



Balkh International Journal of Natural Science

ISSN – P 0000 -0000 E: 0000- 0000

Vol.1 NO.1 2025

URL: <https://bjns.ba.edu.af/index.php/bjns>

حذف رنگینه عضوی کرستل ویولیت از محلول‌های آبی توسط خاکستر نبات
کاکوتی

Removal of the organic dye crystal violet from aqueous solutions by Kakuti plant ash

Mohammad Shaker Dahzad¹ 

Senior Teaching Assistant, Faculty of Education, Badakhshan University

Received: 26/6/2025 Accepted: 31/10/2025 Published: 20/12/2025

Abstract

In this study, the adsorption capacity of Kakuti plant ash which were collected from the mountains of Kib village, Jurm district of Badakhshan province on the removal of the organic dye crystal violet (CV) from aqueous solutions was studied. Initially, the adsorbent was prepared in its natural form and then powdered. The obtained powder was converted into ash by a furnace at a temperature of 500 °C. Kakuti plant ash was characterized by Fourier transform spectroscopy (FT-IR) and scanning electron microscopy (SEM). In this study, the effects of various factors such as pH, contact time, initial dye concentration, adsorbent amount, ionic strength and temperature were also investigated. Later, thermodynamic parameters such as standard enthalpy changes, standard entropy changes and standard Gibbs free energy changes were calculated. Thermodynamic studies showed that the amount of adsorption of the dye krestel violet increases with increasing temperature of the natural adsorbent kakuti plant ash, which indicates that the adsorption process is endothermic. The kinetic

¹. Email: dehzhshaker25@gmail.com

conditions of adsorption were investigated with pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic models, and the results showed that the adsorption process of krestel violet follows the pseudo-second-order kinetic model. The isotherm of the adsorption process was investigated using the Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radeshekevich models. The experimental results showed that the process with the maximum adsorption capacity (44.8 mg/g) for krestel violet follows the Langmuir model.

Keywords: isotherm, kinetics, kakuti plant ash, adsorption, krestel violet

چکیده

در این تحقیق، ظرفیت جذب خاکستر نبات کاکوتی جمع آوری شده از کوه‌های قریه کیب، ولسوالی جرم ولایت بدخشان بالای حذف رنگینه عضوی کرستل ویولیت (CV) از محلول‌های آبی مورد مطالعه قرار گرفت. در ابتدا جاذب به شکل طبیعی آن تهیه گردید و بعداً پودر ساخته شد. پودر به دست آمده توسط دستگاه کوره در تحت درجه حرارت ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به شکل خاکستر تبدیل شد. خاکستر نبات کاکوتی توسط دستگاه‌های طیف سنجی تبدیل فوری (FT-IR) و اسکن الکترون مایکروسکوپ (SEM) خصوصیت‌یابی شد. در این مطالعه، اثر فکتورهای مختلفی چون: pH، زمان تماس، غلظت اولیه رنگ، مقدار جاذب، قدرت آیونی و درجه حرارت نیز مورد بررسی قرار گرفت. بعداً پارامترهای ترمودینامیکی مانند تغییرات انتالپی استندرد، تغییرات انتروپی استندرد و تغییرات انرژی آزاد گیس استندرد، محاسبه گردید. بررسی‌های ترمودینامیکی نشان داد که مقدار جذب ماده رنگی کرستل ویولیت با افزایش درجه حرارت بالای جاذب طبیعی خاکستر نبات کاکوتی بیشتر می‌گردد که نشان دهنده اندوترمیک بودن پروسه جذب است. شرایط کنتیکی جذب، با مدل‌های کنتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم بررسی شد و نتایج به دست آمده نشان داد که پروسه جذب کرستل ویولیت از مدل کنتیک شبه مرتبه دوم پیروی می‌کند. ایزوترم پروسه جذب با استفاده از مدل‌های لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و دوینین-رادشکویچ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجارب نشان داد که پروسه با حداکثر ظرفیت جذب (44.8 mg/g) برای کرستل ویولیت از مدل لانگمویر پیروی می‌کند.

کلمات کلیدی: ایزوترم، کنتیک، خاکستر نبات کاکوتی، جذب، کرستل ویولیت.

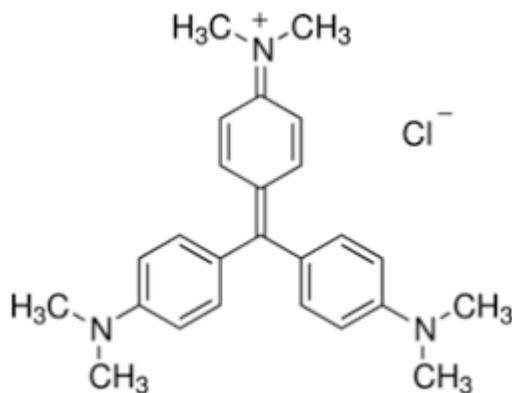
۱- مقدمه

فاضلاب‌های ملوث با مواد رنگه ناشی از صنایع نساجی، پلاستیک، کاغذ، چرمگری و سایر صنایع به طور مداوم در حال افزایش هستند که این پدیده در تمام جهان و به ویژه کشورهای در حال توسعه،

زیاد نگران کننده است (Hessel et al., 2006). رنگ‌های موجود در این فاضلاب‌ها معمولاً خطرناک هستند و می‌تواند به سرعت وارد محیط زیست شده و در آن پخش شوند (Popli & Patel, 2015). آلوده‌کننده‌های رنگی از نفوذ نور در آب جلوگیری نموده و از این خاطر به شکل قابل ملاحظه‌ای بالای فتوسنتز اثر منفی می‌گذارند (Aseel et al., 2017). کرستل ویولیت (CV) به عنوان یک رنگ مفید و رایج در صنایع مختلف از جمله منسوجات، رنگ نمودن دواها و غیره، به دلیل داشتن مقاومت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد، ولی خاصیت سرطان زایی داشته و به صحت و سلامت انسان صدمه می‌زند (Satapathy & Das, 2016). تجمع کرستل ویولیت در بدن منجر به بروز بیماری‌های سخت مانند درد شکم، استفراغ و نارسایی‌های تنفسی می‌شود (Salehi et al., 2016). با وجود خطرات جدی آن، متأسفانه بسیاری از شرکت‌های تولیدی فاضلاب‌های خود را به دریاها و نهرها رها می‌کنند که این عمل منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود. تمام فاضلاب‌ها حاوی انواع مرکبات عضوی سمی مضر برای ماهی‌ها و سایر حیوانات در ایکوسیستم آبی هستند. قبل از تخلیه فاضلاب‌ها، لازم است که رنگ‌ها حذف شوند.

روی همین دلیل دانشمندان در تلاش برای حل مشکلات محیط زیستی ناشی از آلودگی در سراسر جهان هستند. بنابراین، حذف رنگ‌های سمی از منابع آبی یکی از مهم‌ترین دغدغه و نگرانی‌های دهه‌های اخیر است. روش‌های مختلفی مانند تخریب اکسیداتیف، انعقاد الکتریکی/برقی، فیلتریشن غشایی و اوزونیشن (Bessegato et al., 2016) کاربردهای زیادی را در راستای حذف رنگینه‌های سمی، دارند. در این میان، جذب به عنوان یک روش آسان، مقرون به صرفه و اقتصادی که معمولاً توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. علاوه بر جاذب‌های معمولی از جمله ژئولیت، کاربن فعال، الومینا و کمپوزیت‌های سنتز شده‌ی جدید (Anirudhan & Ramachandran, 2015)، جاذب‌های بیولوژیکی به عنوان ماده سبز و سازگار با محیط زیست، اخیراً مورد توجه قرار گرفته است که از یک سو اقتصادی بودن و از سوی هم قابل به دسترس بودن شان زمینه استفاده وسیعی آن‌ها را برای حذف رنگینه‌های سمی از محلول‌های آبی بیشتر نموده است (Fu et al., 2015).

