علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره یازدهم، شماره یک، بهار۸۸

بررسی کارایی لاینرهای رسی متراکم شده در حذف طبیعی آلاینده‌های شیرابه تولیدی در محل دفن زباله‌های شهری (مطالعه موردی : محل دفن کهریزک)

محمدعلی عبدلی [۱]
مهدی جلیلی قاضی زاده [۲](مسئول مکاتبات)
mjalili@ut.ac.ir

تاریخ دریافت:۸۶/۶/۱۰ **تاریخ پذیرش:۸۶/۹/۱۰**

چکیده

یکی از انواع روش های دفن زباله شهری استفاده از محل دفن با کنترل طبیعی (NAL) می‌باشد که مبنای اصلی طراحی این نوع محل های دفن بر اساس حرکت طبیعی شیرابه در لایه خاک زیرین استوار است و در این طراحی انتظار می‌رود که شیرابه توسط خاک غیراشباع که در زیر محل دفن قرار گرفته به طور طبیعی تصفیه شود.

استفاده از لاینرهای رسی متراکم شده در حذف طبیعی آلاینده‌های شیرابه به دلیل قابلیت دسترسی به مصالح مناسب در بخش قابل توجهی از ایران (به‌خصوص در منطقهٔ کهریزک) و همچنین هزینهٔ کمتر آن نسبت به استفاده از سایر لاینرها، در حال حاضر می‌تواند گزینه‌ای قابل بررسی باشد.

بر همین اساس کارایی لاینر خاکی متراکم شده در حذف آلاینده‌های مهم شیرابه با استفاده از خاک موجود در محل دفن کهریزک و در تماس با شیرابه این محل، در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور برای شبیه‌سازی هرچه بیشتر مدل آزمایشگاهی با شرایط واقعی، شیرابه تازه تا زمان اشباع شدن طبیعی خاک (۵۲ روز) به صورت روزانه بر روی خاک رسی کوبیده شده قرار گرفته و ضمن تعیین نفوذپذیری نمونه، غلظت شیرابه خروجی از خاک اشباع اندازه‌گیری شده است.

بررسی‌های انجام شده در مورد توانایی لاینر رسی در حذف طبیعی آلاینده‌های مهم و نگران‌کنندهٔ شیرابه محل دفن کهریزک نشان می-دهد که هرچند این نوع لاینر در حذف فسفات و تا حد زیادی سولفات کارایی دارد ولی حذف آلاینده‌هایی نظیر COD، BOD، نیترات، بی‌کربنات و کلراید یا بسیار کم صورت می‌گیرد و یا اصلاً اتفاق نمی‌افتد.

واژه های کلیدی: لاینر رسی متراکم شده، شیرابه، محل دفن کهریزک،

۱- استاد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
۲- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران

مقدمه

عمده‌ترین مشکل محل دفن مواد زاید جامد شهری، شیرابه و گاز تولید شده در اثر تجزیه زباله‌های دارای ترکیبات آلی می‌باشد. در این بین مهم‌ترین عامل آلودگی آب در محل دفن مواد زاید جامد، شیرابه است که با ورود به آب های سطحی یا زیرزمینی خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی برای موجودات زنده ایجاد می‌کند.

ویژگی‌های خاص ترکیب زبالهٔ شهری در ایران از جمله درصد بالای مواد فسادپذیر و رطوبت و همچنین شرایط خاص اقلیمی نظیر بارندگی کم و تبخیر زیاد سبب شده است که شیرابهٔ حاصل دارای بار آلودگی بالایی در مقایسه با کشورهای صنعتی باشد. از آن‌جا که این شیرابه با نفوذ در آب های زیرزمینی می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به وجود آورد، می‌بایست سیستمی برای کنترل نشت شیرابه به داخل آب های زیرزمینی و یا حذف آلاینده‌های شیرابه پیش‌بینی شود که مانع از پخش آلاینده‌ها گردد. باید دقت کرد که هرچند وظیفه اصلی یک لاینر جلوگیری از نشت شیرابه به داخل آب های زیرزمینی است، ولی در شرایطی که محل های دفن زباله در ایران فاقد هرگونه سیستم جمع‌آوری شیرابه هستند، لذا بررسی میزان حذف و یا تضعیف آلاینده‌های موجود در شیرابه ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرف دیگر از آن‌جا که گزینه‌های مختلف لاینر بر هزینه‌های محل دفن بهداشتی بسیار موثر است، لذا انتخاب صحیح و مبتنی بر دانش و قضاوت مهندسی لاینر، جهت کنترل نفوذ آلاینده‌های شیرابه در بهینه کردن اختصاص هزینه‌ها بسیار موثر است.

در حال حاضر استفاده از لاینرهای خاکی به دلیل وجود مصالح مناسب در محل های دفن در ایران (به خصوص کهریزک) و همچنین هزینهٔ کمتر نسبت به سایر لاینرها، می‌تواند گزینه قابل قبولی باشد. با توجه به مطالعات مختلف انجام یافته، اکثر محققان معتقدند که یکی از عوامل مهم در انتخاب لاینرهای خاکی، شرایط محلی و سازگاری لاینر با شیرابهٔ تولید شده در محل مورد نظر می‌باشد. از این‌رو هدف کلی این تحقیق بررسی میزان کارایی خاک در حذف طبیعی آلاینده‌های شیرابه تولیدی در محل دفن زبالهٔ کهریزک توسط لاینر رسی متراکم شده (با استفاده از خاک رس محل) می‌باشد. از آن‌جا که نفوذپذیری خاک مورد استفاده در محل دفن با کنترل طبیعی[1] باید مقدار مشخصی باشد، نفوذپذیری لاینر ساخته شده نیز تعیین می‌شود.

مکانیزم‌های تضعیف آلودگی شیرابه برای آلاینده‌های مختلف

در ایالات متحده آمریکا ۶۶۰۰۰ مادهٔ شیمیایی در مصارف تجاری به شکل وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد و تخمین زده می‌شود که سالانه ۱۰۰۰ مادهٔ شیمیایی جدید دیگر، به این لیست اضافه گردد (۱). مسلماً مطالعه‌ای دربارهٔ مکانیزم از بین رفتن همهٔ این آلاینده‌ها موجود نیست. ولی در مورد آن دسته از موادی که اهمیت و کمیت بیشتری دارند، مطالعاتی صورت گرفته و مکانیزم حذف آن‌ها توسط خاک و آب های زیرزمینی مشخص شده است. آلاینده‌هایی که در شیرابهٔ مواد زاید شهری موجب نگرانی می‌شوند عبارتند از : مس، سرب، قلع، آهن، آمونیوم، پتاسیم، سدیم، منیزیم، BOD، COD، نیترات، کلراید و سولفات (۷-۲).

البته باید دقت کرد که برای زباله‌های خطرناک این مطالعه انجام نشده است چون اساساً زباله خطرناک مجاز به دفن در محل NAL نیست. جدول ۱، مکانیزم‌های تضعیف و کارایی آن‌ها را در مورد ۳۰ نمونه از موادی که در شیرابه پسماند شهری وجود دارد، نشان می‌دهد.

1-Natural Attenuation Landfill

جدول ۱- مکانیزم های غالب در تضعیف آلاینده های شیرابهٔ تولیدی در محل دفن (۸)

نوع آلاینده	مکانیزم تضعیف	میزان تضعیف (در محیط رسی)
آلومینیوم	رسوب	کم
آمونیوم	تبادل یونی، جذب بیولوژیکی	متوسط
آرسنیک	رسوب، جذب سطحی	متوسط
باریم	جذب سطحی، تبادل یونی، رسوب	کم
بریلیم	رسوب، تبادل یونی	کم
بور	جذب سطحی، رسوب	زیاد
کادمیوم	رسوب، جذب سطحی	متوسط
کلسیم	رسوب، تبادل یونی	زیاد
COD	جذب بیولوژیکی، فیلتراسیون	متوسط
کلراید	رقیق سازی	زیاد
کروم	رسوب، تبادل یونی، جذب سطحی	(Cr+3) کم؛ (Cr+6) زیاد
مس	جذب سطحی، تبادل یونی، رسوب	کم
سیانور	جذب سطحی	زیاد
فلوراید	تبادل یونی	زیاد
آهن	رسوب، تبادل یونی، جذب سطحی	متوسط تا زیاد
سرب	جذب سطحی، تبادیل یونی، رسوب	کم
منیزیم	تبادل یونی، رسوب	متوسط
منگنز	رسوب، تبادل یونی	زیاد
جیوه	جذب سطحی، رسوب	زیاد
نیکل	جذب سطحی، رسوب	متوسط
نیترات	جذب بیولوژیکی، رقیق سازی	زیاد
PCBs	جذب بیولوژیکی، جذب سطحی	متوسط تا زیاد
پتاسیم	جذب سطحی، تبادل یونی	متوسط
سلنیوم	جذب سطحی، تبادل یونی	متوسط
سیلیس	رسوب	متوسط
سدیم	تبادل یونی	کم تا زیاد
سولفات	تبادل یونی، رقیق سازی	زیاد
قلع	تبادل یونی، جذب سطحی، رسوب	کم
ویروس	نامشخص	کم
ترکیبات آلی فرار (VOCs)	جذب بیولوژیکی، رقسق سازی	متوسط

به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت :

۱. اغلب فلزات در خاک رسی به خوبی حذف می‌شوند.
۲. حذف اجزای غیرفلزی در خاک رسی به‌خوبی صورت نمی‌گیرد.
۳. تضعیف نیترات، سولفات، VOC و COD در خاک های رسی بسیار کم است.
۴. کلراید به هیچ وجه در خاک حذف نمی‌شود و رقیق-سازی تنها مکانیزم طبیعی در حذف این ماده است.

در مورد مشخصات فیزیکی خاک باید به این نکته توجه کرد که اگر نفوذپذیری ناحیهٔ غیراشباع کمتر از $1*10^{-7}$ سانتی‌متر بر ثانیه باشد، این خاک برای تضعیف شیرابه مناسب نیست، زیرا نفوذپذیری پایین منجر به جمع شدن شیرابه و در نتیجه تراوش از مرزهای خاک می‌گردد(۹).

مواد و روش ها

از آن جا که مسالهٔ انتخاب لاینر مناسب برای هر محل دفن، شدیداً به شرایط و مشخصات منطقه‌ای وابسته است و از طرف دیگر تنها محل دفن زبالهٔ شهر تهران در حاضر کهریزک می‌باشد، لذا در این تحقیق محل دفن کهریزک به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است.

محل دفن کهریزک

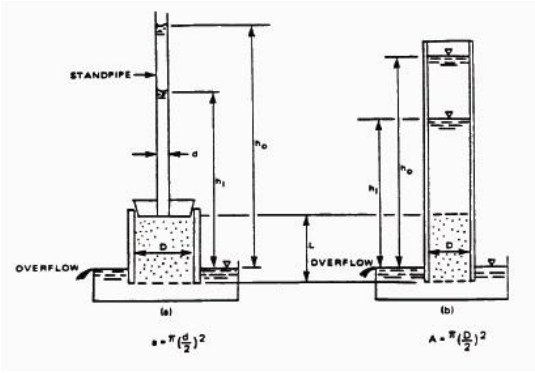
محل دفن کهریزک که در جنوب شهر تهران واقع شده است، از حدود ۴۰ سال پیش به عنوان جایگاه و سرنوشت نهایی زباله‌های تهران شروع به کار کرده است. به‌طور کلی روش مورد استفاده برای دفن زباله در این منطقه تلنبار می‌باشد. سالانه در حدود دو میلیون تن زباله به محل دفن منتقل می‌شود. تناژ روزانهٔ زبالهٔ ورودی ۵۵۰۰ تن می‌باشد که این مقدار در بعضی از روزها به ۷۰۰۰ تن نیز می‌رسد. رطوبت زبالهٔ ورودی بین ۶۵ تا ۷۰٪ است و میزان مواد فسادپذیر ۶۷/۸٪ از ترکیب زبالهٔ ورودی به محل دفن کهریزک را تشکیل می‌دهد که این دو عامل از دیدگاه تولید شیرابه بسیار حایز اهمیت می‌باشد. ارتفاع زیاد زباله (که در بعضی مناطق به ۵۰ متر هم می‌رسد) و فقدان سیستم جمع‌آوری شیرابه سبب می-شود که شیرابهٔ ناشی از متراکم شدن زباله‌ها به‌صورت طبیعی مسیر خود را پیدا کند و با توجه به شیب منطقه تقریباً در قسمت شمالی محل دفن کهریزک، دریاچهٔ بزرگی از شیرابه تشکیل شود (شکل ۱). سطح آب زیرزمینی به‌طور میانگین در این منطقه ۸۰ متر گزارش شده است که برای استفاده از محل دفن با کنترل طبیعی این مقدار می‌تواند مناسب باشد. ضمن این که کل منطقه در ارتفاع ۱۰۲۰ تا ۱۰۶۰ متری از سطح آب های آزاد قرار گرفته است. اطلاعات فوق همگی از گزارش-های سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهر تهران در سال ۱۳۸۵ جمع‌آوری شده است.

شکل ۱- دریاچهٔ شیرابه زباله واقع در قسمت شمالی محل دفن کهریزک

روش ها

در ابتدا مشخصات فیزیکی خاک نظیر درصد رطوبت، تودهٔ ویژه، دانه‌بندی و رطوبت بهینه مطابق با روش استاندارد ASTM آزمایش شده است. همچنین پارامترهای مورد نیاز برای تعیین شوری خاک نظیر درصد اشباع، pH، کربنات، بی‌کربنات، سولفات، نیترات و کلراید مطابق با دستورالعمل WREP-125 (پیشنهاد شده از آزمایشگاه دانشگاه کالیفرنیا) اندازه‌گیری شده است. روشی که برای تعیین نفوذپذیری لاینر رسی در آزمایشگاه مورد استفاده قرار گرفته مبتنی بر روش هد افتان است که EPA برای تعیین نفوذپذیری خاک های ریزدانه پیشنهاد

می‌کند. نفوذپذیری در روش هد افتان بر اساس فرمول دارسی به‌دست می‌آید. در این آزمایش در فاصلهٔ زمانی t، هد مایع نفوذکننده از ارتفاع h_o به h_1 کاهش می‌یابد. شکل ۲، دو حالت این دستگاه را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۲- تصویر شماتیک از دستگاه نفوذ سنج هدافتان (دستگاه پیشنهادی EPA) (۱۰)

در حالت (a) برای تعیین نفوذپذیری از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود :

$$K = \frac{2.3aL}{At}\log\frac{h_0}{h_1} \qquad (۱)$$

در این رابطه، a سطح مقطع لوله (m^2)، A سطح مقطع نمونهٔ خاک (m^2)، L ضخامت نمونه (m)، t زمانی که طول می‌کشد تا هد از h_o به h_1 برسد (sec) و K نفوذپذیری نمونه (m/sec) می‌باشد.

برای حالت (b) نسبت a به A برابر با یک خواهد بود. این روش هرچند می‌تواند به‌طور کلی برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک های ریزدانه مورد استفاده قرار گیرد، اما برای تعیین نفوذپذیری لاینرهای رسی ایراداتی دارد که باید اصلاح شود.

اولاً در این روش خاک در ابتدا با اعمال یک گرادیان هیدرولیکی خیلی زیاد اشباع می‌شود که این مساله باعث خطا در نتایج می‌گردد. علاوه بر آن در این روش باید خاک ابتدا در قالب استاندارد کوبیده شود و سپس درون دستگاه قرار گیرد. این مساله باعث می‌شود که نمونه و بدنهٔ دستگاه به‌خوبی با هم منطبق نشوند و در نتیجه امکان ایجاد پدیدهٔ مسیریابی توسط مایع نفوذکننده، از بین نمونه و دیواره زیاد می‌باشد. ضمن آن که استفاده از دیوارهٔ انعطاف‌پذیر در دستگاه نفوذسنج از دیگر ایرادات این روش است که باعث می‌شود مقدار نفوذپذیری به‌دست آمده کمتر از مقدار واقعی آن باشد. لذا لازم است برای رسیدن به دقت بیشتر در اندازه‌گیری نفوذپذیری این روش اصلاح گردد که بدین منظور دستگاه نفوذسنج جدیدی طراحی شده است (شکل ۳). این دستگاه با حفظ کلیات روش پیشنهادی EPA، ایرادات این روش را نیز اصلاح کرده است. اشباع نکردن خاک قبل از آزمایش، استفاده از نفوذسنج با دیوارهٔ صلب و استفاده از شیرابه به عنوان مایع نفوذکننده از مهم‌ترین اصلاحاتی است که نسبت به روش استاندارد اعمال شده است. از دیگر مزایای این دستگاه، امکان انجام آزمایش بر روی سه نمونه به طور هم‌زمان می‌باشد. ضمن آنکه برای شبیه‌سازی شرایط محل دفن با توجه به محاسبات انجام شده برای هر نمونه روزانه ۱/۸۵ لیتر شیرابهٔ تازه در هر ظرف قرار گرفته است. شیرابهٔ تازه‌ای که از محل دفن کهریزک به آزمایشگاه آورده می‌شود باید در دمای چهار درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شود تا شرایط اولیهٔ آن حفظ گردد. همچنین جهت بررسی کارایی لاینر در شرایط بحرانی هد ۳۰ سانتی‌متری شیرابه بر روی هر نمونه اعمال شده است.

شکل ۳ - تصویر کلی از دستگاه طراحی شده در حین آزمایش

بعد از نصب و تنظیم دستگاه، شیرآب های که از محل دفن آورده شده مورد آزمایش قرار گرفته است. pH، COD، BOD، TDS، EC، نیترات، فسفات، سولفات،

کلراید، کربنات و بی‌کربنات پارامترهایی هستند که در هر اندازه‌گیری محاسبه شده‌اند. ضمن این که هر روز pH و دمای شیرابه و همچنین دمای اتاق اندازه‌گیری شده است. فاصله زمانی جهت انجام هر آزمایش ۲۴ ساعت انتخاب شده است و سپس با استفاده رابطهٔ ۱ میزان نفوذپذیری خاک مشخص گردیده است.

در این قسمت ذکر دو نکته ضروری است. اول این که محل نمونه‌گیری از شیرابه در نوع آن بسیار موثر است، چراکه شیرابه باید به‌صورت تازه تهیه شود. این شرایط زمانی به‌وجود می‌آید که محل برداشت شیرابه دقیقاً در مکانی باشد که زباله در حال تخلیه است (شکل ۴). هرچند انجام این کار بسیار سخت و خطرناک است ولی در غیر این صورت شیرابه هر روز مسیر زیادی را طی می‌کند و ضمن این که در مسیر مقادیر زیادی از املاح را می‌شوید، در نهایت با شیرابه‌های قدیمی مخلوط شده و خاصیت اولیهٔ خود را از دست می‌دهد. نکتهٔ دوم این که از آن جا که پذیرش زباله در محل دفن هر روز صورت می‌گیرد، این آزمایش باید به‌صورت هر روزه انجام گیرد (حتی روزهای تعطیل) تا شرایط محل دفن کاملاً شبیه‌سازی شود.

این آزمایش تا زمانی که نفوذپذیری به مقدار ثابتی برسد، ادامه پیدا کرده است. زیرا یکی از ملاک های پایان آزمایش‌های نفوذپذیری لاینر، ثابت شدن مقدار نفوذپذیری است (۶-۲).

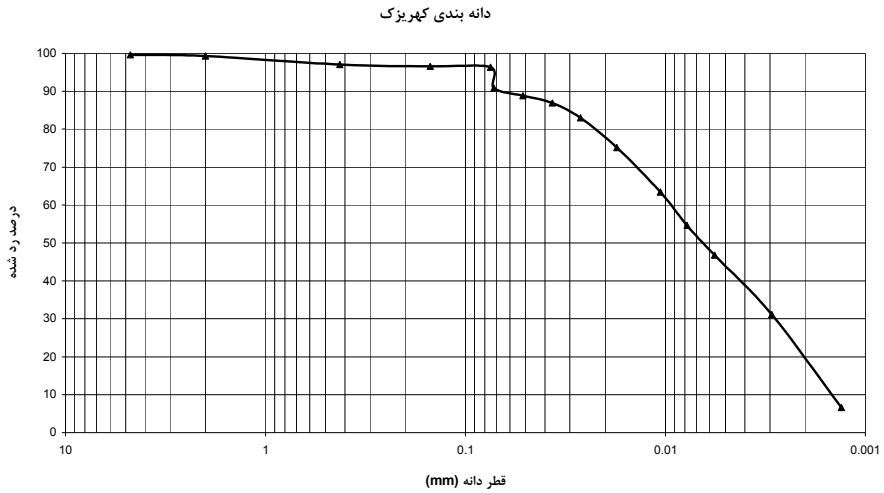
شکل ۴ - مکان نمونه‌گیری از شیرابهٔ تولیدی در محل دفن کهریزک

در نهایت و پس از اشباع طبیعی نمونه به منظور بررسی توانایی لاینر رسی متراکم شده در حذف و یا تضعیف طبیعی آلاینده‌های نگران‌کنندهٔ شیرابه، شیرآب های که از لولهٔ تعبیه‌شده در زیرقالب، خارج شده است، مورد آزمایش قرار گرفته و پارامترهایی که در شیرابهٔ اولیه مشخص گردیده‌اند، اندازه‌گیری شده است. آزمایش تا زمانی که این پارامترها به مقدار ثابتی برسند، ادامه پیدا کرده است. در نهایت با مقایسهٔ بین آلاینده‌ها، در شیرابهٔ ورودی و خروجی، میزان توانایی لاینر رسی در حذف و یا تضعیف این پارامترها مشخص شده است.

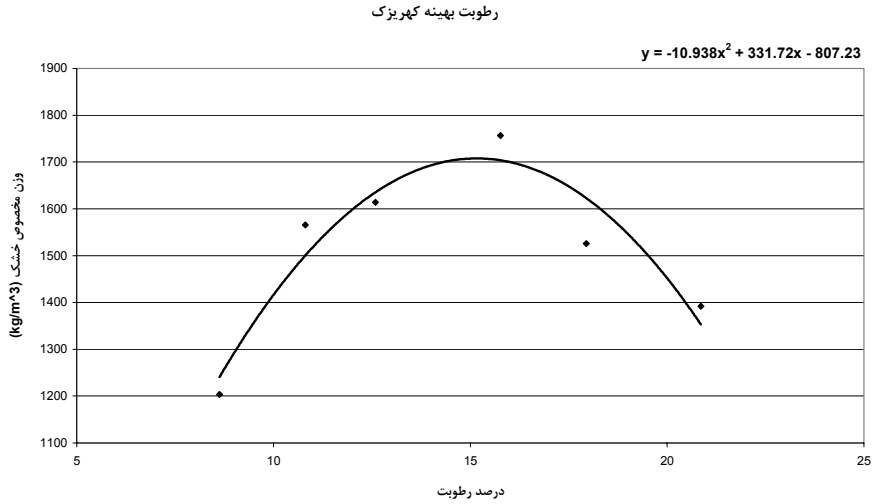
نتایج

مشخصات فیزیکی خاک

در ابتدا مشخصات فیزیکی خاکی که از منطقهٔ کهریزک آورده شده مورد آزمایش قرار گرفته است. طبق آزمایش‌های انجام شده درصد رطوبت خاک در محل و در زمان نمونه‌گیری ۱۱/۰۶٪ و چگالی ذرات جامد خاک ۲/۷۵ می‌باشد. همچنین شکل ۵ منحنی دانه‌بندی خاک محل دفن کهریزک را نشان می‌دهد. ضمن آن که آزمایش پروکتور استاندارد برای تعیین رطوبت بهینهٔ خاک انجام گرفته است. برای تعیین درصد رطوبت بهینه باید نمودار وزن مخصوص خشک خاک در مقابل درصد رطوبت رسم شود و رطوبتی که در آن وزن مخصوص خشک خاک به بیشترین مقدار خود می‌رسد، محاسبه گردد. در شکل ۶ منحنی تراکم دیده می‌شود.



شکل ۵ - منحنی دانه‌بندی خاک محل دفن کهریزک



شکل ۶ - منحنی تغییرات دانسیتهٔ خشک نسبت به درصد رطوبت خاک

از آن جا که درصد رطوبت بهینه در بیشینه وزن مخصوص خشک حاصل می‌شود لذا اگر از معادلهٔ این نمودار مشتق گرفته و مساوی صفر قرار دهیم، درصد رطوبت بهینه حاصل می‌شود.

$$\gamma_d = -10.938w^2 + 331.72w - 807.23 \Rightarrow \gamma'_d = -21.876w + 331.72 \xrightarrow{\gamma'_d = 0} w_{opt} = 15.16\% \qquad (۲)$$

بنابراین رطوبت بهینهٔ خاک کهریزک ۱۵/۱۶٪ می‌باشد.

پارامترهای شوری خاک

همان‌طور که در قسمت قبل ذکر شد پارامترهای شوری خاک با استفاده از دستورالعمل WREP-125 دانشگاه کالیفرنیا محاسبه شده است(۱۱). در این روش ابتدا خاک اشباع شده و درجهٔ اشباع خاک محاسبه می‌شود. سپس از خاک اشباع شده استفاده می‌شود تا سایر پارامترها محاسبه گردد. جدول ۲ مقادیر محاسبه شدهٔ پارامترهای شوری خاک را نشان می‌دهد. در این جدول بی‌کربنات، کربنات، کلراید، سولفات، نیترات و فسفات بر حسب میلی‌مول بر لیتر گزارش شده است.

جدول ۲ - مقادیر پارامترهای شوری خاک

درصد اشباع	بی‌کربنات	کربنات	کلراید	سولفات	نیترات	فسفات	pH	EC (ms/cm)	TDS (g/lit)
۶۱/۰۳	۰	۹	۹۷/۲۱	۵۲/۰۵	۲/۷۴	۴/۳۵	۷/۴۳۷	۱۰/۰۱	۵/۲
واحد کربنات، بی‌کربنات، کلراید، سولفات، نیترات و فسفات بر حسب میلی‌مول بر لیتر می‌باشد.									

مشخصات شیرابهٔ محل دفن کهریزک

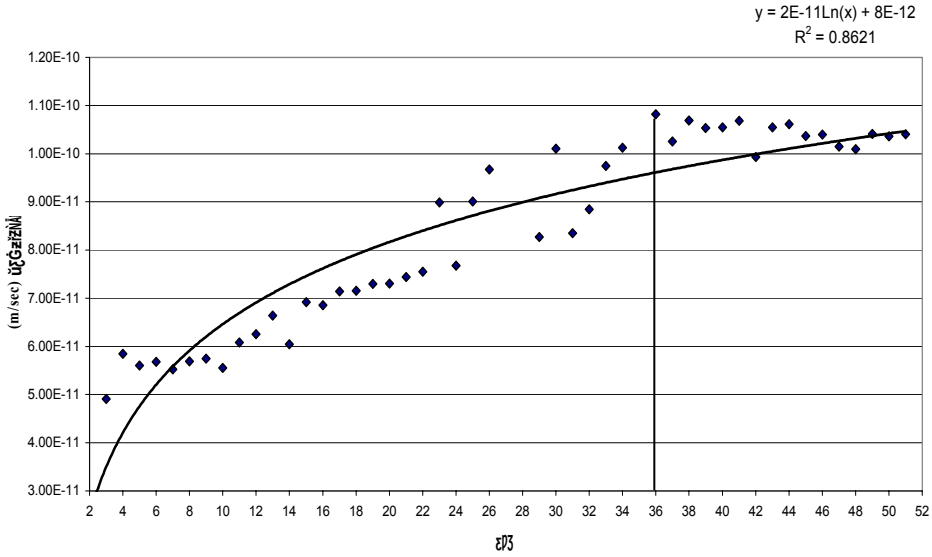
مشخصات شیرابه تولیدی در محل دفن کهریزک و توضیحات جانبی آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳ - مشخصات شیرابهٔ تولید شده در محل دفن کهریزک

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
pH	۵/۰۱۱	سولفات (mg/lit)	۳۵۰۰
COD (mg/lit)	۵۵۵۰۰	کلراید (mg/lit)	۸۰۰۰
BOD_5 (mg/lit)	۲۴۸۵۵	بی‌کربنات (mg $caco_3$/lit)	۱۷۶۰۰
نیترات (mg/lit)	۸۰	EC (ms/cm)	**۳۳/۳**
فسفات (mg/lit)	۲۷۵	TDS (g/lit)	**۱۷/۰۴**
نمونه‌ها قبل از آزمایش از کاغذ صافی شمارهٔ ۴۰ عبور داده شده‌اند. کلراید و بی‌کربنات به‌دست آمده حاصل میانگین دو بار تیتراسیون می‌باشند.			

نفوذپذیری لاینر رسی متراکم شده

در شکل ۷ روند تغییرات نفوذپذیری نمونه رسی نسبت به زمان نشان داده شده است. همچنین خط عمودی رسم شده در شکل، مدت زمانی را که طول کشیده است تا نمونه اشباع شود نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است نفوذپذیری در بیشترین حالت خود به مقدار $۱/۱*۱۰^{-۱۰}$ متر بر ثانیه رسیده است که از مقدار استاندارد ($۱*۱۰^{-۹}$ متر بر ثانیه) کمتر است.



شکل ۷ - تغییرات نفوذپذیری نمونه نسبت به زمان

بررسی مشخصات شیرابهٔ خروجی

جهت بررسی توانایی لاینر در حذف طبیعی آلاینده‌های مهم شیرابه، بعد از آن که نمونه اشباع شد، شیرابهٔ خروجی از آن مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمایش پارامترهایی نظیر COD، نیترات، فسفات، سولفات، کلراید، بی‌کربنات، pH و TDS اندازه‌گیری شده‌است.

از تاریخ ۸۵/۱/۲۶ تا ۸۵/۱/۳۱ این آزمایش‌ها صورت گرفته است. مقادیر اندازه‌گیری شده در جدول ۴ آمده است. از آن جا که به‌غیر از سولفات سایر پارامترها تقریباً مقدار ثابتی را نشان می‌دهند و تغییرات سولفات نیز در انتها بسیار کم بوده است، لذا می‌توان خصوصیات شیرابهٔ خروجی را مطابق با اندازه‌گیری روز ۸۵/۱/۳۱ دانست.

جدول ۴ - مشخصات شیرابهٔ خروجی از نمونه

پارامتر	۸۵/۱/۲۶	۸۵/۱/۲۷	۸۵/۱/۲۸	۸۵/۱/۲۹	۸۵/۱/۳۰	۸۵/۱/۳۱
COD	۴۸۰۰۰	۴۶۵۰۰	۴۵۱۵۰	۴۳۵۵۰	۴۳۰۵۰	۴۳۰۰۰
نیترات	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰
فسفات	۲	۲	۱	۰	۱	۰
سولفات	۱۷۵۰	۱۵۵۰	۱۳۲۰	۱۱۸۰	۱۱۱۰	۱۱۰۰
کلراید	۷۹۹۷	۷۹۹۵	۸۰۰۰	۷۹۹۰	۸۰۰۰	۸۰۰۰
بی‌کربنات	۱۷۱۵۰	۱۷۲۰۰	۱۷۱۰۰	۱۷۱۵۰	۱۷۰۰۰	۱۷۱۰۰
pH	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱
TDS	۹۲۹۰۰	۹۳۲۵۰	۹۴۴۰۰	۹۴۴۵۰	۹۴۴۵۰	۹۴۴۵۰
واحدها به جز **pH** همگی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.						

تفسیر نتایج و پیشنهادها

همان‌طور که ذکر شد هدف از این تحقیق بررسی توانایی لاینر در حذف طبیعی آلاینده‌ها می‌باشد. به این منظور ابتدا نفوذپذیری لاینر تعیین شد که با توجه به مقدار آن (کمتر از $۱*۱۰^{-۹}$ متر بر ثانیه) این لاینر از لحاظ فیزیکی می‌تواند جهت حذف آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گیرد. چراکه هرچه نفوذپذیری لاینر کمتر باشد، مدت زمانی که طول می‌کشد تا شیرابه از لاینر خارج شود بیشتر بوده و حذف یا تضعیف آلاینده‌ها بهتر صورت می‌گیرد. پس از تعیین نفوذپذیری و اشباع شدن نمونه، شیرابهٔ خروجی از نمونهٔ رسی متراکم شده مورد آزمایش قرار گرفته است که نتایج آن در قسمت قبل نشان داده شد. در جدول ۵ مشخصات شیرابهٔ عبور کرده در آخرین آزمایش که می‌تواند نمایندهٔ شیرابه خروجی از نمونه باشد، با مشخصات شیرابهٔ ورودی به نمونه مقایسه شده است.

جدول ۵ - مقایسهٔ شیرابهٔ ورودی و خروجی

پارامتر	شیرابهٔ ورودی	شیرابهٔ خروجی
COD	۵۵۵۰۰	۴۳۰۰۰
نیترات	۸۰	۸۰
فسفات	۲۷۵	۰
سولفات	۳۵۰۰	۱۱۰۰
کلراید	۸۰۰۰	۸۰۰۰
بی‌کربنات	۱۷۶۰۰	۱۷۱۰۰
pH	۵/۰۱۱	۷/۱
TDS	۱۷۰۴۰	۹۴۴۵۰
واحدها به جز **pH** همگی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.		

مقایسهٔ این نتایج نکات زیر را مشخص می‌کند :

۱- کاهش COD در این فرآیند از ۵۵۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۴۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهد که لاینر در حذف COD کارایی چندانی ندارد. چراکه این کاهش در طول زمان طبیعی است و COD شیرابه به خودی‌خود نیز با گذشت زمان تقریباً به همین مقدار کاهش می‌یابد. این پدیده قبلاً توسط Bagchi در سال ۲۰۰۴ نیز تایید شده است(۹) .

۲- به‌طور کلی یک ذرهٔ رسی در حالت طبیعی دارای بار منفی است. اما در شرایطی که نمونه در معرض یک محیط اسیدی نظیر شیرابه قرار می‌گیرد که حاوی مقادیر زیادی یون H^+ می‌باشد، دارای بار مثبت می‌شود. زیرا یون های H^+ علاوه بر آن که ذرات دارای بار منفی را خنثی می‌کنند، خود توانایی جذب آنیون ها را نیز دارند. در جذب سطحی، آنیونی برای جذب ارجحیت دارد که دارای خصوصیات زیر باشد :

- دارای ظرفیت بیشتری باشد؛
- حجم کوچکتری داشته باشد؛
- قدرت پولاریتهٔ آن زیادتر باشد؛ و
- با سایر یون ها تولید کمپلکس نکند.

بنابراین ترتیب ارجحیت جذب آنیون ها به شکل زیر می‌باشد :

$$PO_4^{-3} >> SO_4^{-2} > NO_3^- \cong Cl^-$$

لذا تا زمانی که مقدار کمی فسفات وجود دارد، یون های سولفات، نیترات و کلراید فرصت جذب ندارند و این مساله در مورد سولفات و نیترات و همچنین نیترات و کلراید نیز وجود دارد (۱۲). بررسی نتایج آزمایش‌ها این مساله را به‌خوبی اثبات می‌کند چراکه فسفات خروجی تقریباً صفر می‌باشد. این درحالی است که لاینر توانایی حذف کامل سولفات را نداشته و آن را از مقدار ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۱۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رسانده است. این بدان معنی است که یون سولفاتی وجود دارد که جذب نشده است، لذا امکان جذب نیترات و کلراید برای خاک وجود ندارد. عدم تغییر نیترات و کلراید نیز به همین دلیل می‌باشد.

۳- به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که هرچند لاینر رسی متراکم شده در حذف فسفات موفق عمل می‌کند و حذف سولفات نیز در این لاینر قابل توجه است، ولی حذف COD به میزان کمی صورت

می‌گیرد و به دلیل وجود سولفات بالا در شیرابهٔ محل دفن، نیترات و کلراید فرصت جذب شدن را پیدا نمی‌کنند. Bagchi نیز در سال ۲۰۰۴ تنها راه حذف کلراید را رقیق‌سازی دانسته و حذف طبیعی آن را در لاینر خاکی غیرممکن می‌داند (۹).

با نگاهی به مطالعات قبلی انجام شده و نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، به‌طور کلی می‌توان گفت از آن جا که با توجه به ترکیب زباله و شرایط اقلیمی ایران، شیرابه تولیدی در محل‌های دفن زباله دارای بار آلودگی بسیار بالایی می‌باشد، لذا تفکیک مواد فسادپذیر (که عامل اصلی تولید شیـــرابه در محل‌های دفن زباله شهری است) و توجه بیشتر به روش هایی نظیر کمپوست و بازیافت مواد امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی از آن جا که نفوذپذیری لاینر رسی متراکم شده (با استفاده از خاک موجود در محل) کمتر از مقدار استاندارد است لذا در صورت احداث یک سیستم مناسب جمع‌آوری شیرابه می‌توان به کارایی لاینر در جلوگیری از نشت شیرابه به آب های زیرزمینی امیدوار بود. همچنین از دیدگاه تضعیف و یا حذف طبیعی آلاینده‌ها توسط خاک موجود در محل، می‌توان با اضافه کردن مواد جانبی نظیر بنتونایت و همچنین بهبود شرایط تراکم، زمینه را برای کارایی بهتر لاینر خاکی فراهم نمود.

منابع

1. Richards, D.J. & Shieh, W.K (1986), “Biological Fate of Priority Pollutants in the Aquatic Environment”, Water Res. 20(9), 1077-1090.
2. Ham, R.K. & Anderson, C.R. (1974), “Pollutant Production by Refuse Degradation in Test Lysimeter”, Waste Age 5(9), 33-39.
3. Ham, R.K. & Anderson, C.R. (1975), “Pollutant Production by Refuse Degradation in Test Lysimeter”, Waste Age 6(1), 30-36.
4. Ham, R.K. & Anderson, C.R. (1975), “Pollutant Production by Refuse Degradation in Test Lysimeter”, Waste Age 6(2), 38-48.
5. Chian, E.S. & Dewalle, F.B. (1975), “Compilation of Methodology for Measuring Pollution Parameters of Landfill Leachate”, EPA-600:3075-011, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
6. Garland, G.A. & Mosher, D.C. (1975), “Leachate Effects of Improper Land Disposal”, Waste Age 6(3), 42-48.
7. American Society of Civil Engineers (ASCE), (1976), “Sanitary Landfill”, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 39. ASCE, New York.
8. Bagchi, A. (1987), “Natural Attenuation Mechanisms of Landfill Leachate and Effects of Various Factors on the Mechanisms”, Waste Management and Research, Copenhagen, Denmark, pp. 453-463.
9. Bagchi, A. (2004), “Design of Landfills and Integrated Waste Management”, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersy, ISBN 0-471-25499-1, pp: 239-422.
10. U.S. Environmental Protection Agency, (1986), “RCRA Ground Water Monitoring Technical Enforcement Guidance Document”, Draft Final.
11. http://groups.uc.anr.org/danranlab/soil-Analysis.

۱۲. بای‌بوردی، م. (۱۳۶۳)، "فیزیک خاک"، دانشگاه تهران، موسسهٔ انتشارت وچاپ، ۵۲۳ صفحه.