

بررسی کارایی فیلتر شن - خاک - ماده آلی، در حذف فلزات سنگین مس، نیکل، روی و کروم از فاضلاب صنعتی

میترا محمدی^{۱*} - امیر فتوت^۲ - غلامحسین حق نیا^۳

تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۱۵

چکیده

به منظور حصول اطمینان از حذف یا کاهش فلزات سنگین مس، نیکل، روی و کروم از فاضلاب‌های صنعتی توسط فیلتر شن-خاک-ماده آلی و بررسی امکان استفاده مکرر از آن، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با شانزده تیمار و چهار تکرار انجام گرفت. لوله‌های پلی اتیلن به ارتفاع ۶۶/۵ و قطر ۱۰ سانتی‌متر انتخاب و به ترتیب از پایین به بالا به وسیله ریگ درشت به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر، شن به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر، خاک به ارتفاع ۲/۵ و یا ۵ سانتی‌متر، ماده آلی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر، ریگ ریز به ارتفاع ۵ سانتی‌متر پر شدند. سپس به مجموعه فیلتر مذکور فاضلاب صنعتی یک کارخانه آبکاری به میزان ۱۱۰۰ میلی‌لیتر اضافه شد و پس از خشک شدن کامل سطح آن ۳۰ میلی‌لیتر از زه آب حاصل شده جمع‌آوری و به منظور اندازه‌گیری pH و غلظت فلزات سنگین مس، نیکل، روی و کروم به وسیله دستگاه جذب اتمی به آزمایشگاه انتقال داده شد و این عمل برای هر فیلتر به تعداد نه مرتبه (۹ حجم منفذی = 9 PV = 9 pore volume) تکرار گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد فیلتر شن-خاک-ماده آلی باعث افزایش معنی‌دار pH زه آب خروجی به محدوده خنثی تا کمی قلیایی و در اکثر موارد کاهش معنی‌دار غلظت فلزات سنگین مورد بررسی شد. همچنین مکانیزم‌های احتمالی همچون جذب، رسوب، تبادل یونی و کمپلکس شدن که باعث تغییر در خصوصیات شیمیایی زه آب حاصله گشته نیز مورد بحث قرار گرفت. به‌طور کلی می‌توان گفت که کاربرد این فیلترها در حذف یا کاهش عناصر سنگین مورد مطالعه از فاضلاب‌های صنعتی مؤثر و قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب، فلزات سنگین و جذب

مقدمه

حاصل کنند (۵). تکنیک‌های مختلفی برای کاهش مقدار یون‌های فلزی از فاضلاب‌ها وجود دارد که هر کدام از آن‌ها دارای مزایا و مضراتی بر اساس سادگی، انعطاف پذیری، مؤثر بودن فرایندها، قیمت، مشکلات تکنیکی و نگهداری می‌باشند. در نتیجه تکنیک‌های آسان، مؤثر، مقرون به صرفه و دوستدار محیط‌زیست برای تیمار فاضلاب‌ها مورد نیاز است. فیلتراسیون یک فرایند کارآمد در حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌ها بوده و این مزیت را دارد که جرم معینی از آلاینده‌ها در یک حجم محدود و قابل دسترسی از مواد تجمع حاصل می‌کنند (۱۷). در ساختن فیلتر مهم‌ترین قسمت، محیط یا انتخاب جاذب است. این جاذب برای یک یا چند آلاینده موجود در فاضلاب که باید از آن حذف شود، واکنش پذیر است. انواع مختلفی از جاذب‌های مصنوعی یا مواد قابل تبادل به عنوان 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 میسر نخواهد بود. از بین جاذب‌ها برای فلزات سنگین، مواد طبیعی به دلیل هزینه کم و فراهمی زیاد آن‌ها

آلودگی آب به دلیل تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی، وجود فلزات سنگین سمی و مدیریت نامناسب زباله‌ها، سلامتی بشر را به صورت جدی تحت تأثیر قرار می‌دهد و با توجه به حجم عظیم فاضلاب‌های تولیدی، تلاش برای دستیابی به نحوه دفع مناسب فاضلاب در محیط زیست ضروری می‌باشد. متداول‌ترین فلزات سنگین یافت شده در فاضلاب‌ها، سرب، مس، روی، کادمیم، کروم و نیکل هستند که این گونه فلزات به دلیل سمیت و عدم تخریب زیستی نه تنها برای گیاهان و حیوانات بلکه برای انسان‌ها هم ایجاد مشکل کرده و می‌توانند در بافت‌های زنده و در نهایت در زنجیره غذایی تجمع

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* نویسنده مسئول: Email: Mitra_mohammadio@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد

- (S₁H₂O₂W₁)
 خاک آهکی (۲/۵ سانتی متر) - کمپوست برگ - فاضلاب مصنوعی
 (S₁H₂O₂W₂)
 خاک غیرآهکی (۵ سانتی متر) - پوسته برنج - فاضلاب طبیعی
 (S₂H₁O₁W₁)
 خاک غیرآهکی (۵ سانتی متر) - پوسته برنج - فاضلاب مصنوعی
 (S₂H₁O₁W₂)
 خاک غیرآهکی (۵ سانتی متر) - کمپوست برگ - فاضلاب طبیعی
 (S₂H₁O₂W₁)
 خاک غیرآهکی (۵ سانتی متر) - کمپوست برگ - فاضلاب مصنوعی
 (S₂H₁O₂W₂)
 خاک غیرآهکی (۲/۵ سانتی متر) - پوسته برنج - فاضلاب طبیعی
 (S₂H₂O₁W₁)
 خاک غیرآهکی (۲/۵ سانتی متر) - پوسته برنج - فاضلاب مصنوعی
 (S₂H₂O₁W₂)
 خاک غیرآهکی (۲/۵ سانتی متر) - کمپوست برگ - فاضلاب طبیعی
 (S₂H₂O₂W₁)
 خاک غیرآهکی (۲/۵ سانتی متر) - کمپوست برگ - فاضلاب مصنوعی
 (S₂H₂O₂W₂)

برای ساخت فیلترها، پیش آزمایش‌هایی به منظور تعیین حد اشباع فیلتر، چگونگی ریختن مواد جاذب و وزن و ارتفاع هر کدام از مواد جاذب انجام شد و از آنجائیکه لازم است ضخامت مواد جاذب در سرتاسر فیلتر یکسان باشد از لوله‌های پلی اتیلن به ارتفاع ۶۶/۵ و قطر ۱۰ سانتی متر استفاده گردید. در انتهای هر لوله درپوشی تعبیه و سه سوراخ با فواصل منظم و مساوی به منظور خروج یکنواخت زه آب ایجاد شد و درون هر کدام از آن‌ها با توجه به تیمارهای آزمایشی، به ترتیب از پایین به بالا با مواد زیر پر گردید: ریگ درشت به ارتفاع ۱۵ سانتی متر، شن به ارتفاع ۱۵ سانتی متر، خاک به ارتفاع ۲/۵ و یا ۵ سانتی متر، ماده آلی به ارتفاع ۱۵ سانتی متر، ریگ ریز به ارتفاع ۵ سانتی متر (برخی از خصوصیات مواد به کار رفته در این مطالعه در جدول ۱ آورده شده است). فاضلاب طبیعی (W₁) حاوی فلزات سنگین مس، نیکل، کروم و روی بوده و از یک کارخانه آبکاری تهیه شد و در فاضلاب مصنوعی (W₂) غلظت این فلزات توسط نمک‌های نیترات مس، نیترات نیکل، دی کرومات پتاسیم و سولفات روی به ترتیب به ۱۰۳/۴، ۱۳۰/۲۵، ۶۰۷/۹ و ۱۲۱۸ میلی گرم بر لیتر رسید. سپس به مجموعه فیلتر مذکور این فاضلاب صنعتی با اسیدیته ۱/۴ و هدایت الکتریکی (EC) ۱۷/۱ دسی‌زیمنس بر متر (جدول ۱)، به میزان ۱۱۰۰ میلی لیتر اضافه گردید و پس از خشک شدن کامل سطح آن ۳۰ میلی لیتر از زه آب حاصل شده در ظروف پلاستیکی ۱۲۰۰ میلی لیتری که به این منظور در انتهای هر فیلتر قرار داده شده بود جمع‌آوری و به منظور اندازه‌گیری pH و غلظت فلزات سنگین مس، نیکل، روی و

