

Original article

Determination of the Efficiency, Isotherm, and Kinetics of Color Absorption of Sunset Yellow FCF from Aqueous Solution by Granular Activated Carbon

Esrafil Asgari¹
Fathollah Gholami-Borujeni²
Rahim Aali^{3*}

- 1- Instructor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran
- 2- Assistant Professor, Health Research Center, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
- 3- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Nursing and Health, Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran

*Corresponding author: Rahim Aali,
Department of Environmental Health
Engineering, School of Nursing and
Health, Urmia University of Medical
Sciences, Urmia, Iran

Email: Aali@hlth.mui.ac.ir

Received: 07 February 2018

Accepted: 21 June 2018

ABSTRACT

Introduction and purpose: Sunset yellow FCF is a hazardous azo dye pollutant found in food processing effluent. In this study, the efficiency of granular activated carbon on the absorption of sunset yellow FCF from aqueous solution, as well as isotherm and absorption kinetics were evaluated.

Methods: This experimental laboratory study was conducted to investigate the effect of independent parameters such as pH, contact time, adsorbent dose, and initial concentration on the removal percent of sunset yellow FCF. The absorbance of the specimens was read three times by a spectrophotometer apparatus at the wavelength of 480 nm. In this study, the Langmuir and Freundlich adsorption isotherm models were used for mathematical modeling of the sunset yellow color adsorption process. Additionally, the pseudo-first- and pseudo-second-order kinetics equations were used for data analysis.

Results: The contact time played a greater role in the adsorption process than either pH or initial dye concentration. By increasing contact time from 5 min to 50 min, the dye removal efficiency increased from 62% to 85%. When the weight of the adsorbent increased from 1 g to 8 g, the dye removal efficiency increased from 65% to 82%. Freundlich isotherm models could describe the adsorption equilibrium of the dye onto the granular activated carbon. Freundlich isotherm represented a better correlation compared to other isotherms ($R^2 > 0.9998$). Moreover, pseudo-first-order models fit well with the experimental data ($R^2 > 0.9975$).

Conclusion: According to the results, sunset yellow color was significantly absorbed on the activated carbon adsorbent. Therefore, it could be used as a very effective method to remove sunset yellow from aqueous solutions.

Keywords: Adsorption, Dye, Granular activated carbon, Sunset yellow

► **Citation:** Asgari E, Gholami-Borujeni F, Aali R. Determination of the Efficiency, Isotherm, and Kinetics of Color Absorption of Sunset Yellow FCF from Aqueous Solution by Granular Activated Carbon. Journal of Health Research in Community. Spring 2018;4(1): 12-26.

مقاله پژوهشی

تعیین کارایی، ایزوترم و سینتیک جذب رنگ Sunset Yellow FCF از محلول آبی توسط کربن فعال گرانوله

چکیده

اسرافیل عسگری^۱فتح‌اله غلامی بروجنی^۲رحیم عالی^{۳*}

مقدمه و هدف: رنگ (SY) Sunset Yellow FCF یکی از آلاینده‌های خطرناک رنگ آزوی موجود در پساب فرایندهای مواد غذایی است. در این ارتباط، در پژوهش حاضر کارایی کربن فعال گرانوله (GAC: Granular Activated Carbon) در جذب رنگ Sunset Yellow FCF از محلول آبی و همچنین ایزوترم و سینتیک‌های جذب مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش کار: پژوهش حاضر یک مطالعه تجربی-آزمایشگاهی می‌باشد که در آن به بررسی تأثیر پارامترهای مستقل مانند pH، زمان تماس، دوز جاذب و غلظت اولیه بر درصد حذف رنگ Sunset Yellow FCF پرداخته شده است.

جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۰ نانومتر با سه بار تکرار انجام شد. در این پژوهش از مدل‌های ایزوترم جذب Freundlich و Langmuir برای مدل‌سازی ریاضی فرایند جذب رنگ Sunset Yellow استفاده گردید. معادلات سینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم نیز برای آنالیز داده‌های آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند.

یافته‌ها: زمان ماند، نقش مهم‌تری نسبت به pH و غلظت‌های اولیه در فرایند جذب دارد و افزایش زمان ماند از ۵ تا ۵۰ دقیقه باعث افزایش راندمان حذف رنگ از ۶۲ به ۸۵ درصد می‌شود. از سوی دیگر، هنگامی که دوز جاذب از ۱ تا ۸ گرم افزایش می‌یابد، راندمان حذف رنگ از ۶۵ به ۸۲ درصد افزایش پیدا می‌کند. شایان ذکر است که فرایند جذب از ایزوترم جذب مدل Freundlich با ضریب همبستگی $R^2=0/9998$ و از مدل سینتیکی شبه درجه یک با ضریب همبستگی $R^2=0/9975$ تبعیت می‌کند. **نتیجه گیری:** مطابق با نتایج می‌توان گفت که رنگ Sunset Yellow به‌طور قابل توجهی با جاذب کربن فعال گرانوله جذب می‌گردد؛ به‌طوری که می‌توان از آن به‌عنوان روشی بسیار مؤثر برای حذف رنگ Sunset Yellow از محلول‌های آبی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: کربن فعال گرانوله، جذب، رنگ، Sunset Yellow FCF

۱. دانشجوی دکترای بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران

* نویسنده مسئول: رحیم عالی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران

Email: aali@hlth.mui.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۳۱

◀ **استناد:** عسگری، اسرافیل؛ غلامی بروجنی، فتح‌اله؛ عالی، رحیم. تعیین کارایی، ایزوترم و سینتیک جذب رنگ Sunset Yellow FCF از محلول آبی توسط کربن فعال گرانوله. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، بهار ۱۳۹۷؛ ۱(۴): ۲۶-۱۲.

مقدمه

فاضلاب صنایع مختلف حاوی آلاینده‌های متفاوتی مانند رنگ، اسید، باز و سایر مواد می‌باشند. در این میان، رنگ آشکارترین

شاخص آلودگی آب است. رنگ‌ها به‌طور گسترده‌ای در صنایع مختلف مانند نساجی، پلاستیک، لاستیک، چرم، مواد غذایی و لوازم آرایشی به کار می‌روند. مقدار زیادی از رنگ‌های آزو در منابع آب طبیعی تخلیه می‌گردد و باعث می‌شود که آب رنگی شده و دارای مقادیر بالای (Biological Oxygen Demand) BOD و (Chemical Oxygen Demand) COD، مواد جامد، روغن و احتمالاً مواد آلی سمی گردد و برای هر نوع استفاده نامناسب شود [۱]. رنگ‌ها گروه مهمی از آلاینده‌هایی هستند که تنوع ساختاری قابل توجهی دارند و به چندین روش طبقه‌بندی می‌شوند. از میان انواع مختلف، رنگ‌های آزو بزرگ‌ترین گروه از رنگ‌های مصنوعی هستند که توسط حضور گروه آزو (-N=N-) با یک یا چند حلقه آروماتیک که ممکن است دارای گروه‌های اسید سولفونیک نیز باشد مشخص می‌شود [۲]. سالانه در سراسر دنیا حدود 7×10^5 تن رنگ در ۱۰۰۰۰ نوع رنگ مختلف تولید می‌شود [۳]. رنگ‌های آزو چندمنظوره بوده و بیش از نیمی از تولید رنگ سالانه را به خود اختصاص می‌دهند. لازم به ذکر است که رنگ‌های آزو برای اکوسیستم‌های آبی، سمی بوده و برای انسان سرطان‌زا می‌باشند [۴، ۵]. Sunset Yellow FCF یک رنگ پیرازولون (Pyrazolone) از دسته رنگ‌های سنتزی آزو است که در محصولات غذایی رایج مانند نوشیدنی‌ها، آب‌نبات‌ها، محصولات لبنی، داروها و محصولات نانوایی به‌عنوان افزودنی رنگی به محصول نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. حداکثر سطح مجاز SY در مواد غذایی ۲۰۰-۱۰۰ بخش در میلیون است. با این حال، مطالعات مختلف گزارش کرده‌اند که این مقدار چندین برابر حد مجاز است [۶، ۷]. رنگ Sunset Yellow موجب سمیت ژنتیکی شده و اثرات زیان‌باری را بر سیستم عصبی، سیستم تولیدمثل، شکست کروموزومی و رفتار کودکان تحمیل می‌کند و خاصیت سرطان‌زایی دارد [۸]. محصولات غذایی اغلب در معرض ازدست‌دادن رنگ و یا کاهش شدت رنگ پس از پردازش

می‌باشند؛ بنابراین، اهمیت تصفیه فاضلاب‌های حاوی رنگ قبل از تخلیه به محیط زیست نمود پیدا می‌کند. توسعه فرایند در این مورد مهم‌ترین چالشی است که پژوهشگران شیمی به دلیل ساختار پیچیده و منشأ مصنوعی با آن مواجه هستند [۹، ۱۰]. این امر منجر به انجام مطالعات بسیاری برای به‌دست‌آوردن بهترین فناوری در دسترس که می‌تواند برای حذف رنگ‌ها استفاده شود، گردیده است. فاضلاب‌های دارای مواد رنگی می‌توانند توسط روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف شامل: جذب، اکسیداسیون فتوکاتالیستی، ازن‌زنی، انعقاد-فلوکولاسیون و روش‌های الکتروشیمیایی حذف شوند [۱۱-۱۵].

بیشتر تکنولوژی‌های فوق‌رنگ‌ها را به‌طور مؤثر حذف می‌کنند؛ اما در کشورهای در حال توسعه با توجه به هزینه‌های بالقوه و اقتصادی آن‌ها، بسیاری از این روش‌ها به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرند [۱۶]. به‌کارگیری روش‌های اکسیداسیون‌های شیمیایی، الکتروشیمیایی و انعقاد معمولاً در صنایع بزرگ امکان‌پذیر نیست؛ از این رو، تکنیک‌های جذب همواره یکی از روش‌های کارآمد برای حذف آلاینده‌ها از پساب می‌باشند. به‌طور کلی فرایند جذب به دلیل راندمان بالا، عدم سمیت، جذب‌های آسان در دسترس، ظرفیت بالا و این واقعیت که با پتانسیل بالای احیای جاذب، کیفیت آب را در مقایسه با روش‌های متداول تصفیه پساب بالا نگه می‌دارد، یک تکنیک عام مورد استفاده می‌باشد [۱۷، ۱۸].

انواع وسیعی از مواد مانند: رس، خاکستر نیشکر، پوسته ذرت، خاکستر پوسته برنج سفید، هسته زردآلو، پوسته بادام، پوست نارنجی و سیوس گندم با موفقیت برای حذف رنگ در محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ اما به نظر می‌رسد که جذب با کربن فعال بهترین چشم‌انداز برای حذف رنگ می‌باشد [۱۹-۲۵]. کربن فعال به دلیل کارایی و تنوع آن به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. کربن فعال از کربناسیون مواد مختلفی از قبیل زغال چوب، چوب، پوست نارگیل و یا

جذب انجام شد.

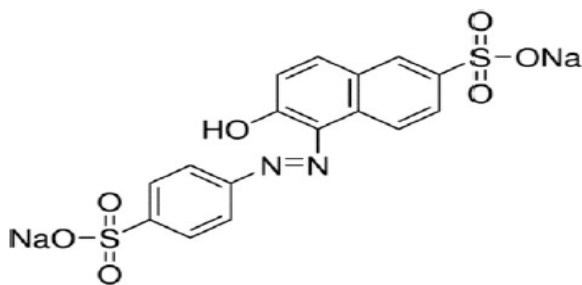
روش کار

مطالعه مذکور از نوع بنیادی - کاربردی بوده و با توجه به ماهیت آن در مقیاس آزمایشگاهی و در شرایط بسته انجام شده است. جهت انجام پژوهش، کربن فعال گرانوله مورد استفاده با چگالی ۱۲/۰۱ گرم در مول و با اندازه اثر ۲/۵ میلی متر از شرکت پارسا لب (نماینده شرکت Merc آلمان) خریداری شد.

مشخصات رنگ

رنگ Sunset Yellow با فرمول شیمیایی $C_{16}H_{10}N_2Na_2O_7S_2$ از نوع رنگ‌های آزو با درجه خلوص ۹۹ درصد و وزن مولکولی ۴۵۲/۳۷ گرم در مول می‌باشد. ساختار این رنگ در شکل ۱ قابل مشاهده است [۷].

برای انجام این پژوهش اثر پارمترهای pH (۹،۷،۴ و ۱۱)، زمان ماند (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه)، غلظت اولیه رنگ Sunset Yellow (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و دوز جاذب (۱، ۴، ۶، ۸ گرم) مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا کربن فعال با آب مقطر فاقد یون آب‌کشی شد و به مدت دو ساعت در دمای 10.5 ± 1 درجه سانتی‌گراد خشک گردید و در دسیکاتور

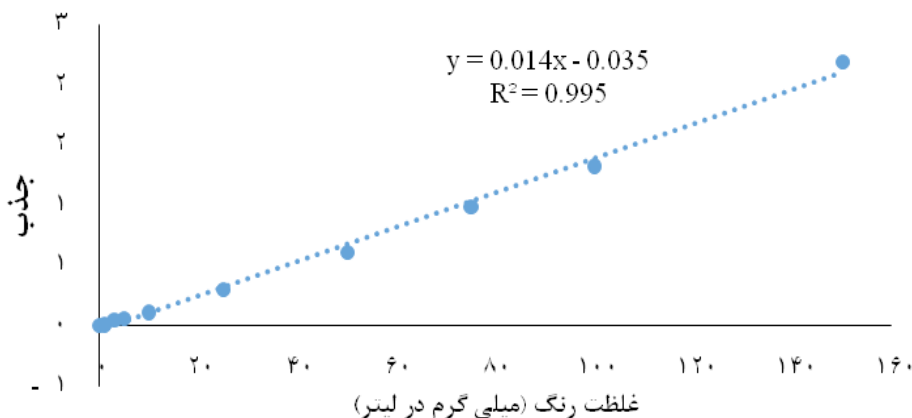


شکل ۱: ساختار رنگ Sunset Yellow FCF [۷]

خاک‌اره به دست می‌آید و به دو شکل پودری و گرانولی موجود می‌باشد [۲۶، ۲۷].

بیشتر کارهای حذف آلاینده‌های آلی از آب بر روی کربن فعال گرانوله صورت می‌گیرد؛ زیرا شکل گرانوله با تماس پیوسته، بسیار قابل انطباق بوده و نیازی به جداسازی کربن از سیال ندارد. کربن فعال به عنوان جاذب نه تنها برای حذف رنگ‌ها؛ بلکه برای حذف آلاینده‌های آلی و معدنی نظیر یون‌های فلزی، فنل‌ها، آفت‌کش‌ها، هیدروکربن‌های کلرینه، مواد هیومیک، PCBs (Polychlorinated Biphenyls)، دترجنت‌ها، ترکیبات آلی مولد طعم و بو و بسیاری از ترکیبات شیمیایی و ارگانیک‌های دیگر به کار می‌رود [۲۸-۳۴]. به خوبی مشخص شده است که کربن فعال روش کاربردی و مؤثری برای حذف رنگ‌ها و دیگر آلاینده‌های ناشی از نساجی و فاضلاب‌های رنگی می‌باشد [۲۹، ۳۵، ۳۶]. اصول کار جذب، انتقال مولکول‌های حل شده به سطح فعال جامد است و از نظر شرایط کم‌هزینه بودن، طراحی ساده و بهره‌برداری نسبت به سایر تکنولوژی‌های حذف رنگ مناسب‌تر می‌باشد [۳۷]. در کربن فعال عمل جذب سطحی بر روی یک سطح هموار انجام نمی‌شود؛ بلکه این امر بر روی دیواره حفره‌های باریک که در داخل کربن فعال توزیع گشته‌اند صورت می‌گیرد [۲۷]. عوامل مؤثر در نقش کربن فعال شامل: وزن مولکولی، pH، غلظت آلودگی، اندازه ذرات، میزان جریان و دما می‌باشد [۳۸]. تعدادی از گزارش‌ها در ارتباط با حذف رنگ Sunset Yellow از محلول‌های آبی با استفاده از مواد متفاوت از قبیل پوست مانگرو (حرا) و هیدروکسید دولایه منتشر شده‌اند [۳۹-۴۱].

