ORIGINAL ARTICLE

Kinetic and Isotherm Studies of Reactive Blue 19 Absorption by Dried Powder, Modified Powder, and Modified Carbon Derived Azolla Filiculoides from Aqueous Solutions

Hossein Ivazy[1],
Behnam Barikbin[2],
Taher Shahryari[3]

[1] MSc Student in Environmental Health Engineering, School of Public Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran
[2] Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Social Determinants of Health Research Center, School of Public Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran
[3] Lecturer, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

(Received October 8, 2016 ; Accepted January 31, 2017)

Abstract

Background and purpose: Dyes in textile wastewater are amongst the main sources of environmental pollutants that are harmful for environment and human health. This study was designed for experimental evaluation of Reactive Blue 19 absorption from aqueous solutions by dried powder, modified powder, and modified carbon derived from Azolla aquatic plant carbon filiculoides, as a low cost adsorbent.

Materials and methods: In this experimental laboratorial study the effects of various parameters (initial dye concentration, contact time, pH and, amount of adsorbent) on the dye removal efficiency was investigated. Then the isotherm, kinetic, and thermodynamic equations were done. Measuring the amount of dye concentration was determined using a spectrophotometer at a wavelength of nm 594. Adsorbent characteristics were analyzed using SEM, FTIR, and BET techniques. Statistical analysis was done by Excel software.

Results: The highest absorption capacity were 4.83 mg/g by modified powder, 4.55 mg/g by dried powder, and 4.15 mg/g by modified carbon which were observed in optimum conditions: pH=2, equilibrium time of 60 min, 10 g/L of adsorbent, and initial dye concentration of 5 mg/l. The absorption efficiency of Azolla filiculoides increased by increasing the adsorbent dose and contact time, and decreasing the initial concentration of dye. It was found that the adsorption process followed Lungmuir isotherm and the kinetic model of pseudo second-order. The maximum absorbance of dye occurred by modified powder of Azolla filiculoides.

Conclusion: According to our results, adsorption process by Azolla aquatic plant is an efficient and affordable method for removal of dyes from textile industry wastewater.

Keywords: Azolla filiculoides, Reactive Blue 19, adsorption isotherms, adsorption kinetics, thermodynamics

J Mazandaran Univ Med Sci 2017; 26 (146): 148-164 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و ششم شماره ۱۴۶ اسفند سال ۱۳۹۵ (۱۶۴-۱۴۸)

جذب رنگ Reactive Blue 19 توسط پودر خشک شده، پودر اصلاح شده و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس از محلول های آبی: مطالعه ایزوترم، سینتیک

حسین ایوزی[۱]
بهنام باریک بین[۲]
طاهر شهریاری[۳]

چکیده

سابقه و هدف: رنگ‌ها یکی از اصلی‌ترین آلاینده‌های محیط زیست هستند و در پساب نساجی برای محیط زیست و سلامت انسان مضر محسوب می‌شوند. هدف از این تحقیق، بررسی جذب رنگ Reactive Blue 19 توسط پودر خشک شده، پودر اصلاح شده و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس از محلول‌های آبی به عنوان جاذب ارزان قیمت است.

مواد و روش‌ها: این بررسی یک نوع مطالعه تجربی- آزمایشگاهی است. تاثیرات پارامترهای مختلف (غلظت اولیه رنگ، تماس، pH، مقدار جاذب) در راندمان حذف این رنگ مورد بررسی قرار گرفت. سپس معادلات ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک جذب تعیین شد. اندازه‌گیری مقدار غلظت رنگ با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۴ nm تعیین شد. برای تعیین مشخصات جاذب از آزمایشات SEM، FTIR و BET استفاده شد تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

یافته‌ها: بیش‌ترین ظرفیت جذب با مقدار ۴/۸۳ mg/g برای پودر اصلاح شده، ۴/۵۵ mg/g برای پودر خشک شده و ۴/۱۵ mg/g برای کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس در pH بهینه (pH=2)، زمان تعادل ۶۰ دقیقه، مقدار جاذب ۱۰ گرم در لیتر، مقدار رنگ ۵ میلی گرم در لیتر به دست آمد. نتایج نشان داد که راندمان جذب با کاهش pH، افزایش یافت. راندمان جذب آزولا فیلیکولوییدس با افزایش مقدار جاذب و زمان تماس و کاهش غلظت اولیه رنگ افزایش یافت. نتایج حاصل از مطالعه ایزوترم‌ها و سینتیک‌های جذب نشان داد که فرآیند جذب از ایزوترم لانگمیرو مدل سینتیک شبه درجه دوم تبعیت می‌کند. بیش‌ترین میزان جذب رنگ، توسط پودر اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فلیکولوئیدس مشاهده گردید.

استنتاج: با توجه به نتایج به دست آمده، فرایند جذب توسط گیاه آبزی آزولا یک روش کارآمد و مقرون به صرفه برای حذف رنگ از فاضلاب صنعت نساجی می‌باشد.

واژه های کلیدی: رنگ Reactive Blue 19، گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس، ایزوترم جذب، سنتیک جذب، ترمودینامیک

مقدمه

در سال‌های اخیر با رشد بالای جمعیت و گسترش صنعت و کشاورزی و کمبود آب سالم به جهت حفظ محیط زیست، نیاز به تصفیه و بازیابی مجدد آب‌های مصرفی اهمیت بیش‌تری پیدا کرده است پساب‌های

مولف مسئول: بهنام باریک بین- تهران: دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، دانشکده بهداشت E-mail: b_barikbin@yahoo.com
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، ایران
۳. مربی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۵/۷/۱۷ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۳۹۵/۷/۱۸ تاریخ تصویب : ۱۳۹۵/۱۱/۱۲

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

صنعتی معمولاً یکی از عمده‌ترین صنایع آلاینده محیط‌زیست به شمار می روند. فاضلاب‌های رنگی در صنایع مختلفی ازجمله صنایع نساجی، رنگرزی، صنایع داروسازی، صنایع غذایی، تولید مواد آرایشی و بهداشتی، کاغذسازی، چرم‌سازی و صنایعی از این قبیل تولید می‌شوند(۱). بیش‌تر ترکیبات رنگی در ساختار خود دارای یک یا چند حلقه بنزنی هستند(۲). عموماً بیش‌تر رنگ‌های مصرف شده در صنعت دارای ویژگی سرطان‌زایی و جهش‌زایی می‌باشند و می‌توانند باعث آلرژی، درماتیت، سوزش پوست و سرطان در انسان گردند. با توجه به اهمیت ترکیبات رنگی، نیاز است که پساب صنایع حاوی ترکیبات رنگی قبل از تخلیه به محیط زیست با استفاده از روش‌های مناسب مورد تصفیه قرار گیرد(۳).

رنگ‌های بسیار مختلفی در پساب صنایع وجود دارد که رنگ راکتیو آبی ۱۹، جزو رنگ‌های آنیونی و آنتروکوینون بوده و بعد از رنگ‌های آزو، جزو پر مصرف‌ترین رنگ‌ها محسوب می‌شود. رنگ راکتیو آبی ۱۹ در محیط‌های طبیعی پایدار و در مقابل نور و عوامل شیمیایی بسیار مقاوم است و تخلیه پساب‌های ح وی آن به محیط زیست منجر به بروز صدمات شدید و غیر قابل جبرانی خواهد شد(۵،۴). جهت حذف ترکیبات رنگی از پساب قبل از تخلیه در محیط زیست روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی از جمله اکسیداسیون پیشرفته، فرایندهای الکتروشیمیایی و فیلتراسیون غشایی مورد بررسی قرار گرفته است که با وجود درصد بالای حذف رنگ در این فرآیندها تشکیل محصولات جانبی و هزینه آن‌ها یک مشکل محسوب می‌گردد(۷،۶). از بین روش‌های فیزیکی فرایند جذب سطحی یکی از روش‌های ارزان قیمت و مناسب جهت کاهش غلظت رنگ‌های حل شده در محلول‌های آبی می‌باشد(۸). امروزه استفاده از جاذب‌هایی با هزینه ارزان‌تر و راندمان بالاتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. سرخس آزولای فلیکولوییدس یک گونه‌ای آبزی و بومی استان‌های شمالی کشور و ارزان قیمت می‌باشد که به راحتی در بیش‌تر مناطق حاره‌ای و نیمه حاره‌ای در آب‌های راکد، جریان‌های با شیب کم، دریاچه‌ها و با تلاق‌ها یافت می‌شود.

