

Original article

Evaluation of Removal and Adsorption Isotherms of Zinc and Copper from Municipal Solid Waste Leachate Using Clinoptilolite Adsorbent

Ali Toolabi¹Ahmad Allahabadi²Mohammad Miri^{3*}Hamid Reza Karimi Sani⁴

- 1- Faculty Member, Environmental Health Engineering Department, School of Public Health, Bam University of Medical Sciences, Bam, Iran
- 2- Assistant Professor, Environmental Health Engineering Department, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
- 3- PhD Candidate of Environmental Health, Environmental Health Engineering Department, School of Public Health, Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran
- 4- BSc of Environmental Health, Environmental Health Engineering Department, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

*Corresponding author: Mohammad Miri, PhD Candidate of Environmental Health, Environmental Health Engineering Department, School of Public Health, Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

Email: M_miri87@yahoo.com

Received: 6 April 2016

Accepted: 20 June 2016

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Heavy metals are among the most important pollutants in leachate waste, causing serious health risks for humans through entering the food chain and reaching the top of food pyramid. Therefore, this study aimed to evaluate the efficacy of modified clinoptilolite in the removal of copper and zinc ions from landfill leachate and modeling of adsorption isotherms and reactions.

Methods: This cross-sectional in vitro study was conducted to test waste landfill leachate as a true sample for four seasons in 2014 in Bam, Iran. Natural zeolite (clinoptilolite), modified with 2 M HNO₃ solution, was used to remove copper and zinc. Experiments were conducted as batch systems, in which the effects of pH, adsorbent dosage, and contact time on the adsorption of heavy metals in municipal waste landfill leachate by clinoptilolite (as soil amendment) were investigated. Afterwards, the adsorption isotherms of each adsorbent were demonstrated.

Results: In total, the removal efficiency of zinc in the optimum pH=5, equalled time=120 min and Adsorbent dosage of 120g/l was reached 92%. Adsorption isotherms indicated that the capacity of this adsorbent was higher in zinc, compared to copper, and adsorbents were absorbed with higher energy. The adsorption process was based on Langmuir's equations (isotherm type II) (R²=0.99).

Conclusion: According to the results, adsorption capacity of clinoptilolite was high for copper and zinc and based on isotherm equations, adsorption took place with higher energy. It was concluded that this method could be used for the removal of these metals due to its high removal efficiency. Therefore, it is recommended that further studies be conducted to evaluate the possibility of removal of other heavy metals with this method.

Keywords: Adsorption Process, Clinoptilolite, Heavy metals (Copper, Zinc), Leachate, Municipal waste

► **Citation:** Toolabi A, Allahabadi A, Miri M, Karimi Sani HR. Evaluation of Removal and Adsorption Isotherms of Zinc and Copper from Municipal Solid Waste Leachate Using Clinoptilolite Adsorbent. Journal of Health Research in Community. Spring 2016;2(1): 37-45.

مقاله پژوهشی

بررسی میزان حذف و ایزوترم‌های جذب فلز روی و مس از شیرابه زباله شهری با استفاده از جاذب کلینوپتیلولایت

چکیده

مقدمه و هدف: از مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در شیرابه زباله، فلزات سنگین می‌باشند که با ورود به زنجیره غذایی و در نهایت رأس هرم غذایی، اثرات بهداشتی خطرناکی برای انسان ایجاد خواهند نمود. هدف از این مطالعه، بررسی کارایی کلینوپتیلولایت اصلاح شده در حذف یون‌های فلزات مس و روی از شیرابه محل دفن زباله و مدل‌سازی ایزوترم واکنش‌های جذب می‌باشد.

روش کار: مطالعه حاضر، از نوع مقطعی بوده و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. شیرابه زباله محل دفن شهر بم به‌عنوان یک نمونه واقعی در چهار فصل سال ۱۳۹۳ مورد آزمایش قرار گرفت. به‌منظور حذف مس و روی از ژئولیت طبیعی (کلینوپتیلولایت) اصلاح شده با محلول دو مولار HNO_3 استفاده شد. آزمایش‌ها در سیستم ناپیوسته انجام گرفت. تأثیر پارامترهای pH، دوز جاذب و زمان تماس بر جذب فلزات سنگین موجود در شیرابه محل دفن زباله‌های شهری توسط خاک کلینوپتیلولایت اصلاحی بررسی شد. سپس ایزوترم‌های جذب هر یک از دو جاذب تعیین گردید.

