

امکان سنجی حذف فلز مس از فاضلاب ها با استفاده از کمپوست به عنوان جاذب طبیعی

داود کاه فروشان^{۱*}

kahforoushan@sut.ac.ir

شیرین نورایی نیا^۲

الناز صفری^۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۲۱

چکیده

هدف: فرآیند جذب سطحی یکی از روش های مهم جداسازی است که در آن ذرات فاز مایع یا گاز به کمک یک فاز جامد که جاذب نامیده می شود، جدا می شود. انتخاب نوع جاذب از لحاظ فنی، اقتصادی و زیست محیطی در این فرآیند، اهمیت بسیاری دارد.

روش بررسی: در این تحقیق از کمپوست به شکل های پودری و گرانولی به عنوان یک جاذب طبیعی و بسیار ارزان جهت حذف فلز سنگین مس از محلول آبی سنتزی استفاده شد و عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدا تاثیر پارامترهایی همچون غلظت اولیه فلز مس، میزان جاذب، زمان فرآیند در دبی ثابت بر فرآیند جذب سطحی در سیستم ناپیوسته بررسی شد.

یافته ها: بر طبق نتایج برای مقدار ثابت جاذب در غلظت ppm ۱۰۰ فلز مس، درصد حذف بالای ۹۰٪ برای این فلز مشاهده شد و نشان داد جاذب کمپوست دارای عملکرد بسیار خوبی برای حذف فلز مس می باشد. با بررسی ایزوترم های جذب مختلف مشخص شد که فرآیند جذب سطحی حاضر دارای تطابق بسیار خوبی با ایزوترم فروندلیچ می باشد.

بحث و نتیجه گیری: بررسی عملکرد سیستم در حالت پیوسته نشان داد که بیشترین بازده حذف مربوط به زمانی هست که ۲۵٪ از ستون جذب از کمپوست گرانولی پر شده و مابقی کمپوست پودری می باشند. همچنین مشاهده شد که افزایش زمان فرآیند منجر به افزایش حذف شده و در این سیستم حذف بعد از گذشت ۱۵ دقیقه برای تمامی غلظت ها به حدود ۱۰۰٪ رسید.

کلمات کلیدی: جذب سطحی، کمپوست، فلزات سنگین، ایزوترم جذب.

۱- دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

Feasibility of Copper Removal from Wastewaters by Using Compost as a Natural Sorbent

Davood Kahforoushan ^{1*}

kahforoushan@sut.ac.ir

Shirin Nourayee Nia[†]

Elnaz Safaree²

Received: March 16, 2018

Accepted: September 12, 2018

Abstract

Back ground and Objective: The adsorption process is one of the important methods of separation in which liquid phase or gas particles are separated by a solid phase called adsorbent. The main advantages of adsorbents include high efficiency, low cost and minimization of chemical or biological sludge.

Material and Method: In this study compost as natural and low cost adsorbent is used to remove the heavy metal copper from waste water. At first the influence of parameters such as initial concentration of copper, amount of adsorbent, contact time at constant flow rate on the adsorption process was checked in batch system. Removal efficiency of Cu^{2+} ions with initial concentration of 100 ppm in constant amount of adsorbent was more than 90%.

Results: The results indicated that compost has a very good performance for the removal of copper. To analyse the isotherm of Cu^{2+} adsorption onto compost different models were applied. The Cu^{2+} ions adsorption onto compost was better defined by the Freundlich model. Evaluation of the performance of adsorption process in continuous system showed that that maximum efficiency is related to the time that 25% of the remaining columns were filled by granular compost and the rest was filled by powder compost. Also with increasing concentrations of copper, the metal removal rate increased. It was also observed that the time of the process leading to increased removed so that at this system the removal after 15 minutes for all concentrations reached up to 100%.

Conclusion: The results showed that by using compost as adsorbent agent, more than 90% of copper metal can be removed at aqueous solutions. Also, by calculating the separation coefficient based on Langmuir isotherm, it is observed that the separation coefficient for compost used is in the range of 0 to 1, and this indicates the desirability of the adsorbent.

Keywords: Adsorption, Compost, Heavy Metals, Adsorption Isotherm

1- Associated Professor, Environmental Engineering Research Center (EERC), Sahand, University of Technology, Tabriz, Iran
2 - M.Sc., Environmental Engineering Research Center (EERC), Sahand, University of Technology, Tabriz., Iran