زرولی و همکاران در سال ۲۰۱۴ در مطالعه‌ای با عنوان کاربرد پودر اصلاح شده آزولا فیلیکولوییدس برای جذب رنگ اسید سیاه ۱ از محلول آبی به این نتیجه رسیدند که درصد حذف رنگ اسید سیاه ۱ با افزایش غلظت رنگ اولیه کاهش و با افزایش زمان تماس و جاذب افزایش یافته است. بالاترین درصد حذف جذب در pH=۲ مشاهده شد. به‌طور کلی پودر آزولای اصلاح شده می‌تواند توانایی بالا در حذف این رنگ داشته باشد. بنابراین، می‌توان آن را به عنوان جاذب ارزان و موثر درتصفیه پساب نساجی استفاده کرد(۹). در پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۶، بلارک و همکاران با عنوان معادلات حذف رنگ سبز اسیدی ۳، از محیط‌های آبی از آزولا فلیکولوئیدس به عنوان جاذب استفاده کردند(۶). در بیش‌تر مناطق دنیا به دلیل خاصیت جذبی گیاه آبزی آزولا به عنوان جاذبی با کارایی مناسب، جذب سریع و جاذبی ارزان قیمت برای حذف ترکیبات آلی و فلزات سنگین استفاده می‌شود(۱۰). با توجه به این که هیچ نوع تحقیقی در داخل وخارج ازکشور در مورد جذب رنگ راکتیو بلو ۱۹ توسط گیاه آزولا صورت نگرفته بود و با توجه به فراوانی و ارزان بودن گیاه آزولا و مشکل زیست محیطی آن برای تالاب و دریاچه‌های کشور، جایگزین مناسبی برای جاذب‌های معدنی می‌باشد(۱۱). هدف اصلی از این تحقیق، ارزیابی اثر متغیرهای مستقل از جمله زمان تماس، pH، دما، دوز جاذب وغلظت رنگزا برعملکرد راندمان جذب رنگزای راکتیو بلو ۱۹ به وسیله جاذب‌های تهیه شده از گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس (پودر، پودر اصلاح شده و کربن اصلاح شده) و تعیین بهترین مدل ایزوترمی و سینتیکی جذب رنگ مورد مطالعه می‌باشد.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

مواد و روش ها

روش بررسی

ایـن تحقیـق مطالعـه‌ای تجربـی (Experimental) است که در مقیاس آزمایشگاهی و به صـورت ناپیوسـته (Batch) انجام گرفت.

مواد شیمیایی مورد استفاده

رنگ راکتیو آبی ۱۹ برای استفاده در این پـژوهش از شرکت شیمی پخش نوین اصفهان تهیه گردید. برخی خصوصیات این رنگ در جدول شـماره ۱ آمـده اسـت. جهـت تنظـیم pH از pH متـر مـدل CALIMATIC و محلـول‌هـای اسـید کلریـدریک (HCL) یـک نرمـال و هیدروکسید سدیم (NaOH) یک نرمال ساخت شرکت مرک آلمان استفاده شد.

جدول شماره ۱: برخی ویژگی های رنگ Reactive Blue 19

مشخصات	
فرمول ملکولی	$C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S$
نام علمی رنگزا	Reactive Blue 19
وزن ملکولی	626/5 g/mol
حلالیت درآب	$gL^{-1}70$
حداکثر طول موج جذب	594 nm

تهیه استوک رنگ

تمامی آزمایش‌ها و ساخت محلـول‌هـای اسـتاندارد رنگ بر اساس رهنمودهای کتاب روش‌هـای اسـتاندارد آزمـایش‌هـای آب و فاضـلاب (اسـتاندارد متـد) انجـام گرفت. جهت تهیه محلول سـنتتیک از آب دو بـا تقطیـر استفاده گردید. محلول اسـتوک (1000 ppm) رنـگ بـا اسـتفاده از حـل کـردن مقـدار ۱ گـرم در لیتـر از رنـگ راکتیو بلو ۱۹ در آب دیونیزه تهیه شد. سایر غلظت ها با رقیق سازی استوک حاصل شد(۱۰).

مشخصات راکتور

در این بررسی از یک فرآیند راکتور آزمایشـگاهی منقطـع اسـتوانه‌ای شـکل بـا حجـم مـوثر ۲۵۰ میلـی‌لیتـر (ارتفاع ۱۵ و قطر ۵ سانتی متـر) از جـنس اسـتیل جهـت تولید کربن از پـودر خشـک شـده آزولا فلیکولوییـدس استفاده گردید.

آماده سازی جاذب ها

جمـع‌آوری گیـاه آبـزی آزولا فلیکولوییـدس از تالاب بندرانزلی انجام گردید. در آزمایشگاه شسـته شـد و برای خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در نور خورشید قـرار داده شـد. سـپس بـا اسـتفاده از الـک اسـتاندارد (American Society for Testing and Materials= ASTM) مش ۶۵ برای دانه‌بندی یکنواخت جاذب استفاده شد. در این بررسی از سه حالت پودر خشک شده، پودر خشک شده اصلاح شده و کربن اصلاح شده استفاده گردید.

تهیه کربن آزولا فیلیکولوییدس

بـرای بـه دسـت آوردن کـربن پـودر خشـک شـده آزولا فیلیکولوییـدس مقـداری از پـودر خشـک شـده داخـل راکتـور قـرار داده شـد و راکتـور درون کـوره الکتریکی مدل LT5/11/B180 در مدت زمان ۲ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت(۱۱).

اصلاح کردن جاذب ها

برای اصلاح کردن پودر خشـک شـده و کـربن بـه دست آمده از گیاه آبزی آزولا فلیکولوییـدس، پـودر و کربن تهیه شـده را هـر کـدام جداگانـه در اسـید کلریـد ریک ۰/۱ مولار برای مدت ۵ ساعت قرار داده شـد(۱۲). سپس توسط آب دوبار تقطیر شستشو و خشک گردید.

مشخصات جاذب ها

در ابتـدای آزمایشـات، مشخصـات جـاذب شـامل سـطح ویـژه، مرفولـوژی سـطح و گـروه‌هـای عـاملی مشـخص گردیـد. سـطح ویـژه بـر اسـاس آزمـایش بـت (Brunauer, Emmett & Teller= BET) و با استفاده از دسـتگاه مـدل BElSORP Mini سـاخت ژاپـن صـورت گرفت. ساختار سطحی جاذب بـا اسـتفاده از میکروسـکوپ الکترونـی (Scanning Electron Microscopy=SEM)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

مدل VP 1450 ساخت کشور آلمان و برای تعیین گروه‌های عاملی موجود در سطح جاذب‌ها از تکنیک طیف سنجی مادون قرمز (Fourier Transform Infrared =FTIR) در گسترده cm^{-1} ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ با استفاده از دستگاه مدل Model 1600 ساخت کشور آمریکا استفاده گردید.

pHpzc

pHpzc از مهم‌ترین خصوصیات هر جاذب می‌باشد که در این آزمایش تعیین شد. برای تعیین pHpzc از محلول نمک طعام ۰/۰۱ مولار به عنوان الکترولیت و از محلول‌های سود و اسید کلریدریک ۰/۱ مولار به عنوان عوامل کنترل‌کننده استفاده گردید. مقدار ۳۰ میلی‌لیتر از محلول الکترولیت در ۱۱ ارلن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و pH محلول‌ها با استفاده از اسید هیدروکلریدریک و سود بین ۲ تا ۱۱ تنظیم شد. مقدار ۰/۵ گرم از آزولا در هر کدام از ارلن‌ها اضافه و به منظور کنترل نتایج یک ارلن محتوی الکترولیت و فاقد جاذب به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. سپس ارلن‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت بر روی شیکر انکوباتور مدل SHYSC با سرعت ۱۵۰ rpm قرار داده شدند و بعد از سپری شدن زمان ۴۸ ساعت، pH نهایی محتویات ارلن‌ها بعد از عبور از صافی قرائت گردید. نقطه pHpzc از رسم مقادیر اولیه در برابر مقادیر نهایی pH تعیین گردید(۱۴).

آزمایشات جذب

این بررسی در شرایط آزمایشگاهی به صورت ناپیوسته انجام گرفت. آزمایشات جذب بر روی محلول‌های آبی حاوی غلظت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر رنگ انجام گردید. در این تحقیق با تغییر فاکتورهای موثر pH (۲-۱۱)، غلظت اولیه رنگ راکتیو آبی ۱۹ (۵-۱۰-۲۵-۵۰-۷۵-۱۰۰) میلی‌گرم بر لیتر، جرم جاذب (۰/۲ -۰/۵ -۰/۷۵-۱-۲) گرم در لیتر، زمان واکنش (۵-۱۰-۱۵-۳۰-۴۵-۶۰-۱۲۰) دقیقه، سنتیک واکنش در سرعت‌های (۱۰۰-۲۰۰-۳۰۰-۴۰۰) rpm و دمای واکنش (۵-۱۰-۲۰-۲۵-۳۵-۵۰) درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. تمامی متغیرها بر اساس مطالعات قبلی انجام شده، انتخاب گردید. آزمایشات در ارلن‌هایی با حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر انجام گرفت. برای بررسی اثر pH، مقدار ۱ گرم جاذب در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول رنگ راکتیو آبی ۱۹ با غلظت اولیه رنگزا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه و سرعت ۱۵۰ rpm در pH بین ۲ تا ۱۱ برای سه حالت مختلف جاذب به صورت پودر خشک شده، پودر خشک شده اصلاح شده و کربن اصلاح شده بررسی گردید. برای تعیین زمان تماس بر میزان ظرفیت جذب، مقدار ۱ گرم جاذب در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول رنگ راکتیو آبی ۱۹ با غلظت اولیه رنگزا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و سرعت ۱۵۰ rpm در pH برابر ۲ مخلوط تهیه شد. سپس نمونه‌ها روی شیکر گذاشته شده و در زمان‌های تماس مختلف بین ۵ تا ۱۲۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفتند. سایر متغیرها از جمله غلظت اولیه رنگزا، جرم جاذب و دما با ثابت نگه داشتن متغیرهای بهینه شده و تغییر در متغیر مورد نظر مورد بررسی قرار گرفتند. در هر مرحله پس از اتمام زمان همزدن توسط دستگاه شیکر انکوباتور، رنگ راکتیو آبی ۱۹ موجود در محلول باقیمانده توسط دستگاه جذب اسپکتوفتومتری مدل PG80 در طول موج ۵۹۴ قرائت و ظرفیت جذب و درصد حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ با دوبار تکرار آزمایش توسط رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه گردید. در این رابطه qe ظرفیت جذب در زمان تعادل بر حسب میلی‌گرم بر گرم، C_0 غلظت اولیه آلاینده بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، C_e غلظت باقی مانده آلاینده (ثانویه) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، V حجم نمونه بر حسب میلی‌لیتر، M مقدار جاذب بر حسب میلی‌گرم و R راندمان حذف می باشد(۱۵).

$$qe = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \quad (1)$$

$$R\ (\%) = (1-(C_0 - C_e)) \times 100 \quad (2)$$

برای محاسبه تعداد نمونه از روش بهینه‌سازی پارامترها استفاده گردید. تعداد کل نمونه از جمع جبری تعداد آزمایشات به دست آمد که برای یک دور آزمایش

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

برای جاذب، ۳۳ نمونه به‌دست آمد. با توجه به سه حالت مختلف پودر خشک شده، پودر اصلاح شده و کربن اصلاح شده (۹۹=۳×۳۳) و دو بار تکرار تمامی آزمایشات (۲×۹۹)، بنابراین تعداد نمونه‌ها برابر ۱۹۸ خواهد بود.

