

## بررسی کارایی پودر لاستیک در جذب فلزات سنگین سرب، روی و منگنز و تعیین سینتیک و ایزوترم های جذب

جهانگیر عابدی کوپائی<sup>۱\*</sup>، سید سعید اسلامیان<sup>۲</sup> و معظم خالقی<sup>۳</sup>

\*- نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، koupai@cc.iut.ac.ir

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش: ۹۱/۹/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۱۵

### چکیده

محدودیت منابع آب شیرین در اکثر مناطق کشور ضرورت استفاده از منابع آب‌های نامتعارف را ایجاد نموده است. یکی از این منابع غیرمتعارف پساب می‌باشد. اما در استفاده از پساب‌ها باید به پیامدهای زیست محیطی آن توجه گردد. تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر پودر لاستیک در جذب عناصر سنگین سرب، روی و منگنز در مقیاس آزمایشگاهی اجرا شد. آزمایش‌های جذب مرحله‌ای به منظور بررسی زمان تعادل برای این فلزات در پ هاش ثابت ۵/۵ و غلظت اولیه محلول فلزی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر صورت گرفت. بازدهی حذف فلزات سرب، روی و منگنز به ترتیب ۶۷/۵، ۷۴/۳ و ۳۹/۹ درصد به دست آمد. زمان رسیدن به تعادل برای روی ۱۸۰ دقیقه و منگنز ۱۲۰ دقیقه مشاهده شد ولی فلز سرب در طول ۱۸۰ دقیقه زمان آزمایش به تعادل کامل نرسید. همچنین آزمایش‌های هم‌دماهای جذب این سه عنصر برای جاذب مورد نظر انجام شد و داده‌ها با مدل‌های جذب خطی، لانگمویر و فروندلیچ برازش داده شد. نتایج نشان داد که برای هر سه عنصر مورد مطالعه مدل فروندلیچ با ضریب تبیین ۰/۹۹ بالاترین انطباق را با نتایج آزمایشگاهی داشت.

کلید واژه‌ها: آب‌های نامتعارف، فلزات سنگین، پودر لاستیک، جذب مرحله‌ای، سینتیک جذب، هم‌دماهای جذب

## Performance of Tire Powder for Absorption of Lead, Zinc and Manganese Heavy Metals and Determination of Kinetic and Adsorption Isotherms

J. Abedi-Koupai<sup>1</sup>, S.S. Eslamian<sup>2</sup> and M. Khaleghi<sup>3</sup>

1- Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology.

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology.

3- M.M. Sc. Sc. Graduate of Irrigation and Drainage, Isfahan University of Technology.

Received: 5.March.2012

Accepted: 16.Dec.2012

### Abstract

The limitation of fresh water resources in the most parts of the country has necessitated the use of unconventional water resources. Wastewater is one of these unconventional sources, however the environmental impacts of wastewater reuse should be carefully considered. The present study aimed to examine the effect of the rubber powder to absorb the heavy metals of lead, zinc and manganese in laboratory scale. The batch tests to evaluate the absorption equilibrium time were conducted in constant pH of 5.5 and the soluble metal concentration equal to 100 mg per liter. The adsorption kinetic results showed, the removal efficiency of lead, zinc and manganese were 67.2, 74.3 and 39.9 percent, respectively. Time to reach equilibrium for zinc and manganese were 180 and 120 minutes, respectively. But lead does not reach equilibrium during the 180 minutes

of testing time. Also, the adsorption isotherms tests were performed for these metals and the data were fitted with the linear, Langmuir and Freundlich models. The results showed that the Freundlich adsorption model with regression coefficient equal to 99 percent was the best compliance with the laboratory results.

**Key words:** Unconventional water, Heavy metals, Tire powder, Batch absorption tests, Adsorption kinetic, Adsorption isotherms.

### مقدمه

دیگر مواد بود (۱۷). در مطالعات دیگر که دانوانیچاکول و همکاران<sup>۴</sup> و مانیکاتیا و همکاران<sup>۵</sup> به انجام رساندند، جذب جیوه توسط خرده‌های لاستیک پیشنهاد شد که نتایج این تحقیقات نیز موثد این مطلب بوده که تراشه‌های لاستیکی می‌توانند به عنوان جاذب جیوه مورد استفاده قرار گیرند (۸ و ۹). موسوی و همکاران نیز توانایی پودر لاستیک را در جذب سرب مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آزمایش‌های آنان نیز موید این مطلب می‌باشد که پودر لاستیک در تخلیه فلز سرب از محلول آبی عملکرد خوبی داشته است (۱۱).

