

جداسازی رنگ بازی فوشین از آبهای آلوده با کاربرد پوسته‌ی برنج

به عنوان یک جاذب زیستی ارزان

معصومه عمادی*، محمدعلی زارع^۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۳/۱۲

چکیده

این مقاله مطالعه‌ی ای بر حذف و جداسازی رنگ بازی فوشین از آبهای آلوده می‌باشد. این جداسازی با کاربرد فرایند جذب به روش دسته‌ای انجام گردید. در این روش از جاذب ارزان سبوس برنج، یکی از پسماندهای کشاورزی، استفاده شد. اثر فراسنجهای دما، زمان، pH و حجم محلول بررسی گردید. در اصلاح جاذب، بهترین فرایند انتخابی شستشو با اسید سولفوریک ۳ مولار برای ۶۰ دقیقه بود. همدمای جذب نیز بررسی شد و نتایج حاصل از آزمایش تجربی با شبیه لانگمویر بهترین همخوانی را داشت. بیشترین جذب ۱۰۰ میلی‌گرم رنگ بازی فوشین در هر گرم جاذب بود. همچنین، بررسیهای جنبشی نشان دادند که جنبش جذب با شبیه جنبشی شبه درجه ی دو هماهنگی دارد.

واژه‌های کلیدی: فوشین، پساب، جذب، سبوس برنج

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، گروه شیمی، مرودشت، ایران.

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، گروه شیمی، مرودشت، ایران.

*- نویسنده‌ی مسوول: m_emadi90@yahoo.com

مقدمه

فعالیت‌های انسانی به طرق مختلف و خطرناکی محیط زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تولید پسابهای نامطلوب، گازها و مایعات زاید، و همچنین باقیمانده‌های جامد در طول مراحل واکنش‌های شیمیایی اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. اما زندگی انسانی نسبت به آلودگی محیط‌های آبی و کمبود آب پاکیزه حساستر می‌باشند؛ دلیل این امر نیاز ضروری و فوری روزمره به آب سالم است، در صورتی که هوای آلوده در طولانی مدت و به آهستگی بر تندرستی انسان اثر می‌گذارد (ردد و همکاران، ۲۰۰۲).

واضح است که آلودگی آب می‌بایست یکی از مهمترین چالش‌های هر جامعه بشری باشد. شناختن منابع، برهمکنش، و اثر آلودگی آب به منظور مهار کردن آلودگی‌های موجود در محیط زیست در یک سطح ایمن، و در عین حال سودآور ضروری است. از طرفی، امروزه کمبود آب، بخصوص در بخش کشاورزی، یک چالش می‌باشد؛ بدین جهت، نیاز به تصفیه‌ی آب و استفاده‌ی دوباره از منابع آبی نسبت به گذشته مورد توجه بیشتری قرار گرفته است.

صنایع نساجی حجم زیادی از آب و مواد شیمیایی را برای انجام فرایندهای تر مصرف می‌کنند. هر فرایندی در این صنعت مشکلات زیست محیطی خاصی را ایجاد می‌کند. بهره‌گیری از فناوری پاک و تصفیه‌ی آلودگی راه حل عملی این گونه مشکلات زیست محیطی است. با توجه به کمبود آب و هزینه‌ی زیاد تهیه‌ی آب مناسب برای فرایندهای تولید، استفاده‌ی مجدد از پساب هدفی است که مورد توجه محققان قرار گرفته است. فرایندهای فیزیکی و شیمیایی، که معمولا برای تصفیه‌ی پسابهای حاوی مواد رنگزا مورد استفاده قرار می‌گیرند، نیازمند صرف هزینه‌ی بالابیند و بویژه برای صنایع کوچک با محدوده‌ی وسیعی از پسابهای حاوی مواد رنگزا عملی نیستند. به همین دلیل، روش‌های جذبی به‌عنوان یکی از راه‌های مؤثر برای حذف آلاینده‌ها مورد توجه قرار می‌گیرند (محسن نیا و همکاران، ۲۰۰۷، ایجاگمی و همکاران، ۲۰۰۹). این روشها در شرایطی که ماده‌ی جاذب ارزان و در دسترس بوده، و همچنین ظرفیت جذب مناسبی داشته باشد، از کارایی بیشتری برخوردارند. مواد

جاذب می‌توانند منشاء معدنی، گیاهی، حیوانی، ساختگی و زیستی داشته باشند. بیشتر تحقیقات برای حذف مواد رنگزا با کاربرد روش‌های جذب براساس استفاده از کربن فعال^۱ می‌باشند که هزینه‌ی تولید و احیای آن زیاد است. بنابراین، استفاده از پسماندهای طبیعی ارزان به‌عنوان مواد جاذب می‌تواند بسیاری از مشکلات را از میان بردارد. مواد طبیعی، جاذب‌های زیستی و پسماندهای صنعتی و کشاورزی از کارایی خوبی به‌عنوان مواد جاذب ارزان برخوردارند (کالمیکف و همکاران، ۲۰۰۹). این مواد علاوه بر ارزانی، نیاز کمی به فرایندهای آماده‌سازی داشته، از قابلیت دسترسی آسانی برخوردار بوده، و زیست تجزیه پذیرند. جذب مواد رنگزا به خواص این مواد و ساختار آنها، اندازه‌ی ذرات، دما و زمان بستگی دارد (بابل و همکاران، ۲۰۰۳).

در حال حاضر از جاذب‌های گوناگونی مانند پوست بادام زمینی، پیاز، پشم، خاک اره، پوست نارگیل، خاک رس، خزه، گزانتات، نشاسته، پوست درختان و میوه‌ها و کیتوسان جهت حذف آلودگی‌ها از آب استفاده می‌شود (جین و همکاران (۲۰۱۰)، حمید و همکاران (۲۰۰۹)، لیزت و همکاران (۲۰۰۷)، اکسو و همکاران (۲۰۰۶)، آلن و همکاران (۲۰۰۳)، اونگ و همکاران (۲۰۰۶) فاضلاب کارخانه‌های پارچه بافی را، که حاوی رنگ‌های مختلف بود، قبل از ورود به آبراهه‌ی آنها رنگ زدایی کردند. پوسته‌ی برنج و باقی مانده‌ی محصولات کشاورزی که با کاربرد اتیلن دی‌امین اصلاح شوند، مکان‌هایی را روی ذرات ایجاد می‌کنند که می‌توانند باعث جذب رنگها شوند.

رنگ بازی فوشین^۲ یا روزالین^۳ یک رنگ تری فنیل متان^۴ با ساختار مولکولی $C_{20}H_{20}ClN$ بوده و یکی از محدود رنگ‌های قابل اشتعال است. این ماده به‌عنوان یک عامل رنگ کننده در صنایع نساجی و چرم، و همچنین برای رنگ کردن کلاژن، ماهیچه و میتوکندری به کار گرفته می‌شود. تماس با این رنگ باعث حساسیت‌های پوستی و چشمی می‌گردد. بلعیدن آن باعث حساسیت‌های روده‌ای و مشکلات گوارشی می‌شود؛ همچنین، استنشاق آن

1 Actived Carbon

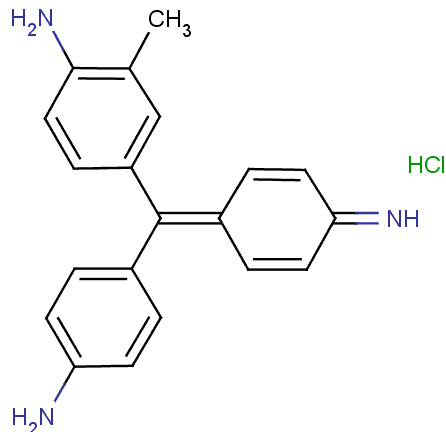
2 Fuchin

3 Rosaniline

4 Triphenolmethane

آب حل می‌گردد ارغوانی خواهد بود (زرگر و همکاران، ۲۰۰۹). طرح واره‌ی ۱ ساختار این رنگ را نشان می‌دهد.

مشکلات تنفسی را ایجاد می‌کند. این رنگ در حالت جامد به صورت بلورهای سبز می‌باشد، اما هنگامی که در



طرح واره ی ۱- ساختار رنگ بازی فوشین

مواد و روشها

در ابتدا ذرات سبوس برنج ساییده شده و با غربال با روزنه‌ی ۶۰ میکرومتر گردند تا اندازه‌ی ذرات یکنواخت شود. سپس ذرات را با آب دو بار تقطیر شده شسته، در دمای محیط به مدت ۲۴ ساعت خشک کرده و اثر فعالسازی و بهبود فعالیت سطح ذرات به وسیله‌ی یک اصلاح کننده بررسی گردید. بدین منظور، علاوه بر شستن ذرات با آب، آنها با اسید و بازهایی از جمله اسید سولفوریک، اسید کلریدریک، اسید استیک، آمونیاک و دی متیل آمین، همگی با غلظت ۳ مولار نیز شسته شده و با قرار دادن در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند.

سپس مقداری مشخص از ذرات آماده شده سبوس برنج توزین و به ظرف حاوی رنگ فوشین بازی اضافه گردید و تا رسیدن به زمان تعادل همزده شد. سپس مخلوط حاصل صاف گردیده و غلظت فوشین بازی باقیمانده در محلول برای سنجش اندازه جذب با کاربرد دستگاه طیف سنج UV-Vis تعیین شد.

کلیه‌ی مواد از شرکت مرک^۳ تهیه گردیده و در حد خلوص تجزیه‌ای بوده اند.

شرایط تجربی پر شماری برای دستیابی به جدا سازی مطلوب برای رنگ فوشین بازی مورد بررسی قرار گرفته اند. این شرایط، که شامل: pH محلول، غلظت رنگ فوشین بازی، حجم محلول، مقدار جاذب، مدت واکنش و دما می‌باشند، عمل جذب را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای بهینه کردن این شرایط روش تغییر یک متغیر در زمان، رایجترین راه بهینه سازی، به وسیله‌ی فریدمن^۱ و ساوج^۲ پیشنهاد شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش کلیه‌ی عوامل موثر بر جذب ثابت نگه داشته شده، یک عامل مورد تغییر قرار گرفته، سپس به بررسی اثر آن جهت دستیابی به بهترین شرایط پرداخته می‌شود. عملکرد هر متغیر باید مستقل از دیگری بوده و بر یکدیگر اثری نداشته باشند.

با توجه به اثر آلوده کنندگی رنگ بازی فوشین، و مؤثر بودن روشهای جذبی در حذف آلودگیهای زیست محیطی در این مقاله حذف آن به کمک جاذب ارزان سبوس برنج بررسی می‌گردد. هدف عمده‌ی این بررسی، حذف رنگ فوشین با کاربرد سبوس برنج به عنوان یک جاذب زیستی ارزان از آبهای آلوده می‌باشد.

تغییر داده شد و اندازه‌ی جذب فوشین بعد از ۶۰ دقیقه هم زدن و صاف کردن مورد بررسی قرار گرفت. اثر زمان، حجم و دما مانند حالت‌های قبل، و در شرایط بهینه‌ی pH و مقدار جاذب بر میزان جذب، بررسی گردید.

بررسی شبیه‌ها و فراسنج‌های جنبشی جذب^۲

به منظور یک برآورد نسبی از جنبش، و در نتیجه تا حدودی ساز و کار جذب، شبیه‌های مختلف جنبشی بررسی گردیدند. معادله‌ی سرعت شبه درجه‌ی اول عموماً به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - k_1 t / 2.303$$

در این معادله q_e و q_t اندازه‌گونه‌های جذب شده بر روی واحد وزن جاذب (mg g^{-1}) در زمان تعادل و در هر زمان t به ترتیب می‌باشند و k_1 ثابت سرعت جذب شبه درجه‌ی اول (min^{-1}) می‌باشد.

معادله‌ی سرعت شبه درجه‌ی دوم مطابق زیر می‌باشد:

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + t/q_t$$

که در آن k_2 ثابت سرعت شبه درجه‌ی دوم ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$) است.

اثر غلظت اولیه‌ی رنگ بازی فوشین و بررسی همدم‌های جذب

برای یافتن بیشترین ظرفیت جذب، که یکی از مهمترین فراسنج‌ها در طراحی و بررسی سامانه‌ی جذبی می‌باشد، همدم‌های تعادلی جذب مورد بررسی قرار گرفتند. در ابتدا رابطه‌ی بین غلظت تعادلی رنگ فوشین بعد از جذب، و اندازه‌ی جذب بر سطح جاذب، بررسی شد. سپس با استفاده از داده‌های تجربی و معادله‌های همدم‌های لانگمویر^۳ و فروندلیچ^۴، نمودارهای همدم‌های مربوطه رسم، و بیشترین ظرفیت جذب محاسبه گردید. داده‌های تعادلی بر اساس معادله خطی همدم‌های جذبی لانگمویر که به صورت زیر نشان داده شده است تحلیل گردیدند.

$$ce/q_e = 1/K_1 q_{\max} + 1/q_{\max} ce$$

در این معادله q_e اندازه‌ی جذب در واحد سطح جاذب در زمان تعادل (mg g^{-1}) می‌باشد، C_e غلظت تعادلی در

از دستگاه اسپکتروفتومتر دو پرتوی (Uv/Vis) LAMBDA45 ساخت شرکت Perkin Elmer برای سنجش اندازه‌ی جذب، و از دستگاه Metrohm 720 (دارای الکترودهای کالومل و شیشه‌ای برای اندازه‌گیری pH محلولها استفاده شد. تمام آزمایشها سه بار تکرار گردیدند، و نتایج عرضه شده میانگین سه اندازه‌گیری می‌باشند.

بررسی اندازه‌ی جذب رنگ بازی فوشین با استفاده از سبوس برنج

در بررسی‌های انجام شده از روش دسته‌ای^۱ استفاده گردید. در این حالت وزن مشخصی از جاذب به غلظت و حجم خاصی از جذب شونده اضافه گردید و این تعلیق تا زمانی که به تعادل رسید روی همزن مغناطیسی، و به کمک یک آهنربا به هم زده شد، سپس اندازه باقیمانده جذب شونده (در این مورد رنگ فوشین) تعیین، و با استفاده از معادله‌ی زیر اندازه‌ی رنگ جذب شده بر روی جاذب مشخص گردید.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{w}$$

در این معادله، q_e غلظت تعادلی گونه بر روی سطح جاذب، V حجم محلول بر حسب لیتر (lit)، C_0 و C_e به ترتیب غلظت اولیه و غلظت تعادلی بر حسب mg/lit و w وزن جاذب بر حسب گرم است.

تأثیر pH

تأثیر pH بر اندازه‌گیری جذب مورد مطالعه قرار گرفت. ۵۰ میلی لیتر از محلول نمونه، که حاوی میلی گرم بر لیتر (mg/lit) ۲۵۰ فوشین بازی بود با ۲۵/۰ گرم از جاذب شسته با اسید سولفوریک به مدت ۶۰ دقیقه در pH های متفاوت به هم زده شده، سپس صاف گردید و دست آخر، اندازه‌ی جذب اندازه گرفته شد. در تمام موارد تنظیم pH با کاربرد HCl و یا NaOH ۱ مولار صورت گرفت.

تأثیر مقدار جاذب اصلاح شده

محلول‌های اصلی و شاهد مشابه حالت‌های قبل در شرایط pH بهینه تهیه گردیدند. مقدار جاذب اصلاح شده

2 Adsorption Kinetics
3 Langmuir Isotherm
4 Freundlich Isotherm

1 Batch Method

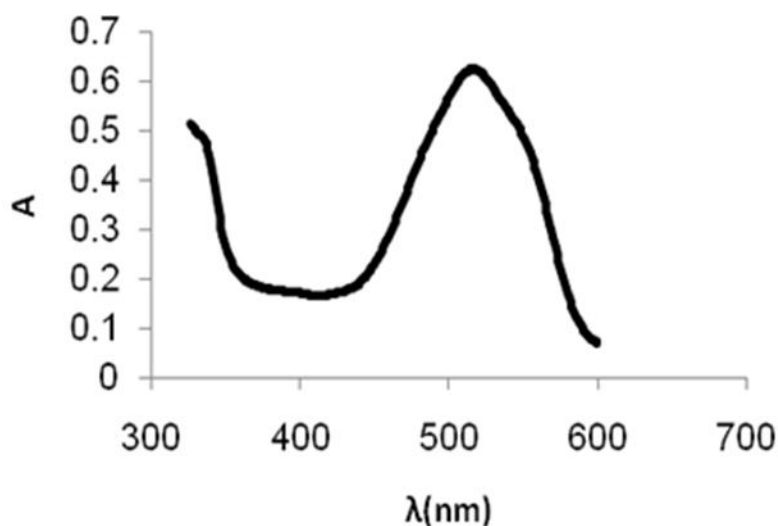
کارمایه‌های متفاوت (برای جذب) وجود دارند. معادله‌ی خطی جذب فروندلیچ به صورت زیر می‌باشد:

$$\log q_e = \log K_f + 1/n \log c_e$$

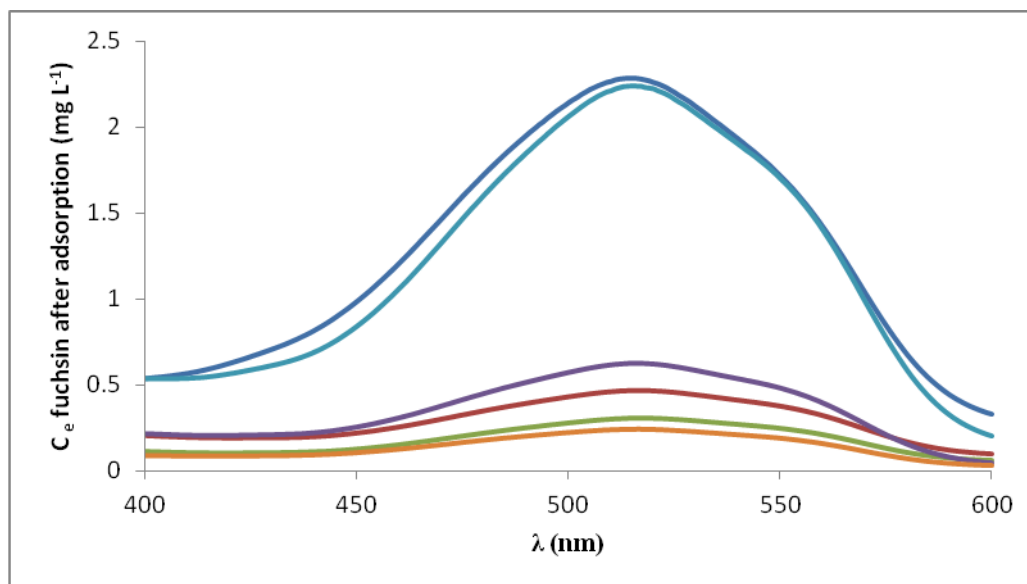
که در این معادله K_f جمله‌ی کارمایه می‌باشد که به عنوان تابعی از سطح پوشیده شده است.

محلول است، q_{\max} بیشترین ظرفیت جذب (mg g^{-1}) رنگ بازی فوشین می‌باشد که تنها به صورت تک لایه‌ای جذب می‌گردد، و K_L ثابت تعادل جذبی لانگمویر است که به کارمایه‌ی جذب وابسته می‌باشد.

شبیه فروندلیچ نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این شبیه فرض بر این است که جایگاههای جذبی مختلف با



شکل ۱- طیف ماوراء بنفش (UV-Visible) فوشین بازی.



شکل ۲- طیفهای مربوط به اثر نوع اصلاح کننده بر جذب خطوط طیف به ترتیب از بالا به پایین مربوط به جاذب اصلاح نشده، و اصلاح شده با کاربرد آمونیاک، اسید نیتریک، اسید کلریدریک، اسید استیک و اسید سولفوریک می‌باشند.

نتایج و بحث

همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین جذب رنگ بازی فوشین در طول موج ۵۲۵ صورت می‌گیرد؛ بنابراین، در آزمایشهای بعدی تغییرات جذب در این طول موج بررسی شده است.

اثر اصلاح جاذب بر اندازه‌ی جذب

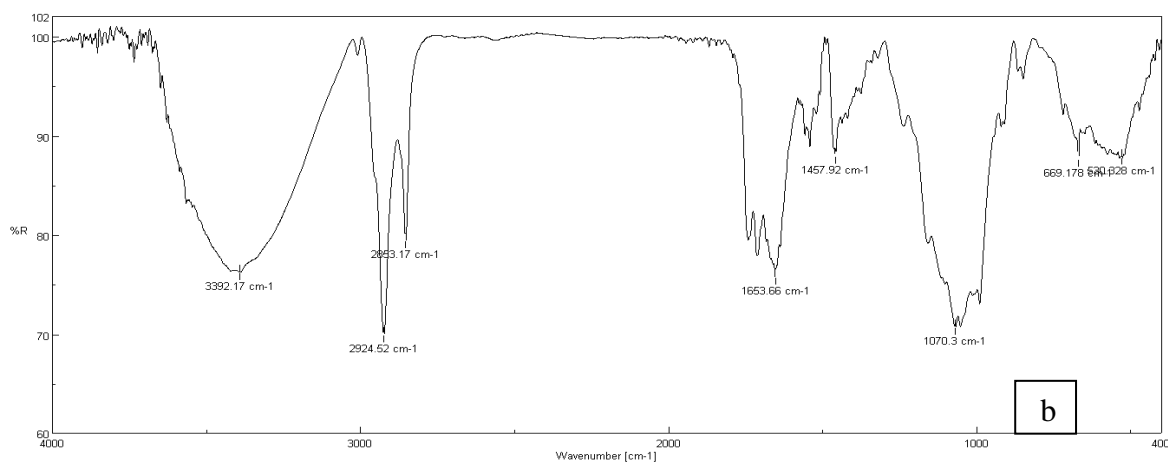
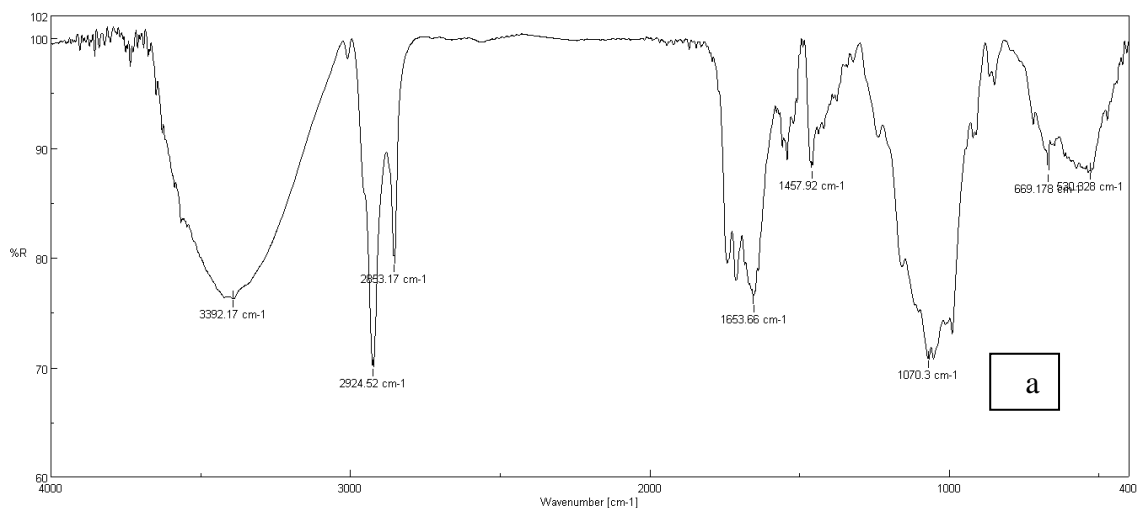
اثر اصلاح جاذب با اسیدها و بازهای مختلف بر جذب بررسی گردید. در این بررسی، که در شکل ۲ نشان داده

شده است، مشاهده گردید که جاذب شسته شده با آمونیاک فوشین بازی را جذب نمی‌کند. اصلاح کننده‌ی اسیدسولفوریک، در مقایسه با سایر اصلاح کننده‌ها، مناسب است، زیرا جاذب شسته شده با اسید سولفوریک نسبت به جاذبهای دیگر بیشترین جذب فوشین بازی را انجام می‌دهد.

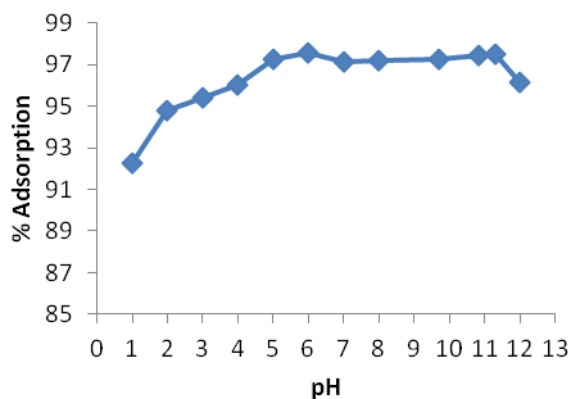
جدول ۱ نیز اثر اصلاح با اسیدها و بازهای مختلف را، به صورت درصد جذب رنگ فوشین نشان می‌دهد.

جدول ۱- درصد جذب رنگ فوشین مربوط به نوع اصلاح کننده.

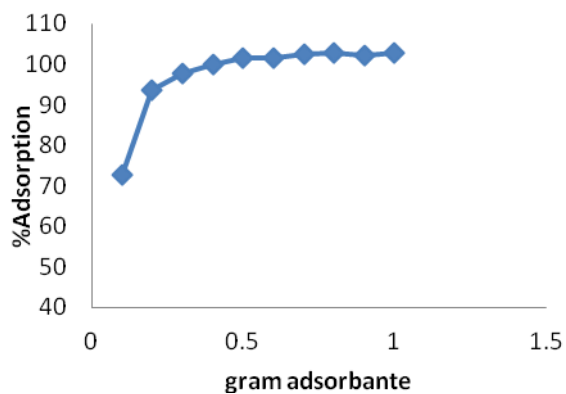
H ₂ SO ₄	NH ₃	HNO ₃	CH ₃ COOH	HCl	نوع شوینده
۹۰/۴۹	۲/۰۶	۷۳/۵۴	۸۷/۴۶	۸۰/۴۷	درصد فوشین جذب شده



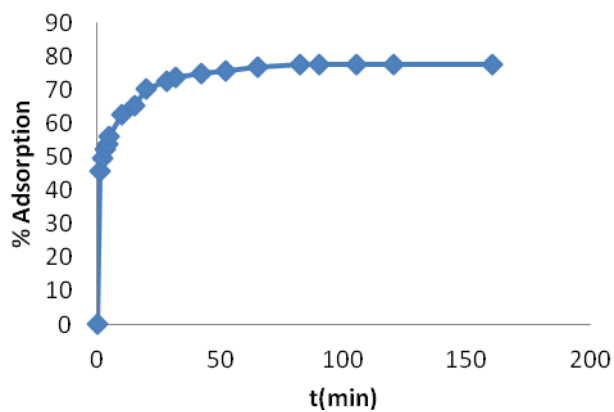
شکل ۳- طیف FT-IR (a) سبوس برنج اصلاح نشده، (b) سبوس اصلاح شده با اسید.



شکل ۴- اثر pH بر اندازه جذب رنگ بازی فوشین.



شکل ۵- اثر مقدار جاذب اصلاح شده بر جذب رنگ بازی فوشین.



شکل ۶- اثر زمان بر جذب رنگ بازی فوشین به وسیله ی سبوس برنج.

ویژگیهای سبوس برنج

برای بررسی ویژگیهای و تغییرات احتمالی بر سبوس برنج بعد از اصلاح^۱ به کمک شستن اسیدی از ذرات آسیاب شده در هر دو حالت طیف FT_IR گرفته شد. طیف حاصل در شکل ۳ b,a نشان داده شده است. اوج موجود در نواحی نزدیک طول موج ۱۰۷۰ نانومتر مربوط به کشش نامتقارن پیوند Si-O، و اوج مشخص در ناحیه ی حدود ۸۰۰ نانومتر مربوط به کشش متقارن پیوند Si-O می‌باشد. این اوجها موجود بودن سیلیس را در ترکیب سبوس به وضوح نشان می‌دهند. بعد از شستن با اسید، شکل b^۳ همان اوج به مقدار کمی جابه‌جا شده، و در عین حال شدتش نیز کاهش یافته است؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مقداری از سیلیس به وسیله ی اسید شسته شده و سبوس برنج حفره‌دار گردیده است. در نهایت می‌بایست انتظار داشت که سبوس شسته شده با اسید قدرت جذب بیشتری را نسبت به حالت اصلاح نشده داشته باشد، که این نکته در آزمایشهای بعدی بررسی گردید. حضور سیلیس همچنین نشانه‌ای بر این است که سبوس برنج می‌تواند جاذب مناسبی باشد. با بررسی دقیقتر طیف این نتیجه گرفته می‌شود که اسید ساختار کلی سبوس برنج را تغییر نداده است. اوج موجود در ۳۴۲۰ نانومتر مربوط به پیوندهای مولکول آب است.

اثر pH بر اندازه‌ی جذب

اندازه جذب در اغلب جاذبها وابسته به pH محیط است، زیرا pH بر گروههای عاملی روی سطح جاذب مانند OH⁻ و یا H⁺ بر روی سطح سیلیکا اثر گذاشته، و باعث فعال و یا غیر فعال شدن آنها می‌گردد. از طرفی pH می‌تواند بر گونه ی جذب شونده نیز مؤثر بوده، و فعالیت آن را برای جذب بر روی جاذب مورد نظر تحت تأثیر قرار دهد. گاهی pH باعث ایجاد رقابت در جذب می‌گردد. با توجه به موارد گفته شده، می‌بایست اثر pH را بر جذب بررسی، و pH بهینه را برای ادامه کار انتخاب کرد. این اثر در محدوده‌ی pH ۱ تا ۱۲ در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، در ابتدا با افزایش pH جذب رنگ فوشین افزایش می‌یابد. با توجه به این که سیلیکا

ماده ی اصلی سبوس برنج است، می‌توان این اثر pH را به کمک بار نقطه ی صفر سیلیکا توضیح داد. pH در بار نقطه ی صفر (pH_{ZPC}) سیلیکا ۲.۳ می‌باشد، بنابراین، در pH بالاتر از نقطه‌ی بار صفر بار چگالی منفی بار سطح جاذب افزایش یافته، و در محیط اسیدی (pH > 2.3)، به دلیل نامطلوب بودن بار سطحی جاذب برای جذب ترکیبات کاتیونی مانند رنگ بازی فوشین، مناسب نیست. از طرفی، در pH پایین رنگ پروتونه می‌باشد، اما به دلیل اینکه K_a آن حدود ۱/۳ است، به راحتی دی پروتونه نمی‌شود. در pH بالاتر از بار نقطه ی صفر سطح جاذب دارای بار منفی بوده، و از طرفی جذب شونده بار مثبت دارد؛ بنابراین، جذب با افزایش pH به بالاتر از ۲.۳ افزایش یافته، و در pH حدود ۶ بیشترین جذب مشاهده می‌گردد؛ در نتیجه، این pH به عنوان pH بهینه انتخاب شد.

تأثیر مقدار جاذب اصلاح شده

همان گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود، در ابتدا با افزایش اندازه جاذب مقدار جذب افزایش می‌یابد، و این امری طبیعی است، چه، مکانهای فعال برای جذب افزایش می‌یابند، اما بعد از افزودن جاذب بیش از ۰/۳ تغییر چندانی در جذب مشاهده نمی‌گردد و دلیل این امر می‌تواند اشباع شدن مکانها به وسیله ی جذب شونده باشد. بنابراین، در ادامه ی کار اندازه ۰/۳ گرم جاذب به عنوان بهینه انتخاب گردیده است.

اثر زمان بر جذب

در این قسمت pH محلول با کاربرد NaOH و HCl بر مقدار بهینه تنظیم گردیده است. میزان جذب در زمانهای صفر تا ۱۶۰ دقیقه اندازه گرفته شده است. به‌منظور به‌دست آوردن زمان لازم برای رسیدن به تعادل، اندازه جذب بر حسب زمان رسم شده است. میزان جذب با گذشت زمان افزایش می‌یابد، تا زمانی که این مقدار به تعادل برسد؛ با گذشت زمان بعد از رسیدن به تعادل تغییری در اندازه جذب مشاهده نمی‌گردد. اثر زمان در شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل سه منطقه به وضوح دیده می‌شود. جذب در ابتدا سریع می‌باشد، به‌گونه‌ای که در ۵ دقیقه اول بیشتر از ۶۰٪ گونه جذب گردیده است. در فاصله‌ی ۵ تا ۳۰ دقیقه سرعت جذب کاهش یافته، و بعد از ۳۰ دقیقه به تعادل رسیده و دیگر

اثر غلظت اولیه رنگ بازی فوشین و بررسی هم‌دماهای جذب

اثر غلظت اولیه رنگ بازی فوشین بر جذب در شکل ۹ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد، میزان جذب با افزایش غلظت زیاد می‌شود که امریست طبیعی، اما در غلظتهای بالا، به دلیل اشباع شدن مکانهای جذب، تغییری در میزان جذب مشاهده نگردید.

منحنی لانگمویر در شکل ۱۰ نشان داده شده است. میزان فراسنجها از شکل ۱۰ به دست آمده و در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. ضریب وایازی بالا ۰.۹۹ توافق خوب داده‌ها را با معادله‌ی حاضر نشان می‌دهد؛ جذب شونده‌ها به‌صورت یک تک لایه بر سطح جاذب جذب گردیده‌اند.

منحنی فروندلیچ نیز در شکل ۱۱ نشان داده شده است. ضریبها با توجه به معادله‌ی موجود از شکل محاسبه، و در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. فراسنجها و ضریب وایازی نشان داده شده در جدول ۳ مشخص می‌کنند که رفتار جذبی رنگ بازی فوشین بر سطح جاذب بهترین توافق را با شبیه همدمای لانگمویر داراست (بر پایه‌ی ضریب وایازی و کمترین تفاوتی که بین اندازه حداکثر جذب عملی و نظری (عملی ۹۰ و نظری ۱۰۰) وجود دارد).

نتیجه‌گیری

سبوس برنج را می‌توان به عنوان یک جاذب مناسب و ارزان برای حذف رنگ بازی فوشین از آبهای آلوده معرفی کرد. این جاذب دارای بیشترین ظرفیت جذب است که در زمانی مناسب (کمتر از ۳۰ دقیقه) به تعادل می‌رسد. جذب جنبشی آن از شبیه‌شبه درجه‌ی دو تبعیت می‌نماید. شبیه‌همدمایی این جاذب شبیه لانگمویر است که نشان دهنده‌ی تک لایه بودن جذب می‌باشد. بررسیهای انجام شده در مورد حجم محلول نشان می‌دهند که از این جاذب در مقادیر کم می‌توان برای حذف رنگ بازی فوشین از حجم زیاد محلول استفاده کرد. بیشترین ظرفیت جذب فوشین ۱۰۰ میلی‌گرم فوشین بر ۱ گرم جاذب می‌باشد. بررسی اثر pH نیز نشان داد که در محدوده‌ی ۵ تا ۸ می‌توان بالاتر از ۰.۹۷ رنگ فوشین را حذف کرد، اما همان‌گونه که نشان داده شد، در محدوده‌ی pH ۲ تا ۱۲ می‌توان تا حدود ۹۰ درصد از فوشین را حذف کرد. در صورت حذف فوشین و سایر

به زمان وابسته نیست. بنابراین، جذب دارای جنبش^۱ نسبتاً سریعی بوده و در ۳۰ دقیقه کاملاً به تعادل می‌رسد. سریع بودن جذب در ابتدا می‌تواند به این دلیل باشد که بر هم کنش رنگ بازی فوشین و گروه‌های SiOH-فعال سطحی سریع می‌باشد. در ادامه‌ی تحقیق، برای اطمینان از به تعادل رسیدن جذب زمان ۶۰ دقیقه برای همزدن انتخاب گردید.

بررسی شبیه‌ها و فراسنجهای جنبشی جذب

شکل ۷ نتایج حاصل از مطالعه فراسنجهای جنبشی را به‌صورت نمودارهایی از $\log(q_e - q_t)$ و t/q_t بر حسب t برای زمان تماس از صفر تا ۶۰ دقیقه را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ۷ دیده می‌شود، جذب رنگ فوشین در سطح سبوس برنج به‌صورت محتملتر با توجه به ضریب وایازی^۲ ($R^2=0.998$) به‌وسیله‌ی شبیه جنبشی شبه درجه دو توضیح داده می‌شود. فراسنجهای جنبشی به‌دست آمده از شکل ۷ و معادلات جنبشی در جدول ۲ آورده شده‌اند.

تأثیر کل حجم حالت محلول

در ادامه آزمایشها مشاهده شد که با افزایش حجم محلول اولیه تا ۲۵۰ میلی‌لیتر در صد جذب تغییر چندانی نشان نداده و همچنان بالای ۰.۹۹٪ باقی می‌ماند؛ بنابراین، می‌توان مقدار کمی جاذب را برای حذف فوشین از حجم زیاد آب به کار برد. این نتیجه نشان دهنده‌ی این است که پخش ذرات سبوس برنج به عنوان جاذب در محلول به خوبی صورت می‌گیرد.

تأثیر دما

در یک تعادل پایدار تغییر دما موجب تغییر فرایند جذب می‌شود. در این آزمایش در بررسی اثر دما بر جذب مشاهده گردید که وقتی دما افزایش یافت، پدیده‌ی جذب فزونی گرفت. بیشترین جذب در دمای ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد رخ داد و بعد از آن بطور ثابت کاهش یافت. نتایج در شکل ۸ نشان داده شده‌اند.

1 Kinetics

2 Regression Coefficient

رنگها می‌توان از این آب در موارد مختلف، بویژه آبیاری بر خود لازم می‌دانیم از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، به دلیل حمایت‌های مالی از این طرح پژوهشی استفاده کرد. سپاسگزار باشیم.

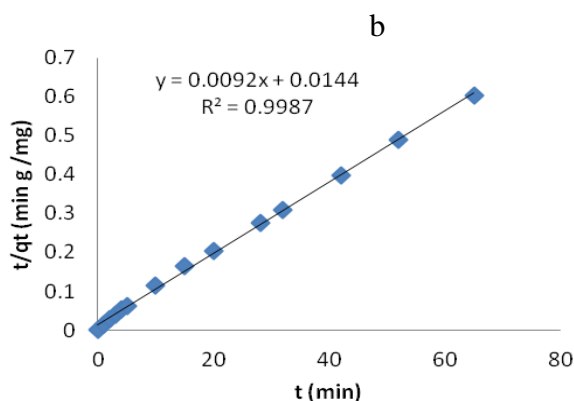
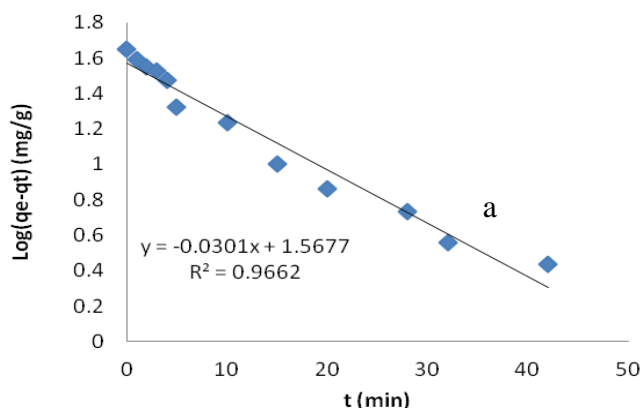
سپاسگزار

جدول ۲- فراسنجهای جنبشی به دست آمده با توجه به معادلات جنبشی مربوطه

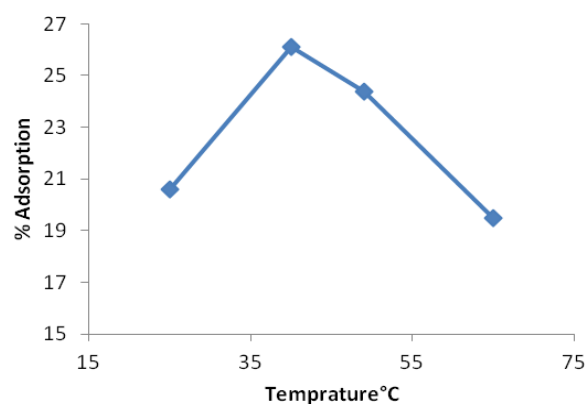
شبهه‌های ریاضی	معادلات	ضریب وایازی	ثابت سرعت شبهه‌ها (k و یا h سرعت جذب اولیه) $h = k_2 q_e^2 (\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1})$
شبهه شبه درجه‌ی دوم	$t/q_t = 0.014 + 0.009t$	۰/۹۹۸	$h = 2 (\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1})$ $k_2 = 1/1 \times 10^{-7} (\text{mg}^{-1} \text{g min}^{-1})$
شبهه شبه درجه‌ی اول	$\log(q_e - q_t) = 1/567 - 0.03t$	۰/۹۶۶	$0.07 (\text{min}^{-1})$

جدول ۳ - فراسنجهای و ضریب وایازی شبهه‌های همدمايي.

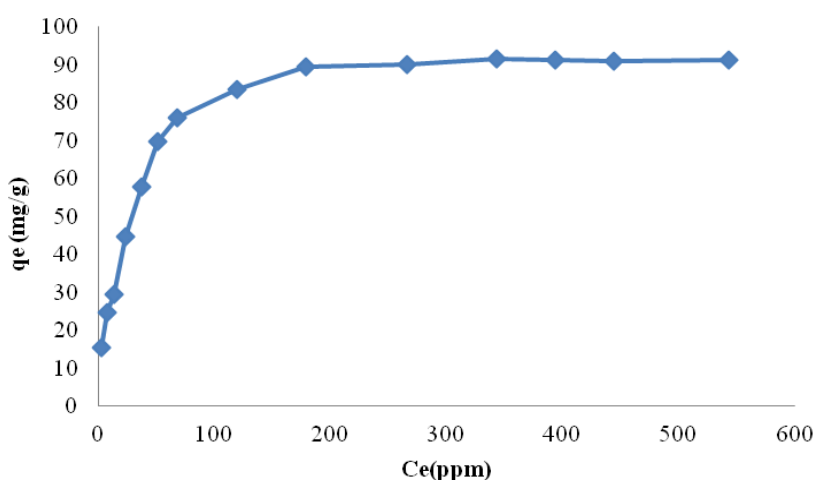
شبهه‌های همدمايي	معادلات	ضریب وایازی	بیشترین جذب (mg) 1/n یا g^{-1}	ثابت تعادلهای جذبی $K_L (\text{L mg}^{-1})$ $K_F (\text{L mg}^{-1})$
لانگمویر	$c_e/q_e = 0.01 + 0.238 c_e$	۰/۹۹۸	۱۰۰/۰	۰/۱۳۵۶
فروندلیچ	$\log q_e = 1/0.71 + 0.393 \log c_e$	۰/۹۲۶	۰/۳۹۳	۱۳/۰۹



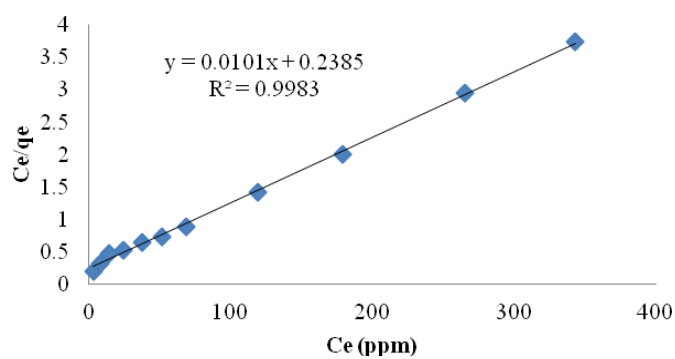
شکل ۷- شبهه جنبشی شبه درجه‌ی اول (a) و شبه درجه‌ی دوم (b) جذب رنگ بازی فوشین به‌وسیله‌ی سبوس برنج.



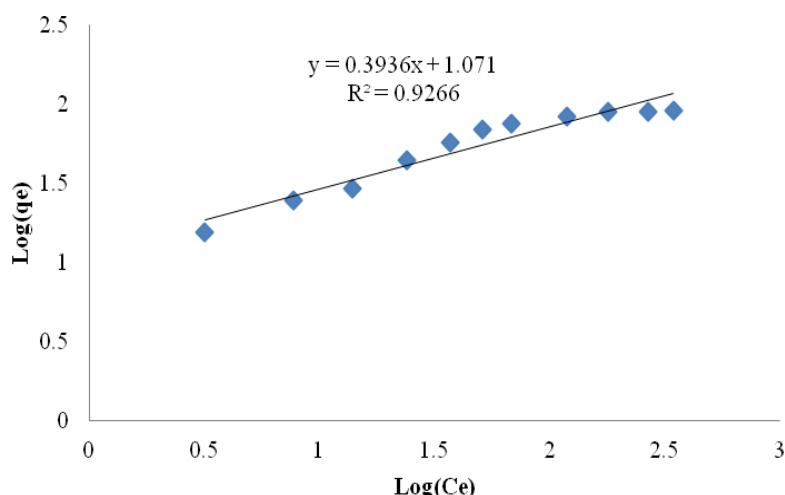
شکل ۸- اثر دما بر جذب رنگ بازی فوشین.



شکل ۹- رابطه‌ی بین غلظت تعادلی رنگ فوشین بعد از جذب، و میزان جذب بر سطح جاذب.



شکل ۱۰- نمودار همدمای لانگمویر.



شکل ۱۱ - نمودار همدمای فروندلیچ.

References:

1. Aghanabati, A., Iranian Geology, Geological Publications, 586 pp
2. Aq.QA Software (Ver., 1.0), Copyright © 2003 Prairie City Computing, Inc. Email, aqqa@rockware.com, www.aqqa.com.
3. Aquachem, Software (Ver 3.6.4), Waterloo Hydrogeologic, E-Mail: info@flowpath.com
4. Bouwer, H., 1978. Groundwater Hydrology, McGraw-Hill, Inc.
5. Davis, j., 1986. Statistical and Data analysis in geology. Wiley, New York
6. Deutsch, W J., 1997. Groundwater Geochemistry: Fundamentals and Applications to Contamination. Lewis Publ. New York.
7. Farshadfar, A., 1380. Multivariate Statistical Techniques, Publications Bostan.
8. Guler, C., Thyne, G D., McCray, J E., and Turner, A K., 2002. "Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data". Hydrogeology journal. 10: 455-474.
9. Hunselow, A., 1995. Water Quality Data, Analysis and interpretation, Lewis pub.
10. Ochsenkuhn, J., Kontoyanacos, and M. Ochsenkuhn-Petropulu, 1997. A new approach to a hydrochemical study of groundwater flow, J. Hydrol. 194: 64-75.
11. Report of Karkheh dam, 1371. Iran Water and Power Resources Development.
12. Samani, S., Kalantari, N., 1378. Assessment of quantitative and qualitative effect of Karkheh dam on Dasht-e- Avan aquifer
13. SPLUS 2000 Professional Release 1, Copyright © 1988-1999 Math Soft.