ایزوترم جذب

ایزوترم جذب از مهم‌ترین ویژگی‌هایی است که باید در بررسی‌های جذب آلاینده‌ها بر روی جاذب‌های متفاوت مورد توجه باشد. ایزوترم جذب مسئله‌ای مهم در توصیف چگونگی تأثیر مقدار ماده حل شده با جاذب است. جهت تعیین مطابقت نتایج با ایزوترم‌های جذب از معادلات ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ و بت استفاده گردید.

ایزوترم لانگمویر

مدل جذب لانگمویر بر مبنای جذب یک لایه‌ای و یکنواخت (همگن) ماده جذب شونده با انرژی یکسان بر تمام سطوح روی جاذب است و به عبارتی بیان می‌کند که فرآیند جذب فقط در مکان‌هایی خاص و یکنواخت صورت می گیرد. رابطه شماره ۳، نشان‌دهنده مدل خطی ایزوترم لانگمویر می‌باشد.

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K} + \frac{1}{q_m} c_e \qquad (۳)$$

در این رابطه، q_e مقدار جزء جذب شده در واحد جرم جسم جاذب بر حسب میلی‌گرم بر گرم، c_e غلظت تعادلی ماده جذب شدنی در محلول بعد از جذب سطحی برحسب میلی‌گرم بر لیتر، q_m نشان‌دهنده حداکثر ظرفیت جذب و K ثابت لانگمیر می‌باشد.

ایزوترم فروندلیچ

این مدل تجربی جذب غیر ایده آل بر روی سطح هتروژن و هم‌چنین جذب چند لایه ای را نشان می‌دهد. (مدل *فروندلیچ* براساس جذب چند لایه بر روی مکان‌های جذب هتروژن و دارای و دارای انرژی‌های نا برابر و غیرهمسان بنا نهاده شده است. به عبارات دیگر فروندلیچ جذب را در یک سطح ناهمگون از نظر انرزی بیان می‌کند.) رابطه شماره ۴ نشان‌دهنده مدل خطی ایزوترم فروندلیچ می‌باشد.

$$\log q_e = \log k + \frac{1}{n} \log c_e \qquad (۴)$$

در این رابطه c_e غلظت باقیمانده در محلول در حالت تعادل بر حسب میلی‌گرم در لیتر، q_e ظرفیت جذب در زمان تعادل برحسب میلی‌گرم بر گرم، n و K ثابت‌های فروندلیخ می‌باشند.

ایزوترم بت

این مدل بیان‌کننده جذب چند لایه‌ای می‌باشد. رابطه شماره ۵ نشان‌دهنده مدل خطی ایزوترم فروندلیچ می‌باشد.

$$q = (K_B.C.q_m)/\{(C_S - C).[1+(K_B - 1).(C/C_S)]\} \qquad (۵)$$

در این رابطه، C غلظت باقیمانده در محلول در حالت تعادل بر حسب میلی‌گرم در لیتر، q_e ظرفیت جذب در زمان تعادل بر حسب میلی‌گرم بر گرم، KB ثابت‌های بت، C_s غلظت اشباع یون‌های فلزی در محلول بر حسب میلی‌گرم در لیتر می‌باشند(۱۶-۱۴).

سینتیک جذب

معادلات سینتیک به بررسی رفتار انتقال ذرات ماده جذب شونده در واحد زمان و یا به بررسی متغیرهای موثر برسرعت واکنش می‌پردازد وسرعت واکنش را تعیین می‌کند. برای بررسی عوامل موثر بر سرعت واکنش فرآیند جذب ماده رنگزای راکتیو بلو ۱۹ بر روی جاذب آزولا مدل‌های سینتیکی شبه درجه اول و دوم مورد بررسی قرار گرفت. رابطه خطی این دو مدل به ترتیب به صورت معادله ۵ و ۶ است.

$$\ln\left(1 - \frac{q_t}{q_e}\right) = -k_1 t \qquad (۶)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^{\,2}} + \frac{1}{q_e} t \qquad (۷)$$

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

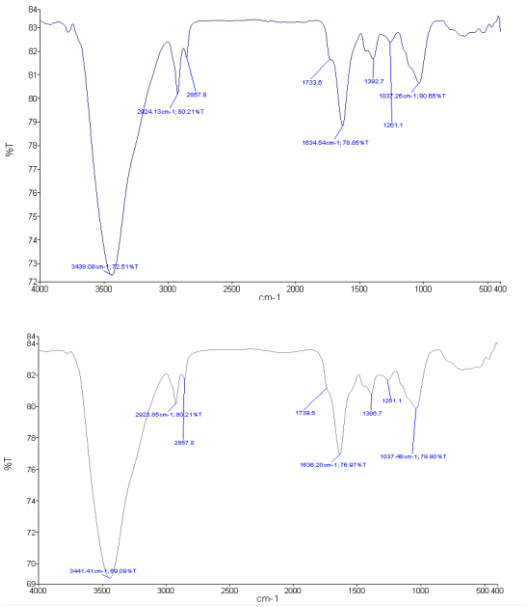
در رابطه‌های ۶ و ۷، k_1 و k_2 به ترتیب ضریب سرعت (min^{-1}) و ثابت واکنش شبه درجه دوم بر حسب mg/(gmin)، q_e ظرفیت جذب در زمان تعادل و q_t ظرفیت جذب در زمان t بر حسب mg/g است. مقادیر q_e و k_1 در رابطه شماره ۵ به ترتیب عرض از مبدا و شیب نمودار خط $\ln(q_e-q_t)$ در مقابل t است. در رابطه شماره ۶، مقادیر q_e و k_2 می‌تواند از طریق عرض از مبدا و شیب نمودار خطی t/qt در مقابل t تعیین گردد.