یافته‌ها: حذف فلز روی در pH بهینه ۵، زمان تماس تعادلی ۱۲۰ دقیقه و مقدار جاذب ۱۰۵ گرم بر لیتر به ۹۲ درصد رسید. همچنین حذف ۸۹ درصدی فلز مس در pH بهینه ۵، زمان تماس تعادلی ۱۶۵ دقیقه و مقدار جاذب ۹۰ گرم بر لیتر مشاهده شد. ایزوترم‌های جذب نشان دادند که ظرفیت این جاذب در جذب فلز روی بیشتر از مس بوده و با انرژی بیشتری جذب جاذب می‌شوند. فرآیند جذب از معادلات لانگمویر نوع دو تبعیت نمود ($R^2=0/99$).

نتیجه‌گیری: ظرفیت جذب فلزات مس و روی به‌وسیله کلینوپتیلولایت بالا بوده و طبق معادلات ایزوترم، جذب با انرژی زیادی صورت گرفت. با توجه به بازده حذف بالا، این روش برای حذف فلزات مذکور قابل طرح می‌باشد و مطالعات بیشتر برای بررسی امکان حذف سایر فلزات سنگین با این روش توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: فرآیند جذب، کلینوپتیلولایت، زباله‌های شهری، شیرابه، فلزات سنگین (روی و مس)

علی طولابی^۱احمد اله آبادی^۲محمد میری^{۳*}حمیدرضا کریمی ثانی^۴

۱. عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بم، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۳. دانشجوی دکتری بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی یزد، یزد، ایران
۴. کارشناس بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

* نویسنده مسئول: محمد میری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی یزد، یزد، ایران

Email: M_miri87@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۳۱

مقدمه

آلودگی آب‌های زیرزمینی و در نتیجه آلوده ساختن قسمتی از چرخه گردش آب و انتقال آلودگی به سایر منابع آب می‌باشد [۲،۳]. از مهم‌ترین مواد موجود در شیرابه زباله در مکان‌های دفن، آلاینده‌های خطرناک می‌باشند [۴]. به‌دلیل ترکیب متفاوت شیرابه زباله در مکان‌های دفن بهداشتی، تاکنون روش تصفیه منسجمی

با وجود پیشرفت‌هایی که در زمینه روش‌های مختلف دفع مواد زائد جامد و بازیافت آن‌ها صورت گرفته است، دفن زباله هنوز به‌عنوان یکی از روش‌های مطرح در سرتاسر جهان خودنمایی می‌کند [۱]. مشکل اصلی یک محل دفن زباله، قابلیت آن برای

همانند کربن فعال، زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولایت)، خاکستر فرار و هیدروکسید فریک دانهای را در حذف فلزات آرسنیک، مس، کادمیوم، سرب، نیکل و روی کارآمد دانستند [۲۵]. با توجه به اینکه فلزات روی و مس اثرات زیانباری بر محیط زیست و انسان دارند و در غلظت‌های بالا در شیرابه محل دفن هستند [۲۶، ۲۷]؛ بنابراین در مطالعه حاضر کارایی کلینوپتیلولیت اصلاح شده در جذب فلزات مس و روی از شیرابه محل دفن زباله‌های شهری شهر بم واقع در استان کرمان و تعیین ایزوترم‌های جذب آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

روش کار

نمونه برداری

این مطالعه از نوع مقطعی بوده و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. شیرابه زباله محل دفن شهر بم واقع در استان کرمان به‌عنوان یک نمونه واقعی در چهار فصل سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ مورد آزمایش قرار گرفت. در هر فصل ۱۶ نمونه چهار لیتری و در طول مدت مطالعه در مجموع ۶۴ نمونه از شیرابه زباله‌های شهر بم در ظرف مخصوص پلی‌اتیلن تهیه گردید. سپس غلظت فلزات مس و روی در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu Model AA 670, Japan تعیین شد.

آماده‌سازی و اصلاح جاذب

مقدار یک کیلوگرم جاذب کلینوپتیلولایت که به شکل بلوری بود، از معادن شهر میانه تهیه گردید. پس از انتقال به آزمایشگاه، برای انجام آزمایشات در اندازه ۲۰۰ مش (200-mesh) آماده شد. سپس برای حذف گرد و غبار و دیگر ناخالصی‌های موجود در جاذب، سه مرتبه به‌وسیله آب دوبار تقطیر شده شستشو و آبکشی صورت گرفت. در مرحله بعدی جاذب به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه فور با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. با توجه به پیش‌آزمایشاتی که قبل از اصلاح جاذب مذکور بر روی جذب

