

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود  
دانشکده پردیس خوارزمی

## بررسی اثر شیرابه زباله های جامد شهری مرکز دفن شاهرود بر پارامترهای تحکیم

در رشته مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک

نگارنده: مرتضی عجم

استاد راهنما:

دکتر محسن کرامتی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۸

شماره ۶۷۴-۲۲۴۰-۱۰۱  
تاریخ ۱۰/۷/۹۷

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتحساب نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزانی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مرتضی عجم با شماره دانشجویی ۹۴۱۲۱۳۴ رشته آموزشی در گرایش ژئوتکنیک تحت عنوان بررسی اثر شیرابه زیاده های جامد شهری مرکز دفن شاهرود در بارشترهان الحکیم که در تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۰۹ حضور محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

جنسیت:  خانم  مردود

نوع تحقیق:  نظری  عملی

ردیف	عنوان عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه تحصیلی	امضاء
۱	استاد راهنمای اول	دکتر محسن کرمانی	استاد	
۲	استاد راهنمای دوم			
۳	استاد مشاور			
۴	نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی عباس نژاد	استادیار	
۵	استاد منتجع اول	دکتر سید مهدی حسینی	استادیار	
۶	استاد منتجع دوم	دکتر ایمان آقبان	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده  
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده

تسمیه در صورتی که کسی مردود شود حداقل یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیلی) می تواند پایان نامه خود را دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق‌شما آموختم و هرچه بگو شتم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانی‌تان را پاس توانم بگویم

همسرفداکارم، تار در هم تنیده‌ی جانم سنگ‌صبور من

بر من پوشیده نیست باری که از سنگینی این شاخه به دوش کشیدی تا به ثمر نشیند

صمیمانه و بی‌اندازه حمایت را پاس می‌گویم

من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق

هر کس در مقابل احسان و نیکی بندگان خداوند سگ‌گزاری نکند خدای یکبار سگ کفنه است.

در ابتدای این تحقیق بر خود لازم دانسته تا از زحمات اساتید، همکاران و دوستان که انقدر خود که در این مسیر و سوزانه مرایاری نمودند تشکر نمایم.

باتقدیر فراوان از معلم علم و اخلاق، آقای دکتر محسن کرامتی که حالصانه علم و تجربه خویش را در اختیار بنده قرار داده و، همچون شمعی،

روشنگر این حقیر در قسمتهای تاریک این تحقیق بوده اند

باتشکر و قدردانی از، کارشناسان محترم آزمایشگاههای مکانیک خاک دانشگاه شاهرود آقای مهندس سید جمال کلانتری و آقای مهندس

ابوالفضل محمدی

و باتشکر و سپاس فراوان از استاد ارجمندم آقای مهندس محمد علی مزینانیان به خاطر راهنماییها و همراهی ایشان در طی دوران تحصیل در این رشته

## تعهد نامه

اینجانب مرتضی عجم دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی ژئوتکنیک دانشکده پردیس خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی اثر شیرابه زباله های جامد شهری مرکز دفن شاهرود بر پارامترهای تحکیم تحت راهنمایی دکتر محسن کرامتی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

مرتضی عجم

شهریور ۱۳۹۸

### مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .  
استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

با توجه به زندگی اجتماعی و گسترش شهر نشینی و رشد سریع جمعیت در جوامع انسانی، میزان تولید زباله‌های شهری به صورت چشمگیری افزایش یافته است. یکی از راه‌های دفع این زباله‌ها از محیط اطراف زندگی بشر، دفن آنها است. شیوه‌های دفن یا دپوی روباز زباله‌ها باعث مشکلات فراوانی در محیط زیست می‌شود و از طرفی، بارش‌های جوی از سوی دیگر سبب ایجاد شیرابه‌ای از این زباله‌ها می‌گردد که به علت نفوذ پذیری خاک محل دفن یا دپوی روباز تأثیراتی منفی، بر رفتارهای مکانیکی خاک‌ها دارد. با توجه ویژگی نفوذپذیری کم خاک رس، می‌تواند بهترین انتخاب از دیدگاه نفوذ پذیری باشد ولی با توجه به تغییرات اساسی تأثیر شیرابه بر خاک رس و کاهش پارامترهای تحکیم و نفوذپذیری، حتماً بایستی مورد ارزیابی و پژوهش قرار گیرد لذا با توجه به این مهم در این تحقیق ضمن بررسی آزمایشات مختلف شناسایی، فیزیکی و شیمیایی بر خاک و شیرابه به بررسی تأثیر شیرابه بر پارامترهای تحکیمی خاک مورد نظر محل دفن زباله‌های جامد شهری شاهرود پرداخته شده است که در انتهای این تحقیق نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته و در قالب نمودار و جداول ارائه گردیده است. در این پژوهش، با استفاده از روشهای استاندارد آزمایشات مختلف (و با درصد های ۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪ شیرابه) مشخص گردید مقادیر پارامترهای تحکیم و نفوذپذیری کاهش چشمگیری می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** زباله‌های شهری - شیرابه - پارامترهای تحکیمی - خاک رس - آلودگی خاک

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل ۱: مقدمه
۲-۱-۱	مقدمه
۳-۱-۲	تشریح مساله و اهمیت آن
۳-۱-۳	ضرورت انجام تحقیق
۴-۱-۴	اهداف تحقیق
۴-۱-۵	روش تحقیق
۵-۱-۶	ساختار پایان نامه
	فصل ۲: مروری بر منابع
۸-۱-۲	مقدمه
۸-۲-۲	عوامل مؤثر در واکنش بین خاک و سیال
۸-۲-۲-۱	ثابت دی الکتریک
۹-۲-۲-۲	کانی‌های رسی
۱۲-۲-۲-۳	تئوری لایه مضاعف
۱۳-۲-۲-۴	تأثیر سیالات آلی بر ساختار تجمعی خاک‌های رسی
۱۵-۲-۳	مروری بر ادبیات موضوع
۱۵-۲-۳-۱	تحقیقات صورت گرفته توسط معاونان و یثربی
۱۸-۲-۳-۲	تحقیقات صورت گرفته توسط بیلدیز و اولگون
۲۱-۲-۳-۳	تحقیقات صورت گرفته توسط متئو و همکاران
۲۳-۲-۳-۴	تحقیقات صورت گرفته توسط حمیدی و جداری
۲۷-۲-۳-۵	تحقیقات صورت گرفته توسط اوحدی و فخیم‌جو
۲۹-۲-۳-۶	تحقیقات صورت گرفته توسط رئیسی استبرق و همکاران
۳۲-۲-۳-۷	تحقیقات صورت گرفته توسط خطیبی و همکاران
	فصل ۳: روش تحقیق
۳۶-۱-۳	مقدمه
۳۶-۲-۳	معرفی مرکز دفن شاهرود
۳۸-۳-۳	نمونه گیری



- ۳-۳-۱- نمونه گیری از خاک بستر..... ۳۹
- ۳-۳-۲- نمونه گیری از شیرابه ..... ۴۰
- ۳-۴-۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های مورد استفاده ..... ۴۱
- ۳-۴-۱-۱- خاک بستر ..... ۴۱
- ۳-۴-۱-۲- آزمایش تعیین رطوبت بهینه به روش جرمی ..... ۴۱
- ۳-۴-۱-۳- آزمایش تعیین چگالی ویژه بخش جامد به وسیله‌ی پیکنومتر آب ..... ۴۲
- ۳-۴-۱-۴- آزمایش دانه‌بندی خاک به روش الک و هیدرومتری ..... ۴۴
- ۳-۴-۱-۵- آزمایش حدود اتربرگ ..... ۴۶
- ۳-۴-۱-۶- رده‌بندی خاک ..... ۴۹
- ۳-۴-۱-۷- آزمایش تعیین دانسیته ..... ۵۱
- ۳-۴-۱-۸- آزمایش تعیین مشخصات تراکم خاک ..... ۵۳
- ۳-۴-۱-۹- طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس ..... ۵۴
- ۳-۴-۲- شیرابه ..... ۵۶
- ۳-۴-۲-۱- شیرابه و ترکیبات آن ..... ۵۶
- ۳-۴-۲-۱-۱- شیرابه اولیه ..... ۵۶
- ۳-۴-۲-۱-۲- شیرابه ثانویه ..... ۵۷
- ۳-۴-۲-۲- خصوصیات شیمیایی شیرابه و خاک ..... ۵۷
- ۳-۴-۳- آزمایش BOD ..... ۵۸
- ۳-۴-۴- آزمایش COD ..... ۵۹
- ۳-۴-۵- آزمایش هدایت الکتریکی EC ..... ۶۰
- ۳-۵-۱- روش تحقیق ..... ۶۲
- ۳-۵-۱-۱- آزمایش و دستگاه تحکیم ..... ۶۳
- ۳-۵-۲- تئوری آزمایش ..... ۶۴
- ۳-۵-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها ..... ۶۶
- ۳-۵-۳-۱- آماده‌سازی نمونه خاک ..... ۶۶
- ۳-۵-۳-۲- اختلاط شیرابه با درصد‌های مختلف با خاک ..... ۶۶
- ۳-۵-۴- مراحل و بازه‌های بارگذاری و باربرداری ..... ۶۷
- ۳-۶- نام‌گذاری آزمایش‌ها ..... ۶۸
- ۳-۷- آزمایش‌های انجام شده ..... ۶۹

#### فصل ۴: بررسی نتایج

- ۴-۱- مقدمه ..... ۷۲

۷۳	۲-۴- نتایج آزمایش های مرجع
۷۵	۳-۴- افزایش درصد شیرابه
۸۲	۱-۳-۴- تفسیر ضریب تحکیم Cv
۸۲	۲-۳-۴- تفسیر پارامتر ضریب تغییر حجمی خاک mv
۸۳	۳-۳-۴- تفسیر پارامتر نفوذ پذیری k
۸۴	۴-۳-۴- تفسیر پارامترهای شاخص تراکم Cc و شاخص تورم Cs

#### فصل ۵: جمع بندی و پیشنهادات

۹۰	۱-۵- جمع بندی نتایج
۹۱	۲-۵- پیشنهادها
۹۳	فهرست منابع

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۹.....	شکل (۱-۲) لایه مضاعف پراکنده .....
۱۰.....	شکل (۲-۲) خاصیت دوقطبی مولکول آب .....
۱۱.....	شکل (۳-۲) جذب مولکولهای دوقطبی آب در لایه های مضاعف.....
۱۲.....	شکل (۴-۲) آب احاطه کننده ذرات رس .....
۱۳.....	شکل (۵-۲) مرز بین منطقه آب آزاد و منطقه آب منظم.....
۱۴.....	شکل (۶-۲) ساختار تجمعی ذرات رس .....
۱۶.....	شکل (۷-۲) منحنی زمان - تورم برای رس طالقان.....
۱۷.....	شکل (۸-۲) منحنی زمان - تورم برای رس بوئین زهرا.....
۱۹.....	شکل (۹-۲) حد روانی نمونه رسی از آکسارای .....
۱۹.....	شکل (۱۰-۲) شاخص خمیری نمونه رسی از آکسارای .....
۲۰.....	شکل (۱۱-۲) شاخص فشردگی نمونه رسی از آکسارای برای نسبت های مختلف سیال به آب .....
۲۱.....	شکل (۱۲-۲) شاخص تورم نمونه رسی از آکسارای برای نسبت های مختلف سیال به آب .....
۲۲.....	شکل (۱۳-۲) تغییر در حد روانی مشابه با ثابت دی الکتریک سیالات منفذی .....
۲۲.....	شکل (۱۴-۲) تغییر در شاخص فشردگی با ثابت دی الکتریک سیالات منفذی .....
۲۳.....	شکل (۱۵-۲) پیش بینی شاخص فشردگی در مقابل شاخص فشردگی واقعی در پایگاه داده ها.....
۲۵.....	شکل (۱۶-۲) حد روانی و شاخص خمیری خاک آلوده به نفت گاز.....
۲۵.....	شکل (۱۷-۲) حد روانی و شاخص خمیری خاک آلوده به نفت سفید.....
۲۶.....	شکل (۱۸-۲) نتایج آزمایش تراکم استاندارد بر رس کائولینیت و رس بنتونیت با سیال آب.....
۲۶.....	شکل (۱۹-۲) نتایج آزمایش تراکم استاندارد بر رس کائولینیت آلوده به نفت سفید و نفت گاز.....
۲۸.....	شکل (۲۰-۲) نمودار تغییرات حد روانی در غلظتهای مختلف آلاینده آلی در نمونه بنتونیت .....
۲۹.....	شکل (۲۱-۲) تغییرات ضریب نفوذپذیری بنتونیت برای سیالات با ثابت دی الکتریک متفاوت.....
۳۰.....	شکل (۲۲-۲) تغییر در شاخص فشردگی با غلظت های سیالات آلی در نمونه های دوغابی.....
۳۱.....	شکل (۲۳-۲) تغییر در شاخص فشردگی با غلظت های سیالات آلی در نمونه ها با تاریخچه تنش .....
۳۲.....	شکل (۲۴-۲) تغییر در فشار بیش تحکیمی (PC) با غلظتهای مختلف سیالات آلی برای خاک A .....
۳۳.....	شکل (۲۵-۲) نمودار تنش کرنش برای خاک طبیعی و خاک آلوده شده با ۳، ۶ و ۹ درصد گلیسرول.....

- شکل (۲-۲۶) نمودار تنش کرنش خاک طبیعی و خاک سیمان با ۳ درصد سیمان..... ۳۳
- شکل (۲-۲۷) نمودار تغییرات تنش کرنش خاک سیمان با ۶ درصد سیمان و ۶ درصد گلیسرول..... ۳۴
- شکل (۳-۱) نمایی از محل دفن زباله های جامد شهری شاهرود..... ۳۷
- شکل (۳-۲) نمونه برداری دست خورده از خاک مورد نظر..... ۴۰
- شکل (۳-۳) برخی از وسایل آزمایش تعیین چگالی ویژه بخش جامد خاکهای ریزدانه..... ۴۳
- شکل (۳-۴) الکهای آزمایش دانه بندی به روش تر(قسمت درشت دانه)..... ۴۵
- شکل (۳-۵) نمودار دانه بندی خاک مورد مطالعه ..... ۴۶
- شکل (۳-۶) نمودار حد روانی..... ۴۷
- شکل (۳-۷) جام کاساگرانده وسایل آزمایش حد روانی ومراحل انجام آزمایش ..... ۴۷
- شکل (۳-۸) مراحل انجام آزمایش حد پلاستیک ..... ۴۸
- شکل (۳-۹) مرز حد انقباض، حد خمیری، حدروانی ..... ۴۹
- شکل (۳-۱۰) نمودار کاساگرانده برای رده بندی خاک های رسی ..... ۵۱
- شکل (۳-۱۱) لوازم آزمایش تعیین دانسیته خشک طبیعی وکلوخه های آغشته به پارافین ..... ۵۲
- شکل (۳-۱۲) نمودار تراکم آزمایشگاهی خاک مورد مطالعه..... ۵۴
- شکل (۳-۱۳) شیرابه مدفن زباله شهری ..... ۵۸
- شکل (۳-۱۴) دستگاه هدایت الکتریکی EC ..... ۶۱
- شکل (۳-۱۵) دستگاه تشخیص PH نمونه ..... ۶۱
- شکل (۳-۱۶) قالب دستگاه تحکیم..... ۶۵
- شکل (۳-۱۷) دستگاه تحکیم آزمایشگاه مکانیک خاک ..... ۶۵
- شکل (۴-۱) نتایج آزمایش تحکیم با ۱۰۰٪ آب و ۰٪ شیرابه برای تعیین cv..... ۷۳
- شکل (۴-۲) نتایج آزمایش تحکیم با ۱۰۰٪ آب و ۰٪ شیرابه برای تعیین mv ..... ۷۴
- شکل (۴-۳) نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم تنش نتایج آزمایش تحکیم با ۱۰۰٪ آب و ۰٪ شیرابه..... ۷۴
- شکل (۴-۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۷۰٪ آب و ۳۰٪ شیرابه برای تعیین cv ..... ۷۵
- شکل (۴-۵) نتایج آزمایش تحکیم با ۷۰٪ آب و ۳۰٪ شیرابه برای تعیین mv ..... ۷۶
- شکل (۴-۶) نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم تنش نتایج آزمایش تحکیم با ۷۰٪ آب و ۳۰٪ شیرابه ..... ۷۶
- شکل (۴-۷) نتایج آزمایش تحکیم با ۵۰٪ آب و ۵۰٪ شیرابه برای تعیین cv ..... ۷۷
- شکل (۴-۸) نتایج آزمایش تحکیم با ۵۰٪ آب و ۵۰٪ شیرابه برای تعیین mv ..... ۷۸
- شکل (۴-۹) نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم تنش نتایج آزمایش تحکیم با ۵۰٪ آب و ۵۰٪ شیرابه..... ۷۸
- شکل (۴-۱۰) نتایج آزمایش تحکیم با ۳۰٪ آب و ۷۰٪ شیرابه برای تعیین cv ..... ۷۹

- شکل (۴-۱۱) نتایج آزمایش تحکیم با ۳۰٪ آب و ۷۰٪ شیرابه برای تعیین mv ..... ۷۹
- شکل (۴-۱۲) نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم تنش نتایج آزمایش تحکیم با ۳۰٪ آب و ۷۰٪ شیرابه ..... ۸۰
- شکل (۴-۱۳) نتایج آزمایش تحکیم با ۰٪ آب و ۱۰۰٪ شیرابه برای تعیین cv ..... ۸۰
- شکل (۴-۱۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۰٪ آب و ۱۰۰٪ شیرابه برای تعیین mv ..... ۸۱
- شکل (۴-۱۵) نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم تنش نتایج آزمایش تحکیم با ۰٪ آب و ۱۰۰٪ شیرابه ..... ۸۱
- شکل (۴-۱۶) شاخص تراکم برای درصد های مختلف شیرابه ..... ۸۲
- شکل (۴-۱۷) شاخص تورم برای درصد های مختلف شیرابه ..... ۸۴
- شکل (۴-۱۸) شاخص ضریب تحکیم برای درصد های مختلف شیرابه ..... ۸۵
- شکل (۴-۱۹) شاخص ضریب تغییر حجمی برای درصد های مختلف شیرابه ..... ۸۶
- شکل (۴-۲۰) شاخص نفوذ پذیری برای درصد های مختلف شیرابه ..... ۸۶
- شکل (۴-۲۱) درصد تغییرات ضریب تحکیم برای درصدهای مختلف شیرابه ..... ۸۷
- شکل (۴-۲۲) درصد تغییرات شاخص نفوذ پذیری برای درصدهای مختلف شیرابه ..... ۸۷

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۷	جدول (۱-۲) تغییرات رطوبت، درجه تخلخل و خواص تراکمی برای رس بوئین زهرا در آزمایش تحکیم اسمزی.....
۳۸	جدول (۱-۳) سرانه تولید زباله و وزن کل زباله تولیدی شهروندان شاهرودی در طی سالهای دوره طرح
۴۴	جدول (۲-۳) طبقه بندی چگالی ویژه بخش جامد خاک.....
۴۹	جدول (۳-۳) نتایج آزمایش حدود اتربرگ و پارامترهای وابسته به آن.....
۵۰	جدول (۴-۳) طبقه بندی خاک به روش یونیفاید.....
۵۵	جدول (۵-۳) نتایج آزمایش XRF بر روی خاک مورد مطالعه.....
۶۰	جدول (۶-۳) نتیجه آنالیز آب.....
۶۲	جدول (۷-۳) نتایج آنالیز شیرابه مدفن زباله جامد شهری شاهرود و همچنین خاک بستر مورد آزمایش.....
۶۷	جدول (۸-۳) مراحل بارگذاری و باربرداری.....
۶۸	جدول (۹-۳) راهنمای نمودارها.....
۷۳	جدول (۱-۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۱۰۰٪ آب و ۰٪ شیرابه.....
۷۵	جدول (۲-۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۷۰٪ آب و ۳۰٪ شیرابه.....
۷۷	جدول (۳-۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۵۰٪ آب و ۵۰٪ شیرابه.....
۷۹	جدول (۴-۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۳۰٪ آب و ۷۰٪ شیرابه.....
۸۰	جدول (۵-۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۰٪ آب و ۱۰۰٪ شیرابه.....
۸۴	جدول (۶-۴) نتایج شاخص تورم و تراکم درصد های مختلف شیرابه.....
۸۵	جدول (۷-۴) نتایج شاخصهای ضریب تحکیم، شاخص تراکم حجمی و نفوذپذیری برای درصدهای مختلف شیرابه.....

## فهرست علائم اختصاری

$C_u$	ضریب یکنواختی
$C_c$	ضریب دانه بندی
$D$	قطر ذرات
$G_s$	چگالی دانه های ذرات خاک
$\omega$	درصد رطوبت
$\omega_n$	درصد رطوبت حدروانی
$C_c$	شاخص تراکم
$C_v$	ضریب تحکیم
$C_s$	شاخص تورم
$k$	پارامتر نفوذ پذیری
$m_v$	ضریب تغییر حجمی خاک
$PL$	حد پلاستیک
$LL$	حد روانی
$IC$	نشانه استحکام
$PI$	نشانه پلاستیک
$IL$	نشانه روانی
$A$	عدد فعالیت رس
$\sigma$	تنش قائم
ASTM	American Society for Testing and Materials روش آزمون استاندارد آمریکایی
XRF	X Ray Fluorescence طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس

# فصل اول

## مقدمه



## ۱-۱- مقدمه

آلودگی خاک توسط سیالات آلی میتواند خواص خاک مانند هدایت هیدرولیکی، رفتار تنش-کرنش و مقاومت را تغییر دهد و باعث به وجود آمدن تنش‌هایی شود که حساسیت خاک را افزایش داده و خاک فروریزی ایجاد می‌کند. افزایش تنش در خاک و کاهش مقاومت برشی به وسیله آلاینده‌ها، لایه‌های خاک را بیشتر وادار به گسیختگی می‌کند. تحت این شرایط پایداری کلی سازه‌های موجود روی محل دفن زباله و اطراف آن، کاهش می‌یابد. [۱]

در تحکیم‌پذیری رس‌ها تحت آلودگی‌های آلی و غیر آلی دو عامل نقش دارند، عامل اول غلظت و نوع کاتیون موجود در مایع حفره‌ای است و عامل دوم ثابت دی‌الکتریک است مایعات آلی به واسطه عامل دوم بر خاک‌های رسی تأثیر می‌گذارند. [۲]

مرور مطالب گذشته نشان می‌دهد که تحقیقات قابل توجهی در مورد تأثیر شیمیایی سیالات نفوذی روی هدایت هیدرولیکی خاکها وجود دارد. ضریب هدایت هیدرولیکی پارامتر مهمی در کنترل عملکرد سیستم‌های محافظ در برابر آلاینده‌ها می‌باشد اما تراکم‌پذیری در تشخیص تغییر شکل این سیستم، مهم است. هرچند تحقیقات خیلی محدودی روی رفتار تحکیمی خاک‌های آلوده انجام گرفته است اما یکی از مسائل مهم و اجتناب ناپذیر در طراحی و احداث سازه‌های عمرانی، تعیین مقدار و چگونگی نشست پی سازه در اثر فشردگی لایه‌های گوناگون خاک است. نشست ناشی از تحکیم لایه‌های خاک، به دلیل ماهیت تدریجی آن، خطری بالقوه برای اکثر سازه‌های بنا شده بر خاک‌های تحکیم‌پذیر محسوب می‌شود، بنابراین تعیین پارامترهای تحکیمی خاک، برای برآورد نشست تحکیمی، امری بسیار مهم در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. [۳]

با توجه به این که گاهی مواقع آلاینده‌ها خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌ها را بهبود می‌بخشند، در محل‌هایی که استفاده از این خاک‌ها تهدید کننده محیط زیست نباشند، امکان استفاده مهندسی از این خاکها به عنوان مصالح ساخت، در راه‌سازی و در محل‌های دیگر به عنوان یک روش مناسب، می‌تواند پیشنهاد گردد. [۳]

## ۱-۲- تشریح مساله و اهمیت آن

توسعه روز افزون مناطق شهری، گسترش بی رویه جمعیت، افزایش مصرف مواد دارای پسماند تجزیه ناپذیر و بسیاری دیگر از دست آوردهای زندگی ماشینی باعث شده است که یکی از دغدغه های اساسی در مدیریت محیط زیست شهری چگونگی دفع و معدوم سازی این زباله ها باشد.

شیرابه به عنوان یکی از محصولات ناگزیر در لندفیل ها که در اثر فعالیت های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به وجود می آید همواره مورد توجه مدیران شهری و حافظان محیط زیست بوده است. [۳] حرکت افقی شیرابه در اماکن دفن زباله های شهری می تواند باعث خروج شیرابه از سطح خاک در نقاط کم ارتفاع شده و باعث آلودگی آب های سطحی شود و حرکت قائم شیرابه از لایه های مختلف زیر مدفن نه تنها باعث آلودگی خاک شده بلکه در صورت بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی باعث آلودگی آب های زیرزمینی می گردد [۴]، که این آبها معمولا مهمترین منبع تامین آب یک منطقه بوده و در صورت آلودگی سلامت استفاده کنندگان به خطر خواهد افتاد. یکی از مسائل حائز اهمیت در طراحی مرکز دفن، مسئله پایداری لندفیل می باشد، که در این تحقیق صرفا بر پارامترهای تحکیم خاک محل دفن پرداخته شده است. زیرا نشست تحکیمی و تفاوتی می تواند باعث ایجاد درز و ترک و در نهایت تراوش بیشتر شیرابه به آبهای زیرزمینی شود و البته پایداری کلی سیستم لندفیل رابه خطر بیاندازد و نیز منجر به آسیب های اجرایی مانند سیستم های زهکشی، لوله های جمع آوری گاز و بازچرخش شیرابه و همچنین نفوذ مواد سمی و خطرناک و انتشار این مواد به آبهای زیرزمینی و یا سطح زمین گردد [۵].

## ۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

وقتی خاک آلوده می گردد مایعات موجود در منافذ خاک بایستی به طور خاص مورد توجه قرار گیرند. با توجه به نفوذ مایعات آلوده به خاک ها و نیز مطالعاتی که در این زمینه بصورت تجربی و تئوری بر روی این مسئله در گذشته انجام گرفته است، می تواند در تشریح بهتر مساله به محققین کمک کند، اما به دلیل پیچیدگی های

موجود در سیستم مایع- خاک، همچنین مطالعات تئوری گذشته نیز همانند مطالعات تجربی به صورت کامل نمی باشند. تاثیر شیمیایی مایعات نفوذی هنوز بر روی رفتار مهندسی خاک ها در بسیاری از جهات ناشناخته بوده و در برخی از موارد قابل بحث می باشد. این پژوهش در نظر دارد تا اثر نفوذ شیرابه زباله های جامد شهری را به عنوان مایع نفوذی بر روی پارامتر های تحکیم بستر لندفیل در مرکز دفن شاهرود را مورد بررسی قرار دهد و با بکارگیری این نتایج در رفع نقاط منفی و یا مثبت شیرابه و در نهایت در نظر گرفتن این نتایج در طراحی و اجرای بهینه محل های دفن مواد زائد جامد شهری که از اهداف مهندسی ژئوتکنیک به شمار می آید، بررسی می شود.

#### ۴-۱- اهداف تحقیق

هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی تغییرات پارامتر های تحکیمی و نفوذپذیری خاک بستر مرکز دفن زباله های جامد شهری شاهرود تحت نفوذ شیرابه می باشد. با توجه به کثرت مطالعات انجام شده در زمینه تغییرات پارامتر های تحکیمی تحت اثر مواد آلی و معدنی مختلف روی خاک ها، این تحقیق بصورت عملی و نتایج آزمایشگاهی متمرکز شده است. در آزمایش ها شیرابه مرکز دفن زباله شاهرود به عنوان سیال نفوذ کننده انتخاب و از خاک کف مرکز دفن زباله به عنوان نمونه استفاده شده است.

#### ۵-۱- روش تحقیق

این تحقیق بر اساس مطالعات آزمایشگاهی جهت بررسی تاثیر شیرابه زباله های جامد شهری شهر شاهرود بر پارامتر های تحکیم خاک محل دفن صورت می پذیرد. پس از برداشت نمونه های خاک بطور تصادفی از محل و شیرابه موجود در مرکز دفن، نمونه خاک برای انجام آزمایشات تحکیم به همراه نسبت درصدهای (۰٪ آب و

۱۰۰٪ شیرابه) (۳۰٪ آب و ۷۰٪ شیرابه) (۵۰٪ آب و ۵۰٪ شیرابه) (۷۰٪ آب و ۳۰٪ شیرابه) (۱۰۰٪ آب و ۰٪ شیرابه) مورد بررسی قرار می گیرد، که نتایج آزمایشات و اقدامات انجام شده بصورت کامل در فصل پایانی پایان نامه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار میگیرد. همچنین پس از تعیین پارامترهای مورد نظر خاک به استخراج نتایج در قالب منحنی ها و جداول و تفسیر آنها پرداخته شده است.

## ۱-۶- ساختار پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر پنج فصل می باشد. که فصل حاضر به مقدمه ای بر روش های بکار گرفته شده، اهداف و فرضیات و روش تحقیق اختصاص یافته است.

در فصل دوم به مروری بر کارهای گذشته پرداخته شده است، ساختار کلی مراکز دفن و همچنین با کارهای گذشته مقایسه و نتیجه گیری می شود.

در فصل سوم، به روش های آزمایشگاهی و آزمایش های مکانیک خاک و شیرابه در این تحقیق پرداخته شده و ضمن بیان روشها شرح نتایج نیز آمده است.

در فصل چهارم به بررسی نتایج حاصله از آزمایش تحکیم و محاسبه نفوذپذیری و تاثیر شیرابه با غلظتهای مورد نظر در این تحقیق پرداخته شده است.

در فصل پایانی (پنجم)، نتیجه گیری از این پژوهش و مقایسه نتایج آن گزارش می شود، و همچنین ارائه پیشنهادات نیز ارائه گردیده است.



# فصل دوم

## مروری بر منابع

## ۱-۲- مقدمه

حضور آلاینده در سیال منفذی خاک منجر به تغییر در خواص فیزیکی و رفتاری خاک می‌شود. مطابق نظریه لایه دوگانه، ثابت دی‌الکتریک به عنوان پارامتر کلیدی در فرآیند اندرکنش رس و مواد آلی مطرح می‌باشد. در این فصل تئوری پژوهش آورده شده است که شامل توضیحی در مورد تحکیم خاک و ثابت دی‌الکتریک و تئوری لایه مضاعف می‌باشد و در ادامه به توضیح کارهایی که در گذشته انجام گرفته، پرداخته شده است.

## ۲-۲- عوامل مؤثر در واکنش بین خاک و سیال

در تراکم پذیری رس‌ها تحت آلودگی‌های آلی و غیر آلی دو عامل نقش دارند. عامل اول غلظت و نوع کاتیون موجود در مایع حفره‌ای است و عامل دوم ثابت دی‌الکتریک است. مایعات آلی به واسطه عامل دوم بر خاکهای رسی تأثیر می‌گذارند. کاهش ثابت دی‌الکتریک در رس‌ها سبب کاهش ضخامت لایه دوگانه می‌شود. ضخامت لایه دوگانه در رس‌ها با فعالیت بیشتر نظیر مونت موریلونت کاهش بیشتری می‌یابد. کاهش ضخامت لایه دوگانه، تنش مؤثر در رس‌ها را افزایش می‌دهد. [۲]

## ۲-۲-۱- ثابت دی‌الکتریک

طبق قانون کولن:

$$F = q_1 q_2 / D \cdot r^2 \quad (1-2)$$

که در این معادله  $F$  نیروی جاذبه الکتروستاتیکی بین دو یون مثبت و منفی،  $q_1$  و  $q_2$  بار یونها،  $r$  فاصله میان یونها و  $D$  خاصیت ویژه حلال (ثابت دی‌الکتریک) می‌باشد، بدیهی است که هر قدر ثابت دی‌الکتریک بیشتر باشد، نیروی جاذبه میان یونها کمتر می‌شود.

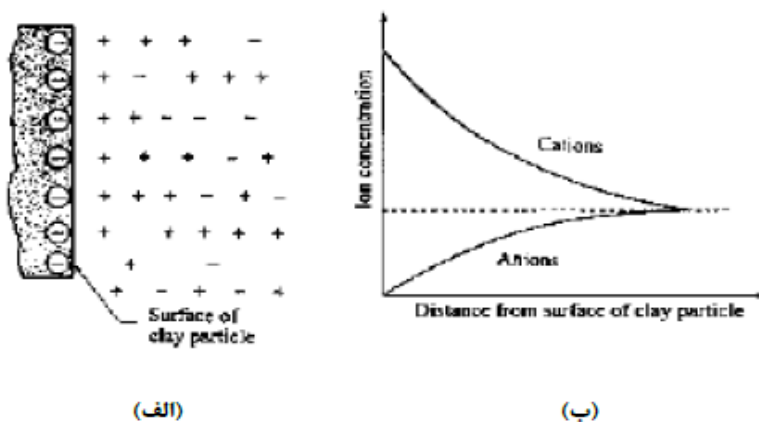
در میان تمام مایعات، آب بالاترین ثابت دی‌الکتریک را دارد. قدرت حلالیت آب برای یک ترکیب یونی را می‌توان با کاهش نیروی جاذبه میان آنیون‌ها و کاتیون‌ها توضیح داد. مولکولهای قطبی و کوچک آب می‌توانند بین

یون‌های مثبت و منفی داخل محلول قرار گیرند. قطب منفی آب به طرف کاتیون و قطب مثبت آن به طرف آنیون می‌رود و در نتیجه مولکول‌های آب می‌توانند بطور مؤثری یونها را از هم جدا سازند و سپس با احاطه شدن یونها با مولکولهای آب، فرایند آبپوشی و در نتیجه انحلال ترکیب مورد نظر صورت می‌گیرد.

## ۲-۲-۲- کانی‌های رسی

ذرات رس در سطح خود بار منفی خالصی حمل می‌کنند. این پدیده هم به علت جانشینی ایزومرفیک و هم به علت شکست پیوستگی ساختمان مولکولی در لبه‌ها می‌باشد. هر چه سطح مخصوص کانی رس بزرگتر باشد، بار منفی بزرگتر خواهد بود. بعضی مناطق با بار مثبت نیز ممکن است در لبه‌ها وجود داشته باشد. [۴]

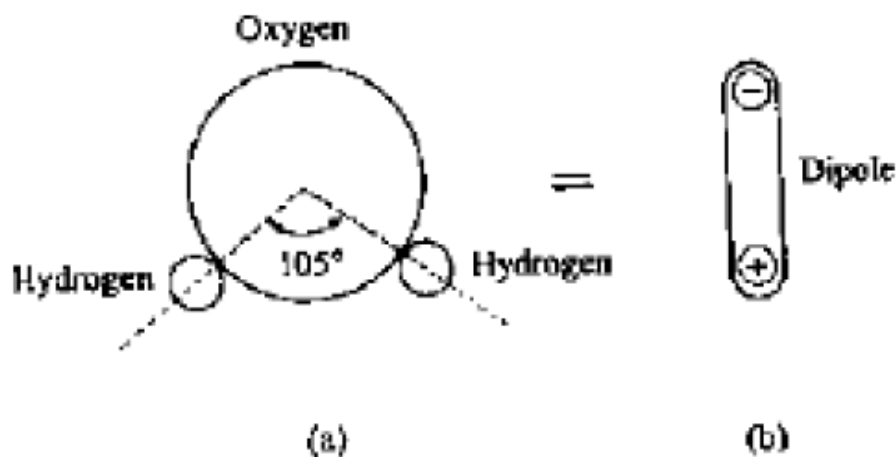
در رس خشک کاتیونهای منفی با کاتیونهای قابل تعویضی، نظیر  $Ca^{++}$ ،  $Mg^{++}$ ،  $Na^{+}$  و  $K^{+}$  متعادل می‌گردد که ذرات نگه داشته شده به وسیله جاذبه الکترواستاتیک را احاطه کرده‌اند. وقتی که آب به رس اضافه می‌شود، کاتیونهای فوق و یک تعداد از آنیون‌ها، در حول ذرات رس شناور می‌شوند. این پدیده لایه مضاعف پراکنده نامیده می‌شود (شکل ۱-۲-الف). در لایه مضاعف، تمرکز کاتیونها با فاصله از سطح ذره کاهش پیدا می‌کند (شکل ۱-۲-ب). [۴]



شکل (۱-۲) لایه مضاعف پراکنده [۴]



مولکولهای آب قطبی هستند. اتم‌های هیدروژن دارای آرایش متقارن حول یک اتم اکسیژن نیستند و مطابق شکل (۲-۲)، تحت زاویه ۱۰۵ درجه نسبت به یکدیگر قرار دارند. در نتیجه مولکول آب همانند یک میله با بار مثبت در یک انتها و بار منفی در انتهای دیگر عمل میکند. به این میله دوقطبی میگویند. [۴]

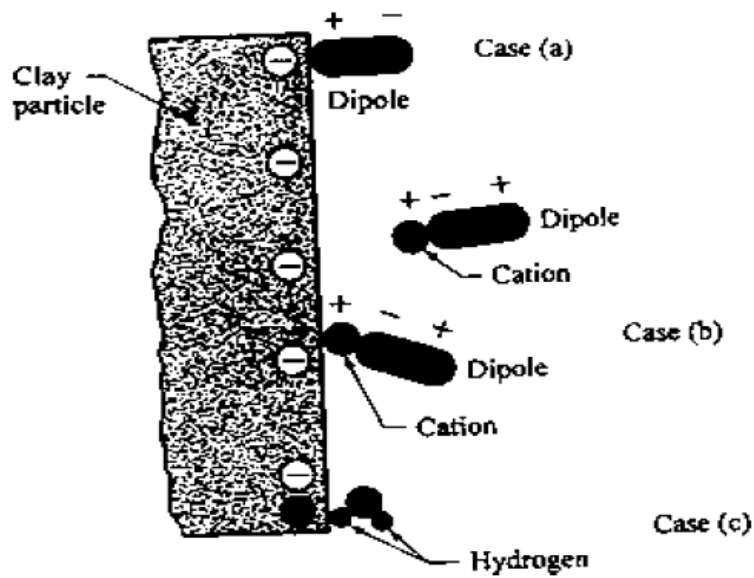


شکل (۲-۲) خاصیت دوقطبی مولکول آب [۴]

در لایه مضاعف، مولکولهای دوقطبی آب هم به وسیله سطح بار منفی ذرات رس و هم به وسیله کاتیون‌ها جذب می‌شوند. کاتیون‌ها نیز به نوبه خود به وسیله ذرات خاک رس جذب می‌شوند. مکانیسم سومی که آب به وسیله آن به ذرات خاک رس جذب می‌شوند، پیوند هیدروژن است که در آن اتم‌های هیدروژن مولکول آب به وسیله اتم‌های اکسیژن واقع در سطح ذرات رس جذب می‌شوند.

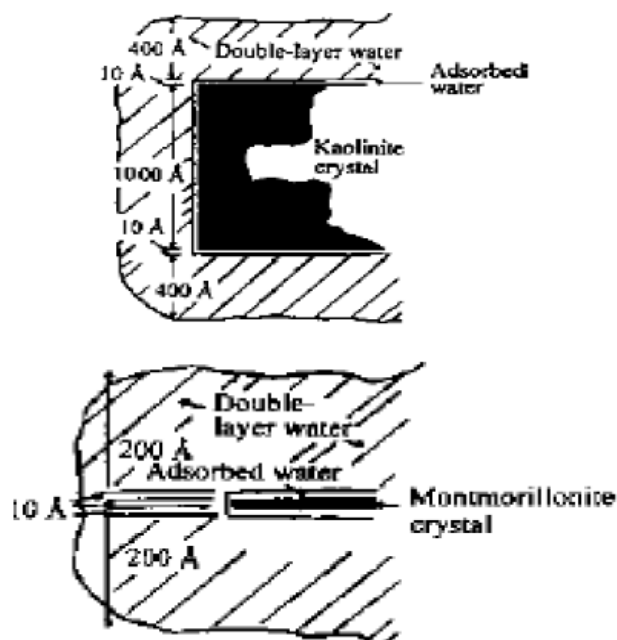
بعضی از کاتیونهای هیدراته شده جزئی در آب حفره‌ای نیز به سطح ذرات رس جذب می‌شوند. این کاتیون‌ها مولکول‌های دوقطبی آب را جذب می‌کنند. در شکل (۲-۳) تمام مکانیسم‌های ممکنه جذب آب به ذرات رس نشان داده شده است. نیروی جاذبه بین آب و رس با فاصله از سطح ذرات کاهش پیدا می‌کند. تمام آبهایی که به وسیله نیروی جاذبه در تماس با ذرات رس نگه داشته می‌شوند، آب لایه مضاعف نامیده

می‌شوند. داخلی ترین لایه‌ی آب لایه‌ی مضاعف، که با جاذبه قوی توسط ذرات رس نگه داشته شده است، آب جذب سطحی نامیده می‌شود. این آب ویسکوز تر از آب آزاد است.



شکل (۲-۳) جذب مولکول‌های دو قطبی آب در لایه‌های مضاعف [۴]

شکل (۲-۴) آب لایه‌ی مضاعف و آب جذب سطحی را برای ذرات مونت موریلونیت و کائولینیت نشان می‌دهد. این وضعیت دورگیری ذرات رس به وسیله ی آب، به خاک رس خاصیت خمیری می‌دهد.

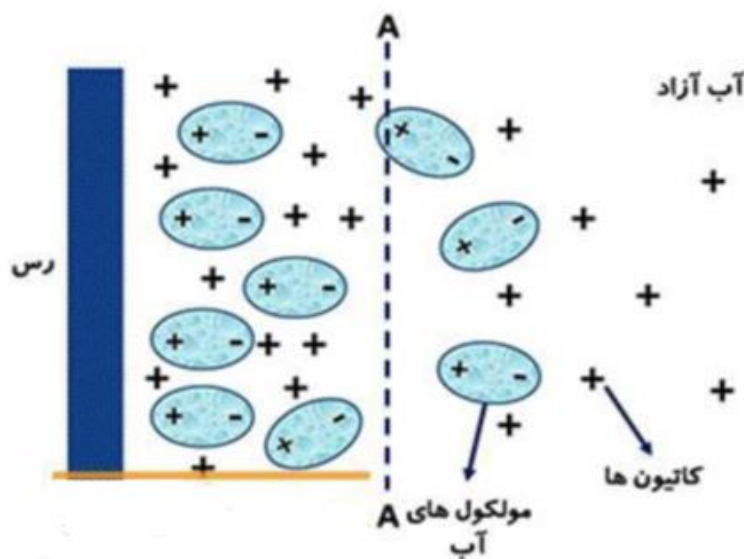


شکل (۲-۴) آب احاطه کننده ذرات رس [۵]

## ۲-۲-۳- تئوری لایه مضاعف

طبق تئوری لایه مضاعف، سطح رس از دو لایه باردار تشکیل شده است. لایه اول یا لایه داخلی دارای بار منفی بوده و لایه خارجی دارای بار مثبت است. بارهای منفی لایه داخلی همان بارهای خنثی نشده سطح رس هستند. لایه خارجی از کاتیون های مختلف مثل  $Na^+$  و  $Ca^{++}$  و غیره تشکیل شده است، که به وسیله بارهای سطح رس ( لایه داخلی ) جذب شده اند. سطح رس علاوه بر کاتیون ها، مولکول های آب را نیز جذب می کند. چرا که مولکول های آب به طور کلی مولکول های قطبی بوده و به همین دلیل قطب مثبت آن ها به وسیله سطح رس جذب می شود. بنابراین در لایه دوم و یا لایه خارجی علاوه بر کاتیون ها، مولکول های آب نیز وجود دارند. مولکول های آب در لایه دوم به نحو خاصی جهت یافته و در حقیقت دارای نظم هستند. بدین معنی که قطب مثبت کلیه مولکول های آب به طرف سطح رس که دارای بار منفی است قرار گرفته اند. با افزایش فاصله بین مولکول های آب و سطح رس، به مرور نظم مولکول های آب کاهش یافته

تا جایی که مولکول های آب عملا دارای نظمى نبوده و به عبارت ديگر كاملا آزاد هستند. در شكل (۲-۵) خط A مرز بين مولكول های آزاد آب و مولكول های جهت دار آب، و يا به عبارت ديگر مرز بين منطقه آب آزاد و منطقه آب منظم است. کاتیون های جذب شده به وسیله رس نیز در نزدیکی سطح رس دارای تراکم زیادی هستند. با افزایش فاصله بين کاتیون ها و سطح رس، تراکم و غلظت کاتیون ها نیز کاهش می یابد. [۶]



شكل (۲-۵). مرز بين منطقه آب آزاد و منطقه آب منظم [۶]

## ۲-۲-۴- تاثیر سیالات آلی بر ساختار تجمعی خاک های رسی

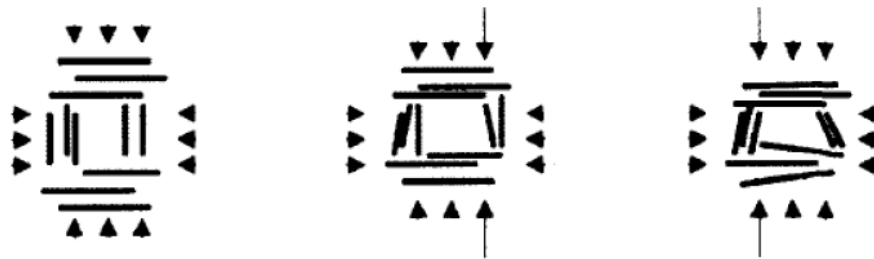
بررسی ساختار تجمعی خاک ها در چندین مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. به طور مثال کایا و فنگ [۷]، تغییر ساختار تجمعی کائولینیت و بنتونیت را به علت افزودن سیالات آلی به آنها بررسی کردند. آنها تایید کردند، زمانیکه سیالات آلی با ثابت دی الکتریک پایین جایگزین آب در حفرات خاک می شود، ذرات خاک ساختار تجمعی پیدا می کنند. آزمایشهای صورت گرفته نشان داده اند که با کاهش ثابت دی الکتریک سیالات منفذی، نیروهای جاذبه و دافعه کاهش می یابد. در تحقیقات کایا و فنگ [۷]، ساختار تجمعی بیشتر زمانی

مشاهده شد که نمونه‌های خاک با سیالاتی که ثابت دی‌الکتریک خیلی پایینی دارند (مانند زایلن) تحت آبشویی قرار گرفتند. به علاوه، کایا و فنگ، رابطه بین تنش موثر و نیروهای جاذبه و دافعه‌ی زیر را پیشنهاد کردند:

$$\sigma' = \sigma_{tot} - u_0(R_{rep} - A_{att}) \quad (2-2)$$

مفهوم رابطه‌ی بالا این است که اگر نیروی دافعه با نیروی جاذبه برابر باشد یا این نیروها قابل چشم پوشی باشند، تنش موثر توسط نیروهای دافعه و جاذبه تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. چنین تغییراتی در ساختار خاک تأثیر مستقیمی بر روی ویژگی‌های خاک دارد. سیو و وانگ [۸]، تأثیر ساختار خاک بر پاسخ‌های مکانیکی کائولینی با ساختار تجمعی کنترل شده را بررسی کردند. ویژگی‌های دینامیکی و مقاومتی توسط آزمون‌های ستون تشدید و آزمایش‌های فشاری زهکشی نشده مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های کائولین تحت  $ph$  های مختلف، به منظور بررسی اثرات ساختار تجمعی و پراکنده بر روی ویژگی‌های خاک مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد با افزایش  $ph$ ، بافت خاک از ساختار تجمعی به ساختار پراکنده تغییر وضعیت می‌دهد. تحقیقات نشان داده‌اند نسبت تخلخل اولیه و تراکم‌پذیری (بر حسب شاخص فشردگی  $C_c$ ) به شکل تنگاتنگی به بافت تجمعی ساختار خاک وابسته است. در نمونه‌های با  $ph$  پایین‌تر و نسبت تخلخل بیشتر، ساختار تجمعی غالب است از طرف دیگر در  $ph$  بالاتر، نمونه‌های متراکم و با تراکم‌پذیری پایین، ساختار پراکنده غالب است. [۸]

محققین ذکر کرده‌اند که تغییر حجم می‌تواند به جهت گیری ذرات، روغن کاری، لغزش و فشردگی لایه‌ی دوگانه نسبت داده شود. شکل (۶-۲) قرارگیری ذرات رس در ساختار تجمعی را نشان می‌دهد. [۸]



شکل (۶-۲). ساختار تجمعی ذرات رس

## ۲-۳- مروری بر ادبیات موضوع

یک آلاینده معمولاً به عنوان المان شیمیایی یا ترکیبی که توانایی اعمال خطر کوتاه مدت یا بلند مدت بر زندگی بشر یا محیط را دارد توصیف می‌گردد. یکی از این آلودگی‌ها مربوط به خاک می‌باشد. آلودگی خاک می‌تواند به دلیل نشت مخازن، زباله‌های شهری و صنعتی، سوخت‌های وسایل حمل و نقل و آلاینده‌های پتروشیمی و... باشد. واکنش خاک به آلاینده‌ها نه تنها بستگی به محیط اطراف دارد بلکه با عواملی مانند اندازه دانه‌ها و مشخصات بین پیوند دانه‌ها و ظرفیت تبادل یونی تأثیر می‌پذیرد. [۱۰] واکنش فیزیکی-شیمیایی بین خاک و مواد شیمیایی ممکن است باعث تغییر در ساختار و خواص مکانیکی و فیزیکی خاک شود. [۱۱] لذا از آن جا که خاکهای ریزدانه رس به عنوان پوشش‌های روزانه و دائمی و هم به عنوان لایه نفوذ ناپذیر در کف محل دفن مورد استفاده قرار می‌گیرند و از طرفی نفوذ آلاینده‌ها در خاک ممکن است باعث تغییر در رفتار تحکیمی خاک گردد، که این امر نشست‌های زبانباری را در سازه‌های احداث شده بر روی این مکانها ایجاد می‌کند، بنابراین بررسی پارامترهای تحکیمی خاک، امری ضروری می‌باشد. تحقیقات انجام گرفته در این زمینه، در ادامه آمده است.

## ۲-۳-۱- تحقیقات صورت گرفته توسط معاونیان و یثربی

در سال ۲۰۰۸ معاونیان و یثربی تأثیر سیالات آلی بر تغییر حجم رس متراکم شده را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق دو ماده شیمیایی با ثابت دی‌الکتریک کم و متوسط شامل تولوئن و اتانول گلیکول مورد استفاده قرار گرفت. درصدهای استفاده شده از این سیالات ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد می‌باشد که برای درست کردن محلول مورد نظر با آب مقطر ترکیب شده‌اند. دو نوع خاک رس ورمیکولیت- کائولینیت منطقه بویین زهرا و رس مونت موریلونیت دار منطقه طالقان در این تحقیق استفاده شده است. آزمایش تورم و تحکیم اسمزی روی نمونه‌ها انجام پذیرفت. برای آزمایش تحکیم اسمزی نمونه‌های خاک به مدت ۱۳ روز اشباع گردید و بر روی نمونه‌ها

تنش مختلف ۷۵، ۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۱۲۰۰ کیلوپاسکال به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت و پس از آن نمونه‌ها با

سیال آلی، آلوده شدند و تا آخر تست تنش قائم بر روی آنها باقی ماند. [۲]

از مطالعات انجام گرفته، نتایج زیر حاصل شد:

۱. تغییر سیال منفذی از آب به تولوئن و اتانول گلیکول باعث تغییر چشم‌گیری در حدود اتربرگ می‌شود. این

سیالات آلی حالت خمیری خاکها را کاهش داده و یا حذف می‌کنند.

۲. در خاکهای رسی، این سیالات آلی در مقایسه با آب تورم کمتری ایجاد می‌کنند (شکل ۲-۷ و ۲-۸).

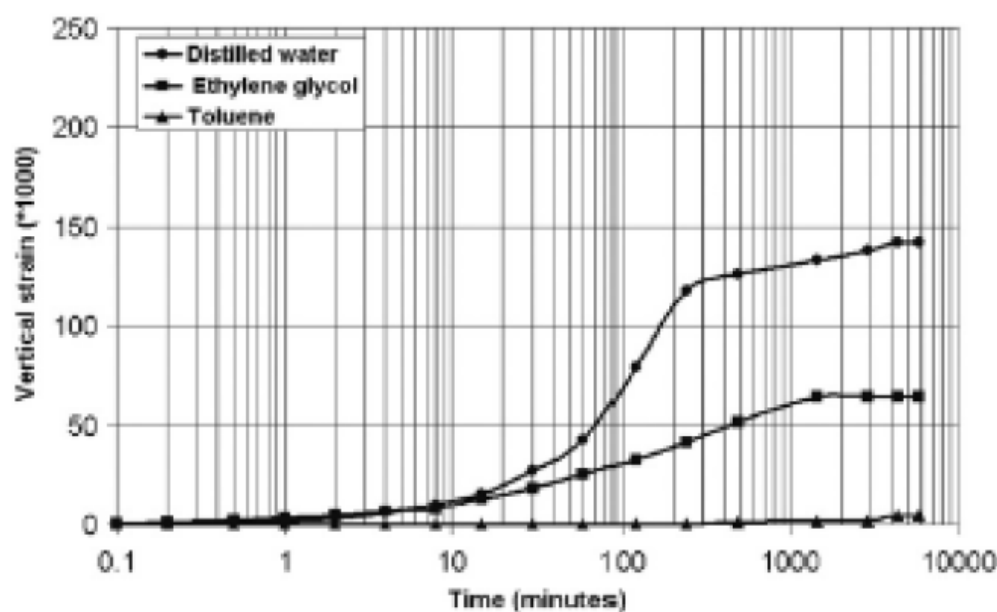
۳. نفوذ سیال با ثابت دی‌الکتریک کم، باعث ایجاد تحکیم اسمزی در خاک‌های رسی با تنش قائم ثابت می‌شود.

۴. در منطقه بوئین زهرا، رس آلوده به اتانول گلیکول در آزمایش تحکیم اسمزی قرار گرفت که تا تنش قائم

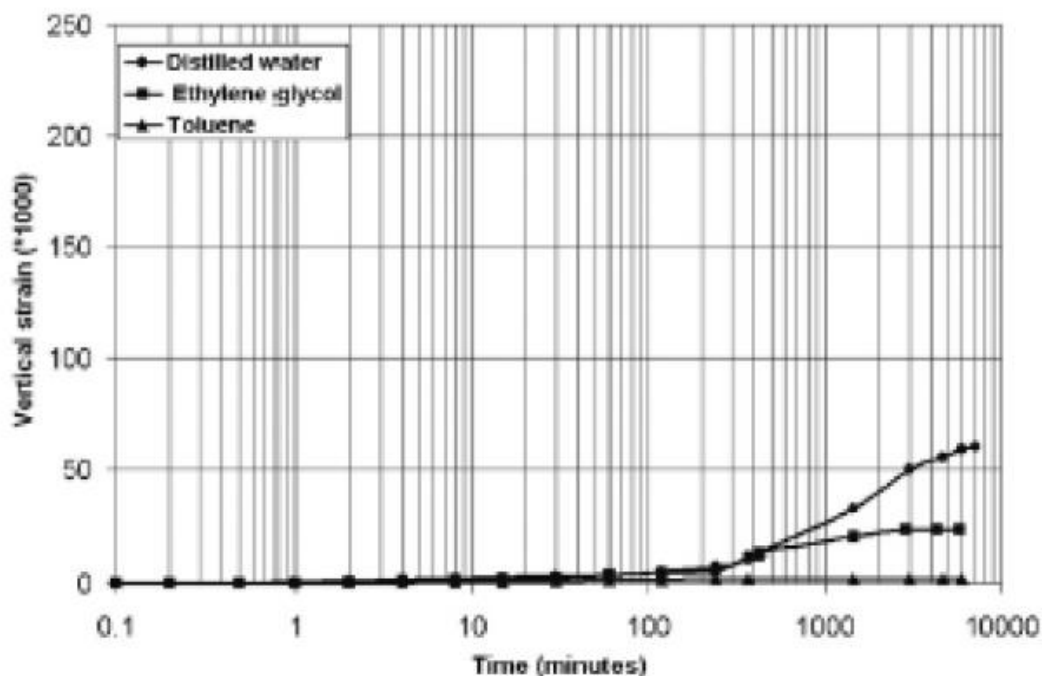
معین، تغییر کلی در درجه تخلخل ناشی از بارگذاری خارجی و نفوذ سیال، ثابت بود. درجه تخلخل ناشی از

تغییر ثابت دی‌الکتریک، با افزایش تنش قائم تا تنش قائم معین، به طور جزئی کاهش یافت. تغییر بیشتر در

درجه تخلخل با افزایش تنش قائم امکان‌پذیر است (جدول ۲-۱).



شکل (۲-۷). منحنی زمان - تورم برای رس طالقان متورم شده در قسمت بهینه منحنی متراکم [۲]



شکل (۸-۲). منحنی زمان - تورم برای رس بوئین زهرا متورم شده در قسمت بهینه منحنی متراکم [۲]

جدول (۱-۲). تغییرات رطوبت، درجه تخلخل و خواص تراکمی برای رس بوئین زهرا در آزمایش تحکیم اسمزی [۲]

Maximum overburden stress (kPa)	Initial water content (%)	Initial dry unit weight (g/cm <sup>3</sup> )	Void ratio reduction due to vertical stress (%)	Void ratio reduction due to osmotic consolidation (%)	Total Void ratio reduction (%)
75	18.8	1.68	5	18	23
150	19.7	1.68	8	16	24
300	19.2	1.66	12	14	26
600	19.8	1.66	22	2	24
1200	19.0	1.67	36	2	38



## ۲-۳-۲- تحقیقات صورت گرفته توسط ییلدیز و اولگون<sup>۱</sup>

در سال ۲۰۱۰ ییلدیز و اولگون تاثیر سیالات آلی را بر رفتار ژئوتکنیکی خاک رس با پلاستیسیته بالا مورد بررسی قرار دادند که به این منظور ۴ نوع سیال متانول، اتانول، ایزوپروپیل الکل و استیک اسید را با نسبت مشخصی به آب اضافه نمودند و سیال حاصل را به خاک رسی که از منطقه‌ای از شهر آکسارای (ترکیه) جمع‌آوری شده بود، اضافه کردند. [۱۳]

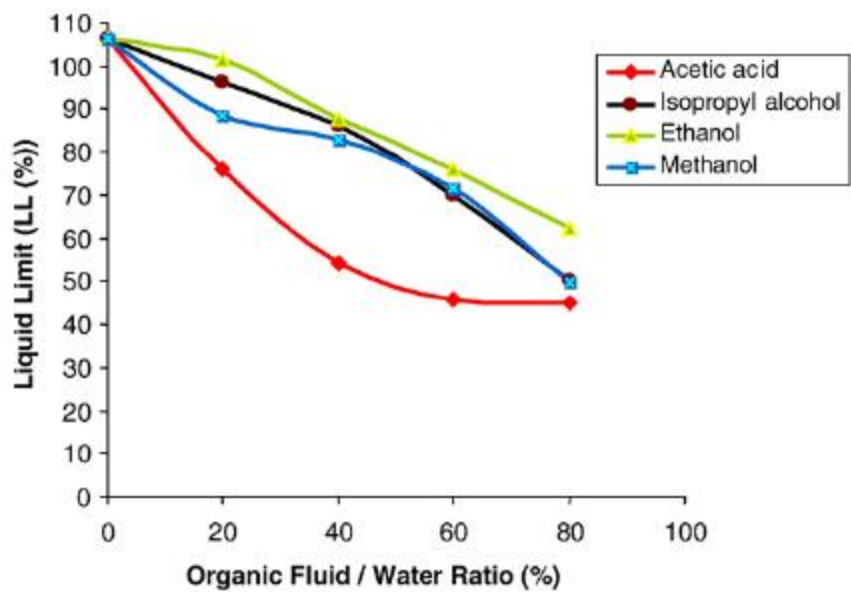
آزمایشها بدین صورت بود که نمونه رس را در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد کاملاً خشک کردند و به میزان دو برابر حد روانی، محلول با درصدهای مشخصی از آب و سیال آلی را به آن اضافه نمودند و تحت فشار ۱۰۰ کیلوپاسکال قرار دادند که افزایش بار تا ۱۰۰ کیلوپاسکال به صورت تدریجی انجام شد و در نهایت آزمایش تحکیم با توجه به استاندارد ASTM D2435-96 روی نمونه پیش تحکیم یافته اجرا شد. [۱۳]

از مطالعات انجام گرفته، نتایج زیر حاصل شد:

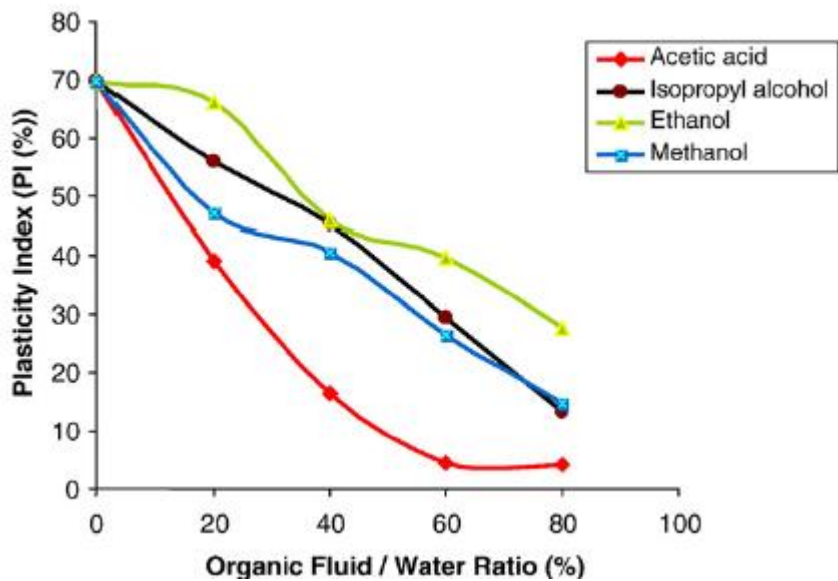
۱. تاثیر سیالات آلی بالای ۴۰ درصد نشان می‌دهد که با کاهش ثابت دی‌الکتریک و افزایش نسبت سیال به آب، ذرات رس لخته می‌شوند و رس مانند سیلت - ماسه ریز رفتار می‌کند.
۲. بسته به متلاشی شدن لایه دوگانه تحت سیالات آلی، مایع کمتری در بین خلل و فرج ذرات نگه داشته می‌شود. حد روانی و شاخص خمیری به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. با توجه به نمودار خمیری کاساگرانده، رس منطقه آکسارای (CH) که داخل سیال آلی پراکنده شده است، ممکن است در نقطه‌ای پایین خط A قرار گیرد و متعلق به گروه سیلت (MH-ML) شود شکل (۲-۹ و ۲-۱۰).

---

<sup>۱</sup> Olgun, M. and M. Yildiz

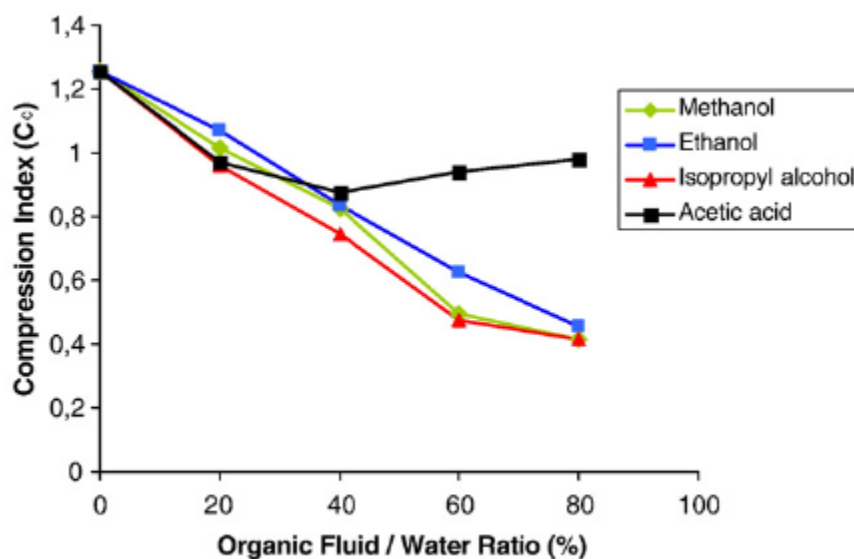


شکل (۲-۹). حد روانی نمونه رسی از آکسارای [۱۳]



شکل (۲-۱۰). شاخص خمیری نمونه رسی از آکسارای [۱۳]

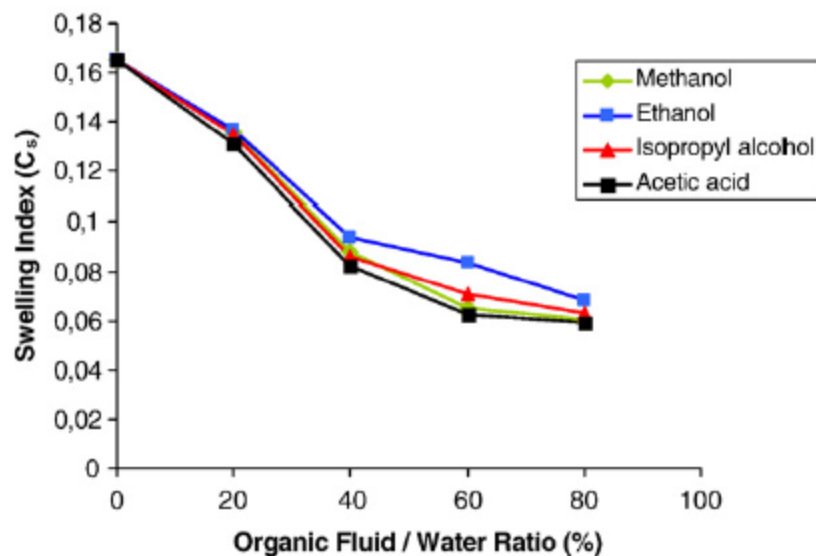
۳. سیالات آلی خواص فشردگی و مقاومتی نمونه رس را بهبود می‌بخشند. بنابراین سیالات با ثابت دی‌الکتریک کم می‌توانند برای پایدارسازی رس‌ها به خصوص در مورد مونت موریلونیت با حد خمیری بالا مورد استفاده قرار گیرند (شکل ۲-۱۱).



شکل (۲-۱۱). شاخص فشردگی نمونه رسی از آکسارای برای نسبت‌های مختلف سیال به آب [۱۳]

۴. در مقابل نیروهای خارجی، بیشتر از ۴۰ درصد استیک اسید ساختاری را ایجاد می‌کند که در مقایسه با زمانی که در حضور سیالات دیگر است، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد که این ممکن است وابسته به حضور کاتیون دو مثبت حاصل از واکنش کلسیت و دولومیت با استیک اسید باشد.

۵. نیروی جاذبه خالص بین ذرات در متانول بیشتر از آب و سیالات آلی دیگر است. بنابراین لخته شدن مشخصی با متانول اتفاق می‌افتد. در نتیجه رس مقاومت بیشتر و شاخص فشردگی و تورم کمتری نسبت به زمان حضور سیالات دیگر از خود نشان می‌دهد (شکل ۲-۱۱ و ۲-۱۲).



شکل (۲-۱۲). شاخص تورم نمونه رسی از آکسارای برای نسبت‌های مختلف سیال به آب [۱۳]

### ۲-۳-۳- تحقیقات صورت گرفته توسط متئو و همکاران<sup>۲</sup>

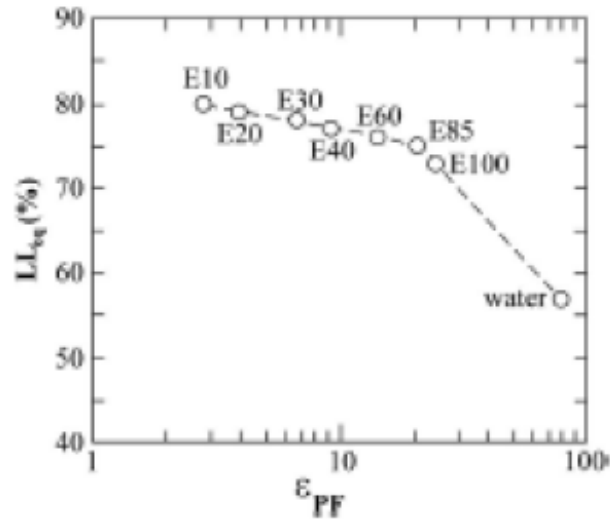
در سال ۲۰۱۰ متئو و همکاران اثرات اتانول-نفت سفید را بر روی رس کائولینیت در ناحیه‌ای از اسپانیا بررسی کردند. مواد مورد استفاده شامل اتانول زیستی خالص (E100) و ۶ ترکیب دیگر اتانول با نفت سفید بدون سرب ۰/۱ تا ۰/۸ (E100- E85) بود. در این آزمایش خاک دست نخورده مورد مطالعه قرار گرفته است که به خاک مورد نظر به میزان برابر حد روانی رطوب زده شد و به مدت ۵ روز عمل‌آوری گردید. سپس با دستگاه ادومتر تحت آزمایش تحکیم قرار گرفت که تنش‌های اعمالی ۱۲/۲۶، ۲۴/۵۳، ۵۸/۸۶، ۱۱۷/۷۲ و ۳۰۴/۱۱ کیلوپاسکال بود. [۱۴]

از مطالعات انجام گرفته، نتایج زیر حاصل شد:

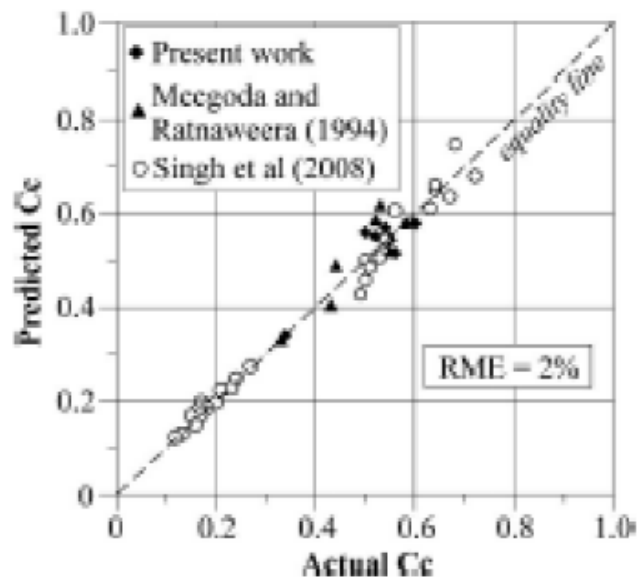
زمانی که نسبت اتانول در ترکیب افزایش می‌یابد، حد روانی خاک کاهش پیدا میکند که نشانگر یک نقطه عطف برای ترکیبات حاوی حدود ۸۵ درصد اتانول می‌باشد. با استفاده از یک پایگاه اطلاعاتی، شاخص فشردگی

<sup>۲</sup> Di Matteo, L., F. Bigotti, and R. Ricco

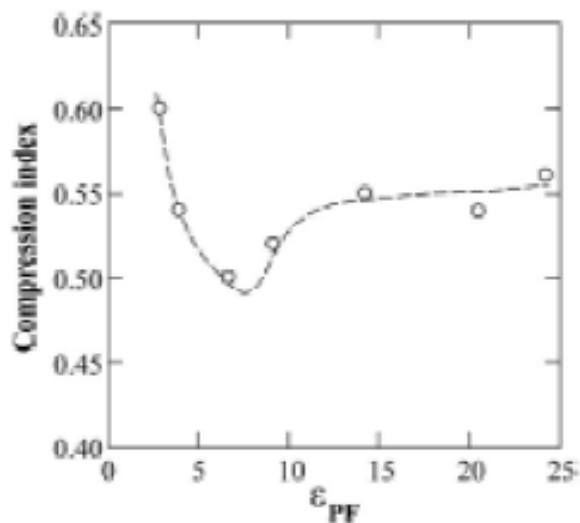
بازسازی شده و یک مدل چند متغیره برای تخمین شاخص فشردگی خاک آلوده، ارائه گردید که بر اساس شاخص فشردگی اولیه، حد روانی و ویسکوزیته سیال منفذی، نرمال شده است. این مدل تنها برای خاکهای رسی کائولینیت که ۱۰-۱۵ درصد وزن خود، رس فعال دارند، معتبر است (شکل ۲-۱۳ تا ۲-۱۵).



شکل (۲-۱۳). تغییر در حد روانی مشابه با ثابت دی الکتریک سیالات منفذی [۱۴]



شکل (۲-۱۴). تغییر در شاخص فشردگی با ثابت دی الکتریک سیالات منفذی [۱۴]



شکل (۲-۱۵). پیش‌بینی شاخص فشردگی در مقابل شاخص فشردگی واقعی در پایگاه داده‌ها [۱۴]

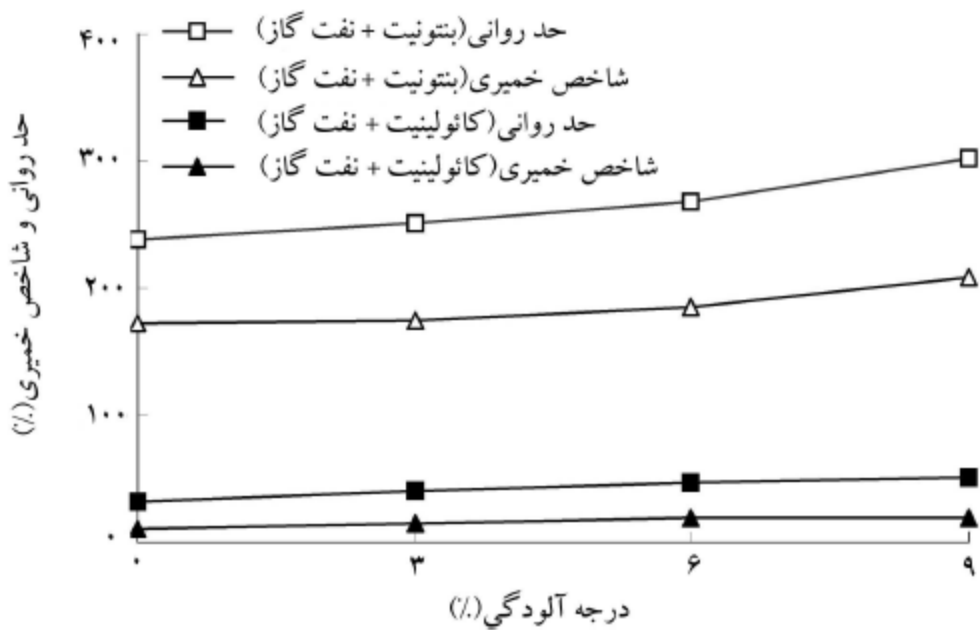
## ۲-۳-۴- تحقیقات صورت گرفته توسط حمیدی و جداری

در سال ۱۳۹۰ حمیدی و جداری خصوصیات تحکیمی خاک‌های رسی آلوده به سیال آلی را بررسی نمودند. در این تحقیق خاک‌های بنتونیت و کائولینیت مورد استفاده قرار گرفت و آلاینده‌ها شامل نفت سفید و نفت گاز بودند. آزمایشها در تراکم ۵۰ و ۷۰ درصد انجام پذیرفت. در محلول (۳٪، ۶٪ و ۹٪) وزنی از سیال و در یک مورد ۱۰۰ درصد وزنی انتخاب شد. خاک مورد نظر به مدت ۱۶ ساعت در گرم خانه در دمای ۱۱۰ درجه قرار گرفت تا رطوب آن از بین برود و نمونه‌ها با اختلاط دستی با سیال مورد نظر ترکیب شدند و به مدت ۷ شبانه روز نگهداری گردیدند تا به تعادل شیمیایی برسند. در نهایت آزمایش تحکیم روی آنها انجام پذیرفت و مراحل بارگذاری از ۵۰ تا ۱۶۰۰ کیلوپاسکال ادامه یافت. [۱۵]

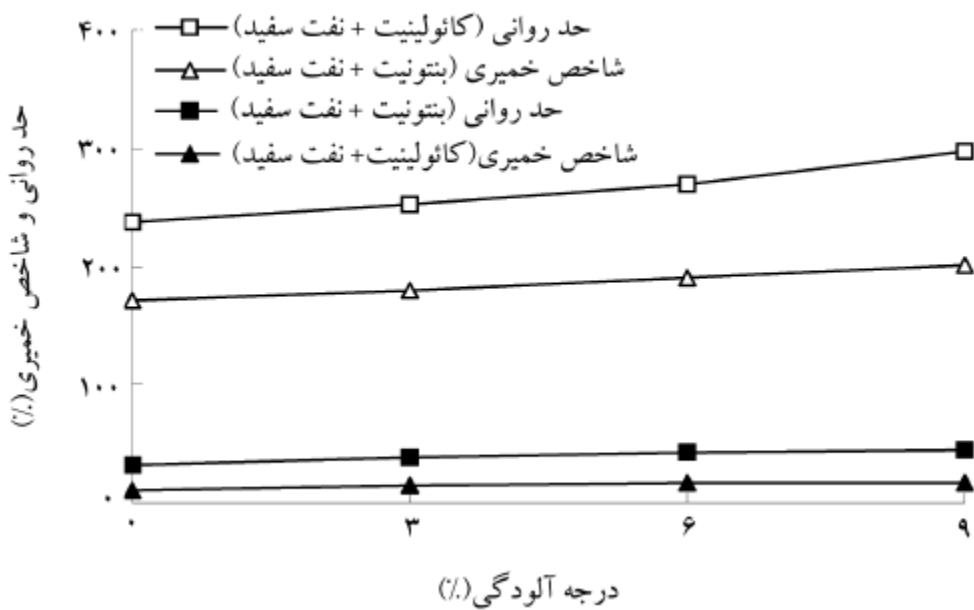
از مطالعات انجام گرفته، نتایج زیر حاصل شد:

۱. آلودگی خاک رس به سیال آلی موجب افزایش حد روانی و دامنه خمیری آن می‌شود. علت این امر لزجت بالای این سیالات نسبت به آب بوده است که سبب می‌شود خاک برای رسیدن به آستانه روان شدن و غلبه بر چسبندگی مضاعف ناشی از این ویسکوزیته بالا، آب بیشتری جذب کند و در نتیجه حد روانی آن افزایش یابد.

این موضوع در خلوص هر دو نوع خاک رس آلوده به هر یک از آلاینده‌های نفت سفید و نفت گاز صادق است. با بررسی دقیق نتایج و مقایسه با نتایج دیگر پژوهشگران مشخص می‌شود، که به طور کلی در آلاینده‌هایی که به منزله سیال آلی به خاک وارد می‌شوند، دو دسته متفاوت قابل تفکیک هستند. دسته اول سیالاتی مانند: تولوئن، اتیلن گلیکول، پروپانول و اتانول هستند که قابلیت انحلال در آب را دارند و دسته دوم شامل سیالاتی مانند: نفت خام، نفت گاز و نفت سفید هستند که قابلیت انحلال در آب را ندارند. دسته اول به دلیل قابلی حل‌پذیری در آب می‌توانند تأثیر بیشتری بر ویژگی‌های شیمیایی سیال منفذی و خاک بگذارند. بدین ترتیب ارتباط متقابل ضخامت لایه آب دوگانه و ثابت دی‌الکتریک سیال آلی در مورد آنها مطرح بوده است. بنابراین با ازدیاد درصد آلاینده و کاهش ضخامت لایه آب دوگانه، رفتار خاک رسی به سمت مصالح دانه‌ای میل می‌کند و از ویژگی‌های حالت خمیری آن کاسته می‌شود. اما در مورد سیالات دسته دوم که قابلیت انحلال در آب را ندارند، شرایط به گونه‌ی دیگری است و اساساً به دلیل حلال نبودن این سیالات در آب، تأثیر آنها بر ویژگی‌های شیمیایی محیط آب و خاک نسبت به دسته اول کمتر است. لذا در مورد این سیالات خواص فیزیکی مانند لزجت و وزن مخصوص، با شدت بیشتری بر ارتباط نوع سیال منفذی و خاک رسی و به‌ویژه خصوصیات ناشی از این ارتباط مانند حدود اتربرگ و تراکم‌پذیری تأثیرگذار است. (شکل (۲-۱۶) و (۲-۱۷)).



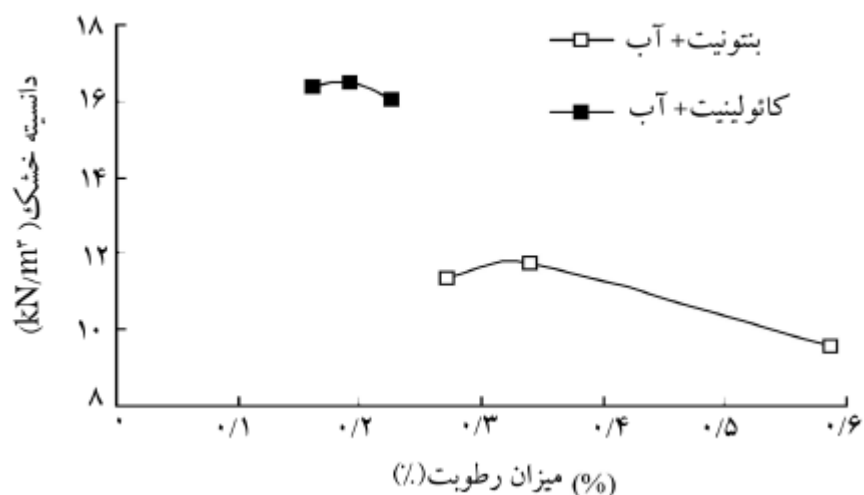
شکل (۲-۱۶). حد روانی و شاخص خمیری خاک آلوده به نفت گاز [۱۵]



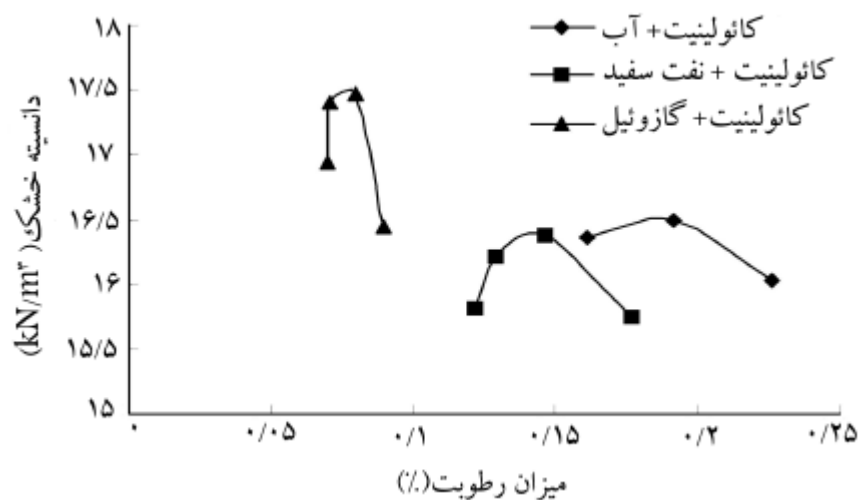
شکل (۲-۱۷). حد روانی و شاخص خمیری خاک آلوده به نفت سفید [۱۵]



۲. نتایج آزمایش‌های تراکم استاندارد نشان داد که آلودگی خاک رس به نفت سفید و نفت گاز موجب افزایش تراکم پذیری خاک می‌شود. آلودگی به نفت سفید و نفت گاز باعث شد تا خاک با درصد وزنی کمتری از سیال منفذی به وزن مخلوط خشک بیشینه برسد. در واقع لزجت بالای نفت سفید و نفت گاز نسبت به آب باعث سهولت حرکت دانه‌ها و لغزش بهتر آنها شده است که امکان دستیابی به تراکم‌های بالاتر را ممکن می‌سازد (شکل ۱۸-۲ و ۱۹-۲).



شکل (۱۸-۲). نتایج آزمایش تراکم استاندارد بر رس کائولینیت و رس بنتونیت با سیال آب [۱۵]



شکل (۱۹-۲). نتایج آزمایش تراکم استاندارد بر رس کائولینیت آلوده به نفت سفید و نفت گاز [۱۵]

۳. در آزمایشهای تحکیم یک بعدی بر روی خاک رس کائولینیت مشخص شد که آلودگی خاک رس به نفت سفید و نفت گاز با مقادیر وزنی مختلف ۳، ۶ و ۹ درصد باعث افزایش تورم اولیه خاک بعد از اشباع آن با آب می‌شود. همچنین ضریب فشردگی خاک با ازدیاد درصد آلاینده افزایش می‌یابد. البته میزان افزایش اندک این ضریب نشان‌دهنده‌ی تأثیر کم آلاینده بر خصوصیات تحکیمی خاک رس در تراکم‌های نسبی پایین است. همچنین آزمایشها نشان داد که نوع سیال آلاینده تأثیر چندانی بر ویژگی‌های تراکم‌پذیری خاک نخواهد گذاشت. با استفاده از نتایج این تحقیق، مابین ضریب فشردگی خاک رس آلوده به سیال آلی و حد روانی خاک آلوده ارتباط برقرار شد.

## ۲-۳-۵- تحقیقات صورت گرفته توسط اوحدی و فخیم‌جو

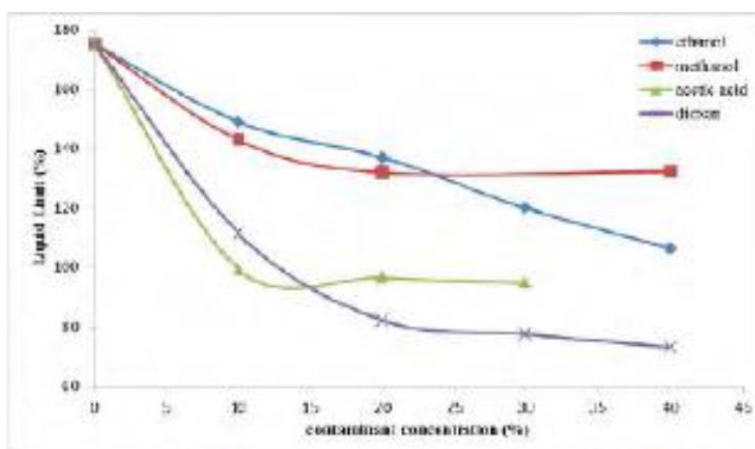
در سال ۱۳۹۱ اوحدی و فخیم‌جو اثر آلاینده‌های مختلف بر تغییرات نشست پذیری و ضریب نفوذپذیری بنتونیت عادی تحکیم یافته را مورد بررسی قرار دادند.

بنتونیت از شرکت ایران باریت خریداری شده بود و سه ماده آلی با ثابت دی‌الکتریک متفاوت شامل اتانول، استیک اسید و متانول به عنوان آلاینده مورد استفاده قرار گرفت. محلول حاصل با غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد با نسبت سیال به خاک ۱:۸ با بنتونیت مخلوط شد و به مدت ۹۶ ساعت نگهداری گردید و در هر ۲۴ ساعت به مدت ۲ ساعت توسط دستگاه لرزاننده به هم زده شد. پس از عمل آوری، نمونه‌ها تحت فشار ۵۰ کیلوپاسکال قرار گرفتند و در نهایت با استاندارد ASTM D2435-00، آزمایش تحکیم بر روی آنها انجام گرفت و بارگذاری تا ۴۰۰ کیلوپاسکال ادامه یافت. [۱۶]

از مطالعات انجام گرفته، نتایج زیر حاصل شد:

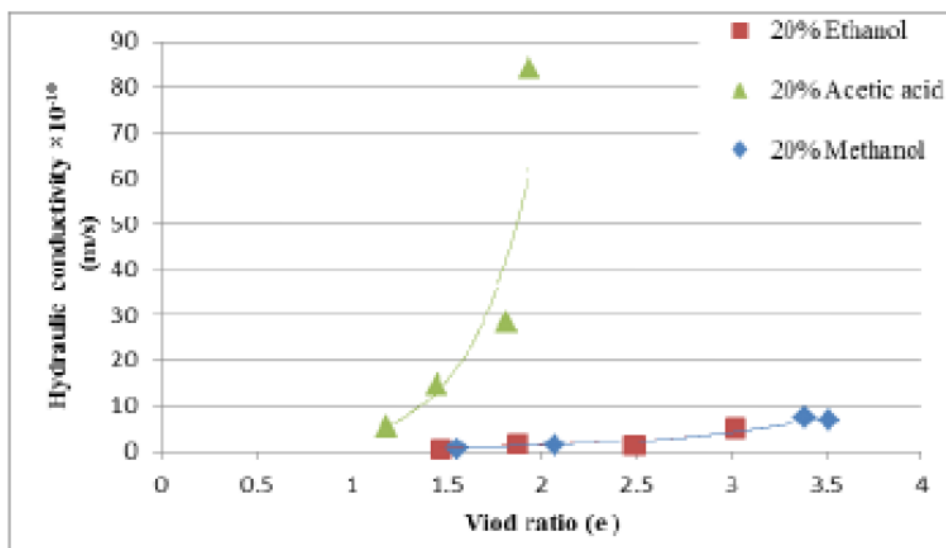
۱. ثابت دی‌الکتریک قادر است رفتار متفاوت آلاینده‌های آلی مختلف را از یکدیگر تفکیک نماید. در این راستا، کاهش ثابت دی‌الکتریک سیال منفذی منجر به فشردن لایه‌ی دوگانه و در نتیجه کاهش نیروی دافعه‌ی بین ذره‌ای می‌شود.

۲. کاهش در میدان نیروی اطراف پولک‌های رسی، تمایل این ذرات را برای نگهداری و جذب آب کاهش داده و از این رو نفوذ سیال آلی با ثابت دی‌الکتریک پایین رفتار خمیری خاک را کاهش می‌دهد (شکل ۲-۲۰).



شکل (۲-۲۰). نمودار تغییرات حد روانی در غلظت‌های مختلف آلاینده آلی در نمونه بنتونیت [۱۶]

۳. کاهش ضخامت لایه‌ی دوگانه و تغییر در ساختار خاک حاوی آلاینده آلی، تراکم‌پذیری و تحکیم‌پذیری خاک رسی را کاهش می‌دهد و منجر به افزایش نفوذ پذیری تا ۵۶ برابر در ازای کاهش ۸۱ درصدی ثابت دی‌الکتریک می‌شود (شکل ۲-۲۱).



شکل (۲-۲۱). تغییرات ضریب نفوذپذیری بنتونیت برای سیالات با ثابت دی‌الکتریک متفاوت در غلظت ۲۰ درصد [۱۶]

۴. آلاینده‌های دارای ثابت دی‌الکتریک کمتر، پس از نفوذ به محیط خاک منجر به کاهش قابل توجه در خواص خمیری و افزایش نفوذپذیری خاک‌های رسی می‌شوند. این وضع ریسک احتمال آلوده شدن منابع آب زیرزمینی بر اثر تماس دائم بستر رسی با شیرابه مرکز دفن زباله را افزایش می‌دهد.

### ۲-۳-۶- تحقیقات صورت گرفته توسط رئیسی استبرق و همکاران

در سال ۲۰۱۴ رئیسی استبرق و همکاران اثر سیالات آلی گلیسیرین و اتانول را با غلظت‌های ۱۰، ۲۵ و ۴۰ درصد بر روی خاک‌های رسی با خاصیت خمیری کم و زیاد، مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق دو نوع خاک در نظر گرفته شد که خاک A شامل ۲۳ درصد ماسه، ۵۲ درصد سیلت و ۲۵ درصد کائولینیت و خاک B شامل ۳۰ درصد ماسه، ۳۵ درصد سیلت، ۱۳/۵ درصد کائولینیت و ۱۳/۵ درصد بنتونیت می‌باشد. به منظور آماده سازی نمونه‌ها محلولی در حدود ۴ برابر حد روانی خاک، به آن اضافه گردید. نمونه‌ها به دو طریق آماده شد اولی بدون اعمال بار بود. بدین صورت که خاک با سیال مخلوط شد و به مدت یک هفته نگهداری گردید تا به تعادل شیمیایی برسد و پس از عمل‌آوری آب اضافی آن گرفته شد و تحت آزمایش قرار گرفت. نمونه دوم بعد از

عمل آوری توسط جک تحت بار ۱۰-۸۰ کیلوپاسکال قرار گرفت تا به نمونه اجازه زهکشی آب داده شود و در

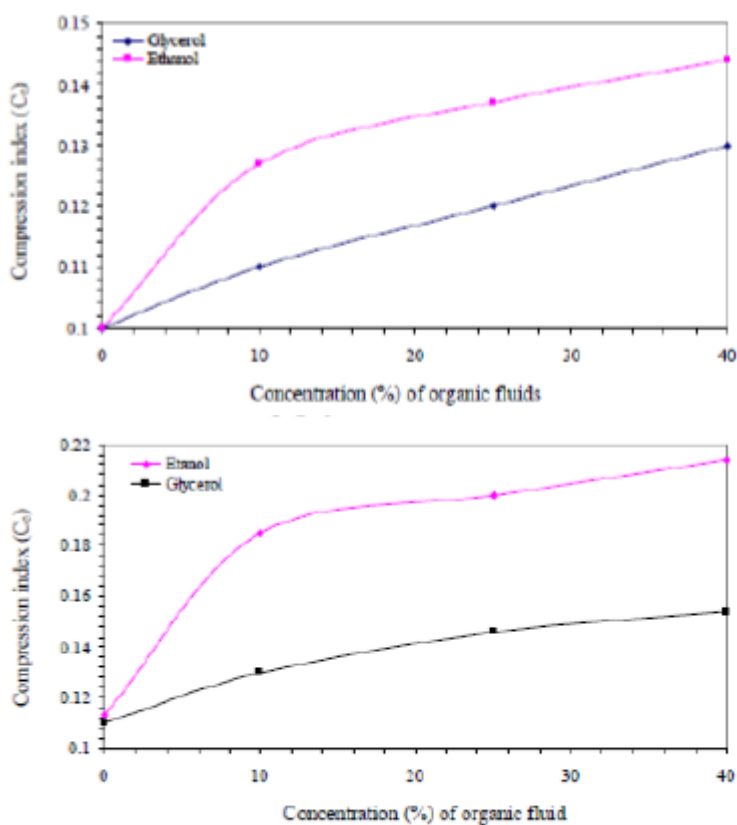
نهایت با استاندارد ASTM D2435-11 تحت آزمایش قرار گرفت. [۱۰]

از مطالعات انجام گرفته، نتایج زیر حاصل شد:

۱. شاخص فشردگی  $C_c$  با افزایش غلظت مایعات آلی در مورد نمونه های اسلاری، افزایش می یابد. مقدار  $C_c$  با

افزایش غلظت مواد آلی در مورد نمونه های دارای سابقه تنش کاهش می یابد. سیر تکاملی  $C_c$  در هر دو مورد

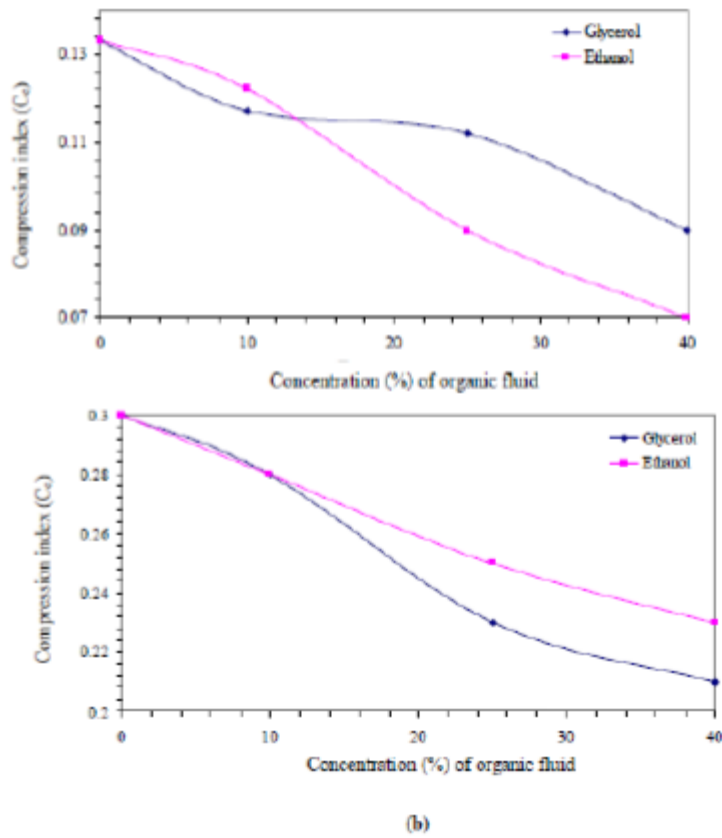
وابسته به مایعات آلی و غلظت آنها است (شکل ۲-۲ و ۲-۳).



(b)

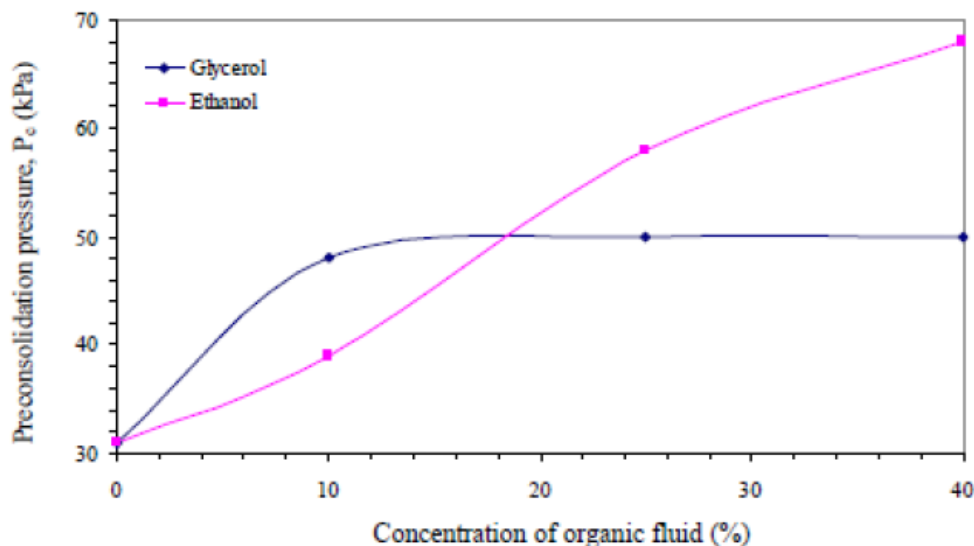
شکل (۲-۲). تغییر در شاخص فشردگی با غلظت های سیالات آلی در نمونه های دوغابی (a): کائولینیت (خاک A) و (b):

کائولینیت و بنتونیت (خاک B) [۱۰]



شکل (۲-۲۳). تغییر در شاخص فشردگی با غلظت‌های سیالات آلی در نمونه‌ها با تاریخچه تنش (a): کائولینیت (خاک A) و (b): کائولینیت و بنتونیت (خاک B) [۱۰]

۲. فشار پیش تحکیمی نمونه با سابقه تنش وابسته به مایع آلی است که با افزایش غلظت مایع آلی افزایش می‌یابد (شکل ۲-۲۴).



شکل (۲-۲۴). تغییر در فشار بیش تحکیمی ( $P_c$ ) با غلظت‌های مختلف سیالات آلی برای خاک A [۱۰]

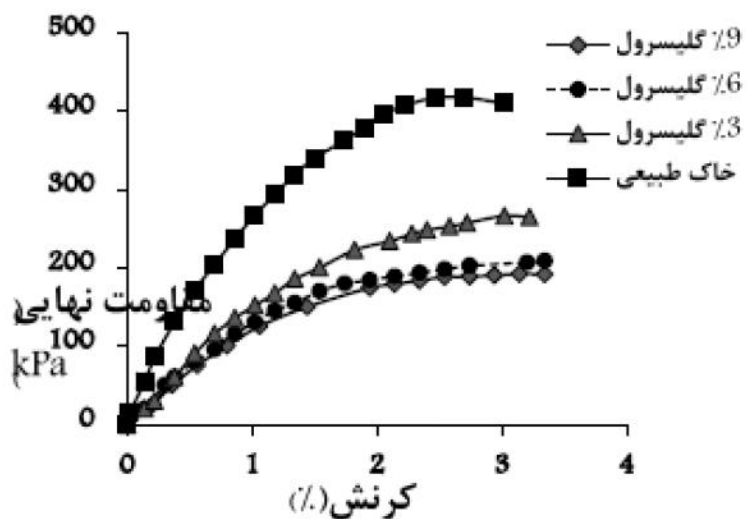
۳. هردو عوامل فیزیک و شیمیایی و مکانیکی، رفتار تحکیم پذیری خاک آلوده را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

### ۲-۳-۷- تحقیقات صورت گرفته توسط خطیبی و همکاران

در سال ۱۳۹۴ خطیبی و همکاران خواص مکانیکی خاک رسی آلوده به ماده آلی (۳، ۶ و ۹ درصد گلیسرین) و خاک سیمان تهیه شده از خاک رسی و خاک رسی حاوی ماده آلی (گلیسرین) با ۳ و ۶ درصد سیمان را مورد بررسی قرار دارند. خاک مورد استفاده شامل ۳ درصد ماسه و ۴۵ درصد سیلت و ۵۲ درصد رس بود. در این پژوهش از آب شرب استفاده نمودند. سیمان استفاده شده از نوع سیمان پرتلند نوع ۲ بود. نمونه‌هایی از خاک طبیعی و خاک آلوده با زمان‌های عمل‌آوری ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز تحت آزمایش تحکیم قرار گرفت. [۱۰]

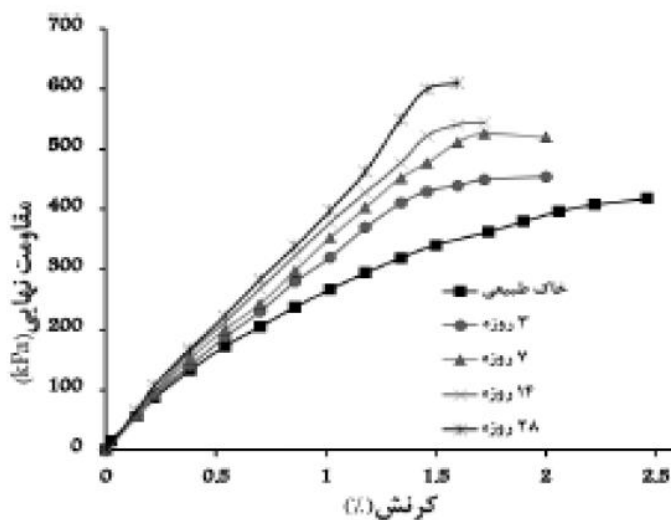
نتایج بدست آمده از این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱. افزودن گلیسرول به خاک رسی معمولی، مقاوم آن را نسبت به خاک رسی معمولی کاهش می‌دهد. کاهش مقاومت، تابعی از افزایش درصد وزنی گلیسرول (شکل ۲-۲۵).



شکل (۲-۲۵). نمودار تنش کرنش برای خاک طبیعی و خاک آلوده شده با ۳، ۶ و ۹ درصد گلیسرول [۱۰]

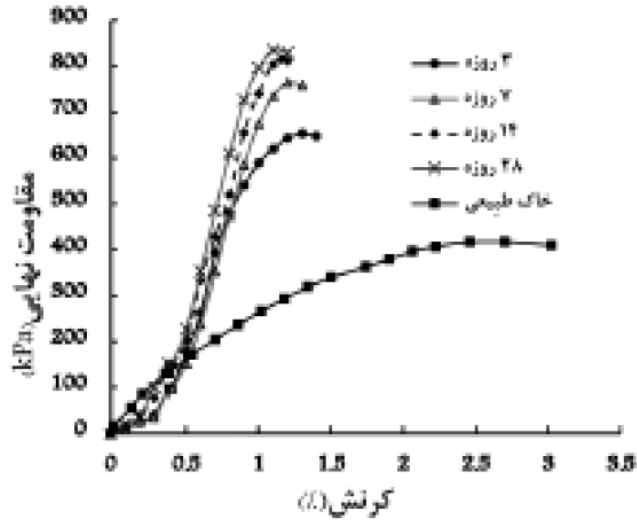
۲. افزایش سیمان به خاک رسی معمولی و خاک رسی حاوی درصد های مختلف گلیسرول موجب افزایش مقاومت و خواص شکنندگی نمونه‌ها می شود. این افزایش تابعی از کاهش درصد ماده آلاینده و افزایش درصد سیمان مورد استفاده و زمان عمل آوری است (شکل ۲-۲۶).



شکل (۲-۲۶). نمودار تنش کرنش خاک طبیعی و خاک سیمان با ۳ درصد سیمان در زمان‌های عمل آور مختلف [۱۰]



۳. افزودن سیمان به خاک رسی آلوده با درصد کم گلیسرول ( ۳ درصد ) باعث افزایش مقاومت آن و در دردهای بالاتر ( ۶ و ۹ درصد گلیسرول ) باعث کاهش مقاومت آن نسبت به خاک سیمان متناظر تهیه شده از خاک رسی طبیعی می شود ( شکل ۲-۲۷).



شکل (۲-۲۷). نمودار تغییرات تنش کرنش خاک سیمان با ۶ درصد سیمان و ۶ درصد گلیسرول در زمان‌های عمل‌آوری مختلف [۱۰]

# فصل سوم

## روش تحقیق

در این بخش به شرح روش تحقیق و بحث آزمایشهای (مشخصات فیزیکی و مکانیکی) بر روی خاک بکار رفته در این تحقیق، و همچنین خصوصیات شیرابه مورد مورد نظر پرداخته شده و ضمن بیان مختصر روشهای آزمایش، به استخراج نتایج نیز به تشریح پرداخته می شود.

### ۳-۲- معرفی مرکز دفن شاهرود

محل دفن بهداشتی شهر شاهرود در فاصله ۷ کیلومتری شهر شاهرود، در مجاورت جاده شاهرود- سبزوار و منطقه پشت کارخانه گچ قرار گرفته است. بر اساس اطلاعات جمع آوری شده، میانگین بارندگی سالیانه در شهر شاهرود در یک دوره ۲۳ ساله از سال ۱۳۴۷ تا سال ۱۳۷۰ برابر با ۱۷۶ میلی متر بوده است و نیز طبق داده های موجود در خصوص بارندگی از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۷۹ این میزان برابر با ۱۷۲ میلی متر بوده است. از نظر زمین شناسی و دانه بندی خاک، منطقه مورد مطالعه به دلیل وجود سنگهای کنگلومرایی و ماسه سنگی و سیلتی در شرایط مطلوب، نفوذپذیری خیلی کمی داشته و خاکها اکثراً رسی بوده و خاصیت تورم قوی دارد و لایه زیرین خاک نیز غیر قابل نفوذ می باشد. سطح آبهای زیرزمینی منطقه حدود ۱۸ متر می باشد و شرایط طبیعی منطقه اجازه تشکیل آبخان سنگی و یا آبرفتی را نداده است. به همین دلیل هیچ منبع آبی به خصوص چشمه در حوضه قابل مشاهده نیست. مساحت کل محل دفن بهداشتی زباله شهر شاهرود ۲۵ هکتار می باشد. نوع سیستم دفن، ترانشه ای و به عرض ۸ متر، طول ۶۰ متر و عمق ۹ متر می باشد شکل (۳-۱). همچنین حدود ۵۰۰ متر جاده دسترسی به عرض ۶ متر در داخل مرکز دفن ایجاد شده است، ۶۴۰۵ متر مکعب کانال زه کشی در اطراف محل دفن حفر شده است و ۳۲۰۴ متر حصار برای دور محل دفن ایجاد شده است.



شکل (۱-۳) نمایی از محل دفن زباله های جامد شهری شاهرود.

بر اساس دستورالعمل های پیشنهادی نرخ تولید سرانه زباله در کشورهای در حال توسعه در یک افق ۲۰ ساله، سالیانه ۲ تا ۵ درصد است که بستگی به میزان جمعیت شهر دارد و برای شهرهای با جمعیت کمتر از ۵۰۰ هزار نفر ۲ درصد فرض می شود. لذا سرانه تولید زباله و در نتیجه وزن کل زباله تولیدی شهروندان شاهرودی در طی سالهای دوره طرح به شرح جدول (۱-۳) خواهد بود.

جدول (۱-۳) سرانه تولید زباله و وزن کل زباله تولیدی شهروندان شاهرودی در طی سالهای دوره طرح.

سال	جمعیت	سرانه تولید زباله	وزن زباله سالیانه به تن	سال	وزن زباله سالیانه به تن	سرانه تولید زباله (گرم)	جمعیت	سال
۱۳۸۷	۱۴۰۰۰۰	۶۶۸.۶۴	۳۴۱۶۷.۵	۱۳۹۷	۱۵۷۹۰۳	۸۱۴.۲۸	۴۶۹۳۰.۷	۱۳۸۷
۱۳۸۸	۱۴۳۰۹۶	۶۸۱.۳۶	۳۵۵۸۷.۵	۱۳۹۸	۱۵۹۶۴۰	۸۳۰.۵۷	۴۸۳۹۶.۲	۱۳۸۸
۱۳۸۹	۱۴۴۶۷۱	۶۹۴.۹۸	۳۶۶۹۸.۴	۱۳۹۹	۱۶۱۳۹۶	۸۴۷.۱۸	۴۹۹۰۷	۱۳۸۹
۱۳۹۰	۱۴۶۲۶۲	۷۰۸.۸۸	۳۷۸۴۴	۱۴۰۰	۱۶۳۱۷۱	۸۶۴.۱۳	۵۱۴۶۵.۳	۱۳۹۰
۱۳۹۱	۱۴۷۸۷۱	۷۲۳.۰۶	۳۹۰۲۵.۷	۱۴۰۱	۱۶۴۹۶۶	۸۸۱.۴۱	۵۳۰۷۲	۱۳۹۱
۱۳۹۲	۱۴۹۴۹۷	۷۳۷.۵۲	۴۰۲۴۳.۸	۱۴۰۲	۱۶۶۷۸۰	۸۹۹.۰۴	۵۴۷۲۸.۸	۱۳۹۲
۱۳۹۳	۱۵۱۱۴۲	۷۵۲.۲۷	۴۱۵۰۰.۴	۱۴۰۳	۱۶۸۶۱۵	۹۱۷.۰۲	۵۶۴۳۷.۵	۱۳۹۳
۱۳۹۴	۱۵۲۸۰۴	۷۶۷.۳۲	۴۲۷۹۶.۱	۱۴۰۴	۱۷۰۴۷۰	۹۳۵.۳۶	۵۸۱۹۹.۵	۱۳۹۴
۱۳۹۵	۱۵۴۴۸۵	۷۸۲.۶۷	۴۴۱۳۲.۴	۱۴۰۵	۱۷۲۳۴۵	۹۵۴.۰۷	۶۰۰۱۶.۷	۱۳۹۵
۱۳۹۶	۱۵۶۱۸۵	۷۹۸.۳۲	۴۵۵۱۰.۲	۱۴۰۶	۱۷۴۲۴۱	۹۷۳.۱۵	۶۱۸۹۰.۴	۱۳۹۶

### ۳-۳- نمونه گیری

در این تحقیق شرایط مطلوب برای نمونه های خاک در آزمایشگاه باز سازی شد . ابتدا خاک مورد نیاز از نزدیکی محل دفن زباله به طریقی جمع آوری شد که در معرض نفوذ شیرابه ها قرار نداشته و تمیز بوده باشد . خاک به مدت 24 ساعت درگرم کن با دمای 100 درجه سانتی گراد خشک شد و سپس به روش تراکم استاندارد با رطوبت بهینه نمونه جهت انجام آزمایش تهیه گردید سپس نمونه ها جهت انجام آزمایش تحکیم آماده شده است.

### ۳-۳-۱- نمونه گیری از خاک بستر

جهت نمونه گیری از خاک بستر از دو روش زیر استفاده شده است:

#### الف- نمونه گیری دست خورده از خاک<sup>۳</sup>:

نمونه های دست خورده برای شناسایی دانه بندی، حدود اتربرگ، میزان املاح شیمیایی موجود در خاک و برخی از آزمایشهای شاخص خاک کارایی دارند. روشهای اخذ نمونه دست خورده شامل نمونه و گیری دستی، نمونه گیری با اوگرهای پره دار و سطلی، نمونه گیری با نمونه گیر جدا شونده SPT<sup>۴</sup> برخی روشهای پیشرفته نمونه گیری نظیر نمونه گیری به روش آزمون نفوذ حجیم می باشد LPT<sup>۵</sup> ساده ترین روش نمونه گیری دست خورده است که بطور مستقیم و به کمک وسایل ساده نظیر کاردک و بیلچه توده خاک نمونه گیری شود. برای نمونه گیری دستی از اعماق زمین باید ابتدا چاله ای به روش دستی یا ماشینی حفر شده و سپس از جدار آن در اعماق مورد نظر نمونه گیری گردد. بطور معمول این چاله در خاکهای پایدار توسط مکنی و به روش دستی حفر می شود. با این حال در خاکهای ریزی و یا در مواردی که شناسایی زمین در طول یک خط مورد نظر باشد ماشین آلات حفاری نظیر بیل مکانیکی به کار می روند، که در این تحقیق نمونه گیری بصورت دستی انجام شده است، که در (شکل ۳-۲) مشاهده می شود.

#### ب- نمونه باز سازی شده<sup>۶</sup> از خاک:

نمونه باز سازی شده یا ساختگی به نمونه ای اطلاق می شود که با استفاده از نمونه های دست خورده و انجام عملیات تراکم روی آن، در آزمایشگاه تهیه و سپس آزمایش می شود، که در این تحقیق از نمونه بازسازی شده

---

<sup>۳</sup>Disturbed Sample

<sup>۴</sup>Standard Penetration Test

<sup>۵</sup>Large Penetration Test

<sup>۶</sup> Remolded Sample

برای آزمایش تحکیم استفاده شده است.



شکل (۲-۳) نمونه برداری دست خورده از خاک مورد نظر.

### ۲-۳-۳- نمونه گیری از شیرابه:

هدف اصلی نمونه گیری بدست آوردن قسمت کوچکی از شیرابه است که نمایانگر خصوصیات واقعی شیرابه مدفن باشد. در هرروش نمونه برداری قواعد عمومی زیرباید بکار رود ۱- نمونه ها باید نشان دهنده وضعیت موجود در نقطه ای باشد که از آن محل برداشت انجام گرفته است. ۲- نمونه ها باید دارای حجم مناسب به نحوی باشد که امکان تجدیدپذیری آزمون به تعداد مورد نظر در روش آزمون مربوطه فراهم گردد. ۳- نمونه ها باید طبق روشی جمع آوری ، بسته بندی و حمل و نقل گردد که مراقبتهای لازم جهت تأمین عدم تغییر در ترکیبات و خصوصیات ویژه آن تا مرحله تجزیه در آزمایشگاه درباره آن اعمال شده باشد. در این پژوهش شیرابه از کف ترانشه کنده شده مدفن زباله جامد شهری شاهرود استخراج شد.

### ۳-۴-مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه های مورد استفاده:

#### ۳-۴-۱ خاک بستر:

به منظور شناسایی خاک مورد نظر آزمایشهای شناسای خاک شامل (دانه بندی و هیدرومتري، حدود اتربرگ و طبقه بندی خاک)، آزمایشهای مشخصات فیزیکی خاک شامل ( تعیین درصد رطوبت خاک و چگالی ویژه خاک)، آزمایشهای مشخصات مکانیکی خاک شامل ( آزمایش تراکم جهت ارزیابی رطوبت بهینه، و آزمایش برش مستقیم) انجام گرفته است. همچنین آزمایش  $^{60}\text{Co}$  XRF برای شناسایی عناصر موجود (آنالیز عنصری) بر روی خاک مورد نظر انجام شده است.

#### ۳-۴-۱-۲- آزمایش تعیین رطوبت بهینه به روش جرمی: استاندارد ASTM D -2216

این آزمایش برای تعیین درصد وزنی رطوبت خاک و سنگ بکار می رود. درصد رطوبت عبارتست از نسبت وزن آب موجود در یک توده خاک به وزن خشک همان توده خاک که بصورت درصد بیان می شود. در اکثر آزمایشهای مکانیک خاک، لازم است درصد رطوبت خاک تعیین گردد. این آزمایش نمی تواند درصد رطوبت واقعی مصالحی که دارای مقدار قابل توجهی کانی های هالوزیت، مونت موریونیت و گچ است را به دست آورد همچنین در مصالحی که آب درون منافذ آنها دارای مقدار زیادی املاح محلول مثل کلرید سدیم (که در رسوبات دریایی وجود دارد) و یا مواد آلی هستند درصد رطوبت بدست آمده حقیقی نیستند. در خاکهای ریزدانه (چسبنده) پایداری و مقاومت خاک بستگی به درصد رطوبت آن دارد در این حالت رطوبت طبیعی خاک با نشانه

<sup>7</sup> X Ray Fluorescence



های حد روانی و حد خمیری مقایسه می شود .

هدف از آزمایش بدست آوردن درصد رطوبت طبیعی خاک مورد نظر می باشد.

درصد رطوبت میانگین:

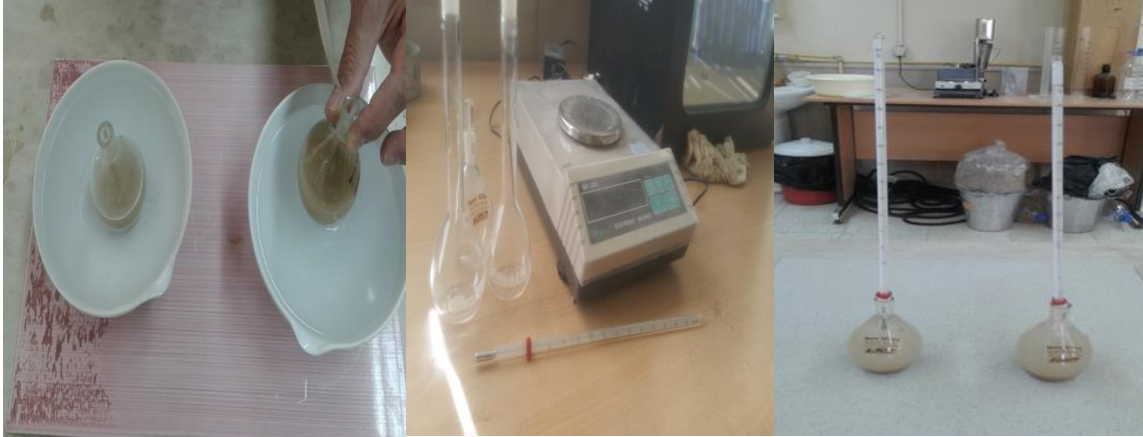
$$\omega_{ave} = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3}{4} = 15\% \quad (1-3)$$

### ۳-۴-۱-۳- آزمایش تعیین چگالی ویژه بخش جامد به وسیله پیکنومتر آب: استاندارد 854-ASTM D

منظور از توده ویژه خاک ( چگالی ) معمولا توده ویژه دانه‌های (قسمت جامد) خاک است، توده ویژه ( $G_s$ ) از نسبت وزن مخصوص جامد خاک به وزن مخصوص آب است وزن مخصوص ویژه در محاسبات مربوط به بسیاری از آزمون‌های آزمایشگاهی به کار گرفته می شود . دامنه تغییرات توده ویژه خاک (چگالی) برای خاک های مختلف متفاوت است. چگالی دانه ها وابسته به جنس کانی های سازنده آنهاست. وزن مخصوص ویژه خاک اغلب برای ارتباط وزن به حجم خاک مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین با دانستن تخلخل و درجه اشباع و وزن مخصوص ویژه می توانیم وزن واحد حجم یک خاک مرطوب و یا خشک را محاسبه کنیم.

#### هدف از آزمایش :

تعیین چگالی ویژه بخش جامد خاک مورد نظر می باشد.



شکل (۳-۳). برخی از وسایل آزمایش تعیین چگالی ویژه بخش جامد خاکهای ریزدانه

\* حداقل سه بار آزمایش انجام می شود و برای اینکه جوابها و نتایج صحیح باشند باید این مقادیر به دست آمده بیشتر از ۲ الی ۳٪ باهم تفاوت نداشته باشند.

### نتیجه گیری:

چگالی دانه های جامد:

$$G_{S_{ave}} = \frac{G_{S1} + G_{S2} + G_{S3}}{3} = 2.67 \quad (۲-۳)$$

از عدد فوق نتیجه می گیریم خاک مورد نظر جزء خاکهای ریزدانه لای دار و رس دار می باشد. با توجه به (جدول ۲-۳) عدد بدست آمده، خاک مورد نظر از نوع رس لای دار می باشد.

جدول (۳-۲). طبقه بندی چگالی ویژه بخش جامد خاک.

نوع خاک	(Gs)
ماسه	2.67-2.65
ماسه لای دار	2.65-2.67
رس عالی	2.80-2.70
ماسه حاوی میکا و آهن	3.00-2.75
خاک های عالی	< 2.00

۳-۴-۱-۴- آزمایش دانه بندی خاک به روش الک و هیدرومتری برای بخش گذرا از الک شماره (۲۰۰). استاندارد - ASTM D :422

#### روش الک:

اغلب خاکهای طبیعی شامل مخلوطی از دو یا بیشتر از شن و ماسه ولای ورس می باشند و بسیاری از آنها نیز شامل مقداری مواد آلی می باشند. به طور کلی اطلاعات حاصل از این آزمایش برای پیش بینی حرکت آب در خاک ، میزان نفوذ پذیری خاک ، حساسیت خاک در مقابل یخ زدگی و رفتار خاک در آب و هوای سرد ، خاصیت موینگی ، استفاده به عنوان فیلتر و زهکش مفید است . دانه های ریزتر از الک (No.200) معمولا ارزش سازه ای ندارند . اهمیت ریزدانه ها در میزان رطوبتی است که جذب می کنند.

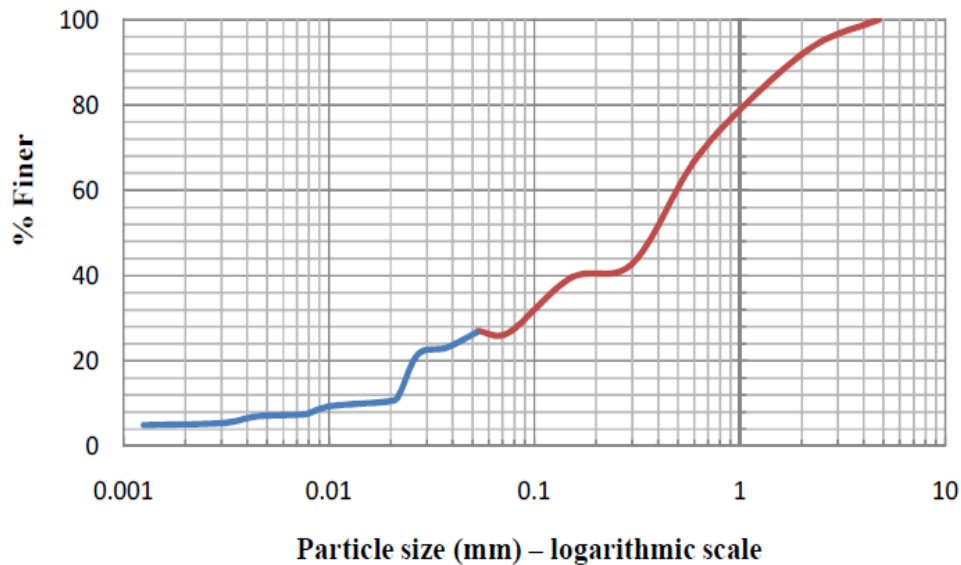
هدف از انجام آزمایش دانه بندی تعیین اندازه ذرات خاک و بدست آوردن نسبت درصد وزنی به یکدیگر می باشد . با انجام این آزمایش از میزان وجود ذرات با ابعاد مختلف مطلع می شویم و می توانیم روی مناسب یا نامناسب بودن خاک نظر دهیم.



شکل (۳-۴). الکهای آزمایش دانه بندی به روش تر(قسمت درشت دانه)

### روش هیدرومتری استاندارد :

دانه بندی خاکهای ریز دانه را می توان با استفاده از روش ته نشینی تعیین کرد این روش مبتنی بر قانون استوکس می باشد که مربوط به سرعت سقوط ذرات کروی شکل معلق در مایعات می باشد . ذرات بزرگتر سرعت سقوط بیشتری دارند و ذرات کوچکتر با سرعت کمتری ته نشین می شوند. در(شکل ۳-۵) نمودار دانه بندی خاک مورد مطالعه (حاصل از روش الک و هیدرومتری) ترسیم گردیده است.

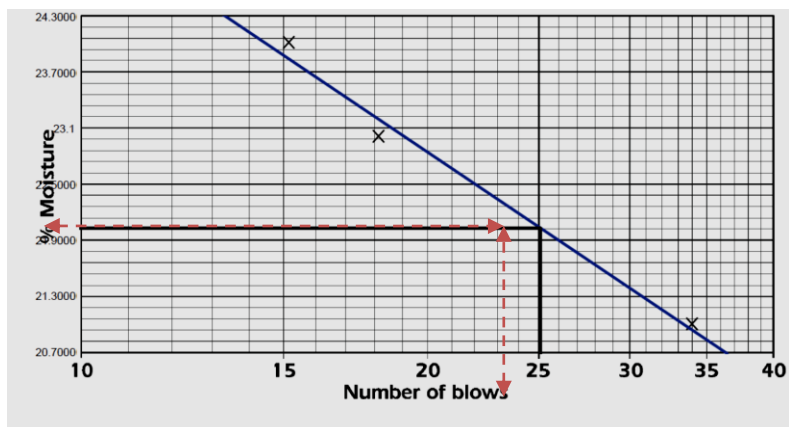


شکل (۳-۵). نمودار دانه بندی خاک مورد مطالعه

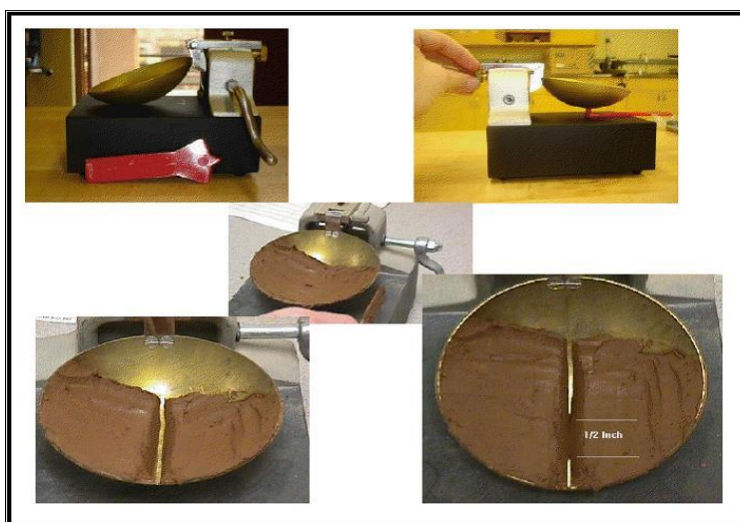
### ۳-۴-۱-۵- آزمایش حدود اتربرگ : استاندارد - 3418: ASTM D

#### حد روانی

در مکانهایی که خاک در مقابل رطوبت زیاد قرار دارد آزمایش حدود اتربرگ به ما در شناختن بهتر خصوصیات خاک کمک می کند. خاک در حالت معمول جامد است. در مرحله ای خاک از حالت جامد به نیمه جامد تبدیل می شود رطوبت این حالت را حد انقباض می گویند. با افزایش تدریجی رطوبت خاک از حالت نیمه جامد به حالت خمیری و بعد به صورت مایع تبدیل می شود که مرز مابین این حالات نیز به ترتیب حد خمیری و حد روانی نام دارد. در شکل (۳-۶) نمودار حد روانی ترسیم شده است که از روی نمودار فوق درصد رطوبت حد روانی در ۲۵ ضربه جام کاساگرانده تعیین می شود.



شکل (۳-۶). نمودار حد روانی



شکل (۳-۷). جام کاساگرانده وسایل آزمایش حد روانی ومراحل انجام آزمایش

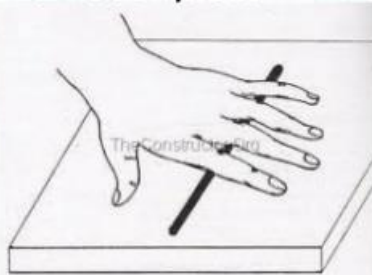
### حد خمیری

حد خمیری درصد رطوبتی است که در آن خاک در اثر فیتیله شدن وقتی که قطرش به ۳٫۲ میلیمتر می رسد

شروع به ترک خوردن می کند شکل (۳-۸).

## Determination of Plastic Limit – cont'd

- Rolling on a smooth plate



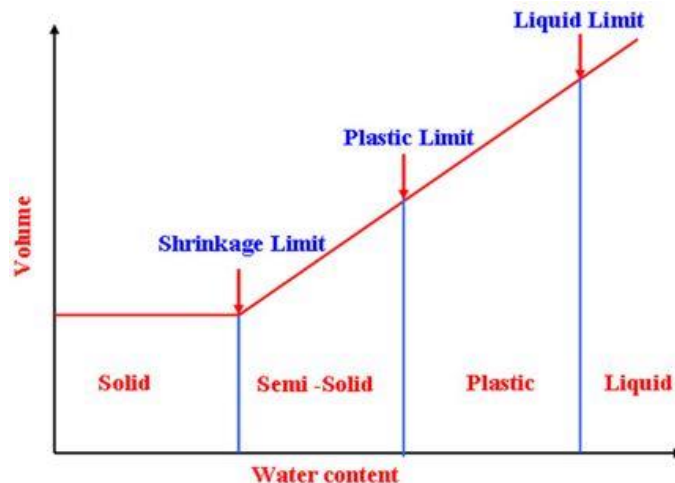
- Rolling on between palms of hands



- Soil thread 3mm diameter just crumbles

شکل (۳-۸). مراحل انجام آزمایش حد پلاستیک

خاک ریزدانه بر حسب درصد رطوبتی که دارد می تواند در یکی از حالت های جامد، نیمه جامد، خمیری و مایع دسته بندی شود. حدفاصل بین این حالات به صورت نمودار زیر نشان داده می شود:



شکل (۳-۹). مرز حد انقباض، حد خمیری، حد روانی

نتایج آزمون حدود اتربرگ بر روی نمونه بدون شیرابه به شرح جدول ۳-۳ زیر می باشد:

جدول (۳-۳). نتایج آزمایش حدود اتربرگ و پارامترهای وابسته به آن

A	Ic	IL	PI	PL	LL	نوع نمونه
عدد فعالیت	نشانه استحکام	نشانه روانی	نشانه خمیری	حد خمیری	حد روانی	
0.38	1	0	7	15	22	بدون شیرابه

### ۳-۴-۱-۶- رده بندی خاک ها (سیستم رده بندی متحد USCS) استاندارد - 2487: ASTM D

با استفاده از این استاندارد یک نماد و نام رده مجزا برای خاک مورد نظر بدست می آید. هدف آزمایش فوق رده



بندی خاک مورد نظر به روش متحد (یونیفاید) USCS<sup>^</sup> می باشد. پس از نمونه گیری و انجام آزمایشهای لازم (مانند حدود اتربرگ و...) بر روی خاک مورد نظر مطابق نمودار کاساگرانده (شکل ۳-۱۰) و (شکل ۳-۲۰) و جدول (۳-۴) خاک مورد نظر رده بندی می گردد.

جدول (۳-۴). طبقه بندی خاک به روش یونیفاید

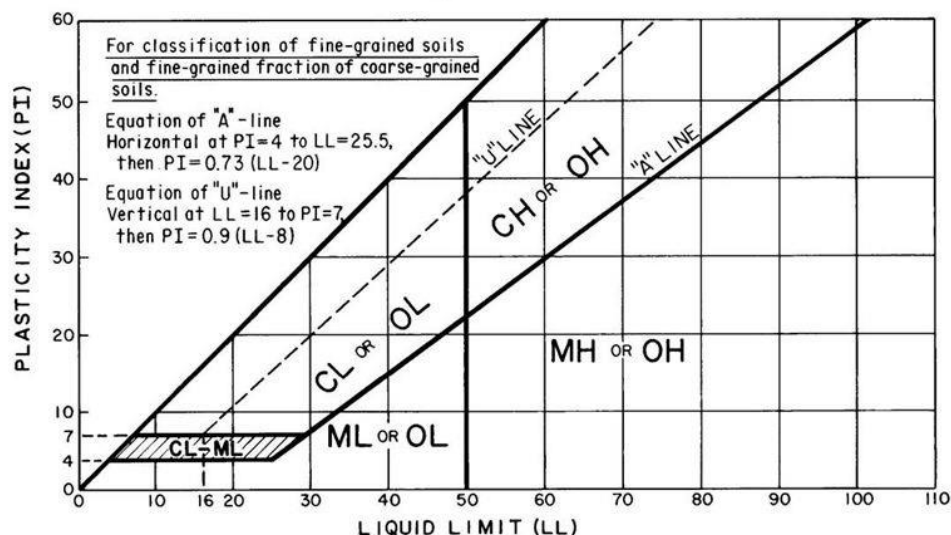
علامت	حرف اول (جنس خاک)	علامت	حرف دوم (صفت خاک)
G	شنی	W	خوب دانه بندی شده
S	ماسه ای	P	بد دانه بندی شده
C	رسی	M	لای دار
M	لای دار	C	رس دار
O	ارگانیک	H	خاصیت خمیری بالا
Pt	خاک با منشاء نباتی	L	خاصیت خمیری پایین

Unified Soil Classification System <sup>^</sup>

# Unified Soil Classification System (USCS)

## Fine-Grained Soil Classification, Plasticity Chart

ASCE D 2487



شکل (۳-۱۰). نمودار کاساگرانده برای رده بندی خاک های رسی

با توجه به  $PI$  بدست آمده، حدود اتربرک و منحنی دانه بندی، خاک این نمونه در محدوده  $CL-ML$  قرار گرفته است (نمودار کاساگرانده) و برابر طبقه بندی یونیفاید خاک  $CL$  (رس لای دار با خاصیت خمیری کم) می باشد.

### ۳-۴-۱-۷- آزمایش تعیین دانسیته خشک طبیعی ( $\gamma_d$ ) وزن کلوخه با پارافین

وزن مخصوص ظاهری عبارت است از وزن واحد حجم خشک خاک در شرایط طبیعی و واحد آن بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب است. کلوخه قسمتی از خاک است که دارای ساختمان طبیعی است. اگر جرم کلوخه را اندازه گرفته و بر حجم آن تقسیم کنیم وزن مخصوص ظاهری خاک بدست می آید. مشکل تعیین حجم کلوخه است زیرا کلوخه دارای شکل هندسی منظم نیست و نیز نمی توان آنرا وارد آب نمود تا مقدار جابجایی حجم مایع را تعیین کرد زیرا متلاشی شده و حجم تخلخل ها از بین می رود. ولی می توان آنرا با پارافین ضد آب

نمود. برای اینکار ابتدا کلوخه ای که مبین خاک مورد نظر است در شرایط طبیعی انتخاب می کنیم و دور آن را با نخی به طول حدوداً ۳۰ تا ۳۵ می بندیم سپس کلوخه را وزن می کنیم (وزن کلوخه). سپس کلوخه را یک دفعه دو بار داخل پارافین مذاب کرده و خارج میکنیم و بعد از آن پارافین سطح کلوخه را گرفته است که آن را وزن می کنیم (وزن کلوخه با پارافین). در استوانه مدرجی تا حد معینی آب می ریزیم و سپس کلوخه آغشته به پارافین را داخل استوانه مدرج می نماییم و افزایش حجم آب را حساب می کنیم.

### هدف از انجام این آزمایش :

تعیین دانسیته خشک طبیعی ( $\gamma_d$ ) است.



شکل (۳-۱۱). لوازم آزمایش تعیین دانسیته خشک طبیعی و کلوخه های آغشته به پارافین.

در روش فوق دانسیته طبیعی از میانگین پنج کلوخه آغشته به پارافین برابر با  $18/8 \text{ (kN/cm}^3\text{)}$  یا  $\text{(gr/cm}^3\text{)}$  بدست آمده است.

### ۳-۴-۱-۸- آزمایش تعیین مشخصات تراکم آزمایشگاهی خاک با استفاده از استاندارد

#### ASTM D :698 -

آزمایش تراکم عبارتست از کاهش دادن حجم خاک در اثر خارج ساختن هوا با استفاده از اعمال نیرو. که در این حالت وزن واحد آن زیاد می شود و این وزن معیار تراکم خاک است. تراکم به منظور افزایش مقاومت نیروی برشی و کاهش نفوذپذیری انجام می شود که این به علت این است که منافذ خاک کوچکتر میشود و در نتیجه حرکت آب از این منافذ مشکلتر است. در خاکهای رسی یک مشکل وجود دارد و آن افزایش پتانسیل تورم خاک است.

عوامل موثر در تراکم خاک بستگی دارد به : ۱- نوع خاک ۲- انرژی ۳- رطوبت

در عملیات تراکم حجم آب موجود در خاک تغییر نمی کند و فقط حجم هوای خاک کاسته می شود. میزان تراکم یک خاک معمولاً بر اساس اندازه گیری وزن مخصوص خشک مشخص می شود .

میزان رطوبتی که در آن حداکثر وزن مخصوص خشک حاصل می شود میزان رطوبت بهینه می نامند.

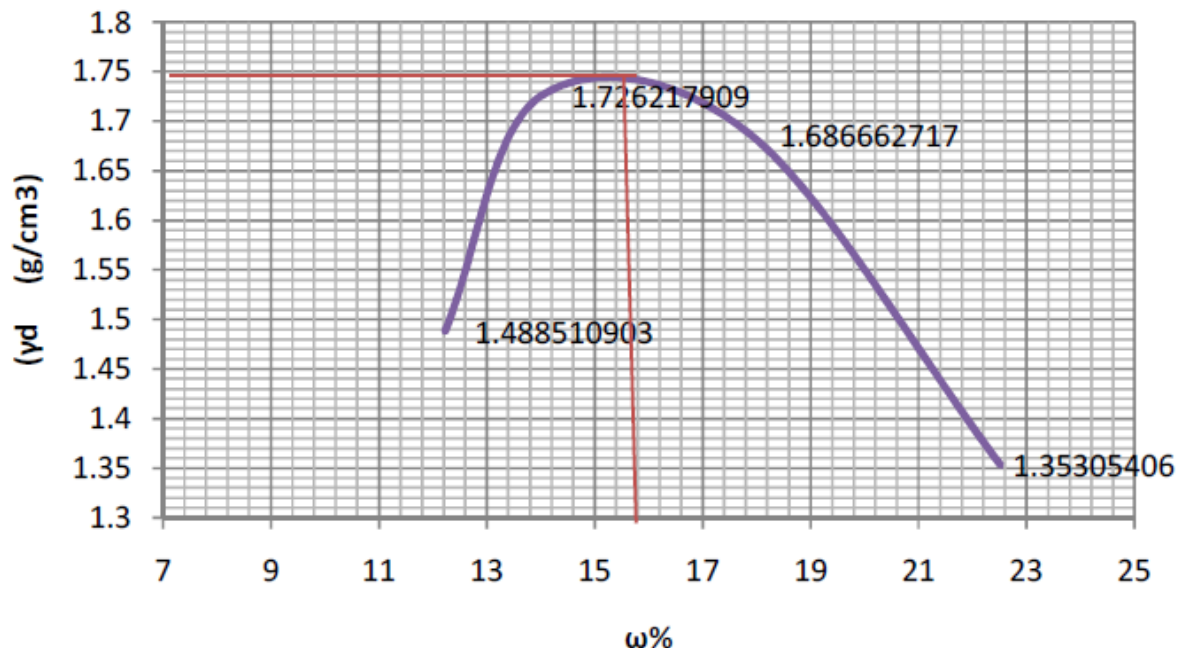
به طور کلی آزمایش تراکم به دو صورت می باشد : تراکم استاندارد و تراکم اصلاح شده.

در این تحقیق از روش تراکم استاندارد استفاده شده است.

#### هدف از انجام آزمایش:

رسیدن به درصد رطوبتی از خاک است (رطوبت بهینه)<sup>۹</sup> که در آن بیشترین مقدار تراکم صورت می گیرد.

<sup>9</sup> Optimum



شکل (۳-۱۲): نمودار تراکم آزمایشگاهی خاک مورد مطالعه

همانطوری که از نمودار مشخص است در صد رطوبت بهینه برابر ۱۶٪ و حداکثر وزن مخصوص خشک برابر با  $1/72(g/cm^3)$  می باشد که از میانگین سه آزمایش متفاوت بدست آمده است.

### ۳-۴-۱-۹- طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس XRF

معرفی دستگاه : XRF ( X Ray Fluorescence )

XRF روشی تحلیلی برای تعیین ترکیب شیمیایی تمام انواع مواد است. مواد می توانند به اشکال جامد، مایع، پودرو سایر باشند. XRF همچنین گاهی اوقات می تواند برای تعیین ضخامت و ترکیب لایه ها و پوشش ها بکار رود. این روش سریع ، دقیق و غیر مخرب است و معمولاً تنها به اندکی آماده سازی نمونه احتیاج دارد. کاربردهای آن بسیار گسترده است و شامل صنایع فلز، سیمان، نفت و حتی صنایع غذایی است و نیز معدن شناسی، مینرالوژی (کانی شناسی) و زمین شناسی و آنالیز زیستی آب و زباله ها می باشد. مزیت استفاده از XRF بر روش های شیمیایی سرعت بالا و هزینه پایین و دقت قابل قبول است. XRF دستگاهی است برای اندازه گیری طول موج و شدت امواج فلورسانس ساطع شده از اتم های مختلف در نمونه که نتیجه آن شناسایی

نوع و میزان عناصر ماده می باشد. دستگاه XRF کاربرد وسیعی در بسیاری از علوم دارد و امروزه به علت پیشرفت های زیاد در این زمینه بصورت یکی از وسایل ضروری در آزمایشگاه های تحقیقاتی در آمده است. XRF با سرعت عمل بسیار زیاد قادر است عناصر بسیاری را بصورت کیفی و کمی مورد آنالیز قرار دهد. به علت سرعت زیاد و عدم مصرف مواد شیمیایی روش ارزانی نسبت به بقیه روش های آنالیزی بوده و محیط زیست را نیز آلوده نمی سازد. [۲۵]

در این تحقیق آزمایش XRF برای شناسایی عناصر موجود (آنالیز عنصری) بر خاک مورد نظر در آزمایشگاه پارک علم و فناوری شاهرود انجام شد که نتایج به شرح فوق می باشد.

### نتایج آزمایشات XRF بر روی خاک رس:

در جدول (شماره ۳-۵) نتایج آزمایش XRF برای شناسایی عناصر موجود (آنالیز عنصری) مشاهده می شود.

جدول (۳-۵). نتایج آزمایش XRF بر روی خاک مورد مطالعه

Analysis	Result
SO <sub>3</sub>	10.57%
MgO	1.53 %
Na <sub>2</sub> O	0.554 %
SrO	0.037 %
Rb <sub>2</sub> O	0.007 %
ZnO	0.012 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.121 %
K <sub>2</sub> O	2.084 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.399 %
ZrO <sub>2</sub>	0.023 %
TiO <sub>2</sub>	0.633 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.805%
SiO <sub>2</sub>	36.341%
Cl	0.141%
MnO	0.064%
CaO	17.113 %
L.O.I(1000.1hrs)	16.565%

### ۳-۴-۲- شیرابه:

### ۳-۴-۲-۱- شیرابه و ترکیبات آن

شیرابه زباله از نظر شیمیایی، از مواد گوناگون و عناصر مختلفی که از حل مواد زائد در آب، یا واکنش های بیولوژیکی و شیمیایی داخل مدفن ایجاد شده اند، تشکیل می شود. به عبارت دیگر، شیرابه مایعی بدبو و به رنگ قهوه ای تیره است که از داخل مواد زائد به بیرون تراوش کرده و حاوی مواد محلول و معلق می باشد شکل (۳-۱۳). کیفیت شیرابه، تابع کیفیت مواد زائد جامد تولیدی می باشد. شیرابه تولیدی از این مواد دارای خواص گوناگونی است که با حرکت و نفوذ در لایه های مختلف زمین، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تاثیر قرار می دهد. شیرابه ای که از خود زباله تولید می شود، شیرابه اولیه و شیرابه ای که از ورود آب باران به داخل زباله ها حاصل می شود را شیرابه ثانویه می نامند.

### ۳-۴-۲-۱-۱- شیرابه اولیه<sup>۱۰</sup>

بلافاصله پس از تخلیه پسماند در ترانشه های محل دفن و به محض ایجاد پوشش روزانه، از مواد زائد جامد، جدا شده و خارج می شود. در واقع زمان تولید آن ها از ابتدای دفن پسماند در سلول های دفن آغاز می شود و منشا آن رطوبت اولیه مواد زائد جامد است. در این شیرابه غلظت BOD و COD بالا و مقدار PH پایین می باشد.

<sup>10</sup> Fresh Leachate

### ۳-۴-۲-۱-۲- شیرابه ثانویه<sup>۱۱</sup>

در اثر نفوذ آب باران، برف و رواناب های سطحی به داخل محل دفن به وجود می آید . رطوبت وارد شده به محل دفن تحت تاثیر نیروی ثقل خود به پایین حرکت نموده و در تماس با زائدات و مواد، جذب آن ها می شود.

نفوذ شیرابه به داخل خاک به علت وجود آلاینده هایی نظیر هیدروکربن ها، فلزات سنگین و نظایر آن باعث ایجاد مشکلات عدیده ای می گردد . حرکت افقی شیرابه در اماکن دفن زباله های شهری می تواند باعث خروج شیرابه از سطح خاک در نقاط کم ارتفاع شده و باعث آلودگی آب های سطحی شود . حرکت قائم شیرابه از لایه های مختلف زیر مدفن، اولاً باعث آلودگی خاک شده و ثانیاً در صورت بالا بودن سطح آب زیرزمینی باعث آلودگی آب های زیرزمینی می شود. بنابراین باید این شیرابه قبل از استفاده یا دفع در محیط تصفیه شود. از جمله اقدامات لازم در راستای سامان دهی محل دفن موجود زباله، مدیریت شیرابه تولیدی در آن محل می باشد. تولید شیرابه در محل دفن موجود اجتناب ناپذیر بوده و شیرابه تولیدی باید به تصفیه خانه شیرابه زباله منتقل شود. محل دفن زباله بایستی مجهز به سیستم جمع آوری شیرابه باشد تا شیرابه تولیدی جمع آوری شده و شیرابه به سیستم تصفیه شیرابه تخلیه شود .

### ۳-۴-۲-۲- خصوصیات شیمیایی شیرابه و خاک

به منظور آشنایی با کیفیت شیرابه مورد مطالعه در این تحقیق که از محل دفن زباله جامد شهری شاهرود نمونه برداری گردیده آزمایش های از قبیل PH، EC، BOD<sub>5</sub> و ذرات موجود در شیرابه انجام گردید.

<sup>11</sup> Old Leachate





شکل (۳-۱۳). شیرابه مدفن زباله شهری

### ۳-۴-۳- آزمایش BOD<sup>۱۲</sup>:

BOD نرخ مصرف اکسیژن در داخل آب توسط ارگانیسم ها است. اگر BOD کم باشد آب پاک و فاقد ارگانیسم است یا آنکه ارگانیسمهای داخل آب مرده و نیازی به مصرف اکسیژن ندارند. BOD مقدار اکسیژن لازم برای ثبات بیولوژیکی در آب است. اندازه تأسیسات تصفیه بیولوژیکی خصوصاً میزان هوادهی فاضلاب در حوضچه های هوا دهی را می توان با اندازه BOD محاسبه نمود.

اگر BOD آبی 1 ppm باشد تقریباً آب خالص است. آب با BOD تا 5 ppm نسبتاً خالص فرض می شود و وقتی که BOD به بیشتر از 5 ppm برسد خلوص آب مورد تردید قرار می گیرد. اما اگر مقدار BOD از 20 ppm تجاوز کند سلامت عمومی مورد خطر واقع می شود. آزمایشات BOD تخمین واقع بینانه ای از کیفیت اکسیژنی که وارد به آب شده است را فراهم می سازد.

BOD چگونه تعیین می شود:

دو بطری از یک آب نهر پر می شوند. میزان DO یکی اندازه گیری می شود، سپس درب بطری دیگر را بسته و داخل همان جریان آب به مدت ۵ روز قرار می گیرد ( برای حفظ شرایط محیطی مثل درجه حرارت، زمان و

---

<sup>۱۲</sup> Biological Oxygen Demand

نور) بعد از ۵ روز DO ظرف دوم اندازه گیری شده و اختلاف DO ظرف اول و دوم مشخص کننده  $BOD_5$  است. درجه حرارت، نور و زمان عوامل موثر در BOD هستند، لازم به ذکر است آزمایش حتماً بایستی در درجه حرارت ۲۰ درجه سانتی گراد و در محیط به مدت ۵ روز باشد.

### ۳-۴-۴- آزمایش $COD^{13}$ :

COD یا همان (اکسیژن خواهی شیمیایی)، یکی از مهمترین شاخصهای سنجش آلودگی فاضلاب است. آلودگی فاضلاب ناشی از مواد خارجی است که وارد آب شده و بصورت معلق یا محلول باعث آلودگی آن و تولید فاضلاب شده اند. بدیهی است هرچه مقدار این آلاینده ها در فاضلاب بیشتر باشد، بار آلودگی آن نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین اندازه گیری مقدار مواد خارجی فاضلاب کلید اصلی در تعیین مقدار آلودگی و آلاینده های فاضلاب است.

از طرفی تنوع و تعداد این مواد به قدری زیاد است که عملاً امکان اندازه گیری هریک از این مواد بصورت جداگانه وجود ندارد. از این رو لازم است که مقدار مواد را به طریقی غیرمستقیم اندازه گیری نمود. یکی از مناسبترین راه ها تعیین میزان اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون است. چنانچه می دانیم برای اکسیداسیون هر ماده ای به مقداری اکسیژن نیاز است و از این رو هرچه قدر مقدار مواد اکسیدشونده بیشتر باشد، مقدار اکسیژن بیشتری برای انجام اکسیداسیون لازم خواهد بود.

بنابراین برای تعیین مقدار مواد خارجی فاضلاب به جای اندازه گیری مستقیم آنها، مقدار اکسیژن مورد نیاز آنها برای اکسید شدن را محاسبه می نمایند. در واقع COD مقدار اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون کل مواد می باشد. پس بدیهی است که هرچه مقدار COD یک فاضلاب بیشتر باشد مقدار مواد خارجی موجود در آن که باعث آلودگی آن می شود نیز بیشتر خواهد بود.

<sup>13</sup> Chemical Oxygen Demand

### ۳-۴-۵- آزمایش هدایت الکتریکی EC<sup>۱۴</sup>:

هدایت الکتریکی آب نشان دهنده میزان املاح هادی موجود در آب می‌باشد. واحد هدایت الکتریکی که آن را با EC نیز نمایش می‌دهند 1 ohm یا mho می‌باشد و واحد هدایت الکتریکی ویژه آب  $\mu\text{mho/cm}$  (میکرو موس بر سانتیمتر) که در سیستم SI با  $\mu\text{Siemens/cm}$  (میکرو زیمنس بر سانتیمتر) نمایش داده می‌شود. با توجه به این که هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با نمک های محلول در آب دارد، لذا اندازه گیری آن به منظور کنترل کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار است.

یکی از راه های ساده تعیین غلظت املاح محلول در آب، اندازه گیری هدایت الکتریکی است. آب مقطر یا آب خالص تقریباً هادی جریان الکتریسیته نیست ولی اگر در آب نمک های محلول وجود داشت باشد آب را هادی جریان الکتریسیته می‌کند، هر چه مقدار املاح حل شده در آب بیشتر باشد قابلیت هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر مقاومت الکتریکی آن کاهش می‌یابد. با توجه به نقش درجه حرارت در میزان هدایت الکتریکی آب، اندازه گیری ها نسبت به درجه حرارت استاندارد که همان ۲۵ درجه سانتیگراد است بایستی اصلاح گردد. آب مورد استفاده در آزمایش تحکیم آب مقطر بوده که مقدار PH و EC آن در جدول زیر ارائه شده است :

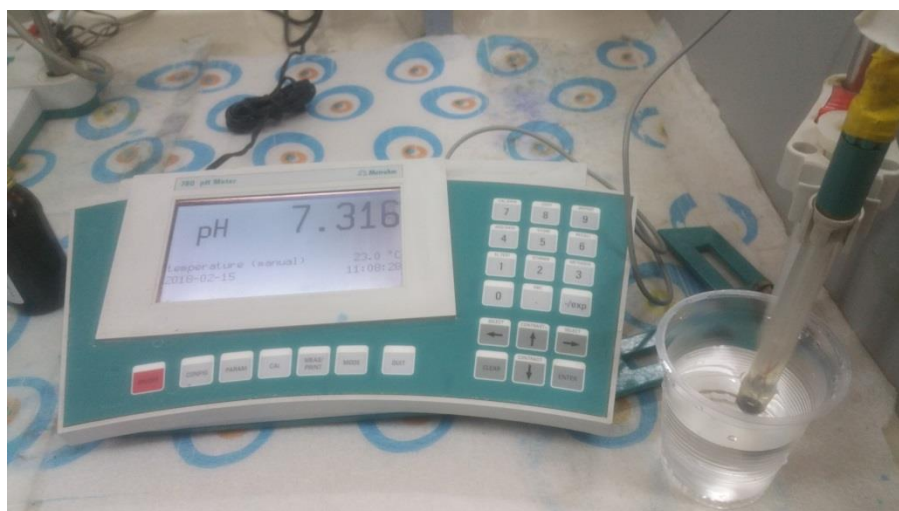
جدول (۳-۶). نتیجه آنالیز آب

پارامتر (ppm)	نمونه آب
PH	7.31
EC	0.615

<sup>14</sup> Electrical Conductivity



شکل (۳-۱۴). دستگاه هدایت الکتریکی EC



شکل (۳-۱۵). دستگاه تشخیص PH نمونه

جدول (۷-۳). نتایج آنالیز شیرابه مدفن زباله جامد شهری شاهرود و همچنین خاک بستر مورد آزمایش

نمونه خاک	نمونه پساب	پارامتر (ppm)
---	626.16	Fe
---	12.15	Mn
---	0.54	Pb
---	0.99	Cr
---	0.085	Cd
---	400	BOD
---	1780	COD
After 5.25- Before 7.00	6.13	PH
---	3.68	EC (ms/cm)
76.25	---	HCO <sub>3</sub>
532.50	---	Cl <sup>-</sup>
96.80	---	K <sup>+</sup>

### ۳-۵- روش تحقیق:

در این بخش ابتدا اشاره ای مختصر به بحث تحکیم در خاکها شده سپس به توضیح مختصر آزمایشات شناسایی فیزیکی و مکانیکی خاک و همچنین آزمایشات شیمیایی شیرابه و آب و نتایج حاصله می پردازد.

این تحقیق مطالعه موردی بر روی رس محل دفن زباله های شاهرود جهت تعیین پارامترهای تحکیم و نفوذپذیری خاک که بصورت موردی انتخاب مورد بررسی قرار گرفته انجام شده است.

### ۳-۵-۱- آزمایش و دستگاه تحکیم

وقتی خاک اشباع تحت بارگذاری قرار می گیرد، در آغاز تمام بارگذاری توسط آب حفره ای تحمل می شود که به افزایش فشار آب حفره ای منتج می شود. در صورتی که زهکشی انجام شود، به مرور زمان حجم خاک کاهش می یابد که به آن تحکیم گفته می شود و باعث نشست می گردد. از طرفی ممکن است خاک بر اثر جذب آب حفره ای یا فشار آب حفره ای منفی افزایش حجم دهد که به آن تورم می گویند. میزان تغییر حجم نمونه تحت بارگذاری به نفوذپذیری نمونه بستگی دارد، از این رو آزمایش تحکیم معمولاً در خاک های با نفوذپذیری کم (مانند رس) انجام می شود. آزمایش تحکیم در واقع آزمایشی برای برآورد پارامترهای تحکیم یک بُعدی ترزاقی است که از حل هم زمان دو معادله تعادل و پیوستگی به صورت تک بُعدی حاصل شده است. در مدل سازی رفتاری مصالح برخی مدل های پلاستیک، نظیر مدل حالت حدی، پارامترهایی وجود دارد که با آزمایش تحکیم برآورد می شوند. در برآورد نشست تحکیمی و درجه تحکیم خاک همچنین طراحی چاه های زهکشی و تعیین میزان فشار آب حفره ای حین ساخت در هسته سدهای خاکی، از آزمایش تحکیم استفاده می شود. پارامترهای مهم خاک که از آزمایش تحکیم به دست می آید یکی از اندیس های تراکم است که میزان تراکم پذیری نمونه مشخص میکند (CC) فشردگی (CF) و دیگری (CV) که سرعت تراکم را به علت بارگذاری تعیین میکند.

در این تحقیق نیز با توجه به فرضیات تئوری تحکیم ترزاقی با فرضیات زیر استفاده می شود:

۱- خاک همگن است

۲- خاک اشباع است

۳- زهکشی و تراکم یک بُعدی است

۴- خواص خاک ثابت است

۵- منحنی  $e - \log p$  یک خط راست را تشکیل می دهد.

### ۳-۵-۲- تئوری آزمایش

در آزمایش تحکیم با اندازه گیری میزان بار وارد به خاک بصورت مستقیم در حالت اشباع و تغییرات (e) میتوانیم پارامترهای تحکیمی را بدست بیاوریم چنانچه این خاک تغییراتی بصورت غیر اشباع داشته باشد باید تحت آزمایش دیگری این تغییرات اندازه گیری شود در این پژوهش با توجه به فرضیات ترزاقی خاک در حالت اشباع است پارامترها اندازه گیری میشود یکی از مهمترین تغییرات تخلخل (e) در آزمایش تحکیم وقتی خاک تحت بارگذاری قرار می گیرد به علت کاهش نسبت منافذ نشان می دهد. وقتی بار به خاک دانه ای خشک یا نیمه اشباع و خاک چسبنده خشک وارد شود، تغییر

مکان پلاستیک در مدت کوتاهی روی می دهد. خاک خشک به دلیل ویسکوزیته بسیار کم سریعاً فشرده می-شود. در خاک دانه ای نیمه اشباع و اشباع، به دلیل نفوذ پذیری زیاد خاک تغییر مکان پلاستیک در مدت زمان کوتاه امکان پذیر است. در خاک چسبنده نیمه اشباع یا اشباع کامل، زمان تحکیم به عوامل زیر بستگی پیدا می کند:

۱- درجه اشباع

۲- ضریب نفوذپذیری خاک

۳- خواص سیال

۴- طول مسیری که سیال برای رسیدن به حالت تعادل طی می کند.

۵- تحکیم در واقع تغییر مکان پلاستیک همراه با کاهش نسبت منافذ است و به صورت تابعی از زمان

تعریف می شود



شکل (۳-۱۶) قالب دستگاه تحکیم



شکل (۳-۱۷) دستگاه تحکیم آزمایشگاه مکانیک خاک



### ۳-۵-۳- آماده سازی نمونه ها:

#### ۳-۵-۳-۱- آماده سازی نمونه خاک:

در این تحقیق شرایط مطلوب برای نمونه های خاک در آزمایشگاه باز سازی شده است . ابتدا خاک مورد نیاز از نزدیکی محل دفن زباله به طریقی جمع آوری شده است که در معرض نفوذ شیرابه ها قرار نداشته و تمیز بوده باشد . خاک به مدت 24 ساعت در گرم کن با دمای 100 درجه سانتی گراد خشک شد و سپس به روش تراکم استاندارد با رطوبت بهینه نمونه جهت انجام آزمایش تهیه گردید سپس نمونه ها جهت انجام آزمایش تحکیم اخذ شده است.

#### ۳-۵-۳-۲- اختلاط شیرابه با درصد های مختلف با خاک :

آزمایش می تواند روی نمونه های دست نخورده یا دست خورده انجام شود. در نمونه های دست نخورده، برای آنکه دست خوردگی حداقل باشد از قالبهای شلبی (یا قالب های دیگر) که جدار نازکی دارند استفاده می شود. که در این پژوهش از نمونه دست خورده بازسازی شده استفاده شده است. جهت آماده سازی این نمونه ها، با توجه به درصد رطوبت بهینه و جرم حجمی خاک خشک حداکثر بدست آمده از آزمایش تراکم مقدار آب و خاک لازم محاسبه و تهیه گردیده است، مقدار آب مورد نظر به خاک اضافه کرده و مدت ۱۰ دقیقه به هم می زنیم تا در پایان مخلوط همگن وبدون کلوخه ای بدست آید سپس آن را در قالب دستگاه تراکم به روش استاندارد بوسیله کوبه متراکم کرده آنگاه توسط رینگ دستگاه تحکیم مغزه گیری صورت پذیرفت. نمونه های تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت با درصد های شیرابه و آب اشباع شدند. به منظور بدست آوردن پارامترهای تحکیم یافته - زهکشی شده در دستگاه ادئومتر در بازه های مختلف بارگذاری مورد آزمایش قرار گرفتند.

### ۳-۵-۴- مراحل و بازه های بارگذاری و باربرداری:

#### سربارها:

برای بدست آوردن پارامترهای تحکیم در این تحقیق از سربارهای ۵ تا ۸۰۰ کیلو پاسکال مطابق جدول ارائه شده در ذیل استفاده شده است.

#### درصد شیرابه:

درصد شیرابه اضافه شده به نمونه خاک به ترتیب برابر 0% ، 30% ، 50% ، 70% و 100% می باشد.

جدول (۳-۸) مراحل بارگذاری و باربرداری

شماره	تنش محوری	تنش محوری
NO	$\sigma$ (Kpa)	$\sigma$ (Kpa)
1	5=204 gr	5
2	12.5=510gr	12.5
3	25=1020gr	25
4	50=2040gr	50
5	100=4080gr	100
6	200=8160gr	200
7	400=16320gr	400
8	800=32640gr	800
9	400=16320gr	400
10	200=8160gr	200
11	100=4080gr	100
12	50=2040gr	50
13	25=1020gr	25
14	12.5=510gr	12.5

### ۳-۶- نام گذاری آزمایشها:

با توجه به استانداردهای ASTM در نحوه ساخت نمونه ها ، زمان رطوبت گیری و زمان اعمال بار در حالت اشباع برای بدست آوردن پارامترهای اشباع در تست تحکیم و در سایر آزمایش ها نیز نحوه تهیه، و ساخت نمونه ها و روش انجام آزمایش بر اساس استاندارد های قابل قبول نمونه خاک از استاندارد های ASTM استفاده شده است ضمناً آزمایش های شیمیایی بر روی شیرابه و آب نیز از آزمایش های معمول و استاندارد آزمایشگاه شیمی استفاده شده است و همچنین راهنمای نمودارها در جدول (3-8) ارائه گردیده است .

جدول (۳-۹) راهنمای نمودارها

(Normal Water) 100% & (Sewage 0%)	T0
(Normal Water) 70% & (Sewage 30%)	T1
(Normal Water) 50% & (Sewage 50%)	T2
(Normal Water) 30% & (Sewage 70%)	T3
(Normal Water) 0% & (Sewage 100%)	T4

### ۳-۷- آزمایشهای انجام شده:

آزمایشهای مربوط به خاک محل دفن شامل:

الف) آزمایشهای شناسایی و طبقه بندی خاک: (دانه بندی روش الک وهیدرومتری، تعیین حد روانی و خمیری ورده بندی خاک از روش متحد)

ب) آزمایشهای مشخصات فیزیکی خاک: (تعیین میزان رطوبت و چگالی ویژه)

ج) آزمایشهای مشخصات مکانیکی خاک (تراکم استاندارد)

د) آزمایش های شناسایی عنصری وآنالیز خاک: (XRF)

آزمایشهای مربوط به شیرابه محل دفن شامل:

الف) آزمایش های شناسایی عنصری وآنالیز نمونه شیرابه:

ب) آزمایش تعیین قدرت الودگی شیرابه: (BOD)

ج) آزمایش: (PH)

آزمایشهای مربوط به آب شامل:

الف) آزمایش: (PH)

در قسمت بعدی این نتایج جمع بندی شده و پیشنهادات ارائه شده است.



# فصل چہارم

## بررسی نتایج

#### ۴-۱- مقدمه

به علت نفوذ پذیری خاک محل دفن یا دپوی روباز زباله ها و تأثیراتی منفی، بر رفتارهای مکانیکی خاکها، با توجه به ویژگی نفوذپذیری کم، خاک رس می تواند بهترین انتخاب از دیدگاه نفوذ پذیری باشد ولی با توجه به تغییرات اساسی تاثیر شیرابه بر خاک رس و کاهش مقاومت نهایی خاک موردنظر، حتما بایستی مورد ارزیابی و پژوهش قرار گیرد لذا با توجه به این مهم در این تحقیق ضمن بررسی آزمایشات مختلف شناسایی، فیزیکی و شیمیایی بر خاک و شیرابه به بررسی تاثیر شیرابه بر پارامترهای تحکیمی خاک مورد نظر محل دفن زباله های جامد شهری شاهرود پرداخته شده است .

برای انجام آزمایش تحکیم از استاندارد ASTM استفاده شده است در این استاندارد بارگذاری شامل مراحل زیر می باشد (۵، ۱۲،۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰، ۴۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۲،۵، ۵)

ابتدا نمونه با استفاده از رینگ ادنومتر در وسط قالب تراکم تهیه می شود، سپس نمونه به مدت ۲۴ ساعت برای رسیدن به حالت اشباع در آب قرار میگیرد بعد از گذشت زمان مذکور شروع به بارگذاری در پله ذکر شده، و سپس به صورت معکوس باربرداری انجام میشود، در هر پله بارگذاری مقدار نشست توسط یک گیج با دقت مناسب اندازه گیری می شود و از آنجا نمودار تخلخل در مقابل تنش قائم رسم شده و از روی این نمودار میتوان به پارامترهای مرسوم در تحکیم رسید.

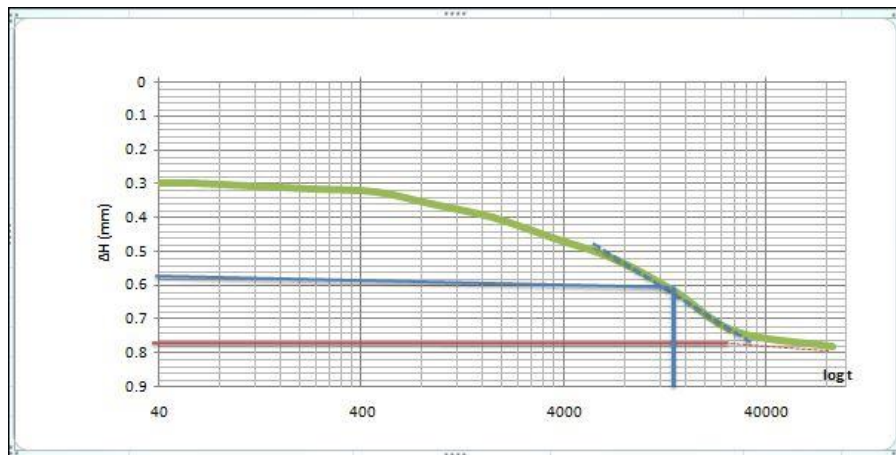
ضمناً آب مصرفی برای این آزمون آب مقطر می باشد.

## ۲-۴- نتایج آزمایش های مرجع

آزمایش های مرجع شامل آزمایش تحکیم بر روی خاک اشباع شده با ۱۰۰٪ آب مقطر می باشد. همانطور که میدانیم پارامتر  $C_v$  نشان دهنده سرعت تحکیم در خاک می باشد.

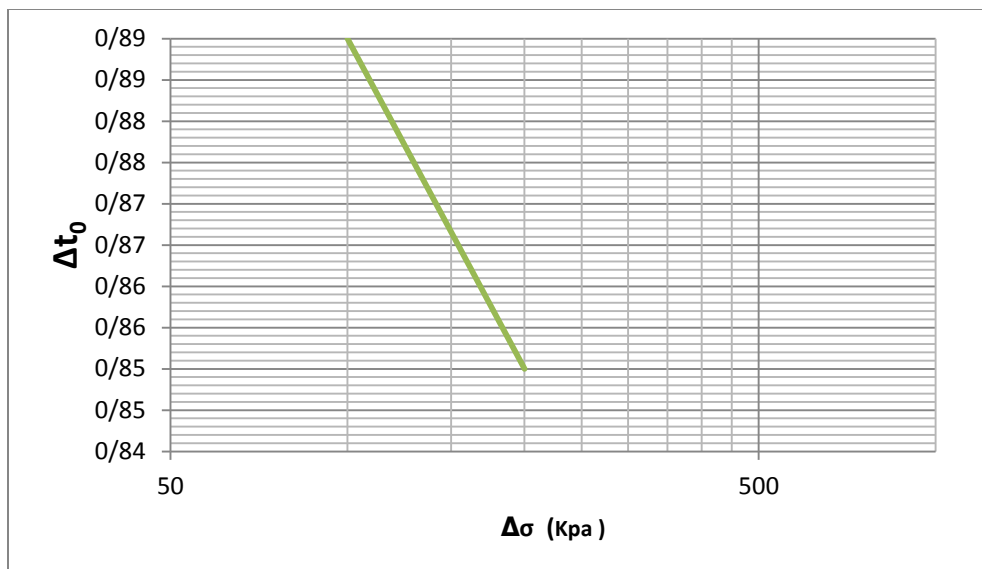
جدول (۱-۴). نتایج آزمایش تحکیم با ۱۰۰٪ آب و ۰٪ شیرابه

$\sigma$ (KPa)	$C_v$ (mm/s)	$M_v$ (1/KPa)	$K$ (mm/s)
100-200	0.01834	0.00042	0.00008

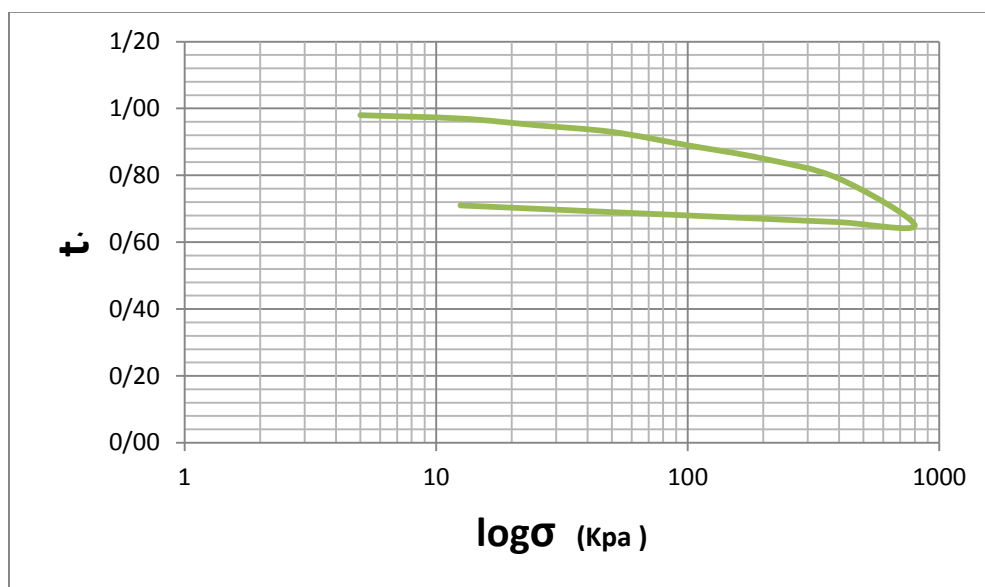


شکل (۱-۴). نتایج آزمایش تحکیم با ۱۰۰٪ آب و ۰٪ شیرابه برای تعیین  $C_v$





شکل (۲-۴). نتایج آزمایش تحکیم با ۱۰۰٪ آب و ۰٪ شیرابه برای تعیین  $m_v$

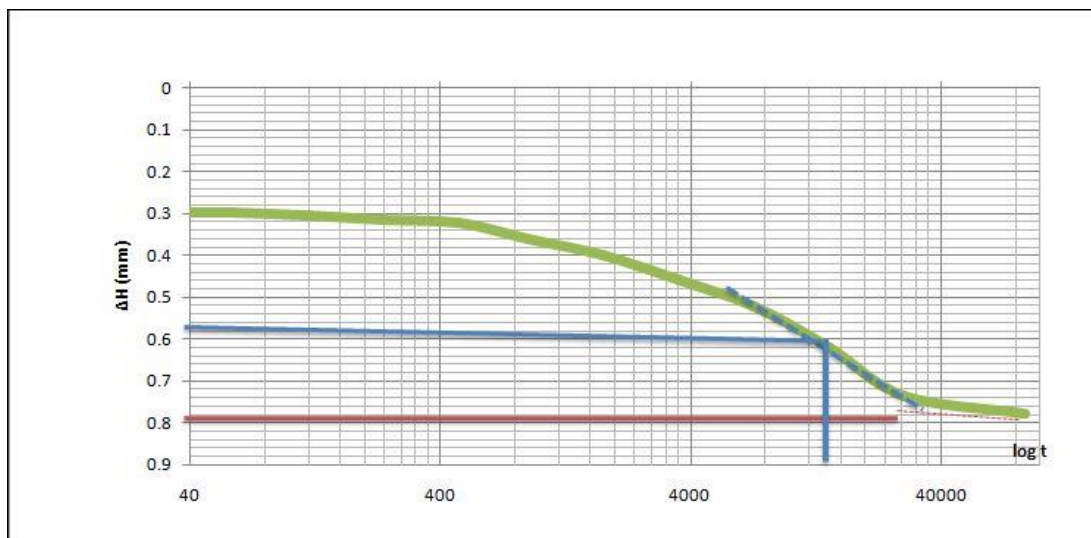


شکل (۳-۴). نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم تنش نتایج آزمایش تحکیم با ۱۰۰٪ آب و ۰٪ شیرابه.

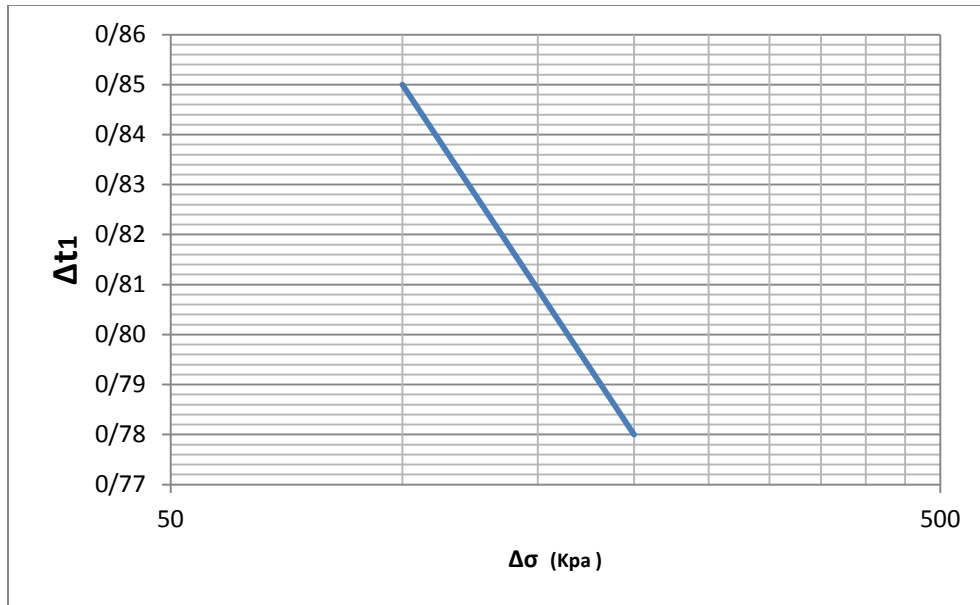
### ۴-۳- افزایش درصد شیرابه

جدول (۴-۲). نتایج آزمایش تحکیم با ۷۰٪ آب و ۳۰٪ شیرابه

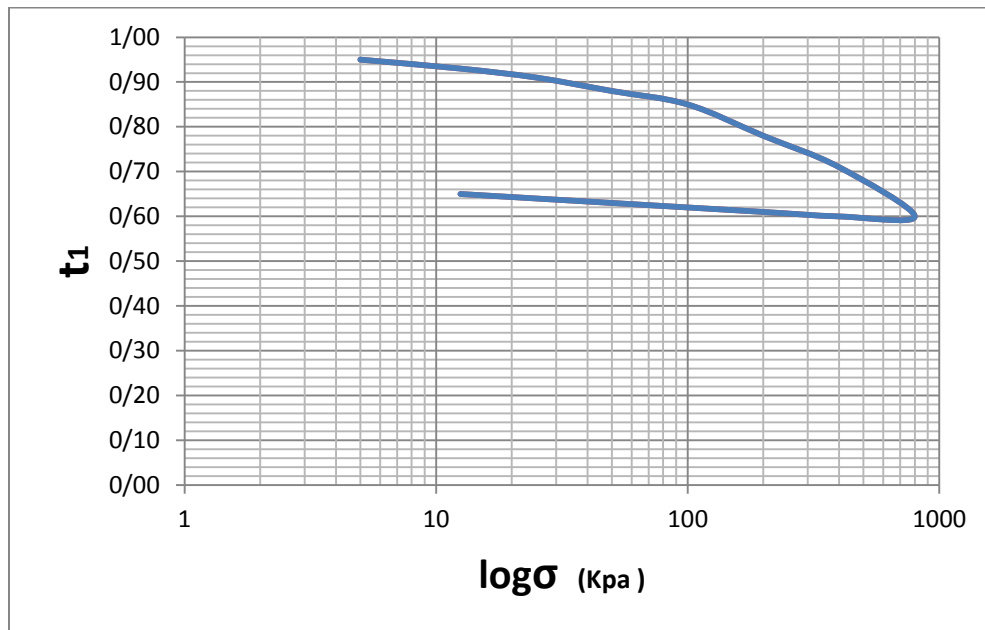
$\sigma$ (KPa)	$C_v$ (mm/s)	$M_v$ (1/KPa)	$K$ (mm/s)
100-200	0.00768	0.00075	0.00006



شکل (۴-۴). نتایج آزمایش تحکیم با ۷۰٪ آب و ۳۰٪ شیرابه برای تعیین  $C_v$



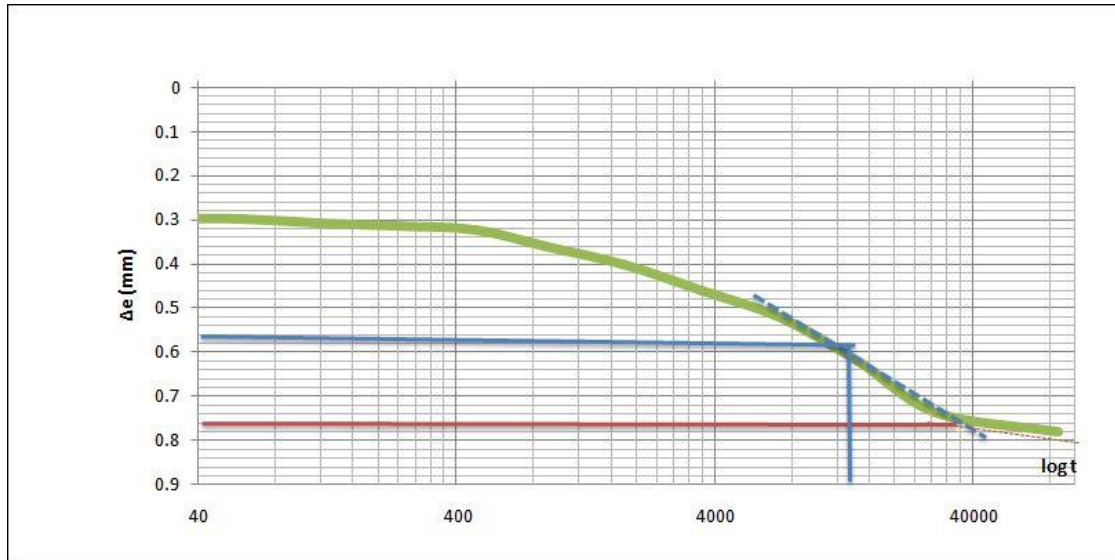
شکل (۴-۵). نتایج آزمایش تحکیم با ۷۰٪ آب و ۳۰٪ شیرابه برای تعیین  $m_v$



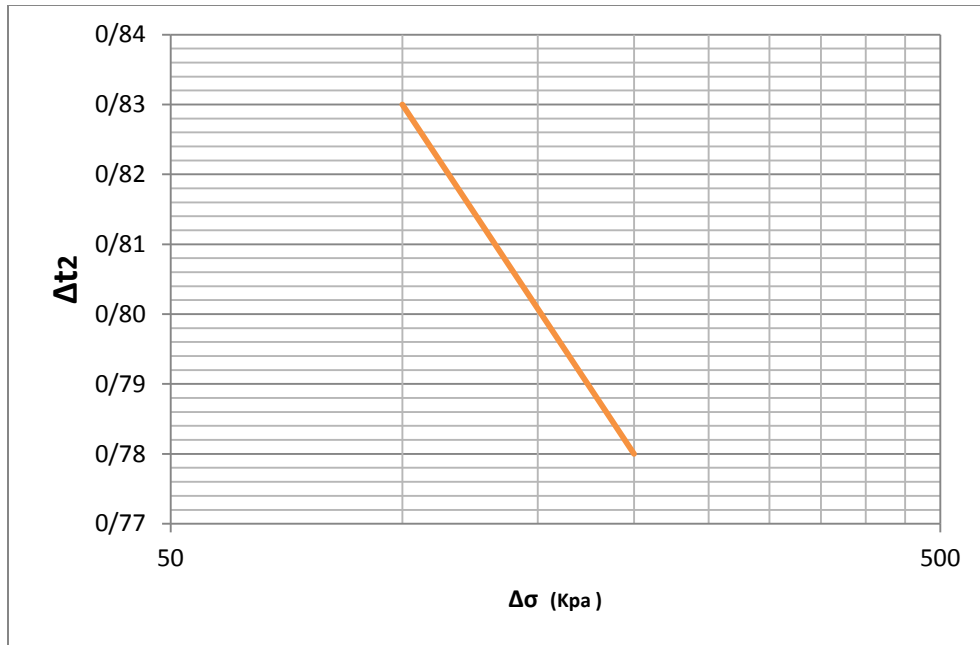
شکل (۴-۶) نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم تنش نتایج آزمایش تحکیم با ۷۰٪ آب و ۳۰٪ شیرابه.

جدول (۳-۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۵۰٪ آب و ۵۰٪ شیرابه

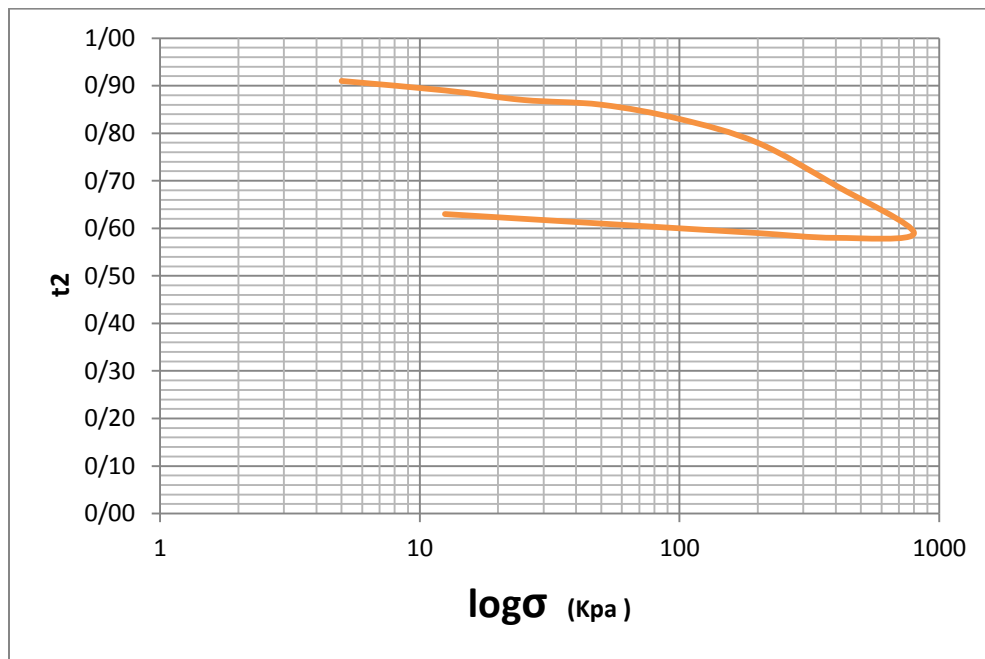
$\sigma$ (KPa)	$C_v$ (mm/s)	$M_v$ (1/KPa)	$K$ (mm/s)
100-200	0.00607	0.00052	0.00003



شکل (۷-۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۵۰٪ آب و ۵۰٪ شیرابه برای تعیین  $C_v$



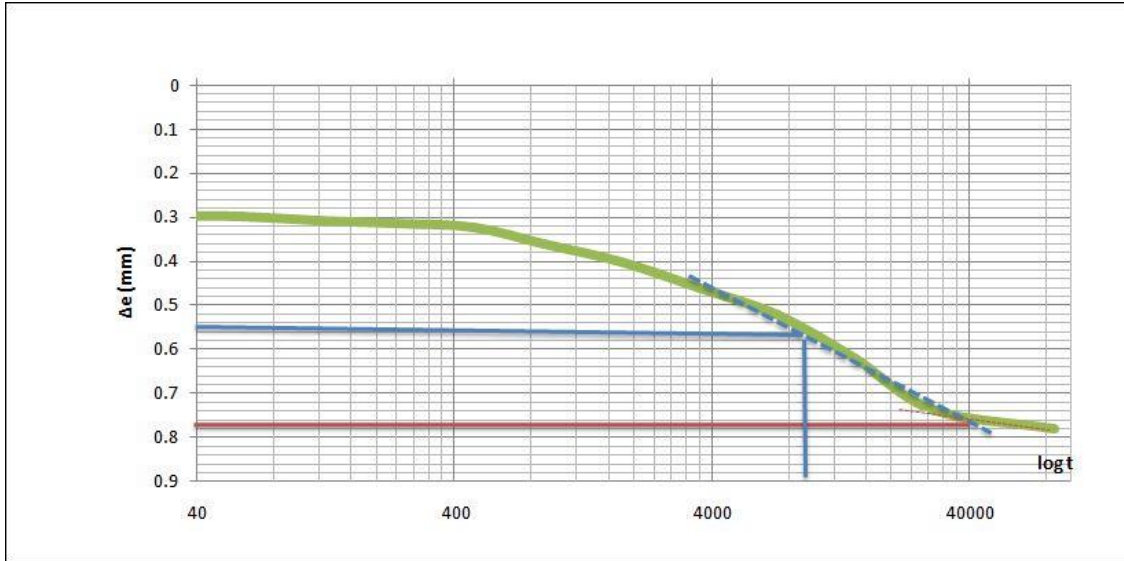
شکل (۸-۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۵۰٪ آب و ۵۰٪ شیرابه برای تعیین  $m_v$



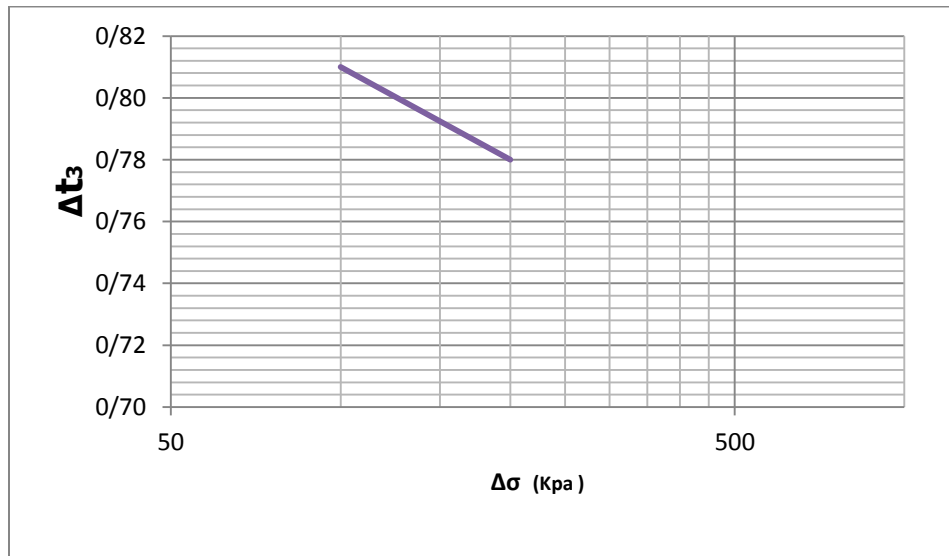
شکل (۹-۴) نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم تنش نتایج آزمایش تحکیم با ۵۰٪ آب و ۵۰٪ شیرابه

جدول (۴-۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۳۰٪ آب و ۷۰٪ شیرابه

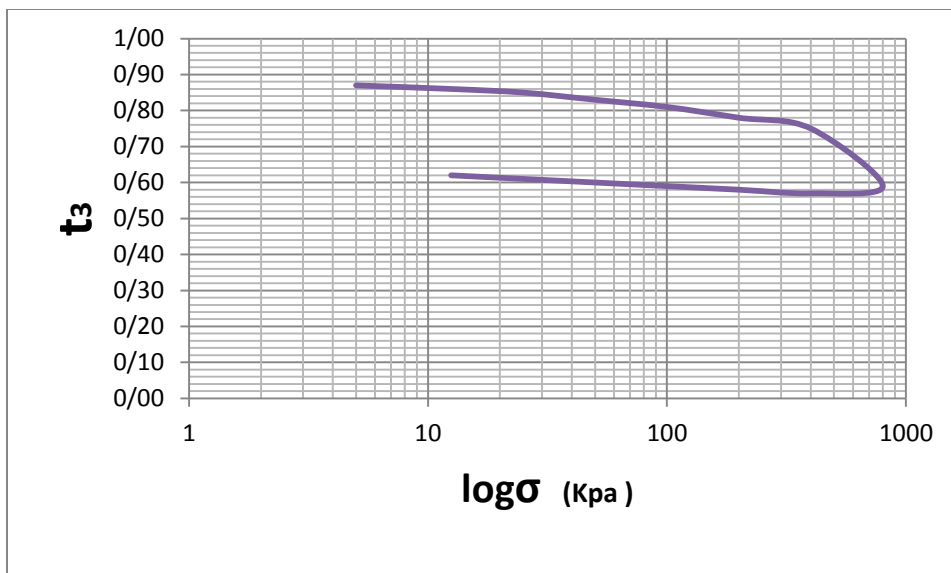
$\sigma$ (KPa)	$C_v$ (mm/s)	$M_v$ (1/KPa)	$K$ (mm/s)
100-200	0.00538	0.00020	0.00001



شکل (۴-۱۰) نتایج آزمایش تحکیم با ۳۰٪ آب و ۷۰٪ شیرابه برای تعیین  $C_v$



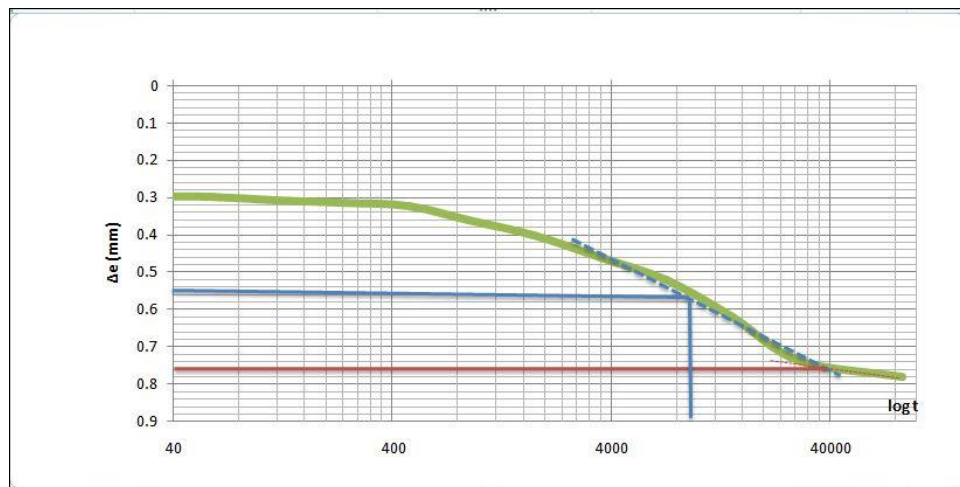
شکل (۴-۱۱) نتایج آزمایش تحکیم با ۳۰٪ آب و ۷۰٪ شیرابه برای تعیین  $m_v$



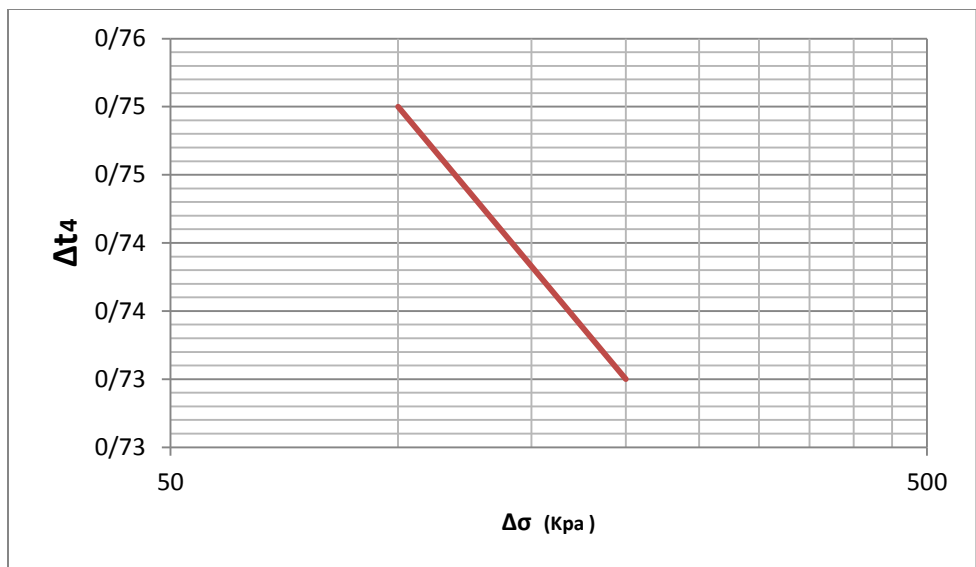
شکل (۴-۱۲) نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم تنش نتایج آزمایش تحکیم با ۳۰٪ آب و ۷۰٪ شیرابه

جدول (۴-۵) نتایج آزمایش تحکیم با ۰٪ آب و ۱۰۰٪ شیرابه

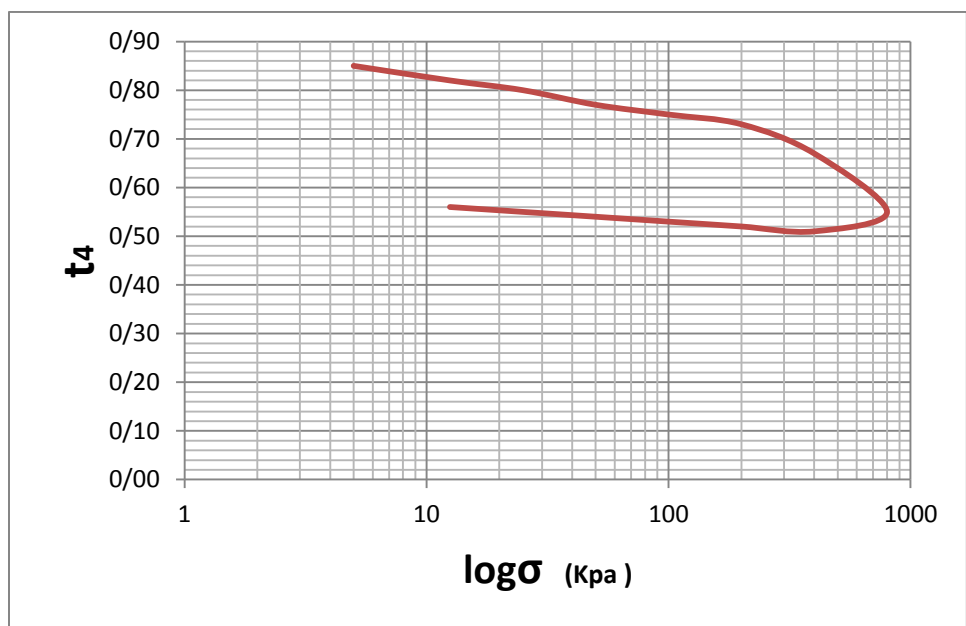
$\sigma$ (KPa)	$C_v$ (mm/s)	$M_v$ (1/KPa)	$K$ (mm/s)
100-200	0.00534	0.00020	0.00001



شکل (۴-۱۳) نتایج آزمایش تحکیم با ۰٪ آب و ۱۰۰٪ شیرابه برای تعیین  $C_v$



شکل (۴-۱۴) نتایج آزمایش تحکیم با ۰٪ آب و ۱۰۰٪ شیرابه برای تعیین  $mv$

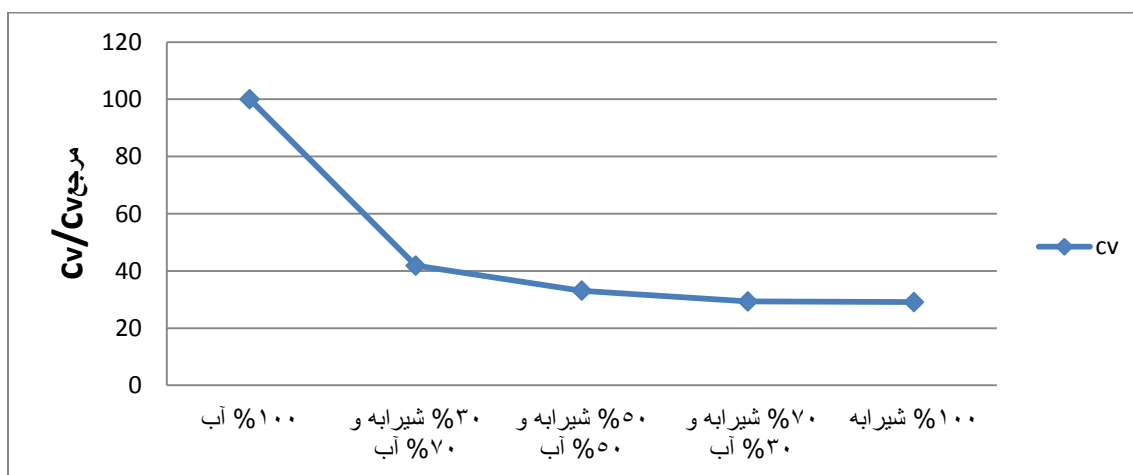


شکل (۴-۱۵) نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم تنش نتایج آزمایش تحکیم با ۰٪ آب و ۱۰۰٪ شیرابه



#### ۴-۳-۱- تغییرات ضریب تحکیم CV

همانطور که میدانیم این پارامتر نشان دهنده سرعت تحکیم در خاک می باشد. با توجه به روند بارگذاری و رسم نمودارها برای تعیین CV به خوبی مشهود است که مقدار CV تحت افزایش شیرابه کاهش پیدا کرده است و این حاکی از تغییر در ساختار خاک از دیدگاه شیمی خاک و تغییرات درونی (فعل و انفعالات شیمیایی خاک) می باشد که میتوان چنین نتیجه گرفت که سرعت تحکیم در خاک با افزایش شیرابه رو به کاهش خواهد بود. در شکل (۴-۱۶) درصد تغییرات ضریب تحکیم برای درصد های مختلف شیرابه نسبت به ضریب تحکیم مرجع قابل مشاهده است.



شکل (۴-۱۶) درصد تغییرات ضریب تحکیم برای درصد های مختلف شیرابه

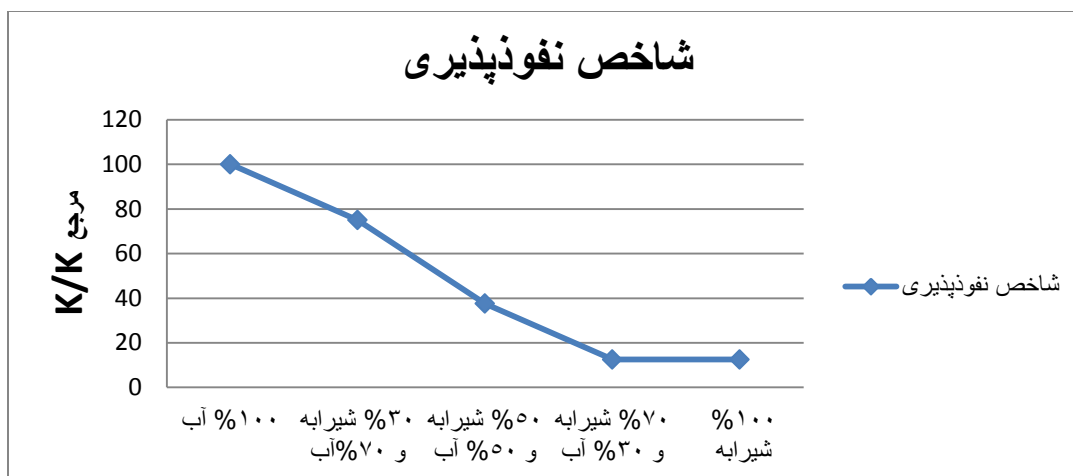
#### ۴-۳-۲- تغییرات پارامتر ضریب تغییر حجمی خاک mv

از آزمایشهای تحکیم انجام شده با درصدهای مختلف شیرابه مشخص گردید پارامتر ضریب تغییر حجمی خاک (mv) نیز با افزایش شیرابه ابتدا روبه افزایش سپس رو به کاهش می باشد با توجه به فرمول mv و نتایج

آزمایش میتوان چنین نتیجه گرفت که هرچه تخلخل اولیه خاک بیشتر باشد مقدار ضریب تغییر حجمی خاک کمتر می باشد و با توجه به مقدار  $t_0$  در شروع آزمایش و کاهش آن در آخرین آزمایش ( ۱۰۰٪ شیرابه) مقادیر ضریب تغییر حجمی تابع مقدار شیرابه موجود در خاک بوده و اثر شیرابه بصورت کاهش ضریب ذکر شده بوده که این امر نشان دهنده تغییر در دیگر پارامترهای وابسته به این مورد می باشد و این تغییرات به علت تغییر ساختمان خاک و ساختار شیمیایی خاک می باشد.

#### ۴-۳-۳- تغییرات پارامتر نفوذ پذیری $k$

این پارامتر وابسته به دو پارامتر ضریب تحکیم  $CV$  و ضریب تغییر حجمی خاک  $mv$  و همچنین وزن مخصوص آب  $\gamma_w$  می باشد از آنجائیکه با تغییر در درصد افزایش یا کاهش شیرابه می تواند بصورت مخلوط یک گامای جدید ایجاد نمود و با عنایت به اینکه در فرمول اندازه گیری  $k$  گامای آب ثابت در نظر گرفته شده است بایستی تحقیق جدیدی بر مبنای گامای سیال مخلوط (شیرابه و آب) به صورت توأم انجام شود و ضریب نفوذ پذیری دقیق از این شرایط اندازه گیری شود در هر حال با توجه به وابستگی نفوذ پذیری به دو پارامتر ذکر شده نتایج حاکی از تغییرات کم شدن ضریب نفوذ پذیری به دلایل ذکر شده در دو پارامتر قبل می باشد. در شکل (۴-۱۷) درصد تغییرات شاخص نفوذ پذیری برای درصد های مختلف شیرابه ارائه گردیده است که نشان دهنده تغییرات در شاخص نفوذ پذیری نسبت به شاخص نفوذ پذیری مرجع میباشد.



شکل (۴-۱۷) درصد تغییرات شاخص نفوذ پذیری برای درصد های مختلف شیرابه

#### ۴-۳-۴- تغییرات پارامترهای شاخص تراکم Cc و شاخص تورم Cs

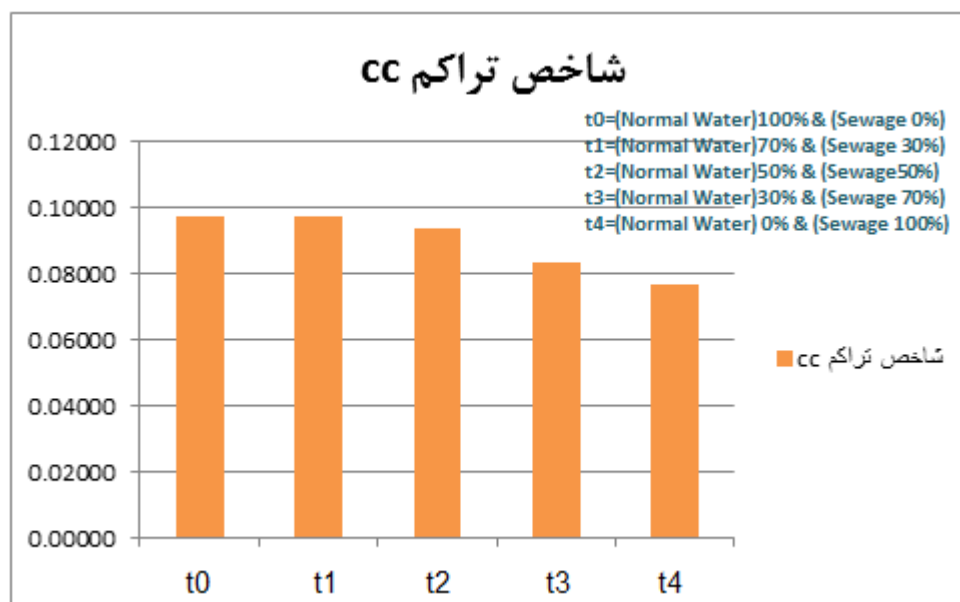
با توجه به آزمایشهای انجام شده و نمودارهای تحکیم (تخلخل در مقابل لگاریتم تنش) چنین میتوان نتیجه گرفت که با افزایش شیرابه به دلیل تغییر در نسبت تخلخل در تنشهای اعمالی مقادیر Cc و Cs نیز کاهش یافته و این امر به دلیل تغییر در شیب منحنی تخلخل در مقابل لگاریتم تنش میباشد و این کاهش شیب به دلیل تغییر در بافت و ساختار کلی خاک تحت اثر شیرابه می باشد. و از آنجا که هرچه شاخص تراکم عدد بزرگتری باشد نشست تحکمی سریعتر اتفاق خواهد افتاد درحالی که در اینجا این پدیده به صورت عکس نمایان می باشد.

جدول (۴-۶) نتایج شاخص تورم و تراکم درصد های مختلف شیرابه

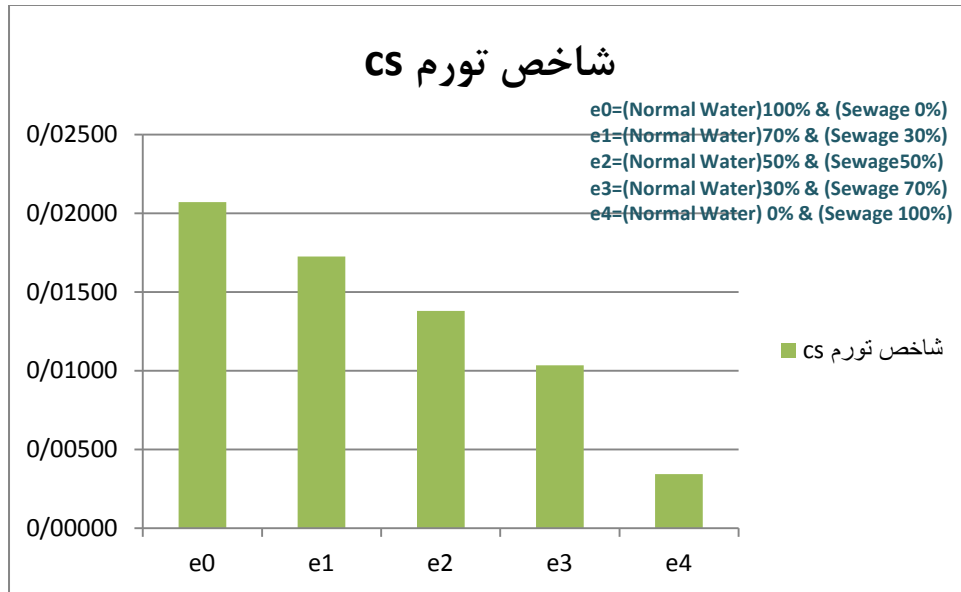
پارامتر	parameter	t0	t1	t2	t3	t4
شاخص تراکم	cc	0.09739	0.09532	0.09391	0.08348	0.07652
شاخص تورم	cs	0.02072	0.01726	0.01381	0.01036	0.00345

جدول (۷-۴) نتایج شاخصهای ضریب تحکیم، شاخص تراکم حجمی و نفوذپذیری برای درصد های مختلف شیرابه

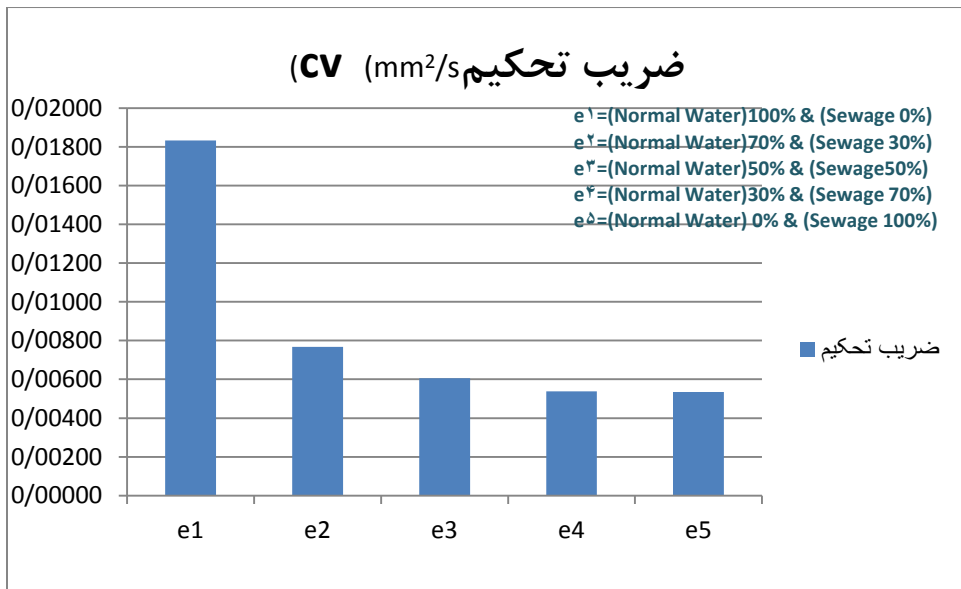
	$\sigma$ (KPa)	$C_v$ (mm/s)	$M_v$ (1/KPa)	$K$ (mm/s)
<b>t<sub>0</sub></b>	100-200	0.01834	0.00042	0.00008
<b>t<sub>1</sub></b>	100-200	0.00768	0.00075	0.00006
<b>t<sub>2</sub></b>	100-200	0.00607	0.00052	0.00003
<b>t<sub>3</sub></b>	100-200	0.00538	0.00020	0.00001
<b>t<sub>4</sub></b>	100-200	0.00530	0.00020	0.00001



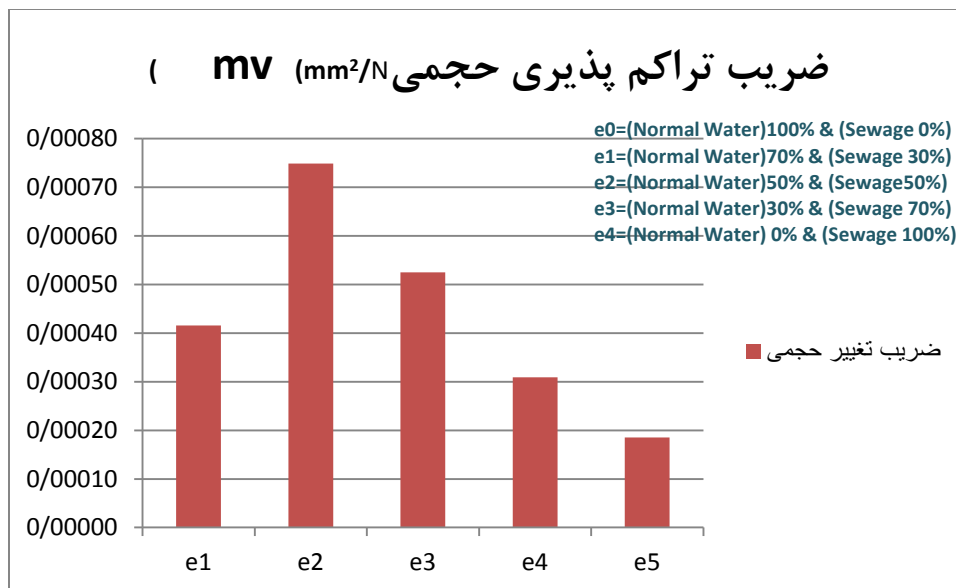
شکل (۴-۱۸) شاخص تراکم برای درصد های مