Archive of SID

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۱، شماره ۱، سال ۱۳۹۸، صفحات ۴۵ تا ۵۸
DOI: 10.22060/ceej.2018.12963.5301

بررسی تاثیر pH شیرابه بر میزان فروریزش و پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های رمبنده

محمدعلی خدابنده، محسن کرامتی*، سید مهدی حسینی، صابر نوکنده

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست (ژئوتکنیک)، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران

چکیده: خاک‌های رمبنده جزء خاک‌های مساله دار هستند که تحت تنش یکسان، با افزایش درصد رطوبت میزان کاهش حجم بسیار زیادی از خود نشان می دهند. هدف از این پژوهش ارزیابی پتانسیل رمبندگی و پارامترهای مقاومت برشی این خاک ها در اثر نفوذ آلاینده هایی از قبیل شیرابه ها و مواد شیمیایی به خاک است. خاک مورد استفاده در این پژوهش خاک لس منطقه کلاله استان گلستان می باشد. از آنجا که امکان تفکیک اجزای شیرابه در عمر های مختلف و با pH های متفاوت وجود نداشت، بنابراین از دو عامل اسید سولفوریک و سدیم هیدروکسید به عنوان نمایندگان شیرابه و در pH های مختلف استفاده شد و آزمایشهای فروریزش و برش مستقیم بر روی نمونه های خاک و در شرایط اشباع با شیرابه ها انجام گردید. نتایج آزمایش های فروریزش نشان می دهند که شیرابه های با pH پایین و اسیدی باعث افزایش پتانسیل رمبندگی خاک شده و شیرابه های با pH بالا و قلیایی، رمبندگی کمتری را ایجاد می کنند. نتایج آزمایش های برش مستقیم نشان می دهند که با کاهش pH، چسبندگی خاک افزایش و زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش می یابد و با افزایش pH، چسبندگی خاک کاهش و زاویه اصطکاک داخلی خاک افزایش می یابد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴ خرداد ۱۳۹۶
بازنگری: ۵ اسفند ۱۳۹۶
پذیرش: ۱۳ اسفند ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۲۰ فروردین ۱۳۹۷

کلمات کلیدی:
خاک رمبنده
تانسیل رمبندگی
چسبندگی
زاویه اصطکاک داخلی
pH

۱- مقدمه

مطالعه خاک‌های مساله‌دار از دیرباز مورد توجه محققین بوده است. خاک‌های رمبنده در زمره خاک‌های مساله‌دار از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک می‌باشد و وجود آن‌ها در پنج قاره جهان نیز گزارش شده‌است. این نوع خاک‌ها حین جذب رطوبت بسته به نوع کانی سازنده، میزان تراکم، درجه اشباع اولیه و میزان سربار رفتار تغییر حجمی از خود نشان می‌دهند. در صورت عدم شناسایی این نوع خاک‌ها، اگر سازه ای روی آن‌ها احداث شود در صورت به اشباع درآمدن خاک ، سازه احداث شده دچار نشست قائم بزرگی شده و متحمل مشکلات و ضرر و زیان بزرگی خواهد شد [۱]. با توجه به گسترش نسبتا وسیع خاک‌های رمبنده در ایران و لزوم توسعه شهرها و درنتیجه احداث ابنیه‌های فنی نظیر سدها، کانال‌های آبیاری، لوله‌های آب و فاضلاب، راه و راه‌آهن و سایر ابنیه‌های فنی لزوم بررسی پتانسیل رمبندگی خاک‌ها بیش از پیش آشکار می‌شود. پی هایی که بر روی خاک‌های رمبنده احداث می‌گردند، ممکن است در اثر اشباع شدن خاک به دلایل مختلف از جمله شکست لوله‌های آب، نشت از مجاری فاضلاب، زه‌کشی از مخازن و یا استخرها، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و چاه‌های فاضلاب، نشت شیرابه‌ها و پساب‌های صنعتی و مواد شیمیایی و دیگر موارد، دچار نشست‌های ناگهانی و زیاد گردند. از آنجایی که تاکنون حجم مطالعات انجام شده در زمینه تاثیر فاضلاب شهری، شیرابه‌ها و پساب‌های صنعتی و مواد شیمیایی اسیدی و بازی بر رفتار خاک‌های رمبنده بسیار محدود است و با توجه به اهمیت بالای این موضوع به لحاظ کاربردی و زیست محیطی انجام این پژوهش بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

مواد زاید شهری تولید شده و همچنین پساب‌های ناشی از کارخانه‌های صنعتی حاوی مواد شیمیایی متفاوتی می‌باشند که با نفوذ به خاک‌ها موجب تغییر در ساختار خاک می‌شوند. پژوهش‌های متعددی در خصوص تاثیر شیرابه‌ها و مواد شیمیایی اسیدی و بازی بر رفتار خاک‌های مختلف انجام شده‌است. نکته قابل توجه در تمامی پژوهش‌های گذشته، متفاوت بودن نتایج محققین برای خاک‌های مختلف می‌باشد، به طوریکه برای پارامترهای یکسان نتایج متفاوتی را برای خاک‌های مختلف شاهد هستیم. این مسئله لزوم بررسی بیشتر این موضوع را برای خاک‌های مختلف نشان می‌دهد.

در زمینه تاثیر مواد اسیدی و بازی بر خواص خاک، تاکنون تحقیقات محدودی صورت گرفته‌است و بیشتر توجه محققان بر اثرات این مواد در

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Keramati@shahroodut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نفوذپذیری خاک رس معطوف شده‌است. نقش درجه pH به طور گسترده ای بر نفوذپذیری خاک‌های رسی مورد بررسی قرار گرفته‌است. نوع خاک و ترکیب آن، دامنه خمیری، شرایط تنش، هدایت هیدرولیکی و نوع اسید و باز، از موضوعات مورد تحقیق بوده‌اند. در ادامه به بررسی مطالعات گذشته بر روی خاک‌های مختلف پرداخته شده‌است.

احمدی و همکاران [۲] به بررسی تاثیر pH شیرابه بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک رس کائولینیت پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مجاورت اسید و باز با خاک رس کائولینیت تغییر چندانی در حدود اتربرگ[1] آن بوجود نمی‌آورد، در حالی‌که این مواد شیمیایی باعث افزایش قابل‌توجهی در حد روانی و اندیس خمیری ترکیب کائولینیت با بنتونیت می‌شوند. بر اساس نتایج آزمایش سه محوری pH بر روی خاک کائوینیت ملاحظه گردید که چسبندگی خاک در مجاورت اسید و باز کاهش می‌یابد.

کلر[2] و هانگ[3] [۳] به بررسی انحلال کانی‌های رسی در اسیدهای آلی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که انحلال کانی‌های رسی بستگی به نوع کانی رسی و اسید مورد استفاده دارد. بسته به این موارد ترجیحا سیلیکا یا آلومینا حل خواهد شد، که در بلند مدت تاثیر زیادی بر لایه‌های رسی دارد. مهدوی [۴] به بررسی تاثیر تغییرات pH روی برخی از پارامترهای مکانیکی خاک رس پرداخت و به این نتیجه رسید که کاهش pH و اسیدی شدن خاک موجب کلوخه شدن خاک شده و نفوذپذیری خاک را به میزان ۸۷٪ نسبت به حالت بدون آلودگی افزایش می‌دهد. در حالی‌که افزایش pH و قلیایی شدن خاک سبب کاهش نفوذپذیری به میزان ۴۷٪ نسبت به حالت اولیه شده‌اس. وانگ[4] و سیو[5] [۵] به بررسی ویژگی‌های ساختاری و خواص مکانیکی کائولینیت پرداختند و تاثیر pH را بر تراکم پذیری کائولینیت بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که افزایش pH سبب اجتماع دانه‌ها شده و در pH های بالا تراکم پذیری خاک افزایش می‌یابد.

بنسون[6] و همکاران [۶] به تخمین هدایت هیدرولیکی لایه‌های رسی متراکم پرداختند و اثر مواد شیمیایی را بر هدایت هیدرولیکی رس‌ها بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مواد شیمیایی با توجه به تاثیرشان بر ساختار خاک و همچنین فضاهای خالی، بر هدایت هیدرولیکی رس‌ها تاثیر گذارند. فارستر[7] و همکاران [۷] تغییرات ساختار خاک در مجاورت مواد شیمیایی را به تغییرات در تمرکز یون‌ها، تبادل یون‌ها، جذب و یا حل شدن آنیون‌ها نسبت دادند.

میشل[8] [۸] نیز به بررسی اثر مواد شیمیایی به خصوص اسید و باز روی هدایت هیدرولیکی رس‌ها پرداخت و تغییرات ایجاد شده در خواص خاک را به تغییر در ساختار خاک در اثر نفوذ اسید و باز نسبت داد. به این ترتیب که اسیدها با حمله به شبکه کریستالی خاک‌ها به خصوص صفحات هشت ضلعی رس‌ها سبب تغییر در ساختار خاک می‌شوند و بازها با پراکنده کردن صفحات چهار ضلعی سیلیکا در رس‌ها منجر به ایجاد تغییرات در ساختار خاک می‌شوند.

صدقیانی و قدک [۹] به بررسی تاثیر تغییرات pH شیرابه بر خواص مقاومتی خاک رس پرداختند. خاک مورد نظر در این تحقیق خاک رس تهران بود، که با توجه به دانه بندی و هیدرومتری دانه‌ها، مطابق روش یونیفاید[9] در رده CL قرار داشت. مواد شیمیایی استفاده شده در این تحقیق اسید سولفوریک H_2SO_4 و اسید هیدروکلریک HCl و همچنین سود NaOH می‌باشند. در این تحقیق pH خاک که در حالت طبیعی بین ۶/۵ الی ۸ می‌باشد، توسط مواد مذکور تغییر داده شد و محدوده تغییر pH بین ۳ تا ۱۱ می‌باشد. به طور کلی نتایج آزمایش‌های سه محوری نشان داد که تاثیر کوتاه مدت مواد شیمیایی بر خاک رس افت چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک را در pH های اسیدی و قلیایی به همراه دارد. به طوری‌که بیشترین میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک در حالت خنثی و در pH =۷ مشاهده شد و با افزایش یا کاهش pH پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی افت منظمی پیدا کرده‌اند.

راماکریشناگودا[10] و همکاران [۱۰] به بررسی اثر خاک‌های حاوی کائولینیت و اسمکتیت معدنی که در معرض آلودگی مواد شیمیایی قلیایی قرار گرفته‌اند پرداخته‌اند. خاک مورد بررسی در سیستم طبقه بندی متحد در رده pH قرار دارد. برای شبیه سازی اثر مواد قلیایی روی خاک از محلول سدیم هیدروکسید و در درصدهای ۱/۵ تا ۱۲ درصد استفاده شده‌است. نتایج نشان دادند که با افزایش درصد سدیم هیدروکسید، چسبندگی خاک به میزان زیادی کاهش و زاویه اصطکاک داخلی خاک اندکی افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش درصد سدیم هیدروکسید، مقاومت برشی خاک کاهش می‌یابد. همچنین هدایت هیدرولیکی خاک با افزایش درصد مواد قلیایی افزایش پیدا کرده‌است. این تغییرات در خواص ژئوتکنیکی خاک به تغییر ساختار اجزا خاک در تعامل با مواد قلیایی نسبت داده می‌شود.

لی[11] و همکاران [۱۱] به بررسی تاثیر آلودگی شیرابه طبیعی بر خواص مکانیکی خاک‌های رسی متراکم پرداختند. شیرابه طبیعی مورد استفاده در این پژوهش دارای pH = ۸/۰۳ بوده و خاک مورد مطالعه در رده CL قرار داشت. نتایج نشان دادند که هدایت هیدرولیکی خاک رس متراکم با افزایش درصد شیرابه و زمان نفوذ و بدلیل کاهش در تخلخل موثر کاهش می‌یابد. افزایش درصد شیرابه به ترتیب باعث کاهش در چسبندگی و افزایش در زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های آلوده می‌شود. همچنین با افزایش درصد شیرابه تراکم پذیری خاک‌ها افزایش یافته‌است.

حسن و همکاران [۱۲] به بررسی اثر pH خاک مرکز دفن زباله بر

1
2 Keller
3 Huang
4 Wang
5 Siu
6 Benson
7 Farster
8 Mitchel
9
10 Ramakrishnegowda
11

www.SID.ir

Archive of SID

خواص ژئوتکنیکی خاک پرداختند. آن‌ها خواص ژئوتکنیکی خاک‌ها را در محدوده pHهای بین ۶/۵ تا ۹/۵ مورد بررسی قرار دادند و به بررسی تغییرات حدود اتربرگ، مقاومت برشی محدود نشده و تنش پیش تحکیمی خاک پرداختند و به این نتایج رسیدند که با افزایش pH خاک، شاخص تراکم پذیری مجدد، درصد رطوبت، حد انقباض و حد خمیری ابتدا افزایش یافته و سپس در خاک‌های با خاصیت قلیایی زیاد شروع به کاهش می‌کند. هم‌چنین مقاومت برشی محدود نشده خاک با افزایش در مقدار pH افزایش یافته و با کاهش در مقدار pH کاهش می‌یابد.

سانیل[1] و همکاران [۱۳] به بررسی تاثیر شیرابه بر پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های آلوده به شیرابه پرداختند. ایشان تحقیقات خود را به مناطق ساحلی کارناتاکا در هندوستان معطوف نمودند که بخش‌های وسیعی از این منطقه به عنوان محل دفن زباله به صورت دپوی روباز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل بارندگی شدید در طول فصل بارندگی، شیرابه از این مدفن به مناطق اطراف جریان می‌یابد و منجر به آلودگی خاک و آبهای زیرزمینی می‌گردد. ایشان جهت بررسی تاثیر شیرابه بر خواص خاک، از خاک و شیرابه موجود در منطقه نمونه‌برداری کردند. نمونه‌های خاک درشت دانه بوده و در سیستم طبقه‌بندی متحد در رده SC قرار داشته و شیرابه‌های استفاده شده دارای pH در حدود ۷/۵ تا ۸/۵ بودند، سپس نمونه‌های خاک بازسازی شده را با درصدهای ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد شیرابه مخلوط نمودند و آزمایش‌های سه محوری تحکیم یافته و زه‌کشی شده روی نمونه‌های خاک آلوده انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد شیرابه چسبندگی خاک افزایش یافته و زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش می‌یابد.

در جمع بندی پژوهش‌های محققین می‌توان نتیجه گرفت که مواد اسیدی و بازی سبب تغییر در خصوصیات خاک‌ها می‌شوند. در خصوص تاثیر این مواد بر خواص خمیری خاک در اکثر تحقیقات مشاهده شد که افزودن مواد اسیدی و بازی سبب افزایش حد روانی و دامنه خمیری خاک گردیده است. در خصوص تاثیر این مواد بر نفوذپذیری خاک، نتایج با توجه به نوع خاک و اسید و باز مورد استفاده در آزمایش‌های مختلف، متفاوت بوده است ولی به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مواد اسیدی و بازی در نفوذپذیری خاک‌ها اثر افزایشی داشته‌اند. در خصوص تاثیر این مواد بر پارامترهای مقاومت برشی در اکثر مطالعات انجام گرفته این مواد سبب کاهش در پارامترهای مقاومت برشی شده‌اند. در اکثر مطالعات گذشته بیشترین تمرکز بر روی اثر مواد اسیدی و بازی بر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها بوده و هم‌چنین تاثیر این مواد بر خاک‌های مسئله دار کمتر مورد توجه قرار گرفته‌است.

در این پژوهش به بررسی تغییرات پتانسیل رمبندگی و پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های رمبنده تحت نفوذ آلاینده‌های زیست محیطی از قبیل شیرابه‌ها که ماهیت اسیدی و بازی دارند پرداخته شده‌است. به دلیل اینکه پارامترهای مختلفی بر خواص و کیفیت شیرابه‌های طبیعی تاثیرگذارند و هم‌چنین پارامترهای شیرابه‌های طبیعی با گذشت زمان ثابت نبوده و مدام در حال تغییر هستند و ثابت نگه داشتن تمامی پارامترها برای آزمایش‌های مختلف امکان ندارد و با توجه به اینکه هدف ما در این پژوهش فقط بررسی تاثیر pH شیرابه بود، بنابراین استفاده از شیرابه مصنوعی در دستور کار قرار گرفت تا با حذف سایر پارامترهای شیرابه طبیعی که با گذشت زمان متغیر هستند، به بررسی تاثیر پارامتر pH بر پتانسیل رمبندگی و پارامترهای مقاومت برشی پرداخته شود. برای این منظور از دو عامل اسید سولفوریک و سدیم هیدروکسید به عنوان نمایندگان شیرابه استفاده شد.

پدیده رمبندگی و عوامل موثر بر آن

رمبندگی به ریزش ناگهانی خاک در اثر از دست رفتن مقاومت عامل پیوند دهنده ذرات خاک اطلاق می‌شود و میزان رمبندگی ایجاد شده وابسته به نسبت تخلخل اولیه خاک است [۱۴]. برخی از نهشته‌های رسی–سیلتی که تحت شرایط آب و هوایی خشک تشکیل یافته‌اند مستعد کاهش حجم قابل ملاحظه یا فروریزش در هنگام اشباع شدن هستند. بنابراین نفوذ آلاینده هایی از قبیل شیرابه‌ها و پساب‌ها و مواد شیمیایی و نشت لوله‌ها ممکن است موجب بوقوع پیوستن نشست‌های زیاد گردد. نهشته‌های سیلتی–ماسه‌ای و رسی–سیلتی با خمیرائی کم تحت تاثیر افزایش رطوبت بسته به نوع کانی‌های سازنده، میزان تراکم، میزان سربار و غیره دچار کاهش حجم شده و نشست زیادی را متحمل می‌شوند .برای وقوع پدیده رمبندگی در خاک وجود چهار شرط زیر الزامی است:

۱. ساختار خاک به صورت باز، نسبتا پایدار و نیمه اشباع.
۲. وجود تنش کل زیاد به گونه‌ای که قادر به تغییر ساختار خاک باشد.
۳. وجود عامل مکشی یا سیمانی در خاک که در شرایط غیر اشباع آن سبب پایداری سازه گردد.
۴. اضافه شدن آب به خاک سبب از بین رفتن یا کاهش عامل مکشی یا سیمانی آن شده به گونه‌ای که کاهش حجم توده خاک را تحت تنش ثابت نشان دهد [۱۵].

عوامل متعددی بر میزان فروریزش خاک‌ها تأثیر دارند که از جمله این عوامل می‌توان به رطوبت اولیه، نوع خاک، دانسیته خشک اولیه خاک، درجه اشباع اولیه، تراکم، تاثیر تنش موجود در هنگام اشباع کردن خاک، اثرات باندهای سیمانی، اثر سیکل‌های ترشدگی و تاثیر دست‌خوردگی نمونه اشاره کرد [۱۶].

۲- مصالح مصرفی

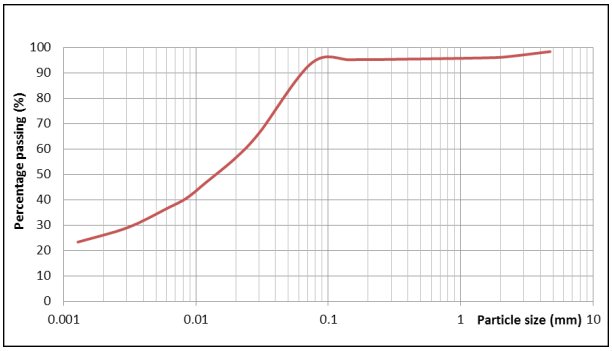
۲- ۱- خاک

خاک مورد استفاده در این مطالعه خاک لس می‌باشد که از منطقه کلاله استان گلستان تهیه شده و در سیستم طبقه بندی متحد در رده CL قرار می‌گیرد. منحنی دانه‌بندی خاک در شکل ۱ ارائه شده‌است.

1 Sunil

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. منحنی دانه بندی خاک

Fig. 1. Grain size distributions of loess soil samples

همچنین آزمایش تعیین حدود اتربرگ با توجه به استاندارد ASTM D4318-87 که شامل تعیین حد روانی و حد خمیری خاک است انجام شده و نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده‌است. آزمایش تعیین Gs نیز بر اساس استاندارد ASTM 854-92 انجام گردید که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده‌است [۱۷ و ۱۸].

جدول ۱. مشخصات خاک مورد مطالعه

Table. 1. soil Properties

نوع خاک	LL	PL	PI	GS	pH	USCS
خاک لسی رمبنده	۲۵	۲۰	۵	۲/۶۷	۷/۹	CL

۲- ۲- مواد شیمیایی

به منظور شبیه‌سازی اثر شیرابه و مواد شیمیایی بر پتانسیل رمبندگی خاک‌ها از اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم با pH های مختلف استفاده شد. مقدار pH اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم بین ۱ تا ۱۴ انتخاب شد تا بحرانی ترین حالات در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است درصد خلوص اسید سولفوریک انتخابی ٪۹۸ و هیدروکسید سدیم ٪۹۸-۹۵ بود.

۳- برنامه آزمایشگاهی و تخمین میزان رمبندگی خاک در آزمایشگاه

۳- ۱- آزمایش فروریزش

پتانسیل فروریزش در آزمایش‌های این تحقیق طبق استاندارد آیین نامه ASTM D5333 انجام شد. روند آزمایش مشابه آزمایش تحکیم یگانه است. در این آزمایش نمونه داخل دستگاه تحکیم قرار می‌گیرد. پس از قرار دادن نمونه در دستگاه و بستن تجهیزات اندازگیری نشست، تنش نشیمنگاهی معادل ۵ کیلوپاسکال به نمونه اعمال می‌شود. پس از اعمال تنش نشیمنگاهی، تنش‌های معادل با ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ کیلوپاسکال به آن اعمال و تغییر شکل نمونه اندازه‌گیری می‌گردد. نمونه، یک ساعت پس از اعمال بارگذاری ۲۰۰ کیلوپاسکال غرقاب می‌شود و بارگذاری تا ۲۴ ساعت ادامه پیدا می‌کند. لازم به ذکر است، درصورت اعمال سیال از قسمت پایین به نمونه، امکان محبوس شدن هوا در نمونه از بین می‌رود [۱۹].

بر اساس این آزمایش شاخص فروریزش که نشان‌دهنده میزان فروریزش نمونه برحسب درصد در تنش ۲۰۰ کیلوپاسکال می‌باشد از رابطه ۱ بدست می آید [۱۹]:

$$I_C = \frac{d_f - d_i}{h_0} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن:

: پتانسیل رمبندگی (٪).

: قرائت گیج در تنش مورد نظر پس از مرطوب شدن.

: قرائت گیج در تنش مورد نظر پیش از مرطوب شدن.

: ارتفاع اولیه نمونه.

جنینگز و نایت [۱۴] در سال ۱۹۷۵ با ارائه معیاری آزمایش تحکیم مضاعف را برای ارزیابی کمی رمبندگی تکمیل کرده و جدول ۲ را به کار بردند که شاخصی از شدت پتانسیل رمبندگی بر مبنای این معبار ارائه می دهد. که در این پژوهش از این معیار برای ارزیابی کمی رمبندگی خاک‌ها استفاده شده‌است.

جدول ۲. وضعیت مخاطره رمبندگی معیار جنینگز و نایت [۱۴]

Table. 2. Collapse condition in Jennings and knight criterion

درجه فروریزش	پتانسیل رمبندگی
غیر فروریزشی	۱-۰
کم	۵-۱
متوسط	۱۰-۵
شدید	۲۰-۱۰
بسیار شدید	>۲۰

۳- ۲- برنامه آزمایش‌های فروریزش

برنامه‌ریزی انجام آزمایش‌ها به شرح ذیل صورت پذیرفت:

۱. انجام آزمایش فروریزش بر روی نمونه‌های خاک دست نخورده

www.SID.ir

Archive of SID

برای تخمین میزان رمبندگی خاک.

۲. انجام آزمایش فروریزش بر روی خاک بازسازی شده با دانسیته و رطوبت محل برای تخمین میزان رمبندگی خاک.

۳. انجام آزمایش فروریزش بر روی خاک بازسازی شده با دانسیته و رطوبت محل در شرایط اشباع با شیرابه‌ها. در این حالت برای اشباع کردن نمونه در آزمایش فروریزش به جای آب از شیرابه‌های مصنوعی استفاده شد تا اثر pH و مواد اسیدی و بازی بر روی پتانسیل رمبندگی خاک مشخص شود.

۴. انجام آزمایش فروریزش بر روی خاک‌های آلوده به درصدهای مختلف آلاینده. در این حالت ابتدا خاک با درصد های ۵ ، ۱۰ و ۱۵ درصد شیرابه‌های اسیدی و بازی آلوده شد سپس جهت عمل آوری به مدت یک هفته داخل نایلون نگهداری شد سپس نمونه‌های خاک از داخل نایلون بیرون آورده شده و در معرض هوای آزاد قرار داده شد تا کاملا خشک شود و به رطوبت خاک بدون آلودگی برسد. سپس آزمایش فروریزش بر روی نمونه‌های آلوده انجام شد.

۳- ۳- آزمایش برش مستقیم

آزمایش‌های برش مستقیم در این پژوهش طبق استاندارد آیین نامه ASTM D3080/D 3080M انجام شد. در این تحقیق جهت انجام آزمایش برش مستقیم از قالبی با شکل مکعب مستطیل و با ابعاد ۲۰×۶۰×۶۰ میلی‌متر که از دو قسمت مجزا تشکیل گردیده استفاده شده‌است. سرعت اعمال نیرو در این تحقیق ۰/۰۴۸ میلی متر مکعب تنظیم گردیده است [۲۰].

۳- ۴- برنامه آزمایش‌های برش مستقیم

برنامه ریزی انجام آزمایش‌ها به شرح ذیل صورت پذیرفت:

۱. انجام آزمایش برش مستقیم بر روی خاک بازسازی شده با دانسیته و رطوبت محل برای تخمین پارامترهای مقاومت برشی خاک. در این حالت برای اشباع کردن نمونه در آزمایش برش مستقیم از آب مقطر با pH =۷ استفاده شد.

۲. انجام آزمایش برش مستقیم بر روی خاک بازسازی شده با دانسیته و رطوبت محل در شرایط اشباع با شیرابه‌ها. در این حالت برای اشباع کردن نمونه در آزمایش برش مستقیم به جای آب از شیرابه‌های مصنوعی با pH های مختلف استفاده شد تا اثر pH و مواد اسیدی و بازی بر روی پارامترهای مقاومت برشی خاک مشخص شود.

۴- نتایج و بحث

۴- ۱- نتایج فروریزش خاک اشباع با آب و بررسی اثر دست‌خوردگی بر میزان فروریزش خاک

ابتدا جهت اثبات فروریزشی بودن خاک و تعیین پتانسیل فروریزش خاک مورد آزمایش، آزمایش فروریزش روی نمونه‌های خاک دست نخورده و بازسازی شده انجام گرفت و نمونه‌ها در این آزمایش توسط آب اشباع شدند. نتایج آزمایش در جدول ۳ آمده است. با توجه به نتایج، خاک مورد آزمایش در رده شدیدا فروریزشی قرار می‌گیرد.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، دست خوردگی خاک موجب کاهش چشم‌گیر در میزان فروریزش می‌شود، به طوری‌که میانگین فروریزش در حالت دست نخورده از ۱۷/۸۵ درصد به ۱۱/۶۷ درصد در حالت بازسازی شده کاهش یافته است. علت این کاهش را می توان از بین رفتن حفره های فرامیکروسکوپی و تغییر ساختار خاک که نقش بسیار موثری در فروریزش را ایفا می‌کند، نسبت داد. در نتیجه می توان نتیجه گرفت که بازسازی خاک موجب از بین رفتن حفرات فرامیکروسکوپی و در نتیجه کاهش پتانسیل فروریزش خاک می‌شود. شکل ۲ مقایسه رفتار فروریزش خاک را برای میانگین حالت‌های دست نخورده و بازسازی شده نشان می‌دهد.

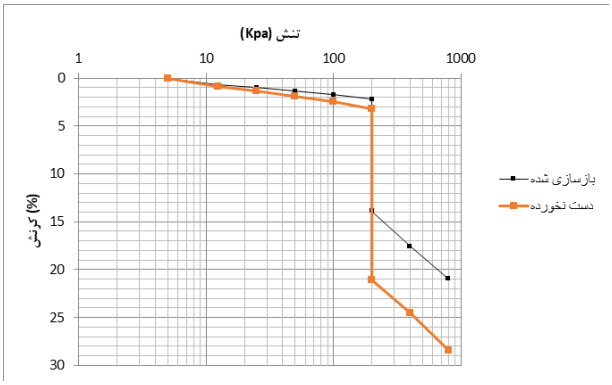
جدول ۳. نتایج آزمایش فروریزش خاک دست نخورده و بازسازی شده اشباع با آب

Table. 3. Results of collapse tests for undisturbed and remolded soils in saturated condition with water

شرایط نمونه	نمونه	نسبت تخلخل اولیه	نسبت تخلخل نهایی	رطوبت اولیه (٪)	رطوبت نهایی (٪)	دانسیته خشک خاک (g/cm^3)	معیار فروریزش (٪)	میانگین معیار فروریزش (٪)	درجه فروریزش
دست نخورده	۱	۱/۰۵	۰/۳۷	۳/۷۲	۱۸/۸۷	۱/۳	۱۹/۵۸	۱۷/۸۵	شدید
	۲	۰/۸۹	۰/۳۳	۳/۷۹	۱۸/۷۴	۱/۴۱	۱۷/۹۴		
	۳	۰/۷۴	۰/۲۶	۳/۱۴	۱۶/۲۹	۱/۵۳	۱۶/۰۴		
بازسازی شده	۱	۰/۹	۰/۴۸	۵/۵	۲۰/۴۳	۱/۴۲	۱۲/۵	۱۱/۶۷	شدید
	۲	۰/۹	۰/۵۲	۵/۵	۲۱/۱	۱/۴۲	۱۱/۹		
	۳	۰/۹	۰/۴۹	۵/۵	۲۰/۷۵	۱/۴۲	۱۰/۶۳		

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. مقایسه رفتار فروریزش خاک دست نخورده و بازسازی شده

Fig. 2. comparison of remolded and undisturbed samples collapse behavior

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود دست خوردگی خاک باعث کاهش ۶ درصدی میزان فروریزش شده‌است، اما در حالت بازسازی شده نیز خاک در حالت شدیدا فروریزشی قرار دارد.

الف) نتایج فروریزش خاک اشباع با شیرابه و تاثیر pH شیرابه بر میزان فروریزش خاک

برای بررسی رفتار فروریزشی خاک در حالتی که نشت آلاینده‌ها از قبیل شیرابه‌ها و پساب‌ها و مواد شیمیایی باعث اشباع و تغییر در رطوبت خاک می‌شود، آزمایش فروریزش بر روی نمونه‌های خاک بازسازی شده که در شرایط رطوبت طبیعی خود قرار داشتند به گونه‌ای انجام گرفت که به جای استفاده از آب جهت اشباع نمونه‌ها از شیرابه‌های مصنوعی ساخته شده در آزمایشگاه و در pHهای مختلف استفاده شد. دلیل استفاده از خاک بازسازی شده این است که در نمونه‌های دست نخورده پارامترهای مختلفی همچون رطوبت اولیه، تخلخل اولیه و دانسیته خشک خاک که همگی بر میزان فروریزش خاک تاثیرگذارند یکسان نبوده و برای بررسی تاثیر pH ضروری است تمامی پارامترهایی که بر میزان فروریزش تاثیرگذارند یکسان باشند. نتایج آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده‌است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با کاهش pH شیرابه و اسیدی شدن آن مقدار فروریزش خاک افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که مقدار فروریزش خاک از ۱۱/۶۷ درصد در حالت اشباع با آب مقطر با pH =۷ به مقدار ۱۴/۵۳ درصد در pH =۴ و به مقدار ۱۶/۷۵ درصد در pH =۱ رسیده است و در اسیدی‌ترین حالت که همان اشباع با شیرابه با pH =۱ می‌باشد به میزان ۵/۰۸ درصد نسبت به حالت اشباع با آب مقطر با pH =۷ افزایش فروریزش داشته است. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش pH و قلیایی شدن شیرابه مقدار فروریزش خاک کاهش می‌یابد به گونه‌ای که مقدار فروریزش خاک از ۱۱/۶۷ درصد در pH =۷ به مقدار ۹/۶۳ در pH =۱۴ رسیده است و مقدار ۲/۰۴ درصد نسبت به حالت اشباع با آب مقطر با pH =۷ کاهش فروریزش داشته است.

همچنین با توجه به شکل می توان دریافت که دامنه تغییرات پتانسیل رمبندگی خاک در pH های پایین و اسیدی بسیار بیشتر از pH های بالا و قلیایی است، یا به عبارتی دیگر تغییری که در پتانسیل رمبندگی خاک ایجاد می‌شود با یک یا دو واحد تغییر در pH به سمت اسیدی شدن خیلی بیشتر از تغییری است که به سمت بازی شدن دارد. به بیان دقیق تر در اسیدی ترین حالت، ۵/۰۸ درصد افزایش فروریزش در خاک نسبت به حالت خنثی مشاهده شده در حالی‌که در قلیایی ترین حالت تنها ۲/۰۴ درصد کاهش فروریزش در خاک نسبت به حالت خنثی مشاهده شده‌است.

هنگامی که سولفوریک اسید با آب رقیق می‌شود، تجزیه آن به صورت

$$H_2SO_4 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + HSO_4^- \quad (۱)$$

$$HSO_4^- + H_2O \rightarrow H_3O+ + SO_4^{2-} \quad (۲)$$

زیر در دو مرحله اتفاق می افتد:

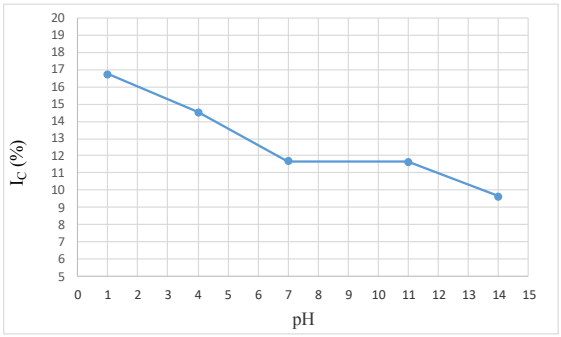
ابتدا سولفوریک اسید در ترکیب با آب به هیدرونیم (H_3O) و یون سولفات تجزیه می‌شود. یون هیدرونیوم به خاطر سایز کوچکتر و پتانسیل یونی (بار الکتریکی کاتیون هیدراته شده)، به کریستال مواد معدنی نفوذ کرده و منجر به کاهش پیوند هیدروژنی بین واحد های متوالی کائولینیت می‌شود. یون های هیدروژن می توانند آهن موجود در شبکه های کائولینیت را از بین ببرند و می توانند با ترکیب آنیون جدا شده (SO_4^{2-}) یک ماده معدنی جدید ایجاد کنند. به هرحال آنیون SO_4^{2-} قابل حرکت باقی می‌ماند و به عنوان ضدیون برای کاتیون‌ها عمل می‌کند. بنابراین این واکنش ها موجب تغییرات قابل ملاحظه در کانی تشکیل‌دهنده خاک می‌شود. جداسازی H_3O^+ می‌تواند موجب تغییرات در تبادل کاتیونی اجزاء رس شود که منجر به تغییرات مواد معدنی و ساختار خاک می‌شود. بنابراین دلیل افزایش فروریزش خاک برای حالت اشباع با اسید را می توان تخریب ساختمان خاک رس در اثر فعل و انفعالات کانی‌های رسی در مواجهه با اسید دانست که منجر به سریع شدن نشست خاک می‌گردد، همچنین اسیدها با کمک به جدایی آنیون‌ها و کاتیون‌ها موجب انحلال نمک‌های موجود در خاک می‌شوند. بنابراین با آلوده شدن خاک توسط اسید بخش عظیمی از نمک‌های موجود در خاک در فاز مایع حل می‌شوند، لذا خاصیت فاز جامد خاک از لحاظ فیزیکی تغییر می‌کند و چون فاز مایع خاک افزایش می‌یابد، مقاومت خاک کاهش پیدا کرده و فروریزش خاک افزایش می‌یابد.

دلیل کاهش فروریزش خاک در pH های بالا و قلیایی این است که انحلال پذیری یون ها در pH های بالا کاهش می‌یابد، درنتیجه رسوب‌گذاری بسیاری از یون‌ها در pH های بالا اتفاق می افتد و درنتیجه یون‌ها از فاز مایع وارد فاز جامد شده و مقاومت خاک افزایش می‌یابد و بنابراین فروریزش خاک کاهش می‌یابد. شکل ۴ رفتار فروریزش خاک را در حالت اشباع با شیرابه‌های مختلف نشان می‌دهد.

ب) تاثیر درصد آلودگی بر میزان فروریزش خاک

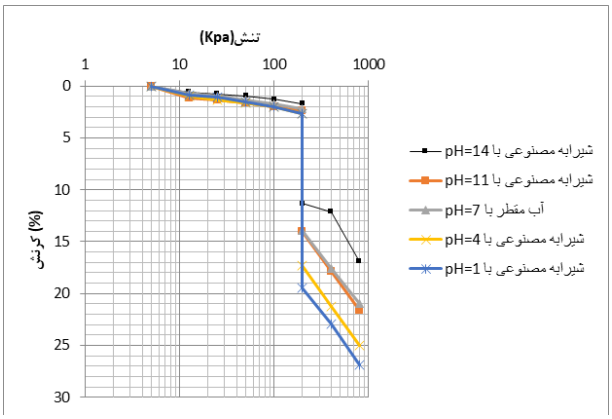
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. نمودار مقایسه رفتار فروریزش خاک در مقابل pH

Fig. 3. compare the behavior of collapse potential vs pH

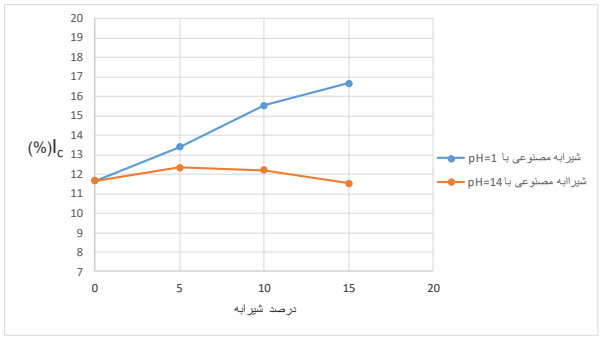


شکل ۴. نمودار مقایسه فروریزش خاک اشباع با شیرابه با pH های مختلف

Fig. 4. Comparison of collapse potential in saturated conditions with different pH values

برای بررسی تاثیر درصد آلودگی بر میزان فروریزش خاک، نمونه‌های خاک با ۵ ، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی شیرابه با pH های ۱ و ۱۴ آلوده شدند. سپس آزمایش فروریزش بر روی نمونه‌های خاک آلوده در شرایط اشباع با آب انجام شد. شکل ۵ نتایج آزمایش را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه در این آزمایش نمونه‌های خاک آلوده با آب اشباع شده بودند تاثیر اسید و باز تا حدود زیادی از بین رفته است. یعنی pH نهایی خاک تحت تاثیر اسید و باز تغییر زیادی در این حالت نکرده است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده شد، دامنه تغییرات پتانسیل رمبندگی در حالت قلیایی کم است و با توجه به اینکه pH نهایی خاک تغییر زیادی در این حالت نداشته است، به همین دلیل اگرچه درصد آلودگی شیرابه قلیایی در خاک افزایش پیدا کرده ولی پتانسیل رمبندگی خاک ثابت مانده است. به گونه‌ای که با افزایش درصد شیرابه قلیایی در خاک، مقدار فروریزش خاک از ۱۱/۶۷ درصد در حالت بدون آلودگی به ۱۱/۵۳ درصد در حالت ۱۵ درصد آلودگی با شیرابه قلیایی رسیده است. از طرفی مشاهده شد که دامنه تغییرات پتانسیل رمبندگی در حالت اسیدی خیلی زیاد است و حتی تغییر کم در pH خاک در حالت اسیدی تاثیر زیادی بر پتانسیل رمبندگی دارد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود اگرچه در این آزمایش نمونه خاک با آب اشباع شده ولی چون دامنه تغییرات پتانسیل رمبندگی در حالت اسیدی زیاد است، افزایش درصد اسید باعث افزایش پتانسیل رمبندگی خاک شده‌است به گونه‌ای که با افزایش درصد شیرابه اسیدی در خاک، مقدار فروریزش خاک ۵ درصد افزایش یافته است و از مقدار ۱۱/۶۷ درصد در حالت بدون آلودگی به مقدار ۱۶/۶۷ درصد در حالت ۱۵ درصد آلودگی با شیرابه اسیدی رسیده است.

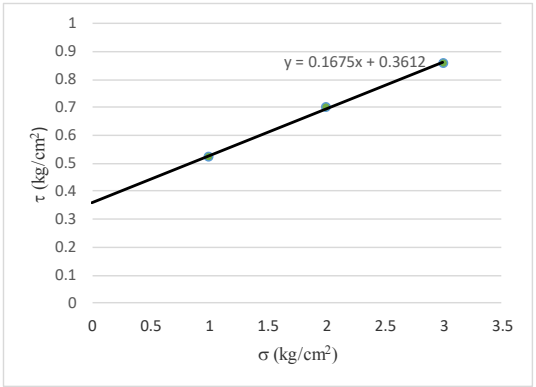
ج) نتایج آزمایش برش مستقیم برای حالت اشباع با آب



شکل ۵. تاثیر افزودن درصدی شیرابه‌های اسیدی و قلیایی بر میزان فروریزش خاک

Fig. 5. Comparison of collapse potential for different percentages of contamination

به منظور تعیین پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک رمبنده ابتدا بر روی خاک مورد نظر آزمایش برش مستقیم در شرایط زه‌کشی شده و با سرعت ۰/۰۴۸ mm/min انجام پذیرفت. شکل ۶ نمودار تنش قائم–تنش برشی را برای این آزمایش نشان می دهد. لازم به ذکر است که آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های خاک قبل از رمبندگی انجام شد. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود پارامتر چسبندگی برای خاک



شکل ۶. نمودار پوش گسیختگی برای خاک مورد مطالعه

Fig. 6. soil's Failure envelope

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار Kpa ۳۶/۱۲ و زاویه اصطکاک داخلی مقدار ۹/۵ بدست آمده است.

د) نتایج آزمایش برش مستقیم برای حالت اشباع با شیرابه با pH های مختلف

برای بررسی مقاومت برشی خاک در حالتی که نشت آلاینده‌ها از قبیل شیرابه‌ها و پساب‌ها و مواد شیمیایی باعث اشباع و تغییر در رطوبت خاک می‌شود، آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های خاک بازسازی شده که در شرایط رطوبت طبیعی خود قرار داشتند و قبل از وقوع رمبندگی به گونه‌ای انجام گرفت که به جای استفاده از آب جهت اشباع نمونه‌ها از شیرابه‌های مصنوعی ساخته شده در آزمایشگاه و با pH های مختلف استفاده شد. جدول ۴ نتایج آزمایش برش مستقیم را برای حالت اشباع با شیرابه‌های مختلف نشان می دهد.

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود با کاهش pH شیرابه و اسیدی

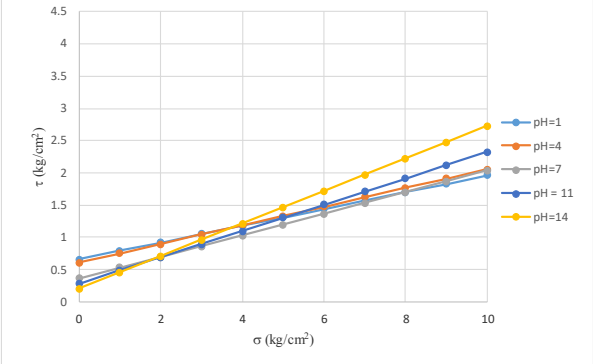
جدول ۴. نتایج آزمایش برش مستقیم برای حالت اشباع با شیرابه با pH های مختلف

Table. 4. Direct shear test results under saturated conditions with different pH values

pH	C (kpa)	Ø(˚)
۱	۶۶	۷/۰۴
۴	۶۰/۶۷	۸/۲۵
۷	۳۶/۱۲	۹/۵
۱۱	۲۸/۲۷	۱۱/۵۳
۱۴	۲۰/۳۳	۱۵/۸۹

شدن آن پارامتر چسبندگی خاک افزایش می‌یابد. به گونه‌ای که بیشترین میزان چسبندگی در pH =۱ بدست آمده که نسبت به pH =۷ پارامتر چسبندگی به میزان ۸۲٪ افزایش یافته است. هم‌چنین مشاهده می‌شود که با افزایش pH و قلیایی شدن شیرابه مقدار چسبندگی خاک کاهش می‌یابد. به طوریکه کم‌ترین میزان چسبندگی در pH =۱۴ بدست آمده است که نسبت به pH =۷ پارامتر چسبندگی به میزان ۴۴٪ کاهش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دامنه تغییرات چسبندگی در حالت‌های اسیدی بسیار بیشتر از حالت‌های قلیایی است یا به عبارتی دیگر تغییری که در چسبندگی خاک رخ می‌دهد با یک یا چند واحد تغییر در pH به سمت اسیدی شدن بسیار بیشتر از تغییری است که به سمت بازی شدن دارد. در خصوص زاویه اصطکاک داخلی مشاهده می‌شود که روند تغییرات بر عکس چسبندگی است به طوری‌که با افزایش pH شیرابه و قلیایی شدن آن مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک افزایش یافته است و بیشترین میزان زاویه اصطکاک داخلی در pH =۱۴ بدست آمده است که نسبت به pH =۷، زاویه اصطکاک داخلی ۶/۳۹ درجه افزایش داشته است. هم‌چنین با کاهش pH شیرابه و اسیدی شدن آن مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش یافته است، به گونه‌ای که کم‌ترین مقدار زاویه اصطکاک در pH =۱ بدست آمده است که نسبت به pH =۷، زاویه اصطکاک داخلی ۲/۴۶ درجه کاهش داشته است. شکل ۷ نمودار مقایسه پوش گسیختگی برای نمونه‌های خاک اشباع با pH های مختلف را نشان می‌دهد.

با توجه به این‌که در آزمایش برش مستقیم خاک تحت تنش قائم



شکل ۷. نمودار مقایسه پوش گسیختگی برای نمونه‌های خاک اشباع با pH های مختلف

Fig. 7. Failure envelope graphs under saturated conditions with different pH values

قرار دارد، لذا در حالت اشباع با شیرابه اسیدی، اسید باعث افزایش نشست در خاک می‌شود و باعث می‌شود برای ایجاد برش اولیه در خاک نیاز به نیروی بیشتری باشد. بنابراین همانطور که در بخش های قبل در شکل ۳ مشاهده شد هرچه pH شیرابه کاهش پیدا می‌کند و شیرابه اسیدی تر می‌شود، نشست خاک بیشتر و خاک متراکم تر شده و برای ایجاد برش اولیه نیروی افقی بیشتری نیاز دارد، بنابراین با افزایش نیروی برشی نمودار پوش گسیختگی در ارتفاع بالاتری قرار می‌گیرد و چسبندگی خاک در حالت های اسیدی افزایش می‌یابد.

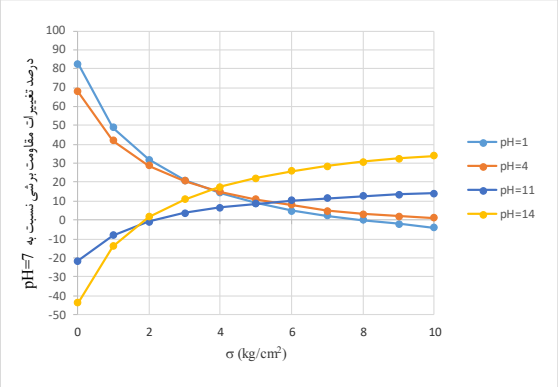
به همین ترتیب با توجه به شکل ۳ و نتایج جدول ۴ می توان نتیجه گرفت که با افزایش pH شیرابه و قلیایی شدن آن نشست خاک مورد آزمایش کاهش یافته و در نتیجه برای برش اولیه نیاز به نیروی افقی کمتری دارد. بنابراین با کاهش نیروی برشی نمودار پوش گسیختگی در ارتفاع پایین تری قرار می‌گیرد و چسبندگی خاک کاهش می‌یابد.

شکل ۸ درصد تغییرات مقاومت برشی خاک در هر pH را نسبت به مقاومت برشی خاک در pH =۷ به صورت درصدی نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود در pH های پایین و اسیدی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸. درصد تغییرات مقاومت برشی خاک در pH های مختلف نسبت به pH=۷

Fig. 8. Percentage of soil shear strength variations in each pH compared to the shear strength of the soil at pH = 7

ابتدا بدلیل افزایش چسبندگی، مقاومت برشی خاک افزایش یافته است. به طور مثال در pH =۱ ابتدا ۸۲٪ افزایش مقاومت برشی در σ=۰ و ۴۹٪ افزایش مقاومت برشی در σ=۱ kg/cm² مشاهده می‌شود ولی هرچه تنش قائم افزایش پیدا می‌کند مقاومت برشی خاک کاهش می‌یابد، به نحوی که در σ=۱۰ kg/cm² مقاومت برشی خاک، مقدار ۴ درصد نسبت به مقاومت برشی خاک در pH =۷ کاهش پیدا کرده‌است و این روند در تنش های قائم بالاتر نیز ادامه دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به ازاء مقادیر بالای تنش قائم، با کاهش pH شیرابه و اسیدی‌تر شدن آن چون زاویه اصطکاک داخلی رو به کاهش است، حاصل‌ضرب آن در تنش قائم نیز رو به کاهش است و طبق رابطه مورکولمب، در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که به ازای مقادیر بالای تنش قائم، حتی با افزایش مقدار چسبندگی، مقاومت برشی خاک یاد شده، کاهش پیدا می‌کند. به همین ترتیب در pHهای بالا و قلیایی همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود ابتدا مقاومت برشی خاک کاهش یافته سپس با افزایش تنش قائم، مقاومت برشی خاک افزایش می‌یابد که دلیل آن افزایش زاویه اصطکاک داخلی در pHهای بالا و قلیایی نسبت به حالت خنثی (pH =۷) می‌باشد که طبق رابطه مورکلمب حاصل‌ضرب زاویه اصطکاک داخلی در تنش قائم افزایش یافته و سبب شده حتی با کاهش چسبندگی مقاومت برشی خاک افزایش یابد. به طور مثال در pH =۱۴ ابتدا ۴۴٪ کاهش مقاومت برشی در σ=۰ و ۱۳/۸٪ کاهش مقاومت برشی در σ=۱ kg/cm² مشاهده می‌شود ولی هرچه تنش قائم افزایش پیدا می‌کند مقاومت برشی خاک افزایش می‌یابد، به نحوی که در در σ=۱۰ kg/cm² مقاومت برشی خاک، مقدار ۳۴٪ نسبت به مقاومت برشی خاک در pH =۷ افزایش پیدا کرده است و این روند در تنش های قائم بالاتر نیز ادامه دارد.

در پژوهش‌های پیشین که توسط محققین مختلف انجام شده نتایج بسیار گسترده می‌باشد و در اکثر موارد تاثیر شیرابه بر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک‌ها با توجه به درشت‌دانه یا ریزدانه بودن خاک‌ها متفاوت بوده‌است. به طور مثال لی و همکاران [۱۱] که به بررسی تاثیر شیرابه بر خواص مکانیکی خاک‌های رسی متراکم (CL) پرداختند، با افزایش درصد شیرابه قلیایی در خاک، کاهش در چسبندگی و افزایش در زاویه اصطکاک داخلی را مشاهده کردند. راماکریشناگودا و همکاران [۱۰] نیز با افزایش درصد سدیم هیدروکسید در خاک ریزدانه MH کاهش در چسبندگی و افزایش در زاویه اصطکاک داخلی خاک را مشاهده کردند. سانیل و همکاران [۱۳] که به بررسی تاثیر شیرابه بر خاک‌های درشت دانه SC پرداخته بودند با افزایش درصد شیرابه قلیایی در خاک افزایش در چسبندگی و کاهش در زاویه اصطکاک داخلی خاک را مشاهده کردند. در این مطالعه که تاثیر شیرابه در pH های مختلف بر روی خاک لسی رمبنده انجام گرفت با توجه به اینکه خاک مورد مطالعه ریزدانه بوده و در رده CL قرار می گرفت نتایج تقریبا مشابه پژوهش‌های گذشته بدست آمد البته با این تفاوت که این پژوهش نسبت به پژوهش‌های پیشین جامع تر انجام گرفت و تاثیر pH از اسیدی ترین حالت تا قلیایی‌ترین حالت بررسی شد.

و) نتایج آزمایش XRD

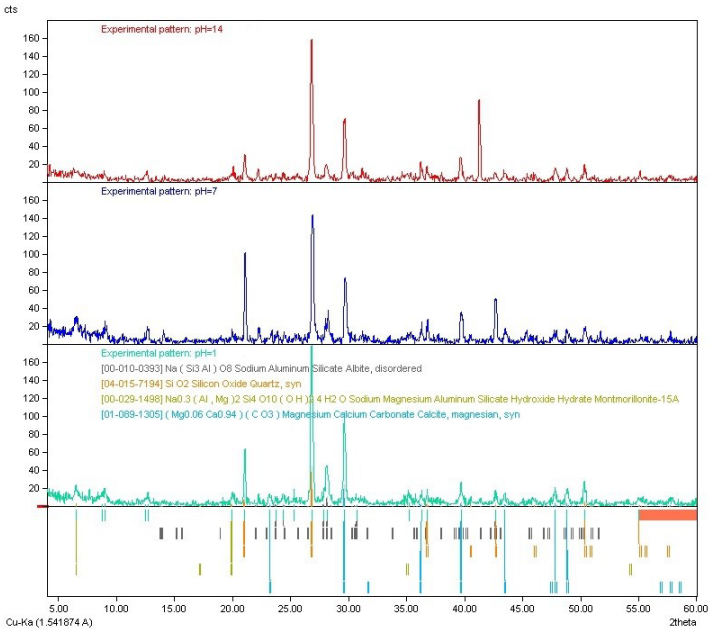
برای درک بهتر تاثیر اسید و باز بر کانی‌های خاک، آزمایش XRD برای سه نمونه خاک بدون آلودگی (pH =۷)، خاک آلوده به شیرابه مصنوعی با pH =۱ و خاک آلوده به شیرابه مصنوعی با pH =۱۴ انجام شده و با یکدیگر مقایسه شده‌است. شکل ۹ نتایج آزمایش XRD را نشان می‌دهد. مشخص است کانی‌های غالب خاک شامل کوارتز، آلبیت، کلسیت و بنتونیت می‌باشد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با اضافه شدن اسید و باز تغییرات زیادی در نمودار ایجاد شده‌است و فاز خاک و نسبت کانی‌ها عوض شده‌است. از جمله افزایش در درصد کانی کوارتز موجود در خاک قلیایی و اسیدی که میزان افزایش در حالت اسیدی بیشتر از حالت قلیایی می‌باشد. درصد کانی آلبیت نیز با با افزایش pH و قلیایی شدن خاک افزایش و با کاهش pH و اسیدی شدن خاک کاهش یافته است.

ه) نتایج آزمایش SEM

جهت درک بهتر تاثیر اسید و باز بر ساختار خاک، آزمایش SEM بر روی سه نمونه خاک بدون آلودگی(pH=۷)، خاک آلوده به شیرابه مصنوعی با pH =۱ و خاک آلوده به شیرابه مصنوعی با pH =۱۴ انجام شده و مقایسه بین سه نمونه انجام شده‌است. شکل ۱۰ تصاویر SEM سه نمونه خاک را نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، خاک آلوده به شیرابه با pH =۱، همچنان شرایط حفره دار همراه با خلل و فرج را حفظ نموده است. در این شرایط با تغییر در ساختار کانی‌ها پیوند بین دانه‌ها ضعیف‌تر شده و طبق نتایج آزمایش فروریزش، افزایش نشست و فروریزش خاک در حالت اسیدی را توجیه می‌نماید. اما از طرفی در خاک آلوده به شیرابه با pH =۱۴، حفرات خاک کاهش یافته است که کاهش نشست و فروریزش خاک در حالت قلیایی را به دنبال داشته است.

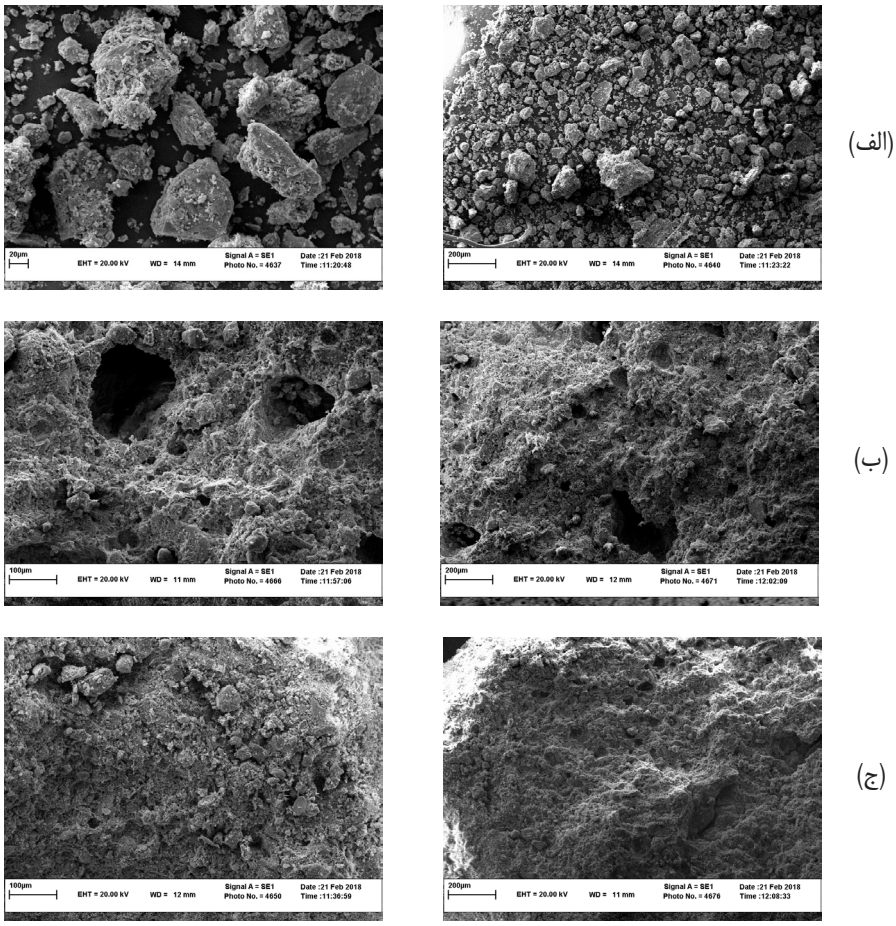
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹. نتایج آزمایش XRD در خاک با حالت های بدون آلودگی و آلوده به شیرابه با pH =۱ و pH =۱۴

Fig. 9. The results of XRD tests for samples were saturated with chemical solutions at different pH levels



شکل ۱۰. نتایج آزمایش SEM الف) خاک بدون آلودگی ب)خاک آلوده به شیرابه با pH =۱ ج) خاک آلوده به شیرابه با pH =۱۴

Fig. 10. The results of SEM tests (a) Clean soil (b) Contaminated soil with chemical solution at pH=1 (c) Contaminated soil with chemical solution at pH=14

www.SID.ir

Archive of SID

۵- نتیجه‌گیری

۱. دست‌خوردگی خاک موجب کاهش چشم‌گیر در میزان فروریزش می‌شود، به طوریکه میانگین فروریزش در حالت دست نخورده از ۱۷/۸۵ درصد به ۱۱/۶۷ درصد در حالت بازسازی شده کاهش یافته است. علت این کاهش را می توان از بین رفتن حفره‌های فرامیکروسکوپی و تغییر ساختار خاک که نقش بسیار موثری در فروریزش ایفا می نماید، نسبت داد.

۲. در خصوص تاثیر pH شیرابه بر میزان فروریزش خاک‌های رمبنده نتایج نشان دادند که با کاهش pH شیرابه و اسیدی‌تر شدن آن میزان فروریزش خاک افزایش می‌یابد به گونه‌ای که مقدار فروریزش خاک از ۱۱/۶۷ درصد در حالت اشباع با آب مقطر با pH= ۷ به مقدار ۱۴/۵۳ درصد در pH= ۴ و به مقدار ۱۶/۷۵ درصد در pH= ۱ رسیده است و در اسیدی‌ترین حالت که همان اشباع با شیرابه با pH= ۱ می‌باشد به میزان ۵/۰۸ درصد نسبت به حالت اشباع با آب مقطر با pH= ۷ افزایش فروریزش داشته است. هم‌چنین مشاهده می‌شود که با افزایش pH و قلیایی شدن شیرابه مقدار فروریزش خاک کاهش می‌یابد به گونه‌ای که مقدار فروریزش خاک از ۱۱/۶۷ درصد در pH= ۷ به مقدار ۹/۶۳ در pH= ۱۴ رسیده است و مقدار ۲/۰۴ درصد نسبت به حالت اشباع با آب مقطر با pH= ۷ کاهش فروریزش داشته است.

۳. دامنه تغییرات پتانسیل رمبندگی خاک در pH های پایین و اسیدی بسیار بیشتر از pH های بالا و قلیایی است.یا به عبارتی دیگر تغییری که در پتانسیل رمبندگی خاک ایجاد می‌شود با یک یا دو واحد تغییر در pH به سمت اسیدی شدن خیلی بیشتر از تغییری است که به سمت بازی شدن دارد. به بیان دقیق تر در حالت اشباع با شیرابه با pH= ۱، به میزان ۵/۰۸ درصد افزایش فروریزش در خاک نسبت به حالت خنثی مشاهده شده در حالی‌که در حالت اشباع با شیرابه با pH= ۱۴ تنها ۲/۰۴ درصد کاهش فروریزش در خاک نسبت به حالت خنثی مشاهده شده‌است.

۴. در خصوص تاثیر درصد آلودگی بر میزان فروریزش خاک‌های رمبنده نتایج نشان دادند که با افزایش درصد شیرابه قلیایی در خاک، پتانسیل رمبندگی نسبت به خاک بدون آلودگی ثابت مانده است که دلیل آن را می توان تغییر نکردن pH نهایی خاک به دلیل اشباع شدن نمونه خاک توسط آب در آزمایش فروریزش و پایین بودن دامنه تغییرات پتانسیل رمبندگی در حالت قلیایی عنوان کرد. ولی با افزایش درصد شیرابه اسیدی در خاک اگرچه در این آزمایش خاک با آب اشباع شده‌است ولی به دلیل اینکه دامنه تغییرات پتانسیل رمبندگی در حالت اسیدی زیاد می‌باشد، پتانسیل رمبندگی خاک افزایش پیدا کرده است، به گونه‌ای که با افزایش درصد شیرابه اسیدی در خاک، مقدار فروریزش خاک ۵ درصد افزایش یافته است و از مقدار ۱۱/۶۷ درصد در حالت بدون آلودگی به مقدار ۱۶/۶۷ درصد در حالت ۱۵ درصد آلودگی با شیرابه اسیدی رسیده است.

۵. در خصوص تاثیر pH شیرابه بر پارامتر چسبندگی خاک‌های رمبنده نتایج آزمایش‌های برش مستقیم نشان دادند که با کاهش pH شیرابه و اسیدی‌تر شدن آن چسبندگی خاک افزایش پیدا کرده‌است. به نحوی که مقدار چسبندگی از مقدار ۳۶/۱۲ Kpa در حالت pH= ۷ به مقدار ۶۶ Kpa در حالت pH= ۱ رسیده و پارامتر چسبندگی به میزان ۸۲٪ افزایش یافته است. هم‌چنین با افزایش pH شیرابه و قلیایی شدن آن چسبندگی خاک کاهش پیدا کرده‌است. به نحوی که مقدار چسبندگی از مقدار ۳۶/۱۲ Kpa در حالت pH= ۷ به مقدار ۲۰/۳۳ Kpa در حالت pH= ۱۴ رسیده و پارامتر چسبندگی به میزان ۴۴٪ کاهش یافته‌است.

۶. در خصوص تاثیر pH شیرابه بر پارامتر زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های رمبنده نتایج آزمایش های برش مستقیم نشان دادند که با کاهش pH شیرابه و اسیدی تر شدن آن زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش پیدا کرده است. به نحوی که این پارامتر از مقدار ۹/۵ درجه در حالت pH= ۷ به مقدار ۷/۰۴ در حالت pH= ۱ رسیده و پارامتر زاویه اصطکاک داخلی خاک به میزان ۲/۰۴ درجه کاهش یافته‌است. هم‌چنین با افزایش pH شیرابه و قلیایی شدن آن زاویه اصطکاک داخلی خاک افزایش پیدا کرده‌است. به نحوی که مقدار این پارامتر از مقدار ۹/۵ درجه در حالت pH= ۷ به مقدار ۱۵/۸۹ درجه در حالت pH= ۱۴ رسیده و این پارامتر به میزان ۶/۳۹ درجه افزایش یافته‌است.

۷. دامنه تغییرات پارامتر چسبندگی خاک در pH های پایین و اسیدی بسیار بیشتر از pH های بالا و قلیایی است.یا به عبارتی دیگر تغییری که در پارامتر چسبندگی خاک ایجاد می‌شود با یک یا دو واحد تغییر در pH به سمت اسیدی شدن خیلی بیشتر از تغییری است که به سمت بازی شدن دارد. به بیان دقیق تر در حالت اشباع با شیرابه با pH=۱، به میزان ۸۲٪ افزایش در پارامتر چسبندگی خاک نسبت به حالت خنثی (pH=۷) مشاهده شده در حالی‌که در حالت اشباع با شیرابه با pH=۱۴ مقدار ۴۴٪ کاهش در پارامتر چسبندگی خاک نسبت به حالت خنثی (pH=۷) مشاهده شده‌است.

۸. در خصوص تغییرات مقاومت برشی می‌توان نتیجه گرفت که به ازاء مقادیر بالای تنش قائم، با کاهش pH شیرابه و اسیدی‌تر شدن آن چون زاویه اصطکاک داخلی رو به کاهش است، حاصلضرب آن در تنش قائم نیز رو به کاهش است و حتی با افزایش مقدار چسبندگی، مقاومت برشی خاک یاد شده، کاهش پیدا می‌کند. به طور مثال در pH=۱ و در تنش قائم σ=۱ kg/cm^2 مقدار ۴۹٪ افزایش مقاومت برشی نسبت به مقاومت برشی خاک در حالت خنثی (۷=

www.SID.ir

Archive of SID

pH) مشاهده می‌شود ولی هرچه تنش قائم افزایش پیدا می‌کند مقاومت برشی خاک کاهش می‌یابد، به نحوی که در $\sigma=$ ۱۰ kg/cm^2 مقاومت برشی خاک، مقدار ۴ درصد نسبت به مقاومت برشی خاک در pH =۷ کاهش پیدا کرده است و این روند کاهشی در تنش های قائم بالاتر نیز ادامه دارد.

۹. به ازاء مقادیر بالای تنش قائم، با افزایش pH شیرابه و قلیایی تر شدن آن چون زاویه اصطکاک داخلی رو به افزایش است، حاصلضرب آن در تنش قائم نیز رو به افزایش است و حتی با کاهش مقدار چسبندگی، مقاومت برشی خاک یاد شده، افزایش پیدا می‌کند. به طور مثال در pH =۱۴ و در تنش قائم $\sigma=$۱ kg/cm^2 مقدار ۱۳/۸٪ کاهش مقاومت برشی نسبت به مقاومت برشی خاک در حالت خنثی (pH =۷) مشاهده می‌شود ولی هرچه تنش قائم افزایش پیدا می‌کند مقاومت برشی خاک افزایش می‌یابد، به نحوی که در $\sigma=$ ۱۰ kg/cm^2 مقاومت برشی خاک، مقدار ۳۴٪ نسبت به مقاومت برشی خاک در pH =۷ افزایش پیدا کرده است و این روند در تنش های قائم بالاتر نیز ادامه دارد.

۱۰. با توجه به اینکه در pH های بالا و قلیایی، فروریزش خاک کاهش پیدا کرده و مقاومت برشی خاک نیز در تنش های قائم بالا افزایش یافته است لذا پیشنهاد می‌شود برای بهبود عملکرد خاک‌های رمبنده از محلول هایی با خاصیت قلیایی استفاده شود و در بهسازی خاک‌های رمبنده pH ماده افزودنی مدنظر قرار بگیرد و استفاده از مواد افزودنی با pH بالا در دستور کار قرار بگیرد.

مراجع

[1] V. Saeed, A. Kongi, The effect of rising of sewage of Kerman city on the increasing of potential of soil collapse, in: 8th Conference of the Iranian Association of Engineering Geology and the Environment, Fredowsi University of Mashhad, 2013.

[2] M.M. Ahmadi, M. Hasanlourad, M.H. Khatami, An Investigation of the effect of Variation in the pH of Leachate on the Physical and Mechanical Properties of Kaolinite clay soil in presence Bentonite, Journal of Experimental Research in Civil Engineering (JERCE), Volume 2(Issue 2) (2015) Page 25-33

[3] W. Huang, W. Keller, Dissolution of clay minerals in dilute organic acids at room temperature, American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials, 56(5-6) (1971) 1082-1095.

[4] A. Mahdavi, The effect of Variation in the pH on some mechanical parameters of clay, Azad University of Arak, 1997.

[5] Y.-H. Wang, W.-K. Siu, Structure characteristics and mechanical properties of kaolinite soils. I. Surface charges and structural characterizations, Canadian Geotechnical Journal, 43(6) (2006) 587-600.

[6] C.H. Benson, H. Zhai, X. Wang, Estimating hydraulic conductivity of compacted clay liners, Journal of geotechnical engineering, 120(2) (1994) 366-387.

[7] S. Goldberg, H. Forster, S. Lesch, E. Heick, Influence of anion competition on boron adsorption by clays and soils, Soil Science, 161(2) (1996) 99-103.

[8] M. James, Chemical Effects on clay Hydraulic conductivity, 1995

[9] M.H. Sedghiani, A. Qadak, The effect of Variation in the pH on the strength properties of clay, in: 1st National Congress on Civil Engineering, Sharif University of Technology, 2004.

[10] C. Ramakrishnegowda, R.K. Yaji, R. Shivashankar, P.V. Sivapullaiah, Geotechnical properties of shedi soil affected by alkali contamination, Indian J. Environ. Pollut, 1 (2011) 45-52.

[11] J.-s. Li, Q. Xue, P. Wang, L. Liu, Influence of leachate pollution on mechanical properties of compacted clay: a case study on behaviors and mechanisms, Engineering Geology, 167 (2013) 128-133.

[12] R. Hasan, H. Hasan, R. Islam, K.A.A. Razi, S. Alam, T. Abdullah, Changes in geotechnical properties of soil with pH in household and industrial waste dump site, International Journal of Applied Science and Engineering Research, 2(2) (2013) 119-127.

[13] B. Sunil, S. Shrihari, S. Nayak, Shear strength characteristics and chemical characteristics of leachate-contaminated lateritic soil, Engineering Geology, 106(1-2) (2009) 20-25.

[14] P. Pells, A. Robertson, J. Jennings, K. Knight, A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to" Collapse" of grain structure, 1975.

[15] L. Barden, A. McGown, K. Collins, The collapse mechanism in partly saturated soil, Engineering Geology, 7(1) (1973) 49-60.

[16] S.M. Haeri, A.A. Garakani, The variation of total volume change, water volume change, yielding net confining stress and shear strength of undisturbed unsaturated loess under isotropic compression, in: Unsaturated soils: Research and applications, Springer, 2012, pp. 293-300.

[17] ASTM.D. 4318-87, Standard test methods for liquid limit, plastic limit and plasticity of soils, in, 1987.

www.SID.ir

Archive of SID

[18] ASTM.D. 854-92, Test method for specific gravity of soils, in, 1992.

[19] ASTM.D. 5333-03, Standard test methods for measurement of collapse potential of soils, in, 2003.

[20] ASTM.D. 3080, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, in, 2011.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

M. A. Khodabandeh, M. Keramati, S. M. Hosseini, S. Nokandeh, Effect of Leachate pH on the Collapse Potential and Shear Strength Parameters of Collapsible Soils, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 51(1) (2019) 45-58.

DOI: 10.22060/ceej.2018.12963.5301

www.SID.ir