بیشتر مطالعات موجود در متون علمی در ارتباط با حذف رنگ‌های نساجی صورت گرفته‌اند و حذف یا تخریب رنگ‌های غذایی به ندرت مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی کربن فعال گرانوله در جذب رنگ Sunset Yellow FCF از محلول آبی و ایزوترم و سینتیک‌های



نمودار ۱: منحنی استاندارد رنگ Sunset Yellow توسط اسپکتروفتومتر UV-Visible

نمونه‌ها قبل از اندازه‌گیری از کاغذ صافی ۰/۴۵ میکرون عبور داده شدند. آزمایشات جذب با سه بار تکرار انجام شدند و میانگین مقادیر آن‌ها به صورت نتایج نهایی در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت. ترسیم نمودار داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

ایزوترم‌های جذب

مدل ایزوترم Langmuir بر مبنای جذب یک‌لایه‌ای و یکنواخت (همگن) ماده جذب‌شونده با انرژی یکسان بر تمام سطوح روی جاذب می‌باشد [۴۲]. معادله خطی این دو ایزوترم تعادلی به صورت زیر (روابط ۱ و ۲) بیان می‌گردد:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_0} + \frac{1}{K_L q_0} \quad \text{مدل Langmuir (رابطه ۱)}$$

در این مدل C_e = غلظت تعادلی Sunset Yellow بر حسب میلی‌گرم بر لیتر؛ q_e = مقدار Sunset Yellow در زمان تعادل بر حسب میلی‌گرم بر گرم؛ K_L = ثابت Langmuir؛ q_0 = حداکثر ظرفیت جذب بر حسب میلی‌گرم بر گرم است. پارامترهای q_e و

نگهداری شد. سپس با استفاده از ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۰۰۱ گرم، مقادیر مورد نیاز کربن فعال وزن گردید. در ادامه، به تهیه غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر رنگ Sunset Yellow با استفاده از پودر خالص رنگ Sunset Yellow پرداخته شد. جهت سنجش غلظت رنگ مورد مطالعه از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Visible (مدل CE CECIL 7400) استفاده گردید که طول موج غالب در محدوده ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر بررسی شد و میزان آن $\lambda_{max} = 480$ نانومتر تعیین گردید و براساس آن منحنی استاندارد رسم شد (نمودار ۱). سپس ۱۰ غلظت مشخص (۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰) میلی‌گرم بر لیتر) از محلول استوک رنگ مورد مطالعه تهیه گردید و پس از قرائت میزان جذب در طول موج غالب، منحنی استاندارد آن ترسیم شد و غلظت رنگ در آزمایشات توسط این منحنی تعیین گردید. به منظور بررسی اثر pH در محدوده ۴-۱۱ از اسید سولفوریک استفاده شد و سود سوزآور برای تنظیم آن به کار رفت و به منظور سنجش آن از دستگاه pH متر مدل HACH-HQ-USA استفاده گردید. کلیه آزمایشات در ارلن‌مایر ۲۵۰ سی‌سی انجام شد. شایان ذکر است که تمامی

در این معادله q_t (میلی گرم بر گرم) = ظرفیت جذب در هر زمان؛ k_2 = ثابت سرعت شبه درجه دوم (گرم بر میلی گرم در دقیقه)؛ q_e = ظرفیت جذب در حالت تعادل می باشد. باید توجه داشت که عرض از مبدأ نمودار خطی $\frac{t}{q_e}$ در مقابل t است.

یافته ها

کربن فعال گرانوله (GAC) مورد استفاده با اندازه ذرات حدود ۰/۷۵-۰/۵۵ میلی متر و مساحت سطح مطابق با اندازه گیری توسط روش BET (Brunauer Emmett Teller) حدود ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر مربع بر گرم می باشد. pH_{Zpc} جاذب نیز معادل ۷/۸ محاسبه گردید (نمودار ۲).

تأثیر pH اولیه

به منظور بررسی اثر پارامتر pH بر راندمان حذف رنگ Sunset Yellow، مطالعات در چهار محدوده pH انجام شد. نتایج مرتبط با تأثیر تغییرات pH بر راندمان حذف در نمودار ۳ نشان داده شده است. نتایج بیانگر pH بهینه برابر با ۷ می باشد.

تأثیر زمان ماند

با افزایش زمان ماند در یک شرایط ثابت، راندمان حذف Sunset Yellow افزایش یافت. با افزایش زمان ماند از ۵ به ۵۰ دقیقه، راندمان حذف از ۶۲ به ۸۵ درصد افزایش یافت (نمودار ۴).

تأثیر دوز جاذب

نتایج حاصل از نمودار ۵ نشان می دهند که با افزایش مقدار دوز جاذب در شرایط ثابت، راندمان حذف رنگ افزایش یافته

k_1 به ترتیب عرض از مبدأ و شیب نمودار خطی $\frac{C_e}{q_e}$ در مقابل C_e می باشد.

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} + \ln C_e \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این مدل C_e = غلظت تعادلی Sunset Yellow بر حسب میلی گرم بر لیتر؛ q_e = مقدار Sunset Yellow جذب شده در زمان تعادل بر حسب میلی گرم بر گرم؛ K_f و n = ثابت های Freundlich هستند [۴۳]. مقادیر پارامترهای n و K_f به ترتیب از طریق شیب و عرض از مبدأ نمودار خطی $\ln q_e$ در مقابل $\ln C_e$ تعیین می شوند.

سینتیک واکنش

برای بررسی عوامل مؤثر بر سرعت واکنش، مطالعه سینتیک فرایند ضروری می باشد. در این مطالعه از معادلات سینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم برای آنالیز داده های آزمایش استفاده شد که به ترتیب معادلات آن به صورت زیر می باشد [۴۴، ۴۵].