برای آن ارائه نشده است [۵]. در بسیاری از نقاط جهان، شیرابه زباله‌ها معمولاً بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای در محیط رها شده که سبب آلودگی محیط پیرامون می‌شوند [۶]. از مهم‌ترین آلاینده‌های خطرناک موجود در شیرابه، فلزات سنگین می‌باشند [۷]. این فلزات از راه منابع مختلفی مانند: استفاده از حشره‌کش‌ها، واکس‌ها، علف‌کش‌ها، باتری‌های ماشین، عایق‌ها و وسایل ساختمانی وارد پسماند‌های شهری می‌گردند [۸، ۹]. براساس بررسی‌های سازمان بهداشت جهانی، مشخص شده است که تعداد زیادی از مردم به روش‌های مختلف در معرض مخاطرات بهداشتی ناشی از فلزات سنگین قرار دارند [۴]. از عوارض نامطلوب آن‌ها مسمومیت، اسهال و استفراغ، سقط جنین و نارسای نوزاد، اختلال سیستم عصبی، آسیب به مغز، ناباروری مردان، کاهش قدرت یادگیری، اختلالات رفتاری در کودکان را می‌توان نام برد [۸-۱۱]. روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از شیرابه زباله از جمله روش‌های تبادل یونی و جذب وجود دارد [۱۲-۱۴]. این فرآیندها می‌تواند با مواد مبادله‌کننده و یا جاذب‌های گوناگون از جمله جاذب‌های طبیعی مانند بوکست، بنتونیت، کلینوپتیلولایت و خاکستر فرار شوند [۱۳-۱۶]. جذب فرآیندی است که طی آن ماده‌ای که در حالت محلول قرار دارد، روی سطح ماده مناسب دیگری تجمع می‌یابد [۱۷، ۱۸]. در حقیقت جذب عمل انتقال از فاز مایع به فاز جامد است که توسط موادی مانند کربن فعال، پلیمرهای مصنوعی و جاذب‌های معدنی انجام می‌شود [۱۹]. طبق مطالعات انجام‌شده توسط Kilic و همکاران، Rodriguez و همکاران، Umar و همکاران و Mojiri و همکاران، فرآیند جذب در حذف آلاینده‌های موجود در لندفیل‌ها کارایی بالایی دارد [۲۰-۲۳]. Long و همکاران در سال ۲۰۱۰ در چین میزان فلزات مس و روی موجود در زباله‌های شهری را مورد بررسی قرار دادند. طی مطالعه آن‌ها مشخص شد که میزان فلزات مس و روی در زباله‌های شهری به‌ترتیب ۴۱/۲-۱۶۴۳/۷ و ۱۰۹/۳-۱۰۷۷/۹ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده است [۲۴]. Fuhrman و همکاران در سال ۲۰۰۷ در دانمارک، استفاده از جاذب‌های معدنی

ایزوترم‌های جذب

ایزوترم جذب و حداکثر ظرفیت جذب جاذب‌ها با استفاده از مدل‌های لانگمیر، فروندلیچ بررسی گردید [۲۹،۳۰]. مدل فروندلیچ به ناهمگنی سطوح جاذب اشاره دارد و مدل لانگمیر به در دست بودن سطح محدودی از ماده برای جذب سطحی اشاره دارد. معادله لانگمیر به این صورت بیان می‌شود:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_o b} + \frac{C_e}{Q_o} \quad (1)$$

که در آن C_e غلظت تعادلی محلول (میلی گرم بر لیتر)، q_e مقدار فلز جذب شده در زمان تعادلی (میلی گرم بر گرم)، Q_{max} (میلی گرم بر گرم) و b (لیتر بر میلی گرم) به ترتیب فاکتورهای مربوط به ظرفیت جذب و انرژی جذب می‌باشند. معادله فروندلیچ به این صورت بیان می‌شود:

$$q_e = k_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

$$\text{Log} q_e = \text{Log} k_f + \frac{1}{n} \text{Log} C_e \quad (3)$$

که k_f و $1/n$ ضرایب مربوط به ظرفیت جذب و شدت جذب می‌باشند.

یافته‌ها

خصوصیات شیرابه خام

مشخصات شیرابه خام مرکز دفن زباله شهر بم در جدول ۱ آمده است. با توجه به جدول، pH شیرابه در محدوده خنثی بیشتر است و همچنین غلظت فلز مس بیشتر از روی می‌باشد.

