# ساختاری نو در خاکچال[۱] برای فلزات سنگین

**دکتر ادوین صفری**
**عضو هیئت علمی دانشکده**
**محیط زیست دانشگاه تهران**

**چکیده**

به لحاظ نظری، فلزات سنگین می توانند یا به صورت فیزیکی جذب ذراتی نظیر خاک رس شده یا با ترکیباتی نظیر آهک رسوب کنند. از چنین مصالح جاذب فلزات سنگین که با هزینه کم دردسترس می باشند می توان در مخلوط خاک پوششی روزانه به منظور جذب یا ترسیب فلزات سنگین بهره گرفت، به طوری که شیرابه هنگام عبور از هر لایه خاک روزانه با مواد موردنظر تماس حاصل نموده و بدین ترتیب فلزات سنگین موجود در آن مورد جذب یا ترسیب قرار می گیرند. قابلیت جذب فلزات سنگین توسط مصالح انتخابی آهک، پودر سنگ، شلتوک برنج و خاک مورد استفاده برای پوشش در دو مرحله شامل آزمایش های ناپیوسته و ستونی مورد مطالعه قرار گرفته است. براساس آزمایش های ناپیوسته آهک به عنوان بهترین جاذب انتخاب گردید. بهترین عملکرد مربوط به حذف فلزات منگنز، روی و کروم با بازده حذف بین ۸۱٪ تا ۱۰۰٪ می باشد. فلز مس به میزان بیش از ۷۰٪ حذف گردیده ولی حذف نیکل و کبالت در هر دو گروه از ستون ها (رسی و ماسه ای) بسیار ضعیف می باشد (حدود ۱۰٪). در مجموع عملکرد ستون هایی که خاک آنها از رس بیشتری برخوردار می باشد در حذف فلزات سنگین بهتر ارزیابی می گردد. سیستم پیشنهادی برای حذف نیکل و کبالت توصیه نمی شود و باید کاربرد مصالح جاذب دیگری برای حذف این دو فلز سنگین مورد مطالعه قرار گیرد. براساس آنچه اشاره شد می توان نتیجه گیری نمود که حذف فلزات سنگین موجود در شیرابه به میزان قابل توجهی از طریق اصلاح خاک پوششی روزانه محل دفن زبالهٔ شهری با افزودن آهک ساختمانی به لایه های خاک یادشده، امکان پذیر بوده و این روش را می توان به عنوان یک روش مقرون به صرفه و عملی، توصیه نمود.

**مقدمه**

به طور کلی منظور از کاهش در جای غلظت فلزات سنگین در این تحقیق بررسی تأثیر تغییر در مواد لایه پوششی روزانه مورد استفاده در محل دفن زباله شهری بر غلظت فلزات سنگین در فاز محلول شیرابه هنگام عبور شیرابه از لایه خاک پوششی روزانه می باشد. به عبارت دیگر مواد و مصالحی که براساس تجارب گذشته در شمار جاذب ها اعم از فیزیکی و شیمیایی قرار می گیرند، می توان انتخاب و تأثیر آنها در جذب فلزات سنگین ابتدا به صورت مجزا و سپس به صورت مخلوط مصالح انتخابی با خاک پوششی روزانه را مورد بررسی قرار داد.

نکته حائز اهمیت و آنچه این تحقیق برمبنای آن شکل گرفته است، ماهیت در جا بودن روش پیشنهادی برای کاهش

غلظت فلزات سنگین و ارتباط آن با مکانیزم تولید و حرکت شیرابه می‌باشد. شیرابه در محدوده زمانی کوتاهی یعنی حدود ۱۰ روز تولید و به سمت پایین و بخش تحتانی محل دفن (ترانشه) جریان یافته و بدین ترتیب از لایه‌های خاک پوششی روزانه عبور می‌نماید.

علاوه بر تغییر در خصوصیات فیزیکی خاکی که در معرض شیرابه قرار دارد، اندرکنش‌های فیزیکی ـ شیمیایی مؤلفه‌های کیفی شیرابه با ذرات و مواد موجود در خاک نیز به لحاظ تغییر در کیفیت شیرابه از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشند. اغلب مطالعات انجام شده در رابطه با تغییر ویژگی‌های خاک در اثر عبور شیرابه محدود به آسترهای نفوذناپذیر تحتانی محل دفن[۲] بوده و مطالعات مشابهی درخصوص تأثیر متقابل سیستم شیرابه ـ خاک در رابطه با خاک پوششی روزانه به ندرت در ادبیات موضوع مورد اشاره قرار گرفته است.

بنابراین فرض اساسی در این تحقیق، امکان دستیابی به کاهش یا حذف فلزات سنگین موجود در شیرابه از طریق افزودن مواد جاذب (فیزیکی و شیمیایی) به خاک پوششی روزانه می‌باشد. در صورت صحت این فرض و قابلیت استفاده از آن در عمل، می‌توان روشی برای تصفیه در جای فلزات سنگین در محل دفن زباله به دست آورد که با کمترین هزینه اولیه که عمدتاً صرف تهیه مواد می‌گردد و همچنین بدون هزینه راهبری به دلیل درون ـ ساخت[۳] بودن سیستم تصفیه قابل اجرا خواهد بود. از سویی مشکلات دیگری که در سایر روش‌های تصفیه فلزات سنگین که اغلب برمبنای ترکیب شیمیایی آنها با استفاده از موادی نظیر سود و آهک می‌باشند در روش تصفیه در جای پیشنهادی کاملاً حذف می‌شوند.

با توجه به هدف خاص این تحقیق تعدادی از مواد جاذب مناسب به عنوان فرض اولیه در نظر گرفته شده‌اند. خاک مورد استفاده به عنوان پوشش روزانه زباله در محل دفن، در صورتی که دارای مقدار مناسبی از انوع رس باشد، خود در بدو امر به عنوان یک فیلتر واکنش دهنده[۴] عمل می‌نماید، چرا که ذرات رس به دلیل خاصیت تبادل کاتیونی و همچنین سطح ویژه بسیار زیاد، دارای قابلیت جذب عناصر و ترکیبات مختلف می‌باشند.

## جاذب‌های انتخابی

مواد مختلفی به عنوان جاذب به‌خصوص برای حذف فلزات سنگین و همچنین برخی ترکیبات آلی در مراجع به‌چشم می‌خورند که عبارتند از: آهک، تکه‌های لاستیک، کربن فعال، شلتوک برنج و غیره.

بیشترین کاربرد مربوط به آهک بوده است، چه آهک باعث

تغییر pH و همچنین ترسیب شیمیایی فلزات سنگین می‌گردد که از نقطه‌نظر حذف در جای فلزات سنگین روشی مؤثر به‌شمار می‌رود. مطالعات مختلف نشان‌دهنده اثرات مفید استفاده از آهک عمدتاً در مواردی نظیر جلوگیری از نشت[۵] فلزات سنگین به‌خصوص در زایدات خطرناک، تحرک‌پذیری فلزات سنگین و ارتقاء تجزیه زیستی مواد زاید جامد از طریق افزودن لجن تثبیت شده با آهک به پوشش خاکی محل دفن می‌باشند.

شلتوک برنج و پودر سنگ از کمترین (در صورت وجود)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

سابقه مطالعاتی درخصوص حذف فلزات سنگین موجود در شیرابه برخوردار می باشند و در این پژوهش عملکرد آنها در کاهش یا تغییر غلظت فلزات سنگین محلول در شیرابه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

پودر سنگ نیز که اغلب در عملیات ساختمانی در بخش بندکشی به صورت مخلوط با سیمان مورد استفاده قرار می گیرد، به دلیل دارا بودن ذرات ریز دانه و نیز به علت این که خود اغلب نوعی ماده زاید (حاصل از صنایع سنگبری) به شمار می رود نیز به عنوان یکی از مصالح جاذب در تحقیق حاضر موردنظر قرار گرفته است. شایان ذکر است که در رابطه با ویژگی های پودر سنگ در جذب فلزات سنگین چه در شیرابه و یا سایر انواع پساب ها سابقهٔ هیچ گونه بررسی و مطالعه ای وجود ندارد.

## روش کار

در این تحقیق ابتدا آزمایش های مربوط به بررسی میزان جذب فلزات سنگین برای هر یک از مصالح به منظور مقایسه ظرفیت جذب و یا رفتار فلزات سنگین موجود در شیرابه و نهایتاً انتخاب مصالح مناسب، به صورت ناپیوسته انجام شد. پس از آن جاذب انتخابی در مخلوط خاکی که اغلب به عنوان خاک پوششی روزانه مورد استفاده قرار می گیرد در معرض عبور شیرابه قرار گرفته و تغییرات غلظت فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفته است. این امر به منظور ارزیابی امکان استفاده از مواد جاذب که بعضاً یا خود از جمله مواد زاید جامد به شمار می روند و یا از نظر اقتصادی دارای هزینه به مراتب پایین تری می باشند، انجام شده است.

## بحث و نتیجه گیری

براساس مقایسهٔ غلظت فلزات سنگین در نمونه های خاک مورد استفاده به عنوان خاک پوششی روزانه و خاک دست نخورده در محل دفن کهریزک، مشخص گردید که خاک موجود در داخل ترانشه (خاک پوششی روزانه) محتوی غلظت بالاتری از فلزات سنگین می باشد. این مسئله از جمله دلایلی است که لزوم استفاده و یا اصلاح خاک پوششی روزانه را برای جذب یا حذف فلزات سنگین آشکار می نماید.

به عبارت دیگر این آزمایش نشان دهندهٔ قابلیت جذب فلزات سنگین توسط خاک پوششی روزانه می باشد که به طور طبیعی در محل های دفن زباله به وقوع می پیوندد. در عین حال ارتقاء قابلیت جذب خاک، از طریق افزودن مواد جاذب ارزان قیمت یا مواد جاذبی که خود به نوعی جزو زایدات به شمار می روند، می تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش غلظت فلزات سنگین در شیرابهٔ خروجی از محل دفن و در اثر عبور شیرابه در حین تولید از لایه های موردنظر دربرداشته باشد.

اگرچه شیرابهٔ مورد مطالعه در تحقیق حاضر بایستی شیرابهٔ تازه باشد ولی در عین حال بررسی شیرابهٔ کهنه در آزمایش های ناپیوسته نشان می دهد که در صورت نیاز به باز گردش شیرابه در کل حجم ترانشه که باعث عبور شیرابه از لایه های مختلف می گردد، pH پایین تر باعث انحلال مجدد فلزات سنگین جذب شده توسط ذرات خاک می گردد. بنابراین، مشخصاً در صورت نیاز به بازگردش شیرابه در کل حجم محل دفن این کار بایستی پس از ارتقاء pH به حدود خنثی صورت پذیرد تا پتانسیل انحلال مجدد فلزات جذب شده و ورود آنها به شیرابه (در فاز محلول) به میزان قابل توجهی کاهش یابد. از میان مصالح انتخابی، آهک ساختمانی در مخلوط خاک های مورد آزمایش بهترین عملکرد را از نظر جذب فلزات سنگین دربرداشته است.

در کنار اندازه گیری غلظت فلزات سنگین در آزمایش های ناپیوسته، پارامترهای کیفی pH، COD و TOC نیز مورد اندازه گیری و پایش قرار گرفته اند. نتایج آزمایش های ناپیوسته با شیرابهٔ تازه نشان می دهد که افزایش pH تا محدودهٔ موردنظر برای رشد بی هوازی تنها با استفاده از آهک ساختمانی قابل دستیابی است. غلظت COD در صورت استفاده از آهک ساختمانی، به میزان اندکی کاهش نشان می دهد بیشترین کاهش COD در استفاده از خاک ماسهٔ رس دار به میزانی بیش از شش درصد به دست آمده است (برپایه متوسطه وزنی).

براساس یافته های آزمایش های ناپیوسته، آزمایش های ستونی که از مشابهت بیشتری به واقعیت برخوردار می باشند طراحی و انجام گردید.