و محصولات جانبی کشاورزی به علت دارا بودن گروه‌های عامل از قبیل هیدروکسیل، کربوکسیل و فنل و نیز میل ترکیبی قوی با فلزات سنگین، مناسب‌تر می‌باشند. هر چند پیچیدگی این مواد، آن‌ها را در رابطه با اثر شرایط موجود بر مکانیزم پیوند، توانایی و تمایل آن‌ها غیر قابل پیشگویی می‌کند. در نتیجه کارایی کاربرد این مواد در حذف فلزات سنگین به مقدار زیادی به درک شیمی آن‌ها که درگیر در فرایند پیوند فلزات هستند، وابسته است (۲۵). بنابراین محیط فیلترکننده در این تحقیق نیز عبارت بودند از: شن، خاک (آهکی و غیرآهکی) و ماده آلی (پوسته برنج و کمپوست برگ). استفاده از شن به عنوان جاذب در ساختار فیلترها برای اولین بار در سال ۱۹۸۹ در شهر آستین در تگزاس صورت گرفت (۳۱). همچنین در جورجیا از نوعی فیلتر شنی برای تصفیه فاضلاب استفاده شد (۲۶). در مطالعه دیگری برای حذف فلزات سنگین از رواناب‌سطحی صنایع هواپیمایی زوریخ از مواد جاذب مختلف استفاده گردید و مشخص شد که خاک گزینه مناسبی برای جذب فلزات از فاضلاب به شمار می‌رود (۷). در کشور هند در اثر استفاده از فیلتر خاکستر پوسته برنج، آرسنیک با کارایی ۹۹ درصد از فاضلاب حذف شد (۱۲). فیلتر کمپوست برگ نیز برای اولین بار در سال ۱۹۹۲ در واشنگتن ساخته شد (۳۰). همچنین در مطالعه دیگری برای تصفیه فاضلاب از فیلتر حاوی ترکیبی از شن و کمپوست برگ استفاده گردید (۲۰). هدف از این تحقیق، بررسی کارایی فیلتر شن - خاک - ماده آلی در حذف فلزات سنگین مس، نیکل، روی و کروم از فاضلاب صنعتی می‌باشد.

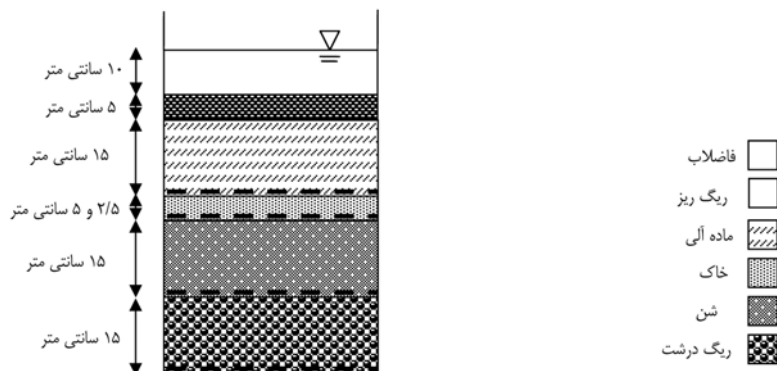
مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی و با شانزده تیمار و چهار تکرار در گروه خاکشناسی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارها در این آزمایش عبارت بودند از:

- خاک آهکی (۵ سانتی متر) - پوسته برنج - فاضلاب طبیعی
 (S₁H₁O₁W₁)
 خاک آهکی (۵ سانتی متر) - پوسته برنج - فاضلاب مصنوعی
 (S₁H₁O₁W₂)
 خاک آهکی (۵ سانتی متر) - کمپوست برگ - فاضلاب طبیعی
 (S₁H₁O₂W₁)
 خاک آهکی (۵ سانتی متر) - کمپوست برگ - فاضلاب مصنوعی
 (S₁H₁O₂W₂)
 خاک آهکی (۲/۵ سانتی متر) - پوسته برنج - فاضلاب طبیعی
 (S₁H₂O₁W₁)
 خاک آهکی (۲/۵ سانتی متر) - پوسته برنج - فاضلاب مصنوعی
 (S₁H₂O₁W₂)
 خاک آهکی (۲/۵ سانتی متر) - کمپوست برگ - فاضلاب طبیعی
 (S₁H₂O₂W₁)

آمده با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C تجزیه و تحلیل گردید و مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی با یکدیگر با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) صورت گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

کروم به آزمایشگاه انتقال داده شد و این عمل برای هر فیلتر به تعداد نه مرتبه (۹ حجم منفذی = 9 pore volume = PV) که ۲۰ روز به طول انجامید، تکرار گردید. غلظت فلزات سنگین به وسیله دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA - 670) اندازه گیری شد. نتایج به دست



(جدول ۱) - برخی از ویژگی‌های مواد مورد استفاده

خصوصیات	واحد	خاک آهکی	خاک غیر آهکی	شن	پوسته برنج	کمپوست برگ
بافت	-	لوم شنی	لوم شنی	-	-	-
رس	%	۱۴/۹	۱۴/۹	-	-	-
آهک	%	۱۷/۱	۳/۱	۰/۲	-	-
کربن آلی	%	۰/۴	۰/۸	۰/۰	-	-
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
ظرفیت تبادل کاتیونی	cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹	۵/۲	۵/۱	۴/۶	۳۰/۴	۳۴/۸
مس	mg.kg ⁻¹	۲۲/۷	۱۸/۴	۱۸/۹	۱/۵	۱۴/۷
نیکل	mg.kg ⁻¹	۸۳/۳	۳۸/۷	۴۲/۱	۱۲/۵	۴۰/۸
روی	mg.kg ⁻¹	۱۱۸/۶	۵۰/۱	۶۶۸/۰	۵۰/۶	۱۱۴/۲
کروم	mg.kg ⁻¹	۶۲/۷	۲۲/۳	۲۴/۷	۲۴/۵	۸/۰

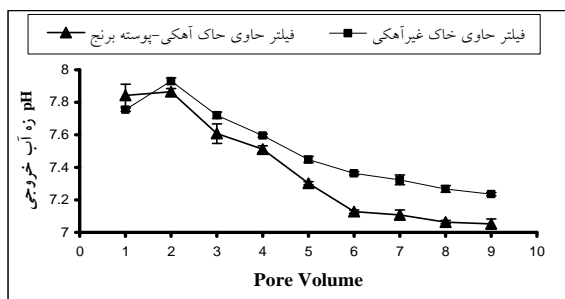
خصوصیات	واحد	فاضلاب طبیعی
pH	-	۱/۴
EC	dS.m ⁻¹	۱۷/۱
مس	mg.l ⁻¹	۲/۱
نیکل	mg.l ⁻¹	۱/۲
روی	mg.l ⁻¹	۵۷۰/۹
کروم	mg.l ⁻¹	۱۸۵/۷

از مقدار اولیه برابر با ۱/۴ به محدوده خنثی تا کمی قلیایی افزایش یافت و این حالت تا $PV=2$ حفظ شد و سپس روند کاهشی را طی کرد که البته باز هم pH در محدوده خنثی قرار داشت و در انتها هم مقادیر pH ثابت شد (شکل ۱).

نتایج و بحث

اثر تیمارهای آزمایش بر pH

در تمامی فیلترهای حاوی خاک آهکی-پوسته برنج در $PV=1$ افزایش معنی داری در pH زهاب خروجی صورت گرفت بطوریکه pH



(شکل ۱) - میانگین مقادیر pH زه آب خروجی از دو نوع فیلتر در PVهای مختلف

PVها احتمالاً کاهش ظرفیت بافرکنندگی مواد جاذب به کاررفته (شکل ۱)، اثر تدریجی کاربرد فاضلاب اسیدی و یا دی پروتونه شدن سطح کانی‌ها و آزاد شدن پروتون از سطح آن‌ها در هنگام جذب اختصاصی فلزات سنگین توسط خاک می‌باشد (۱۵). بعد از این‌که جذب فلزات سنگین روی جاذب به حالت پایدار می‌رسد مقادیر pH هم ثابت می‌شود (۱۶).

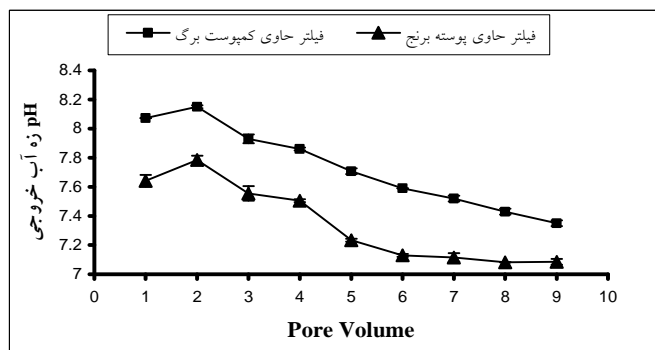
اما فیلترهای حاوی خاک غیرآهکی و فیلترهای حاوی کمپوست برگ در اکثر موارد روند نسبتاً متفاوتی را با سایر فیلترها نشان دادند به این صورت که آن‌ها تا PV=2 باعث افزایش pH زه آب خروجی شده و از آن به بعد روند کاهشی را نشان دادند (شکل ۱ و ۲). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که احتمالاً تجزیه کمپوست خام و تبدیل آن به کمپوست بالغ در طی مدت آزمایش در فیلترهای حاوی کمپوست برگ دلیل این امر می‌باشد (۲۰).

همچنین تفاوت معنی‌داری در pH زه آب خروجی از فیلترهایی که فاضلاب طبیعی را دریافت نموده با آن‌هایی که فاضلاب مصنوعی به آن‌ها اضافه شده بود مشاهده نگردید.

نکته قابل توجه دیگر این است که همواره مقادیر pH زه آب‌های خروجی از فیلترهای حاوی کمپوست برگ بیش‌تر از مقادیر pH زه آب‌های خروجی از فیلترهای حاوی پوسته برنج بوده و این تفاوت معنی‌دار می‌باشد (شکل ۲).

مطالعات مختلف نشان می‌دهد که علت افزایش pH در PV=1 توسط فیلترها به شیوه‌های افزایش pH توسط مواد جاذب به کاررفته مربوط است. کمپوست برگ دارای قدرت بافرکنندگی قوی بوده و از طریق آزادسازی کلسیم و همچنین مصرف اکسیژن در حین تجزیه خود، باعث افزایش pH می‌شود (۲۴). پوسته برنج نیز به دلیل جایگزینی یون‌های هیدروکسیل از مکان‌های تبدلی، جذب سطحی اکسی‌آنیون‌ها، حل شدن اکسیدهای فلزی موجود در آن و یا حضور گروه‌های فسفات و کربوکسیلات در آن که به عنوان دستجات بافرکننده عمل می‌کنند، می‌تواند باعث افزایش pH محلول شود (۱۱). خاک از طرق مختلف مانند تبادل عناصر بازی و قلیایی روی سطوح تبدلی با عناصر موجود در محلول و در نتیجه تشکیل هیدروکسیل‌ها، انحلال کانی‌های مختلف موجود در خاک، رقابت بین یون‌های فلزی و یون هیدروژن برای مکان‌های پیوند روی سطح خاک به‌ویژه در محلول‌های اسیدی، جذب فلزات سنگین در خاک‌ها، پروتونه شدن و دی پروتونه شدن کانی‌ها و مواد آلی که از عوامل بافرکننده خاک هستند، باعث افزایش pH می‌شود (۸). مصرف یون‌های هیدروژن به‌وسیله جذب سطحی، انحلال ذرات جاذب در خلال واکنش، واکنش‌های بافرکنندگی حاصل از کانی‌های کربناته، کاتیون‌های بازی تبدلی و تجزیه کانی‌های آلومینوسیلیکاته موجود در شن، از عوامل افزایش pH توسط شن می‌باشند (۱۸).

با توجه به مطالعات مختلف می‌توان گفت که علت کاهش pH در سایر



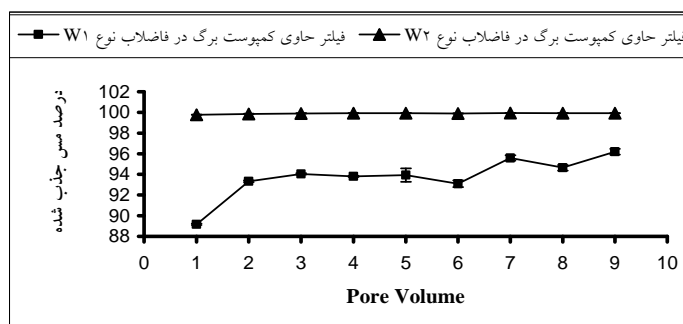
(شکل ۲) - میانگین مقادیر pH زه آب خروجی از دو نوع فیلتر در PVهای مختلف

مشابهی را با یکدیگر نشان دادند به این صورت که درصد جذب مس توسط آن‌ها از ۸۹/۲ درصد در $PV=1$ به ۹۶/۲ درصد در PV آخر افزایش یافت. همچنین روند مشابهی در تمامی فیلترهای حاوی کمپوست برگ که فاضلاب مصنوعی (W_2) را دریافت کرده بودند نیز مشاهده شد بطوریکه درصد جذب مس توسط آن‌ها در طی مدت آزمایش برابر ۹۹/۹ درصد بود (شکل ۳).

مطالعات مختلف نشان می‌دهد که کمپوست بالغ به عنوان یک عامل بافرکننده قوی عمل می‌کند که می‌تواند pH را در محدوده کمی اسیدی، خنثی یا کمی قلیایی نگه دارد (۴).

اثر تیمارهای آزمایش بر مس

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، فیلترهای حاوی کمپوست برگ که فاضلاب طبیعی (W_1) را دریافت کرده بودند، روند



(شکل ۳) - درصد جذب مس توسط فیلترهای حاوی کمپوست برگ در دو نوع فاضلاب W_1 و W_2

از جمله مکانیزم‌های شناخته شده برای کاهش این عنصر می‌باشد (۲). به طور کلی به دلیل مشاهده همبستگی (Correlation) میان pH و غلظت مس موجود در زه آب (جدول ۲) و با توجه به دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه، می‌توان این چنین نتیجه گرفت که احتمالاً رسوب مس در مقادیر بالای pH، می‌تواند مکانیزم مؤثری در کاهش غلظت این عنصر از فاضلاب، توسط فیلترهای به کار رفته در این آزمایش باشد البته باید به این نکته توجه داشت که pH زه آب خروجی از فیلترها در محدوده ۷-۸/۲ بوده و اگر این مطالعه در محدوده گسترده تری از pH (به طور مثال ۹-۶) صورت می‌گرفت، مشاهدات فوق الذکر از وضوح بیشتری برخوردار بود (۲۱). دیبیلز (۱۳) نیز نشان داد که رسوب مس در $pH > 6/5$ توسط کمپوست برگ و در $pH = 6$ توسط پوسته برنج، مکانیزم مؤثری در کاهش غلظت این عنصر از فاضلاب می‌باشد.

کارایی تمام فیلترها با گذشت زمان برای جذب مس افزایش یافت (شکل ۳). البته این مسئله در مورد فیلترهای حاوی پوسته برنج و خاک با ارتفاع ۲/۵ سانتی متر صادق نمی‌باشد.

در کلیه فیلترها درصد جذب مس در سطح W_2 نسبت به سطح W_1 بیش تر بود (شکل ۳، به دلیل یکسان نبودن رفتار فیلترهای حاوی پوسته برنج، تنها فیلترهای حاوی کمپوست برگ نشان داده شده است).

فیلترهای به کار رفته در این آزمایش چندجزئی بوده و از لایه‌های شن، خاک و ماده آلی تشکیل شده‌اند و با توجه به مطالعات انجام شده توسط سایرین می‌توان گفت که هر کدام از لایه‌ها نقش کاهنده‌ای در غلظت فلزات سنگین موجود در فاضلاب دارند. در این راستا نتایج دیگران نشان می‌دهد که کمپوست برگ از طریق کلات‌شدگی این عنصر توسط موادموموسی موجود در آن می‌تواند باعث کاهش غلظت مس از فاضلاب شود (۲۰).

فیلترهای حاوی پوسته برنج روند یکسانی را با یکدیگر نشان ندادند ولی به طور کلی این فیلترها مس بیشتری را نسبت به فیلترهای حاوی کمپوست برگ جذب کردند. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که یک فرایند مهم در حذف فلزات سنگین توسط پوسته برنج جذب می‌باشد (۳۲). مارتین - دوپونت و همکاران (۲۲) معتقدند که یون‌های مس با گروه‌های فنل موجود در ترکیبات لیگنینی پوسته برنج نیز برهم کنش دارد.

مطالعات مختلف نشان می‌دهد که علاوه بر پوسته برنج و کمپوست برگ، خاک و شن موجود در تمامی فیلترهای به کار رفته در این مطالعه نیز می‌توانند در کاهش غلظت مس از فاضلاب نقشی داشته باشند. تبادل کاتیونی (۱۴)، جذب اختصاصی و کمپلکس شدن با مواد آلی (۲۸) از مکانیزم‌های مهم در حذف فلزات سنگین توسط خاک می‌باشد. افزایش جذب مس در $pH = 6/5-8$ توسط شن

(جدول ۲) - نتایج حاصل از همبستگی (Correlation) میان pH و غلظت فلزات سنگین موجود در زه آب خروجی از فیلترهای مختلف

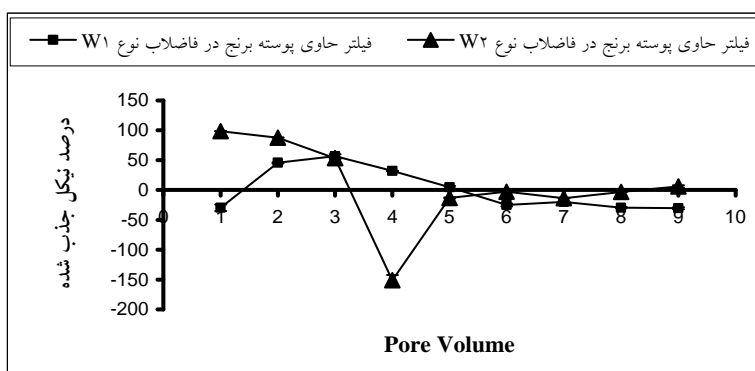
پارامتر مورد مطالعه	رابطه	r
pH و غلظت مس موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی کمپوست برگ در فاضلاب نوع W ₁	$y = 0.0854x - 0.4874$	۰/۶۵
pH و غلظت مس موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی کمپوست برگ در فاضلاب نوع W ₂	$y = 0.0964x - 0.6255$	۰/۷۳*
pH و غلظت نیکل موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی پوسته برنج در فاضلاب نوع W ₁	$y = -1.4225x + 11.768$	-۰/۸۵*
pH و غلظت نیکل موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی پوسته برنج در فاضلاب نوع W ₂	$y = -197.43x + 1551.4$	-۰/۶۶*
pH و غلظت نیکل موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی کمپوست برگ در فاضلاب نوع W ₂	$y = -93.12x + 745.82$	-۰/۹۳*
pH و غلظت روی موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی کمپوست برگ در فاضلاب نوع W ₁	$y = -650.69x + 5022.3$	-۰/۹۶*
pH و غلظت روی موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی کمپوست برگ در فاضلاب نوع W ₂	$y = -1267.9x + 9806.1$	-۰/۹۶*
pH و غلظت روی موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی پوسته برنج در فاضلاب نوع W ₁	$y = -154.66x + 1243.4$	-۰/۸۹*
pH و غلظت روی موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی پوسته برنج در فاضلاب نوع W ₂	$y = -663.36x + 5290.5$	-۰/۹*
pH و غلظت کروم موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی کمپوست برگ در فاضلاب نوع W ₁	$y = -28.044x + 249.44$	-۰/۳۹
pH و غلظت کروم موجود در زه آب خروجی از فیلتر حاوی کمپوست برگ در فاضلاب نوع W ₂	$y = -243.69x + 2441.8$	-۰/۵۸

* معنی دار در سطح ۵ درصد

اثر تیمارهای آزمایش بر نیکل

فیلترهای حاوی پوسته برنجی که فاضلاب طبیعی (W₁) را دریافت کرده بودند، روند مشابهی را با یکدیگر نشان دادند به این صورت که در PV=1 جذبی اتفاق نیفتاد ولی پس از آن تا PV=6، ۳۴/۷ درصد جذب رخ داد و نکته قابل توجه در مورد این عنصر افزایش ۲۶/۲ درصدی غلظت نیکل در زه آب در مقایسه با غلظت ورودی در PV های بعدی بود (شکل ۴).

مطالعات مختلف نشان می دهد که افزایش در کارایی جذب همگام با افزایش در غلظت اولیه یون فلزی به دلیل استفاده بیش تر از خصوصیات جذب کنندگی جاذب بوده که ناشی از نیروهای محرکی همچون افزایش غلظت اولیه فلز می باشد. شن و همکاران (۲۹) گزارش دادند زمانی که میزان جذب فلز با افزایش غلظت آن افزایش می یابد نشان دهنده این است که یون های این فلز نسبت به یون های فلزی دیگر، تمایل بیشتری را به ذرات جاذب در طی جذب رقابتی دارند.



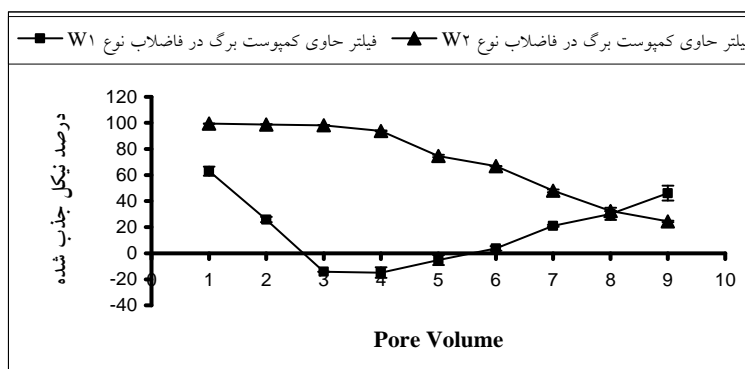
(شکل ۴) - درصد جذب نیکل توسط فیلترهای حاوی پوسته برنج در دو نوع فاضلاب W₁ و W₂

PV، ۶ درصد جذب صورت گرفت (شکل ۴). مطالعات مختلف نشان می دهد که روند مشاهده شده برای این عنصر توسط فیلترهای حاوی پوسته برنج به مکانیزم های احتمالی مؤثر بر تغییرات این عنصر توسط مواد جاذب به کاررفته به ویژه پوسته برنج مربوط می باشد بطوریکه برهم

همچنین روند مشابهی در تمامی فیلترهای حاوی پوسته برنجی که فاضلاب مصنوعی (W₂) را دریافت کرده بودند نیز مشاهده شد بطوریکه تا PV=4 جذب معنی داری (۷۹/۹ درصد) صورت گرفته و از آن به بعد و تا PV=9 دفع معنی داری (۳۶/۸ درصد) رخ داده و سپس در این

صورت گرفت ولی از آن به بعد تا $PV=6$ دفع نیکل (۱۱/۴ درصد) به داخل محلول رخ داده، سپس از این PV به بعد مجدداً جذب صورت گرفته و به ۴۶ درصد در PV آخر رسید (شکل ۵). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که این امر به مکانیزم‌های احتمالی مؤثر بر تغییرات این عنصر توسط مواد جاذب به کاررفته در ساختار فیلتر مورد بررسی به‌ویژه کمپوست برگ مربوط می‌باشد بطوریکه تجزیه شدن و تبدیل آن به کمپوست بالغ در طول مدت آزمایش و افزایش مقدار مواد هومیکی پایدار و نامحلول، به طور قابل توجهی قدرت کمپلکس‌کنندگی کمپوست را ارتقاء می‌دهد (۲۰).

کش قوی با مکان‌های فعال پوسته‌برنج، مکانیزم شناخته‌شده‌ای برای حذف نیکل از فاضلاب توسط این جاذب می‌باشد. با توجه به همبستگی معنی‌دار (Correlation) مشاهده شده میان pH و غلظت نیکل موجود در زه‌آب (جدول ۲) و با توجه به دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه، می‌توان این چنین نتیجه گرفت که احتمالاً رسوب نیکل در مقادیر بالای pH ، می‌تواند مکانیزم مؤثر دیگری در کاهش غلظت این عنصر از فاضلاب، توسط پوسته‌برنج باشد (۲۱). فیلترهای حاوی کمپوست برگی که فاضلاب طبیعی (W_1) را دریافت کرده بودند، روند مشابهی را با یکدیگر نشان دادند به این صورت که در ۲ و $PV=1$ جذب معنی‌داری (۴۴/۴ درصد)



(شکل ۵) - درصد جذب نیکل توسط فیلترهای حاوی کمپوست برگ در دو نوع فاضلاب W_1 و W_2

مطالعات زیادی صورت نگرفته است (۸). همانطور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشخص است، کارایی اکثر فیلترها با گذشت زمان برای جذب نیکل کاهش یافت که این امر به این دلیل است که در ابتدای آزمایش شمار بیش‌تری از مکان‌های سطحی برای جذب قابل دسترس می‌باشد و بعد از گذشت زمان، به دلیل اشباع شدن سطوح جذب ممکن است مکان‌های سطحی باقیمانده به‌سختی اشغال شوند، در نتیجه به‌طور کلی جذب در مراحل اولیه افزایش یافته و بعد نسبتاً ثابت می‌گردد (۶).

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود درصد جذب این عنصر توسط فیلترهای حاوی پوسته‌برنج در تمام PV ها به جز ۵ و $PV=4$ در سطح W_2 بیش‌تر از سطح W_1 می‌باشد که شاید به دلیل تجزیه شدن این جاذب در این PV ها و در نتیجه کاهش قدرت جذب آن باشد. مانند عنصر مس، برتری درصد نیکل جذب شده در سطح W_2 نسبت به سطح W_1 در فیلترهای حاوی کمپوست برگ در شکل ۵ به‌خوبی مشاهده می‌گردد.

اثر تیمارهای آزمایش بر روی

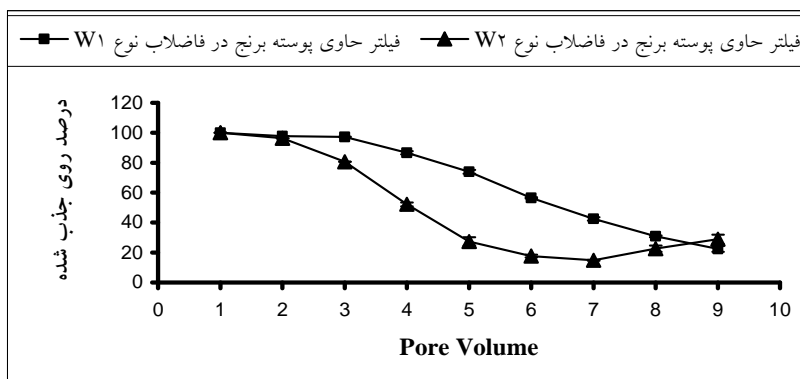
همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، فیلترهای حاوی

همچنین روند مشابهی در تمامی فیلترهای حاوی کمپوست برگی که فاضلاب مصنوعی (W_2) را دریافت کرده بودند، نیز مشاهده شد (شکل ۵) بطوریکه در تمام PV ها جذب نیکل صورت گرفت به این صورت که تا $PV=4$ تفاوت معنی‌داری در جذب وجود نداشته و ۹۸/۸ درصد از نیکل ورودی در مراحل اولیه توسط این فیلتر حذف شد ولی از آن به بعد قدرت جذب به‌صورت معنی‌داری کاهش یافته و به ۲۴/۵ درصد در PV آخر رسید. با توجه به همبستگی معنی‌دار (Correlation) مشاهده شده میان pH و غلظت نیکل موجود در زه‌آب (جدول ۲) و با توجه به دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه، می‌توان این چنین نتیجه گرفت که احتمالاً رسوب نیکل در مقادیر بالای pH ، می‌تواند مکانیزم مؤثر دیگری در کاهش غلظت این عنصر از فاضلاب‌های حاوی مقادیر بالای نیکل، توسط کمپوست برگ باشد (۲۱).

مطالعات مختلف نشان می‌دهد که علاوه بر پوسته برنج و کمپوست برگ، خاک و شن موجود در تمامی فیلترهای به‌کار رفته در این مطالعه نیز می‌توانند نقش به‌سزایی در کاهش غلظت نیکل از فاضلاب داشته باشند بطوریکه خاک از طریق تبادل یونی، جذب و کمپلکس‌شدن با مواد آلی منجر به کاهش غلظت این عنصر از فاضلاب شده‌است ولی در رابطه با اثر شن بر عنصر نیکل تاکنون

فاضلاب مصنوعی (W_2) را دریافت کرده بودند، نیز مشاهده شد بطوریکه قدرت جذب در PVهای ابتدایی زیاد بود (۹۸/۱ درصد) ولی به تدریج کاهش یافت، سپس در PVهای انتهایی افزایشی در قدرت جذب صورت گرفته و به ۲۵/۷ درصد رسید (شکل ۶).

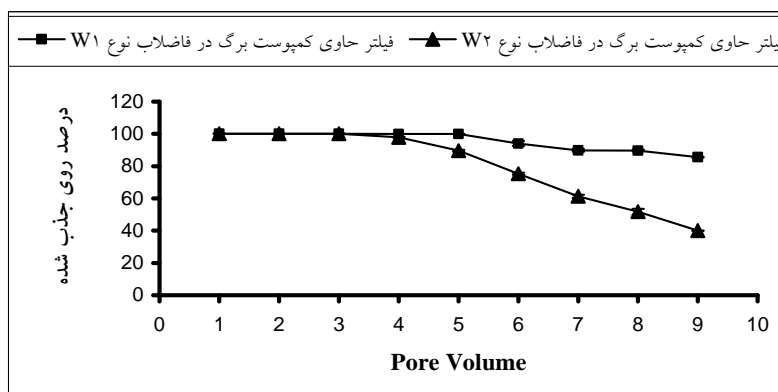
پوسته برنج در سطح W_1 روند مشابهی را با یکدیگر نشان دادند به این صورت که قدرت جذب روی در سه PV ابتدایی بسیار زیاد و برابر ۹۸/۳ درصد بود ولی در PVهای بعدی به تدریج از قدرت جذب به طور معنی داری کاسته شد و به ۲۲/۴ درصد در PV آخر رسید. همچنین روند مشابهی در تمامی فیلترهای حاوی پوسته برنجی که



(شکل ۶) - درصد جذب روی توسط فیلترهای حاوی پوسته برنج در دو نوع فاضلاب W_1 و W_2

همچنین روند مشابهی در تمامی فیلترهای حاوی کمپوست برگ که فاضلاب مصنوعی (W_2) را دریافت کرده بودند، نیز مشاهده شد بطوریکه قدرت جذب روی در چهار PV ابتدایی بسیار زیاد و برابر ۹۹/۵ درصد بود ولی در PVهای بعدی به تدریج از قدرت جذب به طور معنی داری کاسته شد و به ۴۰ درصد در PV آخر رسید (شکل ۷).

همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، فیلترهای حاوی کمپوست برگ که فاضلاب طبیعی (W_1) را دریافت کرده بودند، روند مشابهی را با یکدیگر نشان دادند به این صورت که تا $PV=6$ غلظت روی توسط این فیلتر از ۵۷۰/۹ به ۰/۲ میلی گرم بر لیتر (۹۹/۹ درصد جذب) رسید و از آن به بعد کاهش در قدرت جذب فیلتر صورت گرفت.



(شکل ۷) - درصد جذب روی توسط فیلترهای حاوی کمپوست برگ در دو نوع فاضلاب W_1 و W_2

نشان می دهد که کمپوست برگ به وسیله نوعی قارچ رشد یافته روی آن، تشکیل کمپلکس روی به صورت SO_2Zn توسط ماده هومیک موجود در آن (۱۳) و احتمالاً رسوب این عنصر در مقادیر pH متوسط تا بالا (جدول ۲) (۲۱)، می تواند باعث کاهش غلظت روی از فاضلاب شود.

مطالعات مختلف نشان می دهد که جذب گونه های روی و احتمالاً

همانطور که در شکل های ۶ و ۷ مشاهده می شود تمامی فیلترها برای روی بسیار خوب عمل کرده اند ولی در این میان، فیلترهای حاوی کمپوست برگ قدرت بالایی را برای حذف روی از فاضلاب نشان می دهند. با توجه به مطالعات انجام شده توسط سایرین می توان گفت که هر کدام از لایه های موجود در این فیلترها نقش کاهنده ای در غلظت روی موجود در فاضلاب دارند. در این راستا نتایج دیگران

نشانه‌دهنده این است که جذب به غلظت اولیه یون فلزی وابسته نبوده است (۲۳).

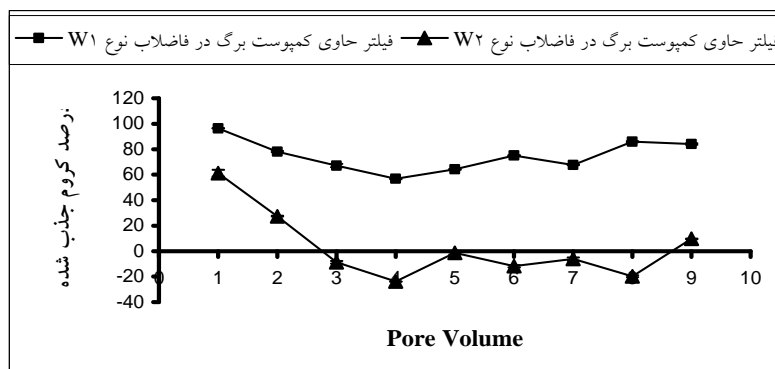
اثر تیمارهای آزمایش بر کروم

همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، فیلترهای حاوی کمپوست برگ که فاضلاب طبیعی (W_1) را دریافت کرده بودند، روند مشابهی را با یکدیگر نشان دادند به این صورت که غلظت کروم بعد از یک PV به $6/7$ میلی گرم بر لیتر کاهش یافت ($96/4$ درصد جذب) و سپس کاهش در قدرت جذب این فیلتر برای کروم تا $PV=4$ صورت گرفت ولی مجدداً از آن به بعد قدرت جذب افزایش یافته و به $84/1$ درصد رسید. همچنین روند مشابهی در تمامی فیلترهای حاوی کمپوست برگ که فاضلاب مصنوعی (W_2) را دریافت کرده بودند، مشاهده شد به این صورت که در 2 و $PV=1$ جذب کروم ($44/4$ درصد) صورت گرفت و در PV های بعدی، غلظت این عنصر در زه آب در مقایسه با غلظت ورودی آن $11/9$ درصد افزایش یافت و سپس در PV انتهایی جذب کروم توسط این فیلتر به $9/6$ درصد رسید (شکل ۸). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که روند مشاهده شده برای این عنصر توسط فیلترهای حاوی کمپوست برگ به مکانیزم‌های احتمالی مؤثر بر تغییرات این عنصر توسط مواد جاذب به کاررفته به‌ویژه کمپوست برگ مربوط بوده و روند مشاهده شده برای این عنصر همانند موارد ذکر شده در مورد نیکل می‌باشد. علاوه بر آن کمپوست برگ از طریق تبادل یونی نیز می‌تواند باعث کاهش غلظت کروم از فاضلاب شود (۲۰).

رسوب آن در مقادیر pH متوسط تا بالا (جدول ۲) (۱۱ و ۲۱)، از جمله مکانیزم‌های مؤثر بر کاهش غلظت روی از فاضلاب توسط پوسته برنج می‌باشند.

روی بیش‌تر به‌وسیله واکنش‌های تبادل کاتیونی در مواد آلی و یا با اکسیدهای آمورف موجود در خاک‌ها جذب می‌شود، البته آجینین و همکاران (۱) و چنگروی و همکاران (۸) خلاف این عقیده را داشته و معتقدند که تبادل کاتیونی به‌عنوان مکانیزمی برای جذب روی به حساب نمی‌آید. نتایج دیگران نشان می‌دهد که افزایش pH محلول به‌وسیله اجزاء تشکیل‌دهنده ذرات شن و تشکیل هیدروکسید روی و یا اکسید روی و همچنین جذب روی، باعث حذف این عنصر توسط شن می‌شوند (۱۹).

همانطور که در شکل‌های ۶ و ۷ مشخص است، کارایی تمام فیلترها برای جذب روی با گذشت زمان کاهش یافت. همچنین در شکل ۶ مشاهده می‌شود درصد جذب این عنصر توسط فیلترهای حاوی پوسته برنج در سطح W_1 نسبت به سطح W_2 بیش‌تر می‌باشد. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که در غلظت‌های کم فلزی، مکان‌های جذب به‌مقدار کافی برای یون‌ها وجود دارد و در این حالت، جذب به غلظت اولیه وابسته نمی‌باشد. هرچند در غلظت‌های بالاتر، تعداد یون‌های فلزی در مقایسه با مکان‌های جذب قابل‌دسترس، افزایش یافته و جذب به غلظت اولیه یون فلزی بستگی پیدا کرده و با افزایش آن، کاهش می‌یابد (۹). در فیلترهای حاوی کمپوست برگ در چهار PV اول درصد جذب روی در دو سطح W_1 و W_2 با یکدیگر برابر بوده ولی از $PV=4$ به بعد درصد جذب این عنصر در سطح W_2 نسبت به سطح W_1 بیش‌تر شد (شکل ۷). با توجه به مطالعات مختلف می‌توان گفت که برابری در میزان جذب این عنصر در چهار PV اول



شکل ۸ - درصد جذب کروم توسط فیلترهای حاوی کمپوست برگ در دو نوع فاضلاب W_1 و W_2

دادند. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که این امر به مکانیزم‌های احتمالی مؤثر بر تغییرات این عنصر توسط مواد جاذب به‌کار رفته در ساختار فیلتر مورد بررسی به ویژه پوسته برنج مربوط می‌باشد بطوریکه

فیلترهای حاوی پوسته‌برنج روند یکسانی را با یکدیگر نشان دادند ولی نکته قابل توجه در مورد آن‌ها این بود که همانند فیلترهای حاوی کمپوست برگ، توانایی زیادی را برای جذب کروم از خود نشان

کمپوست کاهش می‌یابد چون کمپلکس شدن با مکان‌های پیوند قوی‌تر در غلظت‌های کم فلزی امکان‌پذیر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد فیلترشن - خاک - ماده آلی باعث تغییرات معنی‌دار ترکیب شیمیایی فاضلاب صنعتی شد. این تغییرات شامل افزایش pH و کاهش غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه بود. بنظر می‌رسد قدرت جذب زیاد فیلترها برای فلزات سنگین می‌تواند به دلیل افزایش pH توسط آن‌ها باشد که این امر احتمالاً به دلیل کاهش رقابت بین پروتون‌ها و کاتیون‌های فلزی برای گروه‌های عامل مشابه، کاهش در بار مثبت سطحی و همچنین حلالیت کم‌تر گونه‌های فلزی هیدرولیز شده می‌باشد. می‌توان اینگونه نیز نتیجه‌گیری نمود که کاهش فلزات سنگین در اثر بکارگیری مواد جاذب بر اثر فرایندهای دیگری علاوه بر جذب سطحی مانند رسوب، تبادل یونی، کمپلکس شدن و فیلتراسیون مکانیکی نیز صورت گرفته که تعیین فرایند غالب در مطالعه اخیر امکان‌پذیر نبود. به دلیل طبیعت جاذب و جذب شونده اثر زمان بر کارایی حذف فلزات سنگین توسط فیلترهای مورد بررسی متفاوت بود. جذب توسط یک جاذب در سیستم‌های یونی چندتایی به دلیل رقابت بین یون‌ها و برهم کنش بین یون‌ها و مکان‌های جذب پیچیده است ولی به‌طور کلی می‌توان گفت که ترکیبی از جاذب‌های مورد بررسی برای حذف فلزات سنگین مس، نیکل، روی و کروم مناسب بوده و این امر امکان ساختن سیستم‌های ستونی فیلتر کننده چندجزئی را که قادر به تصفیه حجم‌های زیادی از آب آلوده باشد، ایجاد می‌کند.

جذب (۲۷) و تبادل یونی (۳) از مکانیزم‌های مؤثر در این راستا می‌باشند.

مطالعات مختلف نشان می‌دهد که علاوه بر کمپوست برگ و پوسته‌برنج، خاک و شن موجود در تمامی فیلترهای به‌کاررفته در این مطالعه نیز می‌توانند نقش به‌سزایی بر تغییرات کروم توسط این فیلترها داشته باشند بطوریکه خاک از طریق تبادل یونی، جذب و کمپلکس شدن با موادآلی و شن نیز به‌وسیله افزایش pH محلول توسط اجزاء تشکیل‌دهنده آن و تشکیل هیدروکسید کروم و کمپلکس شدن با موادآلی می‌توانند باعث کاهش غلظت کروم از فاضلاب شوند (۲۶).

به‌طور کلی به دلیل عدم مشاهده همبستگی معنی‌دار میان pH و غلظت کروم موجود در زه‌آب (جدول ۲) و با توجه به دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه، می‌توان این چنین نتیجه گرفت که احتمالاً رسوب کروم در مقادیر بالای pH، نمی‌تواند مکانیزم مؤثری در کاهش غلظت این عنصر از فاضلاب، توسط فیلترهای به‌کار رفته در این آزمایش باشد بلکه مکانیزم‌های مختلف دیگری که در بالا به آن‌ها اشاره شد در این رابطه مؤثر می‌باشند (۱۳).

همانطور که در شکل ۸ مشخص است، کارایی تمام فیلترها برای جذب کروم با گذشت زمان کاهش یافته است بطوریکه در کلیه آن‌ها بهترین مرحله برای حذف کروم از فاضلاب، $PV=1$ بوده است.

درصد جذب کروم توسط کلیه فیلترها در سطح W_1 بیش‌تر از سطح W_2 بود و درواقع تمامی آن‌ها کروم را در سطح W_1 جذب کرده‌اند و هیچ دفعی از آن اتفاق نیفتاده است (شکل ۸، به‌دلیل یکسان نبودن رفتار فیلترهای حاوی پوسته‌برنج، تنها فیلترهای حاوی کمپوست برگ نشان داده شده است). چین و همکاران (۱۰) نیز نشان دادند که با افزایش غلظت یون‌های فلزی درصد جذب آن‌ها توسط

منابع

- 1- 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", Journal of Geoderma, 119, PP: 85-95.
- 2- Al-Sewailem, M. S., Khaled, E. M. and Mashhady. A. S. 1999. "Retention of copper by desert sands coated with ferric hydroxides", Journal of Geoderma, 89, PP: 249-258.
- 3- Ansari, R. 2006. "Application of polyaniline and its composites for adsorption/recovery of chromium (VI) from aqueous solutions", Journal of Acta Chimica. Slovina, 53, PP: 88-94.
- 4- Anthimos, X., Moirou, A. and Paspaliaris. I. 2002. "Reactive materials and attenuation processes for permeable reactive barriers", Journal of Mineral Wealth, 123, PP: 35-49.
- 5- Appel, C., and Ma. L. 2002. "Concentration, pH, and surface charge effects on cadmium and lead sorption in three tropical soils", Journal of Environmental Quality, 31, PP: 581-589.
- 6- Bishnoi, N.R., Bajaj, M. Sharma, N. and Gupta. A. 2004. "Adsorption of Cr(VI) on activated rice husk carbon and activated alumina", Journal of Bioresource Technology, 91, PP: 305-307.
- 7- Boller, M., Langbein, S. Eugster, J. and Banninger. C. 2003. "Application of different adsorber materials for the retention of heavy metals from Zurich airport surface runoff, A stormwater project of SWW in collaboration with unique airport Zurich", Department for Urban Water Management, Final report EAWAG unique.
- 8- Changrui, G., and Donahoe. R. J. 1997. "An experimental study of heavy metal attenuation and mobility in sandy loam soils", Journal of Geochemistry, 12, PP: 243-254.