برای مثال، استفاده از کاربن فعال به عنوان جاذب، برای تصفیه فاضلاب‌ها به عنوان یک روش مؤثر شناخته شده است؛ اما قیمت بودن آن زمینه جستجویی راه‌ها و مواد کم هزینه‌تری را به عنوان جاذب پیشنهاد می‌کند (Deepak et al., 2017). در عین حال، چندین روش دیگر برای حذف رنگ‌ها مانند اوکسیدیشن با اوزن یا هایدروجن پراکساید، تجزیه بیولوژیکی و تبادل آیونی استفاده شده است (Sharani., 2020). در تحقیق حاضر، خاکستر نبات کاکوتی به عنوان یک جاذب طبیعی و قابل به دسترس و ارزان برای حذف رنگینه عضوی کرستل ویولیت از محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گرفته است. کرستل ویولیت (CV) که از جمع رنگینه‌های عضوی کتیونی می‌باشد که دارای فورمول کیمیاوی مالیکولی $C_{25}H_{30}N_3Cl$ و فورمول ساختمانی ذیل است:



فورمول ساختمانی کرستل ویولیت

۲. مواد و روش کار

۲,۱ مواد کیمیاوی مورد استفاده

این مطالعه در لابراتوار تحقیقاتی دکتر محمد خواه زمستان ۱۳۹۷ در دیوهنتون گیلان کشور ایران، انجام شد. در این تحقیق خاکستر نبات کاکوتی (در اصطلاح محلی ولایت بدخشان بلک/جمیل) به عنوان جاذب مورد استفاده قرار گرفت. این نبات از کوه‌های قریه کیب ولسوالی جرم ولایت بدخشان افغانستان، جمع آوری شده است. ابتدا نبات به صورت طبیعی آن تهیه و بعداً در زیر نور آفتاب خشک گردید. پس از خشک شدن نبات به شکل پودر تبدیل گردید و بعداً پودر حاصله توسط دستگاه کوره در تحت درجه حرارت ۵۰۰ درجه سانتی گراد به خاکستر تبدیل گردید و سپس خاکستر به دست آمده به عنوان جاذب مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق، از ماده کیمیاوی کرستل ویولیت ساخت شرکت مارک آلمان که از جمع رنگینه‌های کتیونی است، استفاده گردیده است. محلول ذخیره با غلظت mg.L^{-1} ۵۰۰ از حل نمودن ۰/۵ گرم آن در آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر، تهیه گردید. سایر مواد مورد نیاز در این تحقیق، مانند امونیم هایدروکساید، هایدروکلوریک اسید و سودیم هایدروکساید جهت تنظیم pH از نمایندگی‌های مربوط به شرکت مارک از شهر رشت-گیلان کشور ایران، تهیه گردیده است.

دستگاه‌های مورد استفاده

در این تحقیق که اساس لابراتواری دارد، از دستگاه‌های: pH متر با دقت ۰/۰۱ دیجیتالی مدل MTT65، ترازوی دیجیتالی با چهار رقم اعشاری RADWAG مدل AS220.R2، مخلوط کننده حرارتی Grant Operation، مخلوط کننده مقناطیسی، آون VETILATOR، ستریفیوژ Hettich UNEVERALII، مخلوط کن مکانیکی پنکه آزمگستر مدل TM52، اسپکتروفتومتر Parkin Elmer JUNIOR Model135، طیف

سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) vertex 70- BRUMKER، اسکن الکترون میکروسکوپ (SEM) TESCAN MIRA3، دستگاه آب مقطر^L GFL و کوره استفاده گردیده است.

مشخصات جاذب و روند جذب

مطالعات FT-IR^M توسط طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (از کلمه Fourier نام ریاضی دان فرانسوی) به خاطر شناسایی گروپ‌های وظیفوی مسئول جذب در محدوده‌ی عدد موجی ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ cm⁻¹ انجام گردید. مورفولوژی و شکل خاکستر نبات کاکوتی با استفاده از دستگاه اسکن الکترون میکروسکوپ (SEM^N) مورد بررسی قرار گرفت. محلول‌های مورد استفاده به وسیله رقیق سازی محلول ذخیره آماده شد. سپس تجارب جذب سطحی به هدف بررسی اثر pH، زمان تماس، مقدار جاذب، غلظت اولیه رنگ، قدرت آیونی و درجه حرارت بالای جذب کرسنل ویولیت توسط خاکستر نبات کاکوتی انجام شد. بررسی‌ها طوری انجام شد که ابتدا از رنگینه کرسنل ویولیت محلول‌ها را در حجم ۵۰ mL تهیه نموده و هر مرتبه یکی از این عوامل مؤثر بر جذب را تغییر داده و با ثابت نگهداشتن دیگر فکتورها، مقدارهای مورد نظر مشخص گردید. پس از تهیه محلول‌ها، هر کدام توسط دستگاه مخلوط کننده مکانیکی با سرعت ۴۰۰ دور بر دقیقه^O (rpm) مخلوط گردید و بعداً به وسیله‌ی دستگاه ستریفیوژ صاف گردیده و جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج حداکثر (۵۹۰ nm) خوانده شد. فیصدی حذف و مقدار رنگ جذب نشده بالای جاذب توسط فورمول‌های (۱) و (۲) محاسبه گردید.

$$\%Sorption = \frac{C_i - C_e}{C_e} \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{C_i - C_e}{m} \times \quad (2)$$

v

در روابط فوق C_i و C_e به ترتیب غلظت اولیه و غلظت جذب ناشده یا تعادلی رنگ را برحسب (mg.L⁻¹) نشان می‌دهد. در ضمن q_e ظرفیت جذب در حال تعادل برحسب (mg.g⁻¹)، V حجم محلول برحسب (L) و m مقدار جاذب را برحسب (mg) نشان می‌دهد. شکل شماره (۱) تصویر از نبات کاکوتی را نشان می‌دهد.

^L Gesellschaft fur Labortechnik

^M Fourier Transform Infrared Spectroscopy

^N Scanning Electron Microscopy

^O revolutions per minute

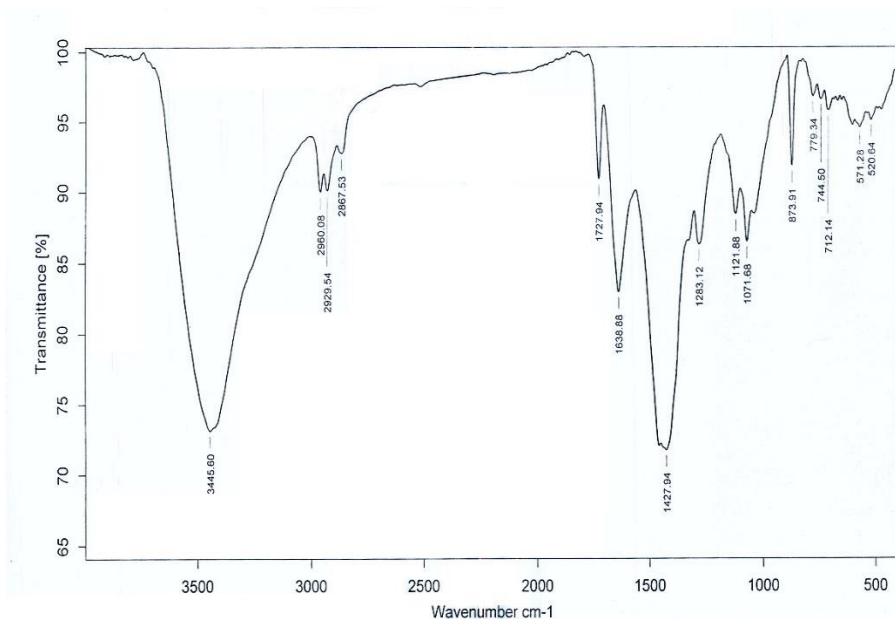


شکل ۱: تصویر نبات کاکوتی

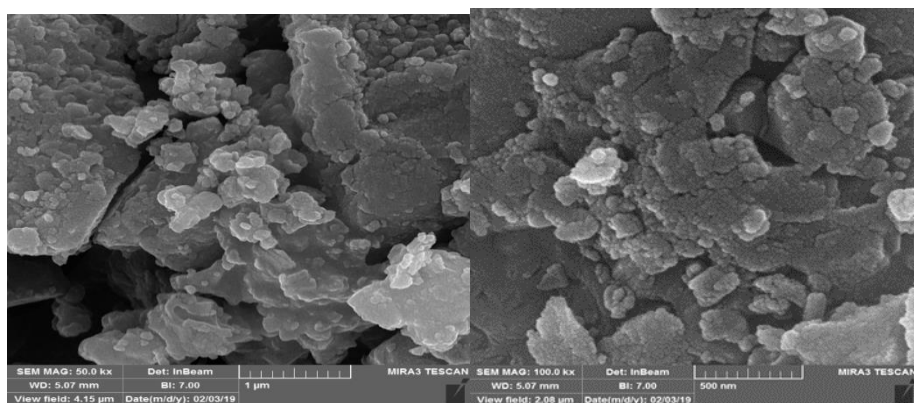
تعیین مشخصات جاذب

طیف FT-IR برای خاکستر نبات کاکوتی بدون تماس با آلوده‌کننده در محدوده‌ی عدد موجی (عدد موجی به عنوان معکوس طول موج می‌باشد) 500 تا 4000 cm^{-1} اسکن گردید. طیف گرفته شده به وسیله دستگاه مذکور در شکل (۱) نشان داده شده است. نوار جذبی مشاهده شده در بین ناحیه $3445/60 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاش کششی قوی گروپ‌های هایدروکسیل مربوط به گلوکوز که جزء تشکیل دهنده اصلی مرکبات سلولوزی است، می‌باشد. نوارهای جذبی پدیدار شده در بین نواحی $2929/54$ ، $2960/08$ و $2867/53 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی رابطه کاربن- هایدروجن (C-H) می‌باشند. نوارهای جذبی در عدد موجی $1727/94 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به رابطه کاربن- اوکسیجن (C=O) و همچنان نوارها با اعداد موجی $1427/94$ تا $1638/88 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به رابطه کاربن- کاربن (C=C) مربوط خواهند شد.

آشکار شدن نوارها در عددهای موجی $1283/12$ ، $1121/88$ و $1071/66 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات خمشی (نوعی از اهتزازات مالیکولی که در آن زاویه بین روابط کیمیای تغییر می‌کند) رابطه کاربن- هایدروجن (C-H) هستند. نوارهای جذبی در بین نواحی $873/91$ ، $779/34$ ، $774/50$ و $712/14 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به رابطه سلیکان- اوکسیجن (Si-O) و سلیکان- سلیکان (Si-O-Si) می‌باشند. همچنین نوارهای پدیدار شده در عددهای موجی $571/28$ و $520/64 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات خمشی ساختار سلیکان- المونیم- اوکسیجن (Si-O-Al) است. از تخنیک SEM به طور گسترده برای تعیین مورفولوژی (ساختار کرستلی)، شکل و مشخصات جاذب استفاده گردیده است. تصاویر SEM خاکستر نبات کاکوتی با بزرگ نمایی 10000 تا 50000 در شکل (۳ الف و ب) نشان داده شده است. داشتن ساختار متخلخل جاذب مکان‌های مناسبی برای جذب و به دام کشیدن مالیکول‌های کرستل ویولیت توسط این ماده، می‌باشد.



شکل ۲: طیف FT-IR خاکستر نبات کاکوتی



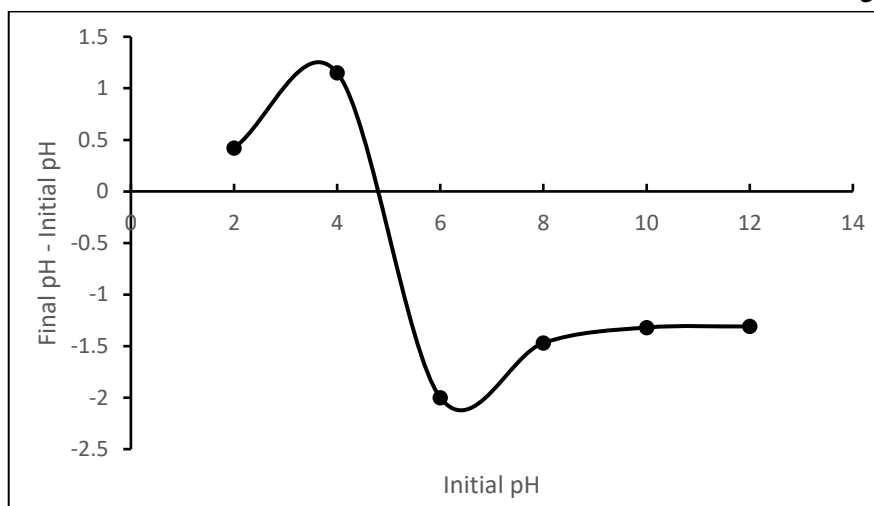
(ب)

(الف)

شکل ۳: تصاویر SEM از خاکستر جاذب نبات کاکوتی. (الف) با بزرگ نمایی ۱۰۰۰۰ و (ب) با بزرگ نمایی ۵۰۰۰۰

pH نقطه چارج صفر^P (pH_{PZC})

نقطه‌ای از pH که چارج‌های سطحی جاذب برابر صفر گردد، نقطه چارج صفر نامیده می‌شود. اهمیت مشخص کردن این نقطه جهت تعیین خصوصیات سطح جاذب می‌باشد؛ بدین طریق که در pH بالاتر از نقطه مذکور سطح جاذب دارای چارج منفی می‌شود و به این ترتیب آيون‌های با چارج مخالف (آيون‌های مثبت) به آسانی جذب این سطح می‌شوند. همچنین در pH پایین‌تر نیز چارج‌های سطحی مثبت می‌شوند و آيون‌های با چارج منفی سریعتر جذب می‌شوند (Fiol & Villaescusa, 2009). در مطالعه حاضر برای بررسی این اثر، ابتداءً ۵۰۰ میلی لیتر محلول ۰/۱ مولار نمک سودیم کلوراید تهیه گردید. بعداً از محلول نمک تهیه شده، محلول‌های مختلفی در حجم ۵۰ میلی لیتر و با تنظیم نمودن pH آن‌ها توسط محلول‌های هایدروکلوریک اسید HCl و سودیم هایدروکساید NaOH آماده شد. سپس مقدار ۶۰ میلی‌گرام جاذب به هر یک از محلول‌ها علاوه شد و همراه مخلوط‌کننده مکانیکی به مدت ۲۴ ساعت مخلوط گردید. بعد از فلتر نمودن محلول‌ها توسط کاغذ صافی، pH آن‌ها خوانده شده و ثبت گردید. نهایتاً مقدار pH های به دست آمده از pH اولیه کم گردید که دیاگرام آن در شکل (۴) قرار ذیل نشان داده شده است.



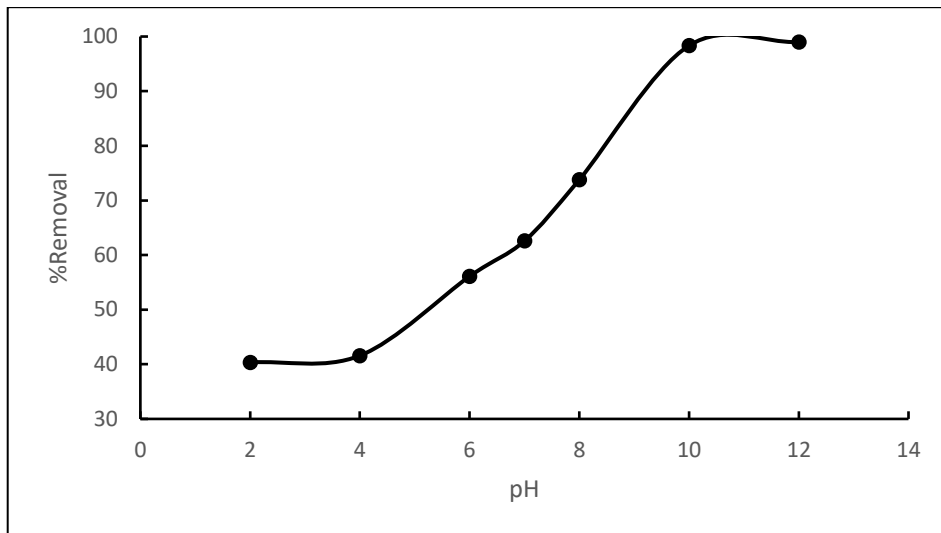
شکل ۴: دیاگرام نقطه چارج صفر برای خاکستر کاکوتی

^P Point of Zero Charge

۳. یافته‌ها/نتایج

بررسی اثر pH

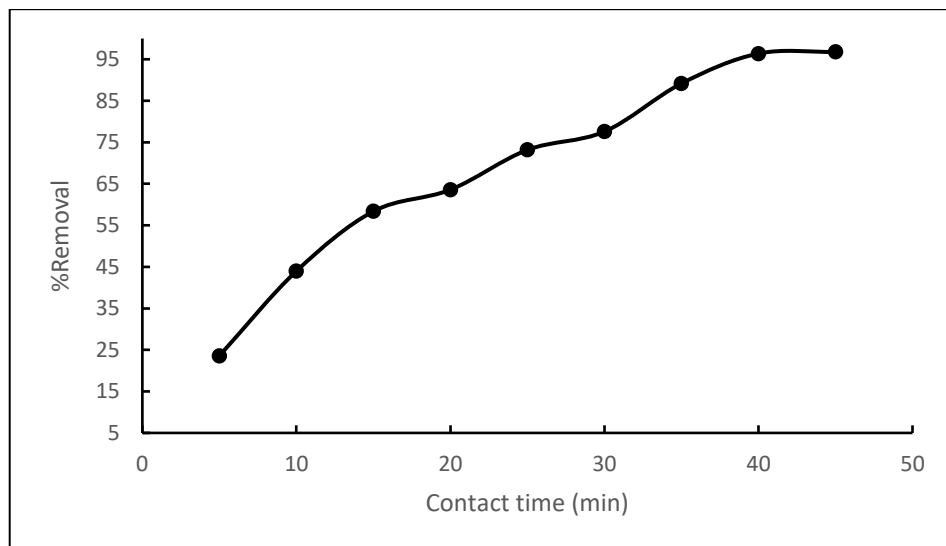
pH یکی از مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار روی پروسه جذب سطحی است (Sara et al., 2014). در این مطالعه، به منظور بررسی این اثر روی مقدار حذف، محلول‌های از رنگینه کرسطل ویولیت با حجم ۵۰ mL و غلظت 50 mg.L^{-1} در محدوده‌ی pH های ۲ الی ۱۲ با استفاده از محلول‌های رقیق سودیم هایدروکساید و هایدروکلوریک اسید، تهیه گردید. پس از تهیه محلول‌ها با pH مختلف، ۵۰ میلی‌گرم جاذب به هر کدام افزوده شده و در درجه حرارت محیط به مدت ۶۰ دقیقه توسط مخلوط کننده مکانیکی با سرعت ۴۰۰ دور بر دقیقه، مخلوط شدند. سپس به خاطر جدا کردن جاذب از محلول، به مقدار ۲۸ میلی‌لیتر از هر کدام محلول‌ها با استفاده از دستگاه ستریفیوژ به مدت ۵ دقیقه تکان داده شد و پس از جدا کردن جاذب برای تعیین مقدار کرسطل ویولیت جذب نشده، از هر کدام محلول‌ها مقدار ۵ میلی‌لیتر را اخذ و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر عملیات جذب انجام شد. نهایتاً با استفاده از منحنی کالیبراسیون محاسبات آن انجام گردید و نتایج به دست آمده در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده مطابق شکل (۵) نشان می‌دهد که با افزایش pH فیصدی حذف رنگینه کرسطل ویولیت از محلول‌های آبی توسط جاذب خاکستر کاکوتی افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. همانطور که در دیگرام مشاهده می‌شود، بعد از pH ۱۰ میل منحنی به تدریج آهسته شده و تقریباً ثابت باقی می‌ماند. از این رو، pH ۱۰ به عنوان pH مناسب برای بررسی اثر سایر پارامترها تعیین شد. اینکه فیصدی حذف کرسطل ویولیت با تنزیل pH کاهش چشم‌گیری داشته است به این دلیل است که در pH های اسیدی آیون‌های H^+ در محیط به صورت زیاد موجود بوده و برای اشغال مکان‌های سطح جاذب همراه کتیون‌های رنگی رقابت می‌کنند و این عمل مانع جذب کمتر آن‌ها می‌گردند. برعکس، با افزایش pH، سطح مکان‌های جاذب حاوی چارج منفی به دلیل حضور آیون‌های OH^- مشبوع گردیده که این امر موجب ازدیاد عمل متقابل و جاذبه‌های الکترواستاتیکی بین جاذب و کتیون‌های رنگی شده و در نتیجه مقدار جذب، بیشتر می‌گردد.



شکل ۵: اثر pH بر میزان حذف کرسطل ویولیت توسط خاکستر کاکوتی

بررسی اثر زمان تماس

زمان تماس نیز از جمع دیگر فکتورهای اثرگذار بالای پروسه جذب به شمار می‌رود. جاذب‌های با کارایی بالا در فاصله زمانی کوتاه بیشترین فیصدی حذف را دارند. در این تحقیق، جهت بررسی اثر زمان تماس بالای پروسه جذب، ۵۰ mL محلول‌های کرسطل ویولیت با غلظت 50 mg.L^{-1} در pH مورد نظر آماده گردید. سپس به آن ۵۰ میلی‌گرم جاذب علاوه شد و در محدوده‌ی زمانی ۵ تا ۴۵ دقیقه توسط مخلوط‌کننده مکانیکی با سرعت ۴۰۰ دور بر دقیقه مخلوط کرده شد. سپس مقدار ۳۰ میلی‌لیتر از آن‌ها با دستگاه سنتریفیوژ برای مدت ۵ دقیقه جهت جدا ساختن محلول از جاذب، تکان داده شد. به دنبال آن ۵ میلی‌لیتر از هر کدام محلول‌ها که در محدوده زمانی مختلف (۵ تا ۴۵ دقیقه) مخلوط شده بودند را برداشته و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر جذب شان گرفته و ثبت گردید و مورد تحلیل و محاسبه قرار گرفت. اطلاعات به دست آمده مربوط به جذب کرسطل ویولیت توسط جاذب خاکستر کاکوتی در شکل (۶) نشان داده شده است. مطابق شکل مشاهده می‌شود که فیصدی حذف رنگینه کرسطل ویولیت توسط خاکستر کاکوتی با افزایش زمان تماس، بیشتر می‌شود. در آغاز میل منحنی حذف روند صعودی داشته و سریع‌تر است؛ دلیل چنین رفتار را می‌توان به حضور مکان‌های خالی روی جاذب که در ابتدا قابل به دسترس (خالی) است، نسبت داد. ولی با مرور زمان و پس از دقیقه ۴۰ میل خط هموار شده و تغییری چندانی در فیصدی حذف مشاهده نمی‌شود. این را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که بعد از مدت زمان ۴۰ دقیقه سایت‌های خالی روی جاذب همراه با کرسطل ویولیت پر شده و سیستم جذبی به تعادل رسیده است. بنابراین، زمان ۴۰ دقیقه به عنوان زمان مورد نظر برای بررسی اثر سایر فکتورها روی پروسه جذب، انتخاب گردید.

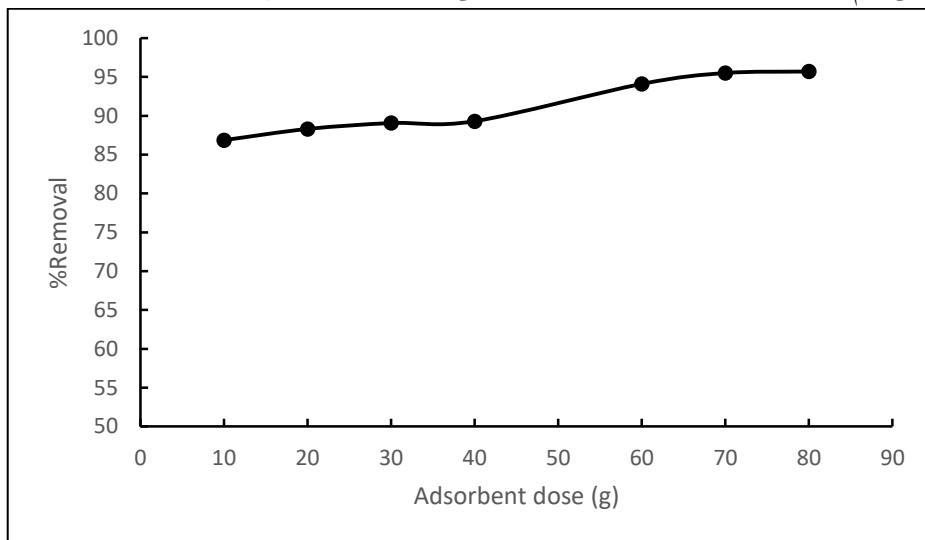


شکل ۶: اثر زمان تماس بر میزان فیصدی حذف کرستل ویولیت توسط خاکستر کاکوتی

بررسی اثر مقدار جاذب

یکی دیگر از فکتورهای مهمی که بر روی پروسه جذب اثرگذار بوده و لازم است که در حین مطالعات جذبی مورد بررسی قرار گیرد، مطالعه اثر مقدار جاذب می باشد. چون با افزایش مقدار جاذب، سطح تبادلی موجود برای جذب تعادلی و تعداد سایت های که باید در اختیار ماده جذب شونده قرار گیرد و پروسه جذب صورت بگیرد، افزایش می یابد. جهت بررسی اثر این فکتور، محلول های از کرستل ویولیت در حجم ۵۰ میلی لیتر با غلظت 50 mg.L^{-1} در $\text{pH} 10$ ، تهیه گردید و سپس از خاکستر نبات کاکوتی به عنوان جاذب، مقدارهای متفاوتی در محدوده ۱۰ تا ۸۰ میلی گرام در هر کدام از محلول ها افزوده شد. بعداً هریک از محلول های حاوی مقدار متفاوت جاذب توسط مخلوط کننده مکانیکی با سرعت ۴۰۰ دور بر دقیقه برای مدت ۴۰ دقیقه مخلوط ساخته شد. به خاطر جدا نمودن جاذب از محلول های مربوطه ۳۰ میلی لیتر از هر کدام آن ها برداشته و برای مدت ۵ دقیقه توسط سنتریفیوژ چرخانده شد و بعداً از هر کدام به اندازه ۵ میلی لیتر را برداشته و توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر جذب شان دریافت گردید. نتایج و اطلاعات حاصله، پس از تجزیه و تحلیل در شکل (۷) نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش مقدار جاذب، فیصدی حذف رنگینه کرستل ویولیت بیشتر می گردد. یعنی با افزایش مقدار جاذب مساحت سطح و تعداد سایت های قابل به دسترس برای ماده جذب شونده بیشتر شده و در نتیجه باعث افزایش فیصدی حذف می گردد. اما، همانگونه که در دیاگرام (۷) مشاهده می شود روند افزایش فیصدی حذف آنقدر وابسته به مقدار جاذب نیست، زیرا همان مقدار ۱۰ میلی گرام

جاذب حدوداً ۸۸ فیصد حذف رنگ را به همراه دارد. لذا میل منحنی فیصدی حذف در حد زیاد سریع نبوده و با رسیدن به مقدار ۶۰ میلی گرام جاذب به تدریج آهسته شده و به تعادل می‌رسد. بنابراین، مقدار ۶۰ میلی گرام جاذب به عنوان مقدار مناسب برای بررسی سایر تجارب در این مطالعه، انتخاب گردید.



شکل ۷: اثر مقدار جاذب بر میزان جذب کرستل ویولیت

بررسی اثر غلظت اولیه رنگ

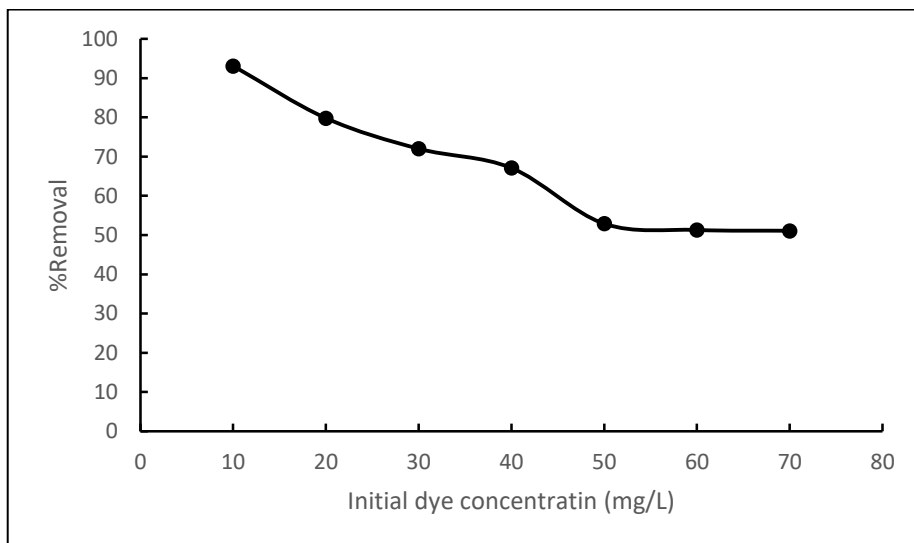
اثر غلظت اولیه ماده جذب شونده فکتور مهمی است که می‌تواند بر نتیجه حذف اثرگذار باشد (Rahman et al., 2012). در این تحقیق، به منظور بررسی اثر غلظت اولیه CV، محلول‌های از این رنگینه در حجم ۵۰ mL و با غلظت‌های مختلف بین ۱۰ تا ۷۰ میلی گرام بر لیتر در تحت شرایط مورد نظر pH ۱۰، مقدار ۶۰ میلی گرام جاذب و برای مدت زمان ۴۰ دقیقه توسط مخلوط کننده مکانیکی با سرعت ۴۰۰ دور بر دقیقه (rpm) مخلوط ساخته شد. سپس با استفاده از دستگاه سنتریفیوژ محلول‌ها فلتر گردید و مقدار ۵ میلی لیتر از هر کدام را برداشته و به دستگاه اسپکتروفوتومتر انتقال داده و پس از خواندن جذب، آنالیز داده‌ها و انجام محاسبات، نتایج حاصله در جدول (۱) و شکل (۸) نشان داده شده است. همان طور که داده‌های جدول (۱) نشان می‌دهد، با افزایش غلظت اولیه ماده رنگی کرستل ویولیت میزان فیصدی حذف کاهش و ظرفیت جذب افزایش نموده است، زیرا در این حالت حفره‌های جذبی فعال روی سطح جاذب به سرعت توسط ماده جذب شونده اشغال می‌گردند. مطابق شکل (۸) مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت اولیه رنگ مقدار حذف کاهش یافته و دیاگرام میل نزولی پیدا می‌کند. چون در ابتدا تعداد مالیکول‌های کمتر جذب شونده در محلول حضور داشته و حفره‌های خالی بیشتری آماده پذیرش این مالیکول‌ها می‌باشند؛ ولی با افزایش غلظت ماده جذب

Removal of the organic dye crystal violet from aqueous...

شونده مالیکول‌های بیشتری برای اشغال حفره‌ها رقابت می‌کنند، در حالی که تعداد حفره‌ها ثابت است. بنابراین، فیصدی جذب کاهش می‌یابد.

جدول ۱: اثر غلظت اولیه کرستل ویولیت بر مقدار فیصدی حذف توسط خاکستر کاکوتی

C (mg.L ⁻¹)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
فیصدی حذف	93/1	79/8	72	67/1	52/9	51/3	51/1
ظرفیت جذب	6/56	12/38	17/46	23/56	29/8	35/8	45/5

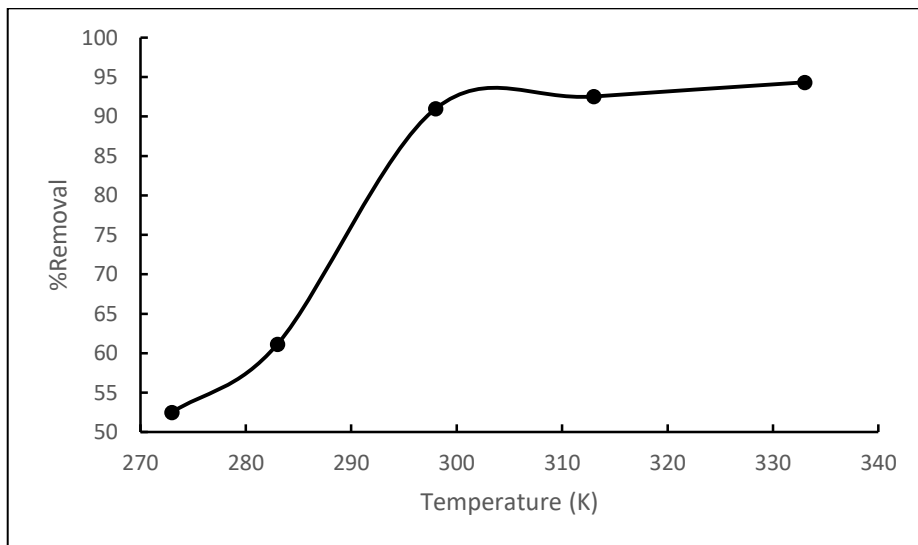


شکل ۸: اثر تغییر غلظت اولیه کرستل ویولیت بر مقدار فیصدی حذف توسط خاکستر کاکوتی

بررسی اثر درجه حرارت

درجه حرارت نیز یکی دیگر از فکتورهای مهم و اثرگذار روی پروسه جذب است. به کمک درجه حرارت معلومات بسیار خوبی در مورد تغییرات انرژی آزاد گیس استندرد (ΔG°)، تغییرات انتالپی استندرد (ΔH°) و تغییرات انتروپی استندرد (ΔS°) به دست می‌آید. به منظور بررسی اثر درجه حرارت بالای مقدار جذب CV توسط خاکستر نبات کاکوتی، تجارب در محدوده‌ای درجه‌های حرارتی مختلف

(۰، ۱۰، ۲۵، ۴۰ و ۶۰) سانتی‌گراد انجام گردیده و نتایج آن در شکل (۹) نشان داده شده است. از مشاهده دیاگرام (شکل ۸)، به این نتیجه می‌رسیم که با افزایش درجه حرارت مقدار (فیصدی) حذف رنگینه CV افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار فیصدی حذف تا رسیدن به درجه حرارت حدوداً ۳۰۵ کالوین شدیداً افزایش یافته اما پس از آن تغییرات آنچنان زیادی در روند حذف دیده نمی‌شود و تقریباً ۹۰ فیصد ماده تا رسیدن به این درجه حرارت، حذف می‌گردد. بنابراین، درجه حرارت ۲۹۸ کالوین به عنوان درجه حرارت مناسب برای این مطالعه، انتخاب گردید. در ضمن با افزایش درجه حرارت تغییرات فیصدی حذف روند صعودی داشته و این دلالت بر اندوترمیک بودن پروسه جذب توسط خاکستر کاکوتی دارد.



شکل ۹: اثر دما بر میزان جذب کرسطل ویولیت توسط خاکستر کاکوتی

اثر قدرت آیونی

بعضی از پروسه‌های صنعتی، مانند پروسه رنگ‌کاری در حین فعالیت‌های خود مقادیر زیادی نمک را مصرف می‌کنند. بنابراین فاضلاب‌ها، دارای مقدار زیاد نمک خواهند بود و این از جمله فکتورهای مهمی است که می‌تواند بالای پروسه جذب اثر گذار باشد. به منظور مطالعه قدرت آیونی محلول روی پروسه جذب CV توسط خاکستر نبات کاکوتی، از نمک سودیم کلوراید NaCl سه غلظت متفاوت در اندازه‌های ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ مولر تهیه گردید. طوری که از مقادیر مولرته‌های مزبور همراه با همان شرایط مناسب ۵۰ mL محلول کرسطل ویولیت با غلظت $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ میلی‌گرام جاذب و در زمان ۴۰ دقیقه توسط مخلوط کننده مکانیکی تماس داده شد. بعد از جدا کردن جاذب از محلول، توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر جذب شان خوانده شده و ثبت گردید. بعد از انجام محاسبات نتایج آن در جدول (۲)

Removal of the organic dye crystal violet from aqueous...

درج شده است. با توجه به ارقام موجود در این جدول مشاهده می شود که با افزایش غلظت نمک فیصدی حذف رنگینه کرسطل ویولیت، کاهش می یابد.

جدول ۲: اثر قدرت قدرت آیونی روی جذب کرسطل ویولیت توسط خاکستر کاکوتی

$C_{NaCl}(mol/L)$	0	0/02	0/04	0/06
% Removal	93	58	52	50

مطالعه کنتیک جذب

برای درک بهتر پروسه جذب سطحی، مطالعه کنتیک پروسه جذب لازم می باشد. بررسی کنتیک پروسه جذب نشان دهندهی فیصدی جذب است و جذب ماده ای جذب شونده بر روی جاذب ممکن است شامل یک یا چند مرحله از جمله انتشار فیلمی، انتشار درون ذره ای، انتشار سطحی و یا ترکیبی از چند مرحله باشد (Mustafa et al., 2014). در این بررسی از دو مدل، مدل کنتیکی شبه مرتبه اول لاگرگرن (معادله ۳) و مدل کنتیکی شبه مرتبه دوم هو (معادله ۵) استفاده به عمل آمد. پس از انجام محاسبات، پارامترهای کنتیکی آن در جدول (۳) درج شده است.

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q_t)$$

(۳)

که در آن q_e و q_t ظرفیت جذب در حالت های تعادل و زمان t برحسب $(mg.g^{-1})$ و k_1 ثابت سرعت جذب سطحی شبه مرتبه اول برحسب (min^{-1}) می باشد. با گرفتن لوگاریتم از رابطه (۳) شکل دیگری از معادله کنتیک شبه مرتبه اول به دست می آید که به معادله لاگرگرن معروف است.

$$Log(q_e - q_t) = Logq_{e1} - \frac{K_1 t}{2.303}$$

(۴)

که در آن q_{e1} ظرفیت جذب حاصله بر اساس مدل کنتیک شبه مرتبه اول می باشد. با رسم دیاگرام خطی $log(q_e - q_t)$ در برابر t و از روی میل و عرض از مبدا آن می توان کمیت های k_1 و q_{e1} را به دست آورد.

معادله کنتیک شبه مرتبه دوم که بر اساس ظرفیت جذب می باشد، به شرح زیر ارائه شده است:

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$$

(۵)

که در آن k_2 ثابت سرعت کنتیک شبه مرتبه دوم برحسب $(g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1})$ می باشد. با انشتیگرال گیری از این معادله زیر حاصل می شود:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_{e2}} \quad (6)$$

در معادله فوق q_{e2} برحسب $(mg \cdot g^{-1})$ ظرفیت جذب به دست آمده بر طبق مودل کنتیک شبه مرتبه دوم می باشد. با رسم دیاگرام t/q_t در برابر t از روی شیب و عرض از مبدا آن به ترتیب ظرفیت جذب در حالت تعادل q_e و k_2 محاسبه می گردد (Yaacoubi et al., 2015).

جدول ۳: پارامترهای کنتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم توسط جاذب خاکستر کاکوتی

مودل شبه مرتبه اول				مودل شبه مرتبه دوم		
K_1	q_e (cal)	R^2	q_e (exp)	K_2	q_{e2} (cal)	R^2
1 min^{-1}	$(mg \cdot g^{-1})$		$(mg \cdot g^{-1})$	$(g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1})$	$(mg \cdot g^{-1})$	
0./66	58/3	0.9211	48.2	0.00026	78/4	0/9791

با در نظر داشت اینکه ضریب همبستگی (R^2) به کار گرفته شده برای مودل کنتیکی شبه مرتبه دوم (تعاملی که در ظاهر به نظر می رسد که ممکن از کنتیک مرتبه دوم پیروی کند) بزرگتر از ضریب همبستگی مودل شبه مرتبه اول (تعاملی که در ظاهر به نظر می رسد ممکن از کنتیک مرتبه اول پیروی کند) است و نیز حداکثر ظرفیت جذب به دست آمده به صورت تجربی ($q_{e \text{ exp}}$) برای کنتیک شبه مرتبه اول مشابهت بهتر با حداکثر ظرفیت جذب حاصل شده به وسیله مودل ($q_{e \text{ cal}}$) نسبت به مودل شبه مرتبه دوم دارد، لذا می توان نتیجه گرفت که پروسه جذب در این تحقیق با هر دو مودل، کنتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم هم خوانی دارد. بنابراین، در این مطالعه ماهیت جذب می تواند از نوع کیمیای و فیزیکی محسوب گردد.

ایزوترم های جذب

ایزوترم جذب یکی از عوامل مهم در طراحی سیستم های جذبی است. ایزوترم جذب رابطه بین مقدار ماده جذب شونده توسط جاذب و غلظت حل شونده در محلول به تعادل رسیده می باشد و تأییدی بر کارایی جذب در یک پروسه است. در مطالعه کنونی ایزوترم های جذب لانگمویر (معادله ۷)، فروندلیچ (معادله ۸)، تمکین (معادله ۹) و دوینین-رادشکوویچ (D-R) (معادله ۱۰) مورد بررسی قرار گرفتند.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{C_e}{q_m} \quad (7)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (8)$$

$$q_e = B_T \ln A_T + B_T \ln C_e \quad (9)$$

$$\ln q_e = \ln q_m - BE^2 \quad (10)$$

در روابط فوق C_e , q_e , q_m , b , K_F , $1/n$, B_T , A_T و B و E به ترتیب غلظت تعادلی محلول برحسب (mg.L^{-1}) ، ظرفیت جذب در حالت تعادل و حداکثر ظرفیت جذب (mg.g^{-1}) ، ثابت لانگمویر (L.mg^{-1}) ، ثابت فروندلچ (L.mg^{-1}) ، عامل نامتجانسی که نشان دهنده چگونگی پروسه جذب مطلوب است،¹ ثابت‌های درجه حرارتی تمکین برحسب (J.mol^{-1}) و (L.g^{-1}) ، ضریب فعالیت مفید برحسب (KJ.mol^{-1}) و پوتنشیال پلاتی می‌باشد. دیگرام‌های خطی لانگمویر، فروندلچ، تمکین و D-R به ترتیب از رسم C_e/q_e در مقابل C_e ، q_e در مقابل $\ln C_e$ ، $\ln q_e$ در مقابل $\ln C_e$ و $\ln q_e$ در مقابل E^2 به دست می‌آید. جدول (۴) مقادیر ثابت و ضریب همبستگی را برای ایزوترم‌های جذب تعادلی لانگمویر، فروندلچ، تمکین و D-R برای CV نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقادیر ثابت و ضرایب همبستگی مربوط به ایزوترم‌های جذب تعادلی لانگمویر، فروندلچ، تمکین و D-R

برای جذب CV

لانگمویر	فروندلچ	تمکین	D-R
$R^2 = 0/9926$	$R^2 = 0/9926$	$R^2 = 0/821$	$R^2 = 0/7518$
$q_m = 44/8$	$n = 1/11$	$B_T = 62/63$	$q_m = 32/68$
$b = 0/0048$	$K_F = 2/04$	$A_T = 2/96$	$b = 0/0024$
$R_L = 0/002$			

بر اساس ارقام جدول (۴) و با توجه به ضرایب همبستگی (R^2) به دست آمده، ارقام جذبی در این مطالعه برای خاکستر نبات کاکوتی به عنوان جاذب، از ایزوترم خطی لانگمویر پیروی می‌کند. در نتیجه می‌توان گفت که پروسه جذب به صورت متجانس و یک لایه اتفاق می‌افتد. بر علاوه، همان طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، مقدار پارامتر تعادلی به دست آمده (R_L) بین ۰ تا ۱ و مقدار شدت جذب (n) بین ۱ تا ۱۰ قرار گرفته است که نشان دهنده جذب مطلوب در این پروسه می‌باشد.

مطالعه ترمودینامیک جذب

در جریان مطالعات جذبی تعیین پارامترهای ترمودینامیکی پروسه جذب دارای اهمیت ویژه است. پارامترهای ترمودینامیکی مانند تغییرات انتالپی (ΔH°)، تغییرات انتروپی (ΔS°) و تغییرات انرژی آزاد گیبس (ΔG°) با استفاده از روابط (۱۱ و ۱۲) به دست می آیند. به این شکل که از ترسیم تغییرات $\ln K_c$ بر حسب $1/T$ خط مستقیمی حاصل می شود که با استفاده از میل و عرض از مبدا آن به ترتیب (ΔH°) و (ΔS°) به دست می آیند. در این تحقیق ثابت های ترمودینامیکی مانند تغییرات انرژی آزاد گیبس، تغییرات انتروپی، تغییرات انتالپی مرتبط با ثابت های تعادلی جذب با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲ دریافت و در جدول (۵) درج شده است.

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \quad (11)$$

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (12)$$

که در روابط فوق R ، T و K_c به ترتیب ثابت عمومی گازها برحسب ($J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$)، درجه حرارت برحسب کالوین و ثابت تعادل جذبی می باشد.

جدول ۵: پارامترهای جذب کرسطل ویولیت توسط خاکستر نبات کاکوتی

T (K)	K_c	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol.K)
۲۹۸	1/91	-2/74	43/6	155/5

با توجه به مقادیر جدول (۵) تغییرات انرژی آزاد گیبس (ΔG°) منفی می باشد، پس نتیجه گرفته می شود که پروسه جذب کرسطل ویولیت توسط خاکستر کاکوتی به طور خودبه خودی صورت می گیرد. مقدار مثبت تغییرات انتالپی (ΔH°) نشانگر اندوترمیک بودن پروسه جذب و به عنوان عامل مساعد در این پروسه محسوب می شود. مقدار مثبت تغییرات انتروپی (ΔS°) حاکی از افزایش بی نظمی در سیستم از بابت قرار گرفتن مالیکول های جذب شونده در مکان های غیر مشخص روی جاذب می باشد. این امر نشان دهنده ی افزایش جذب توسط این جاذب در درجه های حرارت بلندتر خواهد بود.

۳. نتیجه گیری

آزمایشات جذب سطحی برای حذف رنگینه عضوی کرسطل ویولیت (CV) توسط خاکستر نبات کاکوتی در سیستم غیر پیوسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که خاکستر نبات کاکوتی به شکل طبیعی، ظرفیت خوبی برای حذف CV از محلول های آبی را دارد. تجارب انجام شده نشان داد که فیصدی حذف با افزایش غلظت اولیه رنگ و کم شدن مقدار جاذب، کاهش می یابد.

مطالعات اثر زمان تماس نشان داد که کنتیک این پروسه از مودل شبه مرتبه دوم پیروی می کند. بررسی های ایزترم جذب با مودل های لانگمویر، فروندلچ، تمکین و D-R انجام شد و نتایج به دست آمده تبعیت بهتر را از مودل لانگمویر نشان داد. حداکثر ظرفیت جذب در غلظت مورد نظر برای مرکب کرستل ویولیت ($44/8 \text{ mg.g}^{-1}$) می باشد. همچنان مطالعه و بررسی های ترمودینامیکی این تحقیق نشان داد که پروسه ی جذب کرستل ویولیت بر روی جاذب طبیعی خاکستر نبات کاکوتی به طور خودبخودی انجام می شود که تغییرات انرژی آزاد گیبس منفی ($\Delta G^\circ < 0$) و تغییرات انتالپی و انتروپی مثبت ($\Delta H^\circ > 0$ و $\Delta S^\circ > 0$) تأیید کننده ی این ادعا می باشند.

۴.پیشنهادهات

- محققان و استادان پوهنتون های کشور باید تحقیقات خویش را بالای مواد خام و نباتات بومی افغانستان تمرکز نمایند تا یافته ها جنبه کاربردی تر و بومی سازی شده را تر داشته باشد.
- باید برای توسعه فرهنگ تحقیقات علمی و خاصاً در بعد عملی وزارت محترم تحصیلات عالی کشور در قسمت تجهیز پوهنتون ها توجه هر چی بهتر و بیشتری نماید.
- لازم است که نتایج همچون تحقیقاتی به مسائل مهمی که افغانستان به آن سخت نیازمند است از جمله تصفیه آب، بهبود سیستم زراعتی، صنعت و حفاظت محیط زیست ارتباط داده شود تا علاوه بر ارزش علمی، در رفع نیازهای جامعه نیز مؤثر واقع گردد.

۵.مأخذ

Al-Shahrani, S. (2020). Phenomena of removal of crystal violet from wastewater using Khulays natural bentonite. *Journal of Chemistry*.

Anirudhan, T. S., & Ramachandran, M. (2015). Adsorptive removal of basic dyes from aqueous solutions by surfactant modified bentonite clay (organoclay): Kinetic and competitive adsorption isotherm. *Process Safety and Environmental Protection*, 96.

Aseel, M., et al. (2017). Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activated carbon. *Arabian Journal of Chemistry*.

Bessegato, G., et al. (2016). Combination of photoelectrocatalysis and ozonation: A novel and powerful approach applied in Acid Yellow 1 mineralization. *Applied Catalysis B: Environmental*.

Deepak, S., & Amee, P. M. (2019). Brain tumor classification using deep CNN features via transfer learning. *Computers in Biology and Medicine*, 111, 103345.

Fiol, N., & Villaescusa, I. (2009). Determination of sorbent point zero charge: Usefulness in sorption studies. *Environmental Chemistry Letters*.

Ghazali, A., et al. (2018). Optimization of crystal violet adsorption onto date palm leaves as a potent biosorbent from aqueous solutions using response surface methodology and ant colony. *Environmental Chemical Engineering*.

Hessel, C., et al. (2006). Guidelines and legislation for dye house effluents. *Journal of Environmental Management*.

Homagai, P. L., et al. (2022). Adsorption and removal of crystal violet dye from aqueous solution by modified rice husk. *Heliyon*.

Labiadh, L., et al. (2015). Complete removal of AHPS synthetic dye from water using new electro-Fenton oxidation catalyzed by natural pyrite as heterogeneous catalyst. *Journal of Hazardous Materials*.

Lakkaboyana, S. K., et al. (2019). Synthesis of Copper Oxide Nanowires-Activated Carbon (AC@CuO-NWs) and applied for removal methylene blue from aqueous solution: Kinetics, isotherms, and thermodynamics. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 29.

Le, T. X. H., et al. (2019). Hybrid graphene-decorated metal hollow fibre membrane reactors for efficient electro-Fenton - Filtration co-processes. *Journal of Membrane Science*.

Liu, J., et al. (2018). Removal of crystal violet and methylene blue from aqueous solutions using the fly ash-based adsorbent material-supported zero-valent iron. *International Journal of Environmental Science and Technology*.

Omar, L., et al. (2007). Inclusion complexation of loratadine with natural and modified cyclodextrins: Phase solubility and thermodynamic studies. *Journal of Solution Chemistry*.

Popli, S., & Patel, U. D. (2015). Destruction of azo dyes by anaerobic-aerobic sequential biological treatment: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*.

Rahman, A. M., Amin, S. M. R., & Alam, A. M. S. (2012). Removal of methylene blue from wastewater using activated carbon prepared from rice husk. *Dhaka University Journal of Science*.

Sadeghi, S., & Nasehi, Z. (2018). Simultaneous determination of Brilliant green and Crystal Violet dyes in fish and water samples with

dispersive liquid-liquid micro-extraction using ionic liquid followed by zero crossing first derivative spectrophotometric analysis method. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*.

Sadik, M. A. (2019). A review of promising electrocoagulation technology for the treatment of wastewater. *Advances in Chemical Engineering and Science*.

Saepurahman, Singaravel, G., & Hashaikeh, R. (2015). Fabrication of electrospun LTL zeolite fibers and their application for dye removal. *Journal of Materials Science*.

Salehi, I., et al. (2016). Comparative study between response surface methodology and artificial neural network for adsorption of crystal violet on magnetic activated carbon. *Arabian Journal for Science and Engineering*.

Satapathy, M. K., & Das, P. (2016). Assessment on the modelling of the kinetic parameter for the removal of crystal violet dye using Ag-soil nanocomposite: Linear and non-linear analysis. *Desalination and Water Treatment*.

Shirani, M., Semnani, A., & Habibollahi, S. (2014). Optimization of simultaneous removal of methylene blue, crystal violet, and fuchsine from aqueous solutions by magnetic NaY zeolite composite. *Water, Air, and Soil Pollution*.

Songlin, Z., et al. (2015). Adsorption isotherm, kinetic and mechanism studies of 2-nitrophenol on sedimentary phosphate. *Mediterranean Journal of Chemistry*.

Sridharan, D., & Sara, G. S. (2014). Routing in mobile wireless sensor network: A survey. *Telecommunication Systems*, 57 (1), 51–79.

Urbain, K. Y., et al. (2022). Optimization of preparation conditions of activated carbons based on the shells of *Ricinodendron heudoltii*. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*.

Uthirapathy, S., & Tahsin, A. (2021). Evaluation of genotoxic effects of a hydro-alcoholic extract of flowers of Nargis (*Narcissus tazetta* L.). *Eurasian Journal of Science and Engineering*.

Yagub, M. T., Sen, T. K., Afroze, S., & Ang, H. M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*.

Zainal Abidin, N., Mustafa, M., & Dangerfield, B. C. (2014). Combating obesity through healthy eating behaviour: A call for system dynamics optimisation. *PLOS ONE*, 9 (12), e14135

Zare, K., et al. (2015). A comparative study on the basis of adsorption capacity between CNTs and activated carbon as adsorbents for removal of noxious synthetic dyes: A review. *Journal of Nanostructure in Chemistry*.

Zhang, Z., et al. (2012). Mesoporous silica-coated gold nanorods as a light-mediated multifunctional theranostic platform for cancer treatment. *Advanced Materials*.