مهمترین نکته درخصوص آزمایش های ستونی جذب فلزات سنگین موجود در شیرابه آن است که مطالعهٔ مشابهی

در ادبیات موضوع به ندرت به چشم می خورد و مطالعات مربوطه تنها محدود به رفتار هم رفتی .پراکنشی برخی فلزات در آسترهای رسی است. بر همین اساس و به دلیل عدم امکان محاسبهٔ آهک مورد نیاز در مخلوط خاک های مورد آزمایش، آزمایش های ستونی در دو مرحله انجام گردید. در مرحلهٔ اول درصدهای بالاتری از آهک با خاک های مورد آزمایش مخلوط گردیده و غلظت فلزات سنگین در ورودی و خروجی مورد پایش قرار گرفتند. علاوه بر تغییرات غلظت فلزات سنگین، تغییرات ویژگی های هیدرولیکی ستون ها شامل سرعت جریان شیرابه و هدایت هیدرولیکی نیز مورد اندازه گیری قرار گرفته است. همچنین تغییرات غلظت (COD) و pH در آزمایش های مرحله اول و تغییرات COD، TOC و pH در آزمایش های مرحلهٔ دوم نیز مورد پایش قرارگرفته است. در این مرحله نشان داده شده است که بهترین عملکرد در حذف فلزات سنگین در صورت استفاده از خاکی با مقدار رس بیشتر و حدود ۵ درصد آهک قابل دستیابی است. البته نتیجه حاصل مربوط به استفاده از شیرابهٔ محل دفن کهریزک و خاک نمونه برداری شده از آن محل می باشد و روشن است که برای تعیین مقدار آهک موردنیاز در محل های دفن زباله دیگر بایستی هر محل دفن به طور مجزا مورد مطالعه قرار گیرد. به هرحال با افزودن حدود ۵ درصد آهک ساختمانی به مخلوط دو نوع خاک مورد آزمایش، فلزات منگنز، روی و کروم بین ۹۲٪ تا ۱۰۰٪ و فلزات نیکل، مس و کبالت بین ۱۶٪ تا ۶۵٪ حذف گردیده اند.

تغییرات pH نیز بیانگر این واقعیت است که استفاده از ۵ درصد آهک در مخلوط خاک می تواند به سهولت pH مورد نیاز در سیستم های بیولوژیکی را تأمین نماید. حذف COD در مخلوط خاک رسی با ۵ درصد آهک به میزان بیش از ۳۴٪ مشاهده شده است. اگرچه حذف به مراتب بیشتر (یعنی بیش از ۵۰٪) نیز از طریق افزایش نسبت آهک در مخلوط خاک قابل دسترسی است ولی به دلیل ارتقاء بیش از اندازهٔ pH استفاده از درصدهای بالاتر توصیه نمی شود.

برهمین اساس آزمایش های ستونی مرحلهٔ دوم برای جذب فلزات سنگین براساس اختلاط آهک به نسبت ۵٪ وزنی در دو نوع خاک شکل گرفته و انجام گردید. در این مرحله مقدار اختلاط آهک در خاک ها، از صفر تا شش درصد با فاصله یک درصد در نظر گرفته شده است. تغییرات pH نشان دهنده این است که در صورت عبور مداوم شیرابهٔ تازه از خاکی که با آهک ساختمانی مخلوط شده است، در طول زمان با کاهش اثر آهک، pH خروجی نیز کاهش می یابد. البته pH در پایین ترین حد خود در خروجی به مراتب بالاتر از pH شیرابهٔ تازه ورودی است. افزایش pH در صورت عدم استفاده از آهک تأییدی است بر این واقعیت که خاک پوششی روزانه به طور طبیعی باعث افزایش pH در محدودهٔ موردنظر در واکنش های بیولوژیکی می گردد. برای کنترل pH به نظر می رسد که می توان از لایه های با و بدون آهک به صورت متناوب در ساختار کلی یک ترانشه استفاده نمود. این موضوعی است که پیشنهاد می شود به عنوان مطالعات تکمیلی مورد مطالعه قرار گیرد.

