

## بررسی امکان استفاده از پلی اتیلن ترفتالات پیوند زده شده با منومر ۲ هیدروکسی پروپیل متاکریلات در تصفیه پساب جهت کنترل میزان آلودگی سرب و کادمیم در محیط زیست آبریان

- آرش برزو\*: گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان، صندوق پستی: ۸۱۵۹۵-۱۵۸
- محمود کلباسی: گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان، صندوق پستی: ۸۱۵۹۵-۱۵۸
- مهران هودجی: گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان، صندوق پستی: ۸۱۵۹۵-۱۵۸
- مجید عبدوس: گروه شیمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳
- احمد محمدی قهساره: گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان، صندوق پستی: ۸۱۵۹۵-۱۵۸

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۲

### چکیده

امروزه آلودگی اکوسیستم‌های آب شیرین در ایران و جهان توسط فلزات سنگین مانند سرب و کادمیم یک مشکل زیست محیطی بسیار مهم می‌باشد. یکی از مهمترین منابع ورود فلزات سنگین به آب‌های سطحی ورود فاضلاب و پساب‌های مختلف می‌باشد. از جمله مناسب‌ترین روش‌ها جهت کاهش آلودگی فلزات سنگین در منابع آبی تصفیه پساب‌های ورودی به روش جذب سطحی توسط جاذب‌های پلیمری می‌باشد. در تحقیق حاضر از جاذب پلیمری پلی اتیلن ترفتالات پیوند زده شده با منومر ۲ هیدروکسی پروپیل متاکریلات جهت جذب سرب و کادمیم استفاده گردید. پس از تولید جاذب خصوصیات آن بررسی گردید. نتایج نشان داد خواص جذبی فیلتر تولیدی در اثر تماس با باز قوی تغییر محسوسی پیدا نکرده است. هم‌چنین از فیلتر تولیدی جهت جذب کادمیم و سرب از محلول آزمایشگاهی و از پساب کارخانه ذوب آهن اصفهان استفاده شد. طبق نتایج به‌دست آمده حداکثر ظرفیت جذب کادمیم و سرب توسط جاذب به ترتیب معادل ۲۳/۴۴ و ۲۰/۹ میلی‌گرم در گرم به‌دست آمد که معادل ۶۳ و ۳۲ درصد عنصر موجود در پساب بود. مقایسه جذب کادمیم و سرب در شرایط آزمایشگاهی و جذب از پساب نشان داد که جذب کادمیم از پساب تقریباً با شرایط آزمایشگاهی برابر بوده در حالی که در مورد سرب این مقدار حدود ۵۴ درصد شرایط آزمایشگاهی می‌باشد و فیلتر تولیدی جهت تصفیه کادمیم و سرب از پساب مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کادمیم، سرب، محیط زیست آبریان، تصفیه پساب، جاذب



## مقدمه

در دهه گذشته ورود آلاینده‌ها با منشاء انسانی مانند فلزات سنگین درون اکوسیستم، به مقدار زیادی افزایش یافته است که این به عنوان یک خطر جدی برای حیات اکوسیستم زمین به شمار می‌آید. فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع طبیعی و فعالیت انسان وارد محیط زیست می‌شوند. میزان ورود این فلزات سنگین به داخل محیط زیست، بسیار فراتر از میزانی است که به وسیله فرآیندهای طبیعی برداشت می‌شوند. بنابراین تجمع فلزات سنگین در محیط زیست قابل ملاحظه است. اولین عامل اثرات آلودگی فلزات در یک اکوسیستم، وجود فلزات سنگین در بیومس یک منطقه آلوده است که سلامت آبزیان و انسان را به مخاطره می‌اندازد. تجمع فلزات سنگین در آب، هوا و خاک، یک مشکل زیست محیطی بسیار مهم می‌باشد (افیونی، ۱۳۷۹).

گرچه طبیعت در مقابل آلاینده‌های مختلف از قابلیت و توان خودپالایی معینی برخوردار است اما کثرت و فزونی مواد آلوده‌کننده در اغلب حالات این خاصیت بهینه‌سازی را از آن سلب می‌کند و سبب تغییرات اساسی در اکوسیستم و نابودی بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری مطلوب انسان‌ها و غیرقابل استفاده شدن آب، هوا و خاک می‌شود (افیونی، ۱۳۷۹). در شرایط کنونی آلودگی اکوسیستم‌های آب شیرین نگران‌کننده است (Begum, ۲۰۰۵). طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی در سال ۱۹۹۶ با توجه به محدود بودن منابع و ذخایر آب شیرین و رشد جمعیت و هم‌چنین توسعه شهری و صنعتی و کشاورزی در اطراف رودخانه‌ها، استفاده صحیح از منابع آب موجود ضروری به نظر می‌رسد. امروزه فلزات سنگین به دلیل سمی بودن زمان ماندگاری بالا و تجمع آن‌ها در بافت جانداران، از اهمیت اکولوژیک و بیولوژیک زیادی برخوردارند. و با دخالت‌های انسان میزان آن‌ها در محیط زیست افزایش می‌یابد. دخالت‌های انسان در افزایش این فلزات در محیط به صورت‌های مختلف از جمله فاضلاب‌های شهری، صنعتی، کشاورزی و اکتشافات و استخراج معادن، مصرف سوخت‌های فسیلی و ... می‌باشد (Boyd, ۱۹۹۰). از جمله فلزات سنگین خطرناک سرب و کادمیم هستند (اسماعیلی، ۱۳۸۱). در ایران مطالعات مختلفی در ارتباط با آلودگی منابع آبی با کادمیم و سرب انجام گرفته است از جمله رحیمی و رئیسی (۱۳۸۷) در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که میزان آلودگی سرب و کادمیم در گوشت ماهیان صید شده از تالاب چغاخور استان چهارمحال و بختیاری