جدول ۱: میانگین pH و غلظت فلزات مس و روی موجود در شیرابه خام شهر بم از مهر ۱۳۹۰ تا شهریور ۱۳۹۱

| فلزات | تعداد نمونه | میانگین دما درجه سانتی‌گراد | pH میانگین | غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر لیتر) | |
|-------|-------------|-----------------------------|------------|-------------------------------------|--------|
| | | | | میانگین | حداکثر |
| روی | ۶۴ | ۲۵ | ۷/۵ | ۸/۲ | ۱۱/۲ |
| مس | ۶۴ | ۲۵ | ۷/۵ | ۹/۱ | ۱۳/۴ |

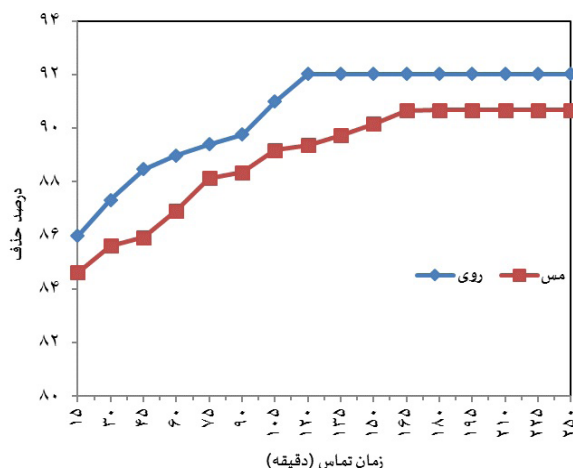
فلزات مس و روی انجام گرفت، جهت افزایش بازده جذب فلزات، جاذب کلینوپتیلولایت با استفاده از محلول دو مولار HNO_3 به مدت ۲۴ ساعت اصلاح گردید. بدین منظور در یک ظرف یک لیتری مقداری از جاذب در تماس با محلول HNO_3 قرار گرفت. در طول فرآیند اصلاح جاذب، به منظور افزایش تماس جاذب با ماده احیاکننده از همزن مغناطیسی با دور ۲۰۰ دور در دقیقه استفاده گردید و سپس جاذب در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد [۲۸].

روش آزمایش

جهت تعیین زمان تماس بهینه، مقدار ۱۵ گرم از جاذب احیاشده در pH خنثی با دور ۲۴۰ دور در دقیقه طبق مطالعات قبلی با استفاده از دستگاه جار با حجم یک لیتر از شیرابه در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵، ۱۲۰، ۱۳۵، ۱۵۰، ۱۶۵، ۱۸۰، ۱۹۵، ۲۱۰، ۲۲۵ و ۲۵۰ دقیقه تماس داده شد. پس از تعیین زمان تماس بهینه، جهت مشخص نمودن pH بهینه از مقادیر pH های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ استفاده شد. سپس با کمک زمان تماس و pH بهینه به دست آمده در مرحله قبلی برای هر فلز، جهت به دست آوردن دوز جاذب بهینه نیز از مقادیر مختلف جاذب (۵، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵، ۱۲۰ و ۱۴۰ گرم بر لیتر) استفاده شد. در نهایت به منظور تعریف جرم جذب شده از ماده جذب شونده به ازای واحد جرم ماده جاذب، مدل‌های ایزوترمی مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری pH از pH متر مدل Suntex TS-1, Germany استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط آنالیز پروبیت و با کمک نرم‌افزار SPSS 16 صورت گرفت. به منظور بررسی رفتار جذب فلزات مس و روی بر روی سطح جاذب از دو مدل ایزوترمی لانگمیر و فروندلیچ استفاده شد.

تأثیر زمان تماس

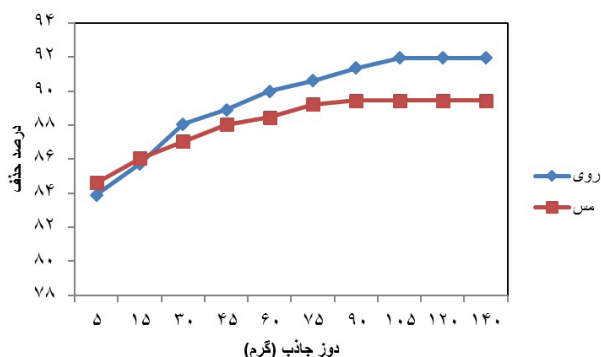
نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها تحت تأثیر زمان‌های مختلف در نمودار ۱ آمده است. زمان تماس تعادلی برای حذف فلزات مس و روی به ترتیب ۱۶۵ (۹۰/۶۵ درصد) و ۱۲۰ (۹۲/۰۲۴ درصد) دقیقه بود.



