشگاهی و دستیابی به پاسخ بهینه آنالیز، از نسبت سیگنال به نویز (S/N) استفاده شد. نحوه محاسبه این نسبت با توجه به اینکه هدف، چه نوع بهینه‌سازی باشد، متفاوت است. در این مطالعه با توجه به اینکه هدف، حذف رنگ RB19 می‌باشد، بیشینه‌سازی مطلوب است و در نتیجه رابطه (۱) را داریم:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (1)$$

$$Y = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

که در این رابطه n تعداد تکرار آزمایش با شرایط یکسان و Y نتیجه اندازه‌گیری شده است که در اینجا برابر بازدهی حذف رنگ (رابطه (۲)) است. در رابطه (۲)  $C_t$  و  $C_0$  به ترتیب غلظت اولیه رنگ و غلظت رنگ در زمان t است. در این پژوهش، برای تعیین شرایط بهینه، از آنالیز متوسط (ANOM) استفاده شده که در آن میانگین نسبت S/N هر

$\bar{Y}_k^F$  برابر میانگین مقدار نتایج اندازه‌گیری شده در فاکتور مورد نظر در سطح  $k$ ام است و واریانس خطا  $V_{ER}$  از رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$V_{ER} = \frac{SS_T - \sum_{F=A}^D SS_F}{m(n-1)} \quad (۸)$$

$$\bar{Y}_T = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^n Y_{ij} \right) / (mn) \quad (۶)$$

مجموع مربع‌های فاکتوریل  $SS_F$ ، از رابطه (۷) به دست آمده است:

$$SS_F = \frac{mn}{L} \sum_{k=1}^L (\bar{Y}_k^F - \bar{Y}_T)^2 \quad (۷)$$

جدول (۱) شرایط آزمایش‌های طراحی تاگوچی و نتایج به دست آمده برای هر آزمایش طراحی شده و مقادیر S/N مربوط به آن

S/N	۳۷	۲۷	۱۷	زمان تماس (min)	غلظت اولیه رنگ (mg/L)	غلظت جاذب (g/L)	pH	شماره آزمایش
۳۷/۰۵	۷۰/۹۸	۶۵/۶۸	۷۸/۶۴	۱	۱۰۰	۰/۷۵	۳	۱
۳۶/۸۰	۶۵/۸۵	۷۲/۶۵	۶۹/۵۵	۳	۲۰۰	۱		۲
۳۵/۸۳	۶۲/۱۳	۶۴/۴۷	۵۹/۳۱	۵	۳۰۰	۱/۲۵		۳
۳۶/۴۸	۷۰/۵۴	۶۲/۸۳	۶۷/۴۳	۷	۴۰۰	۱/۵		۴
۳۷/۳۷	۸۱/۱۳	۷۲/۴۵	۷۹/۱۸	۹	۵۰۰	۱/۷۵		۵
۳۵/۰۹	۵۹/۸۳	۵۷/۹۴	۵۳/۳۱	۵	۲۰۰	۰/۷۵	۵	۶
۳۶/۳۲	۷۰/۹۴	۶۰/۸۴	۶۵/۸۰	۷	۳۰۰	۱		۷
۳۵/۴۱	۶۷/۶۳	۵۲/۸۳	۵۹/۱۵	۹	۴۰۰	۱/۲۵		۸
۳۳/۶۸	۴۹/۳۲	۴۰/۹۳	۵۹/۹۵	۱	۵۰۰	۱/۵		۹
۳۹/۶۵	۹۸/۴۶	۹۲/۷۴	۹۷/۲۲	۳	۱۰۰	۱/۷۵		۱۰
۳۲/۹۷	۳۷/۹۳	۵۰/۹۳	۱۰/۴۸	۹	۳۰۰	۰/۷۵	۷	۱۱
۳۱/۱۳	۳۶/۴۲	۳۰/۹۸	۴۳/۹۶	۱	۴۰۰	۱		۱۲
۳۲/۳۵	۳۷/۳۲	۴۰/۸۴	۴۸/۳۳	۳	۵۰۰	۱/۲۵		۱۳
۳۹/۷۴	۹۶/۹۴	۹۵/۸۴	۹۸/۴۷	۵	۱۰۰	۱/۵		۱۴
۳۹/۳۳	۸۹/۹۵	۹۵/۶۲	۹۷/۲۷	۷	۲۰۰	۱/۷۵		۱۵
۲۹/۹۰	۲۷/۸۵	۳۰/۶۴	۳۷/۴۳	۳	۴۰۰	۰/۷۵	۹	۱۶
۳۱/۳۴	۳۵/۸۵	۳۳/۶۳	۴۳/۰۳	۵	۵۰۰	۱		۱۷
۳۹/۴۴	۹۴/۴۳	۹۰/۴۵	۹۶/۶۹	۷	۱۰۰	۱/۲۵		۱۸
۳۹/۶۰	۹۸/۵۴	۹۴/۴۳	۹۳/۹۵	۹	۲۰۰	۱/۵		۱۹
۳۷/۴۰	۷۹/۳۷	۷۰/۵۴	۷۳/۳۹	۱	۳۰۰	۱/۷۵		۲۰
۳۴/۱۶	۵۰/۶۴	۴۴/۷۶	۶۱/۸۴	۷	۵۰۰	۰/۷۵	۱۱	۲۱
۳۹/۶۰	۹۸/۶۵	۹۵/۴۳	۹۲/۸۱	۹	۱۰۰	۱		۲۲
۳۹/۱۴	۸۵/۷۵	۹۲/۲۴	۹۴/۵۵	۱	۲۰۰	۱/۲۵		۲۳
۳۹/۶۱	۹۸/۵۳	۹۲/۸۱	۹۵/۸۵	۳	۳۰۰	۱/۵		۲۴
۳۹/۵۵	۹۸/۶۳	۹۲/۵۴	۹۳/۹۸	۵	۴۰۰	۱/۷۵		۲۵