بیش‌تر از حداکثر قابل قبول توسط اتحادیه اروپا می‌باشد و دلیل آنرا ورود پساب‌های کشاورزی به تالاب مذکور دانسته‌اند. هم‌چنین میرمحمدی و سمایی (۱۳۸۴) مقادیر سرب و کادمیم را در رسوبات و آب رودخانه قره‌چای بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در زمان کم آبی مقدار سرب در آب رودخانه بالا و آلوده‌کننده است. هم‌چنین میانگین کل غلظت سرب بیش از مقدار مجاز برای آبزیان بوده ولی هنوز در حد غلظت کشنده برای آن‌ها نیست. در هر صورت از نظر میزان سرب آب رودخانه آلوده بوده و برای اموری مانند آبی‌پروری می‌تواند مشکل‌ساز باشد. اما در مورد کادمیم آب رودخانه مذکور مشکل آلودگی نداشت. خراسانی و همکاران (۱۳۸۴) نیز غلظت فلزات سنگین را در رسوبات سطحی خلیج فارس بررسی کردند و آلودگی مس روی و کروم را در رسوبات مورد بررسی گزارش کردند. مهم‌ترین منشا ورود فلزات سنگین به آب‌های سطحی و رسوبات تخلیه فاضلاب و پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری می‌باشد. به عنوان مثال در فاضلاب‌های کارخانه‌های شیمیایی مانند تولید خمیر کاغذ، پتروشیمی، پالایشگاه، کودسازی، ساخت استیل حضور فلزات سنگین مشاهده شده است که از این بین عناصر مس، روی، سرب، جیوه کروم و نیکل فراوان‌ترین فلزات سنگین یافت شده در فاضلاب آن‌ها هستند (Pamukoglu, ۲۰۰۶). بنابراین یکی از مناسب‌ترین روش‌ها جهت کاهش میزان آلودگی فلزات سنگین در منابع آبی تصفیه پساب‌ها و کاهش غلظت این عناصر در پساب‌های ورودی به محیط زیست می‌باشد.

روش‌های مختلفی جهت حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی به کار رفته است از جمله می‌توان به ترسیب شیمیایی، تعویض یونی، اسمز معکوس و جذب یونی اشاره نمود (Cardoso و همکاران، ۲۰۰۴؛ Esalah و همکاران، ۲۰۰۰؛ Weirich و همکاران، ۲۰۰۲). روش جذب سطحی با توجه به کارایی و کاربرد آسان یکی از روش‌های متداول در جداسازی یون‌های سنگین از پساب‌های صنعتی می‌باشد (Zhou و همکاران، ۲۰۰۴). در این روش فلزات سنگین در سطح جاذب‌هایی که در واقع ترکیبات غیرقابل حل در آب می‌باشند جذب سطحی می‌شوند. از مواد مختلفی به عنوان جاذب استفاده می‌گردد. از جمله رایج‌ترین آن‌ها استفاده از مواد زائد حاصل از فعالیت‌های صنعتی و به خصوص کشاورزی که بیش‌تر پایه سلولزی دارند به عنوان جاذب می‌باشد (Bailey و همکاران، ۱۹۹۹). یکی دیگر از روش‌های تصفیه بر مبنای جذب سطحی، جذب یون روی مواد پلیمری کلات‌کننده جامد می‌باشد و از روش -



محاسبه گردید به سه گروه ۲۰ تا ۴۰ درصد، ۲۰ تا ۴۰ درصد و بالاتر از ۴۰ درصد طبقه‌بندی و تفکیک شد.

$$\times 100 = \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 = \text{درصد پیوند (گرفت)}$$

و از نمونه‌های با درصد پیوند بالای ۴۰ درصد جهت انجام آزمایش استفاده شد.

### ب: تعیین خواص فیلتر تولیدی

در فیلتر تولیدی خواص زیر تعیین گردید.

#### ۱- ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)

برای اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی از روش استات سدیم روش پیشنهادی Rhoades (۱۹۸۹) استفاده شد. اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در سه مرحله انجام شد:

۱-۱- اشباع الیاف با نمک استات سدیم

۱-۲- تعویض کاتیون‌ها با استات آمونیوم

۱-۳- اندازه‌گیری غلظت سدیم خارج شده به کمک روش شعله‌سنجی و محاسبه آن بر حسب میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم الیاف.

۲- نقطه بار الکتریکی صفر (ZPC)

جهت تعیین نقطه بار الکتریکی صفر (ZPC) برای فیلتر تولیدی از روش پتانسیومتریک ارائه شده توسط Gillman و Uehara (۱۹۸۰) استفاده شد. لازم به ذکر است که روش مذکور توسط Chaari و همکاران (۲۰۰۹) نیز استفاده شده است. طبق این روش در ۶ ارلن هرکدام ۰/۱ گرم از الیاف پیوند خورده ریخته و ۲۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ مولار KCl به آن اضافه گردید. سپس مخلوط به دست آمده به مدت ۶ ساعت در شیکر با دور ۱۵۰ دور در دقیقه قرار داده شد. محلول رویی را خارج نموده و مجدداً ۲۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۲ مولار KCl به هر ظرف اضافه گردید. با استفاده از HNO<sub>3</sub> و NaOH، pH مخلوط موجود در ظروف بین ۴/۰۸ تا ۹/۱۳ تنظیم گردید. pHهای مذکور که توسط دستگاه pH متر دیجیتالی اندازه‌گیری گردید به عنوان pH اولیه یادداشت شد. برای به تعادل رسیدن مخلوط به دست آمده ۹۶ ساعت صبر نموده و مجدداً pH اندازه‌گیری گردید و به عنوان pH<sub>0.002</sub> یادداشت شد. به هر یک از مخلوط‌های فوق ۰/۵ میلی‌لیتر محلول ۲ مولار KCl اضافه گردید و پس از ۳ ساعت شیک کردن با شیکر با دور ۱۵۰ دور در دقیقه مجدداً pH اندازه‌گیری و به عنوان pH<sub>0.05</sub> یادداشت

هایی است که به نظر می‌رسد در آینده‌ای نه چندان دور کاربرد گسترده‌ای در جداسازی، تغلیظ و بازیافت یون‌های فلزی از منابع مختلف داشته باشد (Moroi و Bilba، ۲۰۰۳؛ Deng و Bai، ۲۰۰۴).

پلی‌اتیلن ترفتالات (polyethylene terephthalate) یا PET یکی از متداول‌ترین الیاف‌های مورد استفاده به‌عنوان پایه پلیمری جهت جذب فلزات سنگین می‌باشد. پلی‌اتیلن ترفتالات یک پلیمر ترموپلاست و از خانواده پلی استرها می‌باشد. پلیمری با شاخه‌های بلند و دارای کاربردهایی هم‌چون تولید الیاف، تولید بطری برای نگهداری مایعات، کاربردهای ترموفورینگ و رزین‌های مهندسی می‌باشد. جهت افزایش قدرت جذب فلزات سنگین توسط الیاف خام، منومری با خاصیت تبادل یون به شکل پیوند خورده با پلیمر اصلی به پلیمر اضافه و کوپلیمر تولید می‌شود (شاملو، ۱۳۸۹).

تاکنون محققان منومرهای مختلفی از قبیل متیل متاکریلات، اکریلیک اسید، متاکریلیک اسید را جهت جداسازی فلزات سنگین یا رنگ به PET پیوند زده‌اند و از آن‌ها جهت تصفیه پساب‌ها استفاده کرده‌اند (غیابی، ۱۳۸۸؛ طبرزدی، ۱۳۸۷؛ شاملو، ۱۳۸۹؛ Azizinezhad، ۲۰۱۱؛ Azizinezhad و Shabani، ۲۰۱۲) اما تا این زمان گزارش منتشر شده‌ای از پیوندزنی ۲ هیدروکسی پروپیل متاکریلات به PET جهت تصفیه فلزات سنگین مشاهده نشده است. لذا هدف کلی از انجام این تحقیق تولید فیلتر پلیمری پلی اتیلن ترفتالات پیوند زده شده با منومر ۲ هیدروکسی پروپیل متاکریلات و امکان استفاده از آن در تصفیه فلزات سنگین (سرب و کادمیم) از پساب فاضلاب قبل از تخلیه در محیط‌زیست آبیان می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### الف: تولید فیلتر

جهت تولید فیلتر مورد نظر در تحقیق حاضر، از الیاف مصنوعی PET با نمره dtex = ۱۶۷ و ۴۴ = filaments ساخته شده در دانشکده نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر استفاده گردید. طبق دستورالعمل پیشنهادی Azizinezhad (۲۰۱۱) و به روش گرافتینگ به روش رادیکال آزاد منومر ۲ هیدروکسی پروپیل متاکریلات (دارای عامل فعال OH- الکلی از نوع دوم) به آن پیوند زده شد.

کوپلیمر تولیدی بر حسب درصد پیوند که از فرمول زیر



استفاده شده مقدار هدایت الکتریکی، pH و مقدار عناصر کادمیم و سرب اندازه‌گیری شد. به دلیل بالا بودن مقدار pH پساب، با استفاده از اسید نیتریک pH پساب در حد بهینه به دست آمده برای جذب کادمیم و سرب تنظیم گردید. (۶/۷) برای کادمیم و ۶ برای سرب. سپس غلظت دو عنصر کادمیم و سرب در پساب مورد استفاده به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. به دلیل پایین بودن مقدار عناصر سنگین در آن‌ها، به طور مصنوعی مقدار لازم از کلرید کادمیم و نیترات سرب جهت تامین غلظت ۵ و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سرب به پساب مذکور اضافه گردید. سایر شرایط طبق شرایط بهینه جذب تنظیم گردید. ضمن این‌که در هر غلظت یک نمونه بدون اضافه کردن فیلتر و به‌عنوان شاهد مورد آزمایش قرار گرفت. پس از اتمام آزمایش تمام نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شد و در محلول عبور کرده غلظت سرب و کادمیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. توانایی فیلتر برای جدا سازی کادمیم و سرب از پساب فاضلاب تعیین گردید. بدین منظور اعداد به‌دست آمده در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار SPSS با مقادیر محاسبه شده در شرایط آزمایشگاهی مقایسه گردید.

## نتایج

برای محاسبه (CEC) طبق نتایج به‌دست آمده مقدار کل سدیم آزاد شده برابر ۴/۵ میلی‌گرم بود. با توجه به وزن الیاف استفاده شده که معادل ۰/۴۳ گرم بود. مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی ۴۵/۵ سانتی مول بار در ۱۰۰ گرم الیاف (۴۵/۵) میلی اکی والان گرم در ۱۰۰ گرم الیاف) به‌دست آمد.

نقطه بار الکتریکی صفر (ZPC) برای جاذب طبق نمودار ۱ محل برخورد خط رسم شده با محور طول  $pH_{0.002}$  می‌باشد که مقدار آن برابر ۵/۸۰ می‌باشد. سطح ویژه جاذب طبق روش BET معادل ۰/۴۲ متر مربع بر گرم به‌دست آمد.

شد. جهت تعیین نقطه بار الکتریکی صفر با استفاده از فرمول زیر  $\Delta pH = pH_{0.05} - pH_{0.002}$  محاسبه گردید. مقدار  $pH_{0.002}$  بین  $\Delta pH$  و  $pH_{0.002}$  نمودار رسم شد. مقدار  $pH_{0.002}$  ی که در آن  $\Delta pH = 0$  گردید. از نمودار به‌دست آمد و به‌عنوان نقطه بار الکتریکی صفر گزارش گردید.

۳: میزان سطح ویژه جاذب

میزان سطح ویژه جاذب نیز با استفاده از روش BET<sup>۱</sup> تعیین گردید.

