

حذف فلزات سنگین از پسابهای صنعتی به وسیله ضایعات روده گوسفند

آزاده ارجمندی^۲

سید حسن زوار موسوی^۱

(دریافت ۸۷/۴/۱۶ پذیرش ۸۸/۲/۳)

چکیده

حذف فلزات سنگین از پسابهای صنعتی یکی از مباحث مهم زیست‌محیطی است. در این مطالعه، روده خشک شده گوسفند به‌عنوان یک جاذب مناسب و ارزان قیمت به منظور تصفیه و حذف یون‌های سرب، مس و آهن از محلول آبی و پسابهای صنعتی به کار گرفته شد. برای تعیین فاکتورهای مؤثر در جذب از سیستم ناپیوسته استفاده شد. همچنین اثر پارامترهای مختلف مانند زمان، pH، مقدار جاذب و غلظت اولیه فلزات سنگین بر میزان جذب بررسی گردید. مدت زمان لازم برای جذب، دو ساعت بود. بیشترین مقدار جذب در محدوده pH بین ۴ تا ۸ انجام گرفت. ظرفیت جاذب مورد مطالعه برای هر یک از یون‌های مس، آهن و سرب به ترتیب ۹/۷۶، ۱۱/۱۹ و ۳/۰۱ میلی‌مول به ازای هر گرم جاذب بود. همچنین روابط مربوط به ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ برای جاذب مورد مطالعه، اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیق نشان داد که ایزوترم لانگمیر برای توصیف فرایند جذب مناسب‌تر بوده و مطابقت بیشتری با داده‌های تجربی دارد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، حذف، ضایعات روده گوسفند، پساب صنعتی، ایزوترم جذب

Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater by Sheep Gut Waste

Seyed Hassan Zavvar Mousavi¹

Azadeh Arjmandi²

(Received July 7, 2008 Accepted Apr. 23, 2009)

Abstract

Removal of toxic heavy metals from wastewater is an important environmental challenge. In this work, the Sheep Gut Waste (SGW) is used as a low-cost adsorbent for the removal of Pb^{2+} , Fe^{3+} , and Cu^{2+} from aqueous solutions and industrial wastewaters. Batch experiments were used to determine the best adsorption conditions. The effects of contact time, pH, initial metal concentration, and amount of adsorbent on the adsorption process were studied. The time required for the removal of metal ions was about two hour. Effective removal of metal ions was demonstrated at pH values of 4-8. The maximum adsorption capacities of Cu-SGW, Fe-SGW and Pb-SGW were 9.76 mmol g^{-1} , $11.19 \text{ mmol g}^{-1}$, and 3.01 mmol g^{-1} , respectively. Metal adsorption onto SGW was evaluated by Langmuir and Freundlich isotherms. Results indicate that the Langmuir isotherm model is the most suitable one for the adsorption process using sheep gut waste.

Keywords: Heavy Metals, Removal, Sheep Gut Waste, Industrial Wastewater, Adsorption Isotherm

1. Assist. Prof. of Chemistry, Faculty of Sciences, Semnan University
(Corresponding Author) (+98 231) 3354134 hzmousavi@semnan.ac.ir
2. M.Sc. of Applied Chemistry, Faculty of Sciences, Semnan University

۱- استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه سمنان (نویسنده مسئول)
hzmousavi@semnan.ac.ir (۲۳۱) ۳۳۵۴۱۳۴
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد شیمی کاربردی، دانشکده علوم، دانشگاه سمنان

در این تحقیق برای اولین بار از روده خشک شده گوسفند به عنوان یک جاذب مناسب و ارزان قیمت برای تصفیه و حذف یون‌های سرب، مس و آهن از محلول آبی و پسابهای صنعتی استفاده شد. همچنین تأثیر فاکتورهای مؤثر در فرایند جذب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و شرایط کار بهینه شد.

