مقاله اصیل پژوهشی

حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از محلول‌های آبی با استفاده از خاکستر حاصل از زائدات پسته

ادریس بذرافشان[۱]، فردوس کرد مصطفی‌پور[۲]، بهنام باریک‌بین[۳]

چکیده

زمینه و هدف: در طی سال‌های اخیر، رنگ‌های راکتیو، به دلیل کارایی ویژه به طور گسترده در صنایع نساجی مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ اما تخلیه پساب‌های حاوی چنین رنگ‌هایی به منابع آبی، به دلیل ویژگی‌های سرطان‌زایی، جهش‌زایی، ماهیت سمی و ایجاد رنگ در آب، می‌تواند آثار زیانباری بر محیط طبیعی بر جای گذارد. مطالعه حاضر، با هدف بررسی کارایی خاکستر حاصل از پوسته میوه پسته در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از محلول‌های آبی انجام پذیرفت.

روش تحقیق: در این مطالعه تجربی، اثر پارامترهای مختلف بهره‌برداری از قبیل pH (۲-۱۲)، غلظت اولیه رنگ (۲۰-۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، زمان تماس (۵-۲۷۰ دقیقه) و دوز جاذب (۰/۱- ۵ گرم در لیتر) مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: حداکثر ظرفیت جذب خاکستر پوسته میوه پسته معادل ۲۳۸/۱ میلی‌گرم بر گرم، در pH معادل ۲، زمان تماس ۶۰ دقیقه و دوز جاذب ۰/۳ گرم در لیتر حاصل شد؛ همچنین داده‌های تعادل، با مدل‌های ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ تطبیق داده شد که حاصل امر، نشانگر تطابق بهتر داده‌های حاصل از مطالعه حاضر با مدل جذب فروندلیچ (R^2=۰/۹۳۵۲) نسبت به مدل جذب لانگمویر (R^2=۰/۸۸۶۸) بود.

نتیجه‌گیری: خاکستر پوسته میوه پسته، از توانایی مطلوبی در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از محلول‌های آبی و فاضلاب‌های صنعت نساجی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸، جذب سطحی، جاذب طبیعی، پوسته میوه پسته

مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند. ۱۳۹۱؛ ۱۹ (۳): ۲۶۶-۲۷۶

دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۱۰

۱ دانشیار، عضو مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، ایران.

۲ نویسنده مسؤول، استادیار، عضو مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، ایران.

آدرس: زاهدان- میدان مشاهیر- دانشگاه علوم پزشکی زاهدان- دانشکده بهداشت- کدپستی: ۹۸۱۶۹۱۳۳۹۶

تلفن: ۰۵۴۱-۲۴۲۱۲۵۸- نمابر: ۰۵۴۱-۲۴۲۵۳۷۵ پست الکترونیکی: ferdos_66@yahoo.com

۳ استادیار، عضو مرکز تحقیقات سلامت خانواده و محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، ایران.

مقدمه

رنگ‌ها از جمله خطرناک‌ترین گروه‌های ترکیبات شیمیایی یافت‌شده در پساب‌های صنعتی می‌باشند 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 (۱). این ترکیبات همچنین از نقطه‌نظر زیبائی‌شناختی، بر کیفیت آب برای مصارف شرب و سایر مصارف، اثر منفی برجای گذاشته و در عین حال سبب بروز آلرژی، درماتیت، تحریک پوستی، سرطان و نیز جهش‌های ژنتیکی در انسان می‌شوند. رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از جمله رنگ‌های آنیونی بوده که حاوی دو گروه عاملی محکم، در مقایسه با سایر رنگ‌های راکتیو است و به طور گسترده در صنایع نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲).

صنایع نساجی از جمله مصرف‌کنندگان عمده آب برای فرایندهای مختلف تولیدی می‌باشد و بنابراین این صنایع در زمره تولیدکنندگان عظیم فاضلاب‌های رنگی قرار دارند که در خروجی آنها، مقادیر زیادی رنگ‌های مصرف‌نشده سایر ترکیبات شیمیایی مشاهده می‌گردد (۳). تصفیه نامناسب و دفع غیر اصولی فاضلاب‌های رنگی حاصل از صنایع نساجی، رنگرزی، چاپ و صنایع مرتبط، زمینه‌ساز بروز مشکلات و معضلات زیست‌محیطی فراوانی در سرتاسر جهان شده است (۴). حذف رنگ از فاضلاب معمولاً با روش‌های فیزیکی، فیزیکی- شیمیایی، بیولوژیکی و یا شیمیایی انجام می‌پذیرد (۵).

فرایند معمول تصفیه پساب‌های نساجی، دربرگیرنده مراحل متعددی بوده که خود تابع مشخصات فرایند تولید محصول می‌باشد (۶). تصفیه معمول، شامل یک فرایند انعقاد- لخته‌سازی می‌باشد. این فرایند خود می‌تواند به صورت مجزا و یا همراه با فرایندهای تصفیه بیولوژیکی، به منظور حذف جامدات معلق و مواد آلی و نیز بهبود حذف رنگ‌ها از پساب‌های صنعت نساجی مورد استفاده قرار گیرد؛ اما با این حال، این روش با معایبی از قبیل تولید مقادیر زیادی لجن همراه است. لجن حاصل، غنی از ترکیبات رنگی و نیز سایر مواد مورد استفاده در فرایند نساجی می‌باشد. این نکته خود به عنوان یک معضل زیست‌محیطی مطرح بوده که دفع آن را با در نظر گرفتن موازین زیست‌محیطی بسیار مشکل می‌نماید (۶)؛ همچنین تصفیه بیولوژیکی، ازن‌زنی، اکسیداسیون شیمیایی و فرایندهای فتوکاتالیستی، فرایندهای غشایی، نانوذرات (۷)، فرایندهای فتوشیمیایی و تصفیه آنزیمی (۸) به منظور حذف رنگ از پساب‌های نساجی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در عین حال، برخی از این روش‌ها بنا به دلایلی از جمله هزینه‌های بهره برداری و مشکلات مربوطه، از کارایی و کاربرد محدودی برخوردار می‌باشد.

کارآمدترین روش، جهت حذف رنگ‌های سنتتیک از پساب‌های صنعتی، فرایند جذب می‌باشد؛ زیرا ترکیبات رنگی موجود در فاضلاب، به سادگی به فاز جامد منتقل می‌شود؛ از طرفی، ماده جاذب مورد استفاده می‌تواند مجدداً احیا شده و در فرایند جذب، مورد استفاده قرار گیرد و یا اینکه پس از استفاده، در محلی خشک بدون تماس مستقیم با محیط، نگهداری شود. همچنین ثابت شده است که فرایند جذب به دلیل هزینه سرمایه‌گذاری حداقل، سهولت طراحی و بهره‌برداری و عدم حساسیت به ترکیبات سمی، یک راهکار تصفیه مطمئن می‌باشد؛ اما در عین حال استفاده از جاذب‌های گران‌قیمت، خود می‌تواند یک عامل محدودکننده محسوب شود.

کربن فعال (۹)، کربن متخلخل (۱۰)، خاک رس (۱۱)، بیوپلیمرهایی نظیر چیتوزان (۱۲) و محصولات جانبی فعالیت‌های کشاورزی (۱۳)، از جمله جاذب‌هایی هستند که به منظور تصفیه فاضلاب‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به منظور کاهش هزینه آماده‌سازی، استفاده از مواد ارزان قیمت نظیر باقیمانده‌های محصولات کشاورزی و صنعتی، جهت تولید کربن فعال به عنوان گزینه‌ای بالقوه همواره مد نظر قرار گرفته است. در کنار کاهش هزینه، تبدیل زائدات کشاورزی به جاذب‌هایی ارزان‌قیمت و حل مشکل دفع بیومس، ارزش

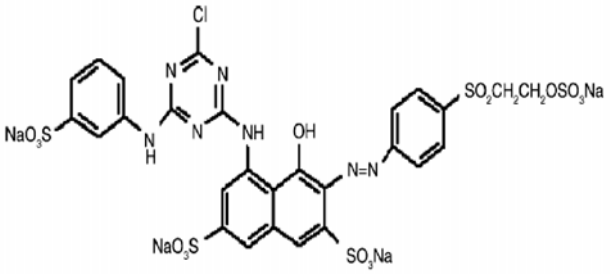
زائدات کشاورزی را بیش از پیش افزایش داده است. کربن حاصل از زائدات کشاورزی مزایایی از قبیل محتوای پائین خاکستر، سختی معقول، سطح مقطع بالا و ساختاری به اندازه کافی متخلخل را دارا می‌باشند (۱۴).

انتخاب پیش‌ساز کربن فعال، تا حد زیادی تابع دسترس‌پذیری، قیمت و درجه خلوص آن بوده؛ اما فرایند ساخت و کاربردهای مورد نظر محصول نیز حائز اهمیت می‌باشند (۱۵)؛ بنابراین ارزیابی بیومس به عنوان پیش‌ساز کربن فعال به صورتی تجدیدپذیر با قابلیت استفاده وسیع، قیمت ارزان و عدم تهدید محیط زیست، همواره مد نظر می‌باشد (۱۶).

ایران یکی از بزرگترین تولیدکنندگان و صادرکنندگان پسته در سرتاسر جهان می‌باشد. تولید پسته در ایران در حدود ۲۰۰۰۰۰ تن در سال برآورد می‌شود. از این رو، زائدات تولیدی حاصل از پردازش و فراوری پسته از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار بوده و در عین حال به نظر می‌رسد، این زائدات از قابلیت جذب بالایی برای انواع رنگ‌ها برخوردار باشند. بنابراین در مطالعه حاضر، جذب سطحی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از محلول‌های آبی، توسط خاکستر حاصل از زائدات پسته، تحت تأثیر پارامترهایی از قبیل pH اولیه محلول، دوز جاذب، زمان تماس و غلظت اولیه رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸، مورد مطالعه قرار گرفته است.

روش تحقیق

مطالعه حاضر، یک مطالعه تجربی در مقیاس آزمایشگاهی است که در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان در سال ۱۳۹۱ با هدف بررسی کارایی خاکستر حاصل از زائدات پسته در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ انجام پذیرفت. راکتیو قرمز ۱۹۸، یک رنگ آنیونی با وزن مولکولی معادل ۹۶۸/۲۱ گرم بر مول و حداکثر جذب λ_{max}=۵۳۰nm است. رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ ($C_{27}H_{18}ClN_7Na_4O_{15}S_5$) مورد استفاده در این مطالعه، از نوع آزمایشگاهی و ساخت کارخانه مرک آلمان بود. فرمول شیمیایی این ترکیب در شکل یک نشان داده شده است (۱۷). برای انجام فرایند جذب، محلول‌های رنگی با غلظت‌هایی در گستره ۲۰-۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، از طریق ترقیق محلول استوک رنگ (۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) با آب مقطر تهیه شد.



شکل ۱- ساختار شیمیایی ترکیب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸

پوسته‌های میوه پسته مورد استفاده در آزمایشات که در واقع به عنوان زائدات کشاورزی شناخته می‌شوند، از مرحله فراوری آن تهیه و پس از شستشوی اولیه با آب مقطر، جهت حذف ناخالصی‌هایی از قبیل شن، ماسه، برگ و ترکیبات رنگی و محلول، در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت زمان ۲ ساعت خشک شدند؛ سپس مواد خشک‌شده، در دمای ۵۰۰ درجه برای ۲ ساعت سوزانیده شده و در یک آسیاب خانگی خرد شدند و پوسته‌های خردشده، توسط الک‌های ۶۰-۲۰۰ مش دانه‌بندی شدند. جاذب‌های پودری حاصل، در ظرفی بدون منفذ، تا زمان استفاده نگهداری می‌شدند. هیچ ترکیب شیمیایی و یا تصفیه فیزیکی دیگری بر روی جاذب‌ها قبل از انجام فرایند جذب انجام نگرفت.

تجربیات حذف رنگ توسط خاکستر پوسته میوه، در ارلن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری روی همزن مغناطیسی انجام می‌پذیرفت. هر آزمایش، شامل آماده‌سازی محلول رنگی ۱۰۰ میلی‌لیتری با یک غلظت اولیه (۲۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۸۰، ۱۵۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و pH معین (۲-۱۲) بود. تنظیم pH نمونه‌ها توسط محلول‌های NaOH یا ۰/۱NHCl انجام می‌پذیرفت. در ادامه، جرم معینی از خاکستر پوسته میوه پسته

(۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ گرم در لیتر) به محلول اضافه شده و سوسپانسیون حاصله بلافاصله برای مدت‌زمانی معین (۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰، ۲۴۰، ۲۷۰ دقیقه) بر روی همزن مغناطیسی قرار داده شد. بعد از زمان‌های تماس ذکر شده، نمونه‌هایی با حجم ۱۰ میلی‌لیتر، توسط پیپت برداشت شده و در دستگاه سانتریفیوژ با ۴۰۰۰ دور در دقیقه، برای مدت ۵ دقیقه قرار داده شد. در ادامه، غلظت نهایی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در سوپرناتانت حاصل، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis (مدل T80 PG Ltd) در طول موج ۵۱۸ نانومتر سنجش شد. سپس مقدار رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ جذب شده، qe (میلی‌گرم بر گرم)، با استفاده از معادله زیر تعیین مقدار شد:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \qquad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، C_0 و C_e غلظت اولیه و تعادلی رنگ در فاز مایع (میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. V، حجم محلول (لیتر) و M، مقدار جاذب مورد استفاده (گرم) می‌باشد. درصد حذف رنگ نیز با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید:

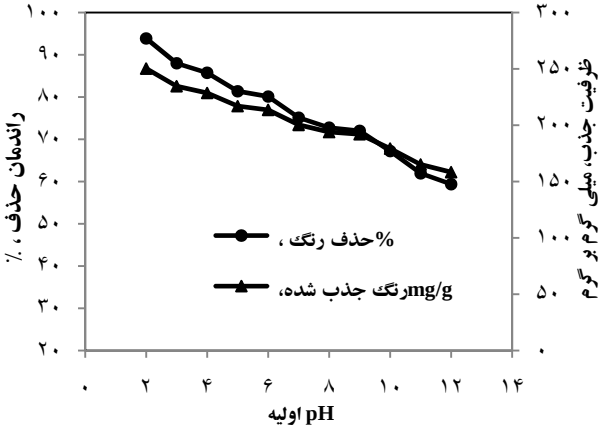
$$\% = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0}.100 \qquad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله C_0 و C_f به ترتیب غلظت‌های اولیه و نهایی رنگ (پس از جذب) می‌باشند. تمامی آزمایشات در مطالعه حاضر، به صورت دوبار تکرار بوده و نتایج حاصل به صورت میانگین گزارش گردیده است. گستره پارامترهای مورد مطالعه، به طور خلاصه شامل غلظت اولیه رنگ (۲۰–۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، pH اولیه محلول (۲–۱۲)، دوز جاذب (۰/۱–۵ گرم در لیتر) و زمان اختلاط (۵–۲۷۰ دقیقه) بود.

یافته‌ها

اثر pH اولیه محلول بر کارایی فرایند جذب

در مطالعه حاضر، اثر pH بر روی ظرفیت جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط خاکستر پوسته میوه پسته، در گستره ۲–۱۲ با غلظت اولیه رنگ ۸۰ میلی‌گرم در لیتر و دوز جاذب ۰/۳ گرم در لیتر، برای مدت زمان واکنش ۶۰ دقیقه، مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، با کاهش pH از ۱۲ به ۲، راندمان و میزان جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است؛ به طوری که راندمان حذف از ۵۹/۴٪ در pH برابر ۱۲، به ۹۳/۸۸٪ در pH برابر ۲ رسیده است؛ از طرفی ظرفیت جذب نیز همین روند را طی نموده و حداکثر جذب، معادل ۲۵۰/۳۳ میلی‌گرم بر گرم، برای pH معادل ۲ حاصل گردیده است.

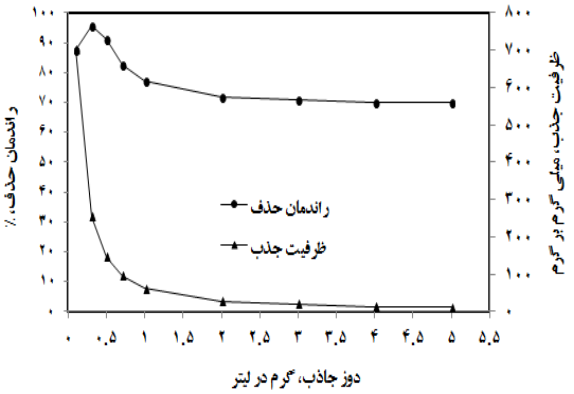


نمودار ۲- اثر pH اولیه بر جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ بر روی خاکستر پوسته میوه پسته

اثر دوز جاذب بر کارایی فرایند جذب

به منظور تعیین اثر دوز جاذب مورد نظر بر روی فرایند جذب سطحی، مقدار ۰/۱–۵ گرم در لیتر خاکستر پوسته میوه پسته، به عنوان جاذب برای آزمایشات جذب، در مقدار ثابت pH اولیه برابر ۲ (pH بهینه حاصل از انجام مرحله اول آزمایشات جذب)، غلظت اولیه رنگ ۸۰ میلی‌گرم در لیتر، در دمای آزمایشگاه (۲۰°C±۲) برای مدت زمان ۶۰ دقیقه مورد

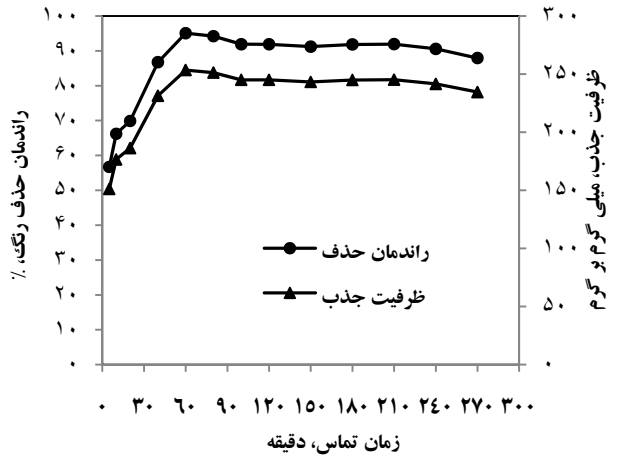
استفاده قرار گرفت. همان‌طور که در نمودار ۳ نشان داده شده است؛ با افزایش دوز جاذب تا یک مقدار معین، راندمان حذف نیز افزایش یافته، اما افزایش بیشتر جاذب، کاهش راندمان حذف رنگ را موجب گردیده است. در دوز جاذب ۰/۱ گرم در لیتر، راندمان حذف برابر ۸۷/۷ ٪ بوده است که با افزایش دوز جاذب به ۰/۳ گرم در لیتر، راندمان حذف به ۹۵/۶٪ افزایش یافته است؛ اما با افزایش بیشتر دوز جاذب به ۱/۰ گرم در لیتر، راندمان حذف روندی نزولی را طی نموده است به نحوی که در این شرایط، راندمان حذف به ۷۷/۲٪ کاهش یافت. افزایش بیشتر دوز جاذب، تأثیری بر راندمان حذف نداشته است؛ به نحوی که در دوز جاذب ۵/۰ گرم در لیتر، راندمان حذف به حداکثر ۶۹/۹۵٪ رسید؛ همچنین ظرفیت جذب نیز با افزایش دوز جاذب، روندی نزولی را طی نموده است؛ به نحوی که این مقدار از ۷۰۱/۵ میلی‌گرم بر گرم در دوز جاذب ۰/۱ گرم در لیتر، به ۱۱/۱۹ میلی‌گرم بر گرم در دوز جاذب ۱/۰ گرم در لیتر کاهش یافت.



نمودار ۳- اثر دوز جاذب بر جذب سطحی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط جاذب خاکستر پوسته میوه پسته

اثر زمان تماس بر کارایی فرایند جذب

نتایج مربوط به اثر زمان تماس (۵-۲۷۰ دقیقه) در دوز ثابت جاذب ۰/۳ گرم در لیتر، غلظت اولیه رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ معادل ۸۰ میلی‌گرم در لیتر و pH بهینه برابر ۲، در نمودار ۴ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج ارائه شده در این نمودار، با افزایش زمان تماس، راندمان حذف رنگ نیز به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. در زمان تماس ۵ دقیقه، راندمان حذف رنگ معادل ۵۶/۷٪ بوده که در زمان تماس ۲۰ دقیقه به ۶۹/۹٪ و در زمان تماس ۶۰ دقیقه به ۹۵/۰۶٪ افزایش یافته است. با این وجود افزایش بیشتر زمان تماس، تأثیری بر افزایش راندمان حذف نداشته است؛ به نحوی که در زمان تماس ۱۲۰ و ۲۴۰ دقیقه، راندمان حذف به ترتیب معادل ۹۱/۹ ٪ و ۹۰/۶٪ بوده است.



نمودار ٤- اثر زمان تماس بر جذب سطحی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط جاذب خاکستر پوسته میوه پسته

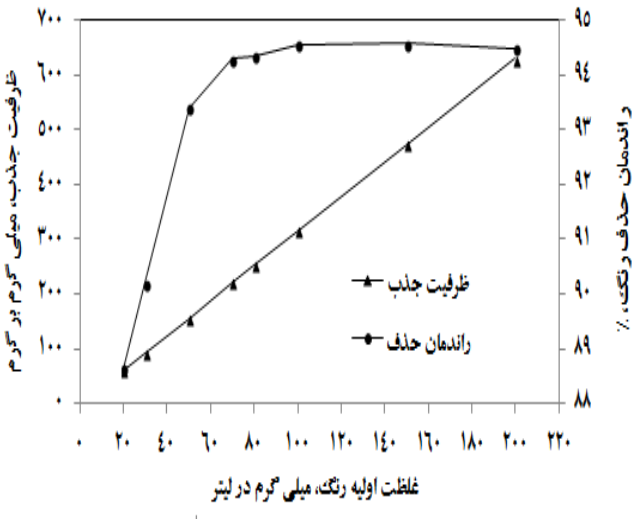
اثر غلظت اولیه رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ بر راندمان حذف

در نمودار ۵ راندمان حذف رنگ در pH معادل ۲، دوز جاذب ۰/۳ گرم در لیتر و زمان تماس ۶۰ دقیقه (زمان کسب تعادل در فرایند جذب) در غلظت‌های مختلف رنگ (۲۰-۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) نمایش داده شده است. همان طور که در این نمودار نشان داده شده است، با افزایش غلظت اولیه رنگ، راندمان حذف، روندی صعودی را از خود نشان داده است؛ به نحوی که در غلظت اولیه رنگ برابر ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف برابر ۸۸/۶۴٪ بوده و با افزایش غلظت رنگ به ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف به ۹۴/۵۹٪ افزایش یافته است. با این حال افزایش بیشتر غلظت رنگ، با افزایش راندمان حذف آن همراه نبوده است؛ از طرفی بر اساس آنچه در نمودار ۴ مشاهده می‌شود، ظرفیت جذب به صورت خطی با افزایش غلظت اولیه رنگ افزایش یافته است؛ به نحوی که

در غلظت اولیه رنگ معادل ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، این مقدار به ۶۲۹/۹۷ میلی‌گرم بر گرم رسیده است.

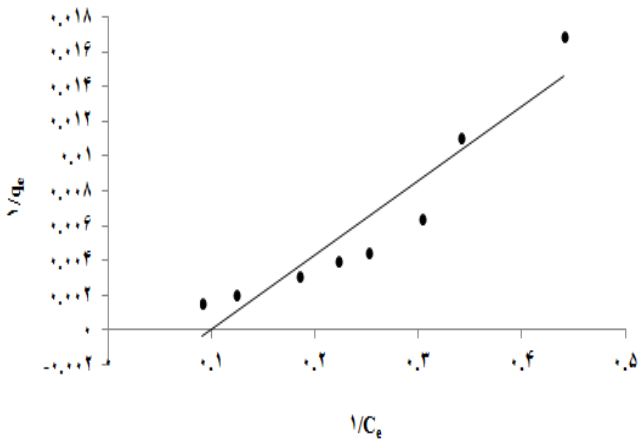
مطالعه ایزوترم‌های جذب

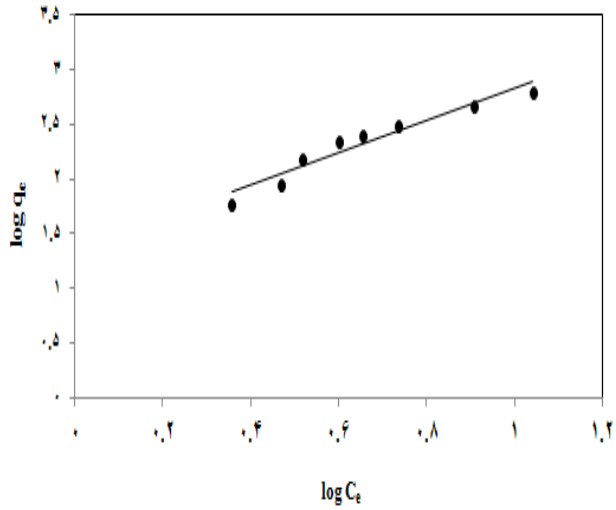
نتایج حاصل از ترسیم ایزوترم‌های مدل جذب لانگمویر و فروندلیچ در نمودارهای ۶ و ۷ نمایش داده شده است؛ همچنین ضرایب مربوط به این ایزوترم‌ها در جدول یک ارائه گردیده است. بر این اساس مشاهده می‌شود که داده‌های حاصل از مطالعه حاضر، از تناسب بهتری با معادله جذب فروندلیچ برخوردار بوده است؛ به نحوی که ضریب رگرسیون (R^2) برای ایزوترم فروندلیچ برابر ۰/۹۳۵۲ و برای ایزوترم جذب لانگمویر برابر ۰/۸۸۶۸ می‌باشد.



نمودار ۵- اثر غلظت اولیه رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ بر جذب سطحی آن توسط جاذب خاکستر پوسته میوه پسته

نمودار ٦- ایزوترم جذب لانگمویر برای جذب سطحی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ بر روی خاکستر پوسته میوه پست





نمودار ۷- ایزوترم جذب فروندلیچ برای جذب سطحی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ بر روی خاکستر پوسته میوه پسته

جدول ۱- پارامترهای ایزوترم جذب برای جذب سطحی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ بر روی جاذب خاکستر پوسته میوه پسته

ایزوترم فروندلیچ			ایزوترم لانگمویر		
R^2	n	k_f	R^2	k_L (L/mg)	q_m (mg/g)
۰/۹۳۵۲	۰/۶۸	۲۲/۸۹	۰/۸۸۶۸	۰/۰۹۸	۲۳۸/۱

بحث

اثر pH اولیه محلول بر کارایی فرایند جذب

این نکته در مطالعات قبلی به اثبات رسیده است که pH محلول می‌تواند بر بار سطحی جاذب، درجه یونیزاسیون آلاینده‌های مختلف، تفکیک گروه‌های کاربردی بر روی سایت‌های فعال جاذب و نیز ساختار مولکول رنگ اثرگذار باشد (۱۸). در واقع pH محلول، شیمی محیط آبی و پیوندهای سطح جاذب را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین pH محلول به عنوان یک پارامتر مهم در طی فرایند جذب رنگ مطرح می‌باشد.

همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، جذب سطحی راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط جاذب مورد نظر، کاملاً متأثر از مقدار pH محلول است؛ به نحوی که حداکثر جذب معادل ۲۵۰/۳۳mg/g (۹۳/۸۸٪) برای pH معادل ۲ حاصل گردید. نتایج مشابه توسط سایر محققین گزارش شده است (۱۹). در واقع تحت شرایط pH اسیدی، سایت‌های پیوندی جاذب با یون‌های هیدروژنی که به عنوان لیگاندهای رابط (پل ارتباطی) بین سطح جاذب و مولکول رنگ عمل می‌نمایند ارتباط نزدیکی برقرار می‌کنند (۲۰). در این شرایط مقادیر pH پائین‌تر، شرایط مطلوبی برای حذف رنگ‌های راکتیو فراهم می‌نماید (۲۱). بررسی‌های انجام شده توسط Gulnaz و همکاران در خصوص حذف رنگ راکتیو ۱۹۸ توسط Potamogeton crispus نیز بیانگر آن است که با کاهش pH از مقدار ۵ واحد به ۱، راندمان حذف رنگ افزایش یافته است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۱۷). از طرفی مطالعات Aksu و Akin (۲۱) و نیز مطالعات Akar و همکاران تأییدکننده نتایج مطالعه حاضر می‌باشد.

اثر دوز جاذب بر کارایی فرایند جذب

غلظت جاذب، یک پارامتر مهم و تأثیرگذار در فرایند جذب بوده و از این رو تعیین‌کننده ظرفیت جاذب (خاکستر پوسته میوه پسته)، برای یک غلظت اولیه معین از رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ است. همان‌طور که در نمودار ۳ نمایش داده شده است، درصد حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸، تابع دوز جاذب مصرفی بوده و با افزایش دوز جاذب تا یک مقدار مشخص شدیداً افزایش می‌یابد. این نتیجه بر اساس این حقیقت قابل تفسیر است که سایت جذب، در طی فرایند جذب به صورت اشباع‌نشده باقی مانده و حال آنکه تعداد سایت‌های در دسترس برای سایت جذب، با افزایش دوز جاذب افزایش می‌یابد. حداکثر راندمان جذب راکتیو قرمز ۱۹۸ بر روی خاکستر پوسته میوه پسته، معادل ۹۵/۶ ٪ (۲۵۴/۹۳ میلی‌گرم بر گرم) با دوز جاذب ۰/۳ گرم در لیتر حاصل شد. در عین حال، افزایش بیشتر مقدار جاذب، افزایش معنی‌دار راندمان حذف رنگ را به دنبال نداشت. این مشاهدات نشان می‌دهد که با افزودن دوز معینی از جاذب، حداکثر جذب، حاصل شده و از این رو مقدار آلاینده ثابت باقی می‌ماند؛ همچنین زمانی که دوز جاذب افزایش می‌یابد، درصد حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ نیز افزایش یافته؛ در حالی که مقدار رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ جذب شده به ازاء گرم جاذب مصرفی کاهش می‌یابد. نتایج مشابه توسط Gulnaz و همکارانش در خصوص حذف رنگ راکتیو ۱۹۸ از محلول‌های آبی با استفاده از فرایند جذب گزارش شده است (۱۷).

اثر زمان تماس بر کارایی فرایند جذب

زمان تماس یکی از مهمترین پارامترهای تأثیرگذار برای کاربردهای عملی فرایند جذب است. بر اساس نتایج حاصل از انجام مطالعه حاضر (نمودار ۴)، ظرفیت جذب سطحی و درصد حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط جاذب طی مراحل اولیه جذب به سرعت افزایش یافته و سپس با سرعتی کندتر و متناسب با زمان، روند صعودی را تا رسیدن به حالت تعادل طی مدت زمانی معادل ۱۲۰ دقیقه طی می‌نماید. به عبارت دیگر، همان‌طور که در نمودار ۴ نمایش داده شده است، جذب رنگ در طی ۲۰ دقیقه ابتدایی بسیار سریع بوده (۶۹/۸۸٪) و سپس سرعت جذب با گذشت زمان کاهش یافته و نهایتاً در زمان ۱۲۰ دقیقه به حالت تعادل رسیده است؛ همچنین حداکثر میزان حذف در زمان تماس ۶۰ دقیقه معادل ۹۵/۰۶٪

(۲۵۳/۵ میلی گرم بر گرم) حاصل شد.

عموماً، نرخ حذف آلاینده (جذب‌شونده) در ابتدا سریع بوده، اما به تدریج با گذشت زمان کاهش یافته تا اینکه به حالت تعادل می‌رسد. این پدیده ناشی از این حقیقت است که در ابتدا و در مراحل اولیه جذب، شمار زیادی از سایت‌های سطحی خالی، برای انجام جذب در دسترس بوده اما با گذشت زمان، سایت‌های سطحی خالی باقی‌مانده، در جذب آلاینده‌ها با مشکل مواجه می‌شوند که این امر می‌تواند به دلیل نیروهای بازدارنده بین مولکول‌های جذب‌شونده بر سطح جاذب جامد و توده مایع باشد. نتایج مشابه توسط Gulnaz (۱۷) و Akin گزارش شده است (۲۱).

اثر غلظت اولیه رنگ بر کارایی فرایند جذب

غلظت اولیه رنگ، فراهم‌کننده یک نیروی محرکه قابل ملاحظه جهت غلبه بر کل مقاومت حاصل از انتقال جرم رنگ بین فازهای مایع و جامد است (۲۱). همان طور که در نمودار ۵ نمایش داده شده است، با افزایش غلظت اولیه رنگ، مقدار رنگ جذب شده نیز افزایش می‌یابد؛ به نحوی که می‌توان گفت: حذف رنگ، تحت تأثیر غلظت اولیه رنگ می‌باشد. برای مثال، زمانی که غلظت اولیه رنگ از ۲۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت، ظرفیت تعادلی جذب توسط خاکستر پوسته میوه پسته نیز از ۵۹/۰۹ میلی‌گرم بر گرم (۸۸/۶۴٪) به ۶۲۹/۹۷ میلی‌گرم بر گرم (۹۴/۴۹٪) افزایش یافت. نتایج مشابه، در خصوص جذب رنگ متیلن بلو بر روی کربن فعال حاصل از زائدات کتان و خاکستر فرّار، حاصل شده است. این افزایش در نسبت رنگ حذف‌شده، ممکن است مربوط به شیفت تعادل در طی فرایند جذب باشد. روند مشابهی در خصوص این موضوع، پیرامون جذب رنگ قرمز کنگو از محلول آبی، توسط خاکستر فرّار غنی از کلسیم و حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ توسط جاذب‌های طبیعی مشاهده شده است (۱۷). در واقع غلظت اولیه رنگ، فراهم‌کننده یک نیروی محرکه قوی و مهم جهت غلبه بر مقاومت انتقال جرم بین فازهای آبی و جامد است؛ به نحوی که افزایش غلظت‌های اولیه، سبب ترغیب ظرفیت جذب رنگ می‌شود. این نتایج با یافته‌های سایر محققین همخوانی دارد (۱۹).

ایزوترم‌های جذب

مطالعه ایزوترم‌ها می‌تواند توصیف‌کننده چگونگی وقوع واکنش بین جذب‌شونده با ماده جاذب باشد. در واقع معادله ایزوترم، فراهم‌کننده ارتباط بین غلظت رنگ، در محلول و مقدار رنگ جذب‌شده بر سطح فاز جامد بوده است؛ در شرایطی که هر دو فاز، در حال تعادل با یکدیگر قرار دارند. مدل ایزوترم لانگمویر برای جذب سطحی تک‌لایه، بر سطحی حاوی تعداد محدودی از سایت‌های جذب یکسان و مشابه، صحیح بوده و معادله جذب آن به شکل زیر می باشد:

$$q_e = \frac{q_m K_l C_e}{1 + K_l C_e}$$ معادله (۳)

در این معادله، q_e مقدار رنگ جذب‌شده به ازاء مقدار معین جاذب مصرفی (میلی‌گرم بر گرم)، Ce غلظت تعادلی محلول (میلی‌گرم در لیتر) و q_m مقدار حداکثر رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ مورد نیاز برای تشکیل یک لایه تکی (میلی‌گرم بر گرم) می‌باشد. در عین حال معادله لانگمویر می‌تواند برای سهولت ترسیم نمودار و تعیین ثابت‌های جذب (K_L) و حداکثر ظرفیت جذب تک لایه جاذب (q_m)، به صورت زیر خطی شود. مقادیر q_m و K_L با ترسیم نمودار خطی $1/q$ در برابر $1/C_e$ حاصل می‌شود:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K_l}\frac{1}{C_e}$$ معادله (۴)

معادله فروندلیچ کاملاً تجربی و بر اساس جذب بر سطح ناهمگون، بوده که معمولاً به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}}$$ معادله (۵)

که در این معادله، K_f و $1/n$ ثابت‌های جذب فروندلیچ مربوط به ظرفیت و شدت جذب هستند. ثابت‌های تعادل

فروندلیچ، با ترسیم نمودار log qe در برابر $Log\ C_e$ بر اساس داده‌های تجربی (عرض از مبدأ منحنی حاصل تحت عنوان K_f و شیب خط تحت عنوان 1/n) حاصل می‌شوند. در عین حال معادله فروندلیچ در شکل لگاریتمی، برای تعیین ثابت‌های جذب فروندلیچ به صورت زیر می‌تواند خطی شود:

معادله (۶)
$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n}\log C_e$$

بر اساس داده‌های مطالعه حاضر (نمودارهای ۶، ۷ و جدول ۱) ضریب همبستگی مدل فروندلیچ بالاتر از مقدار آن برای مدل لانگمویر بوده که بیانگر تناسب بهتر مدل جذب فروندلیچ، جهت توصیف تعادل جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ بر روی خاکستر پوسته میوه پسته می‌باشد. در عین حال بررسی انجام شده توسط Gulnaz و همکارانش در خصوص حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از محلول‌های آبی با استفاده از فرایند جذب، بیانگر تطابق بهتر داده‌های جذب با ایزوترم جذب لانگمویر بود که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی ندارد (۱۷).

نتیجه‌گیری

تصفیه پساب‌های حاوی ترکیبات رنگی، به دلیل اثرات بهداشتی و زیبایی‌شناختی بر منابع آبی پذیرنده، از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. از یافته‌های مطالعه حاضر چنین نتیجه‌گیری می‌شود که خاکستر پوسته میوه پسته می‌تواند به نحوی مؤثر و کارآمد، جهت حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد. درصد حذف رنگ، تابع مقدار جاذب، pH، غلظت اولیه رنگ و زمان تماس بین رنگ و جاذب است؛ همچنین این جاذب قادر به حذف بیش از ۹۶٪ رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از محلول‌هایی با غلظت اولیه رنگ، در گستره ۲۰-۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. جذب رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ بر روی خاکستر پوسته میوه پسته توسط ایزوترم‌های جذب لانگمویر و فروندلیچ توصیف شد که بیانگر کارآیی بهتر ایزوترم جذب فروندلیچ با داده‌های حاصل از مطالعه حاضر است. حذف رنگ از محلول‌های آبی در غلظت‌های پائین رنگ، تحت تأثیر جذب بر سایت‌های سطحی جاذب جامد بوده و حال آنکه در غلظت‌های رنگ بالا، جذب در سطح و تبادل داخلی هر دو به وقوع می‌پیوندد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت مالی معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی زاهدان و همکاری کارشناسان محترم آزمایشگاه شیمی دانشکده بهداشت زاهدان جهت انجام این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

منابع:

1. Lima EC, Royer B, Vaghetti JCP, Simon NM, Cunha BM, Pavan FA, et al. Application of Brazilian pine-fruit shell as a biosorbent to removal of reactive red 194 textile dye from aqueous solution Kinetics and equilibrium study. J Hazard Mater. 2008; 155(3):536-50.

2. Carneiro PA, Umbuzeiro GA, Oliveira DP, Zanoni MV. Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes. J Hazard Mater. 2010; 174(1-3):694-9.

3. Wu CH. Photodegradation of C.I. Reactive Red 2 in UV/TiO2-based systems: Effects of ultrasound irradiation. J Hazard Mater. 2009; 167(1-3):434-9.

4. Koyuncu I. Reactive dye removal in dye/salt mixtures by nanofiltration membranes containing vinylsulphone dyes: effects of feed concentration and cross flow velocity. Desalination. 2002; 143(3): 243-53.

5. Vijayaraghavan K, Yun YS. Biosorption of C.I. reactive black 5 from aqueous solution using acid-treated biomass of brown seaweed Laminaria sp. Dyes Pigments. 2008; 76(3): 726-32.

6. Vandevivere PC, Bianchi R, Verstrate W. Review: Treatment and reuse of waste-water from the textile wetprocessing industry: Review of Emerging Technologies. J Chem Technol Biotechnol. 1998; 72(4): 289-302.

7. Mahvi AH, Ghanbarian M, Nasseri S, Khairi A. Mineralization and discoloration of textile wastewater by TiO_2 nanoparticles. Desalination. 2009; 239(1-3): 309-16.

8. Dehghani MH, Mesdaghinia AR, Nasseri S, Mahvi AH, Azam K. Application of SCR technology for degradation of reactive yellow dye in aqueous solution. Water Qual Res J Can. 2008; 43(2/3): 183-7.

9. Malik PK. Dye removal from wastewater using activated carbon developed from sawdust: adsorption equilibrium and kinetics. J Hazard Mater. 2004; 113(1-3): 81-8.

10. Asouhidou DD, Triantafyllidis KS, Lazaridis NK, Matis KA, Kim SS, Pinnavaia TJ. Sorption of reactive dyes from aqueous solutions by ordered hexagonal and disordered mesoporous carbons. Micropor Mesopor Mat. 2009; 117(1-2): 257-67.

11. Lambert SD, Graham NJD, Sollars CJ, Fowler GD. Evaluation of inorganic adsorbents for the removal of problematic textile dyes and pesticides. Water Sci Technol. 1997; 36(2-3): 173-80.

12. Chiou MS, Li HY. Equilibrium and kinetic modeling of adsorption of reactive dye on cross-linked chitosan beads. J Hazard Mater. 2002; 93(2): 233-248.

13. Wang XS, Zhou Y, Yiang Y, Sun C. The removal of basic dyes from aqueous solutions using agricultural by-products. J Hazard Mater. 2008; 157(2-3): 374-85.

14. Bhatnagar A, Sillanpää M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment-a review. Chem Eng J. 2010; 157(2-3): 277-96.

15. Prahas D, Kartika Y, Indraswati N, Ismadji S. Activated carbon from jackfruit peel waste by H3PO4 chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization. Chem Eng J. 2008; 140(1-3): 32-42

16. Karagöz S, Tay T, Ucar S, Erdem M. Activated carbons from waste biomass by sulfuric acid activation and their use of methylene blue adsorption. Bioresource Technol. 2008; 99(14): 6214-22.

17. Gulnaz O, Sahmurova A, Kama S. Removal of Reactive Red 198 from aqueous solution by Potamogeton crispus. Chem Eng J. 2011; 174(1-3): 579-85.

18. Ai L, Zhang C, Liaoa F, Wang Y, Li M, Meng L, Jiang J. Removal of methylene blue from aqueous solution with magnetite loaded multi-wall carbon nanotube: Kinetic, isotherm and mechanism analysis. J Hazard Mater. 2011; 198: 282-90.

19. Anbia M, Asl Hariri S. Removal of methylene blue from aqueous solution using nanoporous SBA-3. Desalination. 2010; 261(1-2): 61-6.

20. Aksu Z, Donmez G. A comparative study on the biosorption characteristics of some yeasts for remazol blue reactive dye. Chemosphere. 2003; 50(8): 1075-83.

21. Aksu Z, Akin AB. Comparison of Remazol Black B biosorptive properties of live and treated activated sludge. Chem Eng J. 2010; 165: 184-193.

Abstract *Original Article*

Decolorization of Reactive Red 198 by means ofpistachio-nut shell ash

Edris Bazrafshan[1], Ferdos Kord Mostafapour[2], Behnam Barikbin[3]

Background and Aim: Reactive dyes have extensively been used in textile industries during last year's due to their superior performance, but the effluence of the waste containing such dyes into water resources can pose hazardous effects on the environment and to the human health because of their carcinogenic, mutagenic, allergenic and toxic nature. The present research was performed to study the efficiency of pistachio-nut shell ash in removing Reactive Red 198 dye from aqueous solutions**.**

Materials and Methods: In the present experimental study, effects of various operating parameters such as initial concentration of dye (20-200 mg/L), contact time (5-270 mines), adsorbent dosage (0.1-5 g/L) and pH (2-12) were investigated.

Results: Maximum adsorption capacity of the pistachio-nut shell ash was 238.1 mg/g at pH 2, contact time 60 minutes and adsorbent dosage 0.3 g/L. Besides, the equilibrium data were also fitted into the Langmuir and Freundlich equilibrium isotherm models. It was found that the data fitted into Freundlich (R^2=0.9352) model in a better extent than into Langmuir's (R^2=0.8868).

Conclusion: According to results of the present study, it was found that pistachio nut-shell has a high capacity to remove Reactive Red 198 dye from aqueous solutions and textile industry wastewater.

Key Words: Reactive Red 198, Adsorption, Pistachio-nut shell

Journal of Birjand University of Medical Sciences. 2012; 19 (3):266-276

Received: June 9, 2012 Accepted: October 31, 2012

[1] *Associate professor, member of Health Promotion Recearch Center, Health school, Zahedan University of Medical Sciences, Iran.*
[2] *Corresponding author, member of Health Promotion Research Center, Health school, Zahedan University of Medical Sciences, Iran. ferdos_66@yahoo.com*
[3] *Assistant professor, member of Family and Environment Health, Health school, Birjand University of Medical Sciences, Iran.*