کاهش غلظت COD به میزان بین ۲۰ تا ۴۰ درصد در ستون های مورد آزمایش در روزهای آغازین آزمایش مطلوب به نظر می رسد. شایان ذکر است که با کاهش اثر آهک بازده حذف COD کاهش می یابد. با توجه به نتایج مربوط به محاسبهٔ کمیت شیرابه، می توان فرض نمود که حجم اصلی شیرابه طی چند روز اول از لایه های موردنظر عبور کرده و به همین دلیل می توان انتظار داشت که کاهش قابل قبول COD حاصل شود.

رفتار TOC نیز مشابه COD است با این تفاوت که بازده ستون ها در حذف TOC در روزهای آغازین آزمایش به مراتب بالاتر از بازده حذف COD مشاهده شده است. افزایش مختصر بازده حذف COD و TOC در مراحل پایانی نیز حاکی از انجام واکنش های بیولوژیکی است. این امر با کاهش شدید سرعت جریان شیرابه و هدایت هیدرولیکی ستون ها مطابقت داشته و نشان دهندهٔ نزدیک شدن سیستم به انسداد بیولوژیکی می باشد. در مجموع افزایش آهک به مخلوط خاک های مورد آزمایش تأثیر قابل توجهی در حذف COD و TOC در پی داشته است. با کاهش اثر آهک باز هم حذف COD و TOC با روند ملایم تری قابل مشاهده می باشد، اگرچه به دلیل انسداد بیولوژیکی محیط متخلخل مورد آزمایش این روند قابل تداوم نمی باشد ولی به دلیل عدم تولید (یا تولید بسیار اندک) شیرابه

در مقاطع پایانی آزمایش، عملکرد سیستم های فوق را می توان مناسب ارزیابی نمود. به عبارت دیگر در مراحلی که سیستم دچار انسداد می شود، عملاً شیرابه تازه یا تولید نشده و یا به میزان ناچیزی از لایه موردنظر عبور می نماید.

فلزات سنگین نیز به خوبی در ستون های مورد مطالعه مورد جذب قرار گرفته اند. بهترین عملکرد مربوط به حذف فلزات منگنز، روی و کروم با بازده حذف بین ۸۱٪ تا ۱۰۰٪ می باشد. فلز مس به میزان بیش از ۷۰٪ حذف گردیده ولی حذف نیکل و کبالت در هر دو گروه از ستون ها (رسی و ماسه ای) بسیار ضعیف می باشد. (حدود ۱۰٪). در مجموع عملکرد ستون هایی که خاک آنها از رس بیشتری برخوردار می باشد در حذف فلزات سنگین بهتر ارزیابی می گردد.

سیستم پیشنهادی برای حذف نیکل و کبالت توصیه نمی شود و پیشنهاد می گردد، مصالح جاذب دیگری برای حذف این دو فلز سنگین مورد مطالعه قرار گیرد.

براساس آنچه اشاره شد می توان نتیجه گیری نمود که حذف فلزات سنگین موجود در شیرابه به میزان قابل توجهی از طریق اصلاح خاک پوششی روزانه محل دفن زبالهٔ شهری با افزودن آهک ساختمانی به لایه های خاک یاد شده، امکان پذیر بوده و این روش را می توان به عنوان یک روش مقرون به صرفه و عملی، توصیه نمود.

## منابع و ماخذ


- Agdi K.,Bouaid A.,Esteban A.M.,Hernando P.F., Azmani A. and Camara C.,2000, "Removal of atrazine and chlorpyriphos from aqueous solutions by absorption on diatomaceous earth-competitive adsorption", The International Journal of Environmental Studies, ISSN 1097-7104,3.

- Amokrane A., Comel C. and Veron J., 1997, "Landfill leachates pretreatmentby coagulation-flocculation", Wat. Res. 31, No.11, pp. 2775-2782.

- Annual Book of ASTM Standards, 1996. "Standard method of testing sorbent performance of adsorbents", Designation: F: 726-81.

- Annual Book of ASTM Standards, 1996, "Standard metods of testing sorbent performance of absorbents", Designation: F 716-82.