۲- مواد و روشها

مواد: نیترات کادمیم، نیترات سرب، فروآمونیم سولفات، سولفات مس، اسید سولفوریک، سود، استات سدیم، آمونیم کلرید، آب دیونیزه.

در این تحقیق از دستگاه جذب اتمی مدل AA-680/G محصول شرکت شیمادزو^۴ ژاپن با شعله هوا-استیلن و لامپ هالو کاتد برای اندازه‌گیری یون‌های فلزی استفاده شد. همچنین دستگاه همزن مغناطیسی، pH متر مدل E-632 با الکتروود شیشه‌ای ساخت شرکت مترم^۵، پمپ خلاء و سایر لوازم شیشه‌ای آزمایشگاهی به کار گرفته شد.

۲-۱- آماده کردن جاذب

روده گوسفند از شهر درگز استان خراسان تهیه شد. این جاذب در دمای اتاق خشک شده و توسط آسیاب خرد شد و بدون هیچ کار جنبی دیگری به عنوان یک جاذب طبیعی برای تصفیه یون‌های فلزی سنگین به کار گرفته شد.

۲-۲- روش کار

در این مطالعه از سیستم ناپیوسته برای به دست آوردن شرایط بهینه برای جذب فلزات سنگین سرب، آهن و مس توسط جاذب استفاده شد. به منظور انجام این کار وزن مشخصی از روده گوسفند خشک شده در یک بشر ریخته شد. سپس حجم‌های متفاوت از محلول حاوی یون‌های فلزی سنگین، در تماس با جاذب قرار داده شد. این مخلوط به وسیله همزن مغناطیسی به مدت دو ساعت همزده شد. بعد از آن محلول مورد مطالعه صاف شده و مقدار یون‌های فلزی موجود در محلول زیر صافی به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. کلیه آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق سه بار تکرار گردید و از میانگین نتایج در محاسبات استفاده شد. تمامی آزمایش‌ها در دمای اتاق و در محدوده 1 ± 25 درجه سلسیوس انجام گرفت.

۲-۳- مطالعه اثر زمان

به منظور بررسی اثر زمان و رسیدن به زمان تعادل، مقدار مشخصی از جاذب مورد مطالعه در زمان‌های مختلف در تماس با مقدار ثابتی از غلظت یون فلزی قرار داده شد و درصد جذب یون‌های فلزی

فلزات سنگین از جمله آلودگی‌های زیست‌محیطی هستند که امروزه به وسیله فعالیت‌های صنعتی وارد محیط زیست می‌شوند. مکانیسم اثر سمی فلزات سنگین از نظر زیست‌شیمیایی ناشی از تمایل شدید کاتیون‌های این فلزات به واکنش با گوگرد است. کاتیون‌های فلزات سنگین یا ملکول‌هایی که این فلزات را در بر دارند از طریق بلع وارد بدن می‌شوند و به آسانی به گروه‌های سولفیدریل (-SH) که در بدن انسان به وفور یافت می‌شوند، متصل می‌گردند. پیوند فلز گوگرد حاصل، معمولاً در آنزیم‌هایی که سرعت واکنش‌های سوخت و سازی مهم در بدن انسان را کنترل می‌کنند اثر می‌گذارد. لذا این آنزیم‌ها نمی‌توانند وظیفه عادی خود را انجام دهند و سلامتی انسان به خطر افتاده و گاهی به مرگ منتهی می‌شود [۱].

در حال حاضر روشهای متنوعی برای کاهش آلودگی‌های آب و حذف فلزات سنگین وجود دارد که از جمله می‌توان به روشهایی همچون فیلتراسیون، انعقادسازی، جذب سطحی، اکسیداسیون، اسمز معکوس، تبادل یونی، استفاده از جاذبهای اصلاح شده، ترسیب و غیره اشاره نمود [۲ و ۳].

