بررسی امکان جذب فلزات سنگین فاضلاب صنعتی توسط شن، خاک و ماده‌آلی

میترا محمدی[1] امیر فتوت[2] غلامحسین حق‌نیا[3]

(دریافت ۸۷/۳/۳۰ پذیرش ۸۸/۳/۵)

چکیده

به‌منظور مقایسه و بررسی کارایی شن، خاک (آهکی و غیرآهکی) و ماده‌آلی (پوسته برنج و کمپوست برگ) در حذف یا کاهش فلزات سنگین مس، نیکل، روی و کروم از فاضلابهای صنعتی و بررسی اجمالی اثر متقابل آن‌ها، آزمایشی در گلخانه و در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و چهار تکرار انجام گرفت. تیمارها در این آزمایش عبارت بودند: از خاک آهکی-پوسته برنج، خاک آهکی-کمپوست برگ، خاک غیرآهکی-پوسته برنج و خاک غیرآهکی-کمپوست برگ. برای آماده‌سازی تیمارها، لوله های پلی وینیل کلراید به ارتفاع ٦٦/٥ و قطر ۱۰ سانتی‌متر انتخاب و با توجه به تیمارهای آزمایشی، به‌ترتیب از پایین به بالا به‌وسیله ریگ درشت، شن، خاک، ماده‌آلی و ریگ ریز پر شدند. سپس به مجموعه مذکور، فاضلاب صنعتی حاصل از کارخانه آبکاری به تعداد نه مرتبه (9 pore volumes) اضافه گشت؛ به این صورت که بعد از هر بار افزودن فاضلاب و خشک شدن کامل سطح فیلترها، فاضلاب مرحله بعد ریخته شد. سپس در انتهای آزمایش، مقاطعی از هرکدام از جاذبها تهیه گردید و بعد از هوا خشک شدن، به‌منظور اندازه‌گیری غلظت کل فلزات‌سنگین و بررسی کارایی آنها به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج این مطالعه نشان داد که قرارگرفتن خاک آهکی و غیرآهکی در زیر هر یک از مواد آلی به‌کار رفته در این مطالعه، بر توانایی آنها در جذب فلزات‌سنگین اثرگذار بوده و یافته‌های حاصل متفاوت بود. همچنین مشخص شد که ظرفیت پایین تبادل کاتیونی خاک نسبت به مواد آلی همواره باعث کاهش قدرت جذب توسط آن نمی‌گردد. آنالیز مواد آلی به‌کار رفته نیز مشخص کرد که پوسته برنج برای عنصر کروم و کمپوست برگ برای عناصر روی و نیکل جاذب مناسب‌تری به‌نظر می‌رسند. علاوه بر این، شن مورد استفاده در این ازمایش نیز، توانایی جذب مناسبی را برای فلزات سنگین موجود در فاضلاب از خود نشان داد. درنهایت می‌توان گفت که کاربرد جاذبهای مورد مطالعه برای حذف فلزات سنگین موجود در فاضلابها مؤثر بود.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب صنعتی، فلزات‌سنگین، تبادل کاتیونی، جاذب‌آلی، خاک، شن

Heavy Metals Removal from Industrial Wastewater by Sand, Soil and Organic Matter

Mitra Mohammadi[1] *Amir Fotovat*[2] *Gholamhosein Haghnia*[3]

(Received June.20, 2008 Accepted May. 26, 2009)

Abstract

A greenhouse experiment was conducted with a completely randomized design with four treatments and four replicates to investigate the efficiency of sand, soil (calcareous and non-calcareous), and organic matter (rice husk and leaf compost) for the removal of copper, nickel, zinc, and chromium from industrial wastewater by filtration. PVC tubes (columns) 66.5 cm high and 10 cm diameter were chosen and each was filled from bottom to top with coarse gravel, sand, soil, organic matter, and fine gravel, respectively. Then, plating wastewater was added at nine pore volumes to each column. When the filter's surface was completely dried, a second round of wastewater addition was performed. At the end of the experiment, the columns were cut to collect the adsorptive materials which were then air-dried and transferred to the laboratory for measurement of heavy metal concentrations by atomic absorption spectroscopy. The results showed that putting calcareous and non-calcareous soils under the applied organic matter (rice husk and leaf compost) affected their capacity for adsorbing heavy metals to varying degrees. It was also found that low the cation exchange capacity of soil compared to organic matter did not lead to its reduced adsorption capacity. Analysis of the organic matter revealed that rice husk was the best adsorbent for Cr, while leaf compost was the best for Zn and Ni. In addition, applied sand in this experiment was a good adsorbent for heavy metals in wastewater. Generally, it seems that application of the studied adsorbents was effective and that they could be recommended for the removal of heavy metals from industrial wastewater.

Keywords: Industrial Wastewater, Heavy Metals, Cation Exchange, Organic Adsorbent, Soil and Sand.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول) ۸۷۹۵۶۱۷ (۰۵۱۱)
Mitra_Mohammadi0l@yahoo.com
۲- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

1. M.Sc. of Soil Sciences Dept. of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, (Corresponding Author) (+98 511) 8795617
Mitra_Mohammadi0l@yahoo.com
2. Assoc. Prof., Dept. of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3. Prof., Dept. of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

آلودگی آب به‌دلیل تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی، وجود فلزات‌سنگین سمّی و مدیریت نامناسب زباله‌ها، سلامتی بشر را به گونه‌ای خطرناک تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. متداول‌ترین فلزات یافت شده در فاضلابها، سرب، مس، روی، کادمیم، کروم و نیکل هستند. روشهای مختلفی برای کاهش مقدار یون‌های فلزی از فاضلاب‌ها وجود دارد که هر کدام از آنها دارای مزایا و مضراتی براساس سادگی، انعطاف‌پذیری، مؤثر بودن فرایندها، قیمت، مشکلات فنّی و نگهداری می‌باشند. از این میان، جذب یک فرایند کارآمد در حذف فلزات‌سنگین از فاضلابها به حساب می‌آید [۱ و ۲]. انواع مختلفی از جاذبهای مصنوعی یا مواد قابل تبادل به‌عنوان تولیدات تجاری، قابل دسترس می‌باشند. هرچند به دلیل قیمت بالای آنها و بعضی اوقات به علت در دسترس نبودن، کاربرد آنها به اندازه کافی ممکن و میّسر نخواهد بود. اما مواد طبیعی به‌دلیل هزینه کم و فراوانی زیاد آنها و محصولات جانبی کشاورزی به‌علت دارا بودن گروههای عامل از قبیل هیدروکسیل، کربوکسیل و فنل و میل ترکیبی قوی با فلزات‌سنگین، از بین جاذبهای مختلف برای حذف فلزات سنگین مناسب‌تر می‌باشند [۳ و ۴]. بنابراین با توجه به هدف آزمایش و همچنین به‌منظور دسترسی به معیارهای مورد نظر در انتخاب مواد جاذب که شامل قابل دسترس بودن مواد، قیمت، خصوصیات فیزیکی (مانند pH، تخلخل و سطح ویژه)، ترکیب شیمیایی و توانایی جذب می‌باشد، شن، خاک (آهکی و غیرآهکی) و ماده‌آلی (پوسته برنج و کمپوست برگ) به‌عنوان محیط جاذب از میان دیگر جاذبهای واجد شرایط، در این آزمایش انتخاب گردید. شن جاذب ارزان قیمت و قابل دسترسی است، لکن حذف آلاینده‌های محلول مثل فلزات‌سنگین را به‌دلیل واکنش‌پذیری سطحی اندک، محدود می‌کند. شن، قدرت جذب خیلی کمی دارد، لکن با مواد دیگر توانایی جذب آن زیاد می‌شود [۵]. بایگ و همکاران[1] در مطالعه‌ای، محلولهای کروم را با غلظت متفاوت آماده و از ستون شنی عبور دادند [۶]. توانایی حذف این عنصر ۸۹ تا ۱۰۰ درصد گزارش گردید که این توانایی به تمایل زیاد یون‌های کروم به ذرات شن مربوط است.

حذف چهار فلز سنگین سرب، کروم، مس و نیکل از محلولهای آبی آنها با استفاده از شن معمولی به‌عنوان جاذب در ۲۰ ناحیه توسط آون و همکاران[2] مورد بررسی قرار گرفت و برطبق نتایج، ترتیب جذب فلزات‌سنگین توسط شن به‌این‌صورت گزارش شد [۷]:

روی < مس < کروم < سرب

خاکها به‌دلیل سطح ویژه زیاد و حضور گروههای عامل سطحی، عوامل مؤثری در جذب فلزات‌سنگین هستند [۸]. در مطالعه‌ای که توسط اچوریا و همکاران[3] بر جذب رقابتی فلزات سنگین در سه نوع خاک انجام شد، مشخص گردید که تبادل کاتیونی با کلسیم اساسی‌ترین مکانیسم نگهداری در خاکهای آهکی می‌باشد [۹].

به‌طورکلی با افزایش pH، به‌دلیل کاهش پویایی فلزات‌سنگین، ظرفیت خاکها برای جذب یون‌های فلزی زیاد می‌شود [۱۰]. با افزایش pH، بار منفی خاک زیاد شده و مکان‌های اضافی برای جذب روی فعال گشته و مقدار این عنصر در محلول کاهش می‌یابد [۱۱].

پوسته برنج به‌دلیل داشتن خصوصیاتی مثل ساختمان دانه‌ای، غیر محلول بودن در آب، پایداری شیمیایی، قدرت مکانیکی بالا و قابل‌دسترس بودن، توانایی جذب آلاینده‌های محلول را داشته و به عنوان جاذب مناسب برای تیمار فاضلابها به‌حساب می‌آید [۱۲]. هیو و همکاران[4] پوسته برنج را برای جذب Cr^{6+} از فاضلاب حاوی Cr^{6+} ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مدت زمان ۱۲ و ۴۸ ساعت به‌کار بردند [۱۳]. نتایج میکرونگار الکترونی نشان داد که شکل پوسته برنج بعد از آزمایش‌های جذب، تغییر قابل توجهی می‌کند. در مدت زمان ۴۸ ساعت، پوسته برنج ۸۸ درصد از Cr^{6+} جذب‌شده را به صورت شیمیایی به Cr^{3+} کاهش داده و در مدت زمان ۱۲ ساعت این مقدار ۶۸ درصد بود. توانایی جذب پوسته برنج برای کروم در ۱۲ و ۴۸ ساعت به‌ترتیب در حدود ۱۲۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم کروم بر کیلوگرم پوسته برنج بود.

همچنین در مطالعه دیگر انجام شده توسط الیویرا و همکاران[5] مشخص شد که Cr^{3+} به‌صورت خودبه‌خود روی پوسته برنج خام جذب می‌شود، ولی Cr^{6+} و Ni^{2+} به‌دلیل اثرات متقابل قوی با مکان‌های فعال جاذب جذب می‌شوند [۱۴].

خاکستر پوسته برنج در آزمایشی برای جذب سرب و مس مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که توانایی جذب آن و میزان جذب به‌طور قابل توجهی برای یون‌های سرب بیش‌تر و سریع‌تر از یون‌های مس بود. کمترین اندازه ذرات خاکستر پوسته برنج به‌کار برده شده و بیش‌ترین pH محلول باعث جذب بیشتری از یون‌های مس و سرب روی خاکستر پوسته برنج شد [۱۵].

کمپوست برگ به‌دلیل دارا بودن قدرت تبادل یونی، می‌تواند برای حذف فلزات‌سنگین از فاضلابها به‌کار رود و به‌دلیل بالا بودن مقدار موادآلی آن، قادر است که برای مدت زمان طولانی آلاینده‌ها

[1] Baig et al.
[2] Awan et al.
[3] Echeverria et al.
[4] Hu et al.
[5] Oliveira et al.

Archive of SID
www.SID.ir

را در خود نگهداری کند [۱۶]. جوریس[1] به این نتیجه رسید که کمپوست برگ برای پیوند با فلزاتی مانند سرب، کروم، مس، نیکل و آهن مناسب است [۱۷]. وی گزارش کرد که توانایی کمپوست برای حذف روی، COD، مس و آهن برابر ۸۸، ۶۷، ۶۷ و ۸۹ درصد است.

در مطالعه دیگری کمپوست برگ، مس و روی را با کارایی ۰/۰۰۸ و ۰/۰۰۷ میلی‌گرم بر میلی‌گرم حذف کرد اما افزایش در غلظت این فلزات منجر به کاهش در کارایی کمپوست شد [۱۸].

در تحقیقات دیگری، یک حامل کمپوست در مقیاس آزمایشگاهی تولید شد. این حامل غلظت مس محلول را از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌کمتر از ۵ میکروگرم در لیتر رساند و غلظت کادمیم، نیکل، سرب و روی هم به زیر حد تشخیص دستگاه رسید [۱۹].

با توجه به نتایج تحقیقات گزارش شده در بالا، هدف از این تحقیق مقایسه و بررسی کارایی هر کدام از این جاذبها در حذف یا کاهش فلزات سنگین مس، نیکل، روی و کروم از فاضلابهای صنعتی و بررسی اجمالی اثر متقابل آنها بود.

۲- مواد و روش‌ها

برای ساخت فیلترها، پیش‌آزمایش‌هایی به‌منظور تعیین حد اشباع فیلتر، چگونگی ریختن مواد جاذب و وزن و ارتفاع هر کدام از مواد جاذب انجام شد. ازآنجایی که لازم است ضخامت مواد جاذب در سرتاسر فیلتر یکسان باشد، از لوله‌های پلی وینیل کلراید به‌ارتفاع ۶۶/۵ و قطر ۱۰ سانتی‌متر استفاده گردید. آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و با چهار تیمار و چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارها در این آزمایش عبارت بودند از: خاک آهکی-پوسته برنج، خاک آهکی-کمپوست برگ، خاک غیرآهکی-پوسته‌برنج و خاک غیرآهکی-کمپوست برگ. در انتهای هر لوله درپوشی تعبیه و سه سوراخ با فواصل منظم و مساوی به منظور خروج یکنواخت زهاب ایجاد شد و درون هر کدام از آنها با توجه به تیمارهای آزمایشی، به‌ترتیب از پایین به بالا مراحل زیر انجام شد. به‌منظور حفظ مواد جاذب، در انتهای هر لوله از کاغذ صافی استفاده شد. سپس برای جلوگیری از خروج شن و بهبود زهکشی فیلتر، تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر از ریگ درشت پر گردید. برای جداکردن مواد از یکدیگر و همچنین سهولت در نفوذ جریان، بر روی هر کدام از لایه‌ها، کاغذ صافی قرار گرفت. سپس روی کاغذ صافی تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر از شن پوشانده شد. در ادامه، مقدار ۵ سانتی‌متر خاک روی شن قرار گرفت و بعد از آن تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر از ماده‌آلی استفاده شد. پس از آن، روی ماده‌آلی تا ارتفاع ۵ سانتی‌متر با ریگ ریز پوشانده شد تا از مسدود شدن و کلوخه‌بستن سطح بستر فیلتر جلوگیری شود. برخی از خصوصیات مواد به‌کار رفته در این مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. بعد از ریختن هر کدام از مواد فوق، تعدادی ضربات یکسان کف دست به جداره فیلتر به‌منظور یکنواختی در فشردگی لایه‌ها وارد گردید. سپس برای پایدارکردن شرایط هیدرولیکی در فیلترها، ابتدا به هر یک از آنها به میزان ۱۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه‌شد. بعد از خشک شدن کامل سطح فیلترها، ۱۱۰۰ میلی‌لیتر فاضلاب طبیعی حاصل از کارخانه آبکاری که حاوی

[1] Jurries

جدول ۱- خصوصیات مواد جاذب

خصوصیات	واحد	خاک‌آهکی	خاک‌غیرآهکی	شن	پوسته برنج	کمپوست برگ
بافت	-	Sandy Loam	Sandy Loam	-	-	-
رس	%	۱۴/۹	۱۴/۹	-	-	-
آهک	%	۱۷/۱	۳/۱	۰/۲	-	-
کربن‌آلی	%	۰/۴	۰/۸	۰	-	-
pH	-	۸/۱	۸/۳	۷/۷	۶/۴	۷/۱
EC	$dS.m^{-1}$	۱/۸	۱/۲	۰/۷	۵/۶	۴/۶
CEC	$cmol_{(+)}.kg^{-1}$	۵/۲	۵/۱	۴/۶	۳۰/۴	۳۴/۸
Cu	$mg.kg^{-1}$	۲۲/۷	۱۸/۴	۱۸/۹	۱/۵	۱۴/۷
Ni	$mg.kg^{-1}$	۸۳/۳	۳۸/۷	۴۲/۱	۱۲/۵	۴۰/۸
Zn	$mg.kg^{-1}$	۱۱۸/۶	۵۰/۱	۶۶۸	۵۰/۶	۱۱۴/۲
Cr	$mg.kg^{-1}$	۶۲/۷	۲۲/۳	۲۴/۷	۲۴/۵	۸

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- خصوصیات فاضلاب آبکاری

خصوصیات	واحد	فاضلاب طبیعی
pH	-	۱/۴
EC	$dS.m^{-1}$	۱۷/۱
Cu	$mg.l^{-1}$	۲/۱
Ni	$mg.l^{-1}$	۱/۲
Zn	$mg.l^{-1}$	۵۷۰/۹
Cr	$mg.l^{-1}$	۱۸۵/۷

فلزات‌سنگین مس، نیکل، روی و کروم با pH ۱/۴ و هدایت الکتریکی ۱۷/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۲)، به سطح این مجموعه اضافه شد. این عمل برای هر تیمار به تعداد نه مرتبه[1] که ۲۰ روز به طول انجامید، تکرار گردید. در انتهای دوره آزمایش، قسمتی از جداره هر فیلتر توسط ابزار سنگ‌بری (فرز) بریده و از هر یک از جاذبها جداگانه نمونه‌برداری و بعد از هوا خشک شدن برای اندازه‌گیری غلظت کل فلزات‌سنگین و بررسی کارایی آنها به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه‌گیری مقدار کل فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و شن، از روش تیزاب سلطانی و در نمونه‌های ماده‌آلی، از روش اکسایش خشک استفاده گردید. غلظت کل فلزات‌سنگین در عصاره‌های تهیه شده به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل AA-670 محصول شرکت شیمادزو[2] تعیین شد. نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C تحلیل گردید. مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی با یکدیگر با آزمون چند دامنه‌ای دانکن[3] در سطح احتمال ۵ درصد ($P<0/05$) صورت گرفت [۲۰ و ۲۱]. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

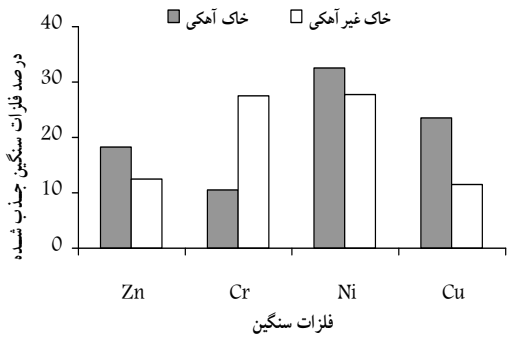
۳- نتایج و بحث

۳-۱- مقایسه توانایی خاک آهکی و غیرآهکی برای جذب فلزات سنگین

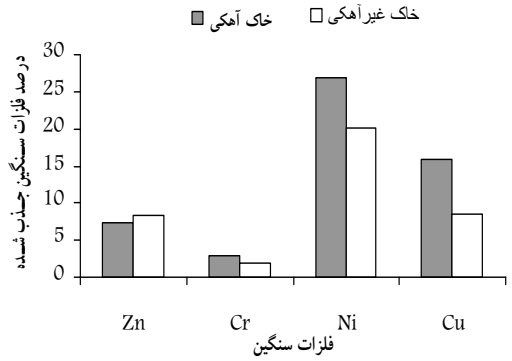
نتایج مربوط به تیمارهایی که در ساختار آنها هر دو نوع خاک آهکی یا غیرآهکی در زیر پوسته برنج قرار داشتند، در شکل ۱ نمایش داده شده است. مطالعه داده‌های این شکل نشان می‌دهد که خاک آهکی نسبت به خاک غیرآهکی نیکل، مس و روی بیشتر و کروم کمتری را جذب کرد.

همچنین نتایج مربوط به تیمارهایی که در ساختار آنها هر دو نوع خاک آهکی یا غیرآهکی در زیر کمپوست برگ قرار داشتند، در شکل ۲ نمایش داده شده است. مطالعه داده‌های این شکل نشان

[1] 9 Pore volumes
[2] Shimadzu
[3] Dunkan



شکل ۱- درصد جذب فلزات‌سنگین توسط خاک آهکی و غیرآهکی قرار گرفته در زیر پوسته‌برنج



شکل ۲- درصد جذب فلزات‌سنگین توسط خاک آهکی و غیرآهکی قرار گرفته در زیر کمپوست برگ

می‌دهد که خاک آهکی نسبت به خاک غیرآهکی نیکل، مس و کروم بیشتر و روی را به‌طور برابر جذب کرد. عامل احتمالی مؤثر در این راستا تأثیر کربن آلی محلول[4] ناشی از تجزیه پوسته برنج و کمپوست برگ موجود در ساختار این فیلترها بر جذب فلزات‌سنگین می‌باشد. به‌طور کلی کربنات کلسیم و DOC بر هم کنش مثبتی با یکدیگر داشته و باعث جذب بیشتر فلزات سنگین می‌شوند [۲۲]. مطالعات نشان می‌دهد که در pHهای بالا کمپلکس‌های Ca-DOC بیشتری تشکیل شده که عامل مهمی در کنترل غلظت فلزات سنگین محلول می‌باشد [۲۳]. همچنین در حضور کلسیم، تجزیه DOC نیز افزایش می‌یابد [۲۴]. ولی از آنجایی که احتمالاً نوع و مقدار DOC ناشی از تجزیه پوسته برنج و کمپوست برگ موجود در ساختار این فیلترها و در نتیجه گروههای عامل حاصله متفاوت می‌باشد، طبعاً رفتار جذب فلزات سنگین توسط دو نوع خاک آهکی و غیرآهکی به‌کار رفته در این مطالعه نیز در زمانی که در زیر پوسته برنج قرار دارند با حالتی که در زیر کمپوست برگ می‌باشند متفاوت است [۲۵].

[4] Disolved Organic Carbon (DOC)

Archive of SID
www.SID.ir

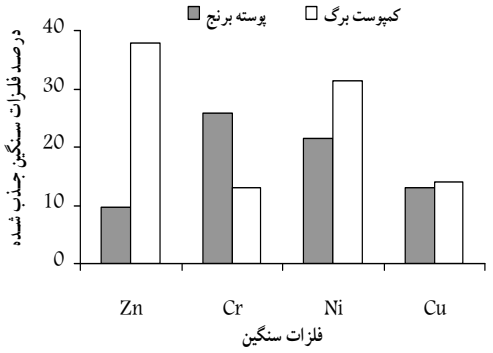
علاوه بر این، بررسی‌ها نشان می‌دهند که خاکی با ماده‌آلی، اکسید، محتوای رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم و pH بیشتر، توانایی بالاتری را برای جذب فلزات‌سنگین دارا می‌باشد [۲۶]. در آزمایشی که توسط ژو[1] و وانگ[2] انجام شد مشخص گردید که در خاک با pH بیشتر و مقدار رس بالاتر، بارمنفی متغیر و مکان‌های جذب بیشتری وجود دارد که در نتیجه مقدار مس بیشتری را جذب می‌کند [۲۷]. ازطرف دیگر، pH بالاتر و کربنات بیشتر نیز ممکن است تشکیل رسوب مس را به‌صورت هیدروکسید مس و یا کربنات مس تسهیل کند. کلسیت، ترکیب اصلی خاکهای آهکی و سطوح جذب برای فلزات‌سنگین می‌باشد. کانی‌های کربناته در خاکها، مستقیماً تحرک و واکنش‌پذیری فلزات را از طریق افزایش pH خاک و رسوب فلزات سنگین به‌صورت کربنات و در نتیجه افزایش جذب آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تمایل یون‌های فلزی دو ظرفیتی به سطح کربنات کلسیم احتمالاً تابعی از شعاع یونی آنهاست [۲۸]. عزیز و همکاران بر این باورند که کاتیون‌های فلزی با دو بار مثبت با سطح با بارمنفی کلسیت در مقادیر pH بالاتر از ۸/۳ تماس حاصل می‌کنند [۲۹]. مفتون و همکاران نشان دادند که جذب روی در خاکهای آهکی به دلیل وجود مکان‌های جذب ویژه، بسیار بیشتر از خاکهای اسیدی بوده و ظرفیت جذب روی با موادخاکی مانند رسهای آلومینوسیلیکات‌ها، اکسیدهای فلزی و کربنات‌ها ارتباط دارد [۳۰]. جذب روی به‌وسیله کربنات کلسیم و رسوب هیدروکسید روی و یا هیدروکسیل کربنات‌های روی مکانیسم‌های کنترل‌کننده حلالیت روی در خاکهای آهکی هستند [۲۸]. اما وانگ و همکاران در مورد رابطه مستقیم میان کربنات کلسیم و میزان جذب، نظر دیگری دارند [۳۱]. آنها گزارش دادند که در حضور کلسیم، جذب کادمیم و نیکل به‌وسیله خاک کاهش و انتقال آنها افزایش می‌یابد. در مطالعه دیگری که به‌وسیله جها و همکاران[3] انجام شد مشخص گردید که جذب نیکل به‌دلیل جایگزینی یون‌های آن با یون‌های کلسیم با افزایش مقدار آهک زیاد می‌شود [۳۲]. کارول[4] و برونو[5] نیز نشان دادند که فلزات سنگین با شعاع یونی بزرگ‌تر از کلسیم به‌طور ضعیف و فلزات‌سنگین با شعاع یونی کوچک‌تر از کلسیم (مانند کادمیم، روی و نیکل) به‌طور قوی به کربنات کلسیم جذب می‌شوند [۳۳].

[1] Zhou
[2] Wong
[3] Jha et al.
[4] Carrol
[5] Bruno

۳-۲- مقایسه توانایی پوسته برنج و کمپوست برگ برای جذب فلزات سنگین

نتایج مربوط به مقایسه تیمارهایی که در ساختار آنها پوسته برنج یا کمپوست برگ قرار داشتند، در شکل ۳ نمایش داده شده است. مطالعه داده‌های این شکل نشان می‌دهد که پوسته برنج برای عنصر کروم و کمپوست برگ برای عناصر روی و نیکل جاذب مناسب‌تری به‌نظر می‌رسند. همچنین تفاوت معنی‌داری در درصد جذب عنصر مس توسط هر دو جاذب به‌کار رفته، مشاهده نگردید. این امر نشان می‌دهد که مواد آلی مختلف رفتار مختلفی را برای هر یون فلزی از خود نشان می‌دهند. پوسته برنج علاوه بر فرایندهای جذب، رسوب و برهم کنش یون‌های مس با گروههای فنل موجود در ترکیبات لیگنینی آن، قادر است که از طریق مکانیسم‌های مختلف دیگری نیز بر کاهش غلظت مس از فاضلاب مؤثر باشد. در این راستا می‌توان به نقش گروههای کربوکسیلی و یا هیدروکسیلی فنل‌ها بر ایجاد کمپلکس با مس و همچنین اثر آمینواسیدها و اکسیدهای فلزات موجود در پوسته برنج بر جذب مس اشاره کرد [۱۴]. بنابراین با توجه به مکانیسم‌های مختلف ذکر شده، پایین بودن pH ابتدایی پوسته برنج باعث کاهش جذب مس توسط آن نگردیده است. همچنین انصاری در مطالعات خود به این نتیجه رسید که پوسته برنج، جاذب بسیار مناسبی برای Cr^{6+} بوده و درصد جذب این عنصر به‌وسیله آن ۷۰ درصد می‌باشد [۳۴]. نتایج ارائه شده توسط الیویرا و همکاران نیز در مقیاس آزمایشگاهی نشان داد که Cr^{6+} و Ni^{2+} به‌دلیل برهم کنش قوی با مکان‌های فعال پوسته برنج، جذب شده و ۲۱ کیلوگرم از پوسته برنج برای نگهداری کروم زیر حد استاندارد برای فاضلاب صنایع کافی می‌باشد [۱۴].

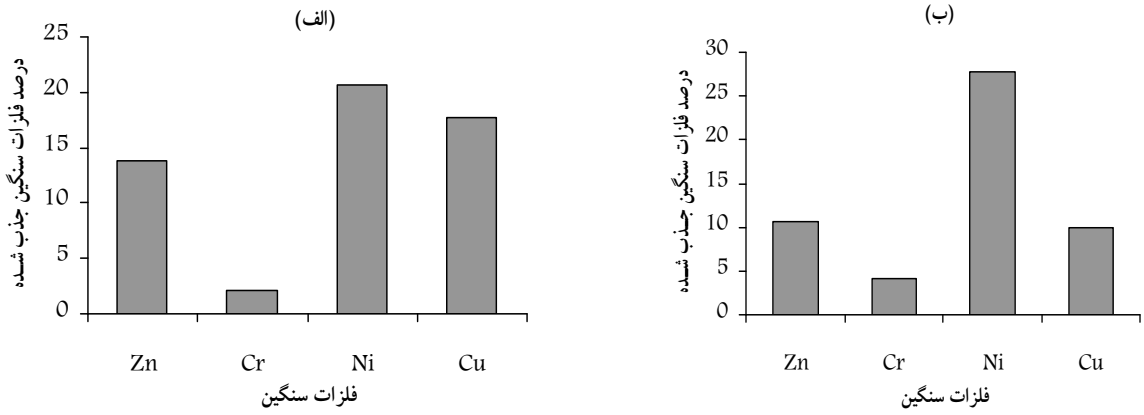
در مطالعه‌ای که توسط لوپز و همکاران[6] انجام شد، مشخص گردید که کمپوست برگ در حذف نیکل بسیار مؤثر و کارآمد می‌باشد [۳۵]. جوردائو و همکاران[7] نیز نشان دادند که در حذف



شکل ۳- درصد جذب فلزات‌سنگین توسط پوسته‌برنج و کمپوست برگ

[6] Lopez et al.
[7] Jordao et al.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴- درصد جذب فلزات‌سنگین توسط شن قرار گرفته در زیر خاک آهکی (الف) و خاک غیرآهکی (ب)

مس، نیکل و روی از محلولهای سنتتیک و فاضلاب توسط کمپوست برگ، مقدار فلزات‌سنگین جذب شده برحسب گرم فلز بر کیلوگرم جاذب برای مس و روی برابر دو و برای نیکل برابر چهار می‌باشد [۳۶].

۳-۳- ترتیب جذب فلزات‌سنگین توسط هر جاذب

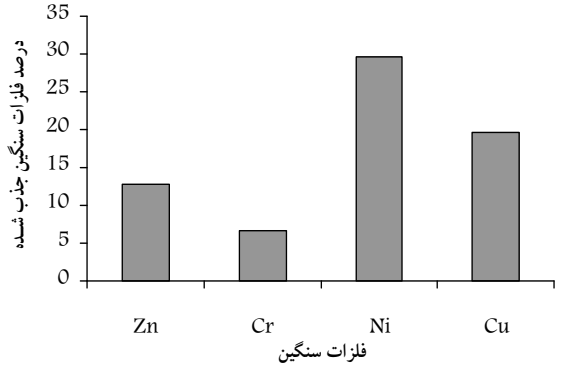
۳-۳-۱- شن

با توجه به اینکه شن در زیر کدامیک از خاکهای به‌کار رفته در این مطالعه (آهکی و غیرآهکی) قرار گیرد، ترتیب جذب فلزات‌سنگین توسط آن تا حدودی متفاوت است. چنانچه در زیر خاک آهکی قرار گیرد این ترتیب به صورت: کروم < روی < مس < نیکل و در حالتی که در زیر خاک غیرآهکی باشد به‌صورت کروم < روی ≈ مس < نیکل می‌باشد (شکل ۴). لذا می‌توان گفت که در هر دو حالت، این جاذب به ترتیب بیشترین و کمترین تمایل جذب را برای عناصر نیکل و کروم از خود نشان داد. لی[1] و یانگ[2] نیز نشان دادند که قدرت حذف نیکل توسط شن با غلظت اولیه ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر، ۹۸ درصد است که نشان‌دهنده قدرت زیاد این جاذب برای حذف این فلز می‌باشد [۳۷]. نتایج این مطالعه با مشاهدات بنجامین[3] و اسلتن[4] مبنی بر توانایی اندک شن برای جذب کرومات، مطابقت دارد [۵]. تنگ[5] و جوهانسون[6] در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که تشکیل کمپلکس‌های کربنات با این عناصر توسط شن می‌تواند یکی از مکانیسم‌های احتمالی مؤثر در جذب در جذب آنها به‌وسیله این جاذب در pH بالا باشد [۳۸]. در نهایت می‌توان گفت که شن علاوه بر نقش آن به‌عنوان زهکش قادر است که جاذب مناسبی برای فلزات سنگین موجود در فاضلابها نیز باشد.

۳-۳-۲- خاک

با توجه به اینکه تفاوت معنی‌داری در ترتیب جذب فلزات سنگین توسط خاک آهکی قرار داده شده در زیر هر یک از موادآلی به‌کار رفته در این مطالعه (پوسته برنج و کمپوست برگ) مشاهده نگردید، لذا نتایج مربوط به میانگین درصد جذب فلزات‌سنگین توسط این جاذب در هر دو حالت، در شکل ۵ نمایش داده شده است. مطالعه داده‌های این شکل نشان می‌دهد که ترتیب جذب فلزات‌سنگین توسط این جاذب به‌صورت زیر است :

کروم < روی < مس < نیکل



شکل ۵- درصد جذب فلزات‌سنگین توسط خاک آهکی

مورا و همکاران[7] نشان دادند که در خاکهای‌آهکی تمایل سطوح آلی برای نیکل بیشتر از روی بوده و درنتیجه در pH های بالا در این خاک‌ها، نیکل کمتر از روی جذب می‌شود که این امر با

[1] Lee
[2] Yang
[3] Benjamin
[4] Sletten
[5] Tang
[6] Johannesson
[7] Morera et al.

Archive of SID
www.SID.ir

نتـــایج حاصـــل شـــده از ایـــن آزمـــایش مغـــایرت دارد [۳۹]. پونیزوفسکی[1] و تزادیلاس[2] نشان دادند که در خاکهای با کربنات کلسیم زیادتر، مس بیش‌تر از روی جذب می‌گردد، زیرا حضور مس در سیستم، جذب عناصری مانند روی را بیشتر کاهش می‌دهد [۴۰]. در مطالعه دیگری که توسط آبجنین[3] و الوجو[4] انجام شد مشخص گردید که مس به‌دلیل تشکیل کمپلکس‌های درون‌شعاعی قوی‌تر از روی به خاک جذب می‌شود [۴۱]. آنها نشان دادند که جذب انتخابی عناصر می‌تواند بر اساس الکترونگاتیویته آنها توضیح داده شود. در نتایج حاصله از آزمایش پیشرو نیز ترتیب جذب فلزات‌سنگین احتمالاً بر اساس الکترونگاتیویته آنها (۱/۶۳ کروم<۱/۶۵ روی<۱/۹ مس<۱/۹۱ نیکل)، بود. وانگ[5] و هارل[6] نیز نشان دادند که موادآلی خاک می‌توانند رفتار جذب روی را از طریق تشکیل کمپلکس‌های هومیک-روی محلول و نامحلول تحت‌تأثیر قرار دهند، ولی نقش آنها در این مسئله کمتر از تأثیر آنها برای سایر فلزات‌سنگین مانند مس و کادمیم است [۲۸]. آنیون‌های Cr^{6+} نسبت به Cr^{3+} کمتر به سطوح جامد جذب می‌شوند. بیشتر سطوح جامد موجود در خاک دارای بارمنفی بوده که درنتیجه از جذب Cr^{6+} ممانعت می‌کنند. اگرچه رسها دارای توانایی بالایی برای جذب کاتیون‌های فلزی هستند ولی آنها برهم کنش کمی با Cr^{6+} به‌دلیل بار مشابه همدیگر دارند. تنها سطح جامد خاکی که می‌تواند Cr^{6+} را جذب کند، اکسی‌هیدروکسیدهای آهن است. کارل[7] و کینگسکات[8] معتقد بودند که جذب فلزات‌سنگین دوظرفیتی در خاک‌های با pH بالاتر، به تعادل بین فلزات‌سنگین در شکل هیدرولیزشده آنها (MOH^+) بستگی دارد [۴۲].

1 Ponizovsky
2 Tasdilas
3 Agbenin
4 Olojo
5 Wang
6 Harrell
7 Carl
8 Kingscott

ولی با توجه به اینکه خاک غیرآهکی در زیر کدامیک از موادآلی به‌کار رفته در این مطالعه (پوسته‌برنج و کمپوست برگ) قرار گیرد، ترتیب جذب فلزات‌سنگین توسط آن تا حدودی متفاوت است. چنانچه در زیر پوسته برنج قرار گیرد، این ترتیب به‌صورت مس ≈ روی < کروم ≈ نیکل و در حالتی که در زیر کمپوست برگ باشد به‌صورت کروم < مس ≈ روی < نیکل می‌باشد (شکل ۶). لذا می‌توان گفت که در هر دو حالت، این جاذب بیشترین تمایل جذب را برای عنصر نیکل از خود نشان داد.