سالانه نزدیک به یک میلیارد حلقه تایر خودرو، معادل ۹ میلیون مگا گرم لاستیک در سراسر دنیا فرسوده و از رده خارج می‌شود. این نرخ در کشور آمریکا ۲۹۰ و در ژاپن ۱۱۰ میلیون حلقه می‌باشد. جمع‌آوری و نگهداری این لاستیک‌ها ضمن ایجاد آلودگی هزینه‌های زیادی در برداشته، علاوه بر آن احتمال آتش سوزی در محل نیز وجود دارد. میزان لاستیک‌های فرسوده در ایران سالانه نزدیک به ۷ میلیون حلقه، تقریباً برابر ۲۲۰ هزار مگا گرم است از سوی دیگر به ازای تولید یک لاستیک کامیون معادل ۲۲ گالن نفت مصرف می‌شود (۳).

این تایرهای فرسوده زیستگاه مناسبی برای حشرات موذی، جانوران جونده نظیر موش‌ها و محل مناسبی برای رشد پشه و گسترش انواع بیماری‌ها از جمله ویروس‌ها می‌باشند. با توجه به اینکه تکه‌های تایر تجزیه نمی‌شوند یافتن راهکاری برای استفاده از آن‌ها و کاهش خطرات زیست محیطی ناشی از دفع آن‌ها در محیط ضروری است (۱۰). امروزه کاربردهای زیادی از تایرهای فرسوده چه به صورت حلقه‌های کامل و چه به صورت تراشه در صنعت و مهندسی عمران به چشم می‌خورد از جمله در ساخت موج شکن‌ها، سدهای خاکی (سد خاکی آریزونا و سد انحرافی دز)، ترانشه‌ها، سیستم جمع‌آوری شیرابه در لندفیل‌ها، استفاده از تایرهای خرد شده در اصلاح آسفالت، زهکش‌های کناری خیابان‌ها و تولید انرژی (۳).

با توجه به نتایج تحقیقات گزارش شده هدف از این تحقیق بررسی کارایی جاذب پودر لاستیک در حذف و یا کاهش فلزات سنگین سرب، روی و منگنز از محلول‌های حاوی این عناصر و تعیین هم‌دمای جذب این عناصر بود.

افزایش مصرف آب از یک سو و رشد بی‌رویه جمعیت و افزایش آلودگی‌های زیست محیطی از سوی دیگر به خصوص در کشورهای گرم و خشک همچون ایران اهمیت استفاده مجدد از پساب‌ها را دو چندان کرده است. اما توجه به بهبود کیفیت این آب‌ها قبل از استفاده مجدد آن امری ضروری به نظر می‌رسد. امروزه تکنولوژی پالایش مواد زائد خطرناک شامل پالایش فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک و ... می‌باشد. در تصفیه فیزیکی از روش‌هایی چون جذب سطحی و فیلتراسیون استفاده می‌شود که در این روش‌ها جاذب مهمترین قسمت است (۱۵). امروزه انواع مختلفی از جاذب‌های مصنوعی قابل دسترس می‌باشد اما مواد طبیعی و ضایعات موجود به دلیل هزینه کم و فراهمی زیاد آن‌ها از بین سایر جاذب‌های موجود برای عناصر و فلزات سنگین بیشترین کاربرد را دارند (۱۳). ضایعات پلیمری لاستیک‌های فرسوده و خارج از رده خودروها چه به صورت خرد شده و چه به صورت پودر لاستیک یکی از جاذب‌هایی است که در سال‌های اخیر پیشنهاد شده است.

اوه و همکاران<sup>۱</sup> اثرات شرایط محیطی را بر روی جذب ترکیبات آلی فرار توسط پودر لاستیک مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور یک سری آزمون‌های آزمایشگاهی اجرا شد که نتایج این آزمون‌ها نشان داد شرایط محیطی نظیر پ هاش و قدرت یونی اثر معنی‌دار بر فرآیند جذب ترکیبات آلی فرار توسط پودر لاستیک ندارد (۱۲). آسیاگوبو و همکاران<sup>۲</sup> طی تحقیقی به بررسی پتانسیل جذب عناصر سنگین کادمیوم و سرب توسط پودر لاستیک پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که پودر لاستیک با تخلیه ۹۳/۳ درصد کادمیوم و همچنین ۸۶/۶۶ درصد سرب از محلول آبی یک جاذب غیر-متعارف خوب، برای حذف این عناصر می‌باشد (۶). تروکا و همکاران<sup>۳</sup> در توسعه جاذب‌ها با استفاده از لاستیک‌های استفاده شده به نتایجی دست یافتند. در این تحقیق، جذب مواد آلی و غیر آلی از محلول‌های آبی مد نظر قرار گرفت و از لاستیک‌های استفاده شده به عنوان جاذب فنول، آمینوفنول، کروم، کادمیوم، سرب و جیوه در محلول آبی استفاده شد. به طور معمول سینتیک جذب خیلی سریع و جذب سرب و جیوه خیلی بیشتر از

1- Oh et al.