مطالعات مربوط به حذف فلزات سنگین به وسیله جاذبهای ارزان و طبیعی عمدتاً از دهه ۱۹۷۰ شروع شد. در این زمینه می‌توان به مطالعات لارسن^۱ و شوب^۲ اشاره کرد. در این مطالعات از کربن فعال حاصل از سوزاندن کاه، برای حذف کادمیم استفاده شده است [۴]. سیسار و همکارانش^۳ استفاده از پوسته شلتوک برای حذف فلزاتی مثل سرب را مورد مطالعه قرار دادند، که در این مطالعات اصلاحاتی بر روی جاذبها صورت گرفت [۵ و ۶]. همچنین جاذبهای ارزان قیمت دیگری مانند حلزون بی‌صدف، مواد ضایعات فلزی، زغال پوسته برنج، آلومینای فعال، نمک دریا، پوست زیتون تلخ و چوب درخت ساج به منظور حذف فلزات سنگین به کار گرفته شده است [۷]. در مطالعه‌ای دیگر، از خاکستر برای تصفیه یون‌های فلزی سنگین استفاده شده و کارایی این جاذب با کربن اکتیو برای حذف فلزات سنگین از محلول آبی مقایسه شده است [۸]. از تفاله چای هم به عنوان یک جاذب ارزان که برای جذب مس و کادمیم مؤثر است می‌توان نام برد [۹]. از جاذبهای ارزان دیگر می‌توان به پوسته آفتاب‌گردان و پوست نارنگی اشاره کرد. امکان استفاده از جاذب‌های طبیعی و ارزان مانند کاج، بلوط و گردو نیز مطالعه شده است [۱۰-۱۶]. هم‌اکنون مطالعات گسترده‌ای در کشورهای مختلف در زمینه استفاده از جاذبهای طبیعی و ارزان جهت تصفیه پسابهای صنعتی در حال انجام است.

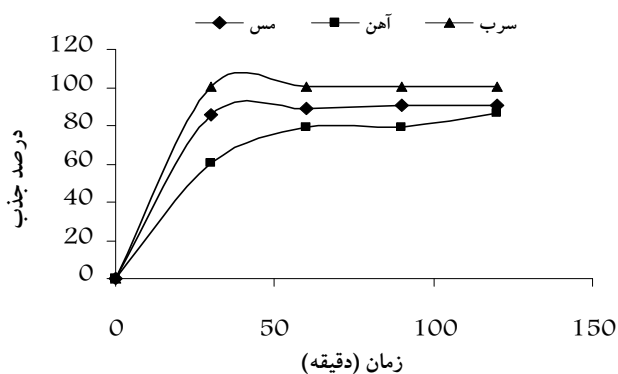
¹ Larson

² Schierup

³ Cesar et al.