یافته ها

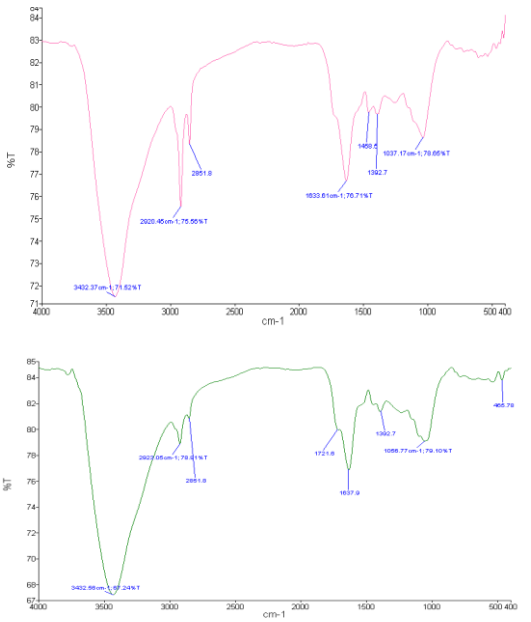
ویژگی های جاذب

نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب غالب در اجزای موجود در ساختار آزولا، کربن و اکسیژن می باشند. در این آزمایشات، مشخصات جاذب مانند سطح ویژه، مرفولوژی سطح وگروه‌های عاملی مشخص گردید. ساختار سطحی جاذب قبل و بعد از تماس با رنگ راکتیو بلو ۱۹ با استفاده از آزمایش SEM آنالیز گردید. آزمایش SEM بیانگر آن بود که ذرات آزولا دارای ساختار غیرمتبلور بوده و دارای خلل و فرج و سطوح مناسب برای جذب است(۱۷). سطح ویژه جاذب توسط آزمایش BET تعیین گردید. نتیجه آزمایش BET نشان داد که جاذب داری حجم کل تخلخل آن برابر با ۰/۱۰۱ سانتی‌متر مکعب بر گرم بود. سطح ویژه ۷۰ m^2/gr می‌باشد که سطح ویژه نسبتاً مناسبی است. از تکنیک FTIR برای تعیین گروه‌های عاملی موجود در سطح جاذب‌ها استفاده گردید. نتیجه آزمایش FTIR نشان می‌دهد که گروه‌های عاملی سطح جاذب نقش موثری در عمل جذب رنگ راکتیو بلو ۱۹ داشته است. پیک در طول موج cm^{-1} ۱۰۰۰ تا $1300cm^{-1}$ مربوط به گروه C-O می‌باشد که طیف برای جاذب پودر خشک شده (نمودار شماره ۱) دارای فرکانس $1037cm^{-1}$ در قبل و فرکانس $1037cm^{-1}$ در بعد از استفاده از جاذب، برای جاذب پودر اصلاح شده (نمودار شماره ۲) دارای فرکانس $1056cm^{-1}$ درقبل وفرکانس $1037cm^{-1}$ در بعد از استفاده از جاذب و برای جاذب کربن اصلاح شده (نمودار شماره ۳) آزولا دارای فرکانس $1042cm^{-1}$ در قبل و فرکانس $1055cm^{-1}$ در بعد از استفاده از جاذب به دست آمد. پیک در طول موج cm^{-1} ۱۵۰۰ تا $1600cm^{-1}$ مربوط به گروه آلکین‌ها C=C می‌باشد که طیف برای جاذب پودر خشک شده (نمودار شماره ۱) دارای فرکانس $1636cm^{-1}$ در قبل و فرکانس $1636cm^{-1}$ در بعد از استفاده از جاذب، برای جاذب پودر اصلاح شده (نمودار شماره ۲) دارای فرکانس cm^{-1} ۱۶۳۷ در قبل و فرکانس cm^{-1} ۱۶۳۳ در بعد از استفاده از جاذب و برای جاذب کربن اصلاح شده (نمودار شماره ۳) آزولا دارای فرکانس $1591cm^{-1}$ در قبل و فرکانس cm^{-1} ۱۶۳۲ در بعد از استفاده از جاذب به دست آمد. پیک در طول موج cm^{-1} ۲۵۸۰ تا cm^{-1} ۳۰۰۰ مربوط به گروه آلکان‌ها (CH) می‌باشد که طیف برای جاذب پودر خشک شده (نمودار شماره ۱) دارای فرکانس $2920cm^{-1}$ در قبل و فرکانس cm^{-1} ۲۹۲۴ در بعد از استفاده از جاذب، برای جاذب پودر اصلاح شده (نمودار شماره ۲) دارای فرکانس cm^{-1} ۲۹۲۳ در قبل و فرکانس cm^{-1} ۲۹۲۰ در بعد از استفاده از جاذب و برای جاذب کربن اصلاح شده (نمودار شماره ۳) آزولا دارای فرکانس $2923cm^{-1}$ در قبل و فرکانس cm^{-1} ۲۹۲۰ در بعد از استفاده از جاذب به دست آمد. پیک در طول موج cm^{-1} ۳۲۰۰ تا cm^{-1} ۳۵۵۰ مربوط به گروه الکل‌ها و فنل‌ها (OH) می‌باشد که طیف برای جاذب پودر خشک شده (نمودار شماره ۱) دارای فرکانس cm^{-1} ۳۴۴۱ در قبل و فرکانس $3438cm^{-1}$ در بعد از استفاده از جاذب، برای جاذب پودر اصلاح شده (نمودار شماره ۲) دارای فرکانس $3432cm^{-1}$ در قبل و فرکانس cm^{-1} ۳۴۳۲ در بعد از استفاده از جاذب و برای جاذب کربن اصلاح شده (نمودار شماره ۳) آزولا دارای فرکانس $3428cm^{-1}$ در قبل و فرکانس cm^{-1} ۳۴۳۸ در بعد از استفاده از جاذب به دست آمد. برای تعیین بار سطح جاذب از آزمایش pH نقطه صفر الکتریکی (point of zero charge =pHZPC) استفاده گردید.

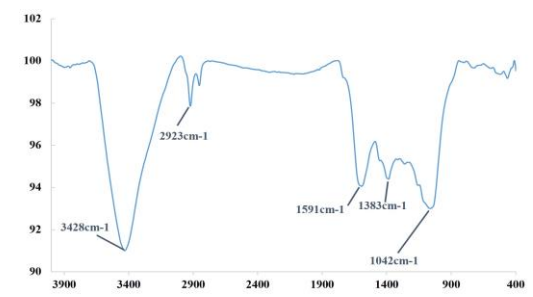
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

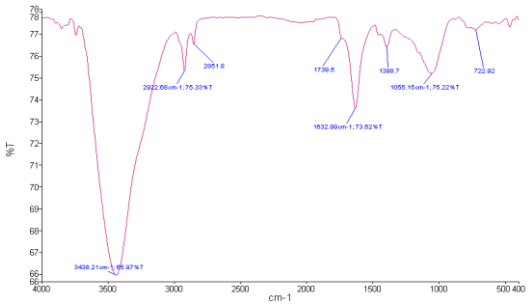


نمودار شماره ۱: تصویر FTIR گیاه آبزی آزولا فلیکولوئیدس به صورت پودر خشک شده قبل استفاده (الف) –بعد از استفاده (ب)



نمودار شماره ۲: تصویر FTIR گیاه آبزی آزولا فلیکولوئیدس به صورت پودر اصلاح شده قبل استفاده (الف) –بعد از استفاده (ب)

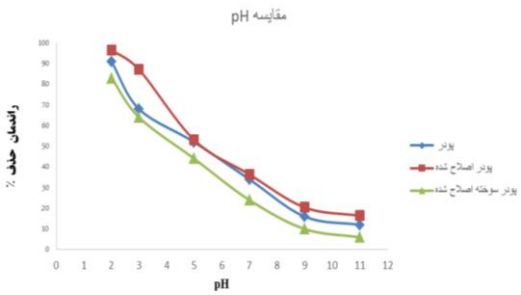




نمودار شماره ۳: تصویر FTIR گیاه آبزی آزولا فلیکولوئیدس به صورت کربن اصلاح شده قبل استفاده (الف) –بعد از استفاده (ب)

تاثیر pH

pH از پارامترهای اصلی در آزمایشات است. تاثیر pH بر روی ظرفیت جذب و راندمان جذب در این بررسی با تغییر در دادهای حاصل شده از آزمایش تعیین pH در دامنه بین ۲ تا ۱۱، غلظت اولیه رنگزا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، جرم جاذب ۱ گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه و سرعت ۱۵۰ rpm برای سه حالت مختلف جاذب به صورت پودر خشک شده، پودر خشک شده اصلاح شده و کربن اصلاح شده بررسی گردید. در نمودار شماره ۴، نتایج حاصل از تاثیر pH بر روی راندمان جذب نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که با کاهش pH، راندمان جذب افزایش یافته است. به نحوی که با تغییر pH از ۱۲ به ۲، راندمان جذب رنگ راکتیو بلو برای ۱۹ حالت پودر خشک شده از ۱۲ درصد به ۹۱ درصد، برای حالت پودر اصلاح شده از ۱۶ درصد به ۹۷ درصد و برای حالت کربن اصلاح شده از ۶ درصد به ۸۳ درصد افزایش یافت.

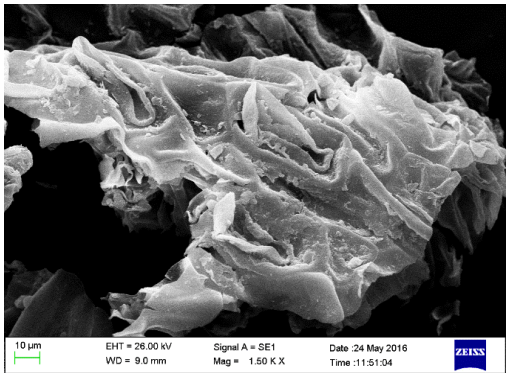


نمودار شماره ۴: تاثیر pH (غلظت رنگ: ۵۰ میلی گرم در لیتر– جرم جاذب ۱ گرم در لیتر –زمان تماس ۶۰ دقیقه سرعت ۱۵۰ rpm)

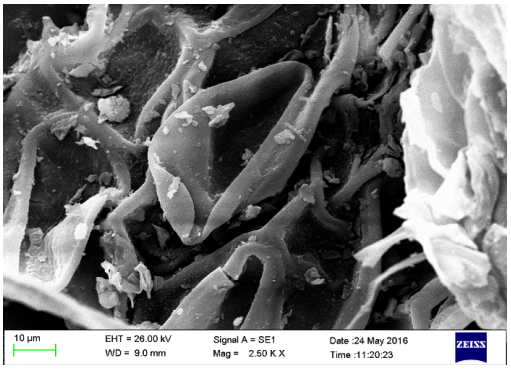
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

تاثیر غلظت اولیه رنگزا و زمان تماس

در این بررسی زمان های ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه و غلظت اولیه رنگ راکتیو آبی ۱۹ (۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰) میلی گرم بر لیتر، برای سه حالت مختلف جاذب به صورت پودر خشک شده، پودر خشک شده اصلاح شده و کربن اصلاح شده تحت شرایط (pH ۲، دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، جرم جاذب ۱ گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه، سرعت ۱۵۰ rpm) مورد آزمایش قرار گرفت. بررسی تصاویر شماره ۱، ۲ و ۳ نشان داد که با افزایش زمان تماس تا ۶۰ دقیقه برای حذف راکتیو بلو ۱۹ توسط هر سه حالت پودر خشک شده، پودر خشک شده اصلاح شده و کربن اصلاح شده، ظرفیت جذب افزایش و بعد از این زمان ظرفیت جذب تقریباً به حالت تعادل می‌رسد. لذا زمان ۶۰ دقیقه به عنوان زمان بهینه انتخاب گردید.

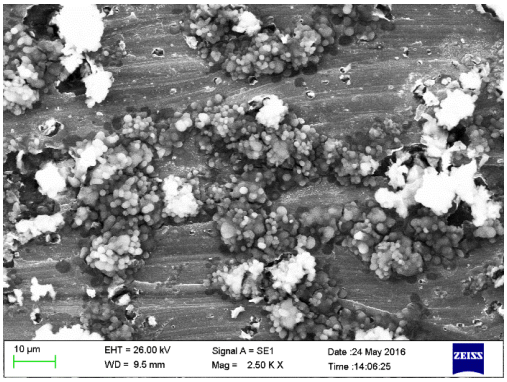


الف

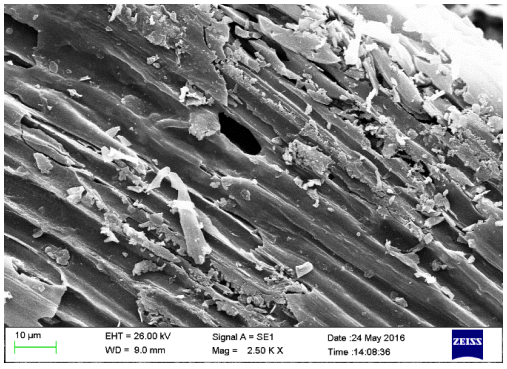


ب

تصویر شماره ۱: تصویر SEM گیاه آبزی آزولا فلیکولوئیدس به صورت پودر خشک شده قبل استفاده (الف) –بعد از استفاده (ب)

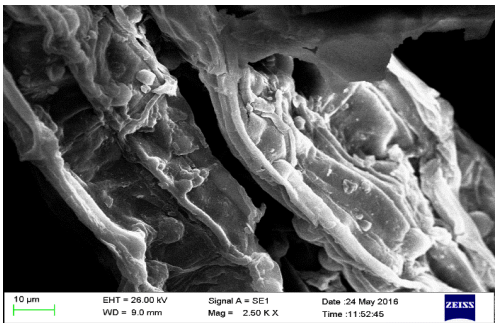


الف

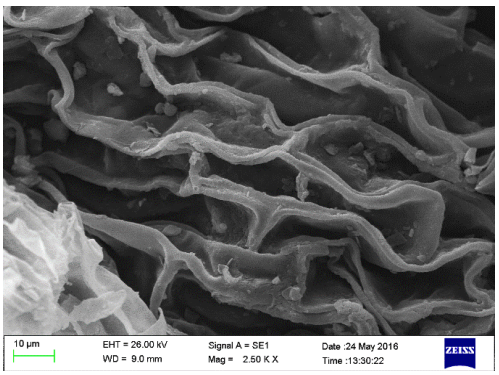


ب

تصویر شماره ۳: تصویر SEM گیاه آبزی آزولا فلیکولوئیدس به صورت کربن اصلاح شده قبل استفاده (الف) –بعد از استفاده (ب)



الف

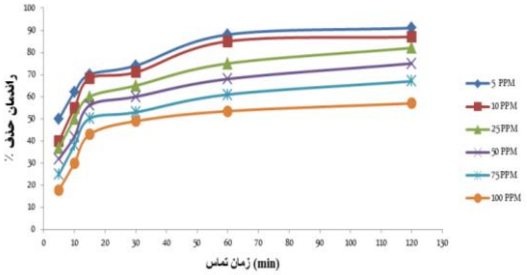


ب

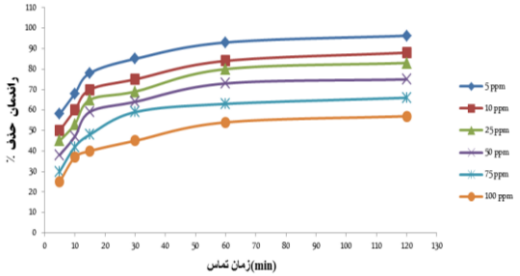
تصویر شماره ۲: تصویر SEM گیاه آبزی آزولا فلیکولوئیدس به صورت پودر اصلاح شده قبل استفاده (الف) –بعد از استفاده (ب)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

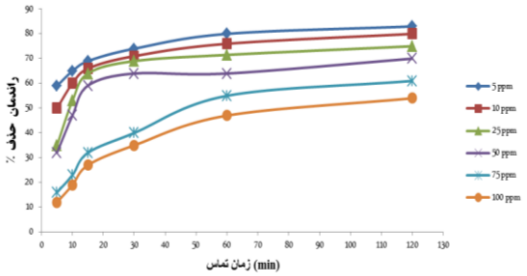
با بررسی نمودارهای شماره ۵، ۶ و ۷ مشخص شد که بیش‌ترین راندمان جذب راکتیو بلو ۱۹ به ترتیب برای حالت پودر اصلاح شده حالت پودر خشک شده و کربن اصلاح شده است.



نمودار شماره ۵: تاثیر غلظت اولیه رنگزا و زمان تماس توسط پودر خشک شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس (جرم جاذب ۱ گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه، سرعت rpm ۱۵۰)



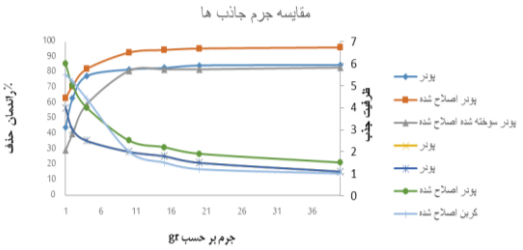
نمودار شماره ۶: تاثیر غلظت اولیه رنگزا و زمان تماس توسط پودر اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس (جرم جاذب ۱ گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه، سرعت rpm ۱۵۰)



نمودار شماره ۷: تاثیر غلظت اولیه رنگزا و زمان تماس توسط کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس (جرم جاذب ۱ گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه، سرعت rpm ۱۵۰)

تاثیر جرم جاذب

بررسی اثر دوز جاذب تحت شرایط (غلظت رنگ: ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه، سرعت rpm ۱۵۰) مورد بررسی قرارگرفت. با بررسی نمودار شماره ۸ مشاهده می‌شود که با افزایش جرم جاذب، راندمان جذب روند صعودی داشته است. به دلیل اقتصادی بودن، مقدار جاذب ۱ گرم در لیتر انتخاب شد. به نحوی که با افزایش مقدار جاذب تا مقدار ۱۰ گرم در لیتر، راندمان حذف رنگ راکتیو بلو برای ۱۹، حالت پودر خشک شده از ۴۴ درصد به ۸۵ درصد، برای حالت پودر اصلاح شده از ۶۳ درصد به ۹۶ درصد و برای حالت کربن اصلاح شده از ۳۰ درصد به ۸۳ درصد افزایش یافت.



نمودار شماره ۸: تاثیر جرم جاذب توسط پودر خشک شده، پودر اصلاح شده و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس (غلظت رنگ: ۵۰ میلی گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه، سرعت rpm ۱۵۰)

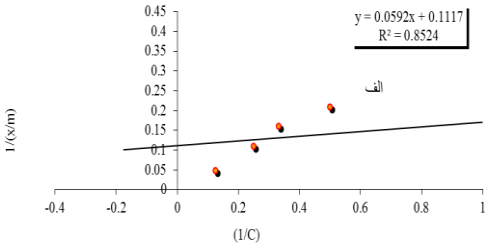
تاثیر دمای محلول

تاثیر دماهای مختلف بر فرآیند جذب نیز تحت شرایط (غلظت رنگ: ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، جرم جاذب ۱ گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه، سرعت rpm ۱۵۰) در دمای بین ۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد توسط شیکر انکوباتور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که وقتی که دمای محلول از افزایش می یابد، ظرفیت جذب نیز برای غلظت‌ی اولیه ماده رنگزا افزایش می‌یابد. افزایش دما از طریق افزایش حلالیت ماده رنگزا و به دنبال آن افزایش برخوردهای موثر بین ماده جذب شونده و جاذب و افزایش اندازه منافذ روی سطح جاذب، منجر به افزایش میزان جذب آلاینده می‌گردد. تاثیر مستقیم دما روی مقدار جذب بر طبق نتایج به دست آمده بیانگر این مطلب است که ماهیت جذب شیمیایی ماده رنگزا راکتیو آبی ۱۹، گرماگیر است.

