

Eco-friendly Biosorption Process of Reactive Blue 52 Dye Using Alga Dried Biosorbent of Filamentous Alga Species: Equilibrium, Kinetic Studies and Intervening Effect

Mohammadi F^{1,2}, Rashtbari Y^{1,2}, Afshin Sh^{1,2}, Askari R^{1,2}, Moharrami A^{1,2}, Vosoughi M*²

1. Students Research Committee, Faculty of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran;
2. Departments of Environmental Health Engineering, School of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran

* *Corresponding author.* Tel: +989120910243, Fax: +4533512004, E-mail: mvn_20@yahoo.com

Received: Jul 18, 2021 Accepted: Aug 2, 2021

ABSTRACT

Background & objectives: Dyes are structurally complex materials, which enter into the environment due to discharging of textiles effluent from dyeing and printing processes. Reactive Blue 52 dye is used widely in the textile industry. Therefore, we investigated the efficiency of the filamentous Alga as natural adsorbent in the removal of Reactive Blue 52 dye from textile wastewater.

Methods: This experimental study was performed in laboratory scale. In this study, the effect of adsorbent dose, contact time, pH and different dye concentrations on efficiency of adsorption process were studied and finally, fitting rate of data for Langmuir and Freundlich isotherms and also pseudo-first-order and pseudo-second-order adsorption kinetics were determined. For analysis of the data, linear regression and R-squared were used.

Results: According to the obtained results, increasing of adsorbent dose to 22 g/100 mL in concentrations of 50 mg/L RB52 led to an increase of removal efficiency to 58.04%. Adsorption capacity was increased from 31.2 to 8.41 %, by increasing the initial pH from 3 to 11 for concentrations of 10 and 25 mg/L, respectively. Results showed that with the increase of contact time, removal efficiency increased and with increasing of initial dye concentration, the removal efficiency decreased. Langmuir isotherm was in good concordance with the data. The model of pseudo-second-order kinetic demonstrated better fitting with the experimental data.

Conclusion: The results indicated the suitability of filamentous Alga as natural adsorbent for color removal.

Keywords: Reactive Blue 52 Dye; Natural Absorbent; Filamentous Alga; Adsorption; Textile Wastewater

فرایند سازگار با محیط زیست برای جذب رنگ راکتیو بلو ۵۲ با استفاده از بیوجاذب جلبک خشک شده گونه رشته‌ای فیلامنتوس: مطالعات ایزوترمی و سینتیکی و تاثیر مداخله‌گر

فائزه محمدی^{۱،۲}، یوسف رشتبری^{۱،۲}، شیرین افشین^{۱،۲}، رویا عسکری^{۱،۲}، امیر محرمی^{۱،۲}، مهدی وثوقی^{۲*}

۱. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران

۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۲۰۹۱۰۲۴۳ فاکس: ۰۴۵ ۳۳۵۱۲۰۰۴ ایمیل: mvn-20@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: رنگ‌ها موادی با ساختار پیچیده بوده که در نتیجه مراحل تکمیل نساجی نظیر رنگ‌رزی و چاپ به محیط زیست وارد می‌شوند. رنگ راکتیو بلو ۵۲ در حال حاضر در صنایع نساجی داخل کشور کاربرد بسیار گسترده‌ای دارد. لذا این مطالعه با هدف بررسی کارایی جلبک فلایمنتوس به عنوان جاذب طبیعی در حذف رنگ راکتیو بلو ۵۲ از فاضلاب سنتتیک نساجی انجام شد.

روش کار: این مطالعه در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. در این تحقیق، تأثیر مقدار جاذب، زمان تماس، pH و غلظت‌های مختلف رنگ راکتیو بلو ۵۲ بر کارایی فرآیند جذب رنگ بررسی شده و در نهایت میزان مطابقت داده‌ها با ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمیر همچنین سینتیک‌های شبه درجه اول و شبه درجه دوم تعیین گردید. جهت تحلیل داده‌ها از رگرسیون خطی و پارامتر R^2 استفاده گردید.

یافته‌ها: مطابق با نتایج بدست آمده، با توجه به نتایج بدست آمده، افزایش دوز جاذب به ۲۲ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر منجر به افزایش بازده حذف راکتیو بلو ۵۲ تا ۵۸/۰۴ درصد شد. ظرفیت جذب با افزایش pH اولیه محلول از ۳ تا ۱۱ از ۳۱/۲ به ۵۶/۶۸ درصد رسید. داده‌های به دست آمده نشان دهنده افزایش راندمان حذف با افزایش زمان تماس و کاهش راندمان حذف با افزایش غلظت اولیه رنگ بود. مطابق با نتایج بدست آمده، ایزوترم لانگمیر تطابق بهتری با داده‌های جذب داشت. مدل سینتیکی شبه درجه دوم، تطابق بهتری با نتیجه داده‌های آزمایش نشان داد.

