

حذف رنگزای بنفش کریستال از محلول های آبی با استفاده از برگ گزنه

سیده رضوانه سیدی*

تهران، میدان ولی عصر، شرکت دارو سازی اکسیر

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۲۵

چکیده:

در این تحقیق، حذف رنگزای بنفش کریستال با استفاده از فرآیند جذب سطحی مورد مطالعه قرار گرفت. از برگ گزنه به عنوان جاذب مناسب برای حذف رنگ بنفش کریستال استفاده شد. متغیرهایی از جمله pH غلظت بنفش کریستال، مقدار جاذب، زمان تماس بهینه سازی شد. بر اساس نتایج بدست آمده، مناسب ترین محدوده pH برای حذف رنگزا توسط برگ گزنه بین ۲ تا ۶ می باشد و نتایج نشان داد که عمل حذف در زمان تماس ۱۸۰ دقیقه صورت می گیرد. معادله ی لانگمیر، فروندلیچ و تمکین نیز برای فرآیند جذب مطالعه شد و نتایج تجربی با ایزوترم لانگمیر مطابقت دارد.

واژگان کلیدی: جذب سطحی، بنفش کریستال، برگ گزنه، ایزوترم.

مقدمه:

آب حیاتی ترین ماده ایست که انسان به آن نیاز دارد. لذا کیفیت آن یکی از دغدغه های همیشگی بشر بوده است چه بسا تمدن هایی که در اثر عدم وجود منابع آبی سالم و پاک رو به ویرانی نهاده اند و یا از جایی به جای دیگر مهاجرت نموده اند. اگر به شکل گیری تمدن ها و فرهنگ ها دقت شود مشاهده می گردد که بیشتر شهرها و تمدن ها در کنار رودخانه ها و نهرها شکل گرفته اند. به رغم منابع بالقوه عظیم موجود، در بسیاری از بخش های جهان آب خالص برای برآوردن نیازهای آدمی نا کافی می باشد. این وضع تا حدی به سبب تغییر الگوهای مصرف و نیز پیشرفت های صنعتی و کشاورزی و رشد جمعیت جهان می باشد. به رغم اینکه تقریباً سه چهارم سطح زمین را آب تشکیل می دهد ولی اکثر این آبها به علل مختلف قابل استفاده نیستند و تنها بخش کوچکی از آن کاربرد دارد. به عنوان مثال آبهای سطحی موجود در زمین انواع مواد معلق و آلودگی ها را در خود دارد و آبهای زیر زمینی نیز سرشار از مواد محلول است. این در حالی است که بشر با

حذف رنگزای بنفش کریستال از محلول های آبی با استفاده از برگ گزنه

آلوده کردن رودخانه ها و حتی آبهای زیرزمینی بر دشواری استفاده از آن افزوده است. همچنین وجود انواع نمک های در آب اقیانوس ها ارزش آن را برای مصارف خانگی و کشاورزی و غیره تقریباً غیر ممکن ساخته است.

در صنعت نساجی، آب نه تنها به عنوان یک ماده اولیه حیاتی جهت تهیه بخار به منظور گرم کردن و یا خشک کردن به کار می رود بلکه اغلب عملیات تکمیلی از قبیل شستشو، سفیدگری، رنگرزی و چاپ در محیط آبی انجام می گیرد. اغلب پساب های حاصل از صنایع نساجی حاوی مقادیر زیادی از مواد رنگی و رنگزاها می باشند که تخلیه آنها به محیط زیست از قبیل دریاچه ها و رودخانه ها، موجب کاهش انتقال نور، کاهش میزان اکسیژن محلول در آب شده و از این طریق زندگی آبزیان را مختل می کنند. در ضمن این آلودگی ها قادرند برای مدت زمان بسیار طولانی و به صورت پایدار در محیط باقی بمانند لذا تصفیه و حذف رنگرهای موجود در پساب های حاصل از فعالیت های صنایع نساجی حایز اهمیت فراوان است.^{۱۴}

در سال های اخیر، صنایع، تحت فشار شدید مسوؤ لین و افکار عمومی اجتماع قرار دارند تا پساب های خود را قبل از تخلیه به محیط های طبیعی، به نحو مطلوبی تصفیه نمایند. از این رو یافتن روش های مؤثر تصفیه امری ضروری و اجتناب ناپذیر است.^۵

فرآیندهای تصفیه ی آب به سه دسته ی اصلی تقسیم می شوند:

فرآیندهای فیزیکی: که اساساً به خواص فیزیکی آلودگی بستگی دارد مثلاً اندازه ی ذره، چگالی، گرانی و غیره.

مثال هایی برای این نوع فرآیندها عبارتند از: آشغال گیری، ته نشینی، صاف سازی و چربی گیری.

فرآیندهای بیولوژیکی: که از واکنش های بیوشیمیایی برای حذف ناخالصی های کلوئیدی یا قابل حل، که معمولاً مواد

آلی اند، استفاده می شود. فرآیندهای بیولوژیکی هوازی، شامل فیلتراسیون بیولوژیکی و لجن فعال است. از فرآیندهای

اکسایش بی هوازی برای تثبیت لجن های آلی و پساب های آلی مقاوم استفاده می شود.

فرآیندهای شیمیایی: که به خواص شیمیایی آلودگی بستگی دارد. در این روش، تصفیه توسط مواد و روش های شیمیایی

صورت می گیرد. مثال هایی برای فرآیندهای شیمیایی عبارتند از: لخته سازی، ترسیب و مبادله ی یون.

امروزه ثابت شده است که روش جذب سطحی روش خوبی برای حذف مواد سمی از آب نسبت به روش های تصفیه فیزیکی

دیگر مثل فلوتاسیون، شناور سازی کف و ... می باشد. دلیل این امر کارایی بالای روش جذب سطحی برای حذف آلاینده

ها و مقرون بصره بودن آن از لحاظ اقتصادی است.^۶ مواد رنگی براحتی طی فرآیند جذب سطحی از پساب حذف می

شوند. بطوریکه ترکیبات موجود در مواد رنگزا محلول در پساب ها، خود را به سطح جاذب متصل می کنند و به این طریق

از محلول پساب جدا می شوند.^۷

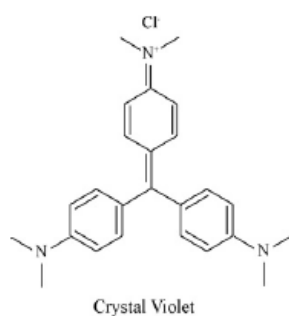
تا کنون جذب مواد رنگزا از پساب های صنعتی بویژه پساب منسوجات با استفاده از جاذب های مختلفی همچون : جلبک ها،^۸ زیولیت،^۹ دیاتومه ها،^{۱۰} ضایعات کشاورزی،^{۱۱} پوسته تمر هندی،^{۱۲} پوسته شلتوک^{۱۴} و سایر جاذب ها صورت گرفته است.^{۱۴،۱۶}

هدف از انجام این تحقیق، بررسی جزئیات حذف رنگزای بنفش کریستال با استفاده از جاذب طبیعی برگ گزنه می باشد. برای این منظور تأثیر pH، غلظت رنگزا، غلظت جاذب، زمان تماس و ایزوترم های جذب مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت و شرایط بهینه انتخاب شد همچنین ایزوترم های لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برای ارزیابی داده ها بررسی گردید.

بخش تجربی:

مواد و وسایل

رنگزای بنفش کریستال و سایر ترکیبات شیمیایی از شرکت مرک (آلمان) خریداری گردید. طول موج ماکزیمم (λ_{max}) جذب بنفش کریستال ۵۸۴ نانومتر می باشد. ساختار شیمیایی رنگزا در شکل شماره یک ارائه شده است. برگ گزنه جمع آوری شده از باغها و مزارع شمال کشور را با آب مقطر چندین بار شسته و به عنوان جاذب مناسب از آن استفاده شد. برای اندازه گیری میزان رنگبری از دستگاه اسپکتروفوتومتر Shimadzu ساخت کشور ژاپن استفاده شد. همچنین از دستگاه های pH متر مدل TS-TECHNOLOGY pH۴۶۲ جهت اندازه گیری pH و نیز از همزن مغناطیسی STIRRER-D110 ، آون و پمپ خلا در آزمایشات استفاده شد.



شکل ۱: ساختار شیمیایی بنفش کریستال.

روش کار:

برای آماده سازی جاذب ابتدا مقداری از جاذب مورد مطالعه را با هیدروکسید سدیم به مدت ۲۴ ساعت بر روی همزن همزده شد. سپس با استفاده از پمپ خلا صاف و چندین بار با آب مقطر شسته شد و برگ گزنه موجود بر روی کاغذ صافی را به مدت ۳ ساعت درون آون در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد گذاشته تا خشک شود. بدین ترتیب جاذب آماده شد و مراحل

حذف رنگزای بنفش کریستال از محلول های آبی با استفاده از برگ گزنه

بعد با استفاده از این جاذب صورت پذیرفت. محلول هایی با غلظت های (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر) حاوی رنگ بنفش کریستال تهیه شد. برای حل شدن رنگزا در آب مقطر، از استون استفاده شد.

جهت انجام این کار وزن مشخصی از جاذب تهیه شده از برگ گزنه را برداشته و در یک بشر ریخته شد سپس حجم های متفاوت از محلول رنگزا را در تماس با جاذب قرار داده شد، این مخلوط بوسیله همزن مغناطیسی با سرعت ۱۵۰ rpm به مدت ۳ ساعت همزده شد. بعد از آن محلول مورد مطالعه را سانترفوژ و صاف کرده و مقدار جذب محلول رنگزا بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. کلیه آزمایش های انجام شده در این تحقیق ۳ بار تکرار گردید و از میانگین نتایج در محاسبات استفاده شد. همچنین تمامی آزمایشات در دمای اتاق و در محدوده 1 ± 25 درجه سانتیگراد انجام گرفت. رابطه بین غلظت رنگزا (C) بر حسب mg/L و میزان جذب آن (A) با استفاده از چند نمونه حاوی غلظت های مشخصی از رنگزا تعیین شد. بازدهی فرآیند حذف با استفاده از معادله شماره ۱ محاسبه گردید:

$$\% \text{ میزان حذف رنگزا} = \frac{(C_r - C_t)}{C_r} \times 100 \quad (1)$$

که در آن C_r و C_t ، به ترتیب غلظت رنگزا قبل از حذف و بعد از انجام عمل حذف می باشند.

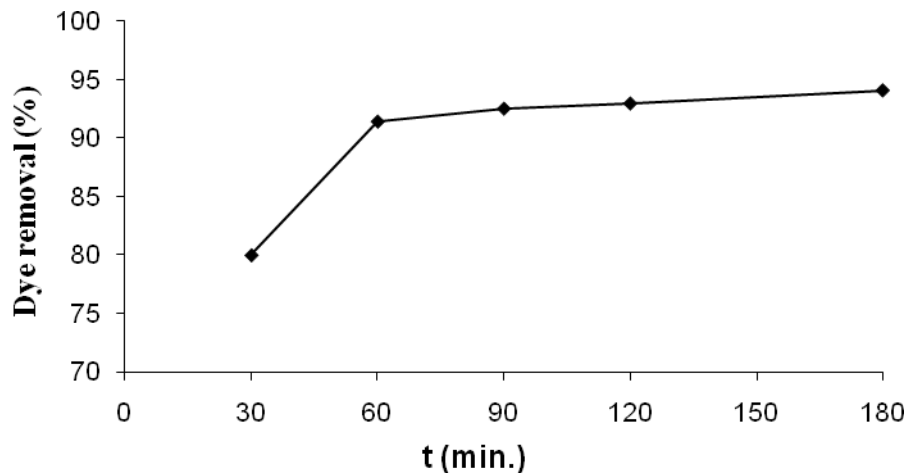
نتایج و بحث:

تأثیر متغیر های مختلف بر روی فرآیند جذب

میزان حذف رنگزای بنفش کریستال بوسیله جاذب مورد مطالعه تحت تاثیر پارامترهای مختلفی نظیر مدت زمان تماس بین جاذب و جذب شونده، غلظت جاذب و جذب شونده و نیز pH محلول دارد.

