

بررسی مدل‌های هم‌دما بر روی جذب مواد رنگزا بوسیله جاذب معدنی پومیس

اشکان دشتی زاده

دانشجوی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
آدرس ایمیل: ashkan.dashtizadeh@gmail.com

چکیده

اهمیت فرایند جذب و رشد تقاضا برای بکارگیری روش‌های تصفیه مؤثر و کم‌هزینه تمایل به استفاده از جاذب‌های معدنی ارزان‌قیمت را افزایش داده است. یکی از چالش‌های زیست محیطی که بشر و محیط زندگی آن را تهدید می‌کند آلودگی‌های حاصل از فلزات سنگین می‌باشد.

در این مطالعه به بررسی هم‌دماهای خطی و غیر خطی لانگمویر، فرن‌دلیچ و تمکین بر روی جذب سطحی مواد رنگی متفاوت بر روی سطح پومیس پرداخته شد. نتایج نشان داد در هر دو حالت خطی و غیرخطی معادله حاکم بر روی جذب تعادلی رنگزها معادله لانگمویر بوده است.

نتایج نشان داد به علت خطای حاصل در خطی کردن معادلات ایزوترم، مقدار ضریب همبستگی معادلات خطی در مقابل معادلات غیر خطی عددی کمتر بود.

کلیدواژه: رنگزدایی، جذب سطحی، پومیس، معادلات هم‌دما.

مقدمه

در چند سال اخیر به دنبال پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از مواد رنگی، تولیدکنندگان صنایع رنگ و سایر نهادهای مرتبط، به سمت رنگ‌دایی از پساب‌های رنگی هدایت شدند. برای جلوگیری از ورود این دسته از آلاینده‌ها به منابع آبی از فناوری‌های مختلفی استفاده می‌شود. در میان این روش‌ها، فرایند جذب سطحی از جایگاه برجسته‌ای برخوردار است. به دلیل افزایش تقاضا برای روش‌های تصفیه مؤثر و کم‌هزینه، استفاده از جاذب‌های جایگزین ارزان قیمت امروزه صورت پذیرفته است. در این میان، استفاده از جاذب‌های طبیعی و همچنین ضایعات صنعتی و جاذب‌های زیستی پیشرفت‌های زیادی داشته است. به‌طور کلی به ورود یک جز ناخواسته به درون یک سیستم که باعث تغییر خواص آن و یا اختلال در عملکرد آن شود، آلودگی گفته می‌شود. آلاینده‌ها را می‌توان به روش‌های گوناگونی تقسیم‌بندی کرد. به‌طور مثال، آلاینده‌ها بر اساس ماهیت و منشأ آن‌ها به سه دسته کلی آلی، معدنی و زیستی طبقه‌بندی می‌شوند. آلاینده‌های آلی از جمله آلاینده‌های منابع آبی هستند که تهدید بزرگی برای هستی انسان‌ها و زندگی آبزیان محسوب می‌شود. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مواردی همچون ضایعات مواد غذایی، هیدروکربن‌های نفتی، ترکیبات آلی فرار مانند حلال‌های صنعتی، حشره‌کش‌ها و مواد رنگزا اشاره کرد.

مبانی نظری

استفاده از رنگ‌ها به هزاران سال قبل باز می‌گردد. با این حال اولین استفاده شناخته‌شده از رنگ‌ها به ۴۰۰۰ سال قبل و در اثر پیدا شدن کاغذ نیلی متمایل به آبی در مقبره مصر مربوط می‌شود. تا اواخر قرن نوزدهم، تمام رنگ‌ها و مواد رنگی بیشتر دارای منشأ طبیعی مانند گیاهان، نرم‌تنان و حشرات بودند. سپس در سال ۱۸۵۶ پرکین اولین رنگ مصنوعی را کشف و مورد استفاده قرار داد. به‌طور کلی در حال حاضر بیش از 10^5 گونه رنگ تجاری با تولیدی در حدود 10^6-10^5 تن در سال وجود دارد. البته در کنار این تولید انبوه اطلاعات دقیقی از میزان رهاسازی این مواد در محیط در دسترس نیست. با این حال، گزارش‌ها حاکی از این است که در حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد از این مواد از طریق مواد زائد وارد محیط‌زیست می‌شوند. عمده مصرف‌کنندگان مواد رنگی شامل صنایع نساجی، رنگرزی، صنایع تولیدی کاغذ و رنگ هستند. از این‌رو پساب خروجی این صنایع حاوی مقادیر زیادی از آلاینده‌های رنگی است. رنگ‌ها یکی از دسته آلاینده‌های آلی سمی و سرطان‌زا هستند که در اثر تماس با دست، استنشاق و بلع باعث حساسیت‌های شدید پوستی و سوزش می‌شوند. در اثر انتقال این مواد به منابع آب به دلیل قابل مشاهده بودن این مواد، زیبایی آب و منابع آبی از بین می‌رود. همچنین در اثر ورود این مواد به منابع آبی و به دنبال آن عدم توانایی عبور نور به داخل محیط‌های آبی، از سوخت‌وساز فرایندهای زیستی جلوگیری شده و باعث نابودی جوامع آبی موجود در اکوسیستم می‌شوند. مولکول‌های رنگ از دو جز کلیدی تشکیل شده‌اند؛ کروموفورها^۱ که مسئول تولید رنگ هستند و آگزوکرومها^۲ که علاوه بر مکمل بودن برای کروموفورها (شرکت در تولید رنگ) سبب افزایش انحلال‌پذیری این مواد در آب و باعث افزایش توانایی برای جذب بر روی الیاف می‌شوند. رنگ‌ها دارای تنوع ساختاری بسیاری هستند و روش‌های گوناگونی برای طبقه‌بندی این مواد وجود دارد. می‌توان رنگ‌ها را بر اساس ساختار، روش‌های کاربرد و یا نوع رنگ طبقه‌بندی کرد. با این حال با توجه به پیچیدگی‌های نام‌گذاری رنگ‌ها به‌وسیله ساختار شیمیایی، طبقه‌بندی این آلاینده‌ها بر اساس روش کاربرد اغلب مطلوب‌تر است. غیر از دسته‌بندی بر اساس ساختار شیمیایی و نوع کاربرد، رنگ‌ها عمدتاً بر اساس نوع بار خود در درون محلول‌ها به سه دسته رنگ‌های کاتیونی، آنیونی و غیر یونی تقسیم می‌شوند. رنگ‌های کاتیونی از گونه رنگ‌های اصلی (پایه)^۳ هستند، در حالی که رنگ‌های آنیونی شامل دسته رنگ‌های مستقیم^۴، اسیدی^۵ و واکنشی^۶ می‌شوند.

¹ Organic

² Inorganic

³ Biological

⁴ Perkin

⁵ Chromophores

⁶ Auxochromes

⁷ Basic

⁸ Direct

⁹ Acid

روش‌های رنگ‌دایی

در طول چند دهه گذشته با توجه به اثرات زیست‌محیطی رنگ‌ها، توجه عمده‌ای به انتخاب، کاربرد و استفاده از این مواد نشده بود، به طوری که ترکیب نیمی از این رنگ‌های مصرفی در صنایع ناشناخته بود. با افزایش نگرانی در سلامت مردم، توجه به اثرات ضایعات رنگی بیش‌ازپیش مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر اطلاعات بیشتری از پیامدهای استفاده از این مواد و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها شناخته شده است و تولیدکنندگان و کاربران اقدامات قابل توجهی به منظور عدم گسترش این مواد به محیط و همچنین تصفیه این مواد انجام داده‌اند. در ابتدا روش‌های تصفیه پساب‌ها بسیار اندک بود و تنها به رسوب‌دهی^۱ و جداسازی جامدات معلق در پساب‌ها محدود می‌شد. سپس روش‌های فیلتراسیون^۲ و تجزیه زیستی^۳ و به دنبال آن اخیراً روش فرایند لجن فعال^۴ (تجزیه زیستی هوازی) برای تصفیه پساب‌ها استفاده شد.

جذب سطحی

فرایند جذب سابقه‌ای طولانی مدت دارد. اولین استفاده شناخته شده از این فرایند به ۳۷۵۰ سال قبل از میلاد مسیح برمی‌گردد. در آن زمان مصریان و سومریان از زغال چوب^۵ برای احیای مس، روی و سنگ معدن در فرایند تولید برنز استفاده می‌کردند. بعد از آن در حدود ۱۵۵۰ سال قبل از میلاد مسیح، استفاده از زغال چوب به سمت مقاصد داروئی سوق پیدا کرد. کاربردهای سال‌های گذشته صرفاً کارهایی شهودی محسوب شده و بر پایه یک مطالعه نظامند استوار نبوده است. توانایی جذب بالای بخار توسط جامدات متخلخل در قرن هجدهم با آزمایش‌های اسکلز^۶ و فونتانا^۷ به رسمیت شناخته شد. با این حال، برنامه‌های کاربردی مدرن توسط لوئیز^۸ در سال ۱۷۷۸ میلادی انجام شد. لوئیز توانست از زغال چوب برای رنگ‌دایی محلول اسید تارتاریک^۹ استفاده کند.

سازوکار فرایند جذب سطحی

فرایند جذب سطحی را می‌توان این گونه توصیف کرد که هر مولکول محل خود را ترک کرده و توسط پیوندهای فیزیکی یا شیمیایی در سطح ماده جامد نگهداری می‌شود. در هنگام تعادل در عمل جذب، مابین دو نیروی جاذبه که در فواصل بزرگ‌تر تأثیرگذار است و دافعه که در فواصل کوتاه مؤثر است، توازن برقرار می‌شود. از جنبه سینتیکی، در فرایند جذب چهار مرحله‌ی پی‌درپی وجود دارد که این چهار مرحله عبارت‌اند از:

- حرکت از درون توده فاز مایع به اطراف ذره جاذب
- انتقال ماده جذب‌شونده از فاز مایع به سطح فاز جامد
- انتشار در داخل و طول مجرای بزرگ‌تر
- انتشار در داخل مجرای ریز و جذب بر روی نقاط مناسب

در میان چهار مرحله فوق، در صورت استفاده از همزن مرحله اول و مرحله دوم دارای سرعت زیادی هستند و مقاومت آن‌ها عملاً قابل صرف‌نظر کردن است.

جاذب

قلب یک فرایند جذب سطحی معمولاً یک جامد متخلخل است. استفاده از یک جامد متخلخل باعث فراهم شدن سطح و حجم

1	Reactive	0
1	Sedimentation	1
1	Filtration	2
1	Biodegradation	3
1	Activated Sludge	4
1	Charcoal	5
1	Scheels	6
1	Fontana	7
1	Lowits	8
1	Tartaric Acid	9

بسیار بالایی از حفره‌ها می‌شود، که این عامل به افزایش میزان ظرفیت جذب کمک فراوانی می‌کند. اگر جامدی دارای ظرفیت جذب خوب باشد ولی در مقابل روند نفوذ ذرات به داخل جاذب کند باشد، انتخاب این جاذب گزینه مناسبی برای فرایند جداسازی نمی‌باشد، زیرا مدت زمان نفوذ ذرات و رسیدن به تعادل بسیار بالا است. انتخاب جاذب مناسب برای یک فرایند جداسازی یک مشکل پیچیده محسوب می‌شود. مبنای علمی غالب برای انتخاب جاذب، همدمای تعادلی است و میزان نفوذ به‌طور کلی در درجه دوم اهمیت قرار دارد. یک جاذب خوب علاوه بر داشتن مزایای اقتصادی، باید قدرت انتخاب‌پذیری بالا جهت جداسازی، ظرفیت بالا برای حداقل کردن میزان مصرف جاذب موردنیاز، خواص انتقال و سینتیکی مناسب برای جداسازی سریع، پایداری گرمایی و شیمیایی، انحلال‌پذیری بسیار پایین در سیال محتوی، توانایی حفظ مقدار جاذب و خواص آن، استحکام مکانیکی و سختی برای جلوگیری از خوردگی و خردایش، مقاومت بالا در برابر رسوب برای مدت طولانی، عدم تمایل به ایجاد واکنش‌های شیمیایی نامطلوب و قابلیت بازسازی وقتی که در حالت تجاری و صنعتی استفاده می‌شود، را نیز دارا باشد. امروزه استفاده از مواد جاذب سیلیسی طبیعی همچون دانه‌های سیلیکا، پودر شیشه، آلونیت، پرلیت، پومیس و دیاتومیت به‌منظور فرایند رنگزدایی به دلیل فراوانی، در دسترس بودن و قیمت ارزان این مواد، در حال افزایش است. مواد معدنی سیلیسی طبیعی اغلب به‌دلیل حضور گروه‌های سیانول و با توجه به ایجاد سطحی آب‌دوست مورد توجه بسیاری قرار گرفته‌اند. گروه‌های سیانول از جمله گروه‌های عاملی بسیار فعال بوده که می‌توانند با بسیاری از ترکیبات آلی قطبی و گروه‌های عاملی مختلف واکنش نشان دهند. همچنین بافت متخلخل، سطح ویژه بالا و پایداری مکانیکی این مواد، آن‌ها را به‌عنوان یک جاذب طبیعی مطلوب برای استفاده در فرایند رنگزدایی مطرح کرده است.

انواع همدماهای جذب سطحی

همدماهای جذب رابطه‌ی میان ماده‌ی جذب شده و غلظت یون باقی‌مانده در محلول را توصیف می‌کنند. معادلات زیادی برای تجزیه و تحلیل داده‌های تعادل جذب سطحی وجود دارد. پارامترهای معادلات همدمای فرضیات ترمودینامیکی آن‌ها زمینه‌ای برای بینش بهتر از سازوکار جذب و خواص سطح و میل جاذب را بیان می‌کند. همدماهای مختلفی در سال‌های گذشته ارائه شده است که برخی از آن‌ها دارای پایه نظری و برخی بر مبنای اطلاعات تجربی می‌باشند. بسیاری از این معادلات در محدوده‌ی فشارهای نسبی کوچک معتبر هستند و زمانی که داده‌های تجربی در محدوده‌ی بزرگتری بر روی این معادلات آزمایش شود، مطابقت خوبی را نشان نمی‌دهند.

همدمای لانگمویر

در سال ۱۹۱۸ لانگمویر برای اولین بار بر اساس نظریه جنبشی، تئوری همدمای جذب سطحی بر روی یک سطح صاف را بیان کرد. این همدمای توصیف یک سامانه جاذب-جذب‌شونده است که در آن میزان پوشش جذب‌شونده به‌صورت تک‌لایه است. علاوه بر این، این همدمای به آسانی برای توصیف رفتار سامانه‌های دوتایی نیز توسعه یافته است.

لانگمویر این معادله را بر پایه فرضیات محکمی ارائه کرد. مهم‌ترین این فرضیات به شرح زیر است:

- یون‌ها بر روی تعداد مکان‌های ثابتی از جاذب متخلخل جذب می‌شوند.
- هر مکان تنها می‌تواند یک یون را جذب کند.
- تمام مکان‌ها دارای انرژی همسان و برابر هستند.
- هیچ تداخل و تعاملی بین یون‌ها وجود ندارد.

بنابراین مدل لانگمویر بر پایه فرض توزیع انرژی سطح همگن، استوار است و فعل‌وانفعالات جانبی بین جذب‌شونده‌ها قابل چشم‌پوشی است. همچنین می‌توان معادله همدمای لانگمویر را به‌صورت غیرخطی و خطی به صورت زیر بیان کرد:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1-1)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L C_e} \quad (1-2)$$

درحالی که q_e (mg/g) مقدار ماده جذب شده در حال تعادل، C_e غلظت ماده جذب شده در حالت تعادل، q_m حداکثر مقدار ظرفیت جذب و K_L ثابت لانگمویر می باشد. یکی از پارامترهای مهم مدل لانگمویر پارامتر R_L می باشد که به صورت زیر بیان می شود:

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (۱-۳)$$

در حالی که C_0 غلظت اولیه ماده جذب شده می باشد. هرگاه $R_L > 1$ باشد جذب سطحی نامطلوب، $R_L = 1$ جذب خطی، $0 < R_L < 1$ جذب مطلوب و در حالت $R_L = 0$ جذب غیرقابل برگشت می باشد [۶۰].

همدمای فرندلیچ

شواهد فراوانی نشان می دهد که در اثر افزایش میزان جذب، مقدار گرمای حاصله از فرایند جذب سطحی کاهش می یابد. اگر کاهش میزان حرارت جذب شده به صورت لگاریتمی تغییر کند، نشان می دهد که مکان های جذبی با توجه به انرژی جذب بین دو گروه متفاوت از مکان های جذب، به صورت نمایی توزیع شده است. این همدمای به عنوان یک همدمای تجربی است و به نام فرندلیچ شناخته شده است. این مدل برای توصیف جذب شیمیایی و واکنش های رسوبی سطحی مناسب است. همچنین این همدمای برای سامانه های ناهمگن مفید می باشد. این معادله انرژی بیان می کند که برای مرحله اول مکان های پرانرژی اشغال می شوند و همین طور که مکان های بیشتری از مواد جذب شونده اشغال می شوند، قدرت اتصال کاهش می یابد. همدمای فرندلیچ یک معادله نمایی است که به صورت معادله زیر ارائه شده است:

$$q_e = k_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (۱-۴)$$

$$\text{Log} q_e = \text{Log} k_f + \frac{1}{n \text{Log} C_e} \quad (۱-۵)$$

در حالی که پارامترهای $(\text{mg}^{1-1/n}/\text{L}^{1/n}/\text{g})$ و k_f و $\frac{1}{n}$ ثابت های معادله فرندلیچ می باشند. اگر داده های آزمایشگاهی جذب سطحی از مدل فرندلیچ پیروی کند، با رسم نمودار $\text{Log} q_e$ برحسب $\text{Log} C_e$ خط راستی بدست می آید که شیب و عرض از مبدأ نمودار به ترتیب $\frac{1}{n}$ و k_f می باشد. k_f بالا نشان دهنده تمایل زیاد جاذب برای جذب است. همچنین برای جذب مطلوب مقدار n باید در محدوده ۱-۱۰ باشد. هرچه سطح ناهمگن تر باشد، مقدار $\frac{1}{n}$ به صفر نزدیک می شود، یعنی عدد n ، عدد بزرگ تری است. طبق بررسی های تریبال، مقدار n در محدوده ۱۰-۲، جذب سطحی قوی، در محدوده ۲-۱ جذب سطحی نسبتاً مشکل و مقادیر $n < 1$ جذب سطحی ضعیفی را نشان می دهد.

همدمای تمکین

تمکین و پیژو برخی اثرات غیرمستقیم جاذب-جذب شونده را در همدمای جذب در نظر گرفتند. آن ها پیشنهاد کردند به دلیل این فعل و انفعالات، مقدار گرمای جذب در تمام مولکول های سطح، به صورت خطی کاهش یافته و جذب توسط توزیع یکنواخت از انرژی های پیوند مشخص می شود. فرم غیرخطی و خطی همدمای تمکین به صورت زیر ارائه می شود:

$$q_e = \frac{RT}{b_1} \text{Ln}(k_t C_e) \quad (۱-۶)$$

$$q_e = B_1 \text{Ln}(k_t) + B_1 \text{Ln} C_e \quad (۱-۷)$$

درحالی که $B_1 = \frac{RT}{b_1}$ و b_1 گرمای جذب سطحی (kJ/mol)، k_t ثابت تعادل پیوند که مربوط به حداکثر انرژی جذب است،

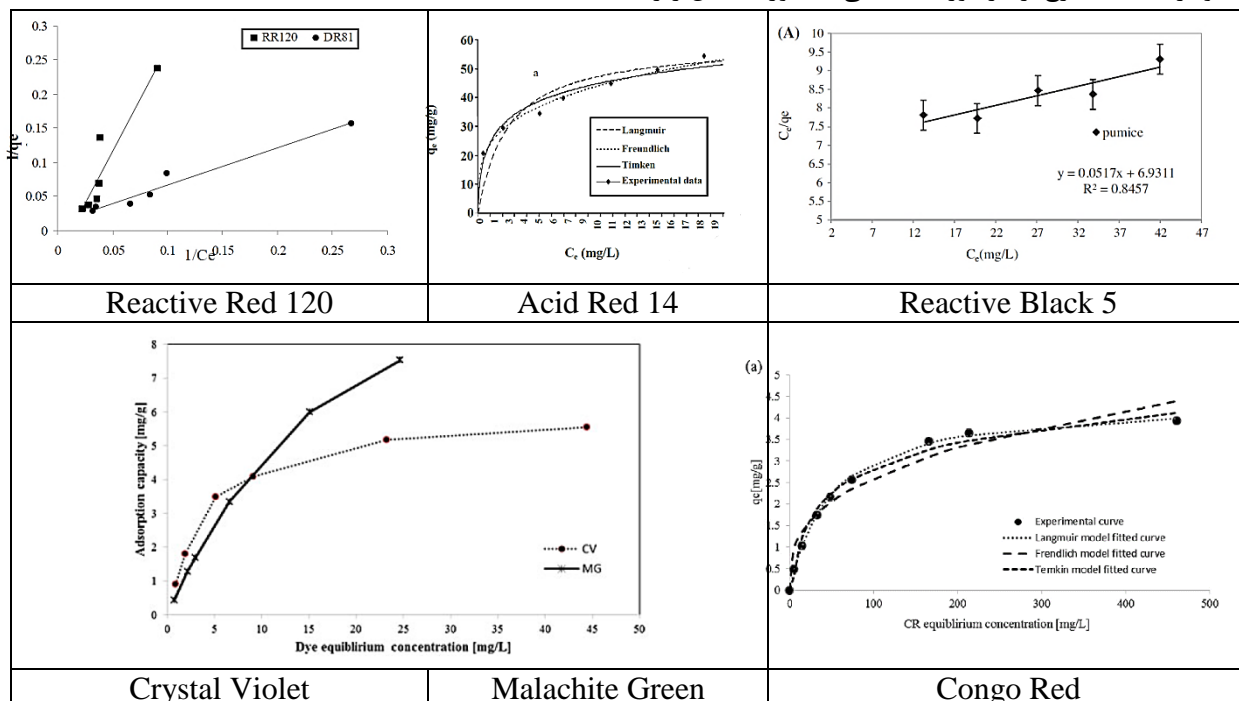
² Treybal 0
² Pyzhev 1

می‌باشد. میزان بالای b_1 نمایانگر این است که در مرحله اولیه، میزان جذب ماده جذب‌شونده سریع است و میزان k_t کم اشاره به پیوند ضعیف میان جذب‌شونده و جاذب دارد.

روش تحقیق

در ابتدا بوسیله نمودارهای تعادلی در هر مقاله (q_e vs. C_e) توسط نرم افزار Get data داده های لازم خارج شده و در نرم افزار Excel ثبت می‌شود.

نمودارهای مستخرج از هر مورد مطالعاتی به صورت شکل زیر است.



شکل ۱- نمودارهای تعادلی جذب انواع رنگ‌ها بر روی پومیس

سپس بوسیله نرم افزار Get data اعداد q_e و C_e بدست آمد.

جدول ۱- داده های تعادلی جذب رنگ‌ها بر روی پومیس

Reactive Red 120		Acid Red 14		Reactive Black 5		Congo Red	
C_e	q_e	C_e	q_e	C_e	q_e	C_e	q_e
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.13	0.49	0.42	20.82	13.23	1.69	0.90	0.43
14.63	1.04	2.08	29.53	19.81	2.56	1.88	1.28
32.49	1.75	5.05	34.47	27.04	3.19	5.12	1.70
48.37	2.16	6.98	39.90	33.98	4.04	9.08	3.34
74.29	2.57	10.87	45.01	42.14	4.50	23.20	5.99
165.43	3.46	14.72	49.80	-	-	44.39	7.53
213.51	3.65	18.50	54.75	-	-	-	-
460.58	3.94	-	-	-	-	-	-

بعد از بدست آوردن داده های هر مورد مطالعاتی به بررسی سه نوع همدم لانگمویر، فرندلیچ و تمکین در دو حالت خطی و غیر خطی پرداخته شد. برای این کار در حالت خطی از نرم افزار Excel و برای حالت غیرخطی از روش Curve Fitting نرم

افزار Origin Pro 8 استفاده شد.

جدول ۲- معادلات همدمای خطی و غیر خطی لانگمویر، فرندلیچ و تمکین

تمکین	فرندلیچ	لانگمویر
$q_e = \frac{RT}{b_1} \ln(k_1 C_e)$	$q_e = k_f C_e^{\frac{1}{n}}$	$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$
$q_e = B_1 \ln(k_1) + B_1 \ln C_e$	$\text{Log} q_e = \text{Log} k_f + \frac{1}{n \text{Log} C_e}$	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L C_e}$

یافته‌های پژوهش

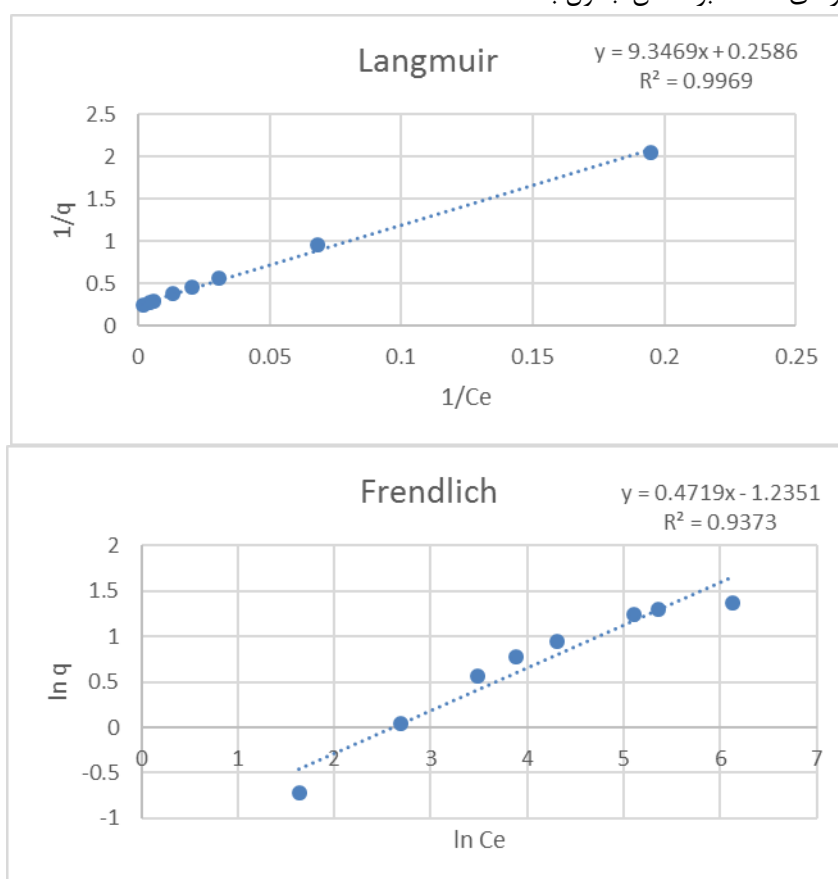
در این حالت نتایج حاصل شده را می‌توان به دو قسمت خطی و غیر خطی جدا کرد. در هر حالت ثابت‌های معادلات همدمای همچنین مقادیر ضریب همبستگی هر حالت جداگانه محاسبه شده و بوسیله کلیه حالت‌های موجود در مورد دقت همدمای مورد نظر می‌توان نتیجه‌گیری صحیحی ارائه کرد.

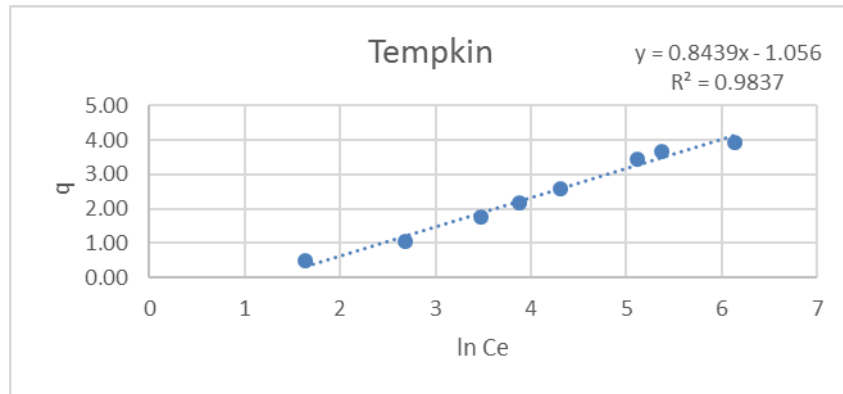
در این حالت اطلاعات خروجی از نرم افزار Get data بوسیله نرم افزار Excel پردازش شده و بر اساس معادلات اشاره شده در جدول (۱)، ثابت هر معادله به همراه ضریب همبستگی حالت خطی شده معادلات بدست آمد.

برای مثال برای رنگ قرمز کنگو مراحل زیر جهت بدست آوردن ثابت مورد نظر اعمال می‌شود:

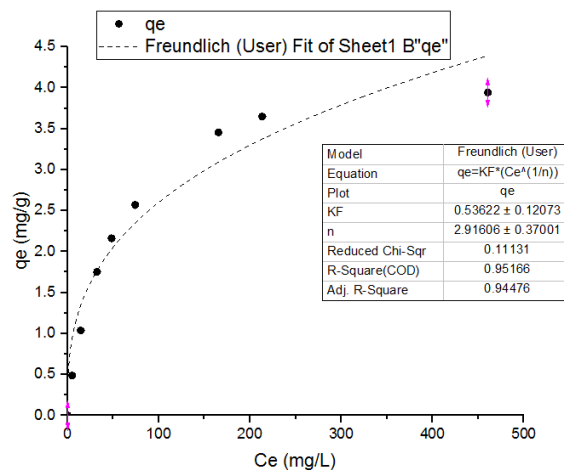
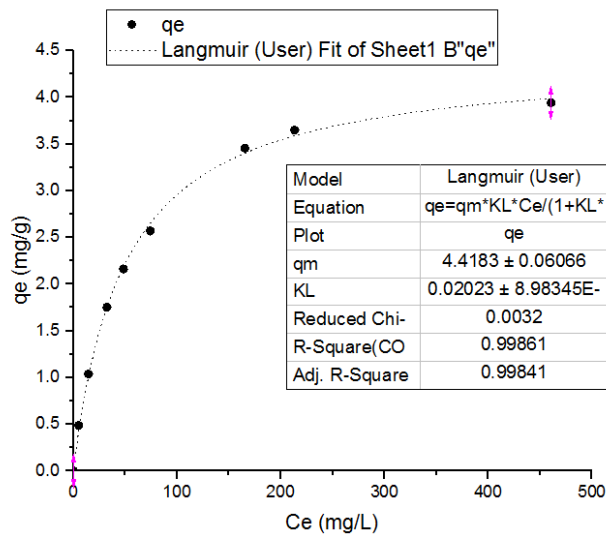
۱- تکمیل اطلاعات مورد نیاز برای رسم نمودارهای خطی ایزوترم‌ها

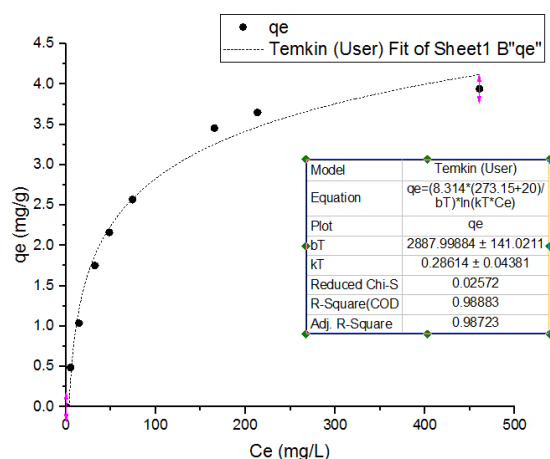
۲- رسم نمودارهای همدمای بر اساس جدول بدست آمده





۳- بوسیله شیب و عرض از مبدا معادلات بدست آمده در هر حالت می توان ثوابت معادلات همدم را محاسبه کرد. در این حالت اطلاعات خروجی از نرم افزار Get data مستقیماً وارد نرم افزار Origin pro 8 می شود. سپس با تعریف معادلات همدم و فیت کردن اعداد بر روی معادلات تعریف شده به نرم افزار مقادیر ثوابت و ضریب همبستگی محاسبه می شود. برای مثال برای رنگ قرمز کنگو داریم:





شکل ۲- نمودارهای غیرخطی همدمای برای جذب رنگ قرمز کنگو

همان طور که مشاهده شد برای هر حالت می توان ثوابت معادلات به همراه ضریب همبستگی را محاسبه کرد. برای هر شش حالت این مراحل انجام شد. همان گونه که مشاهده می شود هم در حالت خطی و هم در حالت غیر خطی معادلات لانگمویر بیان صحیح تری از رفتار سیستم را نشان می دهند. علاوه بر این، با توجه به بررسی های انجام شده می توان دریافت که در هر حالت همدمای غیر خطی ضریب همبستگی بالاتری را نسبت به همدمای خطی نشان می دهد که این نشانگر وجود خطای حاصله در خطی کردن معادلات همدمای است.

نتیجه گیری

هدف از انجام این پژوهش بررسی کارایی جاذب معدنی پومیس در رنگزدایی محلول های حاوی دسته های مختلف رنگ بود. با توجه به سادگی، کارایی بالا و هزینه کم فرایند جذب سطحی، از این روش برای رنگزدایی محلول های حاوی مواد رنگزا استفاده می شود. نتایج بدست آمده را می توان به صورت زیر بیان کرد:

- ۱- همدمای لانگمویر با میانگین ضریب همبستگی ۰/۹۷۰۵ در حالت خطی و ۰/۹۸۰۱ در حالت غیر خطی نسبت به همدمای فرندلیچ و تمکین رفتار سیستم های جذب رنگ بر روی جاذب معدنی پومیس را بهتر بیان می کند.
- ۲- می توان نتیجه گرفت که جذب رنگ ها توسط پومیس به صورت تک لایه و جذب رنگ در سطح همگن بدون تداخلات جذب شونده و جاذب صورت می گیرد.
- ۳- می توان گفت ضریب همبستگی در حالت غیر خطی به رفتار سیستم تعادلی جذب بیشتر نزدیک است و در مقایسه با حالت خطی مقادیر نزدیک تری به عدد یک را نشان می دهد.

منابع

- [1] H. Shayesteh, F. Raji, A.R. Kelishami, Influence of the alkyl chain length of surfactant on adsorption process: A case study, *Surfaces and Interfaces*. 22 (2021) 100806.
- [2] Removal of Reactive Red 120 and Direct Red 81 dyes from aqueous solutions by Pumice, Mahvi Amir Hossein and Heibati Behzad, *Res.J.Chem.Envirion*. Vol.16 (1) March (2019)
- [3] Removal of Acid Red 14 by Pumice Stone as a Low Cost Adsorbent: Kinetic and Equilibrium Study, Samarghandi, Mohammad Reza, Zarrabi, Mansur; Noori Sepehr, Mohammad, Iran. *J. Chem. Chem. Eng.*, Vol. 31, No. 3, 2012
- [4] Uptake of Reactive Black 5 by pumice and walnut activated carbon: Chemistry and adsorption mechanisms, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Volume 20, Issue 5, 25 September 2014, Pages 2939–2947

- [5] Evaluation of natural and cationic surfactant modified pumice for congo red removal in batch mode: Kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies, Hadi Shayesteh , Ahmad Rahbar-Kelishami, Reza Norouzbeigi, *Journal of Molecular Liquids* 221 (2016) 1–11
- [6] Adsorption of malachite green and crystal violet cationic dyes from aqueous solution using pumice stone as a low-cost adsorbent: kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies, Hadi Shayesteh , Ahmad Rahbar-Kelishami, Reza Norouzbeigi, *Desalination and Water Treatment*, 57 (2016) 12822–12831
- [7] Gupta VK, Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management* 2019;90:2313–42.
- [8] Ali I, Asim M, Khan T a. Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. *Journal of Environmental Management* 2020;113:170–83.
- [9] Gupta VK, Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management* 2019;90:2313–42.