جدول (۲) نتایج آنالیز ANOM برای تعیین شرایط بهینه

M	j=۵	j=۴	j=۳	j=۲	j=۱	فاکتور/سطح
۳۶/۷۱	۳۷/۳۷	۳۶/۴۸	۳۵/۸۳	۳۶/۸۰	۳۷/۰۵	۱/pH
۳۶/۰۳	۳۹/۶۵	۳۳/۶۸	۳۵/۴۱	۳۶/۳۲	۳۵/۰۹	۲/pH
۳۵/۱۰	۳۹/۳۳	۳۹/۷۴	۳۲/۳۵	۳۱/۱۳	۳۲/۹۷	۳/pH
۳۵/۵۴	۳۷/۴۰	۳۹/۶۰	۳۹/۴۴	۳۱/۳۴	۲۹/۹۰	۴/pH
۳۸/۴۱	۳۹/۵۵	۳۹/۶۱	۳۹/۱۴	۳۹/۶۰	۳۴/۱۶	۵/pH
۳۳/۸۴	۳۴/۱۶	۲۹/۹۰	۳۲/۹۷	۳۵/۰۹	۳۷/۰۵	غلظت جاذب/۱
۳۵/۰۴	۳۹/۶۰	۳۱/۳۴	۳۱/۱۳	۳۶/۳۲	۳۶/۸۰	غلظت جاذب/۲
۳۶/۴۴	۳۹/۱۴	۳۹/۴۴	۳۲/۳۵	۳۵/۴۱	۳۵/۸۳	غلظت جاذب/۳
۳۷/۸۲	۳۹/۶۱	۳۹/۶۰	۳۹/۷۴	۳۳/۶۸	۳۶/۴۸	غلظت جاذب/۴
۳۸/۶۶	۳۹/۵۵	۳۷/۴۰	۳۹/۳۳	۳۹/۶۵	۳۷/۳۷	غلظت جاذب/۵
۳۹/۱۰	۳۹/۶۰	۳۹/۴۴	۳۹/۷۴	۳۹/۶۵	۳۷/۰۵	غلظت اولیه رنگ/۱
۳۷/۹۹	۳۹/۱۴	۳۹/۶۰	۳۹/۳۳	۳۵/۰۹	۳۶/۸۰	غلظت اولیه رنگ/۲
۳۶/۴۳	۳۹/۶۱	۳۷/۴۰	۳۲/۹۷	۳۶/۳۲	۳۵/۸۳	غلظت اولیه رنگ/۳
۳۴/۵۰	۳۹/۵۵	۲۹/۹۰	۳۱/۱۳	۳۵/۴۱	۳۶/۴۸	غلظت اولیه رنگ/۴
۳۳/۷۸	۳۴/۱۶	۳۱/۳۴	۳۲/۳۵	۳۳/۶۸	۳۷/۳۷	غلظت اولیه رنگ/۵
۳۵/۶۸	۳۹/۱۴	۳۷/۴۰	۳۱/۱۳	۳۳/۶۸	۳۷/۰۵	زمان تماس/۱
۳۵/۶۶	۳۹/۶۱	۲۹/۹۰	۳۲/۳۵	۳۹/۶۴	۳۶/۸۰	زمان تماس/۲
۳۱/۳۶	۳۹/۵۵	۳۱/۳۴	۳۹/۷۴	۳۵/۰۹	۳۵/۸۳	زمان تماس/۳
۳۷/۱۵	۳۴/۱۶	۳۹/۴۴	۳۹/۳۳	۳۶/۳۲	۳۶/۴۸	زمان تماس/۴
۳۶/۹۹	۳۹/۶۰	۳۹/۶۰	۳۲/۹۷	۳۵/۴۱	۳۷/۳۷	زمان تماس/۵