بررسی تأثیر زمان تماس بر فرآیند جذب

جهت بررسی تأثیر زمان تماس، با نمونه برداری از محلول در فاصله های زمانی ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه جذب هر یک از محلول های دارای غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر و ۰/۲ گرم جاذب و شرایط ثابت دیگر خوانده شد. پس از محاسبه راندمان حذف، نمودار راندمان حذف بر حسب زمان برای آنها رسم گردید (شکل ۲).



شکل ۲: تأثیر زمان تماس در حذف بنفش کریستال (۱۰۰ میلی لیتر محلول، 50 mg/L غلظت کریستال بنفش، $\text{pH}=4$ ، 0.2 گرم از جاذب، سرعت همزن 150 rpm).

طبیعی است که با افزایش زمان تماس، به دلیل افزایش فرصت و شانس برخورد مولکول های رنگزا با سطح جاذب جذب سطحی بیشتر خواهد شد. در بهینه سازی زمان، در مدت 180 دقیقه درصد بالایی از رنگ بنفش کریستال توسط برگ گزنه جذب شده است، که این نتیجه رضایت بخش به نظر می رسد. چنانچه از شکل نیز پیداست، وقتی زمان تماس افزایش می یابد، درصد جذب نیز افزایش می یابد. تعادل جذبی در زمان 180 دقیقه حاصل می شود. بعد از این مدت سرعت جذب کاهش یافته و منتهی به یک منحنی صاف و ممتد می شود. به عبارت دیگر پس از 180 دقیقه یک تعادل بین فاز جامد و محلول مورد مطالعه بوجود می آید.

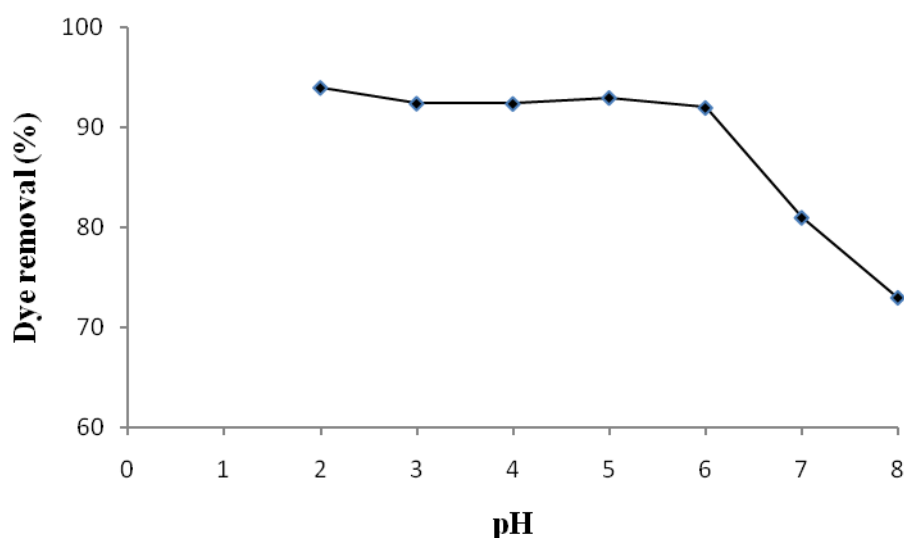
بررسی تأثیر pH بر فرآیند جذب

این پارامتر بیشتر زمانی مطرح است که جذب شونده به صورت یونی باشد ولی چون مولکول های خنثی نیز می توانند دو قطبی باشند بنابراین ممکن است برای اینگونه مولکول ها نیز مهم باشد. در واقع از آنجایی که یون های H^+ و OH^- به شدت جذب سطحی می شوند بنابراین می توانند بار سطحی جاذب را تغییر دهند. pH ای که در آن جاذب دارای سطح بار صفر (خنثی) می باشد اصطلاحاً نقطه ایزوالکتریک می نامند. زمانی که pH بزرگتر از pH نقطه ایزوالکتریک (pH_{pzc}) باشد، سطح جاذب دارای بار منفی شده و جذب ذرات دارای بار مثبت افزایش می یابد و به همین ترتیب بر هم کنش های آنها با مواد دارای بار یکسان با جاذب کاهش خواهد یافت.

جهت مطالعه تاثیر pH محلول آبی بر روی کارایی جاذب، ابتدا 0.2 گرم از جاذب مورد مطالعه را برداشته با 100 میلی لیتر از محلول پنجاه میلی گرم در لیتر از رنگزا مخلوط شد. سپس بوسیله محلول اسید نیتریک و سود 0.1 مولار، pH محلول

حذف رنگزای بنفش کریستال از محلول های آبی با استفاده از برگ گزنه

در محدوده های متفاوت بین ۲ تا ۸ تنظیم گردید. مخلوط جاذب و محلول رنگزا در pH های متفاوت به مدت ۳ ساعت همزده شد و پس از محاسبه میزان حذف رنگزا، نمودار راندمان حذف بر حسب pH برای هر یک از آنها رسم گردید (شکل ۳).

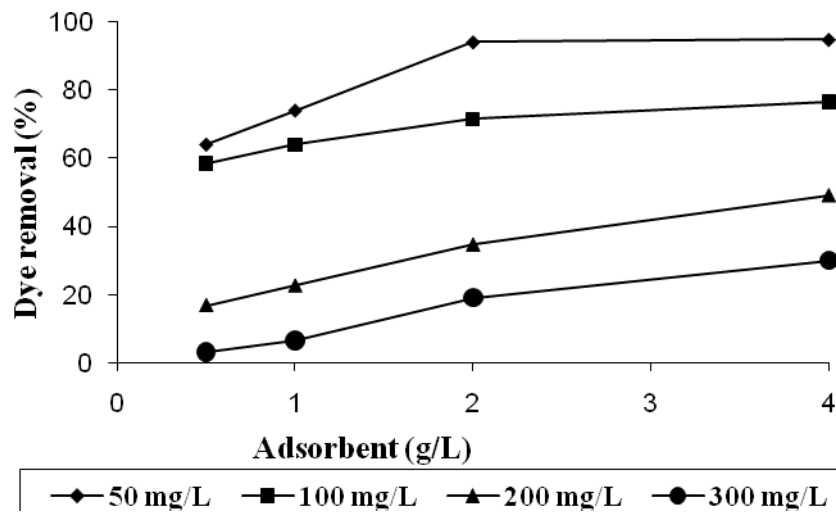


شکل ۳: تأثیر pH در میزان حذف رنگ بنفش کریستال توسط جاذب (۱۰۰ میلی لیتر محلول، ۰/۲ گرم از جاذب، سرعت همزن ۱۵۰ rpm به مدت ۳ ساعت)

نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد که در محدوده وسیعی از pH یعنی در محدوده بین ۲-۶ pH درصد حذف رنگزا بوسیله جاذب مورد مطالعه بالا می باشد که این موضوع یکی از مزیت های جاذب مورد مطالعه می باشد. در ضمن این فرایند به وسیله بار موجود در روی سطح جاذب و نیز یون های H^+ موجود در محیط قابل توجه می باشد.

بررسی تأثیر مقدار مصرفی جاذب

از آنجایی که جذب سطحی یک پدیده ی مربوط به سطح می باشد، بنابراین مقدار آن متناسب با سطح ویژه ی جاذب خواهد بود. سطح ویژه می تواند به صورت قسمتی از سطح جاذب که در عمل جذب سطحی قابل دسترس باشد، تعریف شود. بدیهی است هر چه سطح تماس ماده حل شونده با جاذب بیشتر باشد میزان جذب افزایش می یابد. جهت مطالعه اثر جاذب، مقادیر مختلفی از جاذب به وزن ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ گرم جاذب، به همراه ۱۰۰ میلی لیتر از غلظت های متفاوت محلول رنگزا (۳۰۰-۵۰ میلی گرم بر لیتر) مخلوط شد. سپس مخلوط جاذب و محلول رنگزا به مدت ۳ ساعت بر روی همزن هم زده شد. پس از سانتریفوژ کردن، غلظت رنگزا در محلول توسط اسپکترو فوتومتر تعیین گردید.



شکل ۴: تأثیر مقادیر مختلف جاذب بر روی حذف بنفش کریستال (۱۰۰ میلی لیتر محلول، pH=۴،

سرعت همزن ۱۵۰ rpm به مدت ۳ ساعت)

همانطور که در شکل ۴ نیز مشاهده می شود با افزایش مقدار مصرفی جاذب به دلیل افزایش محل های فعال جاذب، میزان جاذب نیز افزایش می یابد. یعنی با افزایش مقدار جاذب، مقدار سطح مقطع و مکان های فعال افزایش یافته بنابراین با افزایش وزن جاذب درصد حذف بیشتر خواهد شد.

بررسی ایزوترم های جاذب

هدف از انجام آزمایش های این قسمت، تعیین ایزوترمی است که عمل جاذب از آن پیروی می کند. در این مطالعه ایزوترم های لانگمویر، فروندلیچ و تمکین مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. و نتایج تجربی با معادلات مذکور مقایسه گردید.

ایزوترم جاذب لانگمویر

ایزوترم لانگمویر در مورد جاذب سطحی تک لایه معتبر است و بر اساس فرضیات زیر می باشد:

۱. انرژی جاذب یکسان بوده و بستگی به مقدار مادهی جاذب شونده روی جاذب ندارد، به عبارتی، قابلیت جاذب هر جایگاه فعال، یکسان و حضور مادهی جاذب شده در هر جایگاه تأثیری در دیگری ندارد.
۲. پیوندهای جاذب برگشت پذیرند.
۳. مادهی جاذب شده به صورت یک لایه به ضخامت یک مولکول می باشد و جاذب یک لایه ای است^{۱۶}.

معادله ی لانگمویر به صورت زیر بیان می شود:

$$q = \frac{Kq_m C_e}{1 + KC_e}$$

(۲)

حذف رنگزای بنفش کریستال از محلول های آبی با استفاده از برگ گزنه

که در آن q و q_m (mg g^{-1}) به ترتیب میزان ماده‌ی جذب شده در فاز جامد و حداکثر میزان ماده‌ی جذب شده در فاز جامد (ظرفیت جذبی جاذب) هستند. C_e مقدار ماده‌ی جذب شونده در فاز مایع و K_L نیز ثابت تعادل جذب می‌باشد. رابطه‌ی لانگمویر را می‌توان به صورت رابطه‌ی زیر، که فرم خطی معادله‌ی ۳ است، مرتب کرد:

$$\frac{C_e}{q} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{Kq_m} \quad (3)$$

ایزوترم جذب فروندلیچ

به طور کلی، ایزوترم فروندلیچ برای جذب از محلول‌های مایع و هم‌چنین جذب گاز به کار می‌رود. این مدل انرژی سطح جاذب ناهمگن را توصیف می‌کند. طبق این مدل ابتدا مقدار ترکیب جذب شده سریعاً افزایش می‌یابد، سپس با افزایش پوشش سطحی کاهش خواهد یافت.

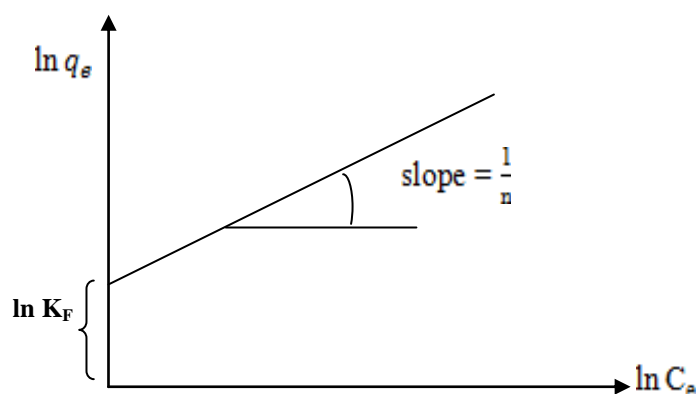
این تغییرات به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

که در آن q_e و C_e مشابه موارد مطرح شده در رابطه‌ی لانگمویر هستند. مقادیر K_F و n ، به ترتیب ثابت‌هایی مربوط به دما و خواص جذب شونده و جاذب می‌باشند و میزان ظرفیت جذبی جاذب و شدت جذب را بیان می‌کنند. فرم خطی معادله‌ی فروندلیچ به صورت زیر است:

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (5)$$

شکل زیر بر اساس رابطه‌ی (۵-۲) رسم شده است که $\ln K_F$ عرض از مبدأ آن می‌باشد. شیب این خط $1/n$ و نشان‌دهنده‌ی شدت جذب و K_F نمایان‌گر ظرفیت جذب می‌باشد.^{۱۷}



شکل ۵: نمودار خطی ایزوترم جذبی فروندلیچ

ایزوترم جذبی تمکین

تمکین و پیژو اثرات برهم کنش های جذب شونده-جذب شونده روی ایزوترم های جذبی را بررسی نمودند. گرمای جذب تمامی مولکول های لایه ها به صورت خطی با افزایش پوشش یافتن سطح به دلیل برهم کنش های جذب شونده-جذب شونده کاهش خواهد یافت. معادله ی تمکین به صورت رابطه ی زیر مورد استفاده قرار می گیرد^{۱۸}:

$$q_e = \left(\frac{RT}{b} \right) \ln(AC_e) \quad (۶)$$

که $RT/b=B$ ، R ثابت گاز ($۸/۳۱ \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) و T دمای مطلق می باشد. فرم خطی این رابطه نیز به صورت زیر خواهد بود:

$$q_e = B \ln A + B \ln C_e \quad (۷)$$

A و B از عرض از مبدأ و شیب نمودار q_e بر حسب $\ln C_e$ قابل محاسبه هستند.

برای محاسبه ایزوترم های جذب ابتدا $۰/۲$ گرم جاذب برداشته شد و در حضور ۱۰۰ میلی لیتر از محلول رنگ بنفش کریستال (۵۰ ، ۲۰۰ ، ۳۰۰ ، ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر) به مدت ۳ ساعت قرار گرفت و از نتایج بدست آمده جهت محاسبه ایزوترم های جذب استفاده شد. مقایسه ضریب همبستگی بدست آمده از رسم منحنی های هر یک از ایزوترم ها، می تواند به عنوان معیار مناسبی برای بیان تطبیق داده های تجربی و ایزوترم های مذکور باشد. لذا همانطور که در جدول ۱ نیز مشاهده می گردد ایزوترم لانگمویر نسبت به ایزوترم های دیگر مطابقت بیشتری با داده های تجربی دارد.

جدول ۱: ثابت های ایزوترم فروندلیچ، لانگمویر و تمکین

ایزوترم فروندلیچ			ایزوترم لانگمویر			ایزوترم تمکین		
K_F ($\text{mg}^{1-n} \text{ L}^n$ g^{-1})	n	R^2	q_{\max} (mg g^{-1})	K_L (L mg^{-1})	R^2	A_T (L g^{-1})	β_T (Kj mol^{-1})	R^2
۲/۴۴	۱۷/۳۹	۰/۳۳۷۲	۲/۸۹۸	۰/۱۶۴	۰/۹۹۸۲	۳۲/۵۹	۰/۱۵۶۲	۰/۲۸۹۳

نتیجه گیری کلی:

پروژه حاضر به منظور بررسی اثر بالقوه جاذب برگ گزنه به عنوان یک جاذب ارزان قیمت در حذف رنگ بنفش کریستال از پساب رنگی نساجی در سیستم ناپیوسته انجام گرفته است. این جاذب با توجه به برتری هایی همچون جداسازی آسان در پایان فرآیند و کارایی بالا و ارزانی، برای مطالعه انتخاب شده است.

حذف رنگزای بنفش کریستال از محلول های آبی با استفاده از برگ گزنه

این جاذب در محدوده ی $\text{pH} = 2-6$ درصد حذف بالایی از خود نشان می دهد. این امر را می توان براساس بار سطح جاذب و درصد یون های هیدرونیوم در محلول بیان کرد. در بهینه سازی زمان، در مدت ۱۸۰ دقیقه بالای ۸۰٪ رنگ بنفش کریستال توسط برگ گزنه جذب شده است، که این نتیجه رضایت بخش به نظر می رسد. با توجه به نتیجه بدست آمده در بهینه سازی مقدار نمونه، نشان داده شد که با افزایش مقدار گرم جاذب و همچنین زمان تماس جاذب با محلول، درصد حذف به صورت قابل توجهی افزایش می یابد. ایزوترم های لانگمویر، تمکین و فروندلیچ نیز مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که ایزوترم لانگمویر در مقایسه با ایزوترم های تمکین و فروندلیچ مطابقت بیشتری با داده های تجربی دارد. با اساس نتایج این تحقیق می توان گفت که برگ گیاه گزنه، توانایی بالایی برای حذف رنگ بنفش کریستال از محلول های آبی دارد و از آن می توان جهت تصفیه پساب های آلوده و محلول های آبی استفاده کرد.

مراجع :

- 1- J. W. Lee, S. P. Choi, R. Thiruvengkatachari and W. G. Shim, H.Moon. *Dyes Pigments*. 2006, **69**, 196.
- 2- D. T. Sponza and M. Işık, *Process Biochem*. 2005, **40**, 2735.
- 3- B. Shi, G. Li, D. Wang, C. Feng and H. Tang. *J. Hazard. Mater*. 2007, **143**, 567.
- 4- A. B. D. Santos, F. J. Cervantes and J. B. Van Lier, *Bioresource. Technol*. 2007, **98**, 2369.
- 5- N. M. Mahmoodi, M. Arami, K. Gharanjig and F. Nourmohammadian. *J. Color Sci. Tech*. 2007, **1**, 1.
- 6- A.Shukla, Y.H. Zhang and P.Dubey. *J. Hazard. Mater*. 2002, **95**, 137.
- 7- J. Z. Yi and L. M. Zhang. *Bioresource. Technol*. 2008, **99**, 2182.
- 8- V. J. P. Vilar , C. Alia , M.S. Botelho and A.R. Boaventura. *J. Hazard. Mater*. 2007, **147**,120.
- 9- S. Kilinc, A. O. Zbayrak , E. Alpat and H. Akc. *J. Hazard. Mater*. 2008, **151**, 213.
- 10- M. A. M. Khraisheheha, M.A. Al-Ghoutib, S. J. Allenb and M.N. Ahmad. *Water Res*. 2005, **39**, 922.
- 11- B. H. Hameed, R.R. Krishni and S.A. Sata. *J. Hazard. Mater*. 2009, **162**, 305.
- 12- S. Khorramfar, N. M. Mahmoodi, M. Arami1 and K. Gharanjig. *J. Color Sci. Tech*. 2009, **32**, 81.
- 13- R. Han, D. Ding, Y. Xu, W. Zou, Y. Wang, Y. Li and L. Zou. *Bioresource. Technol*. 2008, **99**, 2938.
- 14- B. H. Hameed. *J. Hazard. Mater*. 2009, **162**, 344.
- 15- S.C.R. Santos, V. J. P. Vilar and R. A. R. Boaventura. *J. Hazard. Mater*. 2008, **153**, 999.
- 16- P. Leechart, W. Nakbanpote, P. Thiravetyan. *J. Environ. Manage*. 2009, **90**, 912.
- 17- I. Langmuir. *J. Am. Chem. Soc*. 1916, **38**, 2221.
- 18- A. A. Nunes, A. S. Franca and L. S. Oliveira. *Bioresource. Technology*. 2009, **100**, 1786.