مقدمه

فرآیند جذب سطحی، یکی از روشهای جداسازی است که برای اولین بار در سال ۱۷۷۳ به کار گرفته شد [۱]. فرآیند جذب سطحی به دو صورت، فیزیکی و شیمیایی صورت می‌گیرد. جذب فیزیکی یک فرآیند برگشت پذیر است، اما جذب به صورت شیمیایی معمولاً برگشت ناپذیر می‌باشد [۲]. لازمه انجام فرآیند جذب سطحی تماس دو فاز سیال- جامد با یکدیگر است و جداسازی حاصل اختلاف جرم مولکولی، اختلاف قطبیت و اختلاف شکل است [۳-۴]. به طور کلی فرآیندهای جذب سطحی یکی از پرکاربردترین فرآیندهای جداسازی صنعتی است. این روش جداسازی، به دلیل خواص منحصر بفرد جاذبها و بادوام بودن آنها (قابلیت احیاء)، مقرون به صرفه بودن فرآیند، کم بودن ضایعات تولیدی و حذف سریع در تصفیه‌خانه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. فاکتور اصلی در سیستم جذب سطحی، جاذب است. در گذشته استفاده از جاذبها بر مبنای سعی و خطا بوده که با انجام آزمایش کیفیت آنها تعیین می‌شد. اما امروزه با توجه به بررسی‌های انجام شده از لحاظ ساختار علمی، منافذ، تخلخل، انرژی‌های سطحی و دیگر پارامترهای یک جاذب از پیش قابل تعیین است؛ بنابراین امکان تعیین بهترین جاذب با توجه به نوع سیستم جداسازی وجود دارد [۳-۴]. در فرآیند جذب سطحی جاذبها نقش عمده ای را ایفا میکنند، استفاده از جاذبهایی مانند کربن فعال و زئولیتها در صنعت مرسوم بوده، ولی به دلیل قیمت نسبتاً بالای این جاذبها، استفاده از این جاذبها مقرون به صرفه نمی‌باشند. از این رو تحقیقات بسیاری بر روی استفاده از مواد طبیعی، مواد بیولوژیکی، پسماندهای صنعتی به عنوان جاذب- های ارزان قیمت صورت گرفته است [۵، ۶ و ۷].

با توجه به اینکه در فرآیند جذب سطحی اساساً آن چه مطرح است سطح جاذب است؛ برای افزایش راندمان حذف، جاذبها تحت عملیات اصلاح سطحی قرار می‌گیرند تا ظرفیت جذب آنها افزایش یابد. سطح جاذبها در صنعت بین $3000 \text{ m}^2/\text{gr}$ - ۱۰۰ می‌باشد. انتخابگری سطح را میتوان بطور گسترده به صورت آبدوست یا آبگریز طبقه بندی کرد. برای مثال، آلومینای

فعال و اکثر غربالهای مولکولی زئولیتی دارای سطوح آبدوست هستند و به شدت مایل به جذب آب از مواد آلی میباشند. سطوح جاذبهای کربن فعال در فاز بخار آبگریز هستند و مواد آلی را به آب ترجیح می‌دهند. سطح سیلیکازل بین این دو حالت قرار دارد و به هر دو حالت آلی و آبی تمایل دارد. در یک واحد جذب سطحی، بسته به نوع فرآیند میتوان جاذبهای متفاوتی را به کار برد. انتخاب صحیح جاذب نیازمند تجربه و آزمایش می‌باشد که عمدتاً پارامترهای مورد نظر در انتخاب نوع جاذب در ارتباط با ماهیت و غلظت جذب شونده، چگونگی رفتار دفعی جاذب، خواص فیزیکی و کیفیت خروجی وابسته هستند [۸].

یکی از جاذبهای طبیعی و بسیار ارزان کمپوست است. کمپوست عبارت است از بقایای گیاهی و حیوانی زباله‌های شهری یا لجن فاضلاب که تحت شرایط پوسیدگی قرار گرفته باشد. بطوریکه مواد تجزیه شده و شکل اولیه خود را ازدست داده باشد و مواد سمی نیز از بین رفته باشد [۹].

در این تحقیق قابلیت کمپوست در جذب سطحی فلز مس از محلول آبی مورد بررسی قرار گرفته است. لذا نخست شرایط بهینه جاذب و مکانیزم جذب در سیستم ناپیوسته بررسی شده و در ادامه با استفاده از مقادیر مختلفی از جاذب در یک فرآیند پیوسته در ستون جذب و برای غلظتهای مشخصی از فلز سنگین مس، پارامترهای مختلف بر روی فرآیند جذب بررسی شده و شرایط بهینه برای جذب سطحی ارائه شده است.

مواد و روشها

در این تحقیق هدف بررسی میزان تاثیر پارامترهای مختلف بر روی حذف فلز در فرآیند جذب سطحی آن بوسیله جاذب کمپوست می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد این جاذب در فرآیند جذب سطحی، باید میزان کارایی آن با توجه به تاثیر پارامترهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور متغیرهایی همچون غلظت فلز سنگین، زمان ماند، حالت جاذب کمپوست (پودری یا دانه ای شکل) و سرعت عبور محلول از

جنس پلی اتیلن، طراحی شد؛ حجم خالی و موثر ستون به ترتیب ۴/۷۱ و ۳/۲ لیتر بودند. جهت توزیع همگن محلول در کل قطر ستون شبکه مشبکی (توزیع کننده) در بالای ستون- تعبیه شد؛ همچنین از آنجائیکه تجمع کمپوست و آکنه در انتهای ستون، می تواند مانع از خروج محلول شود لذا توزیع- کننده دیگری در انتهای ستون تعبیه گردید (شکل ۱).

ستون به نسبت مشخصی از آکنه پلیمری و کمپوست پر شد؛ سپس محلول تهیه شده که حاوی غلظت مشخصی از فلز مس بود، از بالای ستون وارد آن شد. در حین حرکت محلول در امتداد ستون، فلز مس جذب شده و در نهایت محلول تصفیه شده از ستون خارج شد. غلظت مس در محلول سنتزی (قبل و بعد از جذب) توسط دستگاه جذب اتمی NOVA 300 Analytikjena، ساخت کشور استرالیا، تعیین شد. بازده جذب بر اساس تغییر غلظت فلز قبل و پس از فرآیند جذب با استفاده از رابطه ۱ تعیین گردید:

$$R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

که C_0 و C_e به ترتیب غلظت های اولیه و نهایی فلز مس و R بازده جذب می باشد. لازم به ذکر است که تمامی مراحل در دمای محیط (حدود ۲۰ درجه سانتی گراد) انجام گرفت.

ستون برای بررسی انتخاب شدند، که سرعت عبور از ستون با میزان نسبت مختلف های کمپوست پودری و گرانولی تنظیم گردید. در این تحقیق از فلز مس به عنوان شاخصی از فلزات سنگین استفاده شد. برای تهیه محلول آبی این فلز از سولفات مس آبدار ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) تولید مرک آلمان جهت تأمین فلز مس، استفاده شد. همچنین کمپوست تولید شده توسط مؤسسه کشاورزی زرین گیاه به عنوان جاذب به کار گرفته شد. برای بررسی تاثیر نوع کمپوست از دو شکل پودری و گرانولی این جاذب استفاده گردید. از کمپوست گرانولی صرفاً بدلیل کنترل سرعت حرکت سیال درون ستون استفاده می شود. که در این گزارش میزان بهینه آن جهت صرفه جویی در زمان به دست آورده شده است. pH کمپوست مورد استفاده حدود ۷/۲ تعیین شد. سایر مشخصات کمپوست مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. همان طور که در جدول مشاهده می شود علیرغم اینکه برخی مشخصات شیمیایی کمپوست بکار رفته با استاندارد متفاوت است، ولی میزان همه فلزات سنگین در کمپوست مورد نظر از حد مجاز پایین هستند. ویژگی اخیر در کاربرد کمپوست به عنوان جاذب حائز اهمیت است. از بخشی از آزمایشات در سیستم پیوسته انجام گرفت؛ بدین منظور ستون جذبی به ارتفاع ۶۰ سانتی متر و قطر داخلی ۱۰ سانتی متر، از

جدول ۱- آنالیز کمپوست به کار رفته در این تحقیق و مقایسه با مقادیر استاندارد [۱۰].

عنصر	مقدار (%)	مقدار استاندارد (%)	عنصر	مقدار (ppm)	مقدار استاندارد (ppm)
ازت	۰/۷۶	۱-۱/۵	آهن	۳۷۰۰	-
فسفر	۰/۲۴	۰/۳-۳/۸	منگنز	۱۹۰	-
پتاسیم	۰/۳۴	۰/۵-۱/۸	روی	۲۶۰	۱۳۰۰
گوگرد	٪۵	-	مس	۲۳۵	۶۵۰
کلسیم	۱۰	-	کادمیوم	۴/۰	۱۰
منیزیم	۰,۳۴	-	سرب	۴۸/۵	۲۰۰
رطوبت	۲/۱۸	بیشینه ۳۵	کروم	۳۰/۰	۱۵۰
			نیکل	۲۴/۵	۱۲۰
			کبالت	۸/۵	۲۵

اولیه به صورت ناپیوسته با استفاده از یک ظرف آزمایشگاهی با حجم ۲۰۰ میلی لیتر و با محلول مس با غلظت ۱۰۰ ppm انجام شد. در آزمایش اول مقادیر مختلف کمپوست در دور همزن ۱۱۰ دور در دقیقه و به میزان ۱ ساعت در معرض جذب قرار گرفتند. پس از گذشت یک ساعت محلول ها صاف و بعد از سانتریفیوژ، توسط دستگاه جذب اتمی میزان فلز مس آنها اندازه گیری شد. نتایج حاصل در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- میزان حذف فلز مس برای مقادیر مختلف

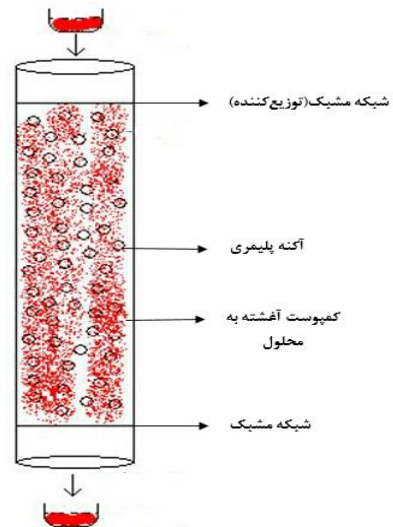
کمپوست در سیستم ناپیوسته

ردیف	مقدار کمپوست (گرم)	غلظت (ppm) نهایی	بازده جذب (%)
۱	۱	۲۲,۶۱	۷۷,۳۹
۲	۵	۶,۴۴	۹۳,۵۶
۳	۹	۵,۹۶	۹۴,۰۳
۴	۱۳	۵,۵۲	۹۴,۴۷

با توجه به مقادیر بدست آمده در جدول ۲ مشخص گردید که افزایش بیش از ۵ گرم کمپوست در شرایط آزمایش شده تاثیر چندانی در میزان جذب فلز مس ندارد، لذا این میزان از کمپوست برای ادامه آزمایشات در نظر گرفته شد.

بررسی تاثیر غلظت در سیستم ناپیوسته

برای بررسی تاثیر غلظت های اولیه فلز مس بر روند جذب، ۵ محلول با غلظت های متفاوت (۱۰۰-۲۰ ppm) تهیه شد و با یک میزان کمپوست ۵ گرم و زمان جذب ۶۰ دقیقه میزان جذب بدست آمده و باهم مقایسه گردید. نتایج در نمودار شکل ۲ گزارش شده اند. همانطور که مشاهده می شود با افزایش غلظت، بازده حذف افزایش می یابد که این تغییرات به مرور برای غلظت های بالاتر کمتر است. دلیل این امر این است که در غلظت های کم بدلیل افزایش نیروی محرکه جذب بدلیل اختلاف غلظت بالا، در یک زمان مشخص سرعت جذب بالا است که این روند با افزایش غلظت تاثیر کمتری خواهد داشت.



شکل ۱- شماتیکی از ستون جذب به کار رفته در این تحقیق

نتایج و بحث

بررسی فرایند جذب در سیستم ناپیوسته

برای بررسی هر فرآیندی در ابتدا باید تاثیر پارامترهای موثر بر روی آن فرایند مطالعه شود. لذا مرحله اول شناسایی این پارامترها و مشخص کردن میزان تاثیر این پارامترها بر روند فرایند بود. پارامترهای مهم که بر جذب سطحی فلزات سنگین موثر می باشند عبارتند از غلظت اولیه فلز، نوع جاذب، میزان جاذب، زمان، دبی، دما و pH. در مطالعات گذشته pH بهینه را برای حذف فلزات سنگین با استفاده از جاذب کمپوست بین ۴-۵ گزارش کرده بودند [۱۱]. با توجه به این مقادیر، pH سیستم مورد استفاده در این تحقیق در عدد ۵ ثابت در نظر گرفته شد. همچنین بر اساس مطالعات قبلی گزارش شده بود که دما در فرایند جذب فلزات سنگین توسط کمپوست چندان تاثیرگذار نیست [۱۲]. لذا تمامی مراحل در دمای محیط (حدود ۲۰ درجه سانتی گراد) انجام گرفت. بر این اساس تاثیر سایر عوامل در میزان جذب فلز مس از محلول توسط کمپوست مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در ادامه گزارش می شوند

بدست آوردن میزان کمپوست جهت انجام آزمایشات در

سیستم ناپیوسته

برای تعیین میزان کمپوست بهینه و زمان تعادلی آزمایشات

همانطور که در نمودار مشاهده میشود، در زمان‌های اولیه سرعت جذب بسیار بالاست، بطوری که در ۱۰ دقیقه اول بیش از ۸۰٪ مس جذب شده است. اما با گذشت و بعد از زمان ۶۰ دقیقه میزان جذب تقریباً ثابت می‌ماند. بنابراین زمان تعادل جذب ۶۰ دقیقه می‌باشد.

بررسی ایزوترم‌های جذب

در مرحله سوم مکانیزم جذب کمپوست با توجه به ایزوترم‌های لانگمویر و فرندلیچ در سیستم ناپیوسته ارزیابی شد. فرم کلی معادله‌ی لانگمویر به صورت زیر است [۱۳]:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} b} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (3)$$

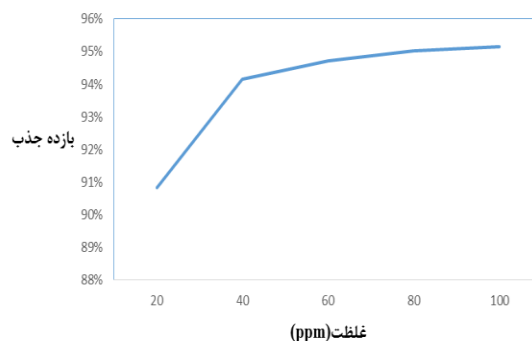
که در این رابطه C_e مقدار جذب فلز بر حسب میلی گرم در لیتر، q غلظت تعادلی بر حسب میلی گرم بر گرم، q_{\max} ظرفیت جذب بیشینه، b ثابت جذب بر حسب لیتر بر میلی گرم و مربوط به انرژی جذب می‌باشند. منحنی خطی C_e/q_e بر حسب C_e/q_e برای محاسبه q_{\max} و b به کار می‌رود. نمودار ایزوترم لانگمویر پس از محاسبه‌ی q ، با استفاده از معادله‌ی (۱) و با توجه به داده‌های مربوط به آزمایشات مرحله‌ی سوم (تعیین تأثیر پارامتر زمان تماس) در شکل ۳-الف ارائه شده است.

می‌توان میزان مطلوب یا نامطلوب بودن جذب را در معادله لانگمویر با محاسبه کمیت دیگری به نام ضریب جداسازی R_L (پارامتر تعادلی) به شرح زیر مورد بررسی قرار داد.

$$R_L = \frac{1}{1 + b C_e} \quad (4)$$

اگر $R_L > 1$ جذب نامطلوب، $R_L = 1$ جذب خطی، $0 < R_L < 1$ جذب مطلوب و $R_L = 0$ جذب برگشت ناپذیر است. فرم خطی معادله فرندلیچ به صورت زیر است [۱۳]:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{\ln C_e}{n_f} \quad (5)$$



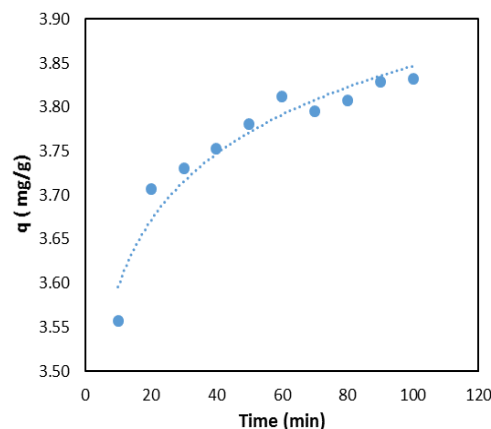
شکل ۲- تأثیر غلظت اولیه فلز مس در سیستم ناپیوسته (میزان کمپوست=۵گرم و زمان =۶۰ دقیقه)

بدست آوردن زمان تعادلی در سیستم ناپیوسته

در مرحله دوم برای بررسی تأثیر زمان تماس در میزان ظرفیت جذب، آزمایش‌ها با شرایط قبلی تکرار شد با این تفاوت که میزان کمپوست ۵ گرم در نظر گرفته شد و نمونه برداری در زمان‌های مختلف انجام گردید. در این مرحله برای تعیین ظرفیت جذب از معادله ۲ استفاده شد:

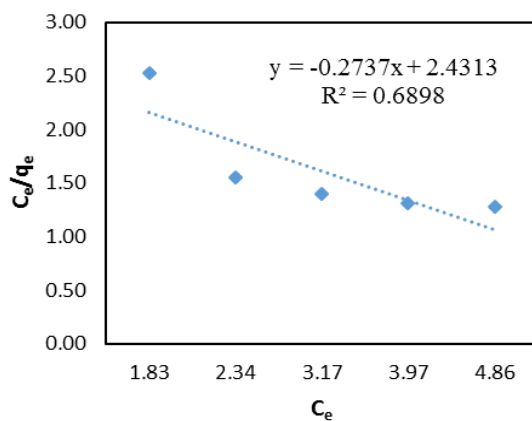
$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} V \quad (2)$$

در این فرمول C_0 و C_e به ترتیب، بیانگر غلظت اولیه و غلظت تعادلی در هر مرحله است که بر حسب ppm یا mg/L بیان می‌شود، V نشانگر حجم نمونه است که در این تحقیق حجم موثر (بر حسب لیتر) ستون قرار داده شده است و m نشانگر جرم جاذب (بر حسب گرم) است. نتایج این مرحله در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است.

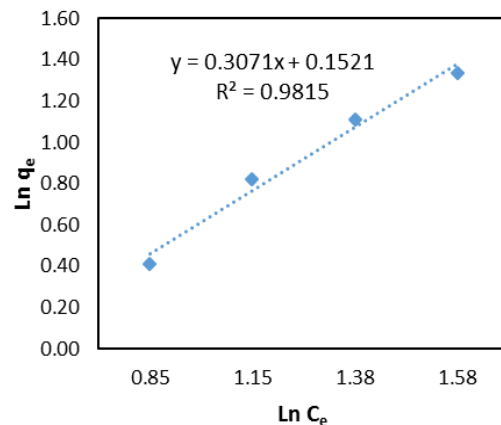


شکل ۳- بررسی تأثیر تغییرات زمان بر ظرفیت جذب

شود، یک خط راست با شیب $\ln K_F$ و عرض از مبدأ $1/n$ به دست می‌آید. با توجه به ضریب همبستگی ($R^2=0.98$) مشخص می‌شود که فرم خطی ایزوترم فروندلیچ با داده‌های تجربی جذب سطحی انطباق بهتری دارد.

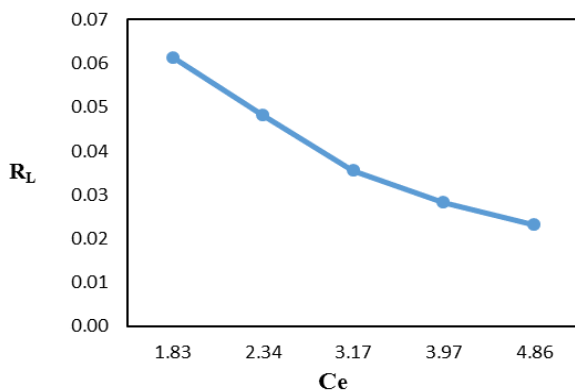


که در این رابطه C_e غلظت تعادلی یون های جذب شونده بر حسب میلی گرم در لیتر، q_e مقدار جذب شده بر حسب میلی گرم بر گرم و n و K_F و ثابتهای فروندلیچ مربوط به ظرفیت و شدت جذب هستند. وقتی $\ln C_e$ بر حسب $\ln q_e$ رسم می



شکل ۴- بررسی انطباق مکانیزم جذب با ایزوترم های جذب الف- ایزوترم لانگمویر ب- ایزوترم فروندلیچ

جداسازی برای کمپوست به کار رفته در محدوده ۰ تا ۱ است و این بیانگر مطلوب بودن جذب می‌باشد.



شکل ۵- نمودار ضریب جداسازی برای فرآیند جذب سطحی در سیستم ناپیوسته

بررسی فرآیند جذب در شرایط پیوسته

در این بخش از آزمایشات فرآیند جذب فلز مس با استفاده از جذب کمپوست در شرایط پیوسته مورد ارزیابی قرار گرفت.

تاثیر مقدار جذب بر فرآیند جذب سطحی فلز مس

از ایزوترم فروندلیچ میل جاذب برای جذب یک فلز را می توان با پارامتر K_F (mg/g) بدست آورد. در مقالات برای جاذب های مختلف این عدد برای لجن صاف ($3/16 \text{ mg/g}$)، خاکستر پوسته برنج ($2/44 \text{ mg/g}$) و آلومینای فعال ($1/34 \text{ mg/g}$) بدست آمده است [۱۴]. در این تحقیق مقدار آن برای جاذب کمپوست $1/16 \text{ mg/g}$ بدست آمد. همچنین مقدار شدت جذب $1/n$ نمونه کمتر از ۱ میباشد که نشانگر این است که جذب سطحی حاضر از نوع مطلوب میباشد.

جدول ۳- پارامترهای ترمودینامیکی محاسبه شده برای مدل

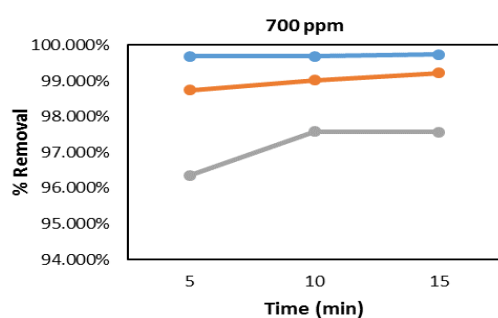
ایزوترم فروندلیچ

ایزوترم فروندلیچ		
K_F	$1/n$	R^2
۱/۱۶	۰/۳	۰/۹۸

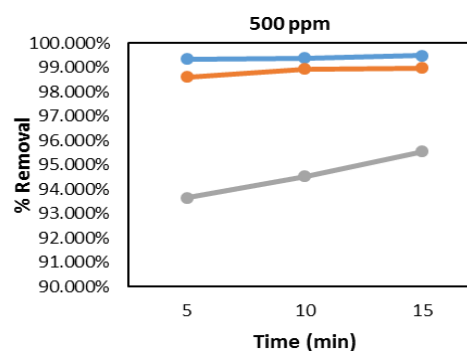
در ادامه داده‌های ضریب جداسازی براساس ایزوترم لانگمویر برای حذف فلز مس از فاضلاب با استفاده از جاذب کمپوست محاسبه شد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود ضریب

فشار برابر با دما و فشار آزمایشگاه انتخاب گردید. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار کمپوست گرانولی میزان حذف کاهش یافته که این نتیجه بیانگر این است که با افزایش فضای خالی در ستون و در نتیجه افزایش سرعت حرکت محلول مس در ستون باعث کاهش زمان تماس بین جاذب و مس می‌شود و در نتیجه میزان جذب کاهش می‌یابد. ولی با کاهش میزان کمپوست گرانولی میزان جذب افزایش یافته و این به علت افزایش زمان تماس جاذب و محلول می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد با افزایش غلظت اولیه از ۵۰۰ به ۱۰۰۰، بازده همچنان بالا بوده و نزدیک به ۹۹٪ است. بنابراین این احتمال می‌رود که با افزایش غلظت، روند بازده بالا همچنان حفظ شود.

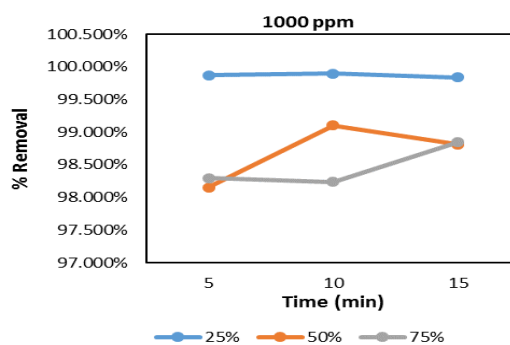
در اولین مرحله میزان تاثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی بررسی شد. بدین ترتیب که نسبت‌های مختلفی از جاذب‌های گرانولی و پودری جهت تنظیم سرعت پایین آمدن محلول در ستون جذب انجام شد تا تاثیر هر کدام مشخص گردد. بدین منظور در ابتدا ستون از ۲۵٪ کمپوست گرانولی پر شده و ۷۵٪ کمپوست پودری و در ادامه به ترتیب ۵۰٪ و ۷۵٪ ستون از کمپوست گرانولی و مابقی با کمپوست پودری پر شد و فرآیند جذب سطحی برای هر مرحله انجام گرفت. در انتها نتایج حاصل از هر مرحله با مراحل قبلی مقایسه گردید. نتایج آزمایشات در نمودار شکل ۵ ارائه شده اند. لازم به ذکر است در این مرحله از سه غلظت مختلف ۷۰۰، ۱۰۰۰ ppm و ۵۰۰ برای هر دسته از آزمایشات استفاده گردید ولی دما و



ب



الف



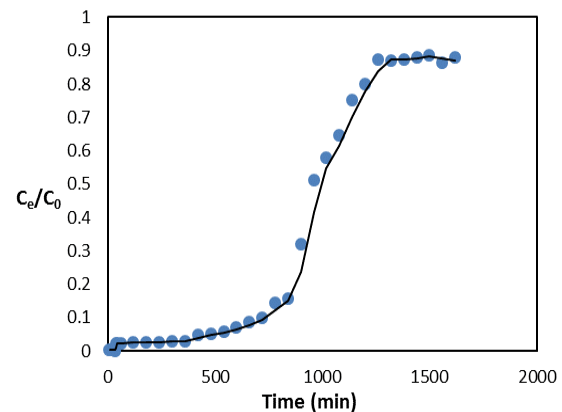
ج

شکل ۶- تغییرات میزان حذف برای درصدهای مختلف میزان کمپوست گرانولی در غلظت های مختلف فلز مس الف- ۵۰۰ ppm - ب-

۷۰۰ ppm - ج- ۱۰۰۰ ppm

بدست آوردن منحنی شکست

مرحله دوم از آزمایشات در ستون جذب بررسی منحنی شکست فرآیند جذب بود لذا در یک غلظت 700 ppm مس، ستون جذب با کمپوست به میزان 25% آن از کمپوست گرانولی و 75% از کمپوست پودری پر شده و میزان جذب در زمان های مختلف انجام گرفت. نتایج حاصل در نمودار شکل ۶ آورده شده است. همان طور که نتایج نشان می دهد پس از حدود 800 دقیقه جذب به نقطه شکست می رسد. و بعد از این مرحله سیستم در حال تعادل خواهد بود.



شکل ۷- نمودار منحنی شکست جذب مس در ستون جذب (غلظت محلول مس: 700 ppm و 25% کمپوست به صورت دانهای)

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد جذب کمپوست جهت حذف فلز سنگین مس از محلول آبی ارزیابی شد و تأثیر پارامترهایی همانند غلظت اولیه فلز مس (آلاینده)، مقدار جذب- آکنه پلیمری و زمان تماس بر روی راندمان فرآیند جذب سطحی بررسی شد. نتایج نشان داد که با استفاده از این جذب، می-توان به میزان بالای 90% فلز مس را حذف نمود. بالاترین میزان حذف برای فرآیند جذب سطحی فلز مس از فاضلاب سنتزی با غلظت اولیه 1000 ppm فلز مس در نسبت 25% کمپوست گرانولی و 75% کمپوست پودری برابر 99% به دست آمد. بررسی ایزوترم های جذب نشان داد که با توجه به مقادیر

بدست آمده برای ضرایب همبستگی ایزوترم های لانگمویر و فرندلیچ، جذب سطحی با جذب کمپوست، تطابق بسیار خوبی با ایزوترم فرندلیچ داشت و به دلیل کوچک بودن پارامتر شدت جذب (کوچکتر از ۱) در ایزوترم فرندلیچ می توان نتیجه گرفت که کارایی جذب بالا بوده است. مقایسه پارامتر میل جذب برای جذب یک فلز (K_F) حاصل از این تحقیق با K_F حاصل از سایر نتایج می توان دریافت که جذب کمپوست می تواند یک گزینه مناسبی برای حذف فلز مس از محلول آبی باشد. در جدول ۴ نتایج حاصل از این مقایسه آورده شده است. البته پارامترهای این آزمایش ها را نمی توان بطور مستقیم بررسی نمود زیرا شرایط در تمامی این تحقیقات متفاوت است. با محاسبه ضریب جداسازی بر اساس ایزوترم لانگمویر برای حذف فلز مس از فاضلاب با استفاده از جذب کمپوست مشاهده می-شود ضریب جداسازی برای کمپوست به کار رفته در محدوده 0 تا 1 است و این بیانگر مطلوب بودن جذب می باشد.

جدول ۴- پارامتر میل جذب انواع جذب ها برای مدل ایزوترم

فرندلیچ

مرجع	(K_F)	نوع جذب
[۱۵]	۳/۱۶	لجن صاف
[۱۵]	۲/۴۴	خاکستر پوسته برنج
[۱۵]	۱/۳۴	آلومینای فعال
در این مطالعه	۱/۱۶	کمپوست

منابع

- 1- Erto, L. Giraldo, A. Lancia, Moreno-Piraján, J. C., 2013. A comparison between a low-cost sorbent and an activated carbon for the adsorption of heavy metals from water. *Water, Air, & Soil Pollution*, Vol 224(4), pp. 1531.
- 2- Gupta, V.K., Ali, I., 2004. Removal of lead and chromium from wastewater using bagasse fly ash—a sugar industry

- ۱۰- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، کمپوست ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی، شماره ۱۰۷۱۶، انتشارات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۱، چاپ اول.
- 11- Jordao, C., Fernandes, R., Rebeiro, K., Nascimento, B., Barros, P., 2011. Zn (II) adsorption from synthetic solution and kaolin wastewater onto vermicompost. *Journal of Hazardous Materials*. Vol 162, pp. 204-211.
- 12- Matos, G.D., Arruda, M.A.Z., 2001. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents. *Process Biochemistry*. Vol 15, pp. 21-22.
- 13- Elouear, Z., Bouzid, J., Boujelben, N., Feki, M., Jamoussi, F., Montiel, A., 2008. Heavy metal removal from aqueous solutions by activated phosphate rock. *Journal of Hazardous Materials*. Vol 156, pp. 412-420.
- 14- Jain, C., D. Singhal, Sharma, M., 2004, Adsorption of zinc on bed sediment of River Hindon: adsorption models and kinetics. *Journal of hazardous materials*, Vol 114(1), pp. 231-239.
- 15- Bhattacharya, A., S. Mandal, Das, S., 2006. Adsorption of Zn (II) from aqueous solution by using different adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, Vol 123 (1), pp. 43-51.
- waste. *Journal of colloid and interface science*, Vol 271(2), pp. 321-328.
- 3- Attri, S., Sharma, N., Jahagirdar, S., Thapa. B.R., Prasad, R., Babel, S., 2003. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. *Journal of hazardous materials*, Vol 97(1), pp. 219-243.
- 4- Wang, J., Chen, C., 2009. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology advances*, Vol 27(2), pp. 195-226.
- 5- Hegazi, H.A., 2013. Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents. *HBRC Journal*, Vol 9(3), pp. 276-282.
- 6- Ngah, W.W. Hanafiah, M., 2008. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: a review. *Bioresource technology*, Vol 99(10), pp. 3935-3948.
- 7- Abhishek, K., 2008. Topics in mixed integer nonlinear programming (Lehigh University).
- 8- Pedersen, A.J., 2003. Characterization and electro-dialytic treatment of wood combustion fly ash for the removal of cadmium. *Biomass and Bioenergy*, Vol 25(4), pp. 447-458.
- 9- Barakat, M., 2011. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, Vol 4(4), pp. 361-377.