جدول (۳) نتایج بدست آمده برای آزمایش ۱۴ و حالت بیشینه و مقادیر S/N مربوط به آن

S/N	۳۷	۲۷	۱۷	زمان تماس (min)	غلظت اولیه رنگ (mg/L)	غلظت جاذب (g/L)	pH	
۳۹/۷۴	۹۶/۹۴	۹۵/۸۴	۹۸/۴۷	۵	۱۰۰	۱/۵	۷	آزمایش ۱۴
۳۹/۷۷	۹۷/۷۴	۹۵/۴۵	۹۸/۹۴	۷	۱۰۰	۱/۷۵	۱۱	حالت بهینه

## ۴- نتایج و بحث

### ۴-۱- بهینه‌سازی و درصد اثرگذاری پارامترها

در جدول ۱ نتایج به دست آمده و مقادیر S/N مربوط به هر کدام از آزمایش‌های مربوط نشان داده شده است. بیشترین و کمترین مقدار S/N در بین ۲۵ آزمایش طراحی شده، به ترتیب مربوط به آزمایش ۱۴ و ۱۶ است که آزمایش ۱۴

باید با حالت بهینه مقایسه شود. در جدول ۲ مقادیر آنالیز متوسط برای تعیین شرایط بهینه مشاهده می‌شود. بیشترین مقادیر M برای هر عامل نشان دهنده حالت بهینه آن عامل است. مطابق این جدول، حالت بهینه در pH سطح ۵ (pH=۱۱)، غلظت جاذب سطح ۵ (غلظت جاذب=۱/۷۵ گرم بر لیتر)، غلظت اولیه رنگ سطح ۱ (غلظت رنگ=۱۰۰

بیشترین و کمترین مقدار S/N به ترتیب در pH ۱۱ و ۷ است.

جدول (۴) مجموع مربعات فاکتوریل SS<sub>F</sub> و درصد اثر گذاری هر

فاکتور  $\rho_f$

فاکتور	SS <sub>F</sub>	$\rho_f$
A (pH)	۵۰۱۰	۱۳/۶۱
B (غلظت جاذب)	۱۲۱۱۹	۳۳/۳۲
C (غلظت اولیه رنگ)	۱۹۱۰۱	۵۲/۶۷
D (زمان تماس)	۱۰۷۸	۲/۷۲

با توجه به اینکه رنگ RB19 آنیونی (دارای بار منفی) است، هنگامی که جاذب بار مثبت (محیط اسیدی) و یا بار منفی زیاد (محیط قلیایی زیاد) داشته باشد، بیشترین راندمان جذب به دست می‌آید. البته همانگونه که در این شکل مشخص است، میزان تغییرات نسبت به pH زیاد نیست و این به دلیل وجود حفره‌های زیاد بر روی سطح جاذب است که تأثیر pH در راندمان جذب را کاهش می‌دهد.