فیلتر تولیدی جهت بهینه سازی شرایط جذبی کادمیم و سرب در شرایط آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه شیکر به‌عنوان شرایط پایه در نظر گرفته شد. سپس بهترین شرایط جذب برای کادمیم و سرب تعیین و حداکثر قدرت جذب عناصر مذکور توسط فیلتر تولیدی محاسبه گردید.

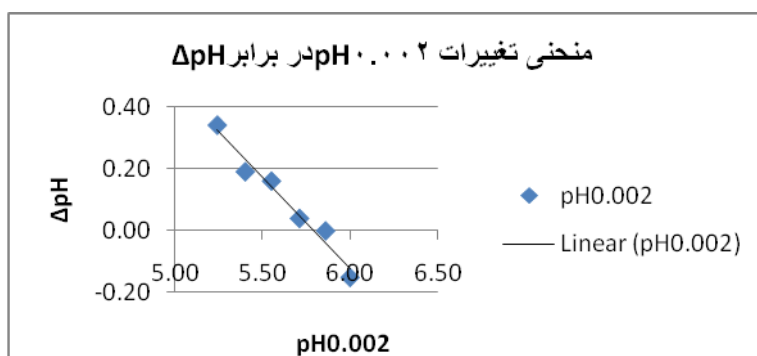
۴: میزان پایداری فیلتر در شرایط قلیایی

نظر به این‌که پلیمرها در شرایط اسیدی و قلیایی بسیار پایدار بوده و مقاوم‌تر از جاذب‌های معدنی هستند. میزان پایداری شرایط جذب سرب و کادمیم در فیلتر تولیدی در شرایط قلیایی بررسی شد. جهت بررسی میزان کارایی فیلتر پس از قرار گرفتن در شرایط قلیایی، از الیاف مورد استفاده به عنوان جاذب در محلول‌های با غلظت ۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیم و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سرب و سایر شرایط بهینه جذب استفاده شد. فیلتر مذکور پس از قرار گرفتن در محلول‌های حاوی سرب یا کادمیم و اتمام واکنش جذب توسط فیلتر، به ارلن حاوی ۲۰ سانتی‌متر مکعب محلول ۱ مولار NaOH اضافه گردید. سایر شرایط همانند جذب در نظر گرفته شد و پس از اتمام آزمایش محلول رویی صاف گردید. الیاف جدا شده در این مرحله مجدداً برای آزمایش جذب با همان شرایط مورد استفاده قرار گرفت. پس از اتمام آزمایش جذب، آزمایش واجذب مجدداً با همان شرایط تکرار گردید. این چرخه پنج مرتبه تکرار شد و پس از اتمام آن مجدداً قدرت جذب برای تصفیه کادمیم و سرب از محلول اندازه‌گیری شد.

۵: خواص جذبی فیلتر در پساب

جهت بررسی خواص جذبی فیلتر تهیه شده در شرایط طبیعی از پساب کارخانه ذوب آهن اصفهان استفاده شد. پساب مورد استفاده متعلق به کوره بلند کارخانه ذوب آهن اصفهان بود که نمونه‌برداری طی یک مرحله انجام گرفت در نمونه





نمودار ۱: تعیین بار الکتریکی صفر یا ZPC با استفاده از روش پتانسیومتریک

محیطی استفاده از آب‌های برگشتی و پساب‌ها می‌باشد (۳)، می‌توان از فیلتر جهت تصفیه پساب استفاده کرد. همچنین ظرفیت جذب برای جذب سرب و کادمیم طبق نتایج به دست آمده بالا و قابل قبول می‌باشد.

شرایط بهینه و حداکثر مقدار جذب کادمیم و سرب در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که در جدول مذکور مشاهده می‌شود pH مناسب برای جذب کادمیم و سرب معادل ۶ و ۶/۷ می‌باشد. با در نظر گرفتن این موضوع که مقدار pH مناسب جهت تخلیه پساب در محیط آبی طبق ضوابط زیست

جدول ۱: شرایط بهینه و حداکثر ظرفیت جذب کادمیم و سرب توسط فیلتر

عنصر	زمان دقیقه	pH	غلظت جذب گرم در لیتر	غلظت عنصر میلی‌گرم در لیتر	حداکثر میزان جذب فلز در واحد وزن جذب میلی‌گرم در گرم
کادمیم	۶۰	۶/۷	۲/۵	۱۲۰	۲۳/۴۴
سرب	۳۰	۶	۲/۵	۱۲۰	۲۰/۹

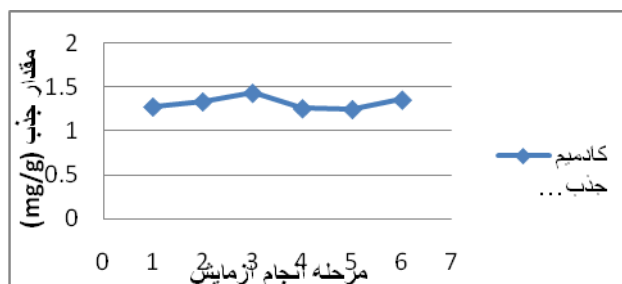
از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به ۷/۹۲ تا ۱۰/۲۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته که نشان‌دهنده جذب ۴۹ تا ۶۰ درصد کادمیم موجود در محلول توسط فیلتر می‌باشد. از طرف دیگر قدرت فیلتر برای ششمین مرحله جذب و پس از ۵ مرحله شستشو با هیدروکسیدسدیم تغییر محسوسی نکرده و ۴/۶۵ میلی‌گرم کادمیم در گرم جذب بوده که نشان‌دهنده پایداری فیلتر در برابر شرایط قلیایی و شستشو با باز می‌باشد. در مورد عنصر سرب همان‌طور که در نمودار ۴ مشخص است مقدار جذب آن توسط جذب بین ۶/۵۲ تا ۱۲/۲۸ میلی‌گرم در گرم متغیر بوده است. به عبارت دیگر غلظت سرب در محلول پس از قرار گرفتن در مجاورت فیلتر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به ۱۹/۳۲ تا ۳۳/۷۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته که نشان‌دهنده جذب ۳۳ تا ۶۱ درصد سرب موجود در محلول توسط فیلتر می‌باشد. بعد از دومین مرحله شستشو قدرت جذب سرب توسط فیلتر کاهش یافته است البته با توجه به غلظت بالای سرب در شرایط آزمایشگاهی نسبت به پساب تولیدی هنوز مقدار جذب بر