نتیجه گیری: نتایج حاکی از مناسب بودن جلبک فلایمنتوس به عنوان جاذب طبیعی در حذف رنگ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رنگ راکتیو بلو ۵۲، جاذب طبیعی، جلبک فلایمنتوس، جذب سطحی، فاضلاب نساجی

دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۷ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۱۱

مقدمه

آلودگی منابع آب به وسیله آلاینده‌های رنگی، یکی از مشکلات عمده برای محیط‌زیست محسوب می‌گردد (۱). پساب‌های رنگی از صنایع مختلف از قبیل: نساجی، کاغذسازی، روغن‌های جلا دهنده، آرایشی و بهداشتی

و داروسازی وارد محیط‌زیست می‌شوند (۲). در ساختار رنگ‌ها به دلیل وجود باند آزو (-N=N-) و حلقه‌های آروماتیک در محیط از پایداری بالایی برخوردار بوده و قابلیت تجزیه پذیری کمتری دارند. این رنگ‌زها از جهت زیباشناختی و زیست‌محیطی

قابل قبول نبوده و باعث کاهش نفوذ نور و اختلال در فرایند فتوسنتز در گیاهان آبی می‌شوند (۳). مطالعات نشان داده است که رنگ‌های بکارگرفته شده در صنایع برای موجودات آبی و انسان‌ها دارای خاصیت سرطان‌زایی و جهش‌زایی داشته است. رنگ‌ها در غلظت‌های بالا خاصیت سمی داشته و حتی در غلظت‌های کم جز قابل توجه‌ترین آلاینده‌ها محسوب می‌شوند (۴). رنگ راکتیو بلو ۵۲ منجر به ایجاد آسیب‌های خطرناک برای حیوانات و سلامت انسان می‌شود. بنابراین حذف چنین عوامل رنگی از فاضلاب‌ها ضروری به نظر می‌رسد (۵). روش‌های متفاوتی جهت حذف مولکول‌های رنگی از پساب‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله می‌توان به فرایندهایی نظیر فیلتراسیون غشایی (۶)، فتوکاتالیستی (۷)، ازن زنی (۸) و جذب سطحی (۹) اشاره نمود که از معایب اصلی این فرایندها می‌توان به هزینه‌بر بودن و مشکلات بهره‌برداری و تولید لجن بالا در مقیاس‌های بزرگ در صنایع اشاره کرد (۱۰). فرایند جذب سطحی با استفاده از جاذب‌های ارزان و با سهولت دسترسی یکی از کارآمدترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها برای حذف رنگ از محلول‌های آبی به‌شمار می‌رود (۱۱). عملکرد جذب سطحی به‌طور مستقیم به کیفیت و هزینه اثر بخشی جاذب وابسته می‌باشد، در دهه‌های گذشته بیوجاذب‌های مختلفی از جمله کاربرد بیوجاذب پودر گل گیاه تلخه در حذف رنگ راکتیو بلو ۱۹ (۱۲)، جذب رنگ‌های راکتیو قرمز ۲ با به‌کارگیری پوست گردوی فرآوری شده (۱۳)، فرایند جذب رنگ با استفاده از جاذب‌های تهیه‌شده از پسماند کشاورزی (تخم سالویا) اشاره کرد. زائدات کشاورزی به دلیل داشتن ویژگی‌هایی از جمله فیبرها، متخلخل بودن و داشتن وزن مولکولی کم می‌تواند به عنوان یک بیوجاذب کم هزینه برای حذف رنگ بکارگرفته شود (۱۴). جلبک‌های رشته‌ای فیلامنتوس در جویبارهای آبیاری به‌صورت انبوه رشد کرده و

ظرفیت آن‌ها را اشغال می‌کنند و سرعت جریان آب را کاهش می‌دهند. کشاورزان مجبورند چندین بار این جلبک‌ها را از کانال‌های آبیاری خارج کنند. این جلبک‌ها حتی توسط دام‌ها خورده نمی‌شوند و به‌عنوان پسماند کشاورزی محسوب می‌شوند. آن‌ها می‌توانند به‌عنوان بیوجاذب در از بین بردن رنگ‌ها استفاده شوند. با توجه به مطالعات صورت گرفته در این زمینه و به‌کارگیری بیوجاذب‌های مختلف، گزارشی مبنی بر کاربرد جلبک رشته‌ای فیلامنتوس به‌منظور جذب رنگ راکتیو بلو ۵۲ با استفاده از بیوجاذب ارائه نشده است. در این مطالعه کارایی جلبک فیلامنتوس در جذب رنگ راکتیو بلو ۵۲ با استفاده از متغیرهای مختلف فرایند pH اولیه محلول، زمان تماس، مقدار جلبک و غلظت اولیه رنگ راکتیو بلو ۵۲ مورد بررسی قرار گرفت. تعادل جذب، ایزوترم‌ها و سینتیک جذب رنگ راکتیو بلو ۵۲ تعیین شد. سرانجام، مقایسه شرایط بهینه با اضافه کردن مداخله‌گرهای مختلف با مورد بررسی قرار گرفت.

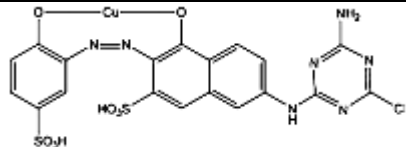
روش کار

تحقیق حاضر یک مطالعه تجربی می‌باشد که به‌صورت سیستم ناپوسته در آزمایشگاه شیمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اردبیل انجام گرفت. مواد شیمیایی مورد استفاده از قبیل اسیدسولفوریک، اسید کلریدریک، هیدروکسید سدیم، کلرید سدیم، سولفات سدیم، سدیم کربنات و سدیم نترات از شرکت مرک^۱ آلمان و رنگ RB52^۲ از شرکت الوان ثابت همدان تهیه گردید. جهت تنظیم pH از اسیدسولفوریک و سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال استفاده گردید. مشخصات کلی رنگ راکتیو بلو ۵۲ در جدول ۱ ارائه شده است (۵).