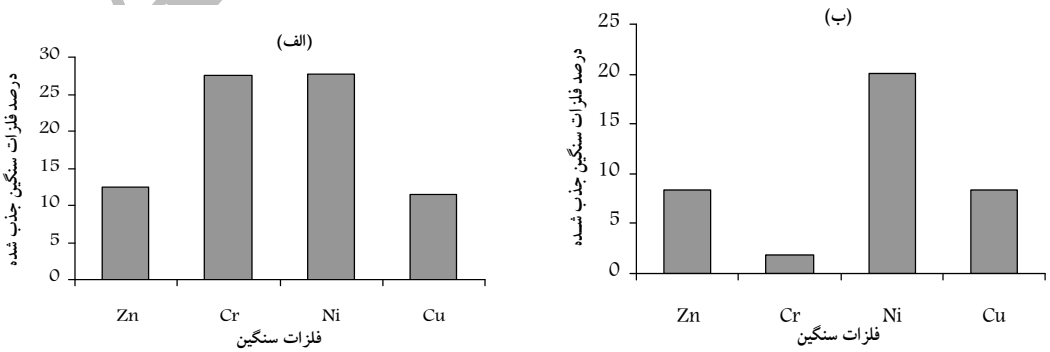
۳-۳-۳- پوسته برنج

نتایج مربوط به درصد جذب فلزات سنگین توسط پوسته برنج در شکل ۷ نمایش داده شده است. مطالعه داده‌های این شکل نشان می‌دهد که ترتیب جذب فلزات‌سنگین توسط این جاذب به‌صورت زیر است :

روی < مس < نیکل < کروم

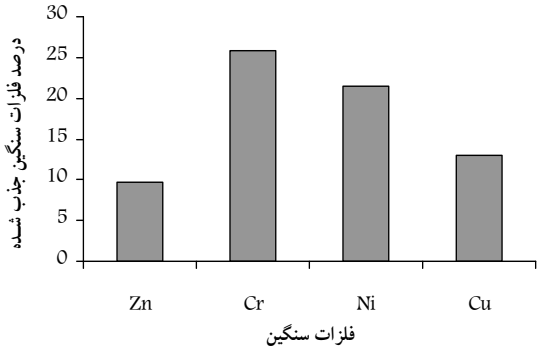
همچنین پوسته برنج قدرت جذب بسیار بالایی را برای کروم نشان داد. در مطالعاتی که توسط دانشمندان مختلف بر حذف فلزات سنگین توسط پوسته برنج صورت گرفته است نیز نتایج متفاوتی در مورد درصد حذف مس توسط این جاذب گزارش شده است؛ به‌طوری که ماتوس و همکاران[9] معتقد بودند که پوسته برنج غلظت مس را تا ۴۳ درصد کاهش می‌دهد، درحالی که قدرت جذب گزارش شده به‌وسیله چوکالینگام[10] و سوبرامانیان[11] برای این عنصر

9 Matos et al.
10 Chockalingam
11 Subramanian

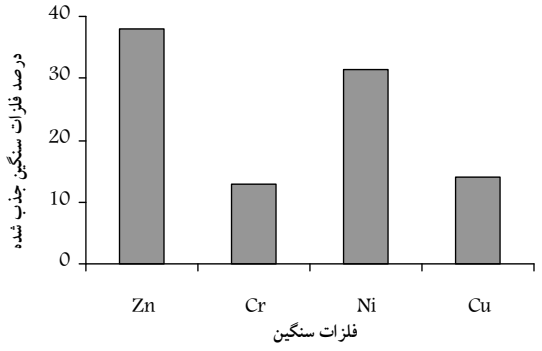


شکل ۶- درصد جذب فلزات سنگین توسط خاک غیرآهکی قرارگرفته در زیر پوسته‌برنج (الف) و کمپوست برگ (ب)

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۷- درصد جذب فلزات‌سنگین توسط پوسته برنج



شکل ۸- درصد جذب فلزات‌سنگین توسط کمپوست برگ

برابر ۹۵ درصد بود [۱۲ و ۴۳]. همچنین ماتوس و همکاران معتقد بودند که پوسته برنج بر غلظت روی کم اثر یا بدون اثر می‌باشد [۴۳]. درحالی که قدرت جذب گزارش شده توسط چوکالینگام و سوبرامانیان برای این عنصر برابر ۹۸ درصد بوده که همزمان با افزایش pH نیز می‌باشد [۵].

۳-۳-۴-کمپوست برگ

نتایج مربوط به درصد جذب فلزات سنگین توسط کمپوست برگ در شکل ۸ نمایش داده شده است. مطالعه داده‌های این شکل نشان می‌دهد که ترتیب جذب فلزات‌سنگین توسط این جاذب به‌صورت زیر است :

کروم ≈ مس < نیکل < روی

کمپوست برگ همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد در حذف روی و نیکل بسیار مؤثر و کارامد می‌باشد. کلارک و همکاران[1] گزارش دادند که کمپوست برگ قدرت حذف خوبی برای فلزات سنگین به‌ویژه در pH های بالا را داشته و ترتیب حذف فلزات سنگین توسط آن به این صورت می‌باشد [۴۴]:

کروم < آهن < مس < سرب < روی < کادمیم

در مطالعه دیگری که به‌وسیله استیوارت[2] انجام شد، مشخص گردید که قدرت حذف کمپوست برگ برای روی، مس و کروم به‌ترتیب برابر ۸۷، ۸۳ و ۶۱ درصد می‌باشد [۴۵]. کلارک و همکاران نیز نشان دادند که معمولاً مس و کروم کمتر از سایر فلزات سنگین توسط کمپوست برگ حذف می‌شوند و دلیل این امر این است که احتمالاً غلظت فلزات پیوندشده با ذرات کوچک‌تر بخش عظیمی را در آنها تشکیل داده و درنتیجه به‌راحتی و بدون جذب شدن به کمپوست برگ، از ستون عبور می‌نمایند [۴۴]. ولی آنتیموس و همکاران[3] معتقدند که کمپوست، مس را بهتر از روی و نیکل حذف می‌کند به‌طوری که آنها متوجه شدند که بعد از ۲۱ ماه از انجام آزمایش غلظت مس، روی و نیکل به ۹۹/۸، ۹۹/۶ و ۹۵/۴ درصد کاهش یافته است [۴۶]. همچنین در مطالعه دیگری ترتیب جذب فلزات‌سنگین به‌وسیله کمپوست، به این صورت گزارش شد [۳۵]:

روی < مس ≈ کادمیم < سرب

لنهارت و همکاران[4] نیز معتقدند که گرایش مواد هومیکی موجود در کمپوست برگ برای تشکیل کمپلکس با مس بیشتر از روی است [۴۷]. این گرایش از سری ایروینگ-ویلیامز پیروی می‌کند که ترتیب پایداری کمپلکس‌های فلزی را توضیح داده و ممکن است که براساس کاهش در اندازه یون و تا حدودی اثرات زمینه‌ای لیگاند و یا بر اساس مفهوم اسید-باز سخت و نرم پیرسون باشد. به‌طورکلی آنها معتقدند که ترتیب تمایل مواد هومیکی برای فلزات سنگین به‌صورت زیر می‌باشد :

فلزات سخت < فلزات نرم < فلزات با نرمی متوسط (مانند سرب، مس و کادمیم).

۴- نتیجه‌گیری

با روش فیلتراسیون، جرم معینی از آلاینده‌ها در حجم محدود و قابل دسترسی از مواد تجمع کرده و در نتیجه مقدار زیادی از فلزات سنگین موجود در فاضلاب حذف می‌شود. اما این فرایند، روش گرانی بوده و باعث تولید لجن می‌گردد. با استفاده از مواد طبیعی و محصولات جانبی کشاورزی می‌توان به ارزان بودن این روش و امنیت نسبی آن کمک کرد. از طرف دیگر پیچیدگی مواد طبیعی، آنها را در رابطه با اثر شرایط موجود بر روی مکانیسم پیوند، توانایی

[1] Clark et al.
[2] Stewart
[3] Anthimos et al.
[4] Lenhart et al.

Archive of SID
www.SID.ir

و تمایل آنها غیر قابل پیشگویی می‌کند. بنابراین کارایی کاربرد این مواد در حذف فلزات‌سنگین به‌مقدار زیادی به درک شیمی آنها که درگیر در فرایند پیوند فلزات می‌باشند، وابسته است.

مقدار فلزات جذب شده به مواد جاذب تابع پیچیده‌ای از خصوصیات سطحی و پارامترهای محیطی و محلول است. برای روشن شدن فرایند جذب، شیمیدان‌ها توجه زیادی به خصوصیات سطحی دارند و در این راستا باید به پارامترهای محیطی و محلول نیز توجه شود. البته از طرف دیگر در نظر گرفتن فاکتورهای محیطی تا حدودی به‌دلیل محدودیت امکانات برای کنترل تأثیرات خارجی، غیرممکن می‌باشد. در مطالعات جذب عناصر توسط مواد جاذب، زمان قرارگرفتن مواد جاذب در برابر آلاینده‌ها در آزمایشگاه بسیار کمتر از این زمان در شرایط طبیعی است. علاوه بر این، سینتیک‌های جذب و دفع فلزات غالباً آهسته بوده و مطالعات جذب اغلب با استفاده از غلظتهای فلزی بیشتر از آنچه در سیستم‌های طبیعی وجود دارد صورت می‌پذیرد. عدم توجه به موارد ذکر شده منجر به برداشت نادرستی از رفتار آلاینده‌ها در محیط گشته و سبب خواهد شد که تدابیر به‌کار گرفته شده برای پاکسازی محیط موفق نباشد.

به‌دلیل تفاوت در اندازه یونی فلزات سنگین، طبیعت و توزیع گروههای فعال روی سطح موادآلی و نیز میزان برهم کنش بین یون فلزی و جاذب، برخی از فلزات بیشتر از بقیه توسط این مواد جذب می‌شوند. در واقع می‌توان گفت که تفاوت در درصد حذف فلزات سنگین مختلف در غلظتهای یونی اولیه، مقدار جاذب و زمان تماس مشابه ممکن است به تفاوت در تمایل شیمیایی آنها و ظرفیت تبادل یونی در ارتباط با گروههای عاملی شیمیایی روی سطح جاذب که وابسته به میزان بار، میزان هیدرولیز و حلالیت یون‌های فلزی هیدرولیزشده است، مربوط باشد. کمپوست برگ می‌تواند سطوح زیادی از فلزات محلول را حذف کرده و سمیّت آنها را کاهش دهد، چون انواع برگها و پوسته‌ها سطحی را برای جذب فلزات سنگین ایجاد می‌کنند. ولی متأسفانه به سبب اینکه ترکیب کمپوست برگ شناخته‌شده نیست، مقدار جذب مختلفی برای برگها و گونه‌های چوبی مختلف موجود در آن می‌تواند وجود داشته باشد و کارایی کمپوست برگ کاملاً بستگی به گونه‌های فصلی موجود در کمپوست در هر زمان و در هر قسمت از آن دارد.

در مطالعه اخیر، ته‌نشینی رسوبات روی سطح پوسته برنج، میزان نفوذپذیری آن را کاهش داد. نتایج این مطالعه نشان داد که بسته به نوع ماده‌آلی به کار رفته در زیر خاک، توانایی جذب فلزات سنگین توسط آن نیز متفاوت بود. همچنین مشخص شد که علاوه بر ظرفیت تبادل کاتیونی، ویژگی‌های دیگر موجود در خاک نیز می‌توانند بر توانایی آن در جذب فلزات سنگین اثرگذار باشند. علی‌رغم انتظار، شن مورد استفاده، جاذب مناسبی برای فلزات‌سنگین موجود در فاضلابها بوده که باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد. در نهایت می‌توان گفت که کاربرد جاذبهای مورد مطالعه برای حذف فلزات‌سنگین از فاضلابها مؤثر و قابل توصیه می‌باشد.

۵- مراجع

1- Kietlinska, A. (2004). "Engineered wetlands and reactive bed filters for treatment of landfill leachate." Bsc. Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.

۲- سردشتی، ع. (۱۳۸۲). "حذف کروم از پساب های صنعتی." *م. آب و فاضلاب*، ٤٥، ١٨- ٢٦.

3- Mirghaffari, N., Chennouf, S., Gaballah, I., and Kilbertus, G. (1999). "Use of agricultural wastes for eliminating heavy metal ions from synthetic solutions." *Proc., Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology*, San Sebastian, Spain, 3, 2277-2287.

٤- عابدی کوپایی، ج.، و موسوی، س. ف. (۱۳۸۲). " جذب سرب از پساب صنعتی توسط خاکستر پوسته شلتوک." *م. آب و فاضلاب*، ٤٨، ١٧-٢٤.

5- Benjamin, M. M., and Sletten, R. S. (2002). *Metals treatment at superfund sites by adsorptive filtration*, Bulletin of Environmental Engineering and Sciences University of Washington, EPA/540/F-92/008.

6- Baig, M. A., Mehmood, B., and Matin, A. (2001). "Removal of chromium from industrial effluents by sand filtration." *J. Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 2(3), 374-379.

7- Awan, M. A., Qazi, I. A., and Khalid, I. (2003). "Removal of heavy metals through adsorption using sand." *J. Environmental Science*, 15(3), 413-416.

8- Changrui, G., and Donahoe, R. J. (1997). "An experimental study of heavy metal attenuation and mobility in sandy loam soils." *J. Applied Geochemistry*, 12(3), 243-254.

9- Echeverria, J. C., Morera, M. T., Mazkiaran, C., and Garrido, J. J. (1998). "Competitive sorption of heavy metal by soils. Isotherms and fractional factorial experiments." *J. Environmental Pollution,* 101(2), 275-284.

Archive of SID

www.SID.ir

10- Elzahabi, M., and Yong, R. N. (2001). "pH influence on sorption charachteristics of heavy metal in vadose zone." *J. Engineering Geology*, 60, 61-68.
11- Roney, N. (2005). "Toxicological profile for zinc." <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp60-c9.pdf.>> (Jan. 21, 2005).
12- Chockalingam, E., and Subramanian, S. (2006). "Studies on removal of metal ions and sulphate reduction using rice husk and desulfotomaculum nigrificans with reference to remediation of acid mine drainage."*J. Chemosphere,* 62(5), 699-708.
13- Hu, M. J., Wei, Y. L., Yang, Y. W., and Lee, J. F. (2004). "X-ray absorption spectroscopy study of chromium recovered from Cr(VI)-containing water with rice husk." *J. Physics*, 16, 3473-3478.
14- Oliveira, E. A., Andrade, A. D., Montanher, S. F., Nobrega, J. A., and Rollemberg, M. C. (2005). "Equilibrium studies for the sorption of chromium and nickel from aqueous solutions using raw rice bran." *J. Process Biochemistry*, 40(11), 3485-3490.
15- Feng, Q., Lin, Q., Gong, F., Sugita, S., and Shoya, M. (2004). "Adsorption of lead and mercury by rice husk ash." *J. Colloid and Interface Science*, 278(1), 1-8.
16- Seelsaen, N., McLaughlan, R., Moore, S., and Stuetz, R. (2006). "Influence of compost characteristics on heavy metals sorption from synthetic stormwater." *J. Urban Drainage Modelling and Water Sensitive Urban Design*, 55 (4), 219-226.
17- Jurries, D. P. E. (2004). *Environmental protection and enhancement with compost*, Department of Environmental Quality Northwest Region, Oregon State University, USA.
18- Petrell, R., Ansari, A., Anstey, B., Doig, P., Lam, J., Wong, H., and Xu, L. (2002). *Effectivness of some low-cost sorbents for treating mixtiure heavy metals in runoff from the first major storm event after the extended dry period*, Final Report Submitted To Eric Mazzi Manager of Mechanical Utilities UBC Utilities, USA.
19- Blowes, D. W., Ptacek, C. J., Benner, S. G., McRae, C. W. T., Bennett, T. A., and Puls, R. W. (2000). "Treatment of inorganic contaminants using permeable reactive barriers." *J. Contaminant Hydrology*, 45(1), 123-137.
20- Freed, R. (2006). "MSTAT-C, design, management and statistical research tool." MSTAT Office, 384C Plant and Soil Sciences, Michigan State University, East Lansing, </https://www.msu.edu/~freed/mstatc.htm> (Feb. 8, 2006).
21- Ott, L. (1977). *An introduction to statistical methods and data analysis*, 1st Ed., Duxbury Press, University of Michigan, USA.
22- Heeraman, D. A., Claassen, V. P., and Zasoski, R. J. (2004). "Interaction of lime, organic matter and fertilizer on growth and uptake of arsenic and mercury by Zorro fescue (Vulpia myuros L.)." *J. Plant and Soil*, 234(2), 215-231.
23- Romkens, P. F., Bril, J., and Salomons, W. (1996). "Interaction between Ca2+ and dissolved organic carbon: implications for metal mobilization." *J. Applied Geochemistry*, 11(1), 109-115.
24- Andersson, S., and Ingvar, N. S. (2001). "Influence of pH and temperature on microbial activity, substrate availability of soil-solution bacteria and leaching of dissolved organic carbon in a mor humus." *J. Soil Biology and Biochemistry*, 33(9), 1181-1191.
25- Jokinen, H. K., Kiikkila, O., and Fritze, H. (2006). "Exploring the mechanisms behind elevated microbial activity after wood ash application." *J. Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), 2285-2291.
26- Covelo, E. F., Andrade, M. L., and Vega, F. A. (2004). "Heavy metal adsorption by humic umbrisols: selectivity sequences and competitive sorption kinetics." *J. Colloid and Interface Science*, 280(1), 1-8.
27- Zhou, L. X., and Wong, J. W. C. (2001). "Effect of dissolved organic matter from sludge and sludge compost on soil copper sorption." *J. Environmental Quality*, 30, 878-883.
28- Wang, J. J., and Harrell, D. L. (2005). "Effect of ammonium, potassium, and sodium cations and phosphate, nitrate, and chloride anions on zinc sorption and lability in selected acid and calcareous soils." *J. Soil Science Society of America*, 69, 1036-1046.
29- Aziz, H. A., Othman, N., Yusuff, M. S., Adlan, M. N., Adnan, N. H., and Alias, S. (2004). "Physico-chemical removal of iron from semi-aerobic landfill leachate by limestone filter." *J. Waste Management,* 24(4), 353-358.

Archive of SID

www.SID.ir

30- Maftoun, M., Karimian, N., and Moshiri, F. (2002). "Sorption characteristics of copper (II) in selected calcareous soils of Iran in relation to soil properties." *J. Community Soil Science and Plant Anaylsis*, 33, 2279-2289.
31- Wang, W. Z., Brusseau, M. L., and Aftiola, J. F. (1997). "The use of calcium to facilitate desorption and removal of cadmium and nickel in subsurface soils."*J. Contaminant Hydrology*, 25(3), 325-336.
32- Jha, V. K., Kameshima, Y., Nakajima, Y. A., and Okada, K. (2005). "Uptake properties of Ni^{2+} by $nCaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}2SiO_2$ (n = 1–4) prepared from solid-state reaction of kaolinite and calcite." *J. Hazardous Materials*, 123(1), 281-287.
33- Carrol, S. A., and Bruno, J. (1993). "Mineral-solution interactions in the U(VI)-CO2-H2O system." *J. Radiochimica Acta*, 52, 187-193.
34- Ansari, R. (2006). "Application of polyaniline and its composites for adsorption/recovery of chromium (VI) from aqueous solutions." *J. Acta Chimica. Slovinica*, 53(1), 88-94.
35- Lopez, M. J., Vargas, M. C., Suarez, F., Guisado, G., and Moreno, J. (2001). "Heavy metals biosorption by compost-associated microorganisms : Practical applications." *J. Waste Contaminants: Lifecycle and Entry into Food Chain*, 85-88.
36- Jordao, C. P., Pereira, M. G., Einloft, R., Santana, M. B., Bellato, C. R., and Mello, J. W. V. (2002). "Removal of Cu, Cr, Ni, Zn, and Cd from electroplating wastes and synthetic solutions by vermicompost of cattle manure."*J. Environmental Science and Health*, 37(5), 875-892.
37- Lee, C. I., and Yang, W. F. (2005). "Heavy metal removal from aqueous solution in sequential fluidized-bed reactors." *J. Environmental Technology*, 26(12), 1345-1353.
38- Tang, J., and Johannesson, K. H. (2005). "Adsorption of rare earth elements onto Carrizo sand: Experimental investigations and modeling with surface complexation." *J. Geochimica et Cosmochimica Acta*, 19(22), 5247-5261.
39- Morera, M. T., Echeverria, J. C., Mazkiaran, C., and Garrido, J. J. (2001). "Isoterm and sequential extraction procedures for evaluating sorption and distribution of heavy metals in soils." *J. Environmental Pollution*, 113(2), 135-142.
40- Ponizovsky, A. A., and Tsadilas, C. D. (2003). "Lead(II) retention by Alfisol and clinoptilolite: Cation balance and pH effect." *J. Geoderma*, 115(3), 303-312.
41- Agbenin, J. O., and Olojo, L. A. (2004). "Competitive adsorption of copper and zinc by a Bt horizon of a savanna Alfisol as affected by pH and selective removal of hydrous oxides and organic matter." *J. Geoderma*, 119(3), 85-95.
42- Carl, M., and Kingscott, J. (1997). *Recent developments for in situ treatment of metal contaminated soils*." *J. Environmental Protection Agency*, Washington DC.
43- Matos, A. T., Brandao, V. S., Neves, J. C. L., and Martinez, M. A. (2003). "Removal of Cu and Zn from swine raising wastewater using organic filters." *J. Environmental Technology*, 24(2), 171-178.
44- Clark, S. E., Johnson, P. E. P., Pitt, R., Gill, S. and Pratap, M. (2005). "Filtration for metals removal from stormwater." *Proc., 10th Int. Conf Urban Drainage*, Copenhagen, Denmark, 21-26.
45- Stewart, W. (1992). *Compost storm water treatment system*, W and H Pacific Consultants, Draft Report, Portland.
46- Anthimos, X., Moirou, A., and Paspaliaris, I. (2002). "Reactive materials and attenuation processes for permeable reactive barriers."*J. Mineral Wealth*, 123, 35-49.
47- Lenhart, J. H., deRidder, P. E. S., Calvert, P., and Noling, C. (2002). "The removal of soluble heavy metals from non-point source runoff originating from industrial sources by leaf compost media." *Proc., 2th Annu Shipyard Environmental Issues Conf*, Athens, Greece.

Archive of SID

www.SID.ir