در نمودارهای ۲ تا ۴ نتایج مربوط به میزان پایداری شرایط جذبی فیلتر در مجاورت محیط قلیایی آورده شده است. طبق نتایج موجود در نمودار ۲ مقدار جذب کادمیم توسط جذب بین ۱/۲۴ تا ۱/۴۳ میلی‌گرم در گرم متغیر بوده است. به عبارت دیگر غلظت کادمیم در محلول پس از قرار گرفتن در مجاورت فیلتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر به ۱/۴ تا ۱/۹ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته که نشان‌دهنده جذب ۶۲ تا ۷۲ درصد کادمیم موجود در محلول توسط فیلتر می‌باشد. از طرف دیگر قدرت فیلتر برای ششمین مرحله جذب و پس از ۵ مرحله شستشو با هیدروکسیدسدیم تغییر محسوسی نکرده و معادل ۱/۳۵ میلی‌گرم کادمیم در گرم جذب بوده که نشان‌دهنده پایداری فیلتر در برابر شرایط قلیایی و شستشو با باز می‌باشد. همچنین با توجه به نمودار ۳ مشخص می‌شود که در غلظت اولیه ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیم نیز مقدار جذب کادمیم توسط جذب بین ۳/۹۲ تا ۴/۸۲ میلی‌گرم در گرم متغیر بوده است. به عبارت دیگر غلظت کادمیم در محلول پس از قرار گرفتن در مجاورت فیلتر

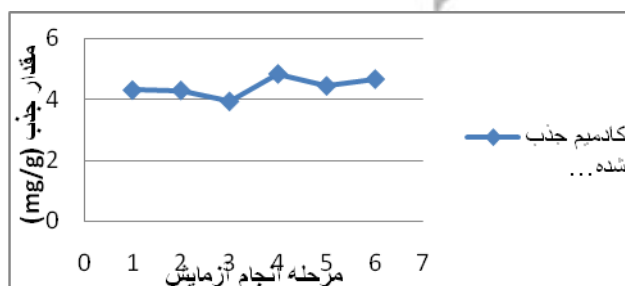


تغییر محسوسی نکرده و ۶/۵۶ میلی گرم سرب در گرم جاذب بوده است که نشان دهنده پایداری فیلتر در برابر شرایط قلیایی و شستشو با باز می باشد.

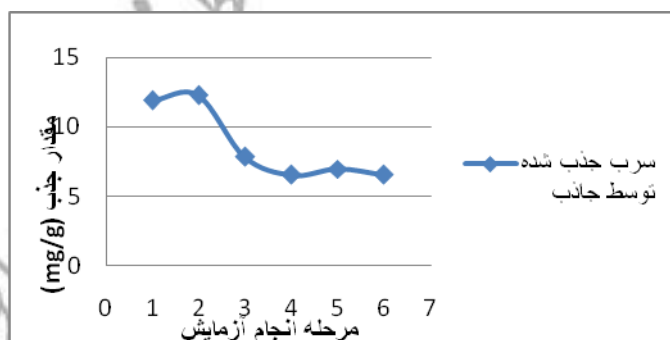
حسب واحد وزن جاذب قابل قبول بوده و می توان از فیلتر تولیدی پس از شستشو با سود مجدداً استفاده کرد. از طرف دیگر قدرت فیلتر برای ششمین مرحله جذب و پس از ۵ مرحله شستشو با هیدروکسید سدیم نسبت به مراحل سوم و چهارم



نمودار ۲: اثر شستشوی فیلتر با هیدروکسید سدیم بر مقدار جذب کادمیم در غلظت اولیه ۵ میلی گرم در لیتر



نمودار ۳: اثر شستشوی فیلتر با هیدروکسید سدیم بر مقدار جذب کادمیم در غلظت اولیه ۲۰ میلی گرم در لیتر



نمودار ۴: اثر شستشوی فیلتر با هیدروکسید سدیم بر مقدار جذب سرب در غلظت اولیه ۵۰ میلی گرم در لیتر

اصفهان و شرایط آزمایشگاهی آورده شده است. همان طور که از نتایج ارائه شده در جدول مذکور مشخص است در غلظت ۵ میلی گرم در لیتر کادمیم، مقدار کادمیم جذب شده از محلول خالص آزمایشگاهی و پساب به ترتیب ۱/۳۶ و ۱/۳۲ میلی گرم در گرم جاذب به دست آمده است که بسیار به هم نزدیک بوده و از نظر آماری با هم اختلاف معنی داری ندارند.

با توجه به مطالب فوق می توان نتیجه گرفت که پس از هر بار استفاده از فیلتر مورد نظر می توان به وسیله شستشو با باز مجدداً از آن استفاده کرد و این به عنوان یک مزیت بسیار خوب در نظر گرفته می شود زیرا فیلتر قابلیت استفاده متناوب جهت تصفیه پساب را دارد.

در جداول شماره ۲ و ۳ نتایج مربوط به مقایسه قدرت جذب کادمیم توسط فیلتر تولیدی از پساب کارخانه ذوب آهن

جدول ۲: مقایسه جذب کادمیم از پساب کارخانه ذوب آهن اصفهان با محیط آزمایشگاهی در غلظت اولیه ۵ میلی گرم در لیتر کادمیم

شماره نمونه	محیط جذب	غلظت اولیه (میلی گرم در لیتر)	غلظت ثانویه (میلی گرم در لیتر)	کاهش غلظت (میلی گرم در لیتر)	درصد جذب کادمیم	مقدار جذب در واحد وزن جاذب (میلی گرم در گرم)
۱	محلول آزمایشگاهی	۵/۰	۱/۶a*	۳/۴	۶۷/۹	۱/۳۶a
۲	پساب با جاذب	۵/۰	۱/۷a	۳/۳	۶۷/۲	۱/۳۲a
۳	پساب بدون جاذب	۵/۰	۴/۹b	۰/۱		

\* در هر ستون اعدادی که در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری در سطح ۱ درصد اختلاف معنی دار ندارند

است. در این مرحله غلظت کادمیم در محلول آزمایشگاهی و پساب در اثر تماس با فیلتر از ۲۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب به ۷/۳ و ۷/۷ میلی گرم در لیتر رسیده است. در این مرحله به ترتیب ۶۳ و ۶۱ درصد کادمیم موجود در محلول آزمایشگاهی و پساب مورد استفاده توسط فیلتر تولیدی تصفیه گردیده است. هم چنین مانند غلظت ۵ میلی گرم در لیتر تغییر pH اثر جزئی بر کاهش غلظت کادمیم در محلول داشته و باعث کاهش ۲ درصدی آن شده است.

از طرف دیگر در محلول آزمایشگاهی غلظت کادمیم در محلول از ۵ به ۱/۶ میلی گرم در لیتر رسیده که بیانگر تصفیه ۶۸ درصد از کادمیم موجود در محلول توسط الیاف می باشد. هم چنین در مورد پساب ۶۶ درصد کادمیم موجود در محلول توسط فیلتر تصفیه شده است. از طرفی در اثر تغییر pH غلظت کادمیم در محلول کاهش یافته است که مقدار آن ۲ درصد و قابل صرف نظر کردن می باشد. در غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر، مقدار جذب کادمیم در واحد وزن جاذب از پساب و محلول خالص آزمایشگاهی به ترتیب ۴/۹ و ۵/۱ میلی گرم در گرم بوده

جدول ۳: مقایسه جذب کادمیم از پساب کارخانه ذوب آهن اصفهان با محیط آزمایشگاهی در غلظت اولیه ۲۰ میلی گرم در لیتر کادمیم

شماره نمونه	محیط جذب	غلظت اولیه (میلی گرم در لیتر)	غلظت ثانویه (میلی گرم در لیتر)	کاهش غلظت (میلی گرم در لیتر)	درصد جذب کادمیم	مقدار جذب در واحد وزن جاذب (میلی گرم در گرم)
۱	محلول آزمایشگاهی	۲۰/۰	۷/۳a*	۱۲/۷	۶۳/۶۵	۵/۰۸a
۲	پساب با جاذب	۲۰/۰	۷/۷a	۱۲/۳	۶۱/۵۵	۴/۹۲a
۳	پساب بدون جاذب	۲۰/۰	۱۹/۶b	۰/۴		

\* در هر ستون اعدادی که در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری در سطح ۱ درصد اختلاف معنی دار ندارند

توسط جاذب معادل ۶/۳ میلی گرم در گرم می باشد. به عبارت دیگر فیلتر استفاده شده توانسته است غلظت سرب در پساب مورد استفاده را از ۵۰ به ۳۴/۲ میلی گرم در لیتر برساند و ۳۲ درصد سرب اضافه شده را تصفیه کند.

در جدول شماره ۴ نتایج مربوط به مقایسه قدرت جذب سرب توسط فیلتر تولیدی از پساب کارخانه ذوب آهن اصفهان و شرایط آزمایشگاهی آورده شده است. همان طور که در نتایج جدول مشخص است در پساب طبیعی مقدار سرب جذب شده

جدول ۴: مقایسه جذب سرب از پساب کارخانه ذوب آهن اصفهان با محیط آزمایشگاهی

شماره نمونه	محیط جذب	غلظت اولیه (میلی گرم در لیتر)	غلظت ثانویه (میلی گرم در لیتر)	کاهش غلظت (میلی گرم در لیتر)	درصد جذب کادمیم	مقدار جذب در واحد وزن جاذب (میلی گرم در گرم)
۱	پساب با جاذب	۵۰/۰	۳۴/۲a*	۱۵/۸	۳۶/۶۸	۶/۳۲a
۲	محلول آزمایشگاهی	۵۰/۰	۲۱/۱b	۲۸/۹	۵۷/۷۶	۱۱/۵۶b
۳	پساب بدون جاذب	۵۰/۰	۴۹/۷c	۰/۳		

\* در هر ستون اعدادی که در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند

۱۱/۶ میلی گرم در گرم سرب توسط جاذب شده و غلظت سرب

در حالی که استفاده از محلول های آزمایشگاهی باعث جذب



مقدار مجاز عناصر مذکور بسیار پایین تر از حدود قبلی و معادل ۰/۱ و ۰/۵ میلی گرم در لیتر است (۳)، بنابراین با توجه به حساسیت بالای محیط‌های آبی نسبت به ورود کادمیم و سرب استفاده از فیلتر مناسب جهت جداسازی عناصر مذکور از پساب ضروری می‌باشد. از آن‌جا که فیلتر تولیدی در این تحقیق در غلظت‌های پایین کارایی بیشتری داشته است، لذا استفاده از فیلتر مذکور یکی از راه‌های مناسب جهت تصفیه این دو عنصر به‌خصوص کادمیم از پساب می‌باشد.

## تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر فریبرز عزیزی‌نژاد استاد گروه شیمی و سرکار خانم فاطمه‌السادات حسینی مسؤول آزمایشگاه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین- پیشوا که در انجام این پژوهش راهنمایی و یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

۱. اسماعیلی ساری، ع.، ۱۳۸۱. آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست. انتشارات نقش مهر. ۷۶۹ صفحه.
۲. افیونی، م.، ۱۳۷۹. آلودگی محیط زیست، آب، خاکم و هوا. انتشارات ارکان اصفهان. ۳۱۸ صفحه.
۳. ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها. ۱۳۸۹. نشریه شماره ۵۳۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهوری. ۱۵۵ صفحه.
۴. خراسانی، ن.؛ شایگان، ج. و کریمی شهری، ن.، ۱۳۸۴. بررسی غلظت فلزات سنگین (روی، مس، آهن، کروم و سرب) در رسوبات سواحل بندرعباس. مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۸، شماره ۴، صفحات ۸۶۱ تا ۸۶۹.
۵. رحیمی، ا. و رئیس‌ی، م.، ۱۳۸۷. تعیین میزان سرب و کادمیم در گوشت ماهیان صید شده از تالاب چغاخور استان چهارمحال بختیاری. مجله دامپزشکی ایران دوره چهارم، شماره ۴، صفحات ۷۹ تا ۸۳.
۶. شاملو، ن.، ۱۳۸۹. پیوند زنی الیاف پلی اتیلن ترفتالات به منظور افزایش قطبیت، جذب یون و جذب رنگ. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری. ۱۳۲ صفحه.
۷. طبرزدی، م.، ۱۳۸۷. اصلاح کوپلیمر آکرلیک به‌منظور تولید نانو الیاف جذب یون‌های فلزی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر. ۱۴۵ صفحه.

در محلول آزمایشگاهی مورد استفاده از ۵۰ به ۲۱/۱ میلی گرم در لیتر رسیده است که بیانگر تصفیه ۵۸ درصد سرب اضافه شده می‌باشد، مقایسه مقادیر سرب جذب شده از محلول در شرایط آزمایشگاهی و پساب نشان می‌دهد که مقدار سرب جذب شده توسط فیلتر از پساب حدود ۵۰ درصد سرب جذب شده در محیط آزمایشگاهی می‌باشد.

## بحث

طبق نتایج، مناسب‌ترین pH برای جذب کادمیم ۶/۷ و برای سرب ۶ به‌دست آمد. هم‌چنین حداکثر ظرفیت جذب برای سرب ۲۰/۹ و برای کادمیم ۲۳/۴۴ میلی گرم در گرم جاذب به‌دست آمد. Azizinezhad و Shabani (۲۰۱۲) پلیمر PET پیوند خورده با مخلوط دو مونومر متیل متاکریلات و آکرلیک اسید جهت جذب کادمیم استفاده کردند و مناسب‌ترین pH را معادل ۶/۵ گزارش نمودند. هم‌چنین حداکثر میزان جذب در واحد وزن جاذب را ۱۷/۰۷ میلی گرم در گرم جاذب گزارش کردند. Azizinezhad و همکاران (۲۰۱۳) از PET پیوند خورده با ۲ هیدروکسی پروپیل متاکریلات جهت جذب رنگ استفاده کردند و آن‌را به‌عنوان یک فیلتر مناسب جهت جذب رنگ معرفی نمودند. Bagheri و همکاران (۲۰۱۰) از پلیمر تیامید پلی آکرلونیتریل هیدرولیز شده جهت جذب یون‌های کروم سرب و جیوه استفاده کردند و نشان دادند فیلتر تولیدی برای جذب یون کروم مناسب‌تر از دو یون دیگر می‌باشد. فیلتر تولیدی توسط نامبردگان دارای قدرت جذب ۰/۱۴ میلی مول سرب در گرم جاذب در pH = ۴ بود. با توجه به مطالعات مذکور مشخص گردید که قدرت جذب کادمیم و سرب توسط فیلتر تولیدی در این پژوهش مناسب می‌باشد. که دلیل این امر با توجه به پایین بودن سطح ویژه فیلتر تولیدی می‌تواند بالا بودن تعداد مونومرهای پیوند خورده به الیاف باشد. بالا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی الیاف تاییدی بر این مطلب می‌باشد. هم‌چنین قدرت تصفیه کادمیم و سرب از پساب طبیعی بالا بوده به‌طوری که در مورد کادمیم بیش از ۶۰ درصد فلز سنگین اضافه شده توسط فیلتر از پساب تصفیه کرده است. این مقدار در مورد سرب حدود ۳۷ درصد می‌باشد. از آن‌جا که طبق استاندارد استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها، مقدار مجاز کادمیم و سرب برای تخلیه در آب‌های سطحی بسیار پایین و به ترتیب معادل ۰/۱ و ۱ میلی گرم در لیتر می‌باشد، هم‌چنین طبق استاندارد مذکور برای استفاده از پساب‌ها برای آبی‌روری





- Birmingham, USA. pp. 219-223.
19. **Cardoso, V.D.A.; Souza, A.G.D.; Sartoratto, P.P.C. and Nnes, L.M., 2004.** The ionic exchange process of cobalt, nickel and copper (II) in alkaline and acid- layered titanates. Colloid surface. A: Physiochemical Engineering Aspects. 248:145-149.
  20. **Chaari, M.; Feki, M, and Medhube, M., 2009.** Adsorption of textile dye "Indaynthrene blue RS (C.V.A. vat blue 4)" from aqueous solutions onto smectite-rich clayey rock. J. Haz. Mat. 172:1623-1628.
  21. **Deng, S. and Bai, R., 2004.** Removal of trivalent and hexavalent chromium with aminated polyacrylonitrile fibers. Water Research. 38: 2424-2432.
  22. **Esalah, J.O.; Weber, M.E. and Vera, J.H., 2000.** Removal of lead, cadmium and zinc from aqueous solutions by precipitation with sodium di-(n-octyl) phosphinate. Canadian Journal of chemistry. 78: 948-954.
  23. **Gillman, G.P. and Uehara, G., 1980.** Charge characteristics of soils with variable and permanent charge: II. Experimental. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 252-255.
  24. **Rhoades, J.D., 1982.** Cation exchange capacity. P. 149-157. In A.L. Page (ed.), Methods of soil analysis, Agron. No. 9, Part2: Chemical and mineralogical properties. Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
  25. **Weirich, D.B.; Hari, R.; Xue, H.; Behra, P. and Sigg, L., 2002.** Adsorption of Cu, Cd, and Ni on goethite in the presence of natural groundwater ligands. Environmental Technology. 36: 328-336.
  26. **Zhou, D.; Zhang, L.; Zhou, J. and Guo, S., 2004.** Cellulose/chitin beads for adsorption of heavy metals in aqueous solution. Water research. 38: 2643-2650
  ۸. **غیابی، ف.، ۱۳۸۸.** اصلاح پلی اتیلن ترفتالات با پایه آکریلی به منظور جذب فلزات سنگین از محیط‌های مائی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی. ۱۵۵ صفحه.
  ۹. **میرمحمدی، م. و سمایی، م.، ۱۳۸۴.** بررسی میزان عناصر سرب و کادمیم در آب، رسوبات معلق و بافت ماهیچه‌های ماهی در رودخانه قره‌چای. مجله علوم و فنون دریایی ایران. ۳-۴ : ۵۳-۵۸
  10. **Anonymous. 1996.** World Health Organization (WHO) Guidelines for drinking water quality. Geneva, Switzerland. 1996: 33: 130.
  11. **Azizinezhad, F., 2011.** Grafting 2-hydroxypropyl methacrylate onto poly (ethylene terephthalate) fibers and dye ability. Asian J. Chem. 3: 839-842.
  12. **Azizinezhad, F.; Borzou, A.; Abdous, M. and Shabani, M., 2013.** An Investigation of the Surface Adsorption of Cationic Brill Red X-5 GN on Poly (ethylene terephthalate)-Grafted-2-Hydroxy Propyl Methacrylate. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. Vol. 4, No. 1, pp. 776-783.
  13. **Azizinezhad, F. and Shabani, M., 2012.** Investigation of the Surface Adsorption of  $Cd^{2+}$  Ions on Modified Poly (Ethylene Terephthalate) by the Mixture of Methyl Methacrylate - Acrylic Acid Monomers. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. Vol. 3, No. 4, pp. 31-39.
  14. **Bagheri, B.; Abdous, M.; Mohammadi Aslzade. and Mousavi Shoshtari, A., 2010.** Efficient removal of  $Cr^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$  and  $Hg^{2+}$  ions from industrial effluents by hydrolyzed / thioamidated polyacrylonitrile fibers. Iranian Polymer Journal. Vol. 19, No. 12, pp. 911-925.
  15. **Bailey, S.E.; Olin, T.J.; Bricka, R.M. and Adrian, D.D., 1999.** A review of potentially lowcost sorbent for heavy metals. Water Research. 33: 2469-2479.
  16. **Bilba, N.D. and Moroi, D., 2003,** Synthesis of polyacrylamioxime chelating fiber and its efficiency in the retention of palladium ions. J. Appl. Polym. Sci. 97: 3730-3735.
  17. **Begum, A.; Nural-Amin, M.D.; Kanneco, S. and Ohtak, M., 2005.** Selected elemental composition of the muscle tissue of three species of fish, *Tilapia nilotica*, *Cirrhina mirgala* and *Clarius Batarachus*, from the fresh water Dhanmondi Lake in Bangladesh. Food Chemistry. 93:439-443.
  18. **Boyd, C.E., 1990.** Waater quality in ponds for aquatic. Birmingham Publishing Co.,



## Investigate the possibility of using (ethylene terephthalate) Grafted – 2- Hydroxy Propyl Methacrylate in wastewater treatment to control the contamination of lead and cadmium in the aquatic environment

- **Arash Borzou\***: Department of soil science, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Branch Khorasgan, P.O. Box: 81595-158, Isfahan, Iran
- **Mahmoud Kalbasi**: Department of soil science, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Branch Khorasgan, P.O. Box: 81595-158, Isfahan, Iran
- **Mehran Houdaji**: Department of soil science, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Branch Khorasgan, P.O. Box: 81595-158, Isfahan, Iran
- **Majid Abdous**: Department of chemistry, Faculty of sciences, Amirkabir university of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran
- **Ahmad Mohammadi Ghahsareh**: Department of soil science, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Branch Khorasgan, P.O.Box: 81595-158, Isfahan, Iran

Received: March 2013

Accepted: May 2013

**Keywords:** Cadmium, Lead Aquatic environment, Wastewater filtration, Absorbent

### Abstract

Today, freshwater ecosystems polluted by heavy metals such as cadmium( $\text{Cd}^{2+}$ ) and lead( $\text{Pb}^{2+}$ ) in Iran and other countries is an important environmental problem. Discharge of sewage and waste water into surface waters is one of the most important sources of heavy metals pollutions. Surface adsorption of heavy metals by polymer from waste water is one of the most recommended methods for water resource filtration. Poly (ethylene terephthalate) – Grafted – 2- Hydroxy Propyl Methacrylate was used as surface adsorbent in this study. The properties of produced adsorbent were studied. The results were showed that the contact between 1M NaOH and sorbent was not significant change in sorption properties. The adsorbent were used for filtration of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  ions from pure laboratory solution and Isfahan steel factory wastewater. The results were showed that the maximum adsorption capacity for  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  were 23.44 and 20.9 mg/g respectively. The comparison of filtration  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  from pure laboratory solution and Isfahan steel factory wastewater were showed that the amount of  $\text{Cd}^{2+}$  filtration from both solutions were equal. The removal of  $\text{Pb}^{2+}$  from Isfahan steel factory wastewater was equal 54% of adsorption amounts from pure laboratory solution. The results proved that the produced adsorbent was useful for removal of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  from wastewater.

