



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال هشتم، شماره‌ی ۳۲
پاییز ۱۳۹۶، صفحات ۲۲-۲۵

جذب رنگ متیلن بلو از محلول‌های آبی توسط جلبک سبز کلادوفورا

ساناز رئیس فرشید

گروه شیمی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

Email: Sanaz.RaeisFarshid@gmail.com

فرشته بابایی درویشی

گروه بیوتکنولوژی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

Email: Fereshtehbabaei1@gmail.com

اعظم روشانی دشتیمان

گروه بیوتکنولوژی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

Email: Annaroshani@gmail.com

رفعت مظاهری

گروه شیمی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

Email: Mazaherirafat@yahoo.co.uk

چکیده

رنگ‌ها، از مهم‌ترین مواد آلوده‌کننده فاضلاب صنایع نساجی بوده و به دلیل ساختار پیچیده، غالباً سمی، سرطان زا، غیر قابل تجزیه بیولوژیک و پایدار در طبیعت هستند. به این دلیل حذف آن‌ها همواره از اهداف مهم در زمینه کنترل آلودگی آب و پساب‌های صنعتی می‌باشد. در این مطالعه جذب محلول رنگی متیلن بلو توسط جلبک سبز کلادوفورا از محلول‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر غلظت اولیه رنگ، دوز جذب، زمان تماس و pH در جذب محلول رنگی توسط جلبک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش دوز جذب، درصد حذف رنگ افزایش یافت و همچنین با افزایش pH میزان جذب رنگ افزایش یافت. با توجه به نتایج pH بهینه در جذب متیلن بلو توسط جلبک سبز کلادوفورا ۶/۵ انتخاب شد. داده‌های جذب از ایزوترم جذبی لانگمویر و میزان جذب این رنگ بر روی جذب نیز از معادله‌ی سینتیکی درجه دو ظاهری تبعیت کرد. نتایج نشان داد که از جلبک سبز کلادوفورا می‌توان به عنوان یک جاذب ارزان قیمت و مناسب در حذف رنگ استفاده کرد.

کلیدواژه: جذب سطحی، متیلن بلو، کلادوفورا، ایزوترم لانگمویر، سینتیک جذب سطحی.

مقدمه

در حال حاضر آلودگی محیط زیست به عنوان یک مشکل و معضل جهانی مطرح می‌باشد. رنگ‌ها از جمله خطرناک‌ترین ترکیبات شیمیایی یافت شده در پساب‌های صنعتی بوده که بنا به دلایلی از قبیل کاهش قابلیت نفوذ نور و به دنبال آن ایجاد اختلال در انجام فرآیند فتوسنتز در منابع آبی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشند. رنگ‌های سنتزی به طور گسترده در بسیاری از صنایع مانند نساجی، پلاستیک سازی، چرم‌سازی، مواد غذایی و کاغذسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱-۲]. فاضلاب ناشی از این صنایع شامل مقادیر زیادی از رنگ‌ها می‌باشد که نه تنها باعث تخریب محیط زیست شده بلکه برای زندگی آبزیان نیز بسیار سمی و خطرناک محسوب می‌شود [۳-۵].

متیلن بلو رایج‌ترین ترکیب رنگی سمی مورد استفاده به منظور رنگ‌آمیزی پنبه، پشم و ابریشم است. استنشاق این ترکیب سبب اختلال در تنفس شده و حال آنکه مواجهه مستقیم با آن می‌تواند باعث بروز آسیب‌های دائمی به چشم های انسان و حیوانات، سوختگی‌های موضعی، تهوع و استفراغ، افزایش تعریق و اختلالات ذهنی شود. تصفیه نامناسب و دفع غیر اصولی فاضلاب‌های رنگی حاصل از صنایع نساجی، رنگرزی، چاپ و صنایع مرتبط زمینه‌ساز بروز مشکلات و معضلات زیست محیطی فراوانی در سراسر جهان شده است [۶-۸].

به دلیل پیچیدگی و مقاوم بودن ساختار رنگ‌ها نسبت به زمان، نور آفتاب، آب و مواد اکسیدکننده، به آسانی نمی‌توان آن‌ها را از پساب‌ها حذف کرد [۳-۹]. روش‌های مختلفی از قبیل ترسیب شیمیایی، تعویض یونی، جذب روی کربن فعال، روش‌های غشایی برای حذف رنگ‌های نساجی از پساب‌ها به کار برده شد. اما این روش‌ها، همیشه موثر و اقتصادی نیستند به ویژه زمانی که غلظت آلاینده بسیار کم است. بنابراین روش‌های مؤثر، ایمن و مقرون به صرفه برای حذف آلاینده‌ها از پساب‌ها مورد نیاز است. در گذشته کربن فعال به طور معمول برای این منظور استفاده می‌شد اما گران

قیمت بودن، استفاده از آن را محدود کرد. پس از آن روش حذف بیولوژیکی به دلیل اقتصادی و عملی بودن در مقایسه با دیگر روش‌های مرسوم مورد توجه قرار گرفت. در این روش از توده‌های سلولی که خود به عنوان ماده زائد می‌باشند می‌توان بعنوان جاذب استفاده نمود [۱۰-۱۴]. تصفیه بیولوژیکی فاضلاب‌ها توسط قارچ‌ها، باکتری‌ها، جلبک‌ها و تک سلولی‌ها انجام می‌شود. از این رو محققان مواد جاذب مقرون به صرفه را جایگزینی مناسب برای کربن فعال در نظر گرفتند. به عنوان نمونه انواع جلبک‌ها، سبوس گندم، پوست نارگیل و پرتقال برای حذف آلاینده‌ها از محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گرفتند. در میان این موارد استفاده از جلبک سبز به ویژه برای فاضلاب‌ها به دلیل فراوانی و ارزان بودن آن در مقایسه با روش‌های دیگر بسیار مورد توجه قرار گرفت. همچنین جلبک سبز به دلیل ویژگی‌ها و ساختار فیزیکی - شیمیایی، توانایی بالایی به عنوان جاذب از خود نشان داد. کلادوفورا یک نوع جلبک سبز رشته‌ای بوده که به طور گسترده در پساب‌های اوتروفیک و تالاب‌های بسیاری از نقاط جهان پراکنده است. بنابراین، بهره‌مندی از این منبع وافر و در دسترس، به منظور تصفیه فاضلاب بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۵-۱۹]. هدف از این پژوهش بررسی راندمان جلبک کلادوفورا در جذب رنگ متیلن‌بلو و تاثیر پارامترهای مختلف در میزان جذب می‌باشد. همچنین مدل جذبی لانگمویر و معادله‌ی سینتیکی مورد بررسی قرار گرفت که می‌تواند مقیاس مناسبی برای فرآیند جذب باشد.

مواد و روش‌ها

-آماده‌سازی جلبک و محلول متیلن‌بلو

گونه‌ی جلبک سبز کلادوفورا از رودخانه‌ای در شهرستان رضوانشهر واقع در استان گیلان جمع‌آوری شد. قبل از استفاده و به منظور رفع آلودگی، جلبک جمع‌آوری شده چندین بار با آب مقطر شستشو داده شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و پودر شد.

- تعادل جذب و مدل‌های سینتیکی

اساس نظریه لانگمویر این است که جذب از طریق سایت-های خاصی توسط جاذب صورت می‌گیرد. به بیان دیگر، وقتی یک مولکول رنگ یک سایت جاذب را اشغال می‌کند دیگر جذبی در این سایت اتفاق نمی‌افتد. اشباع لایه‌ی سطحی می‌تواند توسط ایزوترم لانگمویر نمایش داده شود. این مدل برای داده‌های ایزوترم جذبی متیلن بلو با غلظت‌های اولیه متفاوت کاملاً مناسب می‌باشد. این داده‌ها به وسیله‌ی اندازه‌گیری غلظت متیلن بلو بعد از زمان تماس جاذب/جذب شونده که با زمان تعادلی برابر بود به دست آمده است. معادله‌ی ۱ ایزوترم لانگمویر را بیان می‌کند [۲۱]:

$$q_{\varepsilon q} = \frac{Q^{\circ} b C_{\varepsilon q}}{1 + b C_{\varepsilon q}} \quad (1)$$

که همچنین می‌توان به صورت معادله ۲ نوشت:

$$\frac{C_{\varepsilon}}{q_{\varepsilon}} = \frac{1}{q_{\max}} C_{\varepsilon} + \frac{1}{b q_{\max}} \quad (2)$$

C_e غلظت تعادلی (mg l^{-1})، q_e مقدار رنگ جذب شده (mg g^{-1})، q_{\max} همان q_e برای یک لایه‌ی سطحی کامل (mg g^{-1}) و b ثابت تعادل جذب (mg l^{-1}) است. نمودار $\frac{1}{q_{\varepsilon}}$ بر حسب C_e یک خط مستقیم با شیب $\frac{1}{q_{\max}}$ و عرض از مبدا $\frac{1}{b q_{\max}}$ را نشان می‌دهد.

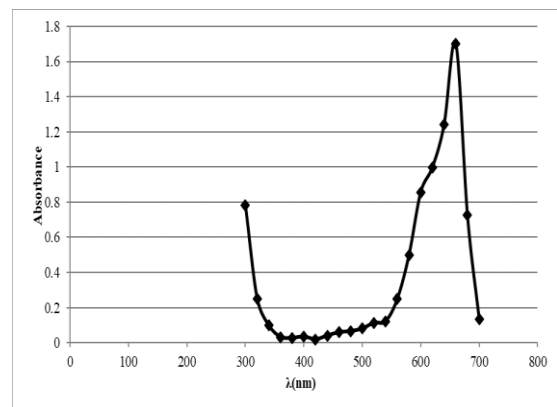
شکل خطی فروندلیچ در معادله ۳ نشان داده شده است که در آن C_e غلظت تعادل (میلی گرم بر لیتر)، q_e ظرفیت جذب در زمان تعادل (میلی گرم بر گرم)، k_f و n ثابت‌های فروندلیچ هستند که از رسم نمودار $\ln q_e$ در مقابل $\ln C_e$ (معادله ۳) به دست می‌آیند.

$$\ln q_e = \ln k_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (3)$$

مطابق مدل سینتیکی، معادله‌ی درجه اول و دوم به کار برده شد. قانون سرعت درجه اول Lagergren (معادله ۴) است:

$$\frac{dq}{dt} = k_{L,ad}(q_{\varepsilon q} - q) \quad (4)$$

از محلول مادر ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر متیلن بلو، محلول‌هایی با غلظت‌های ۵، ۱۰، ۲۵ و ۳۰ میلی گرم بر لیتر تهیه شد. جهت تعیین طول‌موج ماکزیمم جذب رنگ مورد نظر از اسپکتروفتومتر UV/Vis استفاده و طیف جذب رنگ متیلن-بلو در محدوده طول موج ۳۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر تهیه و بر اساس طیف جذبی به دست آمده λ_{\max} رنگ مورد نظر ۶۶۵ نانومتر تعیین شد (شکل ۱ و جدول ۱) [۲۰].



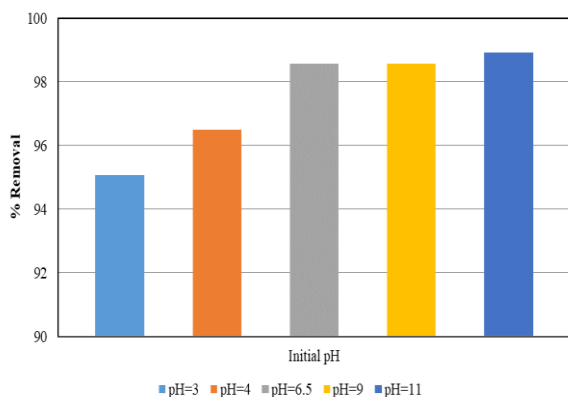
شکل ۱: طیف جذب رنگ متیلن بلو

جدول ۱- مشخصات شیمیایی رنگ متیلن بلو

Methylene Blue	
IUPAC Name	Phenothiazin-5-ium3,7-bis(Dimethylamino)-, chloride
Commercial Name	Basic blue 9, Methylthionium chloride, Chromosmon, Swiss Blue, Methylene Blue
Molecular Formula & Molecular Weight	C 16 H 18 SCl N3 Mw: 319.85 g/mol
CI Classification Number	52015
Structural Formula	

محلول آماده شده ۶/۵ بود که با اسید هیدروکلریک ۰/۱ N و یا سود ۰/۱ N تنظیم شد. کم‌ترین درصد حذف متیلن بلو در pH=۳ مشاهده شد و پس از آن درصد حذف تا pH=۶/۵ افزایش یافته و از این مقدار تا pH=۱۱ تغییر قابل ملاحظه‌ای دیده نشد. بنابراین pH=۶/۵ برای بررسی اثر زمان تماس انتخاب شد [۳].

ماتریس دیواره سلولی جلبک سبز دارای گروه‌های عاملی مختلف شامل کربوکسیل، هیدروکسیل، سولفات و دیگر گروه‌های عاملی است که از پلی ساکاریدهای پیچیده، پروتئین و چربی ساخته شده‌اند [۲۵]. در pH پایین، درصد جذب رنگ‌های کاتیونی کاهش و در مقابل، در pH بالا درصد جذب آن‌ها افزایش می‌یابد. وجود یون‌های H⁺ در محیط باعث می‌شود که این یون‌ها به طرف سطح جذب که منفی است کشیده شده و سطح آن‌ها را مثبت کند، از طرف دیگر از آن جایی که متیلن بلو یک رنگ کاتیونی با بار مثبت می‌باشد، به وسیله این یون‌ها دفع شده و درصد جذب کاهش می‌یابد. در حالی که در pH بالاتر، بار منفی سطح، جذب آلاینده‌های کاتیونی را آسان می‌کند [۲۳، ۲۵، ۲۶].



شکل ۲: تاثیر pH اولیه بر جذب محلول آبی متیلن بلو توسط جلبک کلادوفورا
(C₀=10 mg l⁻¹, Adsorbent dose= 1200 mg l⁻¹, T=25 °C, t=60 min)

اثر مقدار جاذب

مقدار جاذب یک پارامتر مهم در فرآیندهای جذب است که ظرفیت جذب جاذب برای غلظت اولیه داده شده از جاذب را در شرایط عملیاتی تعیین می‌کند [۳]. جلبک

q (mg g⁻¹) مقدار متیلن بلو جذب شده توسط جاذب در زمان t بر حسب (min) و k_{1,ad} بر حسب (min⁻¹) ثابت سرعت درجه اول جذب است. با انتگرال‌گیری از معادله ۴ معادله ۵ حاصل می‌شود:

$$\log(q_{eq} - q) = \log q_{eq} - \frac{k_{1,ad}}{2.303} t \quad (5)$$

نمودار خط مستقیم $\log(q_{eq}-q)$ بر حسب t انطباق با مدل‌های سینتیکی را نشان می‌دهد. به علاوه، در بسیاری از موارد معادله درجه اول Lagergren برای تمامی زمان‌های تماس مناسب نمی‌باشد [۲۲].

مدل سینتیکی درجه دوم با معادله ۶ نشان داده می‌شود:

$$\frac{dq}{dt} = k_{2,ad} (q_{eq} - q)^2 \quad (6)$$

که k_{2,ad} ثابت سرعت جذب درجه دوم (g mg⁻¹ min⁻¹) می‌باشد. با انتگرال‌گیری از رابطه بالا و خطی کردن آن، معادله ۷ زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{k_{2,ad} q_{eq}^2} + \frac{1}{q_{eq}} t \quad (7)$$

نمودار خطی t/q بر حسب t نشان‌دهنده تبعیت از مدل سینتیکی درجه دوم می‌باشد. q_e و k_{2,ads} به ترتیب از شیب و عرض از مبدا معادله خط مذکور به دست می‌آید. این شکل معادله سینتیکی درجه دوم نیز غالباً برای فرآیندهای حذف به وسیله بیومس‌های غیر زنده صادق است.

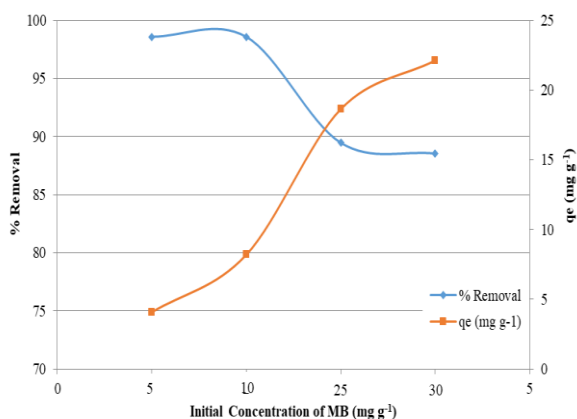
یافته‌ها و بحث

اثر pH

pH اولیه محلول رنگ نقش مهمی در فرایند جذب خصوصاً در ظرفیت جذب بازی می‌کند، به منظور بررسی اثر pH، محلول‌هایی با مقادیر مختلف ۳، ۴/۵، ۶، ۹ و ۱۱ تهیه شد. شکل ۲ اثر pH اولیه محلول بر جذب متیلن بلو توسط جلبک کلادوفورا در محلولی با غلظت اولیه ۱۰ mg l⁻¹ متیلن بلو و ۱۲۰۰ میلی گرم بر لیتر جاذب در ۳۰۰ دور در دقیقه و دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد را نشان می‌دهد [۲۴]. pH اولیه

افزایش غلظت اولیه متیلن بلو افزایش یافت در حالی که افزایش بیش‌تر در غلظت اولیه متیلن بلو منجر به کاهش درصد حذف آن گردید. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است با تغییر غلظت اولیه رنگ از ۵ به 30 mg l^{-1} مقدار متیلن بلو جذب شده توسط جلبک کلادوفورا از ۴ به $22/1$ mg l^{-1} افزایش پیدا کرد [۱۷-۱۵].

میزان جذب به شدت به غلظت اولیه‌ی متیلن بلو وابسته است. در غلظت‌های پایین رنگ، نسبت سطوح مکان‌های فعال جاذب به جذب شونده بالا می‌باشد. علاوه بر این، یون‌ها می‌توانند با اشغال سایت‌های فعال موجود در سطح جاذب از محلول حذف شوند. اما با افزایش بیش‌تر در غلظت اولیه رنگ، تعداد سایت‌های فعال جذب برای قرارگیری یون‌های رنگ کافی نیست [۲۹-۲۸].



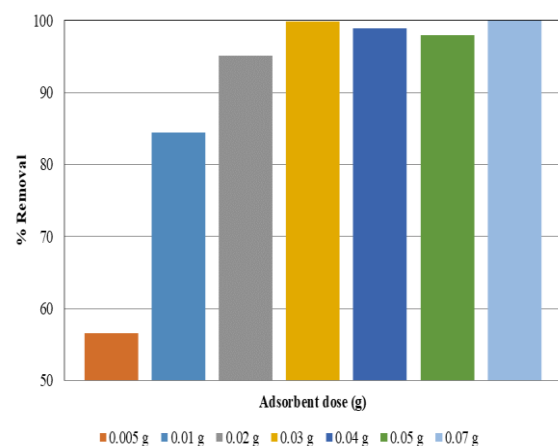
شکل ۴: تاثیر غلظت‌های اولیه متفاوت محلول‌های آبی متیلن بلو در فرایند جذب

(Adsorbent dose= 1200 mg l^{-1} , pH= 6.5, T=25 °C, t= 60 min)

- اثر زمان تماس

صرف نظر از دیگر پارامترهای آزمایش که بر سینتیک جذب تاثیرگذار بوده، زمان تماس در فرآیند جذب دارای نقش حیاتی می‌باشد. تاثیر زمان تماس بر فرآیند حذف رنگ با غلظت اولیه‌ی 10 mg l^{-1} متیلن بلو و مقدار 1200 میلی‌گرم بر لیتر جاذب در $\text{pH}=6/5$ ، در فواصل زمانی معین مورد بررسی قرار گرفت. بیش‌ترین میزان جذب در ۳۰ دقیقه‌ی اولیه آزمایش اتفاق افتاد و با گذشت زمان مقدار آن به آرامی

کلادوفورای خشک شده با مقادیر مختلف از ۲۰۰-۲۸۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر محلول متیلن بلو با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به مدت ۲ ساعت در دمای 25°C روی هیتر مگنت با ۳۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. با افزایش مقدار جاذب، مقدار جذب رنگ افزایش یافته و در مقدار 1200 میلی‌گرم بر لیتر به حالت تعادلی رسید. شکل ۳ نشان داد که وقتی مقدار جاذب از 200 میلی‌گرم بر لیتر به 1200 میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت، درصد حذف رنگ برای سیستم کلادوفورا-متیلن بلو از ۵۷ به ۹۸ افزایش یافت. چنین روندی را می‌توان به افزایش سطح جذب و در دسترس بودن محل‌های اتصال بیش‌تر نسبت داد. اما با افزایش بیش‌تر در مقدار جاذب، افزایش قابل توجهی در درصد حذف رنگ دیده نشد، زیرا این افزایش مقدار جاذب در یک غلظت ثابت از محلول متیلن بلو، منجر به تشکیل سایت‌های جذبی غیر اشباع در اثر برخورد و چسبیدن ذرات جاذب به همدیگر در طول فرایند جذب می‌شود. چنین تراکمی منجر به کاهش سطح جاذب و افزایش طول مسیر نفوذ می‌شود [۲۷, ۲۶, ۲۰]. بنابراین، 1200 میلی‌گرم بر لیتر جاذب به‌عنوان مقدار بهینه برای این آزمایش در نظر گرفته شد (شکل ۳).



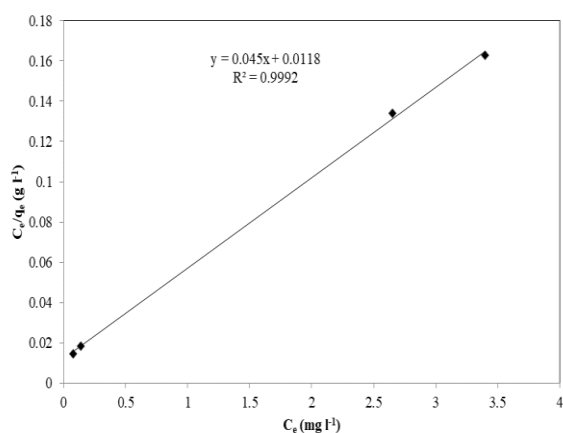
شکل ۳: تاثیر دوز جاذب بر جذب محلول‌های آبی متیلن بلو توسط جلبک کلادوفورا

($C_0=10 \text{ mg l}^{-1}$, pH= 6.5, T=25 °C, t= 60 min)

- اثر غلظت اولیه‌ی متیلن بلو

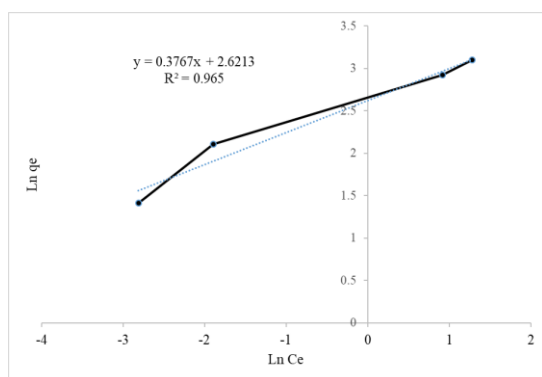
اثر غلظت اولیه‌ی متیلن بلو در فرآیند جذب متیلن بلو مورد بررسی قرار گرفت. ظرفیت جذب جلبک کلادوفورا با

روى جاذب به صورت یکنواخت قرار دارد [۳، ۱۰، ۱۵]. بر مبنای معادله (۲) بخش ۲ و ۲، نمودار خطی C_e/q_e بر حسب C_e در دمای ثابت با ضریب هم بستگی ($R^2=0/9992$) بیان کرد که ایزوترم لانگمویر برای سیستم جذبی متیلن بلو-کلادوفورا مناسب است. خط مستقیم به دست آمده برای محاسبه‌ی میزان q_{max} مورد استفاده قرار گرفت و نشان داد که میزان ظرفیت جذب تک لایه برای کلادوفورا $22/2 \text{ mg g}^{-1}$ می‌باشد.



شکل ۶: شکل خطی ایزوترم لانگمویر برای جذب متیلن بلو توسط کلادوفورا

($C_0=10 \text{ mg l}^{-1}$, Adsorbent dose= 1200 mg l^{-1} , pH= 6.5, T=25 °C)



شکل ۷: شکل خطی ایزوترم فروند لیچ برای جذب متیلن بلو توسط کلادوفورا

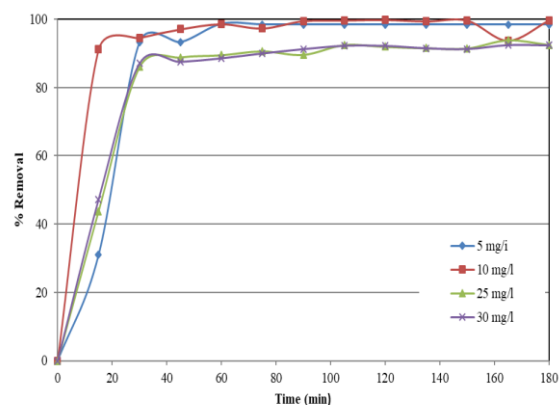
($C_0=10 \text{ mg l}^{-1}$, Adsorbent dose= 1200 mg l^{-1} , pH= 6.5, T=25 °C)

- سینتیک جذب

در مطالعات سینتیکی به بررسی تأثیر زمان تماس با مقدار جذب پرداخته شد که دو مدل سینتیک شبه مرتبه اول و سینتیک شبه مرتبه دوم بودند [۳]. شکل‌های ۸ و ۹ نشان

افزایش پیدا کرد. شکل ۵ نشان می‌دهد که زمان تماس بهینه برای این آزمایش ۶۰ دقیقه می‌باشد [۳-۶].

درصد حذف متیلن بلو توسط جلبک کلادوفورا در ۳۰ دقیقه‌ی اولیه آزمایش به سرعت افزایش یافت، اما رفته رفته با افزایش زمان به میزان ثابتی رسید که این خود نشان دهنده‌ی رسیدن به حالت تعادل است. به نظر می‌رسد که میان مولکول‌های رنگ و جاذب نیروی کشش قوی وجود دارد. در ابتدا سایت‌های خالی موجود در جاذب و نیز غلظت متیلن بلو بالا است، پس از گذشت زمان و انجام فرآیند جذب، به دلیل کاهش سایت‌های خالی باقی مانده روی جاذب، سرعت جذب به میزان قابل توجه‌ای کاهش یافت و به مقدار ثابتی رسید [۲۸-۲۹].



شکل ۵: تأثیر زمان تماس جذب متیلن بلو توسط کلادوفورا از محلول‌های آبی

($C_0=10 \text{ mg l}^{-1}$, Adsorbent dose= 1200 mg l^{-1} , pH= 6.5, T=25 °C)

- ایزوترم‌های جذب

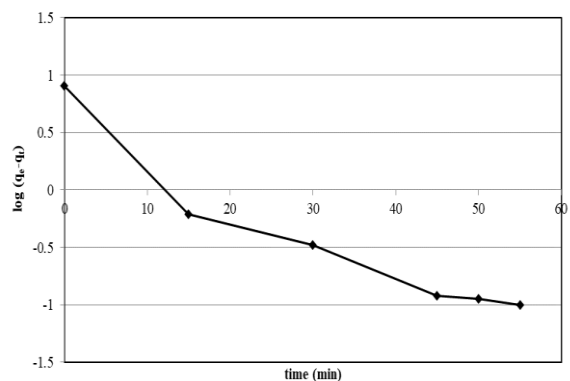
شکل ۶ و ۷ به ترتیب فرم خطی مدل‌های ایزوترم جذب تعادلی لانگمویر و فروند لیچ برای جذب سطحی رنگ متیلن بلو توسط جلبک کلادوفورا در غلظت‌های اولیه متفاوت از این رنگ را نشان داد. میزان ضریب هم بستگی ایزوترم لانگمویر ($R^2=0/9992$) از ایزوترم فروند لیچ ($R^2=0/965$) بزرگ‌تر می‌باشد که بیان می‌کند جذب از ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند. این امر نشان دهنده این موضوع می‌باشد که جذب سطحی مولکول‌های رنگ متیلن بلو در سطح تک لایه بر روی جاذب صورت گرفته است و مکان‌های جذب بر

تماس با ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از جاذب قرار گرفت، به دست آمد. حداکثر مقدار جاذب در ۳۰ دقیقه‌ی اولیه آزمایش اتفاق افتاد و با گذشت زمان به آرامی افزایش یافت و با توجه به نمودار به دست آمده زمان تماس بهینه برای این آزمایش ۶۰ دقیقه انتخاب شد. فرم خطی مدل ایزوترم جاذب تعادلی لانگمویر نشان داد که این ایزوترم برای سیستم جذبی متیلن بلو-کلادوفورا مناسب است. مطالعات سینتیکی جاذب نشان داد که سیستم متیلن بلو-کلادوفورا تطابق خوبی با مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم دارد. نتایج نشان داد که با افزایش دوز جاذب، درصد حذف رنگ افزایش یافت و همچنین pH بهینه در جذب متیلن بلو توسط جلبک کلادوفورا ۶/۵ انتخاب شد. نتایج نشان داد که از جلبک کلادوفورا می‌توان به عنوان یک جاذب ارزان قیمت و مناسب در حذف رنگ استفاده کرد.

منابع

- [1] E. Forgacs., T. Cserhati., G. Oros., 2004, Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review, *Environment International*, 30, 953-971.
- [2] A. Gurses., S. Karaca., C. Dogar., R. Bayrak., M. Acikyildiz., M. Yalcin., 2004, Determination of adsorptive properties of clay/water system: methylene blue sorption, *Journal of Colloid and Interface Science*, 269, 310-314.
- [3] A. Kushwaha., N. Gupta., M.C. Chattopadhyaya., 2014, Removal of cationic methylene blue and malachite green dyes from aqueous solution by waste materials of *Daucus carota*, *Journal of Saudi Chemical Society*, 18, 200-207.
- [4] J.Z. Yi., L.M. Zhang., 2008, Removal of methylene blue dye from aqueous solution by adsorption onto sodium humate/polyacryl-amide/clay hybrid hydrogels, *Bioresource Technol*, 99, 2182-2186.
- [5] J. Sheng., Y. Xie., Y. Zhou., 2009, Adsorption of methylene blue from aqueous solution on pyrophyllite, *Applied Clay Science*, 46, 422-424.
- [6] H. Deng., J. Lu., G. Li., G. Zhang., X. Wang., 2011, Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk, *Chemical Engineering Journal*, 72, 326-334.
- [7] S.D. Desphande., 2001, Ecofriendly dyeing of synthetic fibres, *Indian Journal of Fiber & Textile Research*, 26, 136-42.
- [8] R.O.A. de Lima., A.P. Bazo., D.M.F. Salvadori., C.M. Rech., D.P. Oliveira., G.A. Umbuzeiro., 2007, Mutagenic and carcinogenic potential of a textile azo dye processing plant effluent that impacts a drinking water source, *Mutation Research*, 626, 53-60.
- [9] L. Wang., J. Zhanga., A. Wang., 2008, Removal of methylene blue from aqueous solution using chitosan-g-poly (acrylic acid)/mont-morillonite superadsorbent nanocomposite, *Colloids and Surfaces A*, 322, 47-53.
- [10] F. A. Pavan., E. C. Lima., S. L. P. Dias., A. C. Mazzocato., 2008, Methylene blue biosorption from aqueous solutions by yellow passion fruit waste, *Journal of Hazardous Materials*, 150, 703-712.
- [11] Y. Al-Degs., M.A.M. Khraished., S.J. Allen., M.N.A. Ahmad., 2001, Sorption behavior of cationic and anionic dyes

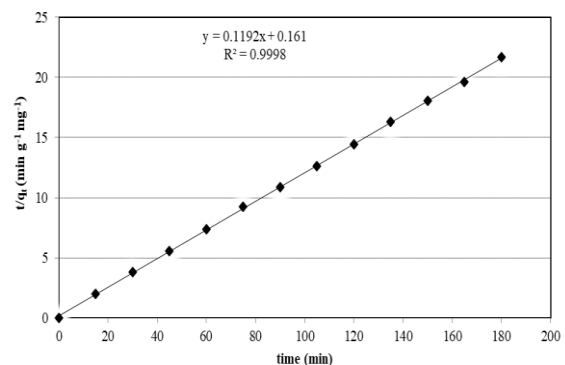
می‌دهد که جذب متیلن بلو توسط کلادوفورا از مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم تبعیت می‌کند. در حالی که مدل سینتیکی شبه مرتبه اول فقط در جذب غلظت‌های پایین معتبر است [۲۵]. همچنین خطی بودن نمودار تطابق مدل سینتیکی درجه دوم که دارای ضریب همبستگی (R^2) و میزان ثابت سرعت جذب درجه دوم (K_2) که به ترتیب برابر با ۰/۹۹۹۸ و $۰/۱۴۲ \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ می‌باشد را نشان می‌دهد [۲۰-۹].



شکل ۸: مدل سینتیکی شبه مرتبه اول برای جذب متیلن بلو توسط

کلادوفورا

($C_0=10 \text{ mg l}^{-1}$, Adsorbent dose= 1200 mg l^{-1} , pH= 6.5, T=25 °C)



شکل ۹: مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم برای جذب متیلن بلو توسط

کلادوفورا

($C_0=10 \text{ mg l}^{-1}$, Adsorbent dose= 1200 mg l^{-1} , pH= 6.5, T=25 °C)

نتیجه گیری

مطالعه حاضر نشان داد که جلبک کلادوفورا ظرفیت بالایی برای حذف رنگ متیلن بلو از محلول‌های آبی دارد. حداکثر درصد حذف، برای محلول رنگی متیلن بلو با غلظت اولیه ۱۰ ppm و pH برابر با ۶/۵ که به مدت ۶۰ دقیقه در

from aqueous solution on different types of activated carbons, *Separation Science and Technology*, 36, 91–102.

[12] M. M, El-Sheekh., M. M, Gharieb., G. W, Abou-El-Souod., 2009, Biodegradation of dyes by some green algae and cyanobacteria, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63, 699–704.

[13] P, Canizares., F, Martinez., C, Jimenez., J, Lobato., M.A, Rodrigo., 2006, Coagulation and electrocoagulation of wastes polluted with dyes, *Environmental Science & Technology*, 40, 6418–6424.

[14] I.A, Salem., M, El-maazami., 2000, Kinetics and mechanism of color removal of methylene blue with hydrogen peroxide catalysed by some supported alumina surfaces, *Chemosphere*, 41, 1173–1180.

[15] S, Banerjee., M.C, Chattopadhyaya., 2017, Adsorption characteristics for the removal of a toxic dye, tartrazine from aqueous solutions by a low cost agricultural by-product, *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1629–S1638.

[16] M, Arami., N. Y, Limaee., N. M, Mahmoodi., N, Salman-Tabrizi., 2005, Removal of dyes from colored textile waste water by orange peel adsorbent: equilibrium and kinetic studies, *Journal of Colloid and Interface Science*, 288, 371–376.

[17] M.T, Sulak., E, Demirbas., M, Kobya., 2007, Removal of Astrazon Yellow 7GL from aqueous solutions by adsorption onto wheat bran, *Bioresource Technology*, 98, 2590–2598.

[18] M, Rafatullah., O, Sulaiman., R, Hashim., A, Ahmad., 2010, Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review, *Journal of Hazardous Materials*, 177, 70–80.

[19] L, Deng., Y, Su., H, Su., X, Wang., X, Zhu., 2007, Sorption and desorption of lead (II) from wastewater by green algae *Cladophora fascicularis*, *Journal of Hazardous Materials*, 143, 220–225.

[20] R, Deokar., A, Sabale., 2014, Biosorption of Methylene Blue and Malachite Green from Binary Solution onto *Ulva lactuca*, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(5), 295–304.

[21] Y. S, Ho., T.H, Chiang., Y. Mei, Hsueh., 2005, Removal of basic dye from aqueous solution using tree fern as a biosorbent, *Process Biochemistry*, 40, 119–124.

[22] M, Otero., F, Rozada., L. F, Calvo., A. I, Garcia., A, Moran., 2003, Kinetic and equilibrium modelling of the methylene blue removal from solution by adsorbent materials produced from sewage sludges, *Biochemical Engineering Journal*, 15, 59–68.

[23] P, Velmurugan., V, Rathina kumar., G, Dhinakaran., 2011, Dye removal from aqueous solution using low cost adsorbent, *International Journal of Environmental Science*, 1, 1492–1503.

[24] S, Wang., Y, Boyjoo., A, Choueib., 2005, A comparative study of dye removal using fly ash treated by different methods, *Chemosphere*, 60, 1401–1407.

[25] G, Zhang., Y, Bao., 2011, Study of adsorption characteristics of methylene blue onto activated carbon made by *salix psammophila*, *Energy Procedia*, 16, 1141–1146.

[26] M, Khodaie., N, Ghasemi., B, Moradi., M, Rahimi., 2013–2018, Removal of Methylene Blue from Wastewater by Adsorption onto ZnCl₂ Activated Corn Husk Carbon Equilibrium Studies, *Journal of Chemistry*.

[27] E. N, ElQada., S. J, Allen., G. M, Walker., 2006, Adsorption of basic dyes onto activated carbon using microcolumns, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45, 6044–6049.

[28] T, Teka., S, Enyew., 2014, Study on effect of different parameters on adsorption efficiency of low cost activated orange peels for the removal of methylene blue dye, *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 8, 106–111.

[29] M, Nageswara Rao., Y, Hanumantha Rao., Ch, Chakrapani., Ch, Suresh Babu., B. V, Rajeswara Reddy., P, Hariitha., K. S, Rao., 2011, Adsorption studies of methylene blue dye using prepared low-cost activated Kaza's Carbons, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 3 (5), 363–375.