⁴ Shimadzu

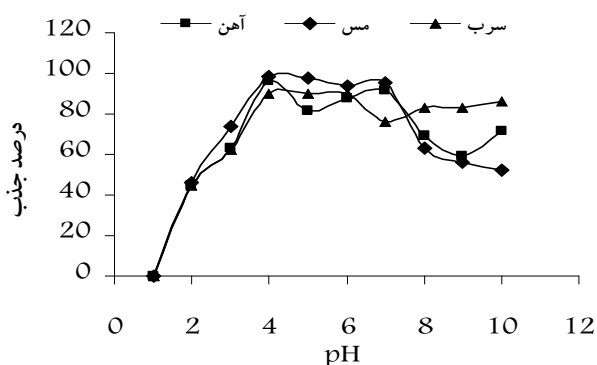
⁵ Metrohm



شکل ۱- تاثیر زمان تماس بر روی درصد جذب فلزات سنگین

۲-۳- تأثیر pH

این پارامتر بیشتر زمانی مطرح است که جذب شونده به صورت یونی باشد ولی چون مولکول‌های خنثی نیز می‌توانند دو قطبی باشند بنابراین ممکن است برای اینگونه مولکول‌ها نیز این پارامتر تأثیرگذار باشد. در واقع از آنجایی که یون‌های H^+ و OH^- به شدت جذب سطحی می‌شوند می‌توانند بار سطحی جاذب را تغییر دهند. در شکل ۲، درصد یون فلزی جذب شده روی جاذب بر حسب pH نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود بیشینه مقدار جذب شده برای عناصر آهن، مس و سرب در محدوده pH بین ۴ تا ۸ است. این امر را می‌توان براساس بار سطح جاذب و درصد یون‌های هیدرونیوم در محلول بیان کرد. به عبارت دیگر در pHهای پایین‌تر از ۴، غلظت یون‌های H^+ در محیط زیاد است در نتیجه سطح جاذب دارای بار مثبت است. رقابت بین یون‌های H^+ و یون‌های فلزی در جذب بر روی سطح جاذب از یک طرف و دافعه ایجاد شده یون‌های فلزی و نیز ذرات جاذب دارای بار مثبت از سوی دیگر باعث کاهش جذب توسط جاذب می‌گردد. کاهش مقدار جذب در pHهای بالاتر به علت افزایش یون‌های OH^- در محیط و نیز ایجاد رسوبات هیدروکسیدهای فلزی است.



شکل ۲- تأثیر pH بر جذب آهن، مس و سرب توسط جاذب

شرایط: ۰/۲ گرم از جاذب با ۲۵ میلی لیتر از محلول ۱ میلی گرم در لیتر

توسط جاذب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که هر چه مدت زمان تماس فاز ثابت با یون‌های فلزی بیشتر باشد مقدار جذب یون‌های فلزی توسط آن افزایش می‌یابد ولی پس از دو ساعت، مقدار جذب ثابت شده و پس از آن تغییری در مقدار جذب دیده نمی‌شود. به عبارت دیگر پس از ۱۲۰ دقیقه یک تعادل بین فاز جامد و محلول مورد مطالعه به وجود می‌آید.

۲-۴- مطالعه اثر pH

به منظور مطالعه تأثیر pH محلول آبی بر روی کارایی جاذب، ابتدا ۰/۲ گرم از جاذب مورد مطالعه با ۲۵ میلی لیتر از محلول یک میلی گرم در لیتر یون‌های فلزی مخلوط شد. سپس به وسیله بافرهای مختلف، pH محلول در محدوده‌های متفاوت بین ۲ تا ۱۰ تنظیم گردید. مخلوط جاذب و محلول یون‌های فلزی در pHهای متفاوت به مدت ۲ ساعت همزده شد و نمونه‌های زیر صافی توسط دستگاه جذب اتمی آنالیز شدند.

۲-۵- محاسبات مربوط به ایزوترم

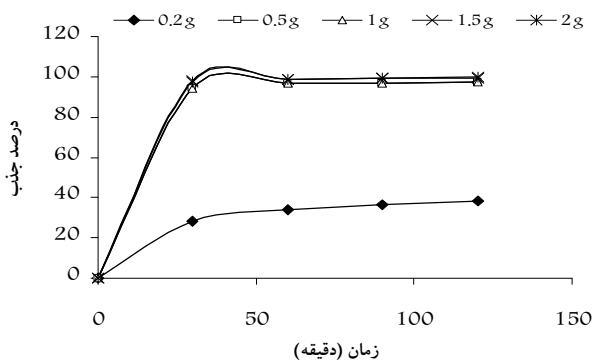
برای به دست آوردن معادلات ایزوترم، مقادیر مختلف از جاذب (۰/۲، ۰/۵، ۱، ۲، ۵ گرم) به مدت دو ساعت در تماس با ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۵۰ میلی گرم در لیتر از یون‌های مس، سرب و آهن قرار داده شد تا جذب به مقدار تعادلی خود برسد. سپس محلولها صاف و مقدار یون‌های فلزی موجود در محلول زیر صافی به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. معادلات تعادلی به کار رفته در این مطالعه، معادلات فروندلیچ و لانگمیر بودند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر زمان

شکل ۱ میزان درصد جذب یون‌های فلزی سنگین سرب، مس و آهن توسط جاذب مورد مطالعه را بر حسب زمان نشان می‌دهد. طبیعتاً با افزایش زمان تماس، به دلیل افزایش فرصت و شانس برخورد یون‌های فلزی با ذرات جاذب، مقدار جذب افزایش می‌یابد. لذا وقتی که زمان تماس بین جاذب و محلولهای حاوی یون‌های فلزی افزایش یابد میزان جذب یون‌های فلزی به وسیله جاذب بیشتر می‌شود. چنین رفتاری در زمان‌های تماس بین ۲۰ تا ۱۲۰ دقیقه مشاهده می‌گردد. یعنی درصد حذف یون‌های فلزی با افزایش مدت زمان بیشتر شده و پس از دو ساعت مقدار جذب یون‌های فلزی توسط جاذب، ثابت می‌گردد. به عبارت دیگر پس از ۱۲۰ دقیقه، تعادلی بین یون‌های فلزی جذب شده توسط فاز جامد (جاذب) و محلول در تماس با آن ایجاد می‌گردد و قرار دادن جذب شونده (یون‌های فلزی) در تماس با جاذب پس از زمان تعادل، تأثیر چندانی بر مقدار جذب نخواهد داشت.

۳-۳- تأثیر مقدار جاذب



شکل ۵- اثر مقدار جاذب بر درصد جذب آهن

۴-۳- محاسبه ظرفیت جذب

در این مرحله برای تعیین ظرفیت جاذب مورد نظر، مقدار ۰/۲ گرم جاذب برداشته شد و سپس بر روی آن حجمهای متفاوت ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی لیتر از محلول ده میلی گرم در لیتر یون‌های فلزی مورد نظر ریخته شد و به مدت دو ساعت بر روی همزن مغناطیسی قرار داده شد. سپس محلولها صاف شده و جذب محلول زیر صافی اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که هر گرم از جاذب، قابلیت تصفیه ۲۵۰ میلی لیتر از محلول حاوی عناصر سنگین را دارد. به عبارت دیگر ظرفیت جاذب مورد مطالعه برای هر یک از یون‌های مس، آهن و سرب به ترتیب ۹/۷۶، ۱۱/۱۹ و ۳/۰۱ میلی مول به ازای هر گرم از جاذب بود.

۵-۳- مطالعه ایزوترم های جذب سطحی

هدف از انجام آزمایش‌ها در این قسمت، تعیین ایزوترم جذب بود. امروزه برای توصیف رفتار جاذب، معادلات و ایزوترم‌های مختلفی توسعه پیدا کرده است [۱۲]. از جمله مدل‌هایی که برای توصیف روابط جذب مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل لانگمیر و مدل فروندلیچ است. این معادلات به منظور تعیین کمی سیستم‌های جذب سطحی تعادلی و ناهمگن به کار می‌رود. شکل عمومی این دو ایزوترم به صورت روابط ۱ و ۲ است

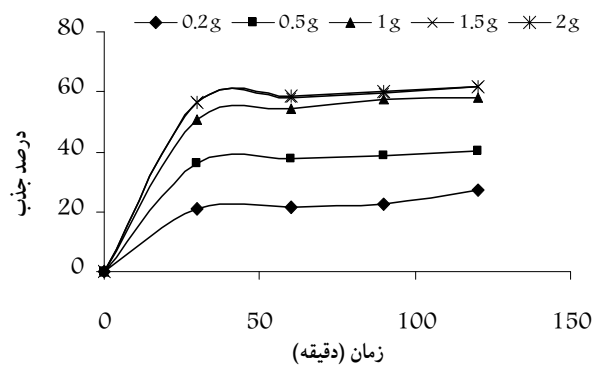
$$q_e = KC_e^{1/n} \quad (1) \text{ معادله فروندلیچ}$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{bq_0C_e} + \frac{1}{q_0} \quad (2) \text{ معادله لانگمیر}$$

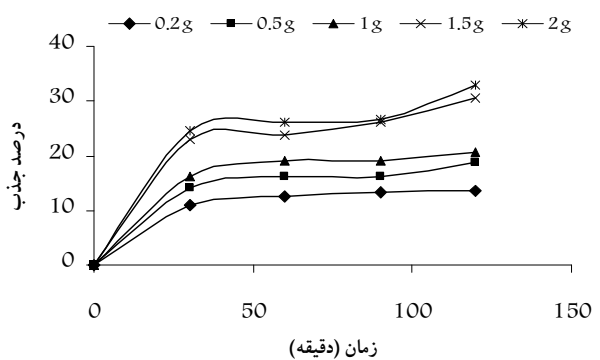
که در این روابط

q_e مقدار میلی گرم جذب شده به ازای واحد جرم جاذب در شرایط تعادل بر حسب میلی گرم بر گرم، C_e غلظت تعادلی آلاینده بر حسب میلی گرم در لیتر، q_{max} مقدار میلی گرم ماده جذب شده مورد نیاز برای ظرفیت تک لایه به ازای واحد جرم جاذب بر حسب میلی گرم بر گرم، ثابت b بر حسب لیتر بر میلی گرم که مربوط به

با افزایش مقدار جاذب تعداد جایگاههای قابل دسترس افزایش یافته و کارایی جاذب برای حذف یون‌های فلزی افزایش می‌یابد. مطالعه اثر مقدار جاذب بر روی درصد جذب مس، سرب و آهن در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. برای انجام این کار مقادیر وزنی مختلف از جاذب در تماس با ۱۰۰ میلی لیتر از محلول ۱۰ میلی گرم در لیتر از یون‌های فلزی قرار داده شد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد وقتی مقدار جاذب از ۰/۲ به ۲ گرم افزایش می‌یابد، درصد حذف آهن از ۳۸/۴۲ به ۹۹/۶۷ افزایش می‌یابد. همچنین این رفتار به صورت مشابه در مورد مس و سرب نیز مشاهده می‌گردد. از اینرو با افزایش وزن جاذب، درصد حذف فلزات سنگین به وسیله جاذب مورد مطالعه بیشتر خواهد شد. از طرفی مقایسه بین مقدار جذب شده یون‌های فلزی توسط روده خشک شده نشان می‌دهد که جاذب مورد مطالعه توانایی بیشتری برای تصفیه و جذب یون آهن دارد. که علت آنرا می‌توان به عوامل متعددی همچون خواص شیمیایی جاذب، گروه‌های عاملی موجود در آن، ساختار فیزیکی جاذب (تخلخل، مساحت سطح، اندازه ذرات) و نیز ماهیت شیمیایی آهن مانند قطبیت، وزن مولکولی و اندازه آن نسبت داد.



شکل ۳- اثر مقدار جاذب بر درصد جذب مس



شکل ۴- اثر مقدار جاذب بر درصد جذب سرب

قابلیت بسیار خوبی برای تصفیه یون‌های فلزی سنگین موجود در پساب فلزی صنعتی دارد (جدول ۲).

جدول ۲- کارایی جاذب مورد مطالعه در حذف فلزات سنگین

موجود در پساب صنعتی	
یون	درصد جذب
آهن	۸۶/۶-۹۸/۳
سرب	۶۸/۳-۸۳/۴
مس	۴۳/۷-۹۱/۰

۴- نتیجه‌گیری

امروزه بسیاری از محققان درصدد یافتن روش‌های ارزان‌تر و مناسب به‌منظور تصفیه پساب‌های صنعتی هستند تا جایگزین روش‌های پر هزینه تصفیه پساب همچون ترسیب شیمیایی، روش‌های تبادل یونی، جداسازی غشایی، اسمز معکوس، استخراج حلالی و سایر روش‌های معمول گردد. لذا با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین گفت که روده خشک شده می‌تواند به‌عنوان یک جاذب خوب برای حذف عناصر مس و آهن و سرب و آهن عمل نماید. این جاذب بالاترین جذب را در مورد عنصر آهن از خود نشان می‌دهد. مقدار جذب و تصفیه یون‌های فلزی سنگین وابسته به مقدار جاذب بوده و با افزایش مقدار جاذب می‌توان مقدار بیشتری از یون‌های فلزی را تصفیه نمود. جاذب مورد مطالعه در مقایسه با برخی از جاذب‌ها مانند حلزون بدون صدف که بر روی آنها مطالعه انجام شده، دارای سطح وسیع‌تری بوده و نیز دارای ظرفیت بیشتری برای حذف سرب است. در ضمن جاذب مورد مطالعه، حذف فلزات را در محدوده‌ی وسیعی از pH انجام می‌دهد. همچنین از این جاذب با موفقیت برای تصفیه پساب واحدهای تولیدکننده قطعات خودرو استفاده گردید.

۵- قدردانی

این تحقیق با حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهشی و نیز دفتر استعداد‌های درخشان دانشگاه سمنان انجام گرفته که به این وسیله از آنها تشکر و قدردانی می‌گردد.

انرژی اتصال است و k و n ثابت‌های وابسته به ظرفیت جذب و شدت جذب می‌باشند.

با استفاده از نتایج آزمایش‌ها، محاسبات لازم برای مدل‌های خطی لانگمیر و فروندلیچ انجام شد و پارامترها و ثابت‌های این دو ایزوترم اندازه‌گیری شد. مقدار عددی ثابت‌های محاسبه شده برای توصیف رفتار جذبی سه عنصر آهن، مس و سرب بر روی جاذب مورد مطالعه و نیز مقدار ضریب تعیین (R^2) برای هر یک از ایزوترم‌ها در جدول ۱ بیان شده است. مقایسه ضریب تعیین به‌دست آمده از رسم منحنی‌های هر یک از ایزوترم‌ها، می‌تواند به‌عنوان معیار مناسبی برای بیان تطبیق داده‌های تجربی و ایزوترم‌های مذکور باشد. لذا همان‌طور که در جدول نیز مشاهده می‌گردد ایزوترم لانگمیر نسبت به ایزوترم فروندلیچ مطابقت بیشتری با داده‌های تجربی دارد.

جدول ۱- محاسبه ثابت‌های ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمیر برای آهن

فلز	ایزوترم لانگمیر		ایزوترم فروندلیچ		مس و سرب
	R^2	b	R^2	$1/n$	
Fe	۰/۹۷۸	۰/۰۳۲	۰/۹۶۲۵	۰/۹۰۶	۰/۷۰۱
Cu	۰/۹۹۸۷	۰/۰۲۸	۰/۹۲۸۵	۳/۴۲	۰/۷۳۰
Pb	۰/۹۶۰۷	۰/۰۰۲۴	۰/۹۸۸۵	۱/۲۹	۰/۰۱۸

۳-۶- استفاده از جاذب مورد مطالعه به‌منظور تصفیه پساب

از جاذب مورد مطالعه برای تصفیه فلزات سنگین در پساب‌های صنعتی استفاده شد. به این منظور از پساب حاصل از چند واحد صنعتی تولیدی قطعات خودرو مستقر در شهر سمنان که حاوی یون‌های فلزی سنگین بود، نمونه‌برداری شد. نمونه مورد نظر به مدت دو ساعت در تماس با ۲ گرم از جاذب مورد مطالعه قرار داده شد. سپس پساب صاف شده و مقدار یون‌های فلزی موجود در محلول زیر صافی توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. بررسی نتایج آزمایش‌ها نشان داد که جاذب مورد مطالعه توانایی و

۶- مراجع

1- Matheichal, J. T., Yu, Q., and Feltham, J. (1997). "Cu (II) Binding by E. Radiata." *Biomaterial. Environ. Technol.*, 18 (1), 25-34.

۲- مظفریان، ک، مدائنی، س، و خشنودی، م. (۱۳۸۵). "ارزیابی عملکرد فرایند اسمز معکوس در حذف آرسنیک از آب." م. آب و

فاضلاب، ۲۲، ۶۰-۲۸.

۳- مسافری، م.، و مصداقی نیا، ع. (۱۳۸۴). "حذف آرسنیک از آب آشامیدنی با استفاده از آلومینای فعال اصلاح شده." م. آب و فاضلاب، ۵۵، ۲-۱۴.

4- Larson, V. J., and Schierup, H. H. (1981). "The use of straw for removal of metals from wastewater." *J. Environ. Qual.*, 10 (2), 188-193.

5- Cesar, R. T. T., Sergio, L. C. F., and Marco, A. Z. (2004). "Use of modified rice husks as a natural solid adsorbent of trace metals: Characterization and development of an on-line preconcentration system for cadmium and lead determination by FAAS." *J. Microchem.*, 77, 163-175.

۶- شاه‌محمدی، ز.، معاضد، ه.، جعفرزاده حقیقی، ن.، و پوررضا، ن. (۱۳۸۶). "بررسی تاثیر غلظت سدیم بی‌کربنات بر افزایش ظرفیت جاذب پوسته شلتوک در حذف کادمیم از محیط آبی." *مجله علوم دانشگاه شهید چمران*، ۱۷، ۱۲۶-۱۳۶.

7- Bhattacharya, A. K., Naiya, T. K., Mandel, S. N., and Das, S. K. (2008). "Adsorption, kinetics and equilibrium studies on removal of Cr(VI) from aqueous solutions using different low-cost adsorbents." *J. Chem. Eng.*, 137 (3), 529-541.

8- Cetin, S., and Pehlivan, E. (2007). "The use of fly ash as a low cost, environmentally friendly alternative to activated carbon for the removal of heavy metals from aqueous solutions." *Colloid Surface A*, 298 (1-2), 83-87.

9- Cay, S., Uyanik, A., and Ozasik, A. (2004). "Single and binary component adsorption of copper (II) from aqueous solution using tea-industry waste." *Sep. Purif. Technol.*, 38 (3), 273-280.

10- Namasivayam, C., Kumar, M. D., and Begum, R. A. (2001). "Waste coir pith-a potential biomass for the treatment of dyeing wastewaters." *Biomass Bioenerg.*, 21 (6), 477-483.

11- Annadurai, G., Juang, R. S., and Lee, D. J. (2002). "Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions." *J. Hazard. Mater.*, 92 (3), 263-274.

12- Batzias, F. A., and Sidiras, D. K. (2004). "Dye adsorption by calcium-chloride treated beech sawdust in batch and fixed-bed system." *Water Res.*, 38 (13), 2967-2972.

13- Ozacar, M., Sidiras, D. K., and Sengil, I. A. (2005). "Adsorption of metal complex dyes from aqueous solutions by pine sawdust." *Bioresour. Technol.*, 96 (7), 791-795.

14- Seader, J.D., and Henly, E. J. (2006). *Separation process principles*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York.

15- Odoemelam, S. A., and Eddy, N. O. (2009). "Studies on the use of oyster, snail and periwinkle shells as adsorbents for the removal of Pb²⁺ from aqueous solution." *J. of Chemistry*, 6 (1), 213-222.

۱۶- سعیدی، م.، جمشیدی، ا.، عابسی، ع.، و بیات، ج. (۱۳۸۸). "جذب کادمیم محلول از آب توسط زغال ساخته شده از پوست گردو و بادام و مقایسه آن با کربن فعال گرانولی." م. آب و فاضلاب، ۷۰، ۱۶-۲۲.