



بررسی تأثیر شیرابه زباله بر رفتارهای مقاومتی خاک‌های رُسی با خاصیت خمیری زیاد و کم

احد اوریا^۱، علی فارسی جانی

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۷ شهریور ۱۳۹۶
بازنگری: ۲۴ آبان ۱۳۹۶
پذیرش: ۲۴ آبان ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۲۹ آبان ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

شیرابه زباله
پارامترهای مقاومتی
خاک‌های ریزدانه
خاصیت خمیری زیاد
خاصیت خمیری کم

چکیده: میزان تولید زباله‌های شهری به صورت وصف نشدنی با گسترش شتابان جمعیت افزایش می‌یابد. یکی از راه‌های دفع این زباله‌ها از محیط اطراف زندگی بشر، دفن آنها است. دفن یا دیوی روباز این زباله‌ها در محیط زیست از یک طرف و بارش‌های جوی از سوی دیگر سبب ایجاد شیرابه‌ای از این زباله‌ها می‌گردد که به علت نفوذ در بین ذرات خاک تأثیراتی بر رفتارهای مکانیکی خاک‌ها دارد. در این پژوهش قصد بر آن است که با انجام آزمایش‌های تحکیم، تراکم، برش مستقیم، تعیین حدود اتربرگ و تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی به بررسی این تأثیرات پرداخته شود. از این رو نمونه‌های خاک با درصد‌های مختلف آلودگی در قالب دستگاه ادئومتر و برش مستقیم در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت پس از ساخت نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفتند و با نمونه خاک غیر آلوده در فضای تخلخل-تنش و تنش برشی-جابجایی افقی، در کوتاه مدت و بلند مدت مورد مقایسه قرار گرفتند. با مشاهده گذر زمان بر روند تأثیر شیرابه روی مقاومت خاک مشاهده شد که پس از گذر زمان، درصد‌های کم شیرابه در نهایت همانند درصد‌های زیاد شیرابه بر روی خاک تأثیر خواهند گذاشت. از یک طرف افزایش تأثیر درصد‌های زیاد بعد از گذر زمان در خاک ثابت شده و از طرف دیگر تأثیر درصد‌های کم در خاک افزایش می‌یابد تا به مقادیر تأثیر درصد‌های زیادتر برسد. در واقع نقطه بیشینه تأثیرات دو درصد کم و زیاد یکسان می‌گردد.

۱- مقدمه

خاک یکی از فاکتورهای مهم زیست محیطی به شمار می‌رود. بدون داشتن خاک سالم، حیات و زندگی بر روی زمین امکان پذیر نخواهد بود. انسان برای دست یافتن به اهداف کوتاه‌مدت خود به طبیعت آسیب می‌رساند. در اثر فعالیت‌های بشر نه تنها آب و هوا، بلکه خاک نیز آلوده می‌شود. آلوده شدن زمین باعث ایجاد آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی و تغییراتی در وضعیت سازه‌های واقع بر روی خاک می‌شود. هر تغییری در مشخصات مهندسی لایه خاک می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت باربری و افزایش نشست کلی و نسبی سازه شود. در نتیجه سازه‌ها دچار گسیختگی شده و از نظر کاربردی غیر قابل استفاده می‌شوند [۱]. عوامل متعددی می‌تواند سبب آلودگی خاک شود. دفن پسماند شهری یکی از روش‌های مقرون به صرفه جهت دفع زباله از محیط زندگی بشر می‌باشد [۲ و ۳]. در این روش زباله‌ها در بین خاک، پخش و متراکم شده و در ادامه با لایه دیگری از خاک پوشانده می‌شود. دفن و انباشت روباز زباله باعث انتشار شیرابه حاصل از آن در خاک و محیط اطراف می‌گردد که در صورت عدم هدایت و جمع‌آوری مناسب، آثار جبران ناپذیری بر روی محیط و خاک‌های اطراف دارد [۴-۶].

مواد شیمیایی حاصل از شیرابه زباله‌ها یا به صورت مواد جذبی توسط ذرات خاک جذب می‌شوند یا به صورت مایع حل نشدنی بین ذرات خاک محبوس می‌شوند. با گذشت زمان، مواد شیمیایی حاصل از شیرابه زباله که جذب ذرات خاک گشته‌اند، در بافت خاک پخش شده و سبب آلودگی خاک در گستره بیشتری می‌گردند [۷-۱۱] که تأثیر قابل توجهی بر رفتار زیست محیطی و مهندسی خاک دارند [۱۲ و ۱۳].

با توجه به رشد روز افزون جمعیت، زباله‌های جامد شهری یکی از عوامل مهم آلودگی خاک محسوب می‌گردد. چنانچه دفن زباله بدون روش‌های پیش اصلاحی و در دیوهای روباز انجام گیرد و نیز نرخ بارش‌های جوی در آن ناحیه بیشتر از سرعت تبخیر باشد، آب در محیط دفن باقی مانده و از طریق واکنش با ذرات زباله‌های شهری سبب ایجاد شیرابه می‌گردد [۱۴ و ۱۵]. عدم اجرای سیستم‌های جمع‌آوری شیرابه و نیز پوشش‌های پایانی لندفیل^۱، سبب نفوذ بیشتر شیرابه حاصل از زباله‌ها به خاک‌های اطراف می‌شود که تأثیر مستقیم بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک داشته و سبب تغییر در رفتار تغییرات حجمی، مقاومت برشی و هیدرولیکی خاک می‌شود [۱۶]؛ برای جلوگیری از نفوذ بیشتر شیرابه به آب‌های زیرزمینی، از خاک رُس و یا بنتونیت که نفوذناپذیرتر می‌باشد، استفاده می‌شود [۱۷]؛ از اینرو بسیاری

^۱نویسنده عهده‌دار مکاتبات: aouria@uma.ac.ir

پژوهشگرانی با بررسی رفتار خاک‌های آلوده به شیرابه‌های زباله با درصد‌های مختلف آلودگی که از مخلوط کردن شیرابه با آب مقطر حاصل شده بود، بیان داشتند که ویژگی مکانیکی خاک‌های آلوده به شیرابه با افزایش درصد شیرابه، کاهش می‌یابد [۳۱]. درباره تحکیم و مقاومت برشی خاک‌های رُسی در معرض شیرابه‌ها نیز تحقیقاتی صورت گرفته است که در نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر، به آنها اشاره خواهد شد و مقایسه صورت می‌گیرد. همانطور که بیان شد، برای جلوگیری از پخش شیرابه در آب‌های زیرزمینی از خاک‌های رُسی که نفوذپذیری کمتری دارند استفاده می‌شود. از اینرو اکثر پژوهشگران به بررسی شیرابه بر روی خاک‌های رُسی پرداخته‌اند که به همین علت در این تحقیق نیز خاک رُسی انتخاب شده است و با توجه به آنکه رفتار خاک‌های CH و CL گاهی با هم تفاوت داشته است، از هر دو نوع خاک در تحقیق استفاده شده است.

در این تحقیق به بررسی تأثیر شیرابه زباله‌ها بر روی پارامترهای مقاومتی خاک از طریق جایگزینی شیرابه زباله به جای آب منفذی پرداخته شده است، تا گامی در جهت تعیین تأثیراتی که از چشم محققین دیگر دور مانده است، برداشته شود و با بیان آنها کمکی در جهت احاطه بیشتر محققین و طراحان بر تغییرات رفتار خاک آلوده برداشته شود تا طراحان با علم و آگاهی بیشتر به طراحی سازه بر چنین خاک‌هایی بپردازند. می‌توان اذعان داشت که در این تحقیق نگاهی متفاوت به این موضوع نسبت به محققین دیگر شده است. اکثر پژوهشگران به خاک را رُسی به عنوان مانعی از گسترش شیرابه به آب‌های زیرزمینی (به علت نفوذپذیری کم)، توجه داشته و از این لحاظ پارامترهای ژئوتکنیکی خاک را در معرض شیرابه مورد بررسی قرار داده‌اند. حال آنکه در این تحقیق از دیدگاه مهندسی عمران به بررسی پارامترهای ژئوتکنیکی خاک پرداخته شده است که اهمیت تحقیق را بیان می‌دارد. لازم به توضیح است که بخش گسترده آزمایش‌ها بر اساس استاندارد ASTM و دستورالعمل انجام آزمایشات ژئوتکنیک زیست محیطی دانشگاه مک گیل کانادا انجام شده است [۳۲].

۲- تعریف مفاهیم اصلی

۲-۱- شیرابه زباله

بارش‌های جوی تحت اثر نیروی ثقلی به پایین حرکت نموده و در تماس با زباله‌ها، از طریق واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی ذرات و مواد زباله‌ها را در خود حل می‌کند. واکنش ذرات داخل زباله‌ها با آب‌های جوی و رطوبت مابین خود زباله‌ها، سبب ایجاد مایعی چسبناک می‌گردد که بوی غیر قابل استنشام و بسیار نامطبوعی دارد؛ مایع حاصل همان شیرابه زباله می‌باشد [۱۵ و ۳۳]. شکل شماره ۱ نمونه شیرابه را نشان می‌دهد.

از محققین به بررسی تأثیر شیرابه‌های موجود در لندفیل‌ها، محلول‌های شیمیایی با پایه نمک و فلزات سنگین موجود در شیرابه‌ها بر روی خاک رُسی و بنتونیت که رُسی با ۸۵ درصد مونتورینیت می‌باشد، سعی به بررسی و شناخت بیشتر تأثیرات شیرابه‌ها بر روی خاک‌های رُسی به علت اهمیت این موضوع داشته‌اند [۱۳ و ۱۵].

نکته مهم این است که با توجه به گذر زمان و ارتباط بیشتر شیرابه و خاک، دمای محیط، نوع خاک (CH, CL) و pH شیرابه‌ها، تأثیرات مشاهده شده شیرابه بر خاک متفاوت بوده است و بین محققین در بسیاری از موارد، یک اجماع کلی وجود ندارد. در ادامه به یافته‌های برخی از محققین اشاره شده است.

بعضی از محققین به بررسی خاک با خاصیت خمیری کم (CL) و محلول‌هایی با پایه نمک، پرداخته‌اند. آنها نشان دادند که هر چه مقدار غلظت شیرابه (محلول با پایه نمک) بیشتر شود، حد روانی و حد خمیری (LL, PL) زیاد می‌شود [۱۸ و ۱۹].

محققین دیگر به بررسی بر روی دو نوع خاک (۱۰۰ درصد کائولینیت و دیگری مخلوطی از ۳۰ درصد کائولینیت و ۷۰ درصد ماسه) با محلول شیرابه حاوی ترکیبات آلی سطح‌فعال (اکتیل فنول، پلی‌اکسی‌اتیلن، بیوسورفکتانت، سولفات سدیم) و محلول‌های الکترولیتی ($\text{NaPO}_3, \text{CaCl}_2$) پرداختند و نشان دادند که محلول شیرابه بر حد روانی بی‌تأثیر بوده، در حالی که سبب کاهش حد خمیری در خاک می‌شود. به صورت مشابه پژوهشی بر روی خاک با خمیری کم صورت گرفت و نشان داده شد که شیرابه بر حد روانی تأثیری ندارد و سبب کاهش مقدار حد خمیری می‌شود [۲۰].

محققین دیگر با ترکیب خاک CL و شیرابه حاوی سدیم‌هیدروکسید (NaOH)، بیان داشتند که افزایش غلظت شیرابه باعث افزایش حد روانی می‌شود [۲۱]. محققین دیگر نشان دادند که مقادیر حد روانی خاک‌های CL با افزایش درصد محلول‌های پایه نمک و دما، تغییر می‌کند [۲۲ و ۲۳]. همچنین حد روانی خاک CH با افزایش غلظت و دمای محلول‌های حاوی سدیم کلرید (NaCl) و پتاسیم کلرید (KCl)، کاهش می‌یابد [۲۴]. علاوه بر این محققین دیگر نیز بیان داشتند که حد روانی خاک CH با آب مقطر نیز با افزایش دما، افزایش می‌یابد [۲۵].

درباره هدایت هیدرولیکی خاک‌های رُسی باید بیان داشت که به طور قوی وابسته به سیال درون حفرات خاک می‌باشد [۲۶]. مطالعات آزمایشگاهی گسترده‌ای بر روی بررسی تأثیر اجزاء شیرابه روی خاک‌ها در این زمینه صورت گرفته است [۲۷-۲۹]. تعدادی از پژوهشگران که بر روی تأثیر شیرابه زباله‌ها با pH قلیایی بر روی خاک رُسی پرداخته‌اند؛ بیان داشتند که ذرات شیرابه، در بین ساختار خاک رُسی قرار گرفته و سبب کاهش هدایت هیدرولیکی آن شده است [۱۵]. همچنین هنگامی که از شیرابه اسیدی ($\text{pH} > 7$) استفاده شد، مشاهده گردید که مقدار هدایت هیدرولیکی افزایش یافته است؛ مواد معدنی در فضای منفذی توسط شیرابه حل شده و تخلخل افزایش یافته، در نتیجه هدایت هیدرولیکی نیز افزایش یافته است [۳۰].

نمونه اول در رده CH و نمونه دوم در رده CL طبقه بندی می‌شود.

۳-۲- مشخصات شیرابه مصرفی در این تحقیق

شیرابه این تحقیق از محل دفن زباله‌های جامد شهری در شمال کشور (سراوان رشت) که دارای اقلیم معتدل خزری است، جمع‌آوری شده است. مشخصات شیرابه مذکور توسط آزمایش جذب اتمی شعله‌ای و آنالیز خطی و صفحه‌ای میکروسکوپ الکترونی تعیین و در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: مشخصات شیرابه جمع‌آوری شده در دمای محیط

Table. 2. Composition of the leachate at ambient temperature

pH		۷/۵-۷/۹	
mg/lit		واحد غلظت مواد تشکیل دهنده	
ساختار	نوع ساختار	مقدار	
ساختار نیتروژنی	NH ₃ -N	۱۱۴۰-۲۵۹۱	
یونها	Cl ⁻	۵۶۳۰-۶۳۴۰	
	SO ₄ ⁴⁻	۱۴۲-۳۵۲	
فلزات	Mg	۳۶۳/۸-۶۴۰	
	Ca	۹۷-۷۸۷/۵	
	Mn	۰/۱۱-۵/۶	
	Fe	۱۴/۲-۴۴	
	Cr	۰/۰۲-۰/۷۸	
	Ni	۰/۳۲-۰/۴۵	
	Cu	۰/۰۲-۰/۱۳	
	Zn	۰/۳۸-۱/۰۶	
	Cd	۰/۰۱	
	Pb	۰/۰۴	

۳-۳- روش ساخت و برنامه آزمایشگاهی

در گام اول، خاک در داخل آون^۱ به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و بعد خشک شدن کامل، با اضافه کردن شیرابه، نمونه‌هایی با درصدهای مختلف ساخته شد. روش آماده‌سازی نمونه‌ها با درصدهای متفاوت بدین صورت بوده است که وزن شیرابه با افزایش ۰٪، ۰٫۵٪، ۱٪ و ۲۰٪ بر حسب وزن خاک خشک، به نمونه‌ها اضافه و مخلوط شد تا نمونه‌هایی با درصدهای ۰٪، ۰٫۵٪، ۱٪ و ۲۰٪ آماده گردد.

1 Oven



شکل ۱: نمونه شیرابه

Fig. 1. Sample of leachate

۳- برنامه آزمایش

۳-۱- مشخصات نمونه‌های خاک مورد مطالعه

در این پژوهش، دو نوع خاک ریزدانه با مشخصات متفاوت برای بررسی مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه اول خاکی ریزدانه و دارای خاصیت خمیری زیاد و نمونه دوم خاکی ریزدانه و دارای خاصیت خمیری کم می‌باشد. همانطور که در ادبیات خاک‌های آلوده به شیرابه بیان شد، مابین رفتار خاک‌های خمیری و غیرخمیری هنگامی که در معرض شیرابه قرار می‌گیرند، تفاوت‌هایی وجود دارد. از اینرو در این تحقیق هر دو نوع خاک تحت تأثیر شیرابه یکسان قرار خواهند گرفت تا نوع تفاوت مابین رفتار این دو نوع خاک بهتر مورد بررسی قرار گیرد. این دو نوع خاک از محل دفن زباله جمع‌آوری نشده‌اند. جدول شماره ۱ مشخصات حدود اتربرگ، مشخصات تراکمی و وزن مخصوص جامد نمونه‌های خاک اول و دوم را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات حدود اتربرگ، مشخصات تراکمی و وزن مخصوص جامد نمونه‌های خاک

Table. 1. Atterberg limits and compaction properties of soil

خاک اول	خاک دوم	
۱۸	۱۷	درصد رطوبت بهینه
۱/۴۵	۱/۵۲	وزن مخصوص خشک ماکزیم (gr/cm ³)
۵۹	۴۰	حد روانی (%)
۲۷/۵	۲۴	حد خمیری (%)
۳۱/۵	۱۶	نشانه خمیری (%)
۲/۸۷	۲/۷۸	چگالی ویژه ذرات خاک

۴- نتایج آزمایش‌ها

۴-۱- حدود اتربرگ

حدود اتربرگ نمونه‌های خاک پس از ترکیب با درصد‌های مختلف شیرابه بعد از ۱۸۰ روز مورد بررسی قرار گرفت. خلاصه نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. تغییرات حدود اتربرگ در مدت زمان ۴۸ ساعت پس از آلودگی نیز مورد بررسی قرار گرفت که روند تغییرات مشابه با نمونه‌های ۱۸۰ روزه ولی با بازه تغییرات کمتر بوده است.

جدول ۳: مشخصات حدود اتربرگ خاک با شیرابه

Table. 3. Atterberg limits of leachate contaminated soil

حدود اتربرگ	خاک بدون شیرابه	خاک با ۵٪ شیرابه	خاک با ۱۰٪ شیرابه	خاک با ۲۰٪ شیرابه
LL(CH)	۵۹	۵۴	۵۱	۴۷
LL(CL)	۴۰	۴۴	۴۷	۵۴
PL(CH)	۲۷/۵	۲۵	۲۳	۲۰
PL(CL)	۲۴	۲۵	۲۴	۲۴
PI(CH)	۳۱/۵	۲۹	۲۸	۲۷
PI(CL)	۱۶	۱۹	۲۳	۳۰

همانطور که مشاهده می‌شود، حدود اتربرگ خاک‌های CH و CL هنگامی که در معرض درصد‌های مختلف شیرابه قرار می‌گیرند، با یکدیگر متفاوت می‌باشد. در بخش مقدمه این تحقیق بیان شد که اجماع کلی بر روی تغییرات حدود اتربرگ توسط شیرابه بر روی خاک‌ها وجود ندارد و می‌تواند بر حسب نوع شیرابه (اسیدی یا قلیایی) و نوع خاک (CH یا CL) متفاوت باشد. در این تحقیق دو نوع خاک با یک نوع شیرابه قلیایی (pH بیشتر از ۷) مورد آزمایش قرار گرفته است تا با مقایسه نسبت به دستاورد پژوهشگران دیگر، بتوان اظهار نظر کلی در این باره برای شیرابه‌هایی با PH بیشتر از ۷ بیان نمود.

در این پژوهش مشاهده شد که یک نوع از شیرابه با درصد یکسان بر روی دو نمونه از خاک با خاصیت خمیری کم و زیاد، تغییراتی به شرح زیر ایجاد می‌نماید. در خاک با خاصیت خمیری زیاد، مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار درصد شیرابه از مقدار حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری خاک، کاسته شده است. در حالی که با افزایش درصد شیرابه، مقدار حد روانی در خاک با خاصیت خمیری کم، زیاد شده و بر حد خمیری آن بی تأثیر بوده است.

محققین بسیاری به صورت مجزا یا بر روی خاک CH و یا بر روی خاک CL تحقیقاتی را با شیرابه‌های مصنوعی و یا جمع‌آوری شده از لندفیل‌ها

تمامی نمونه‌های خاک با درصد‌های مختلف آلودگی قبل از بازسازی قالب‌های دستگاه برش مستقیم و ادئومتر، تحت آزمایش پروکتور استاندارد تراکم قرار گرفتند تا مقادیر رطوبت بهینه و وزن مخصوص بیشینه برای خاک‌ها با درصد‌های مختلف آلودگی مشخص شود. از اینرو نمونه‌ها با درصد‌های مختلف آلودگی در دمای اتاق (۲۵ تا ۳۰ درجه) و در جریان آزاد هوا به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند تا میزان رطوبت آنها به علت افزایش شیرابه و ساخت درصد‌های مختلف، کم و یکسان شود (مقدار غلظت آلودگی در خاک‌ها تغییر نخواهد کرد)، سپس آزمایش تراکم بر روی نمونه‌ها انجام و بر اساس یافته‌های آن، نمونه‌سازی‌های برش مستقیم و تحکیم ادئومتر صورت گرفت. لازم به توضیح است که تمامی نمونه‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس و تحکیم یک بعدی یکبار در وزن مخصوص بیشینه و رطوبت بهینه خود و بار دیگر در رطوبت و تراکم یکسان بازسازی شدند تا تفاوت تغییرات احتمالی در منحنی تراکمی خاک‌ها با نسبت‌های مختلف آلودگی در آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس و تحکیم یک بعدی مرتفع شود. سپس مقدار وزن لازم خاک جهت ساخت نمونه با توجه به مشخص بودن حجم قالب آزمایش برش مستقیم و تحکیم یک بعدی با در نظر گرفتن وزن مخصوص مشخص، تعیین گردیده است. نهایتاً خاک‌ها با درصد‌های مختلف آلودگی به صورت استاتیکی در قالب دستگاه‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس و تحکیم تک محوری ریخته شده و متراکم گردیدند.

لازم به توضیح است که زمان‌های آزمایش با آزمون و خطا انتخاب گردیده‌اند، زیرا نتیجه مهم پژوهش (متوقف شدن تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی خاک آلوده به شیرابه) بعد از ۱۸۰ روز بدست آمد و نمونه‌های تحت آزمایش پس از ۱۸۰ روز، نتایج مشابه با نمونه‌های تحت آزمایش در ۱۸۰ روز را ارائه دادند. شکل شماره ۲ نمونه‌های آلوده به شیرابه را برای آزمایش بلند مدت (برای تحکیم) نشان می‌دهد.



شکل ۲: نمونه‌های مخلوط با شیرابه برای آزمایش بلند مدت

Fig. 2. Sample contaminated with leachate for long term testing

تراکم بیشینه در حالت غیر آلوده رسید؛ می‌توان دلیل آن را همانند محققین دیگر [۳۰] به تغییر مایع منفذی خاک بر اثر جایگزینی با شیرابه نسبت داد.

۴-۳- نتایج آزمایش تحکیم

نمونه‌های تحکیمی پس از ساخت طبق استاندارد ASTM D2435-70 در داخل دستگاه تحکیم یک بعدی تحت بارگذاری قرار گرفتند. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های تحکیم به صورت منحنی ارائه شد.

شرایط اولیه نمونه‌ها در جدول شماره ۴ ارائه شده است. همانگونه که در جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود، هر دو نمونه خاک در درصد آلودگی‌های ۰٪، ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪، در زمان‌های ۴۸ ساعته و ۱۸۰ روزه پس از ساخت (بسته بندی و محفوظ شده در چندین لایه پلاستیک)، مورد آزمایش تحکیم یک‌بعدی قرار گرفته‌اند، تا تحت شرایط مختلف و یکسان برای دو نمونه خاک، تأثیرات شیرابه بر رفتار تحکیمی خاک‌های ریزدانه مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۴: مشخصات اولیه نمونه‌های تحکیم

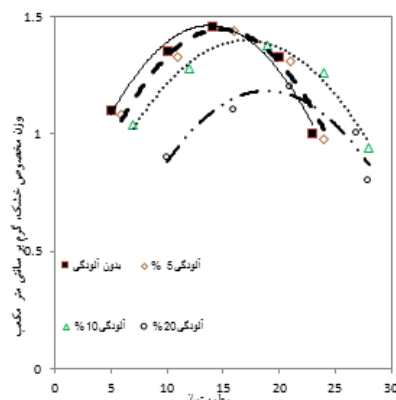
Table. 4. Initial conditions of consolidation test samples

شماره نمونه	نوع خاک	زمان آغاز آزمایش پس از ساخت	درصد آلودگی
۱	CH		۰
۲	CH	۴۸ ساعت	۵
۳	CH	۴۸ ساعت	۱۰
۴	CH	۴۸ ساعت	۲۰
۸	CH	۱۸۰ روز	۵
۹	CH	۱۸۰ روز	۱۰
۱۰	CH	۱۸۰ روز	۲۰
۱۱	CL		۰
۱۲	CL	۴۸ ساعت	۵
۱۳	CL	۴۸ ساعت	۱۰
۱۴	CL	۴۸ ساعت	۲۰
۱۸	CL	۱۸۰ روز	۵
۱۹	CL	۱۸۰ روز	۱۰
۲۰	CL	۱۸۰ روز	۲۰

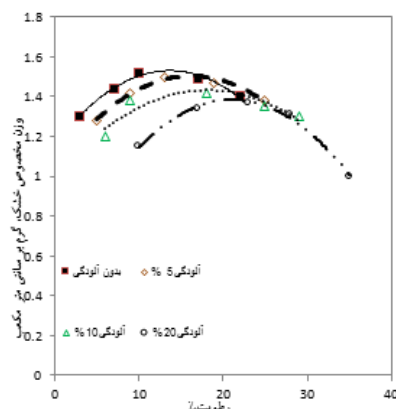
انجام داده‌اند [۱۳ و ۲۱ و ۲۳ و ۲۴] در حالی که در این تحقیق سعی شد با بررسی همزمان خاک خمیری و غیر خمیری که تحت تأثیر مقدار یکسان شیرابه قرار داشتند، جمع بندی مناسب‌تری حاصل شود.

۴-۲- نتایج آزمایش‌های تراکمی

نتیجه آزمایش‌های تراکم بر روی نمونه‌های خاک پس از ۱۸۰ روز با درصد‌های مختلف از شیرابه در شکل ۳ نشان داده شده است.



(الف)

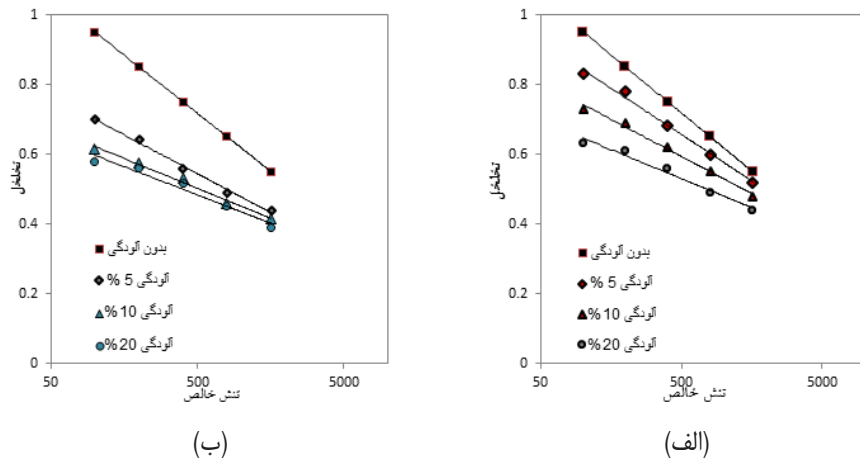


(ب)

شکل ۳: منحنی تراکمی نمونه خاک CH (الف) منحنی تراکمی نمونه خاک CL (ب)

Fig. 3. a) Compaction curve for CH soil
b) Compaction curve for CL soil

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که هر چه میزان درصد شیرابه بیشتر می‌شود، در ازای آن از وزن مخصوص بیشینه کاسته شده و به مقدار رطوبت بهینه افزوده می‌شود [۳۴]. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، هر چه به مقدار درصد شیرابه در خاک افزوده می‌شود، برای تراکم خاک احتیاج به رطوبت بیشتری است و حتی با افزایش رطوبت نمی‌توان به مقدار



شکل ۴: (الف) منحنی NCL نمونه‌های خاک CH در بازه زمانی ۴۸ ساعت پس از آلودگی در درصدهای مختلف (ب) منحنی NCL نمونه‌های خاک CH در بازه زمانی ۱۸۰ ساعت پس از آلودگی در درصدهای مختلف

Fig. 4. a) NCL curve for CH samples within 48 hours after contamination with different percentages of leachate b) NCL curve for CH samples within 180 days after contamination with different percentages of leachate

کمتر می‌شود، زیرا در بین لایه‌های مونتورونیت، کاتیون بیشتری پخش می‌شود که تنش حاصل از دافعه را در بین ذرات داخلی خاک کمتر کرده و باعث تراکم نمونه‌های خاک با تخلخل کمتر می‌شود. پس می‌توان بیان داشت که رفتار تحکیمی خاک تحت تأثیر ضخامت لایه دوگانه می‌باشد [۳۷].

نکته حائز اهمیت و نوآوری در این تحقیق، یافته‌های بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه‌ها پس از گذشت ۱۸۰ روز می‌باشد. با توجه به شکل شماره ۴-ب) که نتایج این آزمایش‌ها را برای خاک CH نشان می‌دهد. دو مورد اساسی مشاهده می‌شود: اول اینکه با گذر زمان، منحنی خاک‌های آلوده (۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪)، بهم نزدیک شده و در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ درصد، تقریباً یکسان می‌باشند و دوم اینکه تمامی منحنی‌های خاک‌ها در زمان ۱۸۰ روز پس از آلودگی شکل ۴-ب نسبت به منحنی‌های مشابه (از نظر درصد شیرابه) در دستگاه مختصاتی که در زمان ۴۸ ساعت پس از آلودگی شکل ۴-الف ترسیم شده است، دارای تخلخل کمتری هستند. به عبارت دیگر با گذر زمان و بدون افزایش درصد شیرابه در نمونه‌های خاک، مشاهده می‌شود که نمونه‌ها علاوه بر اینکه دارای رفتار تحکیم‌پذیری یکسانی شده‌اند، تأثیرپذیریشان از شیرابه نیز تشدید یافته است. علت این امر را می‌توان به تکمیل واکنش‌های شیمیایی ارتباط داد. به عبارت دیگر حضور درصدهای کم شیرابه در خاک می‌تواند تأثیراتی یکسان با درصدهای بیشتر در خاک بر تحکیم‌پذیری آن در طولانی مدت داشته باشد. پس هرچه زمان بیشتری از ورود شیرابه به خاک بگذرد، تأثیر بیشتری بر روی خاک خواهد گذاشت و باعث می‌شود نمونه‌ها در تنش‌های ثابت، نشست‌های بیشتری را متحمل شوند. نفوذ شیرابه زباله‌ها در داخل فضای منفذی بین دانه‌های خاک ریزدانه

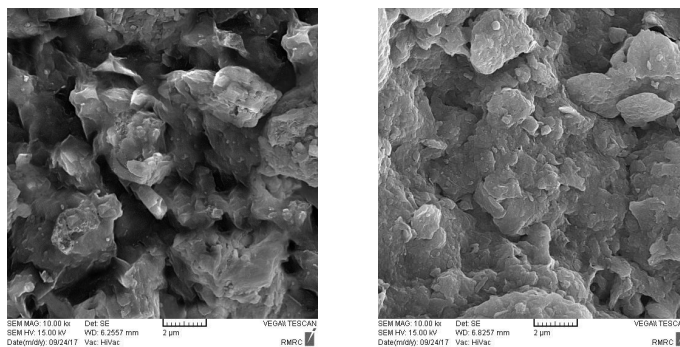
با توجه به شکل ۴ که بیانگر نتایج آزمایش تحکیم می‌باشد، مشاهده می‌شود که با اضافه شدن شیرابه، منحنی تحکیم نمونه‌ها به پایین منتقل شده و شیب منحنی نمونه‌ها کمتر شده است؛ به عبارت دیگر در یک تنش ثابت، وجود شیرابه باعث کمتر شدن تخلخل گردیده است که مشابه این نتیجه توسط یافته‌های محققین دیگر نیز بیان شده است [۱۵ و ۳۵]. دلیل این رفتار را می‌توان اینگونه شرح داد که وجود فلزات سنگین در شیرابه از طریق خصوصیات الکترولیت آب حفره‌ای باعث کاهش نیروی دافعه بین ذرات و کاهش ضخامت لایه دوگانه ساختار می‌گردد [۳۶] و کاهش ضخامت لایه دوگانه سبب نزدیک شدن ساختار خاک به هم شده که باعث کاهش فضای بین ذرات می‌شود و در نتیجه آن حجم ویژه (تخلخل) در هر مرحله بارگذاری برای نمونه‌های حاوی شیرابه، کمتر از حالت بدون شیرابه شده است [۳۵]. علت این امر را نیز می‌توان در تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) نیز مشاهده نمود. شکل شماره ۵ نشان‌دهنده تصویر خاک در حالت بدون شیرابه و حاوی شیرابه می‌باشد.

با توجه به شکل شماره ۵-الف مشاهده می‌شود که ساختار خاک فاقد حفرات سطحی است و دارای ساختاری لایه‌ای می‌باشد. با اضافه شدن شیرابه مشاهده می‌شود که در اثر کاهش نیروی دافعه و کاهش ضخامت لایه دوگانه، ساختار خاک به هم نزدیک شده و در اثر توده‌ای شدن به حالت درهم رسیده است.

ژاگوری داتا و آنیل کومارمیشرا [۲۰۱۶] [۱۶] نتایج مشابهی را از طریق مخلوط کردن شیرابه‌های نمکی با خاک دریافتند و علتش را اینگونه بیان کردند که در یک فشار ثابت هر چه مقدار درصد شیرابه افزوده شود، تخلخل

افزایش تأثیر شیرابه زباله بر خاک می‌باشد. برای نمونه‌های خاک CL نیز نتایج آزمایش‌های تحکیم یک‌بعدی در شکل ۶ ارائه شده است.

در یک بازه زمانی متوسط حتی با درصد کم، همان اثر را بر خاک می‌گذارد که نفوذ شیرابه با درصد زیاد خواهد گذاشت که بیانگر اهمیت گذر زمان بر

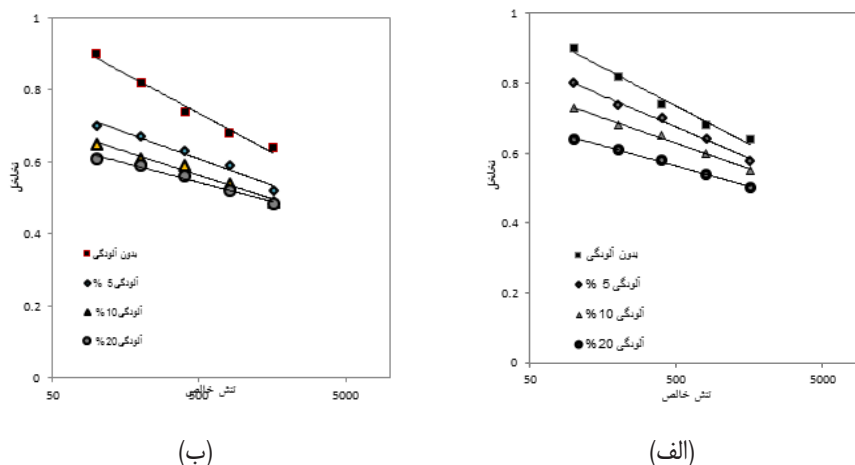


(ب)

(الف)

شکل ۵: (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه خاک بدون شیرابه با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر (ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه خاک حاوی شیرابه با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر

Fig. 5. a) SEM image of a sample soil before contamination with a magnification of 10,000 times
b) SEM image of a soil contaminated with leachate with a magnification of 10,000 times



(ب)

(الف)

شکل ۶: (الف) منحنی NCL نمونه‌های خاک CL در بازه زمانی ۴۸ ساعت پس از آلودگی در درصدهای مختلف (ب) منحنی NCL نمونه‌های خاک CL در بازه زمانی ۱۸۰ روز پس از آلودگی در درصدهای مختلف

Fig. 6. a) NCL curve for CL samples within 48 hours after contamination with different percentages of leachate
b) NCL Curve for CL Samples Within 180 Days after contamination with different percentages of leachate

در شکل‌های ۷ و ۸ برای خاک‌های CH و CL در درصد‌های مختلف آلودگی و در دو دوره زمانی ۴۸ ساعته و ۱۸۰ روزه در تنش قائم ۴۰۰ کیلو پاسکال نتایج آزمایش‌های برش مستقیم در دستگاه مختصات مقاومت برشی-جابجایی افقی، ارائه شده است. (مابقی تنش‌ها نیز نتایج مشابه و روندی مشابه را داشت که از آوردن نمودارهای مربوطه برای کاهش حجم مطالب صرف نظر شده است)

مقاومت برشی در لندفیل‌ها دارای اهمیت بسیاری است. مقاومت برشی باید در حدی باشد که بتواند وزن لایه زباله‌های بالایی را تحمل کند [۳۹ و ۴۰] و البته توجه به گسترش ساخت در چنین محل‌هایی بیش از پیش، اهمیت توجه به مقاومت برشی در این نوع خاک‌ها که در معرض شیرابه قرار داشته‌اند را نشان می‌دهد. در ادامه به توصیف تغییرات مقاومت برشی خاک‌ها در معرض شیرابه پرداخته خواهد شد.

شکل ۷ مربوط به خاک CH و شکل ۸ مربوط به خاک CL می‌باشد. با توجه به شکل‌ها، مشاهده میشود که روند تغییرات در خاک CH و CL، مشابه هم میباشد. از اینرو درباره تغییرات و رفتار برشی دو نوع خاک با هم بحث میشود تا مقایسه دقیق‌تری نیز حاصل شود. شکل‌های ۷-الف و ۸-الف به ترتیب بیانگر مقاومت برشی خاک در برابر جابجایی افقی برای خاک CH و CL در بازه زمانی ۴۸ ساعت پس از آلودگی می‌باشند.

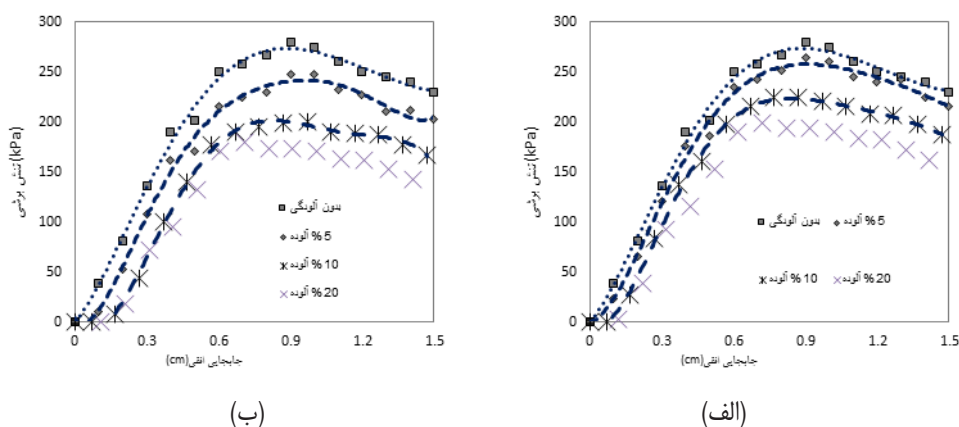
با توجه به این دو شکل مشاهده می‌شود که با افزایش درصد آلودگی در خاک، مقدار مقاومت برشی حداکثر در خاک کاهش یافته است. مشابه این نتیجه توسط محققین دیگر نیز بیان شده است. اوزتیراک و پیسرچی (۲۰۱۱) [۴۱] بر روی خاک‌های متراکم و غیر متراکم که با آب و شیرابه ترکیب شده بودند، در تنش‌های کم و زیاد آزمایش‌هایی را انجام دادند و دریافتند

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که مطالب گفته شده در مورد خاک CH از قبیل ارائه نمودارها در این قسمت نیز صادق است. یعنی با اضافه شدن شیرابه، منحنی تحکیم نمونه‌ها به پایین منتقل شده است و تحکیم‌پذیری خاک‌های آلوده‌تر نیز کاهش یافته‌است که محققین دیگر نیز به نتیجه مشابه دست یافته‌اند [۱۵ و ۱۶ و ۳۸]. از طرف دیگر با گذر زمان تأثیر درصد شیرابه که عامل اصلی تغییرات بوده است، کم رنگ می‌شود و مقادیر کم و زیاد درصد شیرابه بعد از گذر زمان تأثیر یکسان و در حد بیشینه بر روی خاک داشته‌اند.

البته ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که مقدار درصد مینیمی می‌تواند به اندازه درصد حداکثر تأثیرگذار باشد، در این تحقیق ۱۰ درصد بوده است و ممکن در خاک دیگر این مقدار متفاوت باشد. نکته مهم این است که شیرابه ۱۰ درصد بعد از گذر زمان ۱۸۰ روز به اندازه شیرابه ۲۰ درصد، بر رفتار تحکیمی خاک تأثیر منفی داشته است.

۴-۴- نتایج آزمایش برش مستقیم

در این برنامه آزمایشگاهی، ۴ گروه آزمایش برش مستقیم با میزان درصد آلودگی‌های متفاوت (۰٪، ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪)، در تنش‌های قائم اعمالی مختلف انجام شد. در هر گروه، سه نمونه با شرایط اولیه یکسان در سه تنش قائم اعمالی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال تحت آزمایش برش مستقیم قرار گرفتند. هم چنین تأثیر گذر زمان بر پارامترهای مقاومت برشی از طریق آزمایش بر روی نمونه‌هایی که ۱۸۰ روز در معرض شیرابه قرار داشتند، مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۷: (الف) منحنی برشی خاک (۴۸ ساعت) CH (تنش قائم ۴۰۰ کیلو پاسکال)
(ب) منحنی برشی خاک (۱۸۰ روزه) CH (تنش قائم ۴۰۰ کیلو پاسکال)

Fig. 7. a) Shear test result of CH soil (48 hours) with vertical stress of 400 kPa
b) Shear test result of CH soil (180 days) with vertical stress of 400 kPa

جدول ۵: پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌های خاک

Table 5. Shear strength parameters of soil samples

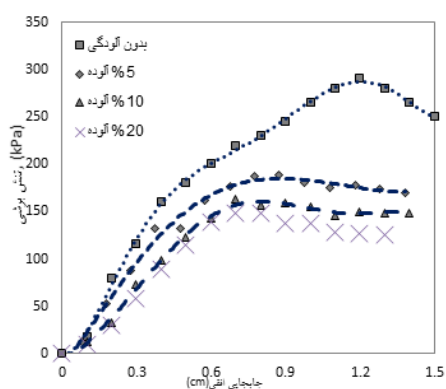
نوع خاک	غلظت آلودگی	زمان آغاز آزمایش پس از ساخت	چسبندگی خاک (kPa)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
CH	۰		۶۰	۲۹
CH	۵	۴۸ ساعت	۶۶	۲۶
CH	۱۰	۴۸ ساعت	۷۲	۲۰
CH	۲۰	۴۸ ساعته	۸۰	۱۶
CH	۵	۱۸۰ روزه	۶۵	۲۴
CH	۱۰	۱۸۰ روزه	۷۲	۱۷
CH	۲۰	۱۸۰ روزه	۸۰/۵	۱۳
CL	۰		۳۶	۳۲/۵
CL	۵	۴۸ ساعت	۴۰	۲۷
CL	۱۰	۴۸ ساعت	۴۵	۲۰
CL	۲۰	۴۸ ساعته	۵۱	۱۶
CL	۵	۱۸۰ روزه	۴۰	۲۱/۵
CL	۱۰	۱۸۰ روزه	۴۵	۱۶
CL	۲۰	۱۸۰ روزه	۵۱	۱۴

که افزایش شیرابه در خاک متراکم با وزن مخصوص حداکثر، سبب کاهش مقاومت برشی حداکثر شده است.

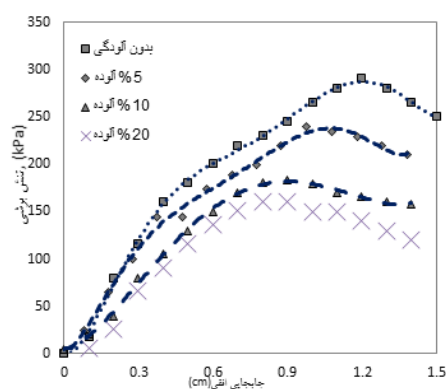
نکته مهم و حائز اهمیت با توجه به شکل‌های ۷-ب و ۸-ب مشخص می‌شود. همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، پس از گذشت ۱۸۰ روز از مخلوط شدن شیرابه با خاک، منحنی نمونه‌ها کمی به سمت پایین آمده است، درواقع از مقدار مقاومت برشی آن‌ها با گذر زمان کاسته شده است. از طرفی در مورد خاک CH مشاهده می‌شود که در درصدهای ۱۰ و ۲۰ درصد، تقریباً نمودارها بر روی هم منطبق شده و در مورد خاک CL نیز این نتیجه مشاهده می‌شود. با گذر زمان از نفوذ شیرابه به درون خاک حتی با درصدهای کم، تأثیرات منفی بر روی کاهش مقاومت برشی خاک بیشتر خواهد شد. اوزتپراک و پیسرچی (۲۰۱۱) [۴۱] بر روی نمونه‌های ۱۵ الی ۳۰ روزه تحقیقاتی را انجام داده و بیان داشتند که گذر زمان باعث افزایش تأثیرات منفی شیرابه بر روی خاک رس می‌گردد.

اما نتیجه نوین بدست آمده در این پژوهش بر اساس آزمایش‌های برش مستقیم (۷-ب و ۸-ب) این است که در دراز مدت (در این پژوهش تقریباً ۱۸۰ روز) درصد کم شیرابه (در این تحقیق ۱۰ درصد) تأثیری یکسان همانند درصدهای زیاد (در این تحقیق ۲۰ درصد)، بر روی مقاومت برشی خاک آلوده دارد.

پارامترهای مقاومت برشی خاک که از آزمایش‌های برش مستقیم در سه تنش قائم مختلف از طریق منحنی شکست مور-کلمب بدست آمده است، در جدول شماره ۵ ارائه شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۸: (الف) منحنی برشی خاک (۴۸ ساعت) تنش قائم ۴۰۰ کیلو پاسکال

(ب) منحنی برشی خاک (۱۸۰ روزه) تنش قائم ۴۰۰ کیلو پاسکال

Fig. 8.a) Shear test result of CL soil (48 hours) with vertical stress of 400 kPa
b) Shear test result of CL soil (180 days) with vertical stress of 400 kPa

با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که شیرابه بر روی ساختار خاک تأثیر گذاشته است و باعث ایجاد فاصله بین ساختارهای توده‌ای خاک شده است. از اینرو درگیری در ساختار خاک کمتر شده و زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش یافته است. علت این رفتار شیرابه را نیز می‌توان به ساختارهای هیدروژنی و آمین‌ها موجود در شیرابه نسبت داد. لازم به توضیح است که ساختارهای آمین و هیدروژنی که در شیرابه موجود است، بین ساختار خاک مثل شاخک قرار گرفته و مانع اتصال می‌شود [۴۲ و ۴۳] هرچه این پیوندها بزرگتر باشد، همانند پیوند موجود در این پژوهش که (NH_3-N) می‌باشد، این اثر بیشتر می‌شود.

با توجه به تأثیرات مشاهده شده شیرابه و آلودگی بر رفتار مهندسی خاک، بهسازی و پالایش خاک از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود که کمتر به آن توجه شده است. در این میان محققینی همچون فلاتمن و لاتزا (۱۹۹۸) [۴۴] اشاره داشته‌اند که با استفاده از روش‌های بیولوژیکی می‌توان آلودگی را از خاک حذف نمود. در این روش آلودگی توسط ریشه گیاهان جذب شده و در سایر اجزا گیاه محفوظ می‌گردد، پس از اشباع شدن گیاه از آلاینده، ریشه با تمام گیاه برداشت می‌شود.

تثبیت و جامدسازی نیز یکی دیگر از روش‌های بهسازی خاک‌های آلوده می‌باشد. در تثبیت با افزودن ماده نگهدارنده، طی یک سری واکنش‌های شیمیایی، انحلال پذیری آلاینده کم و برای محیط زیست کم خطر یا بی خطر خواهد شد [۴۵].

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از آزمایش‌های تحکیم یک‌بعدی، برش مستقیم، تراکم، تعیین حدود اتربرگ و تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی به بررسی تأثیرات شیرابه زباله بر روی پارامترهای مقاومتی و مقاومت نمونه‌های خاک ریزدانه با خاصیت خمیری کم و زیاد، با یک نوع شیرابه پرداخته شد که نسبت به تحقیق محققین دیگر به جمع‌بندی مناسب تری نائل گردید.

مشاهده گردید که افزایش و نفوذ شیرابه در بین فضای منفذی ذرات خاک بر روی حدود اتربرگ، مقاومت برشی، تراکمی و تحکیمی خاک تأثیر دارد.

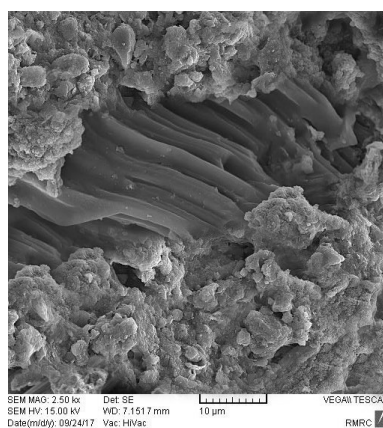
نتایج آزمایش‌های برش مستقیم نشان داد که افزایش درصد آلودگی در خاک سبب کاهش مقاومت برشی هر دو نمونه خمیری و غیرخمیری می‌گردد و تأثیرات محسوس بر پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌های خاک دارد. افزایش درصد آلودگی در هر دو نوع خاک سبب کاهش زاویه اصطکاک داخلی شده و با گذر زمان این تأثیر منفی به طور جدی افزایش می‌یابد. آلودگی حاصل از شیرابه زباله‌های شهری بر چسبندگی هر دو نوع خاک بی تأثیر بوده است.

مشاهده شد که در خاک با خاصیت خمیری زیاد، با افزایش درصد شیرابه از مقدار حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری خاک، کاسته می‌شود. در حالی که با افزایش درصد شیرابه، مقدار حد روانی در خاک با خاصیت خمیری

با توجه به جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود که در هر دو نوع خاک با افزایش درصد شیرابه، مقدار چسبندگی خاک نیز افزایش یافته است و پس از آن با گذر زمان مقدار چسبندگی خاک ثابت مانده است؛ افزایش چسبندگی خاک توسط شیرابه را می‌توان به چسبندگی ذاتی شیرابه نسبت داد. با توجه به وصف شیرابه که بیان داشته شد مایعی چسبناک با بوی غیر قابل استشمام و بسیار نامطبوعی است [۱۵ و ۳۲]، می‌توان نتیجه گرفت که این چسبندگی سبب افزایش چسبندگی اولیه نمونه‌های خاک می‌گردد و با گذر زمان چون مقدار این چسبندگی در شیرابه تغییری نکرده است، در نتیجه گذر زمان دیگر تأثیری بر مقدار چسبندگی خاک نیز نداشته است.

ایجاد یک ساختار سیمانته یا پیوندهای ضعیف واندراسی سبب افزایش چسبندگی می‌شود که با اولین نیروی زیاد از بین رفته و تأثیری در پایداری خاک نخواهد داشت؛ این ساختار سیمانته توسط اوزتپراک و پیسرچی (۲۰۱۱) [۴۱] گزارش شده است. پس در پایداری شیروانی‌ها و ساخت بر روی چنین خاک‌هایی این نکته حائز اهمیت، بایستی مورد توجه قرار گیرد که این افزایش چسبندگی نمی‌تواند عامل مثبتی برای افزایش مقاومت برشی خاک باشد. از طرفی افزایش چسبندگی بایستی با تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک نیز مقایسه شود.

با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک با افزایش درصد شیرابه کاهش یافته است و هر چه فاصله زمانی بیشتر می‌شود، مقدار زاویه اصطکاک داخلی نیز بیشتر کاهش می‌یابد و بایستی توجه داشت که مقدار کاهش زاویه اصطکاک داخلی نسبت به افزایش چسبندگی خاک بیشتر بوده است که مقاومت برشی در ازای افزایش درصد شیرابه، کمتر شده است. علت کاهش زاویه اصطکاک داخلی را می‌توان در تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشاهده نمود. شکل ۹ خاک آلوده به شیرابه را نشان می‌دهد.



شکل ۹: تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه خاک حاوی شیرابه با بزرگنمایی ۲۵۰۰ برابر

Fig. 9. SEM image of Soil contaminated with leachate with a magnification of 2500 times

- Amsterdam, 1976.
- [9] N. Gnanapragasam, Lewis, B.G., Finno, R.J., Microstructural changes in sand-bentonite soils when exposed to aniline, *Geotechnical Engineering*, 121 (1995) 119-125.
- [10] M. Kamon, Ying, C., Katsumi, T, Effect of acid rain on lime and cement stabilized soils, *Japanese Geotechnical Society*, 36 (1996) 91-96.
- [11] A.K. Khan, Pise, P.J, Effect of liquid wastes on the physico chemical properties of lateritic soils, in: *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, Warangal, 1994, pp. 189-194.
- [12] B. Kirov, Influence of waste water on soil deformation, in: *Proc. of 12th ICSMFE, Brazil*, 1989, pp. 1881-1882.
- [13] B.M. Sunil, Shrihari, S., Nayak, S, Shear strength characteristics and chemical characteristics of Leachate contaminated lateritic soils, *Engineering Geology*, 106 (2009) 20-25.
- [14] C. Vadillo, Andreo, Garcia de Torres, Bosch, Chemical composition of landfill leachate in a karst area with a Mediterranean climate (Marbella, southern Spain), *Environmental Geology*, 37(4) (1999) 326-332.
- [15] M. Pming, Hussain, M., Nyodu, M., Shivan, D, A Study on the Chemical Properties of Leachate its Effect on the Geotechnical Properties of Soil, *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 3(7) (2016).
- [16] J. Dutta, Mishra., A.K, Consolidation behaviour of bentonites in the presence of salt solutions, *Applied Clay Science*, 3(7) (2016) 61-69.
- [17] B.M.S. Sitaram Nayak., S. Shrihari P. V., Sivapullaiah, Interactions Between Soils and Laboratory Simulated Electrolyte Solution, *Geotech Geol Eng*, 28 (2010) 899-906.
- [18] S. Arasan, G. Y 2lmaz, R.K. Akbulut and T. Yetimoglu, Engineering Properties of Compacted Clay Liners Contaminated by Salt Solution, in: *2 Geotechnical Symposium, Adana, Turkey*, 2007, pp. 415-425.
- [19] S.a.T.Y. Arasan, . , Effect of Leachate Components on the Consistency Limits of Clay Liners, in: *11. National Soil Mechanic and Foundation Engineering Congress*, Trabzon, Turkey, 2006, pp. 439-445.
- [20] J. Park, C. Vipulanandan, J.W. Kim and M.H. Oh, Effects of surfactants and electrolyte solutions on the properties of soil
- [21] P.V.a.M.a. Sivapullaiah, Kaolinite-alkali interaction and effects on basic properties, *Geotech. Geol. Eng*, 23 (2005) 601-614.
- [22] M.V.a.A.L. Villar, Influence of temperature on the کم، زیاد شده و بر حد خمیری آن بی تأثیر بوده است. هر چه میزان درصد شیرابه بیشتر می‌شود، در ازای آن از وزن مخصوص بیشینه، کاسته شده و به مقدار رطوبت بهینه افزوده می‌گردد. آلودگی حاصل از شیرابه بر ساختار خاک تأثیر گذاشته و سبب ایجاد ساختار توده‌ای در خاک می‌شود. افزایش آلودگی در خاک باعث افزایش نشست خاک در تنش ثابت می‌گردد.
- مهم‌ترین دستاورد این تحقیق علاوه بر کنترل و مقایسه همزمان رفتار خاک‌های CH و CL نسبت به محققین دیگر، بیان این موضوع است که بعد از گذر زمان مشخص و بلندمدتی (در این تحقیق حدود ۱۸۰ روز) تأثیرات منفی شیرابه بر روی نمونه خاک با درصد کمتر (در این تحقیق ۱۰ درصد) نهایتاً، به تأثیر درصد زیاد (در این تحقیق ۲۰ درصد) می‌رسد.
- پس از یافتن این موضوع نوین در این تحقیق که گذر یک سیر زمانی مشخص می‌تواند اثر درصدهای کم را بر روی خاک به اثر درصدهای زیاد برساند، می‌توان به پیدا کردن این زمان حداکثری (در این تحقیق ۱۸۰ روز) و کمترین درصد شیرابه (در این تحقیق ۱۰٪) که در گذر زمان تأثیراتش به اندازه تأثیرات درصدهای بالا می‌رسد، در نواحی مختلف دفن زباله در ایران پرداخت که تحت عنوانی دیگر در حال بررسی است.

مراجع

- [1] G. Athanasopoulos, Grizi, A., Zekkos, D., Founta, P., and Zisimatou, E., Municipal solid waste as a reinforced soil: Investigation using synthetic waste, in: *ASCE-Geoinstitute Geocongress, Geotechnics of Waste Management and Remediation*, New Orleans, 2008, pp. 168-175.
- [2] M. Fadel, Findikakis, N., Environmental impacts of solid waste landfilling, *Environment management*, 50 (1997) 1-25.
- [3] J. Surmacz-Gorska, Degradation of organic compounds in municipal landfill leachate, in: *Environmental Engineering Committee of Polish Academy of Science*, Lublin, 2001.
- [4] H. Timur, Ozturk, I, Anaerobic sequencing batch reactor treatment of landfill leachate, in: *Fenton process Water Research*, 1999, pp. 3225-3230.
- [5] W.K. Yun, Kyung, Y.H, Effect of reaction conditions on the oxidation efficiency in: *Water Research*, 2000, pp. 2786-2790.
- [6] S. Wang, Wu, X., Wang, Y., Li, Q., Tao, M, Removal of organic matter and ammonia nitrogen from landfill leachate by ultrasound, *Ultrasonics Sonochemistry*, 15 (2008) 933-937.
- [7] D.E. Foreman, Daniel D.E, n of compacted clay with organic chemicals, *Geotechnical Engineering*, 112 (1986) 669-681.
- [8] M.D. Gidigas, Laterite Soil Engineering Pedogenesis and Engineering Principles, in: *E.S. Pub (Ed.)*,

- [34] S.N. Harun, Ali Rahman, Z., Rahimi, S.A., Lihan, T. Idris, W.M.r, Effect of leachate on Geotechnical Characteristics of Sandy Clay Soil, in: AIP Conference Proceedings 2013.
- [35] A.R. Estabrag, Betolahpour, I., Moradi, M., Javadi, A.A, Consolidation behavior of two finr-grained soils contaminated by glycerol and ethanol, *Engineering Geology*, 178 (2014) 102-108.
- [36] V.R. Ohadi, Hamidi, S., Amiri, M, Impact of Heavy Metal Contaminants on Coefficient of Variations of Compression Index, Expansion Index and Permeability Coefficient of Bentonite from Micro-Structural Point of View, *Journal of Civil an Environmental Engineering*, 45 (1391(in persia)).
- [37] G.H. Bolt, . Physico-chemical analysis of the compressibility of pure clays, *Geotechnique* 6(1956) 86-93.
- [38] H.A. Alawaji, Swell and compressibility characteristics of sand-bentonite mixtures inundated with liquids, *Appl. Clay Science*, (1999) 411-430.
- [39] T.C. Kenney, W.A. van Veen, M.A. Swallow and M.A. Sungaila, Hydraulic conductivity of compacted bentonite-sand mixtures, *Can. Geotech. J*, 29 (1992) 364-374.
- [40] A. Tuncan, M. Tuncan, M. Yalcin and Y. Guney, in: *Proceeding 3rd International Congress on Environmental Geotechnics*, 1998, pp. 57-62..
- [41] S. Oztoprak, Pisirici, B, Effects of micro structure changed on macro behavior of Istanbul(Turkey) clays exposed to landfill leachate, *Engineering Geology*, (2011) 110-112.
- [42] P.F. Low, Hydrogen bonding and polywater in clay-water systems, *Clays and Clay Minerals Journal*, 18 (1969) 63-66.
- [43] E.P. Johann Förster, Alvaro Magana, Alejandro Saenz, " Imaging of the umbrella motion and tunneling in the ammonia molecule by strong-field ionization, *Phys. Rev*, 94 (2016).
- [44] P.E. Flathman, and Lanza, G.R.,, Phytoremediation: Current views on an emerging green technology, *Journal of Soil Contamination*, 4 (1998) 415-432.
- [45] R. Malviya, and Chaudhary. R., Factors affecting hazardous waste solidification/Stabilization: Review, *Hazardous Material*, 137 (2006) 267-276.
- hydro-mechanical behaviour of acompacted bentonite, *Appl. Clay Science*, 26 (2004) 337-350.
- [23] M.V. Villar, P.L. Martin and J.M. Barcala, Modification of physical, mechanical and hydraulic properties of bentonite by thermo-hydraulic gradients, *Eng. Geol*, 81 (2005) 284-297.
- [24] Z.N. Kurt, S. Arasan, U. Hamutcu and R.K. Akbulut, Effect of salt solution temperature on the liquid limit of clay liners in solid waste disposal landfills, in: *Geotechnical SymposiumAdana, Turkey, 2007*, pp. 383-390.
- [25] U. Hamutcu, S. Arasan, R.K. Akbulut and Z.N. Kurt, Effect of salt solution temperature on the liquid limit of clay liners in solid waste disposal landfills", in: *8.th International Congress on Advances in Civil Engineering, Eastern Mediterranean University Famagusta, North Cyprus, 2008*, pp. 65-73.
- [26] J.K. Mitchell, *Fundamentals of Soil Behavior*, in: 2nd Edn., John Wiley and Sons, New York, 1993.
- [27] J.D. Ruhl, Geosynthetic clay liners permeated with chemical solutions and leachates, *J. Geotech. Geoenv. Eng*, 123 (1997) 369-381..
- [28] K. Kayabali, The influence of hazardous liquid waste on the permeability of earthen liners, *Environ. Geol*, 39 (2000) 201-210.
- [29] H.Y. Shan, Effect of hydrating liquid on the hydraulic properties of geosynthetic clay liners, *Geotext. Geomem*, 20 (2002) 19-38.
- [30] S. Nayak, Sunil, B.M., Shrihari, S, Hydraulic and compaction characteristics of leachate-contaminated lateritic soil, *Engineering Geology*, (2007) 137-144.
- [31] N. Shariatmadari, Askari La, B., Eshghi Nezhad, H., Askari, B., Investigating the Stress– train and Failure Behavior of Soils Contaminated with Urban Solid Waste Leachate: A Case Study from the Landfill Area of Saravan, *Int. J. Civ. Eng*, (2016).
- [32] EPA, *Process Design Manual, Land Application of Municipal Sludge*, Municipal Environmental Research Laboratory, in: U.G.P. Offices (Ed.) EPA-625/1-83-016, New York, 1983..
- [33] D. Goswami, Choudhury., B.N, Chemical Characteristics of leachate contaminated lateritic soil, *Engineering and Technology*, 2(4) (2013).

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

A. Ouria, A. Farsijani, The Effect of Waste Leachate on the Strength Parameters of Clay with High and Low Plasticity, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(6) (2019) 1081-1092.

DOI: 10.22060/ceej.2017.13361.5392