**غلظت جاذب:** تأثیر میزان جاذب بر نسبت S/N در شکل ۱-ب مشاهده می‌شود. با افزایش غلظت جاذب این نسبت افزایش یافته است و تغییر در S/N نسبت به میزان اندک افزایش در غلظت جاذب چشمگیر است. دلیل این روند، افزایش حفره‌ها برای حذف رنگ با افزایش میزان جاذب است [۱۱] که با نتایج دیگر پژوهشگران متناسب است [۱۲].

**غلظت اولیه رنگ:** شکل ۱-ج، روند تغییرات نسبت S/N بر حسب غلظت‌های مختلف اولیه رنگ را نشان می‌دهد. براساس این شکل، با افزایش غلظت اولیه رنگ، نسبت S/N کاهش پیدا می‌کند که دلیل این روند پرشدن منافذ جاذب با افزایش آلاینده است. نتایج مشابه در پژوهش دیگر پژوهشگران مشاهده شده است [۱۳ و ۱۴].

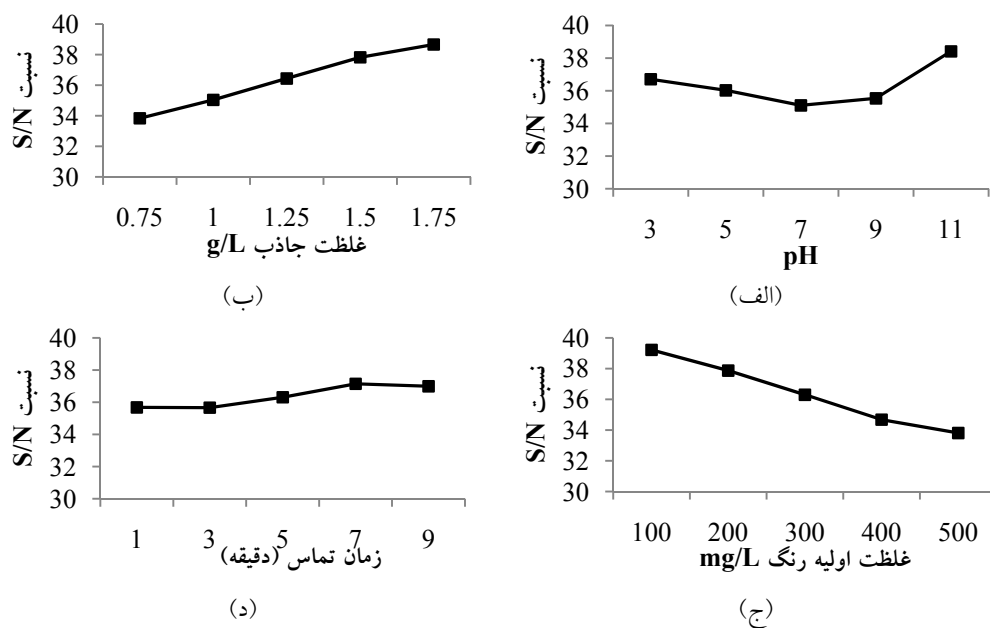
میلی گرم بر لیتر) و زمان تماس سطح ۴ (زمان تماس=۷ دقیقه) قرار دارد. آزمایش طبق این شرایط ۳ بار انجام شد و نتایج حاصل از آن در جدول ۳ آورده شده است. همانگونه که در این جدول مشاهده می‌شود شرایط بهینه حاصل از آنالیز تاکوچی دارای S/N بیشتر است. ولی دارای اختلاف زیادی نیست، زیرا برای حذف رنگ با غلظت ۱۰۰ میلی-گرم بر لیتر، جاذب به میزان ۱/۵ گرم بر لیتر به اشباع رسیده است و مقدار بیش از این، اثر اندکی در افزایش راندمان دارد.

در جدول ۴ مقادیر مجموع مربع‌های فاکتوریل و درصد اثر گذاری هر فاکتور آورده شده است. مطابق نتایج این آنالیز غلظت اولیه رنگ با ۵۲/۶۷٪ بیشترین اثر و زمان تماس با ۲/۷۲٪ کمترین اثر را در راندمان حذف رنگ RB19 داشته‌اند. همچنین، میزان اثرگذاری غلظت جاذب و pH نیز به ترتیب ۳۳/۳۲٪ و ۱۳/۶۱٪ است.

همانگونه که در نتایج آزمایش‌ها در جدول ۱ مشخص است (به طور مثال آزمایش ۲۳)، راندمان حذف در مدت زمان ۱ دقیقه بالا است و این نشان دهنده حذف سریع عملکرد سریع کربن فعال است. بنابراین این پارامتر کمترین اثر را در حذف داشته است و با افزایش آن درصد کمی نتیجه افزایش می‌یابد. جذب کربن فعال بر اساس حفره‌های آن است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت جذب سریع و بالای آن به دلیل وجود این حفره‌ها است و ابتدا حفره‌های جاذب پر می‌شود و سپس جذب یونی (اثر بار مثبت و منفی) صورت می‌گیرد. بنابراین انتظار می‌رود اثر غلظت جاذب از pH در راندمان حذف بیشتر باشد که نتایج تاکوچی نیز این ادعا را ثابت کرده است.

#### ۴-۲- اثر فاکتورهای مؤثر در جذب سطحی

pH: همانگونه که در شکل ۱-الف مشاهده می‌شود،



شکل (۱) تغییرات عوامل موثر در نسبت S/N

آبمیوه انجام شد. برای تعیین شرایط بهینه حذف و درصد اثرگذاری پارامترهایی همچون pH، غلظت جاذب، غلظت رنگ اولیه و زمان تماس از روش تاگوچی استفاده شد. طبق آنالیز S/N و ANOM، pH در سطح ۵ (pH=۱۱)، غلظت جاذب سطح ۵ (غلظت جاذب = ۱/۷۵ گرم بر لیتر)، غلظت اولیه رنگ سطح ۱ (غلظت رنگ = ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و زمان تماس سطح ۴ (زمان تماس = ۷ دقیقه) حالت بهینه است. زمان تماس کوتاه، غلظت جاذب کم و pH قلیایی حالت بهینه نشان دهنده مناسب بودن این جاذب جهت حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ است. طبق آنالیز ANOVA نیز به ترتیب pH = ۱۳/۶۱٪، غلظت جاذب = ۳۳/۳۲٪، غلظت رنگ اولیه = ۵۲/۶۷٪ و زمان تماس با ۲/۷۲٪ اثر را در راندمان حذف رنگ RB19 داشته‌اند.

## ۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی امیرکبیر به دلیل حمایت از این پژوهش تشکر و قدردانی

زمان تماس: روند تغییرات نسبت S/N برحسب مدت زمان تماس در شکل ۱-د مشاهده می‌شود. مطابق این شکل با گذشت زمان این نسبت افزایش یافته و بعد از ۷ دقیقه ثابت می‌ماند که بیانگر پُر شدن سطح جاذب بوده که با افزایش زمان حذف بیشتری را موجب نمی‌شود. مانند این روند در پژوهش دیگران مشاهده شده است [۱۵ و ۱۶]. تغییرات S/N نسبت به زمان زیاد نبوده به همین دلیل درصد اثرگذاری این پارامتر در حذف ناچیز بوده است (۲/۷۲٪). همانگونه که مشاهده شود، اختلاف S/N در زمان ۱ و ۷ دقیقه ناچیز است، که نشانگر جذب سریع و زیاد در دقایق اولیه است. دلیل این امر وجود ساختار حفره‌ای میکرو و ماکرو در سطح کربن فعال است [۱۷].

## ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای حذف رنگ RB19 از کربن فعال پسماند انار استفاده شد. فعال‌سازی شیمیایی (فسفریک اسید) برای ساخت کربن فعال از پسماند انار کارخانه

[8] Engin, A. B., Ozdemir, O., Turan, M., Turan, A. Z. "Color removal from textile dye bath effluents in a zeolite fixed bed reactor: determination of optimum process conditions using Taguchi method". *Journal of Hazardous Materials*, 159(2-3), (2008), 348-53.

[۹] بدیعی، خ.، یوسفی لیمائی، ن.، تهرانی بقاء، ع.، شفافائی تنکابنی، س. ض.، "به کارگیری روش طراحی آزمایش تاگوچی برای بهینه‌سازی شرایط رنگبری از پساب‌های نساجی با استفاده از جاذب طبیعی پوست پرتقال"، *نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران*، (۱۳۸۳).

[10] Lopez-ramon, M. V., Moreno-castilla, C., Carrasco-marín, F., Alvarez-merino, M. A. "Chemical and physical activation of olive-mill waste water to produce activated carbons". *Carbon*, 39, (2001), 1415-1420.

[11] Tabak, a, Eren, E., Afsin, B., Caglar, B. "Determination of adsorptive properties of a Turkish Sepiolite for removal of Reactive Blue 15 anionic dye from aqueous solutions". *Journal of hazardous materials*, 161(2-3), (2009), 1087-1094.

[12] Wu, X., Hui, K. N., Hui, K. S., Lee, S. K., Zhou, W., Chen, R., Hwang, D. H., et al. "Adsorption of basic yellow 87 from aqueous solution onto two different mesoporous adsorbents". *Chemical Engineering Journal*, 180, (2012), 91-98.

[13] Azizi, A., AlaviMoghaddam, M. R., Arami, M. "Wood Waste from Mazandaran Wood and the Paper Industry as a Low Cost Adsorbent for Removal of a Reactive Dye", *Journal of Residuals Science and Technology*, 8(1), (2011), 21-28.

[14] Kannan, C., Buvanewari, N., & Palvannan, T. "Removal of plant poisoning dyes by adsorption on Tomato Plant Root and green carbon from aqueous solution and its recovery". *Desalination*, 249(3), (2009), 1132-1138.

[15] Khaled, A., Nembr, A. E., Sikaily, A. E., & Abdelwahab, O. "Removal of Direct N Blue-106 from artificial textile dye effluent using activated carbon from orange peel: Adsorption isotherm and kinetic studies", *Journal of Hazardous Materials*, 165, (2009), 100-110.

می‌کنند. و از زحمات سرکارخانم عزالدین‌لو کارشناس محترم آزمایشگاه محیط زیست و شیمی مصالح دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر، کمال تقدیر و تشکر را به عمل می‌آید.

## ۷- منابع

[1] Meshko, V., Markovska, L., Mincheva, M., Rodrigues, A.E. "Adsorption of basic dyes on granular activated carbon and natural zeolite". *Water Research*, 35(14), (2001), 3357-3366.

[2] Zhong, Z., Yang, Q., Li, X., Luo, K., Liu, Y., Zeng, G. "Preparation of peanut hull-based activated carbon by microwave-induced phosphoric acid activation and its application in Remazol Brilliant Blue R adsorption". *Industrial Crops and Products*, 37(1), (2012), 178-185.

[3] Lopez-ramon, M. V., Moreno-castilla, C., Carrasco-marín, F., Alvarez-merino, M. A. "Chemical and physical activation of olive-mill waste water to produce activated carbons", *Carbon*, 39, (2001), 1415-1420.

[4] Benadjemia, M., Millière, L., Reinert, L., Benderdouche, N., Duclaux, L. "Preparation, characterization and Methylene Blue adsorption of phosphoric acid activated carbons from globe artichoke leaves". *Fuel Processing Technology*, 92(6), (2011), 1203-1212.

[5] Uçar, S., Erdem, M., Tay, T., & Karagöz, S. "Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by ZnCl<sub>2</sub> activation". *Applied Surface Science*, 255(21), (2009), 8890-8896.

[6] Amin, N. K. "Removal of direct blue-106 dye from aqueous solution using new activated carbons developed from pomegranate peel: adsorption equilibrium and kinetics". *Journal of Hazardous Materials*, 165(1-3), (2009), 52-62.

[7] Elizalde-González, M. P., García-Díaz, L. E. "Application of a Taguchi L16 orthogonal array for optimizing the removal of Acid Orange 8 using carbon with a low specific surface area". *Chemical Engineering Journal*, 163(1-2), (2010), 55-61.



[17] Dinçer, A. R., Güneş, Y., Karakaya, N. and Güneş, E., “Comparison of activated carbon and bottom ash for removal of reactive dye from aqueous solution”, *Bioresource Technology*, 98(4), (2007), 834–9.

[16] Demirbas, A., “Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review”, *Journal of Hazardous Materials*, 167, (2009), 1-9.

«Research Note»

## Optimization of Reactive Blue 19 adsorption from aqueous solution by pomegranate residual-based activated carbon using Taguchi method

E. Radaei<sup>1</sup>, M.R. Alavi Moghaddam<sup>2\*</sup>, M. Arami<sup>3</sup>

1- M.Sc. of Environment Eng., Faculty of Civil and Environmental Eng., Amirkabir University of Technology

2- Associate Prof., Faculty of Civil and Environmental Eng., Amirkabir University of Technology

3- Prof., Faculty of Textile Eng., Amirkabir University of Technology

Alavi@aut.ac.ir

### Abstract:

Dyes are being extensively used in textile, dyeing and leather industries and usually have a synthetic origin and complex chemical structure that may be mutagenic and carcinogenic. Among various processes of dye removal from wastewater, adsorption is considered to be the most efficient process. Activated carbon is the most widely used adsorbent with great success because of its high adsorption capacity, but its use is limited due to its high-cost, has led to a search for cheaper substitutes.

Optimization methods, such as the Taguchi method has been generally adopted to optimize the design parameters, because this systematic approach can significantly minimize the overall testing and the experimental costs. In this study; the optimum condition of Reactive Blue 19(RB19) removal by activated carbon based on pomegranate residual is determined using Taguchi method. For this purpose, 4 main factors such as pH, adsorbent dose, initial dye concentration and contact time were considered in 5 levels. Therefore, an L25 orthogonal array was chosen, and the experimental conditions were obtained. In addition, after design of experiments, an analysis of the signal-to-noise (S/N) ratio was needed to evaluate the experimental results. The analysis of mean (ANOM) statistical approach was adopted herein to construct the optimal conditions. In addition to ANOM, the analysis of variance (ANOVA) statistical method was also used to analyze the influence of each controllable factor on the dye removal efficiency.

To prepare the activated carbon (AC), pomegranate residual was collected. Collected sample has been dried in an oven for 2 h at 100 °C. It was then ground in a ball mill and the material passed through the No.30 mesh was collected and tested. They were soaked for 24 h in a 1:1 wt. ratio with 50 wt. % phosphoric acid as the carbonized at room temperature. The sample is then decanted and dried in a muffle furnace for 1 h at 500 °C. They were then washed sequentially several times with hot distilled water, until pH of the washing solution became neutral. AC was finally powdered and sieved by the No. 100 mesh.

The experiments were done 3 times according to the tests conditions determined by the Taguchi method and the dye removal efficiency was measured. Due to the results of S/N and ANOM, it can be inferred that the optimum mixture proportions to obtain the highest RB19 removal efficiency are as follows. (1) Initial dye concentration of 100 mg/L; (2) pH of 11; (3) adsorbent dose of 1.75 gr/L; and (4) contact time of 7 minutes. The experiment with aforementioned condition was done and result was shown the highest efficiency (98.94%). According to the result of ANOVA, the rank order of the contribution percentage of each factor on RB19 removal efficiency is as follows: (1) initial dye concentration (52.67%), (2) adsorbent dose (33.32%), (3) pH (13.61%), and (4) contact time (2.72%).

**Keywords:** Adsorption, Taguchi, Reactive Blue 19, pomegranate residual, Analysis of Variance