¹ Merck

² Reactive Blue 52

جدول ۱. مشخصات فیزیکوشیمیایی رنگ راکتیو بلو ۵۲

Chemical class	Molecular formula	λ_{max} (nm)	Molecular structure
آنیونیک آزو	$C_{27}H_{21}N_5Na_2O_7S_2$	۶۱۵	

آماده سازی جلبک

جلبک‌های رشته‌ای فیلامنتوس از رودخانه‌های اطراف استان اردبیل جمع‌آوری شد. جهت حذف آلودگی‌ها و ذرات خارجی، چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد. سپس جلبک‌ها ۲۴ ساعت در معرض هوای آزاد و سپس به مدت ۱۲ ساعت در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در نهایت جلبک‌ها توسط میکسر پودر شدند و با استفاده از الک‌های استاندارد با اندازه ۳۰ مش الک شده و در ظرفی مخصوص به‌دور از رطوبت نگهداری گردید.

تهیه محلول استوک رنگ راکتیو بلو ۵۲

محلول استوک رنگ با استفاده از حل کردن ۱ گرم در لیتر پودر رنگ RB52 در آب دو بار تقطیر با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر آماده شد. برای جلوگیری از تغییرات غلظت محلول استوک، به‌صورت روزانه تهیه و در یخچال نگهداری شد. محلول‌های حاوی رنگ با غلظت‌های موردنظر برای انجام مراحل بعدی آزمایش‌ها تهیه گردید.

روش انجام آزمایش بیوجذب

به‌منظور تعیین شرایط بهینه فرایند بیوجذب، عوامل مؤثر در حذف رنگ مانند pH اولیه محلول (۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱)، زمان واکنش (۵، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰)، غلظت محلول رنگ‌زا (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و دوز بیوجذب (۳، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰ و ۲۲ گرم در لیتر) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به متغیرهای موردبررسی در هر مرحله یک پارامتر، متغیر در نظر گرفته‌شده و بقیه پارامترها ثابت بودند. جهت جداسازی بیوجذب از محلول بعد از سپری شدن زمان تماس موردنظر، نمونه‌ها به

مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شده و غلظت باقیمانده رنگ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR5000 ساخت شرکت HACH® آمریکا در طول موج ۶۱۵ نانومتر بر اساس کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب اندازه‌گیری گردید. درنهایت راندمان حذف رنگ و مقدار رنگ‌شده در واحد جرم جاذب را از روابط زیر محاسبه گردید (۱۴).

$$R = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

$$q_e = \frac{C_0 - C_t}{M} \times V \quad \text{معادله (۲)}$$

که در معادله (۱) درصد حذف رنگ، C_0 و C_t به ترتیب غلظت اولیه و پایانی رنگ در محلول برحسب mg/L می‌باشد. در معادله (۲) q_e ظرفیت جذب جاذب، V حجم محلول برحسب لیتر و M جرم جاذب برحسب گرم می‌باشد.

میزان مطابقت داده‌ها با ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمیر همچنین سینتیک‌های شبه‌درجه اول و شبه‌درجه دوم تعیین گردید. جهت تحلیل داده‌ها از رگرسیون خطی و پارامتر R^2 استفاده گردید.

یافته‌ها

تأثیر pH محلول اولیه رنگ

تأثیر pH اولیه محلول رنگی بروی کارایی جذب رنگ RB52 با تغییر در pH های اولیه محلول ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ تحت شرایط ثابت در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر محلول رنگی، زمان تماس ۳۰ دقیقه با مقدار بیوجذب جلبک ۳ گرم در لیتر بررسی شد. در شکل ۱ نتایج

تأثیر زمان واکنش بر روی کارایی فرآیند بیوجذب با استفاده از جلبک با تغییر در زمان تماس واکنش از ۵ تا ۱۲۰ دقیقه در غلظت‌های مختلف ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با pH برابر ۳ و دوز جاذب ۱۶ گرم در لیتر انجام شد. بررسی شکل ۱ (d) نشان می‌دهد، با افزایش زمان تماس از ۵ تا ۳۰ دقیقه راندمان حذف تقریباً ثابت می‌شود. در نتیجه زمان واکنش بهینه برای حذف رنگ RB52 ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

تأثیر مداخله‌گرها در جذب رنگ RB52

تأثیر مداخله‌گرها در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سدیم‌نیترات، سدیم‌بیکربنات، سدیم‌سولفات و سدیم کلراید در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر رنگ RB52 در شرایط بهینه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصله از این مطالعه در شکل ۱ (e) آورده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که کارایی بیوجاذب جلبک در حضور مداخله‌گرهای ذکر شده تا حدود نزدیک به حالت بهینه می‌باشد.

بررسی ایزوترم فرآیند

به‌منظور، ارزیابی اثر متقابل بین رنگ و جاذب از دو مدل لانگمیر و فروندلیچ استفاده شد. شکل خطی معادلات ایزوترمی لانگمیر و فروندلیچ به‌صورت زیر بود (۱۵):

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{k_1 q_m c_e} + \frac{1}{q_m} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log c_e \quad \text{معادله (۴)}$$

در این معادلات q_e مقدار ماده جذب‌شده در واحد جرم جاذب (میلی‌گرم بر گرم)، C_e غلظت تعادلی ماده جذب‌شونده در محلول بعد از فرایند جذب (میلی‌گرم در لیتر)، q_m نشان‌دهنده ظرفیت جذب و k_1 ، k_f و n به ترتیب بیانگر ثابت لانگمیر، فروندلیچ و شدت جذب سطحی هستند. در مدل ایزوترمی لانگمیر، فرض بر این است که فرایند جذب به‌صورت همگن و تک لایه بر روی جاذب اتفاق می‌افتد، اما در ایزوترم مدل فروندلیچ، یک سطح ناهمگن و

حاصل از تأثیر pH محلول رنگی بر کارایی جذب رنگ راکتیو بلو ۵۲ نشان داده شده است. همان‌طوری که در شکل ۱ (a) مشاهده می‌گردد با افزایش pH کارایی فرایند جذب کاهش یافته است. به‌طوری که با افزایش pH از ۳ تا ۱۱ کارایی جذب رنگ RB52 از ۳۱/۲ به ۸/۴۲ کاهش یافته است. بنابراین pH بهینه برای حذف رنگ RB52 برابر ۳ انتخاب شد.

تأثیر دوز بیوجاذب اولیه رنگ

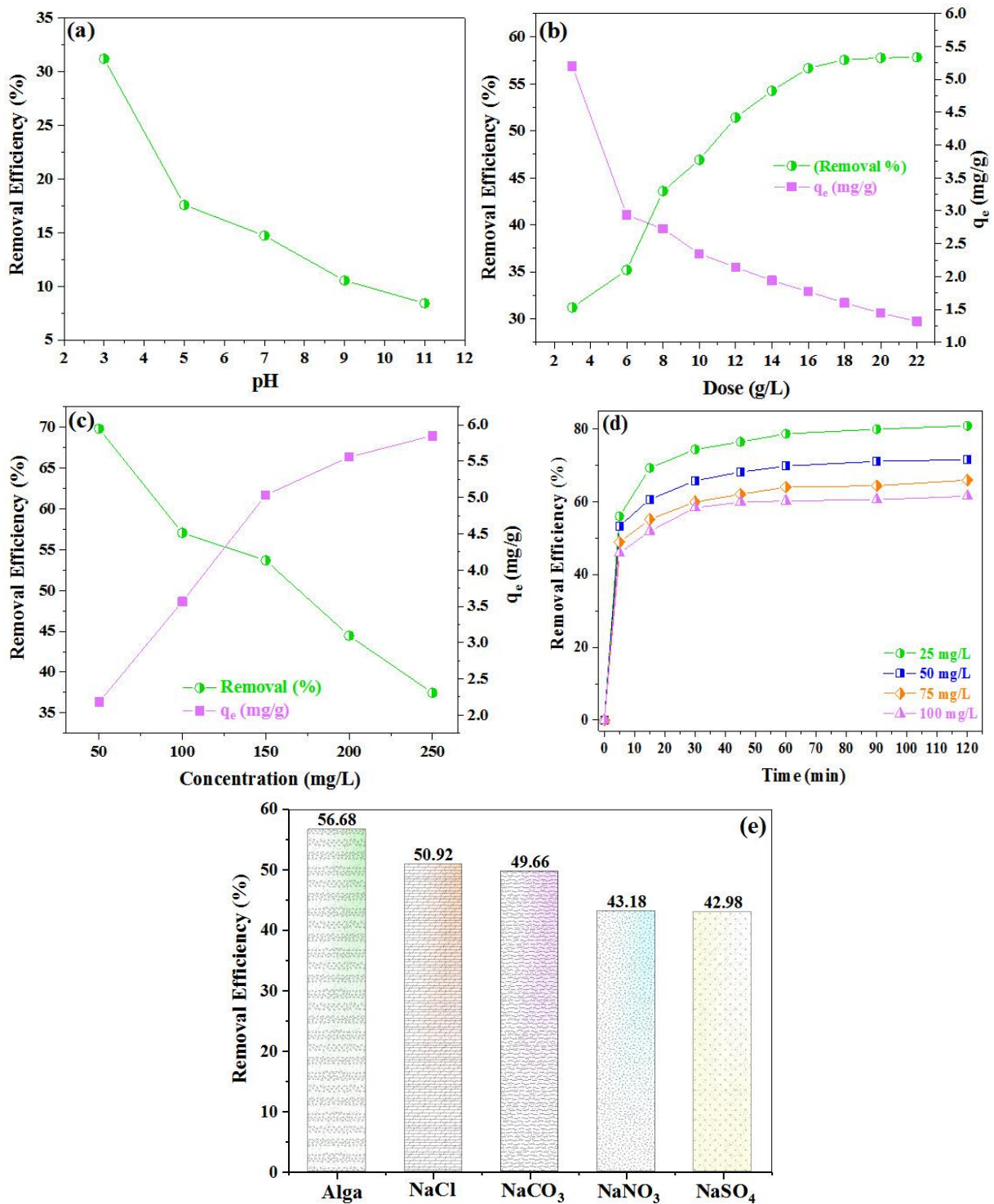
در شکل ۱ (b) تأثیر مقدار دوز بیوجاذب جلبک بر کارایی حذف رنگ RB52 ارائه شده است. به منظور بررسی تأثیر مقدار اولیه دوز بیوجاذب جلبک با تغییر در مقدار بیوجاذب (۳، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰ و ۲۲ گرم در لیتر) در pH برابر ۳، غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بعد از زمان تماس ۳۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کارایی جذب رنگ RB52 با افزایش مقدار اولیه بیوجاذب جلبک از ۳ تا ۱۶ گرم در لیتر از ۳۱/۲ به ۵۶/۶۸ درصد افزایش و با افزایش مقدار بیوجاذب جلبک به ۲۲ گرم در لیتر کارایی به ۵۸/۰۴ رسیده و ثابت شده است. بنابراین مقدار دوز بیوجاذب بهینه برای حذف رنگ RB52 حدود ۱۶ گرم در لیتر در نظر گرفته شد.