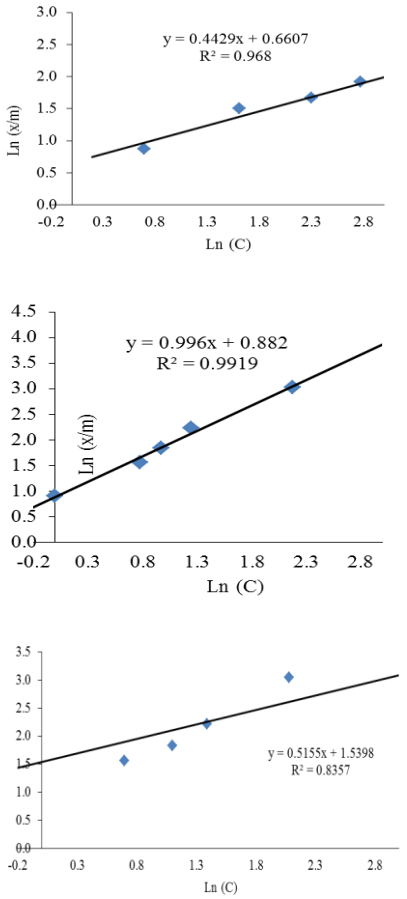
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

تاثیر ایزوترم جذب

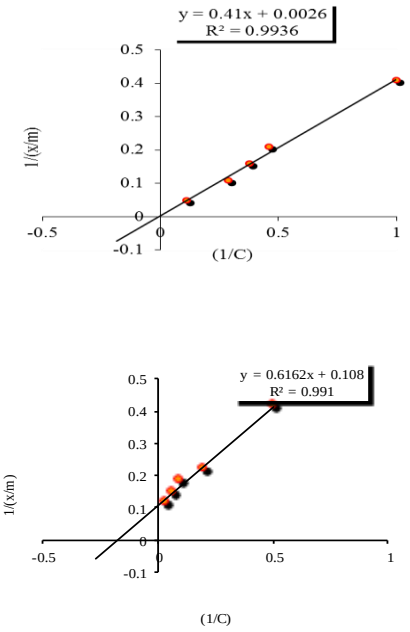
ایزوترم‌های جذب از مهم‌ترین ویژگی‌هایی است که باید در بررسی‌های جذب آلاینده‌ها بر روی جاذب‌های متفاوت مورد توجه باشد. جهت تعیین مطابقت نتایج با ایزوترم‌های جذب از معادلات ایزوترم جذب لانگمویر، فروندلیچ و بت استفاده گردید. با توجه به مقادیر رگرسیون هر یک از ایزوترم‌ها در جدول شماره ۲، مشخص گردید که نتایج به دست آمده با ایزوترم لانگمویر مطابقت بیش‌تری دارد(۱۶). جهت تعیین مدل‌های ایزوترمی، از دزهای مختلف جاذب به محلول‌های رنگ با غلظت ۵ mg/L، ۱۰ و ۲۵ اضافه شدند. محلول های مورد نظر بر روی شیکر انکوباتور با شدت اختلاط ۱۵۰ rpm و دمای محیط قرار داده شد و بعد از گذشت ۶۰ دقیقه، غلظت‌های باقیمانده رنگ به روش اسپکتروفتومتری تعیین مقدار گردید (نمودارهای شماره ۹ و ۱۰).



نمودار شماره ۹: تایزوترم جذب لانگمویر سه حالت مختلف جاذب به صورت پودر خشک شده (الف)، پودر خشک شده اصلاح شده (ب) و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فلیکولوییدس (ج)



نمودار شماره ۱۰: تایزوترم جذب فروندلیچ توسط سه حالت مختلف جاذب به صورت پودر خشک شده (الف)، پودر خشک شده اصلاح شده (ب) و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فلیکولوییدس (ج)



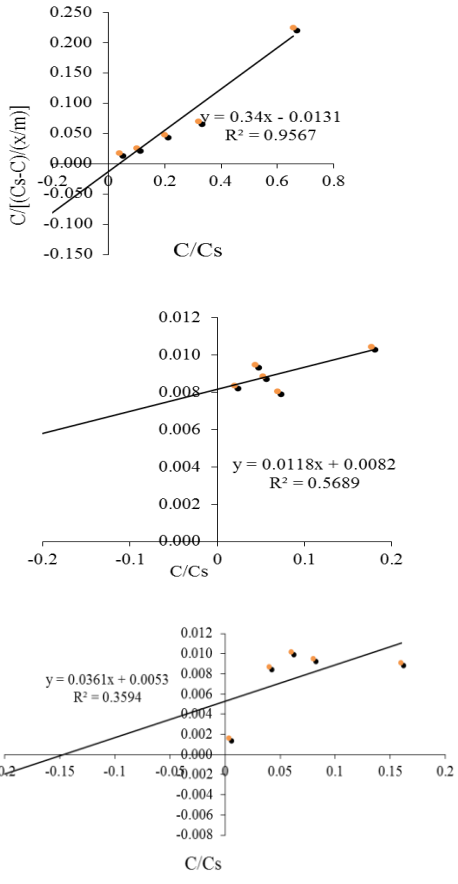
جدول شماره ۲: پارامترهای سه مدل جذب لانگمویر ، فروندلیچ و بت

جاذب	ایزوترم								
	لانگمویر			فروندلیچ			بت		
	qm (mg/g)	b (L/mg)	R2	Kf	n	R2	Xm (mg/g)	A (g/mg min)	R2
پودر خشک شده	۹/۲۵	۰/۱۷۵	۰/۹۹۱	۱/۹۴	۲/۲۵	۰/۹۶۸	۳۰	۸	۰/۹۵۶
پودر اصلاح شده	۳۸۴	۰/۰۰۶۴	۰/۹۹۳	۶۴	۱/۹۴	۰/۹۹۱	۲۴	۲/۴۵	۰/۵۶۸
کربن اصلاح شده	۷۴/۵۵	۰/۰۶۷	۰/۸۵۲	۱	۲/۴۲	۰/۸۳۵	۲/۴	۷	۰/۳۶

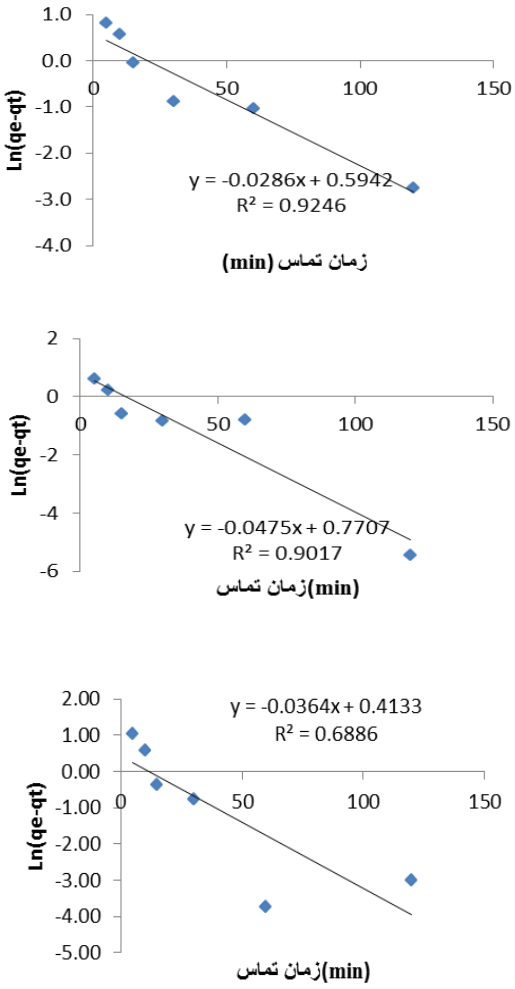
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

تاثیر سینتیک جذب

بررسی سینتیک های جذب رنگزای راکتیو بلو ۱۹ بر روی جاذب گیاه آبزی آزولا فلیکولوییدس با استفاده از دو مدل سینتیکی شبه درجه اول و دوم مورد بررسی قرار گرفت. جدول ضرایب و نمودارهای مربوط به مدل سینتیکی شبه درجه اول و دوم در زیر نشان داده شده است. جهت تعیین مدل‌های ایزوترمی، در زمان‌های مختلف، مقدار ۱۰ گرم در لیتر جاذب به محلول‌های رنگ با غلظت ۵، ۱۰ و ۲۵ mg/L در pH برابر ۲ اضافه شدند. محلول‌های مورد نظر بر روی شیکر انکوباتور با شدت اختلاط ۱۵۰ rpm و دمای محیط قرار داده شد. سپس غلظت‌های باقیمانده رنگ به روش اسپکتروفتومتری تعیین مقدار گردید (نمودارهای شماره ۱۱ و ۱۲ و ۱۳).

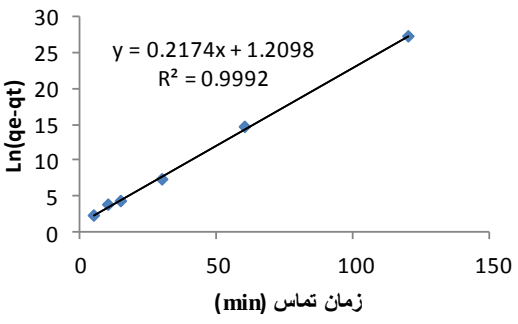


نمودار شماره ۱۱: تایزوترم جذب بت توسط سه حالت مختلف جاذب به صورت پودر خشک شده (الف)، پودر خشک شده اصلاح شده (ب) و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فلیکولوییدس (ج)

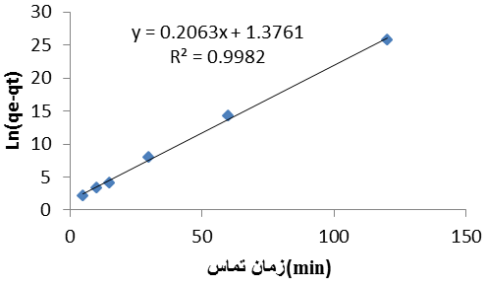


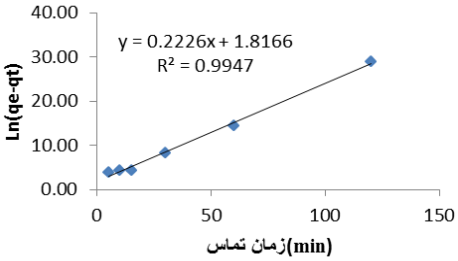
نوع جاذب	qm (mg/g)	$K_1(min^{-1})$	R^2
پودر خشک شده	۹/۲۵	۰/۰۲۸	۰/۹۲۴
پودرخشک شده اصلاح شده	۳۸۴	۰/۰۴۷	۰/۹۰۱
کربن اصلاح شده	۷۴/۵۵	۰/۰۳۶	۰/۶۸۸