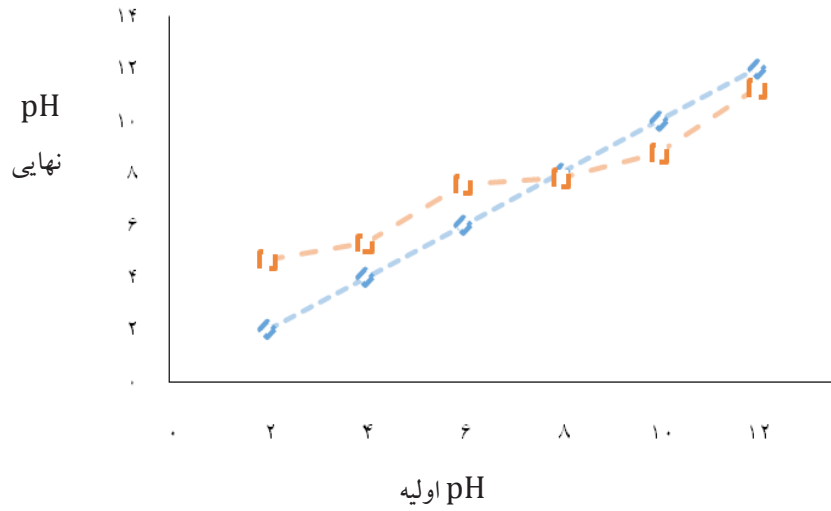
معادله خطی شبه درجه اول به صورت رابطه ۳ بیان می شود:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t \quad \text{رابطه ۳}$$

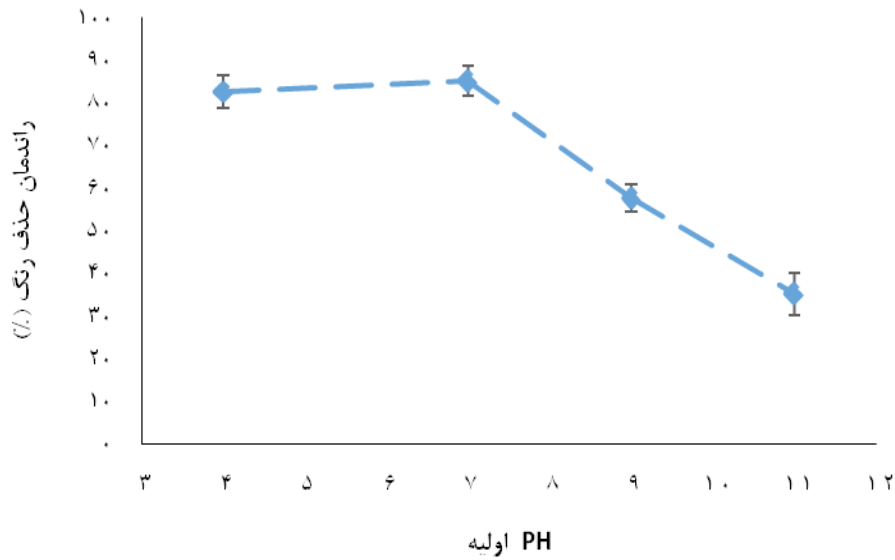
در این معادله q_t (میلی گرم بر گرم) = ظرفیت جذب در هر زمان؛ k_1 = ثابت سرعت واکنش درجه اول (گرم بر میلی گرم در دقیقه)؛ q_e = ظرفیت جذب در حالت تعادل است که از رسم تغییرات $\ln(q_e - q_t)$ در مقابل t حاصل می شود.

معادله خطی شبه درجه دوم به صورت رابطه ۴ بیان می شود:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad \text{رابطه ۴}$$



نمودار ۲: مقدار pH_{zpc} کربن فعال گرانوله مورد استفاده

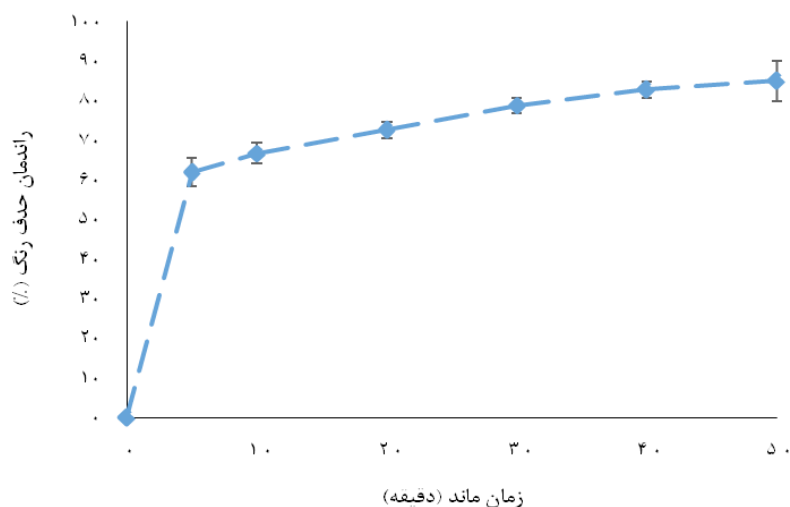


نمودار ۳: تأثیر pH بر راندمان حذف رنگ Sunset Yellow (زمان ماند ۵۰ دقیقه؛ دوز جاذب ۸

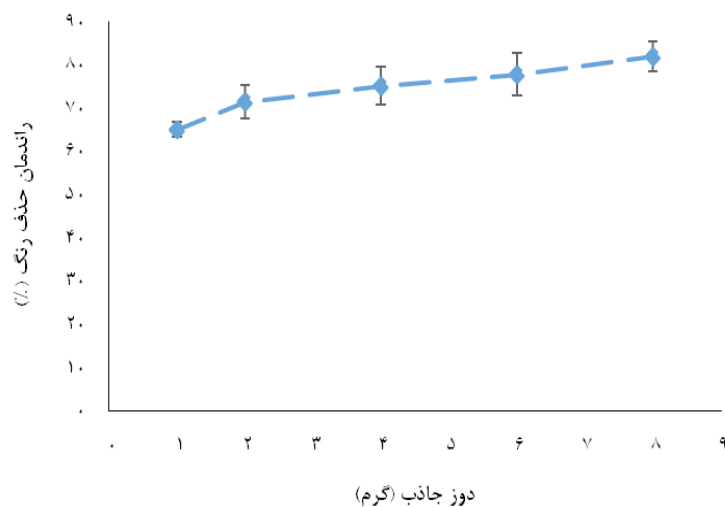
گرم؛ غلظت رنگ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر)

که با افزایش دوز جاذب از ۱ تا ۸ گرم، راندمان حذف از ۶۵ به ۸۲ درصد افزایش پیدا کرده است.

است. همچنین، مناسب‌ترین مقدار وزن جاذب ۸ گرم می‌باشد؛ زیرا تا این مقدار درصد حذف افزایش پیدا کرده است؛ به طوری



نمودار ۴: تأثیر زمان ماند بر راندمان حذف رنگ Sunset Yellow (دوز جاذب ۸ گرم؛ pH=7؛ غلظت رنگ ۲۵ میلی گرم بر لیتر)

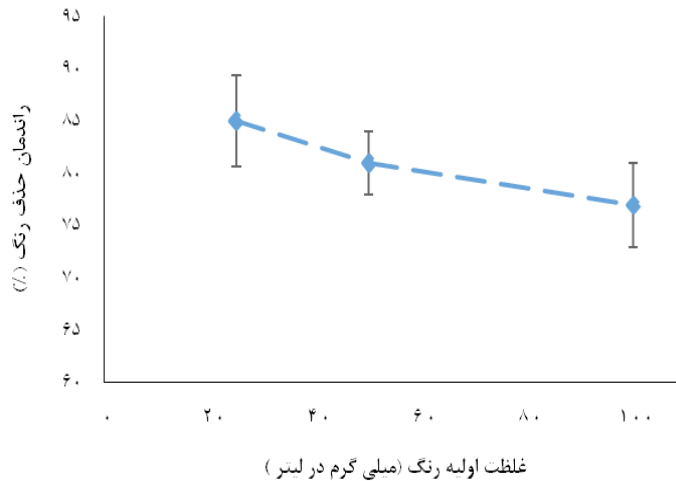


نمودار ۵: تأثیر دوز جاذب بر راندمان حذف رنگ Sunset Yellow (زمان ماند ۵۰ دقیقه؛ pH=7؛ غلظت رنگ ۲۵ میلی گرم بر لیتر)

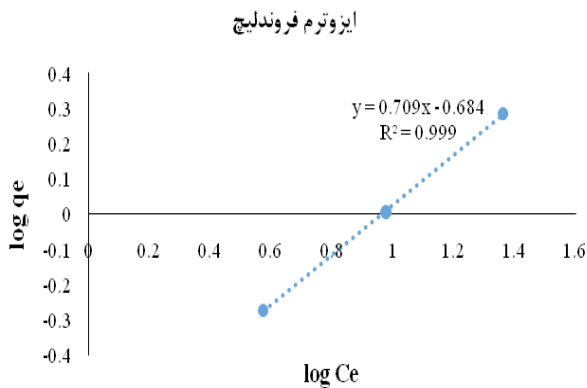
تأثیر غلظت اولیه رنگ

Sunset Yellow کاهش می‌یابد. نمودار ۶ نشان می‌دهد که با کاهش غلظت رنگ اولیه از ۱۰۰ تا ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان حذف از ۷۷ به ۸۵ درصد افزایش پیدا می‌کند.

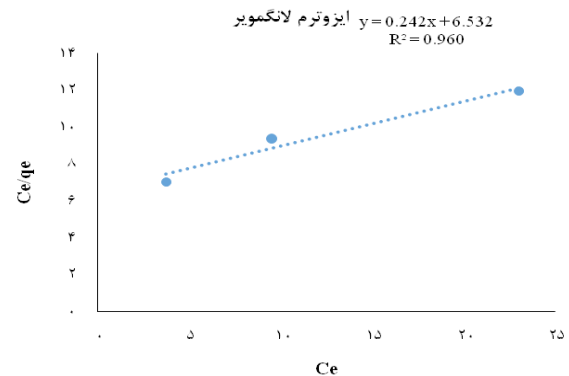
بر مبنای نتایج مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار غلظت رنگ در یک شرایط ثابت، راندمان حذف رنگ



نمودار ۶: تأثیر غلظت اولیه رنگ بر راندمان حذف رنگ Sunset Yellow (زمان ماند ۵۰ دقیقه؛ دوز جاذب ۸ گرم؛ pH=۷)



نمودار ۸: ایزوترم جذب Freundlich واکنش حذف رنگ Sunset Yellow با کربن فعال گرانوله



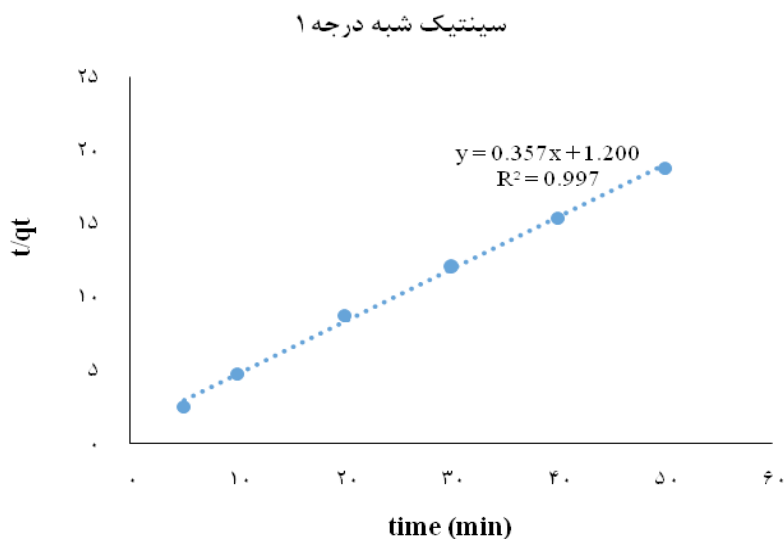
نمودار ۷: ایزوترم جذب Langmuir واکنش حذف رنگ Sunset Yellow با کربن فعال گرانوله

سینتیک واکنش

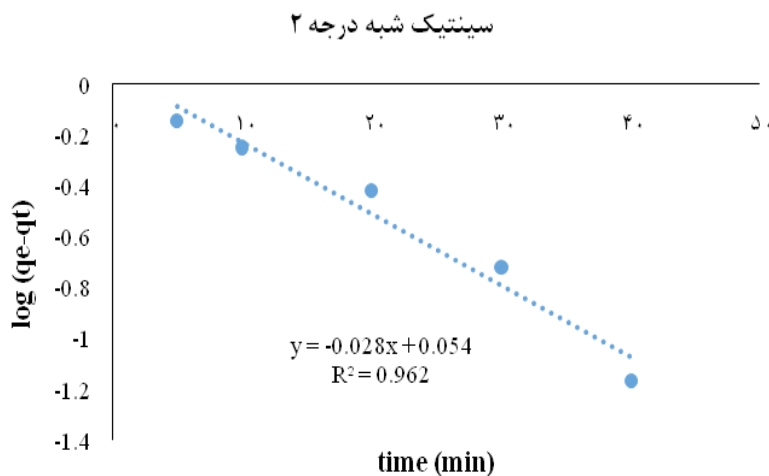
در این مطالعه از معادلات سینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم (نمودارهای ۹ و ۱۰) برای آنالیز داده‌های حاصل از آزمایشات استفاده گردید.

ایزوترم‌های جذب

در این پژوهش از مدل‌های ایزوترم جذب Langmuir (نمودار ۷) و Freundlich (نمودار ۸) برای مدل‌سازی ریاضی فرایند جذب Sunset Yellow استفاده شد.



نمودار ۹: سینتیک شبه درجه یک واکنش حذف رنگ Sunset Yellow با کربن فعال گرانوله



نمودار ۱۰: سینتیک شبه درجه دوی واکنش حذف رنگ Sunset Yellow با کربن فعال گرانوله

بحث و نتیجه گیری

به شدت جذب سطحی می شوند، می توانند بار سطحی جاذب را تغییر دهند و در میزان یونیزاسیون مواد در محلول و تفکیک گروه های عاملی موجود در مکان های فعال جاذب مؤثر باشند. نتایج پژوهش حاضر نشان دادند که با افزایش pH، راندمان جذب

تأثیر pH اولیه: جذب رنگ به میزان زیادی به pH محلول وابسته است. در حقیقت، از آنجایی که یون های H^+ و OH^-

رنگ Sunset Yellow کاهش می‌یابد؛ به طوری که بیشترین میزان حذف رنگ در pH اسیدی تا خنثی صورت گرفته است (نمودار ۳). در این آزمایشات زمان ماند، غلظت رنگ و غلظت جذب ثابت نگه داشته شده است. میزان جذب با افزایش pH از ۴ به ۷، از ۸۲/۸ به ۸۵/۲ درصد افزایش پیدا کرده و به ترتیب در pH ۹ و ۱۱ به ۵۷/۷۷ و ۳۵/۲۷ درصد کاهش یافته است. اثر pH بر جذب رنگ به وسیله کربن فعال گرانوله را می‌توان به وسیله pH_{zpc} توضیح داد. pH_{zpc} را می‌توان به عنوان یک pH که در آن بار خالص ذره یا جاذب برابر با صفر می‌باشد در نظر گرفت که این میزان برای کربن فعال گرانوله مورد استفاده در این پژوهش برابر با ۷/۸ بود؛ به این معنا که در pH پایین‌تر از ۷/۸، بار سطحی جاذب دارای بار مثبت و در بالاتر از آن دارای بار منفی می‌باشد. از سوی دیگر، pH_{zpc} به عنوان یک پارامتر کیفی برای تعادل بار سطحی جاذب به کار می‌رود. بدین ترتیب، بالا بودن راندمان حذف رنگ در pH خنثی و پایین‌تر از ۷ را می‌توان ناشی از حضور یون H₃O⁺ دانست. این امر به آن معنا است که رنگ Sunset Yellow در pH اسیدی با راندمان بالاتری از محلول‌های آبی جداسازی می‌شود؛ بنابراین در این پژوهش pH بهینه برای حذف رنگ معادل ۷ در نظر گرفته شد. به نظر می‌رسد به دلیل خواص آنیونیکی رنگ Sunset Yellow در pH پایین، این ترکیب تمایل بیشتری به جذب دارد و می‌توان با اسیدی نمودن محلول، میزان جذب را افزایش داد. در برخی از موارد نیز یون H⁺ با دادن پروتون با آنیون‌های رنگ پیوند ایجاد می‌کند که این پیوند باعث می‌شود میزان حذف آنیون‌های رنگ بهتر و بیشتر انجام گیرد. کاهش راندمان حذف در pH قلیایی می‌تواند ناشی از دافعه الکترواستاتیکی بین سطح دارای بار منفی کربن فعال و آنیون‌های رنگ برای جذب بر روی جایگاه‌های فعال روی سطح جاذب باشد [۴۶، ۴۷]. در مطالعه‌ای که Gerceel و همکاران در سال ۲۰۰۷ در ارتباط با کربن فعال زائادات کشاورزی در مورد حذف متیلن بلو از محلول‌های آبی انجام دادند، pH بهینه حذف

برابر با ۶ به دست آمد [۴۸].

تأثیر زمان ماند: ظرفیت جذب و بازده جذب رنگینه توسط جاذب با زمان تماس رابطه مستقیمی دارد. با توجه به این مطلب که فرایند جذب همواره در یک بازه زمانی به تعادل می‌رسد؛ بنابراین ضروری است که زمان تماس جاذب و محلول جذب شونده بهینه گردد. برای به دست آوردن زمان بهینه جذب با ثابت در نظر گرفتن سایر پارامترها، آزمایشات در زمان‌های مختلف انجام شدند. نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که با افزایش زمان ماند، میزان حذف رنگ Sunset Yellow افزایش می‌یابد (نمودار ۴). این افزایش جذب می‌تواند ناشی از افزایش تعداد برخوردهای بین آلایند و جاذب باشد که هرچه زمان ماند بیشتر شود، احتمال برخورد بیشتر شده و جذب آلایند به وسیله جاذب مورد نظر افزایش می‌یابد. ذکر این نکته ضرورت دارد که در پژوهش حاضر زمان ماند بهینه برابر با ۵۰ دقیقه انتخاب گردید. همان‌طور که در نمودار ۴ مشاهده می‌شود، در زمان ماند ۵ دقیقه، راندمان حذف به ۶۲ درصد افزایش یافته است و در ادامه با افزایش زمان ماند تا ۵۰ دقیقه، راندمان حذف با یک شیب نسبتاً ملایم به ۸۵ درصد رسیده است. به نظر می‌رسد که با گذشت زمان به دلیل تجمع رنگ‌زا در محل‌های جذب، سرعت جذب کاهش می‌یابد. نتایج مطالعات صید محمدی و همکاران، غنی‌زاده و همکاران و کلانتری و همکاران در سال ۲۰۱۴ با یافته‌های این مطالعه همخوانی دارند [۴۹-۵۱].

تأثیر وزن جاذب: در پژوهش حاضر با افزایش وزن جاذب در شرایط ثابت، راندمان حذف رنگ Sunset Yellow افزایش یافت (نمودار ۵). در این مطالعه مناسب‌ترین وزن جاذب معادل ۸ گرم انتخاب گردید؛ زیرا تا این مقدار، راندمان حذف افزایش پیدا کرده بود؛ بنابراین می‌توان گفت که با افزایش وزن جاذب، سطح تماس جاذب و رنگ Sunset Yellow افزایش پیدا می‌کند؛ در نتیجه راندمان حذف نیز افزایش می‌یابد [۵۲]. همان‌طور که در نمودار ۵ مشاهده می‌شود، در راندمان حذف

مطالعه‌ای تحت عنوان «جذب رنگ راکتیو آزو با استفاده از کربن فعال گرانوله» بیان کردند که ظرفیت جذب با افزایش غلظت اولیه ماده رنگ‌زا به دلیل افزایش نیروی ناشی از گرادیان غلظت، افزایش می‌یابد [۵۴].

ایزوترم‌های جذب: آنالیز اطلاعات حاصل از ایزوترم به‌منظور توسعه معادله‌ای که از طریق آن بتوان طراحی لازم را انجام داد، اهمیت فراوانی دارد. علاوه‌براین، می‌توان از ایزوترم جذب برای توصیف چگونگی واکنش ماده جذب‌شونده و جذب و همچنین بهینه‌سازی مقدار کاربرد جذب استفاده نمود. اطلاعات تعادلی به‌دست آمده از جذب رنگ Sunset Yellow انتخابی روی کربن فعال گرانوله نشان داد که فرایند جذب رنگ با هر دو مدل Freundlich و Langmuir تناسب دارد؛ اما تا حدودی میزان تناسب با مدل Freundlich بیشتر است. علاوه‌براین، مقدار ثابت Langmuir q_{max} و b حاصل از معادله نمودار C_e/q_e در مقابل C_e و مقدار ضریب همبستگی (r^2) آن‌ها نیز به‌دست آمد (نمودارهای ۶ و ۷) که این امر می‌تواند ناشی از توزیع یکنواخت یا تک‌لایه‌ای مکان‌های فعال روی جذب باشد [۵۵]. حامد و همکاران در بررسی جذب رنگ سبز مالاشیت با استفاده از کربن فعال، تبعیت جذب این رنگ با مدل Langmuir را گزارش کردند که این مهم با نتایج مطالعه حاضر همخوانی ندارد [۵۶]. Xia و همکاران نیز در مطالعه جذب رنگ راکتیو با استفاده از کربن فعال، مدل ایزوترم مناسب را Langmuir دانستند [۵۷].

سینتیک واکنش: جهت دستیابی به اطلاعاتی در مورد عوامل مؤثر بر سرعت واکنش، ارزیابی سینتیک‌های جذب ضروری می‌باشد. همان‌طور که در نمودارهای ۸ و ۹ نشان داده شده است، مقدار ضریب همبستگی در مدل سینتیک شبه درجه اول برای کربن فعال گرانوله بسیار بالا می‌باشد؛ بنابراین مدل سینتیک شبه درجه اول نسبت به مدل شبه درجه دوم تناسب بهتری برای جذب رنگ Sunset Yellow روی کربن فعال گرانوله را فراهم می‌کند. این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر کربن فعال گرانوله به‌عنوان

رنگ پس از ۵۰ دقیقه، زمان ماند در وزن جذب ۱ گرم معادل ۶۵ درصد و در وزن جذب ۸ گرم برابر با ۸۲ درصد به‌دست آمد که علت این افزایش راندمان، افزایش وزن جذب و در نتیجه بیشتر شدن برخوردهای بین جذب و آلاینده می‌باشد که نتیجه آن چسبیدن آلاینده بیشتر به جذب است؛ اما باید خاطر نشان ساخت که این افزایش جذب تا اندازه‌ای می‌تواند مفید باشد و بیشتر از آن ممکن است هزینه‌بر بوده و یا کدورت محلول باقی‌مانده را بیش از پیش افزایش دهد [۵۲].

تأثیر غلظت اولیه رنگ: در پژوهش حاضر با افزایش مقدار غلظت رنگ در یک شرایط ثابت، راندمان حذف رنگ Sunset Yellow کاهش یافت (نمودار ۶). علت این افزایش راندمان آن است که هرچه غلظت ماده آلاینده اولیه کمتری در برخورد با یک مقدار مشخص جذب قرار گیرد، احتمال جذب بیشتری بر روی جذب وجود دارد. شایان توجه است که بیش از ۷۷ درصد از حذف رنگ Sunset Yellow در غلظت‌های ۲۵ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید. با افزایش غلظت اولیه از ۲۵ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف از ۸۵ به ۷۷ درصد کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که در غلظت‌های کم، مقدار رنگ نسبت به خلل و فرج موجود در سطح جذب پایین باشد؛ اما با افزایش غلظت رنگ در محلول، فضاهای موجود بر سطح جذب در مقایسه با رنگ کمتر شده و در نتیجه راندمان جذب روند افزایشی ندارد. این حقیقت را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که هرچه مقدار رنگینه افزایش پیدا کند، اشباع‌شدگی جذب افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر در غلظت‌های بالا، مفرهای جذبی در اثر اشباع‌شدن جایگاه‌های جذب کاهش پیدا می‌کنند و مقدار بیشتری از رنگینه به‌صورت جذب نشده در محلول باقی می‌ماند. در مطالعه‌ای که کاکاوندی و همکاران انجام دادند به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت اولیه آلاینده تأثیر منفی بر جذب دارد؛ به این معنا که با افزایش غلظت اولیه آلاینده، راندمان حذف کاهش می‌یابد [۵۳]. احمد و همکاران نیز در

مناسب برای حذف رنگ‌ها از محلول‌های آبی باشد. با استفاده از این فناوری به منظور حذف رنگ از پساب‌های صنایع مختلف به ویژه صنایع غذایی و نساجی، مشکل رنگ دفعی به محیط زیست مرتفع خواهد شد.

قدردانی

بدین وسیله از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه علوم پزشکی ایران در راستای انجام این طرح تحقیقاتی با کد طرح و اخلاق ۳۰۳۳۰-۱۹۳-۰۴-۹۵ تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

یک جاذب مؤثر در حذف رنگ Sunset Yellow از محلول‌های آبی انجام شد. در این مطالعه کارایی فرایند جذب Sunset Yellow با میزان دوز جاذب و زمان تماس رابطه مستقیمی داشت؛ اما رابطه آن با غلظت رنگ معکوس بود. شایان ذکر است که بالاترین حذف رنگ Sunset Yellow در pH خنثی مشاهده گردید. با بررسی نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان از کربن فعال گرانوله به عنوان یک فرایند با راندمان مناسب نام برد که جذب رنگ به وسیله آن به خوبی از ایزوترم‌های جذب Freundlich و سینتیک شبه درجه اول تبعیت می‌کند. از سوی دیگر، ارزان بودن و در دسترس بودن کربن فعال گرانوله و عدم تولید لجن شیمیایی موجب می‌گردد تا استفاده از این جاذب روشی سودمند و

References

1. Su CC, Pukdee-Asa M, Ratanatamskul C, Lu MC. Effect of operating parameters on decolorization and COD removal of three reactive dyes by Fenton's reagent using fluidized-bed reactor. *Desalination* 2011;278(1-3):211-8.
2. Gupta V. Application of low-cost adsorbents for dye removal--A review. *J Environ Manage* 2009;90(8):2313-42.
3. Garg VK, Kumar R, Gupta R. Removal of malachite green dye from aqueous solution by adsorption using agro-industry waste: a case study of Prosopis cineraria. *Dyes Pigments* 2004;62(1):1-10.
4. Mohan SV, Rao NC, Srinivas S, Prasad KK, Karthikeyan J. Treatment of simulated Reactive Yellow 22 (Azo) dye effluents using Spirogyra species. *Waste Manag* 2002;22(6):575-82.
5. Mosallanejad N, Arami A. Kinetics and isotherm of sunset yellow dye adsorption on cadmium sulfide nanoparticle loaded on activated carbon. *J Chem Health Risks* 2012;2(1):31-40.
6. Tripathi M, Khanna SK, Das M. Surveillance on use of synthetic colours in eatables vis a vis prevention of food adulteration act of India. *Food Control* 2007;18(3):211-9.
7. Yadav A, Kumar A, Tripathi A, Das M. Sunset yellow FCF, a permitted food dye, alters functional responses of splenocytes at non-cytotoxic dose. *ToxicolLett* 2013;217(3):197-204.
8. Sabnis RW. Handbook of biological dyes and stains: synthesis and industrial applications. New Jersey: John Wiley & Sons; 2010.
9. Xu H, Li M, Wang H, Miao J, Zou L. Fenton reagent oxidation and decolorizing reaction kinetics of reactive red SBE. *Energy Proc* 2012;16:58.64-
10. Yari A, Nazari S, Majidi G, Alizadeh MS, Asgari E, Rastegar A, et al. Nanoparticles Zero Valent Iron (NZVI) Synthesis and application of H₂O₂/Fe₀ and H₂O₂ in the treatment of dye solution containing acid red 18 from aqueous environments. *JSabzevar Univ Med Sci* 2016;22(6):982-91.
11. El-Sayed GO. Removal of methylene blue and crystal violet from aqueous solutions by palm kernel fiber. *Desalination* 2011;272(1):225-32.
12. Karimi L, Zohoori S, Yazdanshenas ME. Photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solutions under UV irradiation using nano-strontium titanate as the nanophotocatalyst. *J Saudi Chem Soc* 2014;18(5):581-8.
13. Wu J, Wang T. Ozonation of aqueous azo dye in a semi-batch reactor. *Water Res* 2001;35(4):1093-9.
14. Han G, Liang CZ, Chung TS, Weber M, Staudt C, Maletzko C. Combination of forward osmosis (FO)

- process with coagulation/flocculation (CF) for potential treatment of textile wastewater. *Water Res* 2016;91:361-70.
15. De Moura DC, Quiroz MA, Da Silva DR, Salazar R, Martínez-Huitle CA. Electrochemical degradation of Acid Blue 113 dye using TiO₂-nanotubes decorated with PbO₂ as anode. *Environ Nanotechnol Monit Manag* 2016;5:13-20.
 16. Rafatullah M, Sulaiman O, Hashim R, Ahmad A. Adsorption of copper (II), chromium (III), nickel (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by meranti sawdust. *JHazard Mater* 2009;170(2):969-77.
 17. Roosta M, Ghaedi M, Daneshfar A, Darafarin S, Sahraei R, Purkait M. Simultaneous ultrasound-assisted removal of sunset yellow and erythrosine by ZnS: Ni nanoparticles loaded on activated carbon: optimization by central composite design. *UltrasonSonochem* 2014;21(4):1441-50.
 18. Hassan MS, El-Nemr KF. Dye sorption characters of gamma irradiated foamed ethylene propylene diene monomer (EPDM) rubber/clay composites. *J Indust Engin Chem* 2013;19(4):1371-6.
 19. Öztürk A, Malkoc E. Adsorptive potential of cationic Basic Yellow 2 (BY2) dye onto natural untreated clay (NUC) from aqueous phase: mass transfer analysis, kinetic and equilibrium profile. *Appl Surf Sci* 2014;299:105-15.
 20. Mall ID, Srivastava VC, Agarwal NK. Removal of orange-G and methyl violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash--kinetic study and equilibrium isotherm analyses. *Dyes Pigments* 2006;69(3):210-23.
 21. Fernandes AN, Almeida CA, Menezes CT, Debacher NA, Sierra MM. Removal of methylene blue from aqueous solution by peat. *JHazard Mater* 2007;144(1-2):412-9.
 22. Tavlieva MP, Genieva SD, Georgieva VG, Vlaev LT. Kinetic study of brilliant green adsorption from aqueous solution onto white rice husk ash. *JColloid Interface Sci* 2013;409:112-22.
 23. Demirbas E, Kobya M, Senturk E, Ozkan T. Adsorption kinetics for the removal of chromium (VI) from aqueous solutions on the activated carbons prepared from agricultural wastes. *Water Sa* 2004;30(4):533-9.
 24. Arami M, Limaee NY, Mahmoodi NM, Tabrizi NS. Removal of dyes from colored textile wastewater by orange peel adsorbent: equilibrium and kinetic studies. *JColloid Interface Sci* 2005;288(2):371-6.
 25. Ouazène N, Azeddine L, Taibi K. Removal of Astrazon Yellow 7GL from aqueous solutions by adsorption onto waste wood powder: Kinetic and equilibrium studies. *Appl MechanMater* 2013; 295:1515-25.
 26. Birdie GS, Birdie JS. Water supply and sanitary engineering (including Environmental Engineering and Pollution control Acts). New Delhi:Dhanpat Rai Publications; 2013.
 27. da Silva FV, Yamaguchi NU, Lovato GA, da Silva FA, Reis MH, de Amorim MT, et al. Effects of coconut granular activated carbon pretreatment on membrane filtration in a gravitational driven process to improve drinking water quality. *EnvironTechnol* 2012;33(4-6):711-6.
 28. Zazooli MA, Yazdani J, Balarak D, Ebrahimi M, Mahdavi Y. Investigating the Removal rate of acid blue 113 from aqueous solution by canola. *J Mazand Univ Med Sci* 2013;22(2):71-8. (Persian)
 29. Tilaki RD, Shariat M. A study on the removal of cadmium from water environment by biological activated carbon. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2004;14(45):22-31.(Persian)
 30. Dyanati-Tilaki RA, Yousefi Z, Cherati JY, Balarak D. The ability of Azolla and Lemna minor biomass for adsorption of phenol from aqueous solutions. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2013;23(106):21-8. (Persian)
 31. Dyanati R, Yousefi Z, Yazdani Cherati J, Balarak D. Investigating phenol adsorption from aqueous solution by dried Azolla. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2013;22(2):13-20.(Persian)
 32. Dianati Tilaki RA, Yousefi Z, Yazdani Cherati J, Ghasemi M. Efficiency evaluation of natural (crude) and citric acid modified rice straw for removal of Pb from aqueous solutions. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2015;24(120):220-31.(Persian)
 33. Dianati Tilaki R, Hosseini Motlagh SS. Removal of chromium (VI) from aqueous solution by activated carbon modified with cationic surfactant benzalkonium chloride. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2017;27(148):122-35.(Persian)
 34. Ahmadi S, Rahdar S. Removal of phenol and aniline from aqueous solutions by using adsorption on Pistacia terebinthus: study of adsorption isotherm and kinetics. *JHealth Res Community* 2017;2(4):35-45.
 35. Zazouli MA, Belarak D, Mahdavi Y. Application of modified red mud for adsorption of acid orange 7 (AO7) dye from aqueous solution: isotherms, kinetics studies. *JHealth Res Community* 2015;1(2):1-11.
 36. Miri M, Ghaneyan MT, Shahriari A, Fallahzaeh RA.

- Effectiveness of rosewater waste in de-colorization of reactive blue 19 from synthetic textile wastewater. *JHealth Res Community* 2016;1(4):28-36.
37. Mittal J, Thakur V, Mittal A. Batch removal of hazardous azo dye Bismark Brown R using waste material hen feather. *EcologEng* 2013;60:249-53.
 38. Sekar M, Sakthi V, Rengaraj S. Kinetics and equilibrium adsorption study of lead (II) onto activated carbon prepared from coconut shell. *JColloid Interface Sci* 2004;279(2):307-13.
 39. Seey TL, Kassim M. Acidic and basic dyes removal by adsorption on chemically treated mangrove barks. *Int J Appl* 2012;2(3):270-6.
 40. Malek AH, Yasin Y. Use of layered double hydroxides to remove sunset yellow FCF dye from aqueous solution. *Chem Sci Transact* 2012;1(1):194-200.
 41. Gao H, Kan T, Zhao S, Qian Y, Cheng X, Wu W, et al. Removal of anionic azo dyes from aqueous solution by functional ionic liquid cross-linked polymer. *JHazard Mater* 2013;261:83-90.
 42. Fuqiang A, Feng X, Gao B. Adsorption of aniline from aqueous solution using novel adsorbent PAM/SiO₂. *Chem Eng J* 2009;151(1-3):183-7.
 43. Li Y, Wang S, Zhang X, Wei J, Xu C, Luan Z, et al. Removal of fluoride from water by carbon nanotube supported alumina. *EnvironTechnol* 2003;24(3):391-8.
 44. Wang SG, Ma Y, Shi YJ, Gong WX. Defluoridation performance and mechanism of nano-scale aluminum oxide hydroxide in aqueous solution. *JChem Technol Biotechnol* 2009;84(7):1043-50.
 45. Jorfi S, Rezaei Kalantary R, Mohseni Bandpi A, Jaafarzadeh Haghighifard N, Esrafilia, Alaei L. Fluoride removal from water by adsorption using bagasse, modified bagasse and chitosan. *Iran J Health Environ* 2011;4(1):35-48.
 46. Çalışkan E, Göktürk S. Adsorption characteristics of sulfamethoxazole and metronidazole on activated carbon. *Separat Sci Technol* 2010;45(2):244-55.
 47. Rivera-Utrilla J, Prados-Joya G, Sánchez-Polo M, Ferro-García M, Bautista-Toledo I. Removal of nitroimidazole antibiotics from aqueous solution by adsorption/bioadsorption on activated carbon. *JHazard Mater* 2009;170(1):298-305.
 48. Gerçel Ö, Özcan A, Özcan AS, Gerçel HF. Preparation of activated carbon from a renewable bio-plant of *Euphorbia rigida* by H₂SO₄ activation and its adsorption behavior in aqueous solutions. *Appl Surf Sci* 2007;253(11):4843-52.
 49. Mohammadi A, Asgari G, Dargahi A, Mobarakian SA. Equilibrium and synthetic equations for index removal of methylene blue using activated carbon from oak fruit bark. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2015;24(121):172-87. (Persian)
 50. Ghanizadeh GH, Asgari GH. Removal of Methylene Blue Dye from Synthetic Wastewater with Bone Char. *Iran J Health Environ* 2009;2(2):104-13.
 51. RezaeiKalantary R, JonidiJafari A, Kakavandi B, Nasserli S, Ameri A, Azari A. Adsorption and magnetic separation of lead from synthetic wastewater using carbon/iron oxide nanoparticles composite. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2014; 24(113):172-83. (Persian)
 52. Bansal RC, Goyal M. Activated carbon adsorption. Florida: CRC Press; 2005.
 53. Kakavandi B, Rezaei Kalantary R, Jonidi Jafari A, Esrafilia, Gholizadeh A, Azari A. Efficiency of powder activated carbon magnetized by Fe₃O₄ nanoparticles for amoxicillin removal from aqueous solutions: equilibrium and kinetic studies of adsorption process. *Iran J Health Environ* 2014;7(1):21-34.
 54. Ahmad A, Hameed B. Fixed-bed adsorption of reactive azo dye onto granular activated carbon prepared from waste. *JHazard Mater* 2010;175(1-3):298-303.
 55. Kermani M, Gholami M, Gholizadeh A, Farzadkia M, Esrafilia. Effectiveness of Rice husk ash in removal of phenolic compounds from aqueous solutions, equilibrium and kinetics studies. *Iran J Health Environ* 2012;5(1):107-20.
 56. Hameed B, El-Khaiary M. Equilibrium, kinetics and mechanism of malachite green adsorption on activated carbon prepared from bamboo by K(2)CO(3) activation and subsequent gasification with CO(2). *J Hazard Mater* 2008; 157(2-3):344-51.
 57. Xiao H, Peng H, Deng S, Yang X, Zhang Y, Li Y. Preparation of activated carbon from edible fungi residue by microwave assisted K₂CO₃ activation-application in reactive black 5 adsorption from aqueous solution. *BioresourTechnol* 2012; 111:127-33.