تأثیر غلظت اولیه رنگ

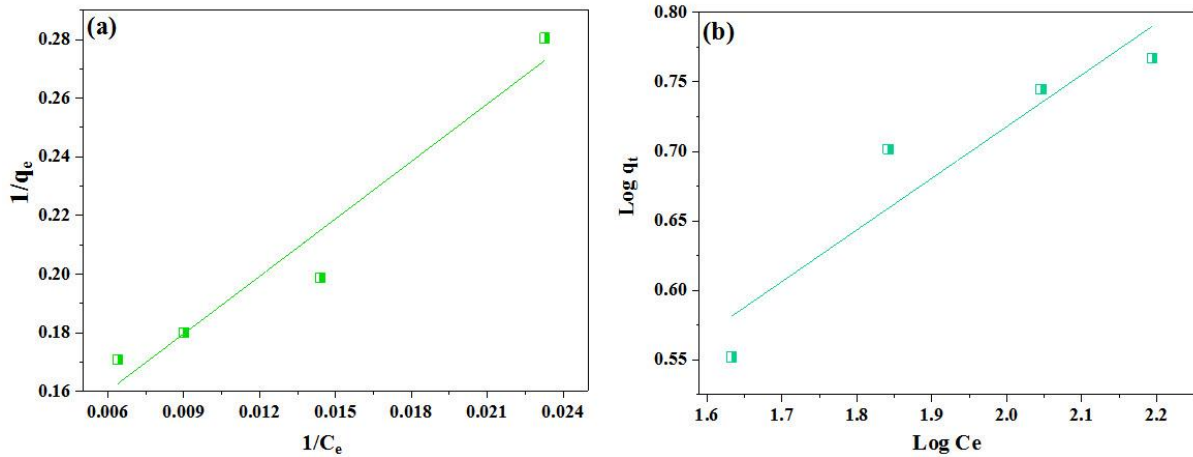
تأثیر غلظت اولیه رنگ RB52 بر کارایی حذف فرایند بیوجذب با تغییر در غلظت اولیه رنگ ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر در pH برابر ۳، دوز بیوجاذب جلبک ۱۶ گرم در لیتر بعد از زمان تماس ۶۰ دقیقه بررسی شد. در شکل ۱ (c) نتایج حاصل از تأثیر غلظت اولیه رنگ بر کارایی فرآیند بیوجذب با استفاده از جلبک ارائه شده است. در شکل ۱ (c) مشخص شد که کارایی حذف با افزایش غلظت اولیه رنگ کاهش یافته است. به‌طوری که با افزایش غلظت رنگ از ۵۰ به ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کارایی جذب از ۶۹/۸ به ۳۷/۴۴ درصد کاهش یافته است.

تأثیر زمان واکنش

غیریکنواخت از گرمای جذب در روی سطح فرایند، جذب را انجام می‌دهد (۱۶).



شکل ۱. تأثیر pH اولیه محلول (a)، دوزهای مختلف (b)، غلظت‌های مختلف رنگ RB52 (c)، زمان واکنش مختلف (d) و مداخله‌گرهای مختلف (e) در جذب رنگ RB52 با استفاده از بیوجاذب جلبک



شکل ۲. مدل ایزوترم لانگمیر (a) و فروندلیچ (b) در جذب رنگ RB52 با استفاده از بیوجاذب جلبک

جدول ۲. پارامترهای مدل ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ در غلظت‌های مختلف رنگ RB52

مدل	ایزوترم لانگمیر			ایزوترم فروندلیچ			
	K_L (L/mg)	q_m (mg/g)	R^2	R_L	K_f (L/mg)	N	R^2
پارامترها	۰/۰۱۸	۸/۲۷	۰/۹۴۸۴	۰/۳۵	۱/۰۶	۲/۶۸	۰/۸۸۲۴
مقدار							

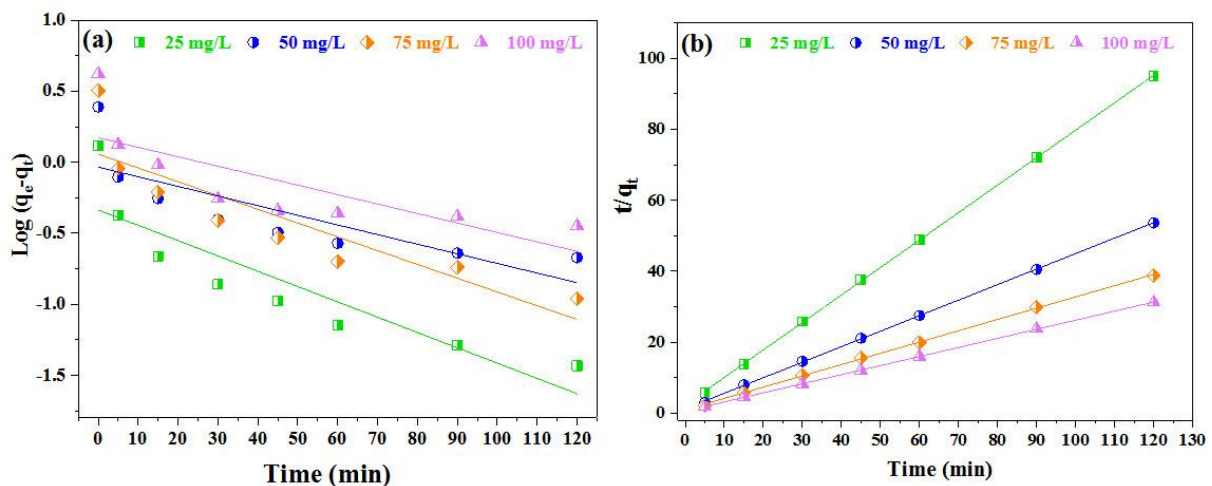
$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1 t}{2.303}\right) \quad (5)$$

$$\frac{t}{q_e} = \frac{1}{(k_2 q_e^2)} + \left(\frac{1}{q_e}\right) \quad (6)$$

در این معادله q_t و q_e به ترتیب ظرفیت جذب در حالت تعادل (میلی گرم بر گرم) و زمان t (دقیقه) و همچنین k_1 و k_2 به ترتیب ضریب سرعت شبه درجه یک و دو می‌باشند.

بررسی سینتیک فرآیند

در این مطالعه سینتیک جذب شبه درجه یک و شبه درجه دو در غلظت‌های مختلف تحت شرایط بهینه در زمان‌های مختلف برای فرآیند جذب رنگ RB52 مورد بررسی قرار گرفت. معادله سینتیک شبه درجه یک و شبه درجه دو به صورت خطی در معادله ۵ و ۶ ارائه شده است (۱۷).



شکل ۳. مدل سینتیک شبه درجه اول (a) و شبه درجه دوم (b) در جذب رنگ RB52 با استفاده از بیوجاذب جلبک

جدول ۳. پارامترهای سینتیکی جذب رنگ RB52 در شرایط بهینه و غلظت‌های مختلف

غلظت رنگ (mg/L)	شبه درجه یک				شبه درجه دو			
	$q_{e(epx)}$	$q_{e(cal)}$	k_1	R^2	$q_{e(cal)}$	K_2	R^2	
۲۵	۱/۳	۲/۱۶	۰/۰۲۸	۰/۸۰۳۴	۱/۲۸	۰/۳۷۱	۰/۹۹۹۲	
۵۰	۲/۴۵	۱/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۶۶۳۸	۲/۲۷	۰/۲۲۲	۰/۹۹۹۴	
۷۵	۳/۲	۱/۱۳	۰/۰۲	۰/۷۸۲۶	۳/۱۱	۰/۱۵	۰/۹۹۹۲	
۱۰۰	۴/۲	۱/۵۲	۰/۰۱	۰/۶۵۹	۳/۹۱	۰/۱۳۲	۰/۹۹۹۳	

بحث

تأثیر پارامترهای مختلف بروی فرایند جذب رنگ راکتیو بلو ۵۲ توسط بیوجاذب جلبک

مقدار pH محلول به‌عنوان یک پارامتر مهم و تأثیرگذار در فرایند جذب می‌تواند بر بار سطحی جاذب، درجه یونیزاسیون آلاینده‌های مختلف، تفکیک گروه‌های کاربردی بر روی سایت‌های فعال جاذب اثرگذار باشد (۱۸). شکل ۱ (a) تأثیر pH اولیه بر روی فرایند جذب رنگ RB52 را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که میزان جذب رنگ RB52 در pH‌های اسیدی بسیار چشمگیر بوده است. در pH‌های پایین تعداد سایت‌های بار مثبت در سطح جاذب افزایش یافته و در نتیجه باعث جذب بیشتر رنگ آنیونی RB52 و افزایش نیروی الکترواستاتیک بین رنگ آنیونی RB52 و سطح جاذب می‌شود (۱۹). از طرفی، در pH‌های قلیایی رقابت بین یون‌های OH⁻ و مولکول‌های آنیونی رنگ در جذب بر روی سایت‌های فعال جاذب افزایش یافته و کارایی جذب را کاهش می‌دهد (۱۹). نتایج حاصل با مطالعات ماهانی و همکاران که بر روی حذف رنگ راکتیو با استفاده از بیومس انجام دادند کاملاً مطابقت دارد (۲۰).

شکل ۱ (b) تغییرات دوز بیوجاذب جلبک را در فرایند جذب رنگ RB52 نشان می‌دهد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که با افزایش دوز بیوجاذب راندمان حذف رنگ افزایش پیدا می‌کند. افزایش جذب رنگ در طول افزایش دوز بیوجاذب مربوط به بیشتر شدن تعداد سایت‌های فعال مثبت در سطح جاذب می‌باشد. با کاهش دوز بیو جاذب تعداد سایت‌های فعالی که اختیار مولکول‌های رنگ قرار می‌گیرد، کاهش می‌یابد و این

امر منجر به کاهش راندمان حذف رنگ می‌شود. از سویی کاهش ظرفیت را به اشباع شدن سایت‌های موجود بر سطح بیوجاذب می‌توان نسبت داد. در مطالعه‌ای که توسط کومار و همکاران در مورد حذف رنگ کانکو قرمز با جاذب کربن فعال صورت گرفت به نتایج مشابهی دست یافتند (۲۱).

در شکل ۱ (c) تأثیر تغییرات غلظت اولیه رنگ RB52 در فرایند بیوجذب ارائه شده است. علت کاهش راندمان حذف با افزایش اولیه رنگ RB52 این است که در غلظت‌های پایین‌تر سطح بیشتری از جایگاه‌های فعال بر روی سطح بیوجاذب وجود دارد که مولکول‌های رنگ را به راحتی جذب می‌کند، اما با افزایش غلظت اولیه رنگ، کارایی حذف رنگ به دلیل کاهش جایگاه‌های فعال در سطح جاذب کاهش می‌یابد. طی مطالعه‌ای که کرونیلا و همکاران جذب رنگ آمارانت را با استفاده از برگ‌های سنبله انجام دادند، نتایج حاصله حاکی از آن شد که با افزایش غلظت رنگ آمارانت راندمان جذب کاهش می‌یابد (۲۲).

شکل ۱ (d) تأثیر زمان واکنش را در فرایند بیوجذب با استفاده از جلبک برای جذب رنگ RB52 نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌توان مشاهده کرد با افزایش زمان واکنش راندمان جذب افزایش می‌یابد. جذب رنگ RB52 در زمان‌های اولیه تماس بین بیوجاذب و مولکول‌های رنگ RB52 با سرعت بالا انجام می‌گیرد و با گذشت زمان، میزان جذب به آرامی صورت گرفته و به زمان تعادل می‌رسد، که این امر می‌تواند به دلیل کاهش غلظت رنگ RB52 و کاهش جایگاه‌های فعال در سطح جاذب باشد (۲۳). در مراحل اولیه جذب، مکان‌های خالی زیادی در دسترس بوده و

نتیجه گیری

این مطالعه اثربخشی جلبک رشته‌ای فلامینتوس را در جذب رنگ RB52 نشان داد. از نتایج به دست آمده مشخص شد که با افزایش زمان واکنش و دوز بیوجاذب راندمان فرایند افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده شد که با افزایش pH و غلظت اولیه رنگ RB52 کاهش چشمگیری در راندمان حذف صورت می‌گیرد. تحت شرایط بهینه در pH برابر ۳، دوز بیوجاذب ۱۶ گرم در لیتر، زمان واکنش ۶۰ دقیقه و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر راندمان حذف ۷۸/۲ درصد حاصل شد. نتایج حاصل از مطالعه ایزوترم و سینتیک جذب نشان داد که فرآیند جذب از ایزوترم لانگمویر (۰/۹۴۸۴) و سینتیک شبه درجه دوم (۰/۹۹۹۲) تبعیت می‌کند. همچنین کارایی بیوجاذب جلبک رشته‌ای فلامینتوس در حضور مداخله‌گرهای استفاده شده کاهش ناچیزی در راندمان دیده شد. در نهایت نتایج نشان داد که جلبک رشته‌ای فلامینتوس می‌تواند به عنوان بیوجاذبی مؤثر، با دسترسی بالا و مقرون به صرفه به منظور حذف رنگ از محلول‌های آبی بکار گرفته شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از معاونت محترم تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی اردبیل و خدمات بهداشتی درمانی اردبیل جهت حمایت مالی از این پژوهش (کد طرح IR.ARUMS.REC.1398.030) و همکاران محترم در دانشکده بهداشت قدردانی می‌گردد.

با گذشت زمان این مکان‌ها توسط مولکول‌های RB52 اشغال می‌شوند (۲۳). افزایش راندمان حذف با گذشت زمان واکنش را می‌توان به افزایش دسترسی بیشتر مولکول‌های رنگ RB52 به سطح بیوجاذب نسبت داد (۲۴). همچنین، با افزایش زمان واکنش شانس برخورد مولکول‌های رنگ با سطح بیوجاذب بیشتر شده و مقدار راندمان حذف رنگ افزایش می‌یابد (۲۵). این نتایج با یافته‌های کیوس و همکاران که حذف رنگ در محلول‌های آبی را با استفاده از دانه‌های کیتوزان مورد بررسی قرار دادند کاملاً مطابقت دارد (۲۴).

نتایج در شکل ۲ و جدول ۲ قابل مشاهده است. جذب رنگ RB52 با استفاده از بیوجاذب جلبک با ضریب رگرسیون ۰/۹۴۸۴ از مدل ایزوترم لانگمویر پیروی می‌نماید. این یافته‌ها با نتایج حاصل از گزارش‌های ارائه شده کاملاً مطابقت دارد (۲۶). با توجه به نتایج حاصل از مطالعات سینتیکی در جدول ۳ و شکل ۳ می‌توان بیان کرد که فرایند جذب از مدل سینتیکی شبه درجه دو با ضریب رگرسیون بالاتر نسبت به مدل سینتیکی شبه درجه یک تبعیت بیشتری دارد. مدل شبه درجه دو بیانگر این است که قسمت اعظم جذب به صورت جذب شیمیایی انجام می‌گیرد که نتایج حاصل از سینتیک فرایند نیز این ادعا را تأیید می‌کند (۲۷). نتایج مطالعه فیرونتین و همکاران در جذب رنگ آبی 5G با استفاده از نارنجی باکسی انجام گرفت، نشان داد که سینتیک جذب این رنگ با مدل شبه درجه دوم تطابق دارد (۲۸).

References

- 1- Salatin P, Tajik S. The Effect of Water Pollution on Health Economics: A Panel Data Approach. *Human & Environment*. 2017;15(3):47-57.
- 2- Champagne P-P, Ramsay J. Reactive blue 19 decoloration by laccase immobilized on silica beads. *Applied microbiology and biotechnology*. 2007;77(4):819-23.
- 3- Pang YL, Abdullah AZ. Current status of textile industry wastewater management and research progress in Malaysia: a review. *Clean-Soil, Air, Water*. 2013;41(8):751-64.
- 4- Singh M, Szafran Z, Ibanez JG. Laboratory experiments on the electrochemical remediation of environment. part 4: Color removal of simulated wastewater by electrocoagulation-electroflotation. *Journal of Chemical Education*. 1998;75(8):1040.

- 5- Dojčinović BP, Roglić GM, Obradović BM, Kuraica MM, Kostić MM, Nešić J, et al. Decolorization of reactive textile dyes using water falling film dielectric barrier discharge. *Journal of Hazardous Materials*. 2011;192(2):763-71.
- 6- Kanamarlapudi S, Chintalpudi VK, Muddada S. Application of biosorption for removal of heavy metals from wastewater. *Biosorption*. 2018;18:69.
- 7- Tong H, Ouyang S, Bi Y, Umezawa N, Oshikiri M, Ye J. Nano-photocatalytic materials: possibilities and challenges. *Advanced materials*. 2012;24(2):229-51.
- 8- Shu H-Y, Huang C-R. Degradation of commercial azo dyes in water using ozonation and UV enhanced ozonation process. *Chemosphere*. 1995;31(8):3813-25.
- 9- Adeyemo AA, Adeoye IO, Bello OS. Adsorption of dyes using different types of clay: a review. *Applied Water Science*. 2017;7(2):543-68.
- 10- Li S, Chen F, Lin F, Kong Y, Dai H. Adsorption Performance of SiO₂/CPAM Composites for Aqueous Ca (II). *BioResources*. 2018;13(2):3554-70.
- 11- Kausar A, Iqbal M, Javed A, Aftab K, Bhatti HN, Nouren S. Dyes adsorption using clay and modified clay: a review. *Journal of Molecular Liquids*. 2018;256:395-407.
- 12- Ghaneian MT, Dehvari M, Jourabi Yazdi N, Mootab M, Jamshidi B. Evaluation of Efficiency of Russian Knapweed Flower Powder in Removal of Reactive Blue 19 from Synthetic Textile Wastewater. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*. 2013;12(10):831-42.
- 13- The efficiency of the processed walnut shell in red reactive 2 dye removal from aqueous solution. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2015:-.
- 14- Afshin S, Mokhtari SA, Vosoughi M, Sadeghi H, Rashtbari Y. Data of adsorption of Basic Blue 41 dye from aqueous solutions by activated carbon prepared from filamentous algae. *Data in brief*. 2018;21:1008-13.
- 15- Noroozi B, Sorial GA. Applicable models for multi-component adsorption of dyes: A review. *Journal of Environmental Sciences*. 2013;25(3):419-29.
- 16- Bello OS, Bello IA, Adegoke KA. Adsorption of dyes using different types of sand: a review. *South African Journal of Chemistry*. 2013;66:117-29.
- 17- Biglari H, RodríguezCouto S, Khaniabadi YO, Nourmoradi H, Khoshgoftar M, Amrane A, et al. Cationic surfactant-modified clay as an adsorbent for the removal of synthetic dyes from aqueous solutions. *International journal of chemical reactor engineering*. 2018;16(5).
- 18- Singh KP, Mohan D, Sinha S, Tondon GS, Gosh D. Color Removal from Wastewater Using Low-Cost Activated Carbon Derived from Agricultural Waste Material. *Industrial & engineering chemistry research*. 2003;42(9):1965-76.
- 19- Won SW, Choi SB, Chung BW, Park D, Park JM, Yun YS. Biosorptive Decolorization of Reactive Orange 16 Using the Waste Biomass of *Corynebacterium glutamicum*. *Industrial & engineering chemistry research*. 2004;43(24):7865-9.
- 20- Singh KP, Mohan D, Sinha S, Tondon G, Gosh D. Color removal from wastewater using low-cost activated carbon derived from agricultural waste material. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2003;42(9):1965-76.
- 21- Kumar PS, Joshiba GJ, Femina CC, Varshini P, Priyadharshini S, Karthick MA, et al. A critical review on recent developments in the low-cost adsorption of dyes from wastewater. *Desalin Water Treat*. 2019;172:395-416.
- 22- Guerrero-Coronilla I, Morales-Barrera L, Cristiani-Urbina E. Kinetic, isotherm and thermodynamic studies of amaranth dye biosorption from aqueous solution onto water hyacinth leaves. *Journal of environmental management*. 2015;152:99-108.
- 23- Gök Ö, Özcan AS, Özcan A. Adsorption behavior of a textile dye of Reactive Blue 19 from aqueous solutions onto modified bentonite. *Applied surface science*. 2010;256(17):5439-43.
- 24- Chiou M, Li H. Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads. *Chemosphere*. 2003;50(8):1095-105.
- 25- De Benedetto C, Macario A, Siciliano C, B Nagy J, De Luca P. Adsorption of Reactive Blue 116 Dye and Reactive Yellow 81 Dye from Aqueous Solutions by Multi-Walled Carbon Nanotubes. *Materials*. 2020;13(12):2757.

- 26- Hamzeh Y, Ashori A, Azadeh E, Abdulkhani A. Removal of Acid Orange 7 and Remazol Black 5 reactive dyes from aqueous solutions using a novel biosorbent. *Materials Science and Engineering: C*. 2012;32(6):1394-400.
- 27- Golestanifar H, Asadi A, Alinezhad A, Haybati B, Vosoughi M. Isotherm and kinetic studies on the adsorption of nitrate onto nanoalumina and iron-modified pumice. *Desalination and Water Treatment*. 2016;57(12):5480-7.
- 28- Fiorentin LD, Trigueros DE, Módenes AN, Espinoza-Quiñones FR, Pereira NC, Barros ST, et al. Biosorption of reactive blue 5G dye onto drying orange bagasse in batch system: Kinetic and equilibrium modeling. *Chemical Engineering Journal*. 2010;163(1-2):68-77.