2- Asiagwu et al.

3- Troca et al.

4- Dan Wanichakul et al.

5- Maneekattia et al.

## مواد و روش‌ها

**تهیه جاذب:** در این تحقیق از پودر لاستیک به عنوان جاذب استفاده شده است. پودر لاستیک مورد نیاز آزمایش از یک کارگاه تهیه چپس و پودر لاستیک در شهر اصفهان تهیه شد. دستگاه موجود در این کارگاه قابلیت تهیه پودر لاستیک در محدوده اندازه ذرات ۱-۵٪ میلی‌متر را داشت. پودر لاستیک فراهم شده در آزمایشگاه توسط الک‌های شماره ۱۲۰ و ۲۰۰ الک شد تا ذرات جاذب در محدوده ۱۲۵-۷۴ میکرون به دست آیند.

**تهیه محلول‌های فلزی:** در مطالعه حاضر سه فلز سرب، روی و منگنز مورد مطالعه قرار گرفت. برای تهیه محلول‌های فلزی ابتدا محلول استاندارد فلزات ساخت کارخانه مرک آلمان تهیه و سپس مطابق دستورالعمل آزمایشگاه آب و فاضلاب، محلول استوک هر فلز ساخته شد و سپس برای تهیه محلول‌های با غلظت‌های مختلف از محلول استوک فلز مربوطه استفاده گردید.

**تعیین هم‌دماهای جذب سطحی:** روش تحقیق در مطالعه حاضر مبتنی بر انجام بررسی‌های آزمایشگاهی جذب با استفاده از نمونه‌های با مقیاس پیمانه‌ای<sup>۴</sup> بود و آزمایش‌های جذب مرحله‌ای برای تعیین هم‌دماهای جذب سطحی با تهیه محلول‌های حاوی ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر از عناصر سنگین سرب، روی و منگنز به صورت تک عنصری با پ هاش اولیه ۵/۵ صورت گرفت. معادل یک گرم از پودر لاستیک توزین و به نمونه‌های ۵۰ میلی لیتری از محلول‌های با غلظت‌های معین از فلزات مورد مطالعه افزوده شد. نمونه‌ها به مدت سه ساعت در دستگاه لرزاننده قرار داده شد، سپس به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از سپری شدن زمان لازم، نمونه‌ها با استفاده از قیف شیشه‌ای و کاغذ صافی واتمن صاف شد و پودر لاستیک از محلول جدا شد. محلول‌های صاف شده در قوطی‌های پلاستیکی کاملاً تمیز ریخته شد و غلظت فلزات سنگین باقی مانده در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه نشر اتمی (ICP-OES Perkin Elmer 7300 DV) اندازه‌گیری شد. در نهایت معادله‌های هم-دماهای جذب سطحی لانگمویر، فروندلیچ و مدل جذب خطی کاتیون‌های فلزی مورد مطالعه بر داده‌های حاصل از آزمایش برازش داده شد. این معادله‌ها برای ارزیابی تئوری داده‌های جذبی به کار می‌روند. برای برازش مدل‌های مذکور و تعیین معادله‌ها از نرم افزار 1.3 Curve Expert استفاده شد.

**تعیین زمان تعادل:** برای بررسی اثر زمان تعادل جاذب با ماده جذب شونده، زمان‌های متفاوت هم زدن ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه مورد آزمایش قرار گرفت. این آزمایش برای عناصر سرب، روی و منگنز در غلظت اولیه ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و پ هاش اولیه

هم‌دماهای جذب روابطی هستند که کمیت یک یون یا مولکول جذب شده بر روی فاز جامد را به عنوان تابعی از غلظت آن یون در محلول تعادلی در دمای ثابت نشان می‌دهند. معادله‌های متعددی جهت بیان ریاضی رابطه مقدار یون در فاز جامد و غلظت آن در محلول تعادلی مورد استفاده قرار گرفته که معروف‌ترین آن‌ها معادلات لانگمویر<sup>۱</sup>، فروندلیچ<sup>۲</sup> و خطی<sup>۳</sup> می‌باشند. این معادله‌های برای ارزیابی تئوری داده‌های جذبی به کار می‌روند. شکل کاربردی معادله لانگمویر به صورت زیر است:

$$q_{eq} = (q_{max} b c_{eq}) / (1 + b c_{eq}) \quad (۱)$$

در این معادله  $q_{eq}$  مقدار ماده جذب شده در حالت تعادل،  $q_{max}$  بیشترین مقدار ماده جذب شده،  $c_{eq}$  غلظت تعادلی یون فلزی و  $b$  ثابت تعادل توزیع یون فلزی بین دو فاز جامد و مایع می‌باشد (۱۴). معادله فروندلیچ یک رابطه کاملاً تجربی است که شکل متداول آن به صورت زیر است:

$$q_{eq} = k_f c_{eq}^{1/n} \quad (۲)$$

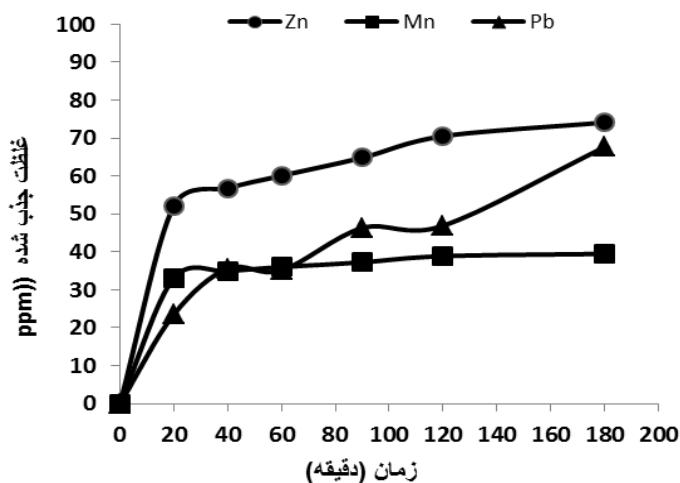
در این معادله  $k_f$  و  $1/n$ : ثابت‌های فروندلیچ هستند که به ظرفیت جذب جاذب و قابلیت جذب شدن فلز مربوط می‌شوند. معادله فروندلیچ دارای پایه نظری نبوده و ثابت‌های آن معمولاً دارای مفهوم فیزیکی نیستند.

اگر رابطه بین مقدار املاح جذب سطحی شده و غلظت محلول خطی فرض شود، در این صورت جذب سطحی  $q_{eq}$  به عنوان تابعی از  $c_{eq}$  خط راستی خواهد بود که از مبدأ مختصات می‌گذرد یعنی:

$$q_{eq} = k c_{eq} \quad (۳)$$

در این معادله  $q_{eq}$  غلظت ماده جذب شده در واحد وزن جاذب،  $c_{eq}$  غلظت تعادلی همان ماده در محلول و  $k$ : ضریب توزیع در واقع شیب خط مستقیم است (۱۴).

- 
- 1- Langmuir Equation
  - 2- Freundlich Equation
  - 3- Linear Equation



شکل ۱- سینتیک جذب عناصر مورد مطالعه در آزمایش بررسی زمان تعادل

جذب در زمان ۱۲۰ و ۹۰ دقیقه مشاهده نشد و زمان تعادل برای این فلز ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. در نهایت برای فلز سرب نیز بالاترین میزان جذب در زمان تماس ۱۸۰ دقیقه بود ولی در این زمان به تعادل نرسید و روند نمودار سینتیک جذب این عنصر در طول بازه زمانی در نظر گرفته شده در آزمایش صعودی بود و احتمال جذب بیشتر در زمان تماس بیشتر نیز وجود دارد. لازم به ذکر است که انتخاب زمان تعادل بر این اساس می‌باشد که چنانچه مقدار جذب در یک زمان با مقدار جذب در زمان قبل، اختلاف ناچیزی داشته باشد آن زمان به عنوان زمان تعادل در نظر گرفته می‌شود (به طور معمول در تحلیل آماری اختلاف کمتر از پنج درصد ناچیز شمرده می‌شود). بعد از زمان تعادل با افزایش زمان تماس جاذب با محلول حاوی عناصر، مقدار جذب تقریباً ثابت باقی می‌ماند. شکل (۱) سینتیک جذب فلزات مورد بررسی را نشان می‌دهد.

در مطالعه حاضر قدرت جذب فلزات سنگین مورد بررسی با توجه به نمودار سینتیک جذب فلزات به صورت روی < سرب < منگنز بود. نتایج سینتیک جذب مرحله‌ای نشان دهنده ظرفیت بالای جذب عناصر سنگین سرب، روی و منگنز توسط جاذب مورد استفاده بود به طوری که راندمان حذف فلزات مورد نظر در زمان ۱۸۰ دقیقه تماس با جاذب به ترتیب ۶۷/۶۲ درصد، ۷۴/۳۲ درصد و ۳۸/۶۸ درصد بود. این تفاوت در میزان جذب کاتیون‌های فلزی را می‌توان به تفاوت در میل ترکیبی آن‌ها برای اتصال به گروه‌های عاملی سطح مواد جاذب و همچنین شعاع یونی آن‌ها ربط داد (۱).

آسیاگیو و همکاران نیز بر روی حذف فلز سرب توسط پودر لاستیک از محلول آبی به نتیجه قابل قبولی دست یافتند، میزان حذف فلز سرب در آزمایش این محققین به طور میانگین ۸۶/۶۶ درصد اعلام

برابر با ۵/۵، به طور جداگانه در سه تکرار انجام شد. نحوه انجام آزمایش‌ها همانند آزمایش تعیین هم‌دهماهای جذب بوده با این تفاوت که در این آزمایش زمان‌های تماس محلول‌های فلزی با جاذب ثابت نبوده است. نمونه‌ها پس از سپری شدن زمان‌های اشاره شده با استفاده از کاغذ صافی واتمن صاف و غلظت باقی مانده فلز در آن اندازه‌گیری شد. با استفاده از نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها، روند تغییرات جذب فلزات مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار Excel رسم شد. همچنین، برای محاسبه بازدهی حذف فلزات سنگین توسط جاذب از رابطه زیر استفاده شد (۴):

$$E (\%) = 100 * (C_i - C_f) / (C_i) \quad (4)$$

در این معادله  $C_i$ : غلظت اولیه و  $C_f$ : غلظت نهایی فلزات مورد مطالعه در محلول فلزی می‌باشد.

### نتایج و بحث

نتایج بررسی اثر زمان تماس ماده جاذب با محلول‌های حاوی یون‌های فلزات سنگین نشان داد که با افزایش زمان تماس پودر لاستیک با محلول فلزی به دلیل امکان تماس بیشتر یون‌های فلزی با سطح جاذب مقدار جذب افزایش یافت که مؤید تحقیقات دیگر محققین نیز می‌باشد (۴ و ۵).

با توجه به نمودارهای سینتیک جذب، بیشترین مقدار جذب برای عنصر روی در زمان ۱۸۰ دقیقه به دست آمد که اختلاف قابل ملاحظه‌ای با مقدار جذب زمان ۱۲۰ دقیقه نداشته است، در نتیجه زمان تعادل برای این فلز با کاربرد جاذب پودر لاستیک ۱۸۰ دقیقه در نظر گرفته شد. برای عنصر منگنز تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین راندمان

جدول ۱- مقایسه نتایج مدل های برازش یافته هم‌دماهای جذب عناصر مورد مطالعه

معادله خطی جذب	معادله فروندلیچ	معادله لانگمویر	معادلات جذب فلزات مورد بررسی
$q_{eq} = 38.397 C_{eq}$ $R^2 = 0.990$ $S = 0.0021$	$q_{eq} = 27.564 C_{eq}^{0.869}$ $R^2 = 0.997$ $S = 0.077$	$q_{eq} = \frac{(103.089 \times C_{eq})}{(1 + 1832.696 C_{eq})}$ $R^2 = 0.880$ $S = 0.0072$	Zn
$q_{eq} = 17.781 C_{eq}$ $R^2 = 0.980$ $S = 0.0017$	$q_{eq} = 29.198 C_{eq}^{1.120}$ $R^2 = 0.988$ $S = 0.079$	$q_{eq} = \frac{(39.087 \times C_{eq})}{(1 + 1144.557 C_{eq})}$ $R^2 = 0.806$ $S = 0.0053$	Mn
$q_{eq} = 34.878 C_{eq}$ $R^2 = 0.992$ $S = 0.0005$	$q_{eq} = 23.739 C_{eq}^{0.849}$ $R^2 = 0.999$ $S = 0.025$	$q_{eq} = \frac{(94.282 \times C_{eq})}{(1 + 5837.902 C_{eq})}$ $R^2 = 0.887$ $S = 0.0020$	Pb

آزمایش هم‌دماهای جذب یون‌های فلزی سرب، منگنز و روی برای جذب پودر لاستیک بررسی گردید. داده‌های آزمایش با استفاده از مدل‌های جذب خطی، لانگمویر و فروندلیچ برازش داده شدند. جدول (۱) مقایسه نتایج مدل های برازش یافته هم‌دماهای جذب عناصر مورد مطالعه را نشان می‌دهد ( $R^2$  ضریب تبیین و S خطای استاندارد مدل برازش داده شده می‌باشد).

تارگو و پریک<sup>۲</sup> برای برازش مدل‌های جذب، در جذب یون روی بر روی زئولیت طبیعی کرواسی اشباع شده با سدیم مدل لانگمویر را انتخاب کردند (۱۶).

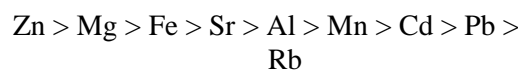
با توجه به نتایج به‌دست آمده از برازش مدل‌های جذب، برای هر سه عنصر روی، سرب و منگنز مدل جذبی فروندلیچ با ضرایب تبیین به ترتیب ۰/۹۹۷، ۰/۹۹۹ و ۰/۹۸۸ برای هر سه عنصر دارای بالاترین تطابق بود. البته مدل جذب خطی و پس از آن مدل جذب لانگمویر نیز برای جذب پودر لاستیک و عناصر مورد مطالعه، ضریب تبیین و خطای استاندارد قابل قبول و مناسبی داشتند.

شکل‌های (۲) تا (۴) نتایج برازش مدل فروندلیچ با استفاده از نرم افزار Curve Expert 1.3 را برای سه عنصر مورد مطالعه نشان می‌دهد که دارای بهترین انطباق با نتایج آزمایش بوده است. لازم به ذکر است که با افزایش تعداد غلظت‌های اولیه آزمایش می‌توان ضریب تبیین دقیق‌تری به‌دست آورد (۲).

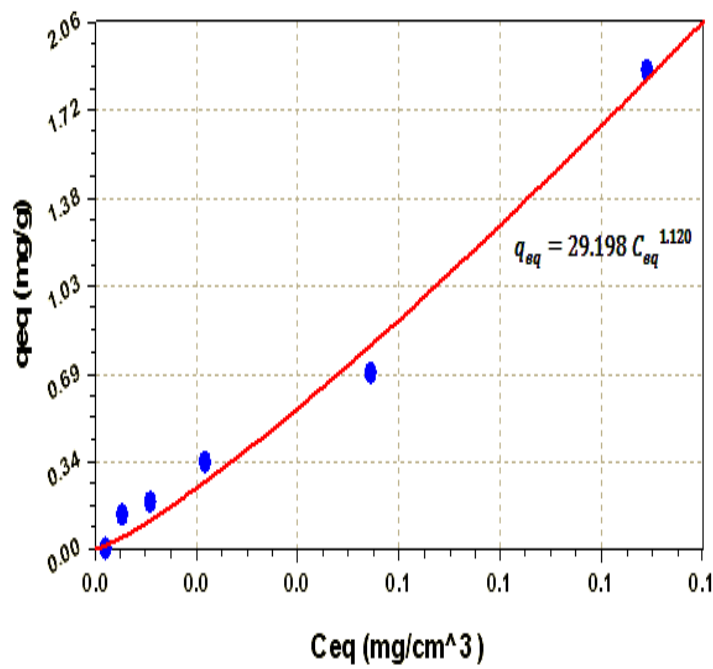
شده است که بیشتر از ۶۷/۶۲ درصد به‌دست آمده در این مطالعه می‌باشد، گرچه در طول آزمایش حاضر فلز سرب در فرآیند جذب روند صعودی داشته و با ادامه آزمایش امکان افزایش در میزان بازدهی حذف فلز سرب وجود خواهد داشت (۶).

عمادی و همکاران اثر زمان تعادل را در جذب یون آمونیوم توسط فیلترهای معدنی بررسی کردند و نتایج پس از ۲۴ ساعت تماس کانی با محلول‌های فلزی نشان داد که با افزایش زمان تماس جذب با محلول حاوی عناصر، جذب افزایش یافت (به نقل از ۴).

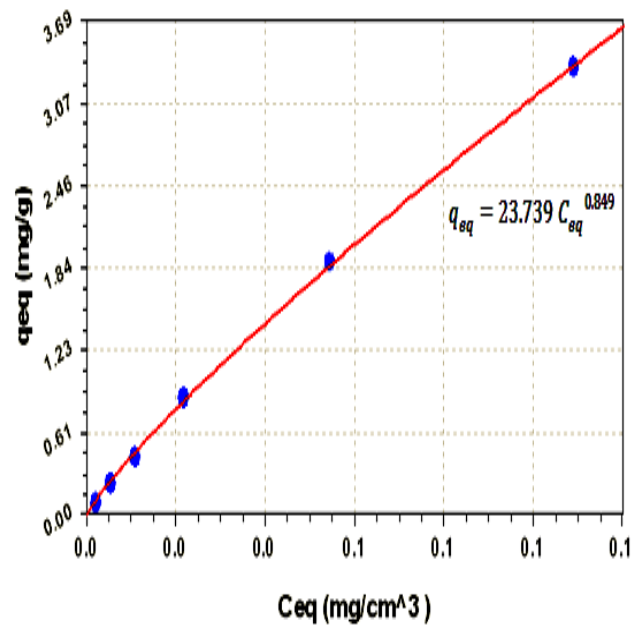
بوکا و همکاران<sup>۱</sup> نیز طی تحقیقی نشان دادند که ذرات لاستیک قدرت جذب یون‌های فلزی را داشته و ترتیب قدرت جذب عناصر در تحقیق آنان به صورت زیر بوده است (۷):



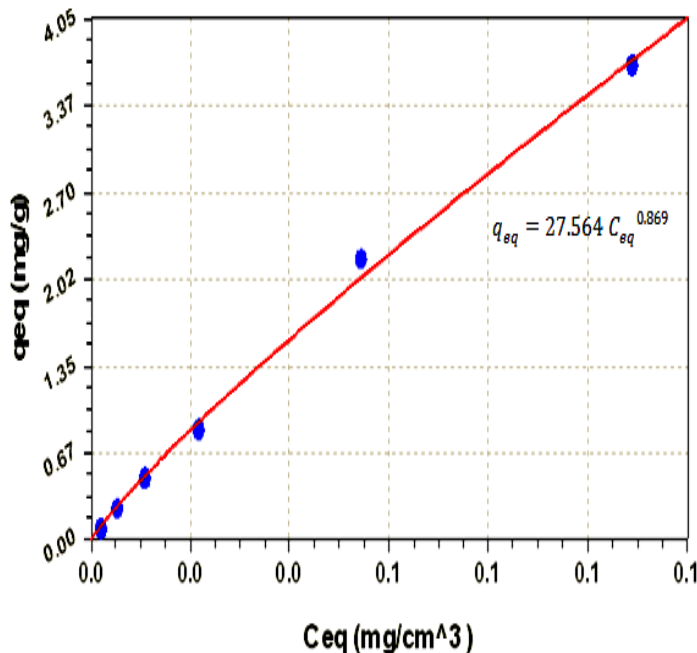
مقایسه نتایج این محققین با تحقیق حاضر در مورد فلزهای روی و منگنز روند مشابهی را نشان می‌دهد ولی در مورد فلز سرب نتایج متفاوت می‌باشد که این تفاوت می‌تواند ناشی از شرایط متفاوت آزمایش، تفاوت در نوع پودر لاستیک و یا خطای آزمایش باشد.



شکل ۲- مدل فروندلیچ برازش یافته هم‌دمای جذب عنصر سرب



شکل ۳- مدل فروندلیچ برازش یافته هم‌دمای جذب عنصر منگنز



شکل ۴- مدل فروندلیچ برازش یافته همدمای جذب عنصر روی

همچنین برازش مدل‌های جذب خطی، لانگمویر و فروندلیچ بر داده‌ها حاکی از این بود که مدل فروندلیچ و پس از آن مدل جذب خطی انطباق بسیار خوبی با نتایج حاصل از آزمایش داشت و مدل لانگمویر در مقایسه با دو مدل دیگر دارای انطباق کمتری بود.

نکته قابل توجه در مطالعات مربوط به جذب عناصر توسط مواد جذب، زمان قرار گرفتن مواد جذب در برابر آلاینده‌ها در آزمایشگاه می‌باشد که بسیار کمتر از این زمان در شرایط کنترل نشده است. علاوه بر این، اغلب این آزمایش‌ها با استفاده از غلظت‌های فلزی بیشتر از آنچه که در شرایط واقعی در فاضلاب وجود دارد، صورت می‌پذیرد. عدم توجه به موارد ذکر شده منجر به برداشت نادرستی از رفتار آلاینده‌ها در محیط خواهد گردید.

در نهایت با نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر می‌توان گفت که کاربرد جذب مورد مطالعه برای حذف فلزات سنگین از پساب‌ها با در نظر گرفتن نکات اجرایی مؤثر و قابل توصیه می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به منظور بررسی کارایی جاذب پودر لاستیک در حذف و یا کاهش فلزات سنگین سرب، روی و منگنز از محلول‌های حاوی این یون‌های فلزی صورت گرفت و نتایج به‌دست آمده نشان داد که این جاذب با حذف فلزات سرب، روی و منگنز از محلول آبی به ترتیب برابر با ۶۷/۵، ۷۴/۵ و ۳۹/۹ درصد، به خوبی توانست درصد قابل توجهی از این عناصر را جذب نماید.

همان‌طور که ارقام نشان می‌دهند بازدهی حذف سه فلز مورد مطالعه از محلول آبی توسط این جاذب متفاوت بوده است که در واقع می‌توان گفت تفاوت در درصد حذف فلزات سنگین مختلف در غلظت‌های یونی اولیه، مقدار جاذب و زمان تماس و سایر شرایط مشابه ممکن است به تفاوت در تمایل شیمیایی و ظرفیت تبادل یونی آن‌ها در ارتباط با گروه‌های عاملی شیمیایی روی سطح جاذب، که وابسته به میزان بار، میزان هیدرولیز و حلالیت یون‌های فلزی است، مربوط باشد.

### منابع

۱- اسدی، ف. ۱۳۸۱. حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی توسط پوسته شلتوک برنج، خاک اره و خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸ صفحه.

۲- اسلامیان، س. س.، سلطانی، س. و ع. ر. زارعی. ۱۳۸۴. کاربرد روش‌های آماری در علوم زیست محیطی. انتشارات ارکان، اصفهان، ۴۲۰ صفحه.

- ۳- بیدکی، س. م. ی. ۱۳۸۷. تأثیر اختلاط لاستیک‌های فرسوده خودرو با خاک بر برخی از شاخص‌های کیفیت خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۱۷ صفحه.
- ۴- سلیمانی، م.، انصاری، آ.، حاج عباسی، م. ع. و ج. عابدی کوپایی. ۱۳۸۷. بررسی حذف نیترات و آمونیوم از آبهای زیرزمینی با استفاده از فیلترهای کانساری. مجله آب و فاضلاب، ۶۷: ۲۶-۱۸.
- ۵- عابدی کوپایی، ج. و س. ف. موسوی. ۱۳۸۷. جذب سرب از پساب صنعتی توسط خاکستر پوسته شلتوک. مجله آب و فاضلاب. شماره ۴۸: ۲۳-۱۷.
- 6- Asiagwu, A. K., Okoye, P. A. Ch., Ifeoma, O. and P. E. Omuku. 2009. Sorption potentials of waste tyre for some heavy metals (Pb , Cd) in aqueous solution. *Leonardo Journal of Sciences*, 14: 227-234.
- 7- Bocca, B., Forte, G., Petrucci, F., Costantini, S. and P. Izzo. 2009. Metals contained and leached from rubber granulate used in synthetic turf areas. *Science of Total Environment*, 407(7): 2183-2190.
- 8- Danwanichakul, P., Dechojarasri, D., Meesumrit, S. and S. Swangwareesakul. 2008. Influence of sulfurcrosslinking in vulcanized rubber chips on mercury (II) removal from contaminated water. *Journal of Hazardous Materials*, 154: 1-8.
- 9- Maneekattia, N., Maggomin, P. and P. Danwanichakul. 2008. Mercury (II) removal from water by batchadsorption with natural rubber chips. *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 13: 108-113.
- 10- Mondal, B. and M. A. Warith. 2007. Use of shredded tire chips and tire crumbs as packing media in trickling filter systems for landfill leachate treatment. *Journal of Environmental Science and. Technology*, 29: 827-836.
- 11- Mousavi, H. Z., Hosseynifar, P., Jahed, V. and S. A. M. Dehghani. 2010. Removal of Lead from aqueous solution using waste tire rubber ash as an adsorbent. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27: 79-87.
- 12- Oh, D. I., Nam, K., Park, J. W., Khim, J. H., Kim, Y. K. and J. Y. Kim. 2008. Impact of environmental conditions on the sorption of volatile organic compounds onto tire powder. *Journal of Hazardous Materials*, 153: 157-163.
- 13- Okamen, F. E. and V. U. Onyekpa. 1989. Removal of heavy metal ions from aqueous solution with melon seed husks. *Biological Waste*, 29: 11-16.
- 14- Okeola, F. O. and E. O. Odebunmi. 2010. Comparison of Freundlich and Langmuir isotherms for adsorption of methylene blue by agrowaste derived activated carbon. *Advances in Environmental Biology*, 4(3): 329-335.
- 15- Sumathi, K. M. S., Mahimairaja, S. and R. Naidu. 2004. Use of low-cost biological waste and vermicule for removal of chromium from tannery effluent. *Bioresource Technology*, 96: 309-316.
- 16- Targo, M. and J. Peric. 2003. Interaction of the zeolic tuff with Zn containing simulated pollutant solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 260: 166-17.
- 17- Troca-torrado, C., Alexandre-Francoa, M., Fernández-González, C., Alfaro-Domínguez, M. and V. Gómez-Serrano. 2010. Development of adsorbents from used tire rubber: Their use in the adsorption of organic and inorganic solutes in aqueous solution. *Fuel Process. Technol*, (FUPROC 02759): 1-7.