

بررسی تاثیر دوره‌های اشباع و خشک‌شدگی بر خاک مدفن زباله شهری (مطالعه موردی ناحیه کهریزک تهران)

ناصر عبادتی^۱، محمد درستکار ساری^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر

۲- کارشناس ارشد خاک و پی، شهرداری تهران

چکیده

کنترل و دفع مناسب زباله یکی از مشکلات عمده بشر در دنیای توسعه یافته فعلی به شمار می‌رود. تاکنون چند روش بازیافت و دفن در دنیا متداول شده است، ولی بازیافت زباله هزینه زیاد و نیز محدودیت‌های تکنولوژی به همراه دارد و با توجه به این محدودیت‌دفع زباله در حال حاضر به عنوان یک راه حل عمومی شناخته شده است. مدفن مناسب برای زباله‌ها، محلی است که محیط زیست را در کوتاه و دراز مدت آلوده ننماید و مهم‌ترین مساله استفاده روشی است که از ورود شیرابه به محیط زیست جلوگیری و یا آن را کنترل نماید. در این تحقیق کاهش نفوذپذیری لایه آب بند مدفن زباله شهری مورد بررسی قرار گرفته است. این معیار بر اساس دو ویژگی اصلی یعنی ترک‌خوردگی کمتر و خاصیت خودترمیمی بیشتر به عنوان کارآیی کاربرد این خاک‌ها به لحاظ کاهش نفوذپذیری یا حفظ نفوذناپذیری اولیه مطرح می‌باشند. لذا بدین منظور از خاک‌های منطقه دفن زباله در ناحیه کهریزک تهران نمونه برداری و کارهای آزمایشگاهی براساس استاندارد ASTM به ترتیب شامل آزمایشات فیزیکی، شیمیایی و سپس آزمایش نفوذپذیری انجام گرفته است و در انتها با توجه به مقادیر بدست آمده از دوره‌های مختلف خشک‌شدگی - اشباع مقدار نسبت نفوذپذیری محاسبه گردید. مقدار نفوذپذیری در انتهای سیکل‌های اول و دوم خشک‌شدگی - اشباع، به مقدار نفوذپذیری اولیه نمونه و همچنین نفوذپذیری نسبی به عنوان معیار بررسی کارآیی هر خاک به لحاظ کاربرد در لایه‌های نفوذناپذیر در نظر گرفته شده است براساس مطالعات و هر چه میزان نفوذپذیری نسبی به عدد یک نزدیکتر باشد خاک مربوطه جهت کاربرد در طراحی مدفن مهندسی زباله مناسب تر می‌باشد.

واژگان کلیدی: نفوذپذیری نسبی، خودترمیمی، ترک خوردگی، خشک‌شدگی

مقدمه

تاثیر تاریخچه خشک شدگی - مرطوب شدگی خاک دستخوش تغییراتی می‌گردد [7]. هوشیار (۱۳۸۵) در رابطه با شناسایی خاک‌های خودترمیم به منظور کنترل رگاب در هسته سدهای خاکی تحقیقی ارائه نموده است [۴].

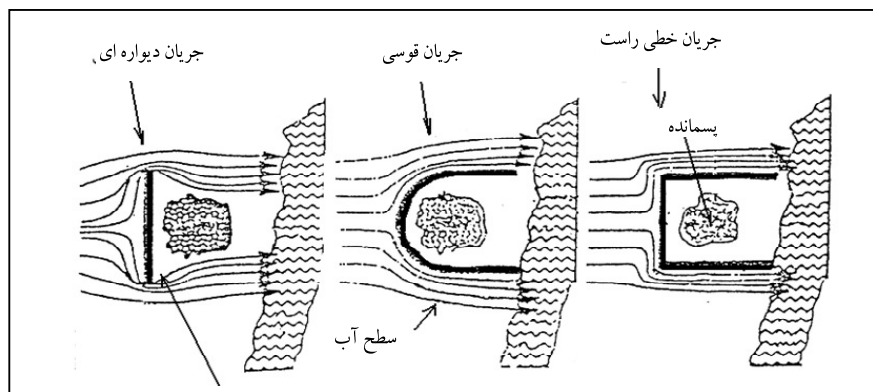
اجزاء مختلف یک مدفن مهندسی زباله محفظه پوشش ابتدایی، پوشش روزانه، پوشش انتهایی، سیستم جمع‌آوری شیرابه و سیستم جمع‌آوری گازهای متصاعد شونده از مدفن می‌باشند.

مهم‌ترین راه انتقال آلودگی زمین مجاور محل دفن، از طریق نفوذ شیرابه می‌باشد. از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در کنترل حرکت شیرابه، ایجاد سیستم‌های محافظ قائم و دیواره‌های آب‌بند می‌باشد. این نوع سیستم‌ها شامل اجرای یک دیواره آب‌بند از مصالح مختلف می‌باشد که معمولاً دور تا دور مدفن اجرا شده و باعث انحراف جهت جریان آب‌های زیرزمینی و یا جلوگیری از نفوذ شیرابه به خاک اطراف می‌شود، شکل (۱).

در ایران با گسترش شهرنشینی و صنعتی شدن و دفن غیر اصولی زباله‌های شهری و صنعتی، پتانسیل آلودگی خاک‌ها و آب زیرزمینی در سطح گسترده‌ای وجود دارد. شناخت روش‌های رفع آلودگی خاک‌ها و بررسی امکان استفاده و کارایی این روش‌ها، بینشی نسبت به دورنمای وضعیت خاک و آب زیرزمینی آلوده و امکان پاکسازی محیط به مهندسين ژئوتکنیک زیست محیطی خواهد داد.

چرکوف (Chertkov - 2002)، بیان داشت، ترک خوردگی مکانیکی به صورت ترک‌های برشی ناشی از نشست در پوشش کف و پوشش بالایی مدفن و همچنین ترک‌های کششی ناشی از خمش فقط در پوشش مدفن ایجاد می‌شوند [6]. بنسون و همکاران (Benson et. al. - 1994) در دامنه نسبت ارتفاع به قطر قالب پرکتور از ۰/۵ تا ۱ آزمایشاتی برای اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری نمونه‌ها انجام دادند [5].

هالت و نلسون (Hallett , and Nelson - 1998) ایجاد ترک در اثر خشک شدگی را یکی از ویژگی‌های معمول در خاک‌های رسی به شمار آورد. در نتیجه این فرآیند، دیگر نمی‌توان خواص هیدرولیکی خاک را ثابت فرض کرد به طوری که نفوذپذیری آن تحت



شکل ۱- حالت‌های مختلف اجرای دیوار آب‌بند جهت انحراف جریان آب [۲]

کاربرد رس ها به عنوان لایه های نفوذناپذیر

خشک شدن رس ها ممکن است باعث انقباض و تشکّل ترک ها گردد، این امر به نوبه خود روی عملکرد پوشش کف و کلاهک مدفن تاثیر می گذارد. ترک های بوجود آمده در خاک پوششی بر اساس مکانیسم تشکّل به دو گروه ترک های مکانیکی و ترک های فیزیکی و شیمیایی طبقه بندی می گردد. به جهت کاهش نفوذ آب، استفاده از خاک رسی متراکم شده به عنوان در دسترس ترین مصالح، همواره از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به منظور شناخت نقش رس ها به جهت آب بندی ویژگی های خاک رس به عنوان لایه نفوذناپذیر مورد بررسی قرار می گیرد. لایه رس متراکم معمولاً در طول عمر خود بوسیله ترک خوردگی، دچار آسیب می شود [6]. این ترک ها عبارتند از:

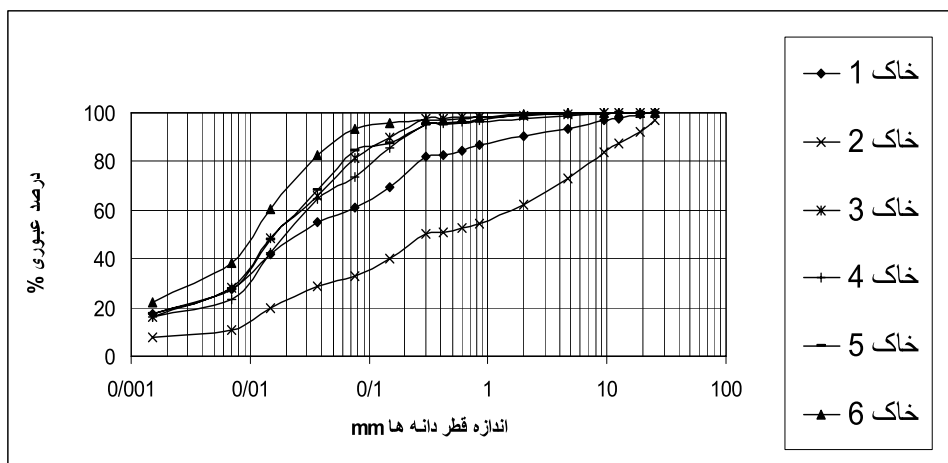
- ترک خوردگی مکانیکی بصورت ترک های برشی ناشی از نشست در پوشش کف و پوشش بالایی مدفن و همچنین ترک های کششی ناشی از خمش که فقط در پوشش مدفن ایجاد می شوند.

- ترک خوردگی ناشی از خشک شدگی که به دلیل شرایط آب و هوایی ایجاد می شود. این ترک ها باعث افزایش نفوذپذیری لایه رسی و کاهش کارایی آن می گردد. رس دارای ویژگی مثبتی است که باعث ترمیم این ترک ها می گردد. خاصیت ترمیم ترک رس، بسته شدن مجدد ترک های خارجی ایجاد شده در آن است. البته این ترک ها به شکل قبل از ترک خوردگی شان برنمی گردند و در هر صورت نفوذپذیری لایه رسی مقداری افزایش خواهد یافت. این خاصیت خودترمیمی کانی های رسی در لایه نفوذناپذیر امتیاز ویژه ای برای لایه های آب بند به شمار می رود.

روش تحقیق

کارهای آزمایشگاهی بر اساس استاندارد ASTM به ترتیب شامل آزمایشات فیزیکی، شیمیایی و سپس آزمایش نفوذپذیری انجام گرفته است. آزمایش های فیزیکی مشتمل بر آزمایشات دانه بندی، اتربرگ، Gs و غیره بوده که برای شناسایی خاک ها مورد استفاده قرار گرفت. همچنین آزمایش شیمیایی مواد تشکّل دهنده، برای تعیین ترکیب شیمیایی نمونه های انتخاب شده و نیز امکان سنجی ایجاد روابط با آزمایش های نفوذپذیری برای این نمونه ها و در آخر با توجه به مقادیر بدست آمده از دوره های مختلف خشک شدگی - اشباع مقدار نسبت K_f محاسبه می گردد که یکی از شاخص های خود ترمیمی است.

در تحقیق حاضر شش نمونه خاک مورد مطالعات قرار گرفته که شامل خاک های رسی با خاصیت خمیری کم (CL) براساس طبقه بندی متحد می باشد و از منطقه دفن زباله در کهریزک تهران اخذ شده است. انتخاب این خاک ها بر این اساس صورت گرفته است که محدوده وسیعی از خاصیت خمیری رسی در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفته باشد. خاک های مورد مطالعه از محل های مدفن ها انتخاب شده است که لزوم بکارگیری لایه های نفوذناپذیر رسی به دلیل شرایط زیست محیطی ویژه از اهمیت زیادی برخوردار بوده است شکل (۲).



شکل ۲- منحنی دانه بندی شش نمونه خاک مدفن زباله کهریزک

همچنین با در نظر گرفتن درصد وزنی ذرات کوچکتر از ۲ میکرون نسبت به شاخص خمیری پارامتر فعالیت خاک به دست می‌آید. که میزان فعالیت خاک‌های تحت آزمایش از ۰/۴۷ برای خاک ۲ تا ۰/۵۴ برای خاک ۶ متغیر است. نتایج حاصل از آزمایش‌های فیزیکی در جدول (۱) آمده است.

برای بدست آوردن پارامترهای خواص خمیری خاک‌ها براساس استاندارد ASTM D4318 از آزمایش حدود اتربرگ مقادیر حدروانی LL، حدخمیری PL و شاخص خمیری PI آنها محاسبه و این نتایج آمده‌اند. در خاک‌های بررسی شده، محدوده تغییرات حدروانی $38/4 < LL < 18/1$ حدخمیری $21/4 < PL < 12/1$ ، شاخص خمیری $PI < 6$ می‌باشد.

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های فیزیکی بر روی نمونه‌های خاک کهریزک

نمونه خاک	۱	۲	۳	۴	۵	۶
طبقه بندی USCS	CL	CL	CL	CL	CL	CL
حدروانی LL	۳۱/۲	۱۸/۱	۳۳	۲۶/۷	۲۸/۳	۳۸/۴
حدخمیری PL	۱۸	۱۲/۱	۱۹	۱۵/۷	۱۶/۳	۲۱/۴
شاخص خمیری PI	۱۳/۲	۶	۱۴	۱۱	۱۲	۱۷
درصد رس	۲۵	۱۲/۷	۲۶	۲۳	۲۳/۵	۳۲
فعالیت Activity	۰/۵۲	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۵۴
درصد عبوری از الک ۲۰۰	۶۰	۳۳	۸۰	۷۵	۸۲	۹۳

تا جهت انجام آزمایش تراکم استاندارد براساس ASTM D698 و تعیین درصد رطوبت بهینه تراکم (ω_{opt}) و نیز وزن مخصوص خشک حداکثر γ_{dmax} مورد استفاده قرار گیرند. مقادیر بدست آمده در

در شکل (۳) موقعیت نمونه‌های مورد بررسی در منحنی کاساگرانده جانمایی شده و نشان‌دهنده نوع خاک CL می‌باشد. خاک‌های تحت آزمایش تراکم پس از خشک شدن در معرض هوا قرار گرفته و سپس کاملاً خردشده

جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج آزمایش تراکم

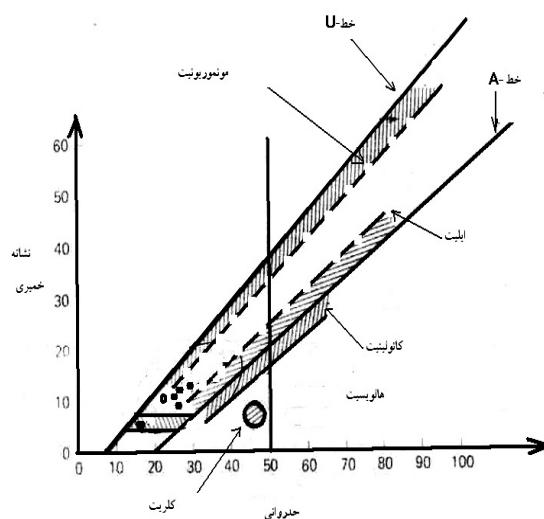
نمونه خاک	۱	۲	۳	۴	۵	۶
$\gamma_d \max$	۱/۶۶	۱/۶۹	۱/۶۳	۱/۷۱	۱/۶۶	۱/۶۴
ω_{opt}	۱۸/۵	۱۸/۴	۱۸/۹	۲۰/۶	۱۸/۹	۱۸/۵
Gs	۲/۶۷ - ۲/۶۹					

ترک خوردگی ناشی از خشک شدگی در این تحقیق یک سری آزمایش نفوذپذیری با روش بار افتان ترتیب داده شد. معادلات داری بر اساس استاندارد ASTM D2434 برای پردازش داده‌ها برای تعیین نفوذپذیری آب در خاک مورد استفاده قرار گرفت. خاک در نمونه‌هایی که نسبت ارتفاع به قطر قالب برابر با ۰/۵ باشد، نوسانات بیشتری در نتایج مشاهده می‌شود، اما بطور متوسط هدایت هیدرولیکی آن با حالی که این نسبت برابر با ۱ بود، یکسان بدست آمد نمونه های خاک تحقیق حاضر در قالب انتخابی با قطر ۱۰۰ و ارتفاع ۱۲۷/۳ میلیمتر که در بر گیرنده تمام گروه های تخلخل بود مورد آزمایش قرار گرفت.

برای تهیه نمونه در قالب پروکتور (قالب نفوذپذیری) ابتدا دو نمونه خاک با استفاده از اسپری آبپاش تا حد امکان بصورت یکنواخت مرطوب شد. برای دست یافتن به کمترین هدایت هیدرولیکی، خاک باید در حد کمی بیش از درجه رطوبت بهینه متراکم شود نمونه رطوبت داده شده با $\omega + 2\%$ به مدت حداقل ۲۴ ساعت در داخل پلاستیک در بسته نگهداری می‌شود تا فرصت کافی برای هیدراته شدن ذرات خاک قبل از تراکم فراهم باشد. پس از آن حجم خاک لازم برای تراکم ۹۵٪ استاندارد توسط چکش پروکتور استاندارد در سه لایه مساوی در درون قالب جای داده شد.

اعمال شرایط اشباع- خشک شدگی

خشک شدگی پوشش های نهایی مدفن ناشی از حرارت ایجاد شده در اثر فعل و انفعالات شیمیایی درون مدفن یا حرارت ناشی از شرایط اقلیمی می‌باشد. مطالعات نشان داد [۲] که لایه نفوذناپذیر کلاهیک مدفن عموماً در فصل زمستان حتی در مناطق نیمه خشک نیز خیس و یا به طور موضعی اشباع می‌شوند،



شکل ۳- موقعیت نمونه های مورد بررسی در منحنی کاساگرانده برای تعیین میزان ترکیب شیمیایی به خصوص آهک در نمونه خاک های مورد آزمایش براساس آئین نامه استاندارد ۱۱۶۲ ایران آزمایش انجام و نتایج مربوط به میزان آهک در جدول (۳) ارائه شده است. باید توجه داشت که بیشتر خاک های رسی، قلیایی هستند و وجود نمک ها و ناخالصی ها دیگر ممکن است خاصیت اسیدی ایجاد کند.

جدول ۳- میزان آهک موجود در نمونه های خاک

نمونه خاک	۱	۲	۳	۴	۵	۶
%CaO	۰/۱	۴	۰/۰۹	۳/۲	۰/۱۵	۰/۲۸

آزمایش نفوذپذیری

به منظور بررسی کمی و تعیین میزان تاثیر

آزمایشات نفوذپذیری به وضوح ارتباط بین میزان و نحوه ترک‌خوردگی با تغییرات نفوذپذیری خاک‌ها را نشان می‌دهد. همچنین با افزایش مقدار رطوبت دامنه‌خمیری نمونه‌ها در خاک‌های شماره ۱ تا ۶ میزان ترک‌خوردگی افزایش یافته و پس از آن روند کاهش از خود نشان می‌دهد.

جدول ۵- مشخصات حداکثر ترک حاصل از خشک شدن

نمونه خاک	۱	۲	۳	۴	۵	۶
طول ترک (میلی متر)	۴۶	۳۱	۴۹	۴۰	۴۲	۵۴
بازشدگی (میلی متر)	۱/۶	۰/۸	۱/۷	۱/۲	۱/۵	۲/۱
عمق ترک (میلی متر)	۱۸	۱۰	۱۹	۱۵	۱۷	۲۲

در مورد خاک ۲ به نظر می‌رسد همان‌طور که نتایج آزمایش‌های شیمیایی نشان می‌دهند علت ترک‌های ناچیز نمونه خاک ۲ ناشی از وجود ۴٪ آهک در ترکیبات شیمیایی آن است و این نتیجه تاثیر مثبت آهک در کاهش ترک‌خوردگی در دوره‌های خشک شدن است.

تاثیر مشخصات فیزیکی خاک بر میزان ترک خوردگی

میزان حد روانی (LL) و شاخص خمیری (PI) یک خاک پارامترهای مهمی در ترک‌خوردگی به شمار می‌روند و هر چه PI و LL یک خاک بیشتر باشند انتظار رک‌خوردگی بیشتری وجود دارد. این وضعیت به این دلیل است که میزان حد روانی و شاخص خمیری مستقیماً به میزان درصد رس و نوع کانی‌های رسی بستگی دارد. افزایش میزان درصد رس یا وجود کانی‌های فعال رسی باعث جذب رطوبت بیشتری می‌گردند که به هنگام خشک‌شدگی، جمع‌شدگی بیشتر و در نتیجه ترک‌خوردگی بیشتری ایجاد می‌کنند. نتایج حاصل از آزمایش‌های فیزیکی و جدول (۴)

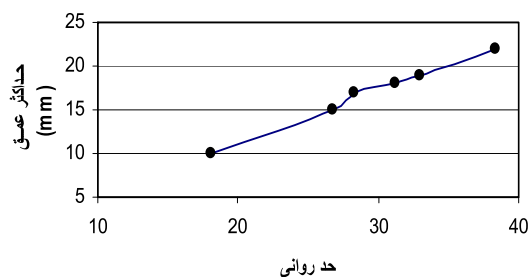
پس از آن در فصل بهار و تابستان پوشش نفوذناپذیر مدفن با از دست دادن و رطوبت شروع به خشک شدن می‌کند. از آنجا که در خصوص نحوه خشک شدن شدگی دست‌ورالعمل خاصی وجود ندارد، در این تحقیق برای اعمال شرایط خشک شدن نمونه‌ها با توجه به طولانی شدن شرایط طبیعی و بصورت آفتاب خشک، مرحله خشک شدن نمونه‌ها در داخل گرمخانه و با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام شده و این خشک شدن نمونه‌ها یک هفته به طول انجامید. جدول (۴) نتایج نفوذپذیری در سیکل‌های خشک شدن با ذکر مقدار تغییر درصد رطوبت برای شش نمونه خاک مورد بررسی را نشان داده است.

جدول ۴- نتایج نفوذپذیری با بار افتان در دوره‌های مختلف

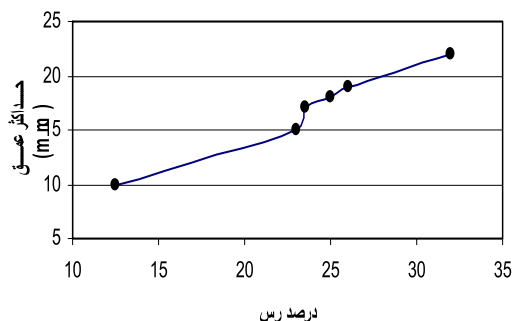
شماره نمونه	نمونه متراکم		سیکل اول		سیکل دوم	
	نفوذپذیری اولیه	تغییر درصد رطوبت	نفوذپذیری	تغییر درصد رطوبت	نفوذپذیری	تغییر درصد رطوبت
۱	$7/1 \times 10^{-9}$	۱۵/۹	$4/2 \times 10^{-8}$	۱۶/۷	$5/1 \times 10^{-8}$	
۲	$1/55 \times 10^{-9}$	۱۵	$6/58 \times 10^{-9}$	۱۵/۳	$6/8 \times 10^{-9}$	
۳	$3/33 \times 10^{-8}$	۱۷/۱	$2/3 \times 10^{-7}$	۱۸/۶	3×10^{-7}	
۴	$5/4 \times 10^{-9}$	۱۵/۹	$2/3 \times 10^{-8}$	۱۷/۵	$2/55 \times 10^{-8}$	
۵	$5/19 \times 10^{-9}$	۱۸	$2/7 \times 10^{-8}$	۱۸/۳	$3/1 \times 10^{-8}$	
۶	3×10^{-9}	۲۰/۱	$2/36 \times 10^{-8}$	۱۷/۷	$3/4 \times 10^{-8}$	

بررسی کیفی مشاهدات ترک‌خوردگی

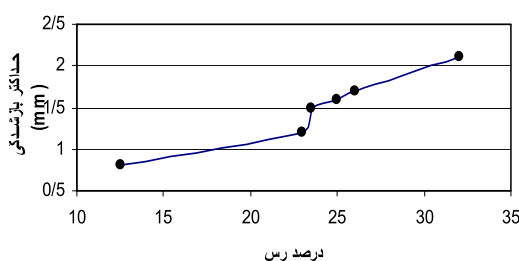
بررسی ظاهری وضعیت ترک‌خوردگی این نمونه‌ها بیانگر توزیع گسترده و زیاد ترک‌ها در نمونه خاک ۶ می‌باشد بطوری که میزان طول ترک ۵۴ میلی‌متر، عمق نفوذ ترک در این خاک حدود ۲۲ میلی‌متر و بازشدگی آن ۲/۱ میلی‌متر می‌باشد. میزان ترک‌خوردگی نمونه خاک ۲ در مقایسه با سایر نمونه‌ها بسیار ناچیز می‌باشد، در جدول (۵) مقادیر و مشخصات حداکثر ترک‌های نمونه‌ها مشخص شده است. بررسی مقایسه‌ای ترک‌خوردگی نمونه‌ها و نتایج



شکل ۷- تغییرات حداکثر طول ترک با درصد رس خاک



شکل ۸- تغییرات حداکثر بازشدگی ترک با درصد رس خاک ها

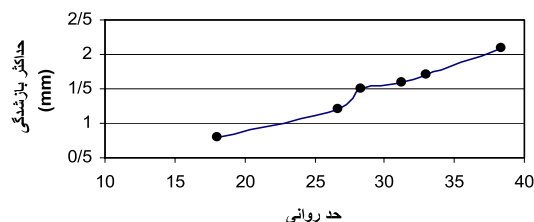


شکل ۹- تغییرات حداکثر عمق ترک با درصد رس خاک ها

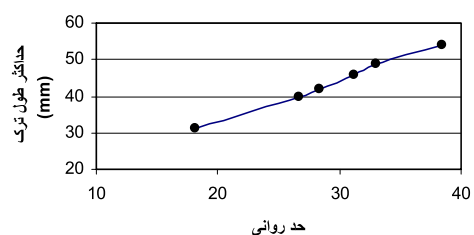
تحلیل نتایج آزمایش نفوذپذیری

آزمایش نفوذپذیری در سه حالت نفوذپذیری اولیه (K_0)، نفوذپذیری پس از سیکل اول خشک شدگی و اشباع (K_1) و نیز نفوذپذیری در انتهای سیکل دوم خشک شدگی و اشباع (K_2) انجام گرفته و مقادیر نسبت سه حالت نفوذپذیری در جدول (۶) آمده است.

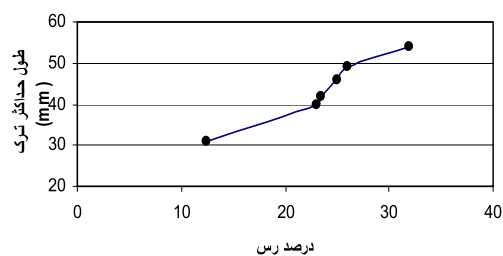
برای شش نمونه خاک مورد تحقیق ارائه شد. بر اساس آزمایش‌های فیزیکی و جدول (۵) که بیانگر مشخصات حداکثر ترک حاصل از خشک شدگی می‌باشد، شکل (۴) الی (۶) تغییرات حد روانی شش خاک با مقادیر حداکثر طول، بازشدگی و عمق ترک و شکل (۷) الی (۹) تغییرات درصد رس شش خاک با حداکثر طول، بازشدگی و عمق ترک را نشان می‌دهد. بررسی نمونه‌ها حاکی است که خاک ۶ که دارای بیشترین مقدار حد روانی و درصد رس می‌باشد، دارای بیشترین مقدار طول، بازشدگی و عمق ترک بوده و خاک ۲ که دارای کمترین حد روانی و درصد رس است، کمترین میزان حداکثر ترک حاصل از خشک شدگی را نشان می‌دهد، که با یافته ای دیگر محققین هم راستاست [۵].



شکل ۴- تغییرات حداکثر طول ترک با حد روانی خاکها



شکل ۵- تغییرات حداکثر بازشدگی ترک با حد روانی خاک ها



شکل ۶- تغییرات حداکثر عمق ترک با حد روانی خاکها

جدول ۶- نتایج نفوذپذیری و نسبت های تغییرات در دوره‌ها برای نمونه‌ها

نمونه متراکم	سیکل اول		سیکل دوم		خاک
	نفوذپذیری اولیه K_0 m/s	نفوذپذیری K_1 m/s	نفوذپذیری K_2 m/s	K_2/K_1 K_2/K_0	
۱	7.1×10^{-9}	4.2×10^{-9}	5.1×10^{-8}	۵/۹	۱/۲۱
۲	1.55×10^{-9}	6.58×10^{-9}	6.8×10^{-9}	۴/۲	۱/۰۳
۳	3.33×10^{-9}	2.3×10^{-7}	3×10^{-7}	۶/۹	۱/۳
۴	5.4×10^{-9}	2.38×10^{-9}	2.55×10^{-9}	۴/۴	۱/۰۷
۵	5.19×10^{-9}	2.7×10^{-9}	3.1×10^{-9}	۵/۲	۱/۱۵
۶	3×10^{-9}	2.36×10^{-9}	3.4×10^{-9}	۷/۸	۱/۴۴

برای بررسی تاثیر خشک شدن روی ترک خوردگی و در نهایت تغییرات نفوذپذیری خاک‌های ریزدانه، نمونه‌های مورد بررسی در طی دو دوره عملیات خشک شدن و اشباع مجدد قرار گرفته‌اند. پس از پایان هر مرحله خشک‌شدگی و اشباع مجدد نمونه‌ها، آزمایش نفوذپذیری بر روی آنها انجام گرفته و نتایج سه نمونه از هر نوع خاک به عنوان میزان نفوذپذیری نمونه‌ها در نظر گرفته شده است.

مشاهدات نمونه‌های خشک شده نشان می‌دهد که نمونه‌ها بر اساس مشخصات فیزیکی و ترکیب مصالح تشکیل‌دهنده، در حین عملیات خشک‌شدگی، به دلیل از دست دادن رطوبت، دچار ترک خوردگی می‌گردند، ابعاد و موقعیت ترک‌ها بسته به مشخصات نمونه‌ها متغیر می‌باشد. بنابراین میزان تاثیر ترک‌ها بر نفوذپذیری نمونه‌ها نیز متفاوت خواهد بود. همچنان که مشخص است میزان نفوذپذیری نمونه‌ها در انتهای سیکل اول خشک‌شدگی و اشباع نسبت به نفوذپذیری اولیه تغییر یافته است. به طوری که نسبت K_1/K_0 از حدود $4/2$ تا $7/8$ در نمونه‌های مورد بررسی تغییر داشته است. این نسبت برای نمونه خاک ۶ حدود ۸ برابر بوده و نشانگر افزایش گسترده درز و ترک در

این نمونه و به تبع آن افزایش میزان نفوذپذیری این مصالح می‌باشد.

میزان تغییرات نفوذپذیری نمونه‌های مورد بررسی در مرحله دوم خشک‌شدگی - اشباع نسبتاً ثابت و نشانگر تغییر جزئی میزان نفوذپذیری نسبت به سیکل اول بوده و بیانگر تاثیر تعدد سیکل‌های خشک‌شدگی و اشباع در خاک‌های مورد بررسی می‌باشد.

برای تعیین تاثیر مشخصات فیزیکی و شناسایی خاک‌های ریزدانه مورد بررسی بر میزان و نفوذپذیری آنها و در صورت امکان ارائه شاخصی برای ارزیابی کارایی این خاک‌ها به لحاظ کاربرد در لایه‌های نفوذناپذیر، برخی پارامترها مثل دامنه خمیری، حد روانی، میزان فعالیت و سایر ویژگی‌های فیزیکی این خاک‌ها شناسائی شده و تاثیر آنها بر میزان نفوذپذیری نمونه‌های شش گانه طرح مورد بررسی قرار گرفته است. لایه نفوذپذیر رسی برای اینکه کارایی مناسبی داشته باشد باید:

الف) نفوذپذیری آن قبل و بعد از ترک خوردگی در حد مناسب باشد.

ب) خاصیت خودترمیمی آن بالا باشد.

تاثیر شاخص خمیری بر نفوذپذیری

شکل (۱۰) تاثیر شاخص خمیری بر کارایی خاکهای شش گانه نشان می‌دهد، در خاک‌های با شاخص خمیری ۱۴-۶ نفوذپذیری خاک کمتر از دوره خشک‌شدگی متاثر بوده و نیز با توجه به نفوذپذیری مناسب قبل و بعد از ترک خوردگی، خاک کارایی مناسب دارد. با توجه به آزمایش‌های نفوذپذیری به دلیل پایین بودن نفوذپذیری خاک قبل و بعد از ترک خوردگی حتی با این که شدت ترک خوردگی در آن بالا بوده کارایی خاک رسی در PI کمتر از ۱۴ مناسب می‌باشد.

نفوذپذیری نسبی $K_r = K_2 / K_1$ به عنوان معیار بررسی کارایی هر خاک به لحاظ کاربرد در لایه های نفوذناپذیر در نظر گرفته شده است. این معیار بر اساس نتایج تحقیق حاضر مبتنی بر دو ویژگی اصلی یعنی ترک خوردگی کمتر و خاصیت خودترمیمی بیشتر می باشد که به عنوان کارایی کاربرد این خاک ها به لحاظ کاهش نفوذپذیری یا حفظ نفوذناپذیری اولیه مطرح می باشند.

بر اساس تحقیق حاضر خاک هایی که دارای معیارهای ذیل باشند جهت کاربرد در طراحی مدفن های مهندسی زباله و یا محلی که لایه نفوذناپذیر مورد نیاز می باشد مناسب است:

- هر چه میزان نفوذپذیری نسبی به عدد یک نزدیکتر باشد خاک مربوطه جهت کاربرد در طراحی مدفن مهندسی زباله مناسب تر است.

- با افزایش شاخص خمیری، مقدار نفوذپذیری افزایش و با کاهش شاخص خمیری نتیجه معکوس حاصل می شود.

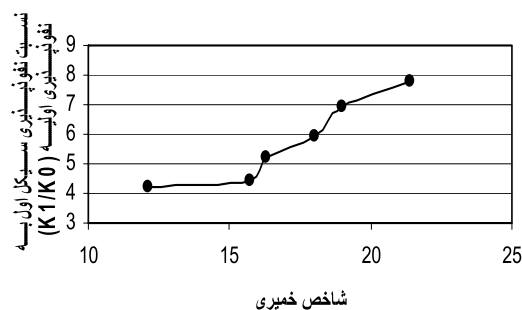
- خاک های با مقدار فعالیت $0/51$ الی $0/54$ به لحاظ مقدار نفوذپذیری آنها مناسب برای لایه های نفوذناپذیر نمی باشند.

- خاک هایی که دارای درصد آهک بیشتری باشند، دارای ترک کمتر و در نتیجه نفوذپذیری کمتری می باشند. خاک های با شاخص خمیری کم، در معرض ترک خوردگی کمتری واقع می شود و در نتیجه کمتر در دوره خشک شدگی متاثر خواهند گردید.

منابع

۱- بازیار، م. ن، و صالح زاده، ح، ۱۳۷۴، آزمایشگاه مکانیک خاک، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۲ ص.

به این ترتیب می توان نتیجه گرفت محدوده $PI < 14$ با توجه به نتایج بدست آمده برای خاک لایه نفوذپذیر مناسب بوده و کارایی بهتری از خود نشان داده اند.

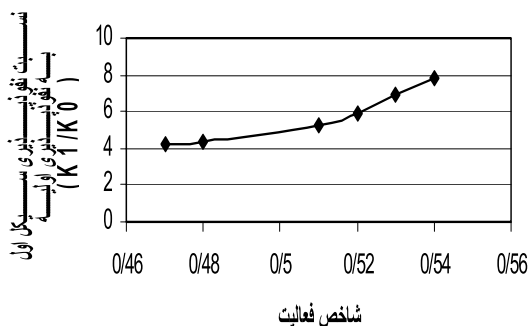


شکل ۱۰- تاثیر شاخص خمیری بر میزان نسبت نفوذپذیری

$$K_1 / K_0$$

بررسی تاثیر فعالیت خاک های مورد بررسی بر میزان نفوذپذیری

شکل (۱۱) تاثیر شاخص فعالیت را بر کارایی خاک های شش گانه نشان می دهد، خاک ۲ و ۴ با در نظر گرفتن نفوذپذیری کم کارایی مناسبی دارد.



شکل ۱۱- تاثیر فعالیت خاک های مورد بررسی بر میزان نسبت

$$K_1 / K_0 \text{ نفوذپذیری}$$

نتیجه گیری

در این تحقیق مقدار نفوذپذیری در انتهای سیکل های اول و دوم خشک شدگی- اشباع، به مقدار نفوذپذیری اولیه نمونه K_1 / K_0 و K_2 / K_0 و همچنین

hydraulic conductivity of compacted clay liners, constructing and controlling compaction of earthfills, University of Wisconsin, Madison. 262.

6- Chertkov, V.Y., 2002, Characteristic crack dimension of saturated drying soils, Journal of scientific Research and development, ejournal, Vol. IV., Israel.

7- Hallett, P., and Nelson, T. A., 1998, Desiccation of a sensitive clay, application of the model crack, Canadian Geotechnical Journal, 35: 1109 – 1110.

۲- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۰، طراحی، اجرا، نگهداری و بهره برداری خاکچال‌های بهداشتی برای زباله شهری، نشریه شماره ۲۱۷، مرکز مدارک علمی و انتشارات ۱۵۰ ص.

۳- طاحونی، ش، ۱۳۷۶، مهندسی ژئوتکنیک، جلد اول (ویرایش دوم)، مکانیک خاک، انتشارات دهخدا ۴۵۱ ص.

۴- هوشیار، ی، ۱۳۸۵، شناسایی خاک‌های خودترمیم به منظور کنترل رگاب در هسته سدهای خاکی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی ۱۱۳ ص.

5-Benson, C., and Boutwell, G., 2000, Compaction condition and scale dependent