- 9- Chen, J.P., Yoon, J. T. and Yiacoymi. S. 2003. "Effects of chemical and physical properties of influent on copper sorption onto activated carbon fixed-bed columns", *Journal of Carbon*, 41, PP: 1635-1644.
- 10- Chien, S.W.C., Wang, M. C. and Huang, C. C. 2006. "Reactions of compost-derived humic substances with lead, copper, cadmium, and zinc", *Journal of Chemosphere*, 64, PP: 1353-1361.
- 11- 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", *Journal of Chemosphere*, 62, PP: 699-708.
- 12- Chuah, T.G., Jumasiah, A. Azni, I. Katayon, S. and Choong. T. 2005. "Rice husk as a potentially low-cost biosorbent for heavy metal and dye removal: an overview", *Journal of Desalination*, 175, PP: 305-316.
- 13- Diels, L. 2003. "Remediation strategies overview on Remediation of metal contaminated sites", <http://www.cluin.org/romania/presentations/ludodiels.pdf>.
- 14- 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", *Journal of Environmental Pollution*, 101, PP: 275-284.
- 15- Garcia-Rizo, C., Martinez-Sanchez, J. and Perez-Sirvent. C. 1999. "Environmental transfer of zinc in calcareous soils in zones near old mining sites with semi-arid climate", *Journal of Chemosphere*, 39, PP: 209-227.
- 16- Han, R., Zhang, J. Zou, W. Xiao, H. Shi, J. and Liu. H. 2006. "Biosorption of copper(II) and lead(II) from aqueous solution by chaff in a fixed-bed column", *Journal of Hazardous Materials*, 133, PP: 262-268.
- 17- Kietlinska, A. 2004. "Engineered wetlands and reactive bed filters for treatment of landfill leachate", Licentiate thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- 18- Kietlinska, A., and Renman. G. 2005. "An evaluation of reactive filter media for treating landfill leachate", *Journal of Chemosphere*, 61, PP: 933-940.
- 19- Lee, T., Park, J.W. and Lee. J.H. 2004. "Waste green sands as reactive media for the removal of zinc from water", *Journal of Chemosphere*, 56, PP: 571-581.
- 20- 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", In "2nd Annual Shipyard Environmental Issues Conference".
- 21- Lindsay, W.L. 1979. "Chemical Equilibria in Soil". John Wiley & Sons, New York.
- 22- Martin-Dupont, F., Gloaguen, V. Guilloton, M. and Granet. R. 2006. "Study of the chemical interaction between barks and heavy metal cations in the sorption process", *Journal of Environmental Science and Health*, 41, PP: 149-160.
- 23- Meena, A. K., Mishra, G. K. Rai, P. K. Rajagopal, C. and Nagar. P. N. 2005. "Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using carbon aerogel as an adsorbent", *Journal of Hazardous Materials*, 122, PP: 161-170.
- 24- Meunier, N., Blais, J. F. and Tyagi. R. D. 2002. "Selection of a natural sorbent to remove toxic metals from acidic leachate produced during soil decontamination", *Journal of Hydrometallurgy*, 67, PP: 19-30.
- 25- Mirghaffari, N., Chennouf, S. Gaballah, I. and Kilbertus. G. 1999. "Use of agricultural wastes for eliminating heavy metal ions from synthetic solutions", In "Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology", 3, PP: 2277-2287.
- 26- Muhammad, N., Parr, J. Smith, M. D. and Wheatley. A. D. 2005. "Removal of heavy metals from storm and surface water by slow sand filtration: the importance of speciation", *Journal of Urban Water*, 2, PP: 33-37.
- 27- Park, D., Yun, Y. S. and Park. J. M. 2006. Comment on "Chromate ion adsorption by agricultural by-products modified with dimethyloldihydroxyethylene urea and choline chloride" by Wartelle and Marshall, *Journal of Water Research*, 40, PP: 1501-1504.
- 28- Paulo C. G., Fontes, M. P. F. Silva, A. G. Mendonca, E. S. and Netto. A. R. 2001. "Selectivity sequence and competitive adsorption of heavy metals by Brazilian soils", *Journal of Soil Science Society of America*, 65, PP: 1115-1121.
- 29- Shen, J., and Duvnjak. Z. 2005. "Effects of temperature and pH on adsorption isotherms for cupric and cadmium ions in their single and binary solutions using corncob particles as adsorbent", *Journal of Separation Science and Technology*, 39, PP: 3023-3041.
- 30- Stewart, W. 1992. "Compost storm water treatment system", W&H Pacific Consultants, Draft Report. Portland.
- 31- Urbonas, B.R. 2003. "Field evaluation of a stormwater sand filter", *Watershed Protection Techniques*, 2, PP: 536-538.
- 32- Wang, X.S., and Qin. Y. 2005. "Equilibrium sorption isotherms for of Cu^{2+} on rice bran", *Journal of Process Biochemistry*, 40, PP: 677-680.



Application of sand–soil–organic matter filter column for removal of Cu, Ni, Zn and Cr heavy metals from industrial waste water

M. Mohammadi^{*1} - A. Fotovat² - GH. Haghnia³

Abstract

In order to investigate the removal of copper, nickel, zinc and chromium from industrial waste water by a sand–soil–organic matter filter column, this experiment was conducted at a completely randomized design with sixteen treatments and four replications. P.V.C tubes (columns) with 66.5 cm height and 10 cm diameter were chosen and filled from down to top by coarse gravel (15 cm), sand (15 cm), soil (2.5 or 5 cm), organic matter (15 cm) and fine gravel (5 cm), respectively. Then, 1100 ml of electroplating industry waste water was added to the filter and 30 ml of leachate was collected and transferred to the laboratory for measurement of pH and heavy metals concentrations by atomic absorption spectroscopy technique. The action was repeated at nine pore volumes for each filter. The results showed that application of this filter led to increased pH to neutral and low alkaline range and often meaningful decreased heavy metals concentrations in the leachates during nine pore volumes. The probable mechanisms (such as adsorption, precipitation, ion exchange and chelation) by which the filter led to changes in the chemical properties of leachate were also discussed. Generally, it seems that the application of sand–soil–organic matter filter column was effective and therefore, could be advisable for the removal of studied heavy metals from industrial waste water.

Keywords: Waste water, Heavy Metals, Adsorption.

1 - Postgraduate student of Department of soil Science, Ferdowsi University of Mashhad (* - Corresponding author Email: Mitra_mohammadio@yahoo.com)

2 - Associate Professor of Department of soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

3 - Professor of Department of soil Science, Ferdowsi University of Mashhad