نمودار شماره ۱۲: سینتیک جذب شبه درجه اول توسط سه حالت مختلف جاذب به صورت پودر خشک شده (الف)، پودر خشک شده اصلاح شده (ب) و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فلیکولوییدس (ج)



[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]





نوع جاذب	qm (mg/g)	$K_1(min^{-1})$	R^2
پودر خشک شده	۸/۲	۰/۰۲	۰/۹۹۹
پودرخشک شده اصلاح شده	۲۰۰	۰/۰۵	۰/۹۹۸
کربن اصلاح شده	۶۵	۰/۰۲	۰/۹۹۴

نمودار شماره ۱۳: سینتیک جذب شبه درجه دوم توسط سه حالت مختلف جاذب به صورت پودر خشک شده (الف)، پودر خشک شده اصلاح شده (ب) و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس (ج)

بحث

تاثیر pH بر راندمان حذف رنگ راکتیو بلو ۱۹

بررسی نمودار شماره ۴، نشان می دهد که با کاهش pH، میزان جذب رنگ افزایش یافت که این امر به علت بار سطحی جاذب و بار یونی مولکول رنگ است. با کاهش pH، میزان تولید یون H^+ در محیط افزایش یافته است و بار سطحی جاذب مثبت می‌شود و به این ترتیب در pHهای پایین‌تر، میزان جذب این رنگ آنیونی افزایش می‌یابد. طی مطالعه‌ای که زرولی و همکاران بر روی حذف رنگ اسیدی سیاه ۱ با استفاده از جاذب حاصله از گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس انجام داده اند، به این نتیجه رسیدند که بیش ترین میزان حذف در pH اسیدی ۲ اتفاق می‌افتد(۹). هم‌چنین طی مطالعه‌ای که بلارک و همکاران بر روی حذف رنگ آبی اسیدی ۱۵ با استفاده از گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین میزان حذف رنگ آبی اسیدی ۱۵ در pH اسیدی ۳ اتفاق می‌افتد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد(۹).

تاثیر غلظت اولیه بر راندمان حذف رنگ راکتیو بلو ۱۹

بررسی نمودارها مشخص می‌کند که با افزایش غلظت اولیه رنگ، راندمان جذب رنگ راکتیو بلو ۱۹ برای هر سه جاذب پودر خشک شده (نمودار شماره ۵)، پودر اصلاح شده (نمودار شماره ۶) و کربن اصلاح شده (نمودار شماره ۷) کاهش یافت. این امر به این دلیل است که جاذب‌ها دارای محل‌های جذب محدودی می‌باشند و با افزایش غلظت رنگزا، ظرفیت آن‌ها سریع‌تر اشباع شده و راندمان جذب کاهش خواهد یافت. در بررسی که بلارک و همکاران بر روی کارایی حذف فلوراید با استفاده از گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس انجام دادند، مشخص گردید که با افزایش غلظت فلوراید، راندمان حذف کاهش یافت(۱۸). همچنین طی مطالعه‌ای که رخشائی و همکاران بر روی حذف رنگ آبی بازی ۳ با استفاده از گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت رنگ آبی بازی ۳، راندمان حذف راکتیو بلو ۱۹ کاهش یافت که با نتایج این تحقیق مطابقت نشان داد(۲۱).

تاثیر زمان تماس بر راندمان حذف رنگ راکتیو بلو ۱۹

همان‌طور که در نمودارها نشان داده شده است، با افزایش زمان تماس، راندمان جذب برای هر سه جاذب پودر خشک شده (نمودار شماره ۵)، پودر اصلاح شده (نمودار شماره ۶) و کربن اصلاح شده (نمودار شماره ۷) افزایش یافته و پس از ۶۰ دقیقه به تعادل می‌رسد. این امر نشان می‌دهد که گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس دارای راندمان بسیار بالایی در جذب رنگ راکتیو بلو ۱۹ می‌باشد. هم‌چنین منحنی حذف رنگ با گذشت زمان دارای شیب بسیار ملایم و آرامی است که این امر

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

می‌تواند به علت تشکیل یک لایه نازک از رنگ بر روی سطح جاذب باشد. درصد حذف جاذب پودر اصلاح شده گیاه آبزی آزولا بیش‌تر از حالت پودر خشک شده و کربن اصلاح شده است که این امر به علت تفاوت در سطح ویژه جاذب‌ها می‌باشد. پودر اصلاح شده گیاه آبزی آزولا دارای خلل و فرج بیش‌تری بوده است. مطالعه‌ای که سیبنی و همکاران بر روی حذف رنگ اسیدی رد ۱۸ و راکتیو بلک ۵ با استفاده از گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس انجام داده‌اند، به این نتیجه رسیدند که راندمان حذف در با افزایش زمان تماس از ۵ دقیقه به ۱۲۰ دقیقه افزایش یافت که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت(۱۹). طی مطالعه‌ای دیگری که بلارک و همکاران بر روی حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس انجام دادند، نتایج نشان داد که با افزایش زمان، درصد حذف رنگ افزایش و حداکثر درصد حذف در ۹۰ دقیقه صورت گرفت که با نتایج این بررسی مطابقت دارد(۲۲).

تاثیر جرم جاذب بر راندمان حذف رنگ راکتیو بلو ۱۹

با توجه به نمودار شماره ۸ مشاهده می‌شود که با افزایش جرم جاذب، راندمان جذب برای هر سه جاذب پودر خشک شده، پودر اصلاح شده و کربن اصلاح شده، روند صعودی داشته است. زیرا مساحت سطحی و محل‌های جذب قابل دسترس برای جاذب افزایش می‌یابد. ظرفیت جذب به علت محل‌های غیر اشباع در سطح جاذب کاهش می‌یابد. مطالعه‌ای که زرولی و همکاران بر روی حذف فنل با استفاده از گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس خشک شده انجام داده اند، به این نتیجه رسیدند که راندمان حذف فنل با افزایش جرم جاذب افزایش یافت (۲۰). که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. نتایج این بررسی با مطالعه‌ای که خسروی و همکاران در جذب پی-کرزول از محیطهای آبی: بررسی ایزوترم و سینتیک های جذب نجام دادند، مطابقت دارد و در این مطالعه نتایج نشان داد که با افزایش جرم جاذب، راندمان حذف افزایش نشان داد(۱۰).

تاثیر ایزوترم جذب بر راندمان حذف رنگ راکتیو بلو ۱۹

ایزوترم جذب از عوامل مهم در طراحی سیستم‌های جذب است و در حقیقت ایزوترم جذب چگونگی فعل و انفعال بین جسم جذب شونده و جاذب را تشریح می‌کند. بنابراین در بهینه نمودن مصرف یک جاذب و تعیین میزان ظرفیت یک جاذب نقش مهمی دارند. در این بررسی برای ایزوترم لانگمویر اعداد به دست آمده توسط پودر خشک شده (qm=۷۴,۵۵(mg/g) ، b= ۰/۱۷۵(L/mg) ، R2=۰/۹۹۱) پودر خشک شده اصلاح شده (qm=۳۸۴(mg/g) ، b= ۰/۰۰۶۴(L/mg) ، R2=۰/۹۹۳) کربن اصلاح شده ((qm=۹,۲۵(mg/g) ، b=۰/۰۶۷(L/mg) ، R2=۰/۸۵۲) حاصل گردید. ضرایب ایزوترم به دست آمده در ایزوترم فروندلیچ توسط پودر خشک شده (K=۱/۹۴ ، n=۲/۲۵ ، R2=۰/۹۶۸)، پودر خشک شده اصلاح شده (K=۴/۶ ، n=۱/۹۴ ، R2=۰/۹۹۱) و کربن اصلاح شده (Kf=۱ ، n=۲/۴۲ ، R2=۰/۸۳۵) به دست آمد. ضرایب ایزوترم به دست آمده در ایزوترم بت توسط پودر خشک شده (Xm=۳۰(mg/g) ، A=۸(g/mg min) ، R2=۰/۹۵۶) پودر خشک شده اصلاح شده (Xm=۲۴(mg/g) ، A=۲/۴۵(g/mg min) ، R2=۰/۵۶۸) کربن اصلاح شده (Xm=۲/۴(mg/g) ، A=۷(g/mg min) ، R2=۰/۳۶) به دست آمد. نتایج به دست آمده از مطالعات ایزوترمی نشان می‌دهد که فرآیند جذب رنگ راکتیو بلو ۱۹ با ایزوترم لانگمویر برای سه جاذب پودر خشک شده، پودر اصلاح شده و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس با ضرایب همبستگی (R2=۰/۹۹۱- ، R2=۰/۹۹۳- ، R2=۰/۸۵۲) نسبت به ضرایب ایزوترم فروندلیچ و بت مطابقت بیش‌تری نشان داد. در بررسی که بلارک و همکاران بر روی حذف رنگ راکتیو قرمز

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

۱۹۸ توسط گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس انجام دادند، نتایج بررسی مطابقت بیش تری را با ایزوترم لانگمویر با داشتن R2=۰/۹۹۹ نسبت به ایزوترم فروندلیچ نشان داد که با نتایج این بررسی مطابقت دارد. در بررسی‌ای که Velan و همکاران بر روی حذف رنگ‌های اسید قرمز ۸۸، اسید سبز ۳، اسید نارنجی ۷ و اسید آبی ۱۵ توسط گیاه آبزی آزولا انجام دادند، نتایج به دست آمده مطابقت بیش‌تری را با ایزوترم لانگمویر نسبت به ایزوترم فروندلیچ نشان داد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت(۲۴).

تاثیر سینتیک جذب بر راندمان حذف رنگ راکتیو بلو ۱۹

سینتیک جذب به خواص فیزیکی وشیمیایی ماده جاذب بستگی دارد که مکانیسم جذب را تحت تاثیر قرار می‌دهد که برای تعیین مکانیسم‌های کنترل فرایندهای جذب سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق برای بررسی عوامل موثر بر سرعت واکنش فرآیند جذب ماده رنگزای راکتیو بلو ۱۹ بر روی جاذب آزولا مدل‌های سینتیکی شبه درجه اول و دوم مورد بررسی قرار گرفت. بررسی مقادیر پارامترهای سینتیکی فرآیند جذب رنگزای راکتیو بلو ۱۹نشان می‌دهد که ضریب همبستگی برای مدل سینتیکی شبه درجه دوم، برای سه جاذب پودر خشک شده، پودر اصلاح شده و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس با ضرایب همبستگی (R2=۰/۹۹۹ ، R2=۰/۹۹۸ ، R2=۰/۹۹۴) و ضرایب مدل سینتیکی شبه درجه اول (R2=۰/۹۲۴ ، R2=۰/۹۰۱ ، R2=۰/۶۸۸) می‌باشد که با توجه به این نتایج می‌توان بیان نمود که فرآیند جذب با مدل سینتیکی شبه درجه دوم مطابقت بیش تری می کند و جذب شیمیایی مرحله محدود کننده در فرایند جذب بوده است. در مطالعه‌ای که سیبنی و همکاران بر روی حذف رنگ اسیدی رد ۱۸ و راکتیو بلک ۵ با استفاده از گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس انجام داده‌اند مدل سینتیکی مناسب را سینتیکی شبه درجه دوم گزارش کرده‌اند که با نتایج این بررسی مطابقت داشت(۱۹).

در این تحقیق پودر خشک شده، پودر اصلاح شده و کربن اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فیلیکولوییدس عنوان جاذب برای جذب ماده رنگزا Reactive Blue 19 ها از محیط آبی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مطالعات فرآیند جذب نشان داد که در pH های اسیدی، کارایی حذف بهتر بوده و واکنش جذب در زمان ۶۰ دقیقه به تعادل رسیده و درصد جذب هم چنین با افزایش غلظت اولیه رنگ و مقدار جاذب به ترتیب کاهش و افزایش یافته است. مطالعه ایزوترم و سینتیک‌های فرآیند جذب نیز نشان داد که جذب از مدل ایزوترم لانگمویر و سینتیک شبه درجه دوم تبعیت می‌کند. بیش‌ترین میزان جذب رنگ، توسط پودر اصلاح شده گیاه آبزی آزولا فلیکولوئیدس مشاهده گردید. نتایج این مطالعه مشخص ساخت که می‌توان از گیاه آبزی آزولا فلیکولوئیدس به عنوان یک جاذب ارزان قیمت با کارایی بالا جهت تصفیه پساب صنایع نساجی استفاده کرد.

سپاسگزاری

این مقاله قسمتی از پایان نامه کارشناسی ارشد مصوب دانشگاه علوم پزشکی بیرجند در سال ۱۳۹۴ با شماره کد اخلاق: Ir.bums.1394.63 و کد طرح: B9412 است. نویسندگان مقاله ازکلیه کسانی که به نحوی در انجام این پایان نامه همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

1. Moussavi S, Emamjomeh M, Ehrampoush M, Dehvari M, Jamshidi S. Removal of acid orange 7 dye from synthetic textile wastewater by single-walled carbon nanotubes: adsorption studies, isotherms and kinetics. JRUMS 2014; 12(11): 907-918 (Persian).
2. Balarak D, Zazouli MA, Yazdani Cherati J, Ebrahimi M, Mahdavi Y. Investigating the

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

Removal Rate of Acid Blue 113 from Aqueous Solution by Canola (Brassica Napus). J Mazandaran Univ Med Sci 2013; 21(2): 71-78 (Persian).

3. Rahmani AR, Asgari GH, Farrokhi M, Shirzad siboni M. Removal of Reactive Black 5 (RB5) Dye from Aqueous Solution using Adsorption onto Strongly Basic Anion Exchange Resin: Equilibrium and Kinetic Study. IJHE 2013; 5(4): 509-518 (Persian).
4. Balarak D, Mostafapour FK, Azarpira H. Bio sorption of reactive blue 19 dye using Lemna minor: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. Bioscience Biotechnology Research Communications 2016; 9(3): 558-566.
5. Moussavi SP, Emamjomeh MM. Study of adsorption isotherms and adsorption kinetics of reactive blue 19 dyes from aqueous solutions by multi-wall carbon nanotubes. J Shahrekord Univ Med Sci 2014, 16(1): 72-80 (Persian).
6. Balarak D, Bazrafshan E, Mostafapour F. Equilibrium, kinetic studies on the adsorption of acid green 3 (Ag3) dye onto Azolla filiculoides as adosorbent. American Chemical Science Journal 2016; 11(1): 1-10 (Persian).
7. Nourmoradi H, Zabihollahi S, Pourzamani HR. Removal of a common textile dye, navy blue (NB), from aqueous solutions by combined process of coagulation–flocculation followed by adsorption. Desalination Water Treat 2016; 57(11): 5200-5211 (Persian).
8. Aljeboree AM. Adsorption of crystal violet dye by Fugas Sawdust from aqueous solution. Int J ChemTech Res 2016; 9(3): 412-423.
9. Zazouli MA, Yousefi Z, Yazdani-Charati J, Mahdavi Y. Application of Azolla filiculoides Biomass for Acid Black 1 Dye Adsorption from Aqueous Solution. IJHS 2014; 2(3): 24-32 (Persian).
10. Zazulli MA, Blark D. The ability of Azolla and lemna minor biomass to adsorpe p-cresol from aqueous solutions: Isotherms and Kinetics. Journal of Health in the Field 2017; 2(1): 35-45 (Persian).
11. APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater, APHA, AWWA, WEF. 1915.
12. Larimi S, Ayati B. Use of Walnut and Peanut Shells Activated Carbon in Direct Blue 71 Removal: Kinetic and Isotherm. Modares Journal of Civil Engineering 2014; 14(2): 31-43 (Persian).
13. Zazouli MA, Balarak D, Mahdavi Y. Effect of Azolla filiculoides on removal of reactive red 198 in aqueous solution. J Adv Environ Health Res 2013; 1(1): 44-50 (Persian).
14. Zazouli MA, Balarak D. The Survey on Adsorption of Bisphenol A by Modified Azolla from Aqueous Solutions: Adsorption Isotherm and Kinetics Study. J health 2016; 7(1): 71-86.
15. Subramani S, Thinakaran N. Isotherm, kinetic and thermodynamic studies on the adsorption behaviour of textile dyes onto chitosan. Process Safety and Environmental Protection 2017; 106: 1-10.
16. Kaur R, Kaur H. Adsorption of Amido Black 10B from Aqueous Solution Using Weed Waste as Adsorbent: Characterization, Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. Asian J Chem 2017; 29(2): 441-446.
17. Balarak D, Joghataei A, Azadi NA, Balarak D. Biosorption of acid blue 225 from aqueous solution by Azolla filiculoides: Kinetic and equilibrium studies. ACSJ 2016. 12(2): 1-10.
18. Zazouli MA, Mahvi AH, Dobaradaran S, Barafrashtehpour M, Mahdavi Y, Balarak D.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

Adsorption of fluoride from aqueous solution by modified Azolla Filiculoides. Fluoride 2014; 47(4): 349-358.

19. Shirzad siboni M, Rahmani AR, Asgari M, Farrokhi M. Removal of Reactive Black 5 (RB5) Dye from Aqueous Solution Vusing Adsorption onto Strongly Basic Anion Exchange Resin: Equilibrium and Kinetic Study. IJHE 2013; 5(4): 509-518.
20. Zazouli MA, Mahvi AH, Dobaradaran S, Barafrashtehpour M, Mahdavi Y, Balarak D. Adsorption of F from aqueous solution by modified Azolla filiculoides. Research report Fluoride 2014; 47(4): 349-358.
21. Rakhshaee R, Zamiraee Z, Baghipour S, Panahandeh M. Removal of "Basic Blue 3" using Azolla Filiculoides from Aqueous Solutions Along with Potentiometric Study of Cell Wall. IJHE 2013; 5(4): 489-496 (Persian).
22. Zazouli MA, Balarak D, Mahdavi Y. Effect of Azolla filiculoides on removal of reactive red 198 in aqueous solution. J Adv Environ Health Res 2013; 1(1): 44-50.
23. Nasrollahi Omran A, Ahmady-Asbchin S, Jafari N. Potential of Azolla filiculoides in the removal of Ni and Cu from wastewaters. Afr J Biotechnol 2012; 11(95).
24. Velan M, Padmesh TVN, Vijayaraghavan K, Sekaran M. Application of Azolla rongpong on biosorption of acid red 88, acid green 3, acid orange 7 and acid blue 15 from synthetic solutions. Chem Eng J 2006; 122(1-2): 55-63.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]