نمودار ۱: تأثیر زمان تماس در حذف فلزات مس و روی، pH خنثی و ۱۵ گرم جاذب اصلاح شده، غلظت اولیه روی ۸/۲ میلی گرم در لیتر و غلظت اولیه مس ۹/۱ میلی گرم در لیتر

تأثیر دوز جاذب

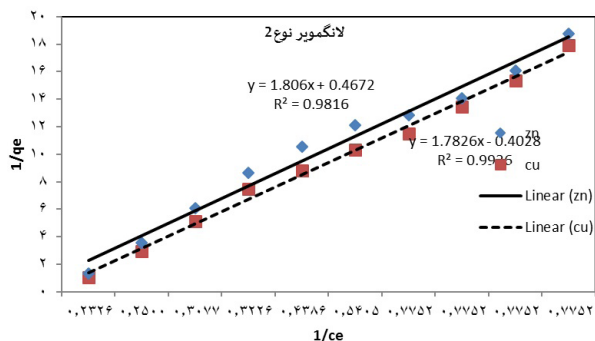
تأثیر تغییرات مقدار جاذب در حذف روی و مس در نمودار ۳ آمده است. دوز بهینه برای جذب فلزات مس و روی به ترتیب برابر ۹۰ و ۱۰۵ گرم بر لیتر به دست آمد.



نمودار ۳: تأثیر دوز جاذب در حذف فلزات مس و روی، pH، بهینه ۵ و زمان تماس ۱۶۵ و ۱۲۰ دقیقه، غلظت اولیه روی ۸/۲ میلی گرم در لیتر و غلظت اولیه مس ۹/۱ میلی گرم در لیتر

ایزوترم‌های جذب

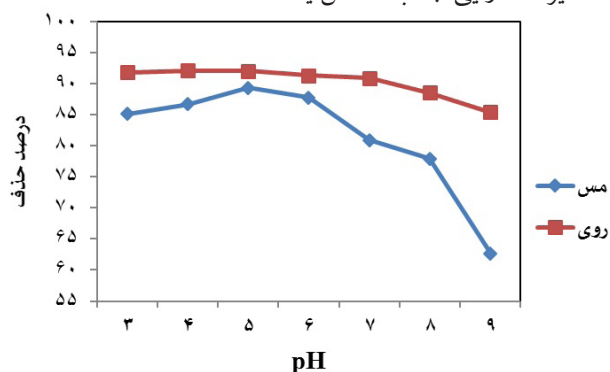
به منظور تعریف جرم جذب شده از ماده جذب شونده به ازای واحد جرم ماده جاذب، از مدل‌های ایزوترمی لانگمویر و فروندلیچ استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی تعیین تبعیت فرآیند جذب معادلات فروندلیچ و لانگمویر به ترتیب در جدول ۲ و ۳ و نمودارهای ۴ و ۵ آمده است. با توجه به نتایج حاصل شده،



نمودار ۴: معادلات به دست آمده از آنالیز نمونه‌ها با استفاده از مدل لانگمویر نوع ۲

تأثیر pH

نتایج حاصل از تأثیر pH در نمودار ۲ نشان داده شده است. برای هر دو فلز، pH بهینه برابر ۵ به دست آمد و با افزایش pH از ۵ تا ۹ میزان کارایی جذب کاهش یافت.



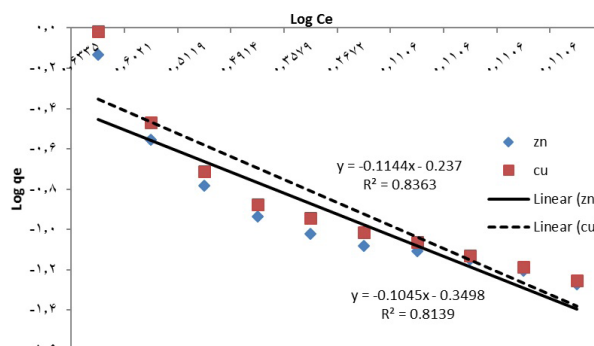
نمودار ۲: تأثیر pH در حذف فلزات مس و روی، زمان به ترتیب ۱۶۵ و ۱۲۰ دقیقه و دوز جاذب ۱۵ گرم، غلظت اولیه روی ۸/۲ میلی گرم در لیتر و غلظت اولیه مس ۹/۱ میلی گرم در لیتر

جدول ۳: نتایج حاصل از مطالعه ایزوترم‌های جذب مدل لانگمویر*

| نوع فلز | | پارامترهای ایزوترم | نوع ایزوترم |
|----------------|-------|--------------------|-------------|
| مس | روی | | |
| لانگمویر نوع ۱ | ۲۱۳ | ۲۰۱ | Q_m |
| | ۰/۰۸۳ | ۰/۰۸ | K_L |
| | ۰/۷۸۹ | ۰/۹ | R^2 |
| لانگمویر نوع ۲ | ۲۱۲ | ۱۸۶ | Q_m |
| | ۰/۲۵ | ۰/۱۸۱ | K_L |
| | ۰/۹۸۲ | ۰/۹۹۳ | R^2 |
| لانگمویر نوع ۳ | ۱۶۳ | ۱۷۹/۸ | Q_m |
| | ۰/۱۸۵ | ۰/۱۶۵ | K_L |
| | ۰/۵۶۵ | ۰/۶۳۸ | R^2 |
| لانگمویر نوع ۴ | ۱۸۴ | ۱۵۳ | Q_m |
| | ۰/۳۱۵ | ۰/۲۱۸ | K_L |
| | ۰/۷۳۲ | ۰/۸۱۸ | R^2 |

* میانگین غلظت اولیه فلزات مس و روی به ترتیب ۹/۱ و ۸/۲ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار جاذب (مس=۹۰، روی=۱۰۵) گرم بر لیتر، pH برابر ۵

فلزات بود. این مدت به ترتیب در زمان تعادلی ۱۶۵ و ۱۲۰ دقیقه به دست آمد. pH میانگین شیرابه در محدوده خنثی بود، علت این امر می‌تواند عمر بالای محل دفن (بیشتر از ۱۰ سال) و شیرابه کهنه باشد [۱۹]. در محیط‌های اسیدی کارایی فرآیند جذب بهتر بود؛ به طوری که با افزایش pH از ۳ تا ۵ میزان جذب فلزات افزایش یافت. در pH برابر ۵ بیشترین مقدار جذب فلزات روی و مس مشاهده شد و از pH ۵ تا ۹ میزان جذب کاهش یافت. دلیل این امر کارایی بالای زئولیت‌های کاتیونی در محیط‌های اسیدی می‌باشد. تشکیل یون هیدروژن بر روی جاذب باعث افزایش فرآیند تبادل یون در محیط آبی شده، در نتیجه یون‌های فلزی بر روی باندهای مشخص شده جاذب که دارای H^+ است، به خوبی جایگزین می‌گردند. به این دلیل در مطالعه حاضر جهت فراهم نمودن محیط اسیدی، جاذب کلینوپیتیلولایت با محلول دو مولار HNO_3 اصلاح



نمودار ۵: معادلات به دست آمده از آنالیز نمونه‌ها با استفاده از مدل فروندلیچ

جدول ۲: نتایج حاصل از مطالعه پارامترهای ایزوترم جذب مدل فروندلیچ برای جذب فلزات مس و روی *

| مس | | | روی | | | مقدار جاذب (گرم بر لیتر) |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|
| K_f | n | R^2 | K_f | n | R^2 | |
| ۰/۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹ | ۰/۷۵ | ۰/۹۱ | ۰/۸۹ | ۵ |
| ۰/۷۱۶ | ۰/۹۴ | ۰/۸۹ | ۰/۷۷ | ۰/۹۱۶ | ۰/۷۹ | ۱۵ |
| ۰/۷۴۴ | ۰/۸۹ | ۰/۸۳ | ۰/۷۸۶ | ۰/۹۳۴ | ۰/۸۴ | ۳۰ |
| ۰/۸۱ | ۰/۹۱ | ۰/۸۱ | ۰/۷۹۱ | ۰/۹۳۷ | ۰/۸۲ | ۶۰ |
| ۰/۸۴۵ | ۰/۷۳ | ۰/۸۶ | ۰/۸۳ | ۰/۹۴۶ | ۰/۸۱۴ | ۷۵ |
| ۰/۸۴۹ | ۰/۸۳ | ۰/۸۶ | ۰/۸۶۴ | ۰/۹۵۱ | ۰/۸۱۲ | ۹۰ |
| ۰/۸۷۸ | ۰/۶۷ | ۰/۸۴ | ۰/۸۷۵ | ۰/۹۶۸ | ۰/۸۱ | ۱۰۵ |
| ۰/۸۸۵ | ۰/۷۶ | ۰/۸۲ | ۰/۹۲۱ | ۰/۹۶۹ | ۰/۸۴۵ | ۱۲۰ |
| ۰/۸۹۶ | ۰/۶۹ | ۰/۸ | ۰/۹۳۷ | ۰/۹۷۲ | ۰/۸۸۲ | ۱۴۰ |

* میانگین غلظت اولیه فلزات مس و روی به ترتیب ۹/۱ و ۸/۲ میلی‌گرم بر لیتر و pH برابر ۵، مقدار جاذب گرم بر لیتر (۹۰ و ۱۰۵ دقیقه)

هر دو فلز از مدل جذب لانگمویر نوع ۲ تبعیت می‌کنند.

بحث و نتیجه‌گیری

با افزایش زمان تماس، کارایی جذب افزایش یافت. دلیل این امر افزایش تماس و برخورد بیشتر میان جسم جاذب و

آلمان در سال ۲۰۰۷ صورت گرفت، هم‌خوانی داشت [۳۱]. استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) برای یون‌های روی و مس در آب‌های آشامیدنی به ترتیب ۳ و ۲ میلی‌گرم در لیتر و برای آب‌های سطحی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تعریف شده است [۳۳]. با توجه به کاهش غلظت یون روی به ۰/۶۴۵ میلی‌گرم در لیتر و کاهش یون مس به ۰/۸۴۹ میلی‌گرم در لیتر، این جاذب قادر است یون‌های مورد بررسی را تا حد استاندارد آب آشامیدنی کاهش دهد.

ظرفیت جذب فلزات مس و روی به وسیله کلینوپتیلولایت بالا بوده و طبق معادلات ایزوترم، جذب با انرژی زیادی صورت گرفت. با توجه به بازده حذف بالا، این روش برای حذف فلزات مذکور قابل طرح می‌باشد. پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتر برای بررسی امکان حذف سایر فلزات سنگین با این روش انجام شود.

قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از مسئولین آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی بم و کلیه کسانی که در این پژوهش یاری کرده‌اند کمال تقدیر و تشکر را نمایند.

References

1. Salem Z, Hamouri K, Djemaa R, Allia K. Evaluation of landfill leachate pollution and treatment. *Desalination* 2008; 220(1):108-14.
2. Deng Y, Englehardt JD. Treatment of landfill leachate by Fenton process. *Water Res* 2006; 40(20):3683-94.
3. Bohdziewicz J, Kwarciak A. The application of hybrid system UASB reactor-RO in landfill leachate treatment. *Desalination* 2008; 222(1):128-34.
4. Ward ML, Bitton G, Townsend T. Heavy metal binding capacity (HMBC) of municipal solid waste landfill leachates. *Chemosphere* 2005; 60(2):206-15.
5. Christensen TH, Kjeldsen P, Bjerg PL, Jensen DL, Christensen JB, Baun A, et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Appl Geochem* 2001; 16(7):659-718.
6. Gupta VK, Rastogi A. Biosorption of lead from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species: kinetics and equilibrium studies. *J Hazard Mater* 2008; 152(1):407-14.
7. Adriano DC. Cadmium. Trace elements in the terrestrial environments. New York: Springer; 2001.
8. Mico C, Recatal L, Peris M, Sanchez J. Assessing

گردید. نتایج به دست آمده با مطالعه Fuhrman و همکاران که در سال ۲۰۰۷ در دانمارک انجام شد، هم‌خوانی داشت [۳۱]. با افزایش وزن جاذب کارایی حذف فلزات افزایش یافت. این امر به دلیل عوامل دینامیکی مانند افزایش میزان برخورد و افزایش باندهای آزاد بر روی جاذب است که این تبعیت با معادلات ایزوترم‌های جذب محرز شد. این نتایج مشابه مطالعه‌ای بود که Pitcher و همکاران در سال ۲۰۰۴ در سوریه انجام دادند [۳۲]. q_m به دست آمده از مدل‌های لانگمویر، نشان‌دهنده میزان جذب یون‌های فلزی لازم برای تشکیل تک لایه‌ای می‌باشد که این مقدار در جذب فلز روی بالاتر از مس بود. این امر نشان می‌دهد که مقادیر بیشتری از فلز روی برای تشکیل تک لایه لازم است. به همین دلیل ظرفیت جذب روی بالاتر از مس می‌باشد. مقادیر k_f و n در مدل فروندلیچ نشان‌دهنده انرژی جذب می‌باشند. بیشترین مقدار k_f و n مربوط به جذب فلز روی بود. با توجه به مدل‌های لانگمویر در مطالعه حاضر مقادیر k_f در بهترین حالت جذب برای فلزات مس و روی به ترتیب ۰/۱۸۱ و ۰/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد؛ بنابراین فلز روی نسبت به فلز مس با انرژی بیشتری جذب جاذب کلینوپتیلولایت می‌شود. فرآیند جذب از معادلات لانگمویر نوع ۲ تبعیت نمود ($R^2=0/99$). نتایج مطالعه حاضر با مطالعه‌ای که توسط Fuhrman و همکاران در

- heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere* 2006; 65(5):863-72.
9. Suna Erses A, Fazal MA, Onay TT, Craig WH. Determination of solid waste sorption capacity for selected heavy metals in landfills. *J Hazard Mater* 2005; 121(1-3):223-32.
 10. Montazer-Rahmati MM, Rabbani P, Abdolali A, Keshtkar AR. Kinetics and equilibrium studies on biosorption of cadmium, lead, and nickel ions from aqueous solutions by intact and chemically modified brown algae. *J Hazard Mater* 2011; 185(1):401-7.
 11. Ward ML, Bitton G, Townsend T. Heavy metal binding capacity (HMBC) of municipal solid waste landfill leachates. *Chemosphere* 2005; 60(2):206-15.
 12. Sprynskyy M. Solid-liquid-solid extraction of heavy metals (Cr, Cu, Cd, Ni and Pb) in aqueous systems of zeolite-sewage sludge. *J Hazard Mater* 2009; 161(2-3):1377-83.
 13. Cincotti A, Lai N, Orrù R, Cao G. Sardinian natural clinoptilolites for heavy metals and ammonium removal: experimental and modeling. *Chemical Engin* 2001; 84(3):275-82.
 14. Mohan S, Gandhimathi R. Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent. *J Hazard Mater* 2009; 169(1-3):351-9.
 15. Long Y, Shen DS, Wang HT, Lu WJ, Zhao Y. Heavy metal source analysis in municipal solid waste (MSW): case study on Cu and Zn. *J Hazard Mater* 2010; 186(2-3):1082-7.
 16. Genc-Fuhrman H, Mikkelsen PS, Ledina A. Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: experimental comparison of 11 different sorbents. *Water Res* 2007; 41(3):591-602.
 17. 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. *J Health Res Community* 2015; 1(2):1-11 (Persian).
 18. Miri M, Ghaneyan MT, Shahriari A, Fallahzaeh RA. The performance of powder residues of Rosewater in DE colorization reactive red 19 from synthetic textile wastewater. *J Health Res Community* 2016; 1(4):28-36 (Persian).
 19. George T, Franklin LB, Stensel HD. *Wastewater engineering, treatment and reuse*. 4th ed. New York: Metcalf & Eddy; 2003. P. 1138-45.
 20. Yalili M, Kestioglu K, Yonar T. Landfill leachate treatment by the combination of physicochemical methods with adsorption process. *J Biol Environ Sci* 2007; 1(1):37-43.
 21. Rodriguez J, Castrillon L, Maranon E, Sasre H, Fernandez E. Removal of non-biodegradable organic matter from landfill leachates by adsorption. *Water Res* 2004; 38(14-15):3297-303.
 22. Umar SI, Kuttu SRM, Isa MH, Aminu N, Henry E, Rahim AF. Biomass as low-cost adsorbents for removal of heavy metals from aqueous solution: a review of some selected biomass. New York: InCIEC Springer; 2015. P. 973-87.
 23. Mojiri A, Aziz HA, Tajuddin RM. Sulfide, phenols and chromium (VI) removal from landfill leachate and domestic wastewater by ZELIAC, zeolite and activated carbon augmented sequencing batch reactor (SBR). *Res J Environ Toxicol* 2015; 9(4):179.
 24. Long YY, Shen DS, Wang HT, Lu WJ, Zhao Y. Heavy metal source analysis in municipal solid waste (MSW): case study on Cu and Zn. *J Hazard Mater* 2010; 186(2-3):1082-7.
 25. Genc-Fuhrman H, Mikkelsen PS, Ledina A. Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: experimental comparison of 11 different sorbents. *Water Res* 2007; 41(3):591-602.
 26. Zhang X, Yang L, Li Y, Li H, Wang W, Ye B. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. *Environ Monit Assess* 2012; 184(4):2261-73.
 27. Wongsasuluk P, Chotpantararat S, Siri Wong W, Robson M. Heavy metal contamination and human health risk assessment in drinking water from shallow groundwater wells in an agricultural area in Ubon Ratchathani province, Thailand. *Environ Geochem Health* 2014; 36(1):169-82.
 28. American Public Health Association, American Water Works Association. *Standard methods for the examination of water and wastewater: selected analytical methods approved and cited by the United States Environmental Protection Agency*. Washington, DC: American Public Health Association; 2005.
 29. Freundlich HM. Over the adsorption in solution. *J Phys Chem* 1906; 57(385471):1100-7.
 30. Langmuir I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. part I. solids. *J Am Chem Soci* 1916; 38(11):2221-95.
 31. Genc-Fuhrman H, Mikkelsen PS, Ledina A. Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: experimental comparison of 11 different sorbents. *Water Res* 2007; 41(3):591-602.

32. Pitcher S, Slade RC, Wards NI. Heavy metal removal from motorway stormwater using zeolites. *Sci Total Environ* 2004; 334(335):161-6.

33. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: recommendations. Geneva: World Health Organization; 2004.