- Annual Book of ASTM Standards, 1996, "Standard test metods for 24-hr batch-type measurement of contaminant sorption by soils and sediments", Designation: D 4646-87.

- Annual Book of ASTM Standards, 1996, "Standard test metod for biological clogging of geotextile or soil / geotextile filters", Designation: D 1987-91.

- Annual Book of ASTM Standards, 1996, "Standard test metods for operating performance of particulate cation-exchange meterials", Designation: D 1782-91.

- Baykal G., Kavak A. and Alpatli M., 1995, "Rubber-kaolinite and rubber-bentonite liners", Waste Disposal by Landfill -GREEN' 93,Sarsby (ed.) 1995.

- Bowders J.J., Ping Tan J. and Daniel D.E., 1997, " Expanded clay and shale aggregates for leachate collection systems", Journal of Geotechnical and Geoenvirnomental - Engineering, 123, No. 11, pp 1030-1034.

- Cabral A. R. and Lefebvre G, 1998, "Use of Sequential extraction in the study of heavy metalretention by silty soils", Water, Air and Soil Pollution 102, pp 329-344.

- Dearlove J.P.L., 1995, "Geochemical interaction processes between landfill clay liner materials and organo-metallic landfill leachate", Waste Disposal by Landfill-GREEN'93, ISBN 9054103566.

- El-Sohby M.A., El-Bakey M. T. and Elleboudy A.M., 1995, "Utilization of expansive soils for lining of waste disposal landfills", Waste Disposal By Landfill-Green' 93,ISBN 9054103566.

- Gleason M.H., Daniel D.E. and Eykholt G.R., 1997, "Calcium and sodium bentonite for hydraulic containment application", Journal of Geotechnical and

121, No. 7, 499-506.

- Rowe R. K. and Badv K., 1996, "Chloride migration through clayey silt undrlain by fine sand or silt", Journal of Geotechnical Engineering, 60-67.

- Rowe R. K., 1992, "Diffusive transport of pollutants through clay liners", Landfilling of waste: Barriers, E &fN SPON, pp 219-245.

- Rowe R. K., Quigly R. M. and Booker J. R., 1995, " Clayey Barrier Systems for Waste Disposal Facilities" , E &FN SPON.

- Ruhl J.L. and Daniel D.E., 1997, "Geosynthetic clay liners permeated with chemical solutions and leachates", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 123, No. 4, 369-381.

- Tchobanoglous G., Thiesen H. and Vigli S. A., 1993, " Integrated solid waste management", McGraw-Hill International editions.

**پاورقی**

۱.این واژه برابر نهاده‌ای است برای کلمه انگلیسی "Landfill" و عبارت فارسی «محل دفن».

2- landfill liners or barriers

3- Built-in

4- Reactive filter

5- Leaching

GeoenvironmentalEngineering, 123, No. 5, 438-445.

- Lo I.M.C., Mak R.K. and Lee S.C.H., 1997, " Modified clays for waste containment and pollutant attenuation", Journal of Environmental Engineering, 123, No. 1, 25-31.

- Mazouak a. and Azmani A., 2001, "A new adsorbent for the efficient elimination of heavy metals from industrialll dismissals of Tetouan area", The International Journal of Environmental Studies, ISSN, 4 1097-7104.

- Quant B., 1995, "New lining technology based on Fly - Ash Composite", Waste Disposal by Landfill-GREEN'93, Sarsby(ed.).

- Quigly R. M. and Fernandez F., 1992, "Effect of organic liquids on the hydraulic conductivity of natural clays", Landfilling of waste: Barriers, E & FNSPON, pp 203-217.

- Reich J., Pasel Ch., Herbell J. and Luckas M, 2002, " Effects of Limestone addition and sintering on heavy metal leaching from hazardouswaste incineration slag", Elsevier Science Ltd, Waste Management 22, 315-326.

- Rhew R. d. and Barlaz M. A., 1995, "Effect of lime-stabilized slidge as landfill cover on refuse decomposition, Journal of Environmental Engineering",

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی