

Investigation of removal of Zinc Metal from leachate Using Modified Banana Skin adsorbent

Maryam Bahiraei

Environmental Health Expert of Hamedan Municipality, Iran. Corresponding author: m1.bahiraei1367@gmail.com

Received: 2022/12/31

Accepted: 2022/03/18

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and purpose: Urban waste leachate, containing organic matter, minerals, and heavy metals, is a significant environmental issue that requires treatment. Surface absorption is one method employed to absorb contaminants using adsorbent materials. This study aims to investigate the efficiency of zinc removal from landfill waste leachate in Hamadan city using an adsorbent made from banana skin modified with an acidic solution.

Materials and Methods: In this descriptive-analytical study, various variables such as contact time, adsorbent amount, pH, and concentration were examined to determine their impact on the efficiency of Zn metal removal from leachate. To analyze the interaction between the adsorbent and the absorbed object, the Langmuir and Freundlich isotherm absorption models were employed. Additionally, the adsorption kinetics of the first and second-order pseudo-adsorption were used to investigate the rate of the adsorption process.

Results: The highest efficiency of zinc removal (92%) was achieved using the modified banana fruit skin adsorbent at the optimum conditions of pH 7, contact time of 70 minutes, adsorbent amount of 6 g/l, and concentration of 1 mg/l. The maximum adsorption capacity of the adsorbent was determined to be 34 mg/g. The results indicated that the desired process followed the Langmuir adsorption isotherm model, and its kinetics conformed to the second-order pseudo-reaction.

Conclusion: The utilization of naturally occurring adsorbent, banana fruit skin modified with a nitric acid solution, exhibited a high capacity for removing zinc metal from leachate. It can serve as a suitable alternative to mitigate the problems associated with conventional chemical adsorption methods.

Keywords: Waste Leachate, Zinc metal, Surface Absorption, Banana Skin, Hamedan

► **Citation:** Bahiraei M. Investigation of removal of Zinc Metal from leachate Using Modified Banana Skin adsorbent. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2023; 9(2): 133-145.

بررسی حذف فلز روی از شیرابه با استفاده از جاذب پوست موز اصلاح شده با محلول اسیدی

مریم بحیرایی

کارشناس بهداشت محیط، شهرداری همدان، همدان

ایران، نویسنده مسئول:

m1.bahiraiei1367@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۷

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: شیرابه زباله شهری به دلیل داشتن مواد آلی، مواد معدنی و فلزات سنگین، یکی از مشکلات محیط زیست به شمار می‌رود که نیاز به تصفیه دارد. جذب سطحی، یکی از روش‌های مورد استفاده در جذب آلاینده‌ها توسط مواد جاذب می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی حذف فلز روی از شیرابه محل دفن زباله شهر همدان توسط جاذب پوست موز اصلاح شده توسط محلول اسیدی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در مطالعه توصیفی-تحلیلی حاضر، اثر متغیرهای زمان تماس، مقدار جاذب، pH و غلظت بر کارایی حذف فلز روی از شیرابه انجام گرفت. جهت بررسی چگونگی فعل و انفعال بین جاذب و جسم جذب شونده از مدل‌های جذب ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ و بررسی سرعت فرآیند جذب از سینتیک جذب شبه مرتبه اول و دوم استفاده شد.

یافته‌ها: بیشترین کارایی حذف فلز روی (۹۲٪) توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده در pH بهینه ۷، زمان تماس ۷۰ دقیقه، مقدار جاذب ۶ گرم بر لیتر و غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر رخ داد. حداکثر ظرفیت جذب جاذب نیز ۳۴ میلی‌گرم بر گرم تعیین گردید. نتایج نشان داد که رفتار فرآیند موردنظر از مدل ایزوترمی جذب لانگمویر تبعیت کرده و سینتیک آن بر واکنش شبه مرتبه دوم منطبق می‌شود.

نتیجه‌گیری: استفاده از جاذب طبیعی پوست موز اصلاح شده با محلول اسید نیتریک، توانایی بالایی در حذف فلز روی از شیرابه را دارد و می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای کاهش مشکلات ناشی از جاذب‌های متداول شیمیایی استفاده گردد.

کلید واژه‌ها: پوست موز، جذب سطحی، شیرابه زباله، فلز روی، همدان

از مهم‌ترین خطرهای دفن زباله بر بهداشت انسان می‌توان آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از شیرابه زباله‌ها را نام برد (۱). شیرابه به‌عنوان یک سیال مایع شناخته شده است که تولید آن نتیجه بارش‌ها در میان پسماندها، فرآیند بیوشیمیایی در پسماندها و محتوای آبی خود پسماندها است (۲). شیرابه ممکن است حاوی غلظت بالای چندین آلاینده خطرناک به‌صورت همزمان باشد. مواد آلی مقاوم به تجزیه زیستی، مواد معدنی و فلزات سنگین از اجزای اصلی شیرابه زباله هستند که اغلب به‌واسطه اثرات ناخوشایند بر انسان و محیط زیست نگران‌کننده می‌باشند و در نتیجه این شیرابه از نظر تصفیه‌پذیری مشکل و هزینه‌بردار می‌باشد (۳-۵). ترکیب شیرابه محل‌های دفن بسته به طبیعت مواد زائد جامد، ویژگی‌های خاک، الگوی ریزش باران و سن مکان دفن تغییر می‌کند (۶). به‌دلیل ترکیب متفاوت شیرابه زباله در مکان‌های دفن بهداشتی، تاکنون روش تصفیه منسجمی برای آن ارائه نشده است (۷، ۸). در بسیاری از نقاط جهان، شیرابه زباله‌ها معمولاً بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای در محیط رها شده که سبب آلودگی محیط پیرامون می‌شوند (۹). فلزات از راه منابع مختلفی مانند استفاده از حشره‌کش‌ها، واکس‌ها، علف‌کش‌ها، باتری‌های ماشین، عایق‌ها و وسایل ساختمانی وارد پسماندهای شهری می‌گردند (۱۰، ۱۱). روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محلول از جمله روش‌های تبادل یونی، رسوب، تبخیر، آهک‌دهی، شناورسازی و انعقاد، سیمانی شدن و کمپلکس شدن، عصاره‌گیری حلال، اسمز معکوس، جذب سطحی، روش‌های الکتروشیمیایی و فرآیندهای فیلتراسیون است، وجود دارد (۱۲-۱۵). فرآیندهای معمول برای حذف فلزات سنگین از محلول نظیر اسمز معکوس، رزین‌های تعویض یون و ته‌نشین شیمیایی و غیره بسیار هزینه‌بر هستند. روش جذب فرآیندی است که طی آن ماده‌ای که در حالت محلول قرار دارد، روی سطح ماده مناسب دیگری تجمع می‌یابد. در سال‌های اخیر کاربرد محصولات جانبی و پسماندهای کشاورزی مانند پوست درختان، خاک اره، پوسته‌های بادام زمینی، پسته

کوهی، سبوس برنج و چوب‌های ذرت به‌منظور جذب سطحی فلزات سنگین از پساب‌ها بسیار کارآمد و مقرون به‌صرفه بوده است. این مواد زائد بیولوژیکی از یک‌سو بسیار فراوان و دردسترس می‌باشند و از سوی دیگر استفاده خاصی از آنها نمی‌شود (۱۶). در برخی موارد یک‌سری عملیات پیش تصفیه جهت اصلاح و بالا بردن کارایی جاذب‌ها بر روی آنها اعمال می‌گردد. این عملیات بیشتر شامل در تماس قرار دادن این جاذب‌ها با محلول‌های اسیدی، بازی و برخی ترکیبات آلی می‌باشد. این مواد، ترکیبات آلی محلول را از جاذب‌ها خارج نموده، رنگ را حذف می‌کند و منجر به افزایش ظرفیت جذب جاذب می‌گردد (۱۷). نتایج مطالعه تارلی و همکاران بیانگر آن بود که اصلاح پوسته برنج با محلول هیدروکسید سدیم منجر به ۲ برابر شدن ظرفیت جذب کادمیوم می‌گردد (۱۸). نتایج مطالعه تای من و همکاران بیانگر آن بود که اصلاح بیومس گیاه یونجه با محلول سود منجر به افزایش ظرفیت جذب سرب می‌گردد (۱۹). نتایج مطالعه لی و همکاران بیانگر آن بود که اصلاح پوست بادام زمینی با اسید سولفوریک منجر به افزایش جذب سرب، کروم و مس می‌گردد (۲۰). در مطالعه جونپور و همکاران اصلاح بیومس نیشکر با بی‌کربنات سدیم فلورات منجر به افزایش ظرفیت جذب مس، سرب و کادمیوم به ترتیب به میزان ۱۱۴، ۱۹۶ و ۱۸۹ میلی‌گرم بر گرم گردید (۲۱). در مطالعه نبی و همکاران اصلاح خاک اره با محلول سود، منجر به افزایش ظرفیت فلزات سنگین شد (۲۲). نتایج مطالعه شاه‌محمدی و همکاران بیانگر آن بود که اصلاح پوسته شلتوک برنج با سدیم بی‌کربنات منجر به افزایش ظرفیت جذب کادمیوم به میزان ۰/۰۱ میلی‌گرم به ازای هر گرم جاذب می‌گردد (۲۳). امروزه با حذف فلزات سنگین موجود در پساب‌ها، فاضلاب‌ها و شیرابه‌ها علاوه بر اینکه می‌توان به بازیافت این عناصر و کاهش مصرف مواد خام اولیه کمک کرد، می‌توان از محلول به‌دست آمده برای آبیاری اراضی کشاورزی استفاده نمود. این مسئله به‌خصوص در کشور ایران که در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، می‌تواند تا حد چشمگیری

بحران کمبود آب را بهبود بخشد. با توجه به اینکه فلزات سنگین اثرات زیان‌باری بر محیط زیست و انسان دارند و در غلظت‌های بالا در شیرابه محل دفن وجود دارد (۲۴، ۲۵)، حذف آنها از شیرابه لازم و ضروری خواهد بود؛ لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی پوست میوه موز اصلاح شده در جذب فلز روی از شیرابه محل دفن زباله شهر همدان انجام شد.

روش کار

نوع و منطقه مورد مطالعه

این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی بود و در مقیاس آزمایشگاهی جهت حذف فلز روی از شیرابه زباله توسط جاذب طبیعی پوست میوه موز اصلاح شده انجام گرفت. شیرابه زباله محل دفن شهرستان همدان واقع در استان همدان به‌عنوان یک نمونه واقعی در فصل زمستان سال ۱۴۰۰ مورد آزمایش قرار گرفت.

آماده‌سازی نمونه و جاذب

برای این منظور تعداد ۵ نمونه به‌صورت کاملاً تصادفی از شیرابه خام پایین دست محل دفن زباله برداشته شد و سپس نمونه‌ها با یکدیگر مخلوط شدند و یک نمونه مرکب به‌دست آمد. جاذب پوست میوه موز نیز پس از جمع‌آوری و انتقال به آزمایشگاه، برای انجام آزمایشات آماده شد. سپس برای حذف گردوغبار و دیگر ناخالصی‌های موجود در جاذب، ۳ مرتبه به‌وسیله آب دوبار تقطیر شده شستشو و آبکشی صورت گرفت. دانه‌بندی در مقدار جذب یون‌های فلزی توسط ذرات جاذب مؤثر می‌باشد، زیرا هرچه ذرات ریزتر باشند، سطح تماس افزایش می‌یابد (۲۶). پوست موز ابتدا در هوای محیط خشک شد و پس از خرد شدن به تکه‌های کوچک تبدیل شد. سپس به‌مدت ۲۴ ساعت درون دستگاه آون در حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک و پس از خشک شدن به‌وسیله آسیاب خرد شدند؛ به‌طوری‌که به ذرات ۱-۵ میلی‌متر تبدیل شدند. جهت اصلاح کردن جاذب، ابتدا دانه‌های تهیه شده از پوست موز به‌طور جداگانه به‌مدت ۲۴ ساعت در ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول اسیدی HNO_3 (۰/۴ مول در لیتر) و آب مقطر دوبار

تقطیر آبکشی شد تا به pH خنثی برسد. سپس جاذب‌ها به مدت ۲۴ ساعت در حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (۲۷).

آزمایشات جذب

قبل از انجام کار برخی آزمایشات به‌منظور تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی شیرابه زباله انجام گرفت. تمامی آزمایشات در محیط آزمایشگاه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. در ابتدا مقادیر پارامترهای pH، هدایت الکتریکی^۱، کل جامدات محلول^۲، کل جامدات معلق^۳، کل جامدات^۴، تقاضای بیوشیمیایی اکسیژن^۵، تقاضای زیست شیمیایی اکسیژن^۶، سولفات، آمونیوم، فسفات، نیتрат و فلزات سنگین مورد سنجش قرار گرفت. pH پساب توسط دستگاه pH سنج مدل Jenway ۳۵۱۰، هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر مدل Jenway ۴۵۱۰، کل جامدات معلق توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Jenway ۶۳۰۵، کل جامدات محلول به روش وزن‌سنجی (۲۸)، کل جامدات به روش محاسبه‌ای (۲۹)، BOD و COD به روش رفلاکس، فسفات به روش اسپکتروفوتومتری (روش مولیبدات آمونیوم P-C ۴۵۰۰) و نیترات به روش اسپکتروفوتومتری (N ۴۵۰۰)، سولفات توسط روش کدورت‌سنجی، آمونیوم توسط روش پتانسیومتری و فلزات نیکل، روی، کادمیوم، مس و کروم به روش جذب اتمی و با دستگاه ابزویشن مدل AA932 ساخت شرکت GBC استرالیا اندازه‌گیری شد (۳۰). عوامل مورد بررسی در این پژوهش شامل pH، زمان تماس، غلظت و مقدار ماده جاذب بود. در این مرحله از شیرابه با غلظت ۱-۲۰ میلی‌گرم بر لیتر فلز روی، مقادیر جاذب ۱-۶ گرم، pH ۲-۱۲ و زمان تماس ۵-۱۲۰ دقیقه استفاده شد. pH شیرابه با استفاده از محلول ۰/۱ نرمال اسید سولفوریک و NaOH تنظیم گردید. در هر مرحله مقدار دقیق و مشخصی از جاذب به نمونه‌ها اضافه شده و توسط دستگاه شیکر با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه در

1. Electrical conductivity
2. Total dissolved solids
3. Total suspended solids
4. Total solids
5. Biochemical oxygen demand
6. Chemical oxygen demand

زمان مشخص مخلوط گردید (۳۱). مقدار فلز روی جذب شده در زمان تعادل q_e (میلی گرم بر گرم) و درصد جذب فلز به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه شد (۳۲).

$$q_e = \frac{(C_e - C_0)V}{M} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{درصد جذب} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه C_i و C_f به ترتیب غلظت‌های اولیه و نهایی فلز (میلی گرم بر لیتر)، V حجم محلول (لیتر)، M جرم جاذب (گرم) و q_e مقدار ماده جذب شده در زمان تعادل (میلی گرم بر لیتر) می‌باشد.

آزمایشات سینتیک و ایزوترم

ایزوترم جذب چگونگی فعل و انفعال بین جاذب و جسم جذب شونده و سینتیک جذب سرعت فرآیند جذب را تشریح می‌کند. آزمایش‌های ایزوترم جذب و سینتیک جذب در ۱۱ مقدار جاذب (۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵ و ۶ گرم در لیتر) و یکسان بودن سایر عوامل (دما = ۲۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت اولیه = ۷/۳ میلی‌گرم بر لیتر، زمان تماس = ۶۰ دقیقه، pH برابر با ۷ و سرعت اختلاط = ۱۸۰ دور در دقیقه) انجام شد. جهت پی بردن به مدل جذب از ایزوترم‌های لانگمویر (۳۳، ۳۴) و فروندلیچ (۳۵، ۳۶) استفاده شد. مدل لانگمویر برای جذب تک لایه‌ای بر روی سطح ماده جاذب دارای مکان‌های جذب محدود و یکسان معتبر است و مدل جذب فروندلیچ بر اساس جذب تک لایه‌ای بر روی مکان‌های جذب هتروژن و دارای انرژی‌های نابرابر و غیرهمسان بنا نهاده شده است. معادله خطی برای ایزوترم‌های لانگمویر رابطه (۳) و فروندلیچ رابطه (۴) می‌باشد.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} C_e + \frac{1}{b \times q_{max}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این رابطه q_e مقدار ماده جذب شده در واحد جرم جاذب برحسب (میلی گرم بر لیتر)، C_e غلظت ماده جذب شدنی در محلول پس از رسیدن به تعادل برحسب (میلی گرم بر لیتر)،

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1}{2} \cdot 303 t \quad \text{رابطه (۵)}$$

به طوری که q_e مقدار ماده جذب شده در لحظه تعادل (میلی گرم بر گرم)، q_t مقدار ماده جذب شده در زمان t (میلی گرم بر گرم) و K_1 ثابت سرعت تعادل جذب مرتبه اول (min⁻¹) می‌باشد. اگر نمودار $\log(q_e - q_t)$ برحسب t برای شرایط آزمایشگاهی موردنظر رسم شود، خط مستقیمی به دست می‌آید که می‌توان ثابت سرعت K_1 و ضریب همبستگی R^2 را از این نمودار محاسبه نمود (۳۷). همچنین فرم خطی معادله مرتبه شبه دوم به صورت رابطه ۶ می‌باشد.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن q_e مقدار ماده جذب شده در لحظه تعادل (میلی گرم بر گرم) و K_2 ثابت سرعت تعادل جذب مرتبه شبه دوم (g/mg.min) می‌باشد. با رسم نمودار t/q_t برحسب t ، ثابت سرعت K_2 و ضریب همبستگی R^2 به دست می‌آید (۳۸).

یافته‌ها

نتایج سنجش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در شیرابه محل دفن زباله شهر همدان در جدول ۱ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود تمامی پارامترها بیشتر از رهنمود سازمان حفاظت محیط

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شیرابه خام محل دفن زباله شهر همدان

حد استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران				واحد	پارامتر
مصارف کشاورزی و آبیاری	تخلیه به چاه جاذب	تخلیه به آب‌های سطحی	مقدار		
۶-۸/۵	۹-۵	۶/۵-۸/۵	۸/۲	-	pH
-	-	-	۳۰۲۱	میلی‌گرم بر لیتر	کل جامدات محلول
۱۰۰	-	۴۰	۴۸۳	میلی‌گرم بر لیتر	کل جامدات معلق
-	-	۰	۳۵۶۰	میلی‌گرم بر لیتر	کل جامدات
-	-	-	۲۷۱۲	میکروموس بر سانتی متر	EC
-	۱۰	۵۰	۲۹	میلی‌گرم بر لیتر	نیتрат
-	۶	۶	۱۱۱۰۵	میلی‌گرم بر لیتر	فسفات
۵۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۳۲۳۰	میلی‌گرم بر لیتر	سولفات
-	۱	۲/۵	۸۹۲	میلی‌گرم بر لیتر	آمونیم
۲۰۰	۶۰	۶۰	۲۱۲۵۸	میلی‌گرم بر لیتر	COD
۱۰۰	۳۰	۳۰	۹۹۷۰۰	میلی‌گرم بر لیتر	BOD
۲	۲	۲	۲/۱	میلی‌گرم بر لیتر	نیکل
۲	۲	۲	۷/۳	میلی‌گرم بر لیتر	روی
۰/۲	۱	۱	۱/۹	میلی‌گرم بر لیتر	مس
۱	۱	۰/۵	۱/۳	میلی‌گرم بر لیتر	کروم
۰/۰۵	۰/۱	۰/۱	۰/۵۷	میلی‌گرم بر لیتر	کادمیوم

کارایی حذف فلز روی توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده تحت شرایط: دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت ۷/۳ میلی‌گرم بر لیتر، pH برابر با ۷، زمان تماس برابر با ۶۰ دقیقه و سرعت اختلاط rpm ۱۸۰، بیانگر آن بود که درصد حذف فلز روی در واحد جرم جاذب با افزایش مقدار جاذب از ۱ تا ۶ گرم افزایش می‌یابد و به ۹۲٪ می‌رسد که نشان‌دهنده تمایل زیاد پوست میوه موز اصلاح شده در حذف فلز روی می‌باشد. زمان تماس، یکی از عوامل تأثیرگذار بر فرآیند جذب در حالت ناپیوسته است. نتایج اثر زمان تماس بر کارایی حذف فلز روی توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده تحت شرایط: دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت ۷/۳ میلی‌گرم بر

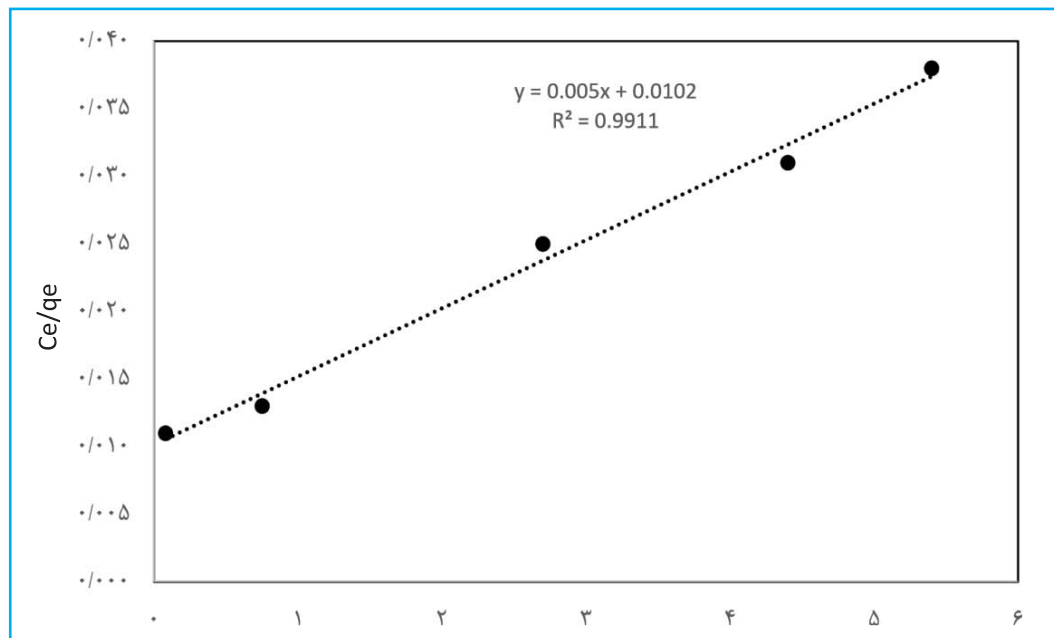
مقدار pH محلول، از پارامترهای مهم تأثیرگذار بر واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی فاضلاب محسوب می‌شود (۴۰). pH تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر بارهای سطحی جاذب دارد. نتایج اثر pH بر کارایی حذف فلز روی توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده تحت شرایط: دما برابر با ۲۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت ۷/۳ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار جاذب ۴/۵ گرم، زمان تماس برابر با ۶۰ دقیقه و سرعت اختلاط rpm ۱۸۰ بیانگر آن بود که با افزایش pH تا مقدار ۷، درصد حذف فلز روی توسط جاذب پوست موز اصلاح شده افزایش می‌یابد و به ۹۲٪ می‌رسد و سپس با افزایش بیشتر pH، درصد حذف کاهش می‌یابد. نتایج اثر مقدار جاذب بر

درصد حذف آن از ۹۲٪ به ۵۳٪ کاهش می‌یابد. مدل‌های ایزوترم و جذب لانگمویر و فروندلیچ و سینتیک جذب شبه مرتبه اول و دوم در جدول ۲ و نمودارهای ۱ تا ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج، R^2 مدل‌های ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ برای فلز روی به ترتیب ۰/۹۹۱ و ۰/۹۵۳ بود، لذا طبق نتایج گرفته شده، جذب فلز روی توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده از مدل جذب لانگمویر تبعیت می‌کند. فرم خطی معادله مرتبه شبه اول و دوم برای نتایج آزمایشگاهی به دست آمده تطابق خوبی ($R^2 > 0/99$) با مدل مرتبه شبه دوم داشته و از این سینتیک پیروی می‌کند.

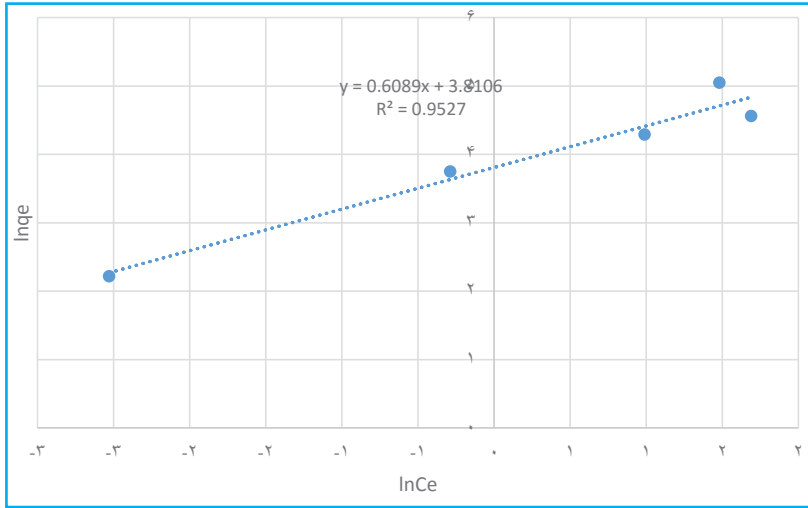
لیتر، pH برابر با ۷، مقدار جاذب ۴/۵ گرم و سرعت اختلاط rpm ۱۸۰ بیانگر آن بود که با افزایش زمان تماس، نرخ جذب تا ۷۰ دقیقه بعد از تماس افزایش می‌یابد و به ۹۲٪ می‌رسد و سپس با گذشت زمان، ثابت باقی می‌ماند. غلظت فلز، یکی دیگر از عواملی است که بر کارایی جذب تأثیرگذار است. نتایج اثر غلظت فلز روی بر کارایی حذف آن توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده تحت شرایط: دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، زمان تماس ۶۰ دقیقه، pH برابر با ۷، مقدار جاذب ۴/۵ گرم، سرعت اختلاط rpm ۱۸۰ بیانگر آن بود که با افزایش غلظت فلز روی از ۱ به ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر،

جدول ۲. پارامتر و مقادیر مربوط به مدل‌های ایزوترم و سینتیک جذب فلز روی توسط جاذب پوست موز

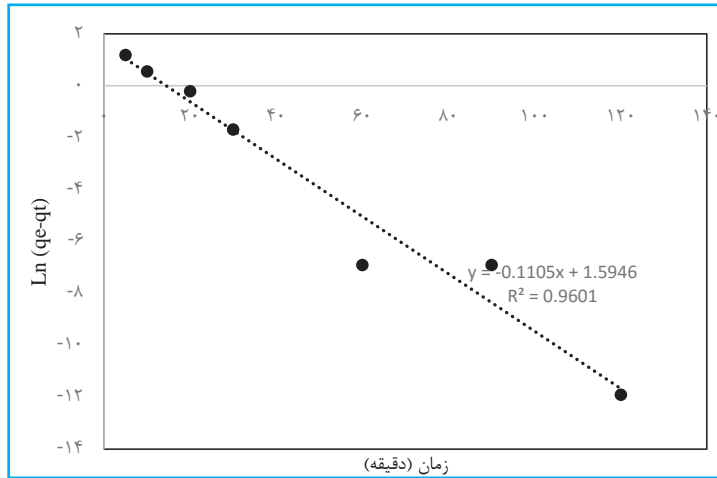
مدل ایزوترم	پارامتر	مقدار	مدل سینتیک	پارامتر	مقدار
	$b (L mg^{-1})$	۰/۷۰۹		$q_{e1} (mg g^{-1})$	۶/۳۸۹
لانگمویر	$q_m (mg g^{-1})$	۳۴	شبه مرتبه اول	$k_1 (min^{-1})$	۰/۰۹۱۳
	R^2	۰/۹۹۱۱		R^2	۰/۹۶۰۱
	$K_f (mg^{1-(1/n)} L^{1/n} g^{-1})$	۰/۷۵		$q_{e2} (mg g^{-1})$	۸/۶۳۵
فروندلیخ	n	۰/۹۱	شبه مرتبه دوم	$k_2 (g mg^{-1} min^{-1})$	۰/۰۲۹۹
	R^2	۰/۹۵۲۷		R^2	۰/۹۹۹۸



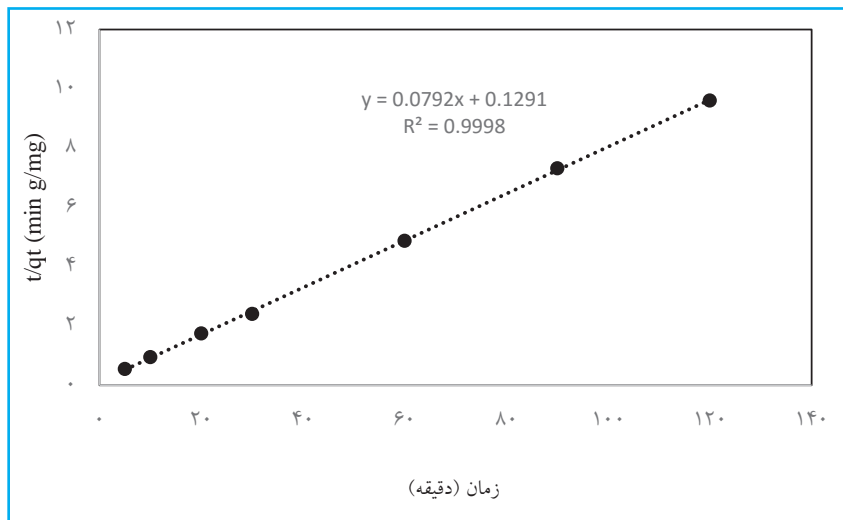
نمودار ۱. مدل ایزوترم لانگمویر برای جذب فلز روی توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده



نمودار ۲. مدل ایزوترم فرونلیچ برای جذب فلز روی توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده



نمودار ۳. سینتیک جذب مرتبه اول برای جذب فلز روی توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده



نمودار ۴. سینتیک جذب مرتبه دوم برای جذب فلز روی توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده

بحث

دلیل کاهش درصد جذب در pH پایین تر از ۷ را می توان ناشی از حضور یون های H_3O^+ دانست؛ به طوری که یون های مذکور با یون های فلز روی برای جذب در جایگاه های جذب رقابت می نمایند و با اشغال سایت های جذب، باعث کمتر شدن ظرفیت جذب در جذب فلز می شوند (۴۱). دلیل کاهش درصد جذب فلز روی با افزایش pH بالاتر از ۷ از شیرابه را می توان ناشی از رسوب یون های فلز روی دانست؛ به طوری که حذف یون های فلز روی از محلول و جداسازی آنها باعث می شود که قبل از عمل جذب یون ها حذف شده باشند (۴۲). نتایج مطالعه مهراسبی و فرهمندکیا بیانگر حذف فلزات سرب و کادمیوم توسط میوه موز اصلاح شده در pH برابر با ۶ از پساب بود و با کاهش pH، ظرفیت جذب کاهش می یافت (۲۷). در مطالعه پرویزی مساعد و همکاران با افزایش pH تا مقدار ۷، کارایی جذب فلز روی توسط پوسته برنج از محلول آبی افزایش یافته و سپس کاهش می یافت (۴۳). نتایج مطالعه اکاتی و همکاران بیانگر آن بود که با افزایش pH تا مقدار ۶، کارایی جذب فلز روی توسط پوست میوه پرتقال اصلاح شده با محلول اسیدی و بازی از محلول آبی افزایش یافته و سپس کاهش می یابد (۴۴). نتایج مطالعه فرجی و همکاران بیانگر آن بود که با افزایش pH از ۳ تا ۵، کارایی جذب فلز سرب توسط پوست میوه گلابی از محلول آبی افزایش می یابد (۴۵). نتایج مطالعه زارعی و همکاران بیانگر آن بود که با افزایش pH تا مقدار ۷، کارایی جذب فلز نیکل توسط پوست خاکستر میوه بلوط از محلول های آبی افزایش می یابد (۴۶). دلیل افزایش درصد حذف فلز با افزایش مقدار جذب را می توان اینگونه عنوان نمود که با افزایش جرم جذب، نواحی سطحی بیشتری از جذب در دسترس قرار می گیرد و تعداد جایگاه های فعال جذب در محلول افزایش یافته و در نتیجه راندمان حذف آلاینده افزایش می یابد (۴۷). نتایج مشابهی توسط سایر مطالعات به دست آمده؛ از جمله می توان به نتایج مطالعه مهراسبی و فرهمندکیا اشاره نمود که بیانگر افزایش درصد حذف یون های فلزی سرب و کادمیوم از محلول آبی توسط پوست میوه موز اصلاح

شده با افزایش دوز جذب بود (۲۷). نتایج مطالعه پرویزی مساعد و همکاران بیانگر آن بود که با افزایش مقدار جذب، کارایی جذب فلز روی توسط پوسته برنج از محلول آبی افزایش می یابد (۴۳). نتایج مطالعه اکاتی و همکاران بیانگر آن بود که با افزایش مقدار جذب، کارایی جذب فلز روی از محلول آبی توسط پوست میوه پرتقال اصلاح شده با محلول بازی و اسیدی افزایش می یابد (۴۴). در مطالعه زارعی و همکاران با افزایش جرم جذب از ۱ تا ۶ گرم بر لیتر، راندمان جذب فلز نیکل توسط پوست خاکستر میوه بلوط از محلول های آبی از ۷۵/۷۵٪ به ۹۲/۳۵٪ افزایش می یافت (۴۶). افزایش کارایی حذف فلز با افزایش زمان تماس به این دلیل است که با افزایش زمان، برای جذب فرصت بیشتری به وجود می آید تا با یون های فلز روی تماس پیدا کرده و آنها را جذب نماید. سرعت بالای جذب فلز روی در زمان های اولیه (بعد از حدود ۱۰ دقیقه تماس) به خاطر در دسترس بودن بیشتر جایگاه های فعال خالی موجود بر روی سطح جذب می باشد. این جایگاه ها به ترتیب پر شده و جذب اشباع می گردد و بعد از به تعادل رسیدن جذب، فرآیند جذب ممکن است به علت انتقال محدود جرم از محیط مایع به سطح جذب باشد (۴۸). بنابراین با توجه به کوتاه بودن زمان تعادل، استفاده از جذب پوست میوه موز اصلاح شده در حذف فلز روی می تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد. نتایج مشابهی توسط سایر مطالعات به دست آمده است از جمله می توان به نتایج مطالعه منتظری و همکاران اشاره نمود که بیانگر افزایش کارایی جذب فلزات مس، سرب و نیکل توسط پوست کیوی از محلول با گذشت زمان و رسیدن به حد ثابتی بعد از گذشت ۳۰ دقیقه از تماس بود (۴۹). نتایج مطالعه پرویزی مساعد و همکاران بیانگر آن بود که با افزایش زمان تماس، کارایی جذب فلز روی توسط پوسته برنج از محلول افزایش می یابد و بعد از گذشت ۲ ساعت به حالت تعادل می رسد (۴۳). نتایج مطالعه فرجی و همکاران بیانگر آن بود که با افزایش زمان تماس از ۱۵ دقیقه تا ۶۰ دقیقه، کارایی جذب فلز سرب توسط پوست میوه گلابی از محلول افزایش یافته و سپس در

۱۲۰ دقیقه کاهش می‌یابد که دلیل آن، زیاد بودن جایگاه‌های فعال جذب در سطح پوست گلابی در زمان‌های ابتدایی عنوان گردید که به تدریج و با گذشت و به دلیل کاهش تعداد جایگاه‌های فعال و افزایش رقابت جهت اشغال جایگاه‌ها توسط یون‌ها، روند صعود رو به کاهش می‌گذارد (۴۵). در مطالعه زارعی و همکاران با افزایش زمان تماس، راندمان جذب فلز نیکل توسط پوست خاکستر میوه بلوط از محلول‌های آبی افزایش یافت؛ به طوری که بعد از حدود ۱۵ دقیقه، درصد بالایی از یون‌های نیکل جذب شده و بعد از آن تغییر چندانی در میزان جذب مشاهده نشد (۴۶). نتایج مطالعه کوک سنگ بیانگر آن بود که با افزایش زمان تماس، کارایی حذف فلزات مس و سرب توسط پوست میوه موز اصلاح شده با محلول اسیدی افزایش می‌یابد؛ به طوری که زمان تماس بهینه برای حذف مس و سرب به ترتیب ۶۰ و ۷۵ دقیقه تعیین گردید (۵۰). دلیل کاهش راندمان حذف با افزایش غلظت فلز روی را می‌توان اینگونه توصیف کرد که در غلظت‌های اولیه پایین فلز، جایگاه‌های فعال کافی برای جذب وجود دارد، اما در غلظت‌های بالا، به علت این که هر جاذب تعداد جایگاه‌های فعال جذب محدودی دارد و این جایگاه‌های فعال که روی سطح جاذب قرار دارند توسط فلز اشباع می‌شوند، راندمان حذف کاهش پیدا می‌کند (۵۱). نتایج مشابهی توسط سایر مطالعات به دست آمد؛ از جمله می‌توان به نتایج مطالعه مهراسبی و فرهنگدکیا اشاره نمود که بیانگر کاهش درصد حذف یون‌های فلزی سرب و کادمیوم توسط میوه موز اصلاح شده با افزایش غلظت فلز در فاضلاب بود (۲۷). نتایج مطالعه منتظری و همکاران بیانگر آن بود که کارایی جذب فلزات مس، سرب و نیکل توسط پوست کیوی با کاهش غلظت افزایش می‌یابد؛ به طوری که در غلظت‌های پایین، سایت‌های خاصی مسئولیت جذب فلز را بر عهده دارند که در غلظت‌های بالا این سایت‌ها اشباع می‌شوند (۴۹). نتایج مطالعه پرویزی مساعد و همکاران بیانگر آن بود که با کاهش غلظت فلز در پساب، کارایی جذب فلز روی توسط پوسته برنج از محلول افزایش می‌یابد (۴۳). نتایج مطالعه اکاتی و همکاران بیانگر آن بود که با کاهش غلظت فلز در پساب، کارایی جذب فلز

روی توسط پوست میوه پرتقال اصلاح شده با محلول بازی و اسیدی از محلول افزایش می‌یابد (۴۴). نتایج مطالعه فرجی و همکاران بیانگر آن بود که با کاهش غلظت فلز سرب در پساب، کارایی جذب آن توسط پوست میوه گلابی از محلول افزایش می‌یابد (۴۵). نتایج مطالعه زارعی و همکاران بیانگر آن بود که با افزایش غلظت فلز نیکل از ۱۰ به ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان جذب فلز توسط پوست خاکستر میوه بلوط از محلول‌های آبی تا حدود ۳٪ کاهش می‌یابد (۴۶). نتایج مطالعه منتظری و همکاران (۲۰۱۰) بیانگر آن بود که جذب فلز روی توسط جاذب پوست میوه موز اصلاح شده از مدل جذب لانگمویر تبعیت می‌کند. این مدل بر اساس جذب تک لایه بر روی مکان‌های سطحی همگن ویژه درون جاذب است. نتایج مشابهی توسط سایر مطالعات به دست آمد؛ از جمله می‌توان به نتایج مطالعه منتظری و همکاران اشاره نمود که بیانگر تبعیت جذب فلزات مس، سرب و نیکل توسط پوست کیوی از مدل همدمای لانگمویر بود (۴۹). نتایج مطالعه اکاتی و همکاران بیانگر آن بود که جذب فلز روی توسط پوست میوه پرتقال اصلاح شده با محلول بازی و اسیدی از مدل ایزوترم جذب لانگمویر تبعیت می‌کند (۴۴). نتایج مطالعه فرجی و همکاران بیانگر آن بود که جذب فلز سرب توسط پوست میوه گلابی از مدل ایزوترم جذب لانگمویر تبعیت می‌کند (۴۵). نتایج مطالعه منتظری و همکاران (۲۰۱۰) بیانگر آن بود که فرآیند جذب فلز روی توسط جاذب جاذب پوست میوه موز اصلاح شده تطابق خوبی با مدل مرتبه شبه دوم داشته و از این سینتیک پیروی می‌کند. نتایج مشابهی توسط سایر مطالعات به دست آمد؛ از جمله می‌توان به نتایج مطالعه منتظری و همکاران اشاره نمود که بیانگر تطابق بهتر جذب فلزات مس، سرب و نیکل توسط پوست میوه کیوی از محلول آبی با سینتیک درجه دوم بود (۴۹). نتایج مطالعه زارعی و همکاران بیانگر آن بود که جذب فلز توسط پوست خاکستر میوه بلوط از محلول‌های آبی با سینتیک درجه دوم مطابقت دارد (۴۶). در این مطالعه مشخص گردید که پوست میوه موز اصلاح شده کارایی ۹۲ درصدی در حذف فلز روی از شیرابه را دارد و حداکثر ظرفیت آن ۳۴ میلی‌گرم بر گرم

جاذب می‌تواند حدود ۳۴ میلی‌گرم فلز روی را بر سطح خود جذب سطحی نماید. با افزایش زمان تماس و مقدار جاذب راندمان حذف افزایش و با کاهش غلظت فلز، راندمان حذف افزایش یافت و این نشان می‌دهد که پوست میوه موز اصلاح شده به‌عنوان یک جاذب مؤثر و کم‌هزینه و در عین حال قابل دسترس برای حذف فلز روی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. فرآیند جذب از مدل لانگمویر تبعیت می‌کند که نشان می‌دهد عمل جذب به‌صورت تک‌لایه اتفاق می‌افتد. سینتیک جذب نیز از مدل شبه مرتبه دوم تبعیت می‌کند. در واقع وجود تعادل شیمیایی بین جاذب و جذب‌شونده در مدل سینتیک شبه مرتبه دوم بهتر می‌باشد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی شهرداری همدان با کد ۱۳۵۲۴ می‌باشد. بدین‌وسیله از آن شهرداری بابت فراهم نمودن امکانات انجام این مطالعه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعیین گردید. بالا بودن ظرفیت جذب پوست میوه موز اصلاح شده در جذب فلز روی را می‌توان ناشی از اصلاح کردن آن با محلول اسید نیتریک عنوان نمود. دلیل این موضوع را می‌توان اینطور عنوان نمود که وقتی محلول اسیدی در خلل و فرج جاذب‌های پایه سلولزی نفوذ می‌کند، باعث می‌شود که سلولز نوع ۱ به نوع ۲ تبدیل شود و از طرفی با ورود عامل اسیدی، کریستاله سلولز کاهش یافته و سبب می‌گردد که سطح مخصوص و تخلخل جاذب افزایش یابد که همه این عوامل باعث افزایش میزان جذب می‌گردد (۵۲). نتایج گرفته شده در تطابق با نتایج مطالعات وان نگا و هنافیا (۱۷) و مهراسی و فرهنگدکيا (۲۷) بود. نتایج مطالعه مانيسا محمد و همکاران (۵۳) نیز بیانگر آن بود که پوست میوه موز اصلاح شده کارایی ۱۰۰٪ و ۶۴٪ به‌ترتیب در حذف فلزات سرب و آهن از محلول آبی دارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق عوامل مؤثر بر جذب فلز روی از شیرابه توسط پوست میوه موز اصلاح شده با محلول اسیدی بررسی شد و مشخص گردید که میزان جذب فلز روی وابسته به pH شیرابه می‌باشد، نتایج تحقیق نشان می‌دهد که جاذب فوق از قابلیت بالایی حدود ۹۲٪ در حذف فلز روی از شیرابه برخوردار می‌باشد. همچنین این

References

- Ghadimi F. Javadi Sharif P. Impact of Arak landfill leachate on groundwater quality in terms of heavy metals in Amanabad Arak plain. *Journal of Natural Environmental Hazards* 2019; 9(26): 111-128 [In Persian].
- Abedi Koupai J. Jamalian MA. Dorafshan MM.. Improving Isfahan landfill leachate quality by phytoremediation using Vetiver and Phragmites plants in green space irrigation. *Journal of Water and Wastewater* 2020; 31(3): 101-111. Doi: 10.22093/wwj.2019.186145.2867 [In Persian].
- Bohdziewicz J. Kwarciak A. The application of hybrid system UASB reactor-RO in landfill leachate treatment. *Desalination* 2008; 222(1):128-34.
- Wang Z. Zhang Z. Lin Y. Deng N. Tao T. Zhuo K. Landfill leachate treatment by a coagulation photooxidation process. *Journal of Hazardous Materials* 2002; 95(1-2): 153-159.
- Ward ML. Bitton G. Townsend T. Heavy metal binding capacity (HMBC) of municipal solid waste landfill leachates. *Chemosphere* 2005; 60(2):206-15.
- Claudio DI. Roberto R. Antonio L. Combined biological and chemical degradation for treating a mature municipal landfill leachate. *Biochemical Engineering Journal* 2006; 31:118-24.
- Christensen TH. Kjeldsen P. Bjerg P L. Jensen DL. Christensen JB. Baun A. et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Appl Geochem* 2001; 16(7):659-718.
- Dorota K. Ewa K. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource Technology* 2008; 99:5981-85.
- 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.

10. Mico C. Recatal L. Peris M. Sanchez J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere* 2006; 65(5):863-72.
11. 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.
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. Upendra K. Bandyopadhyay M. Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk. *Bioresource Technology* 2006; 97: 104-109.
16. Yu B. Zhang Y. Shukla A. Shukla S.S.. The Removal of Heavy metals from aqueous solutions by sawdust adsorption .removal of lead and comparison of its adsorption with copper, *Hazardous materials* 2001; 84(1): 83-94 .
17. Wan Ngah WS. Hanafiah MAKM. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review 2008; 99(10): 3935-3943.
18. Tarley CRT. Ferreira SLC. Arruda MAZ. 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. *Microchemical Journal* 2004; 77: 163-175.
19. Tiemann KJ. Gamez G. Dokken K. Parsons JG. Gardea-Torresdey JL. Chemical modification and X-ray absorption studies for lead (II) binding by *Medicago sativa* biomass. *Microchemical Journal* 2002; 71: 287-293.
20. Li Q. Zhai J. Zhang W. Wang M. Zhou J. Kinetic studies of adsorption of Pb(II), Cr(III) and Cu(II) from aqueous solution by sawdust and modified peanut husk. *Journal of Hazardous Material* 2006; 141: 163-167.
21. Junior OK. Gurgel LVA. De Melo JCP. Botaro VR. Melo TMS. De Freitas Gil RP. Gil LF.. Adsorption of heavy metal ion from aqueous single metal solution by chemically modified sugarcane bagasse. *Bioresource Technology* 2007; 98:1291-1297.
22. Nabi GH. Fazlipishe H. Adsorption of heavy metals by sawdust. *Journal of Environmental Studies* 1998. 24:15-22 [In Persian].
23. Shahmohammadi Z. Moazed H. Jafarzadeh N. Haghghatjoo P. Removal of Cd²⁺ from dilute aqueous solutions by by rice husk. *Water and Wastewater* 2008; 67:27-33 [In Persian].
24. 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.
25. Wongsasuluk P. Chotpantarat S. Siriwong 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.
26. Shukla A. Zhang YH. Shukla SS. Dubey P. The role of sawdust in removal of unwanted materials from water, *Hazardous materials* 2002; 95(1-2): 137-152.
27. Mehrasbi MR. Farahmand Kia Z. Removal of heavy metals from a blue environment by surface absorption on the modified banana skin. *Journal of Health and Environment* 2008; 1(1): 57-66 [In Persian].
28. Barakat M. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Chemistry* 2016; 4 (4): 361-377.
29. Pirsahed M. Zinatizadeh A. Dargahi A. Performance evaluation of coagulation process in removal of low turbidity and color from water using different inorganic coagulants. *Water and Wastewater* 2018; 1(2), 111-118 [In Persian].
30. APHA. AWWA. WPCF. Standard methods for examination of water and wastewater, 21th Ed., Washington. D.C 2005.
31. Gimbert F. Morin N. Renault F. Crini G. Adsorption isotherm models for dye removal by cationized starch-based material in a single component system. *J. Hazard. Mater* 2018; 157(1): 34-46.
32. Saruchi A. Kumar V. Adsorption kinetics and isotherms for the removal of rhodamine B dye and Pb²⁺ ions from aqueous solutions by a hybrid ion-exchanger. *Arabian Journal of Chemistry* 2019; 12 : 316-329.
33. Zubair M. Jarrah N. Manzar MS. Al-Harathi M. Daud M. Mu'azu ND. Haladu SA. Adsorption of ferrochrome black T from the aqueous phase on MgAl-, CoAl and NiFe- calcined layered double hydroxides: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *J. Mol. Liq* 2017; 230: 344-352.
34. Dalhat Mu'azu N. Bukhari A. Munef K. Effect of montmorillonite content in natural Saudi Arabian clay on its adsorptive performance for single aqueous uptake of Cu(II) and Ni(II). *Journal of King Saud University Science* 2020; 32: 412-422.

35. Rao RAK. Rehman F. Adsorption Studies on Fruits of Gular (*Ficus glomerata*): Removal of Cr(VI) from Synthetic Wastewater. *J. Hazard. Mater* 2010; 181: 405–412.
36. Dehghani MH. Mahvi AH. Rastkari N. Saeedi R. Nazmara SH. Iravani E. Adsorption of bisphenol A (BPA) from aqueous solutions by carbon nanotubes: kinetic and equilibrium studies. *Desalin. Water Treat* 2015; 54: 84–92 [In Persian].
37. Lagergren S. Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe, *K. Sven. Vetenskapsakad. Handl* 1898; 24: 1–39.
38. Ho YS. McKay G. Pseudo-second order model for sorption processes, *Process. Biochem* 1999. 34: 451–465.
39. EPOI. Environmental Protection Organization of Iran. Terms and Environmental Standards. Tehran: Environmental Protection Organization Publication 1998; 268-96 [In Persian].
40. Zhang Y. William Franken Berger T. Factors affecting removal of selenate in agricultural drainage water utilizing rice straw, *Sci. Total Environ* 2003; 305: 207–216.
41. Taty VC. Costodes Fauduet H. Porte C. Delacroix A. Removal of Cd(II) and Pb(II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of *Pinus sylvestris*. *Journal of Hazardous Material* 2003; 105:121-142.
42. Sud D. Mahajan G. Kaur MP. Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions . *Areview. Bioresource Technology* 2008; 99: 6017-6027.
43. Parvizi Mosaed H. Sobhan Ardakani S. Hamidian AH. Removal of Zn(II) and Cr(VI) From Aqueous Solutions Using Rice Husk 2012; 65(3): 315-327 [In Persian].
44. Ekati N. Studying the Removal Process of Heavy Metals (Ni and Zn) from Aqueous Solution Using Orange Peel. *J.Env. Sci. Tech* 2016; 18(2): 275-282 [In Persian].
45. Faraji MS. Mohamadi Sani A. Alizadeh Golestani H. Elimination of lead using adsorption by pear peel. *J.Env. Sci. Tech* 2017; 19(4): 51-59 [In Persian].
46. Zarei S. Dehvari M. Jamshidi B. Sadani M. Investigation of Isotherm and Kinetic of Nickel Adsorption by Acorn Ashes from Aqueous Solutions. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences* 2014. 13(10): 897-908 [In Persian].
47. Krishna RH. Swamy AVVS. Studies on the removal of Ni (II) from aqueous solutions using powder of mosambi fruit peelings as a low cost sorbent. *Chem Sci J* 2011; 31: 1-13.
48. Onundi YB. Mamun AA. Al Khatib MF. Ahmed YM. Adsorption of copper, nickel and lead ions from synthetic semiconductor industrial wastewater by palm shell activated carbon. *Int J Environ Sci Tech* 2010; 7: 751-8.
49. Montazeri N. Baher E. Berami Z. Ghorchi Beygi M. Kiwi's role in removing environmental pollutions and investigation its affecting factors. *Journal of Natural Resources Science and Technology* 2010; 5(1): 117-128 [In Persian].
50. Kok Seng L. Adsorption of Heavy Metals using Banana Peels in Wastewater Treatment. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM)* 2018; 2: 312-317.
51. Malkoc E. Nuhoglu Y. Nickel(II) adsorption mechanism from aqueous solution by a new adsorbent waste acorn of *quercus ithaburensis*. *Environ Prog Sustainable Energ* 2010; 29: 297-306.
52. Gurgel LVA. Junior O.K. Gil RPF. Gil LF. Adsorption of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) from aqueous single metal solution by cellulose and mercerized cellulose chemically modified with succinic anhydride. *Bioresource Technology* 2008; 99: 3077-3083.
53. Manisah Mohamed R. Hashim N. Abdullah, S. et al. Adsorption of Heavy Metals on Banana Peel Bioadsorbent. *Journal of Physics: Conference Series* 2020. 012014 doi:10.1088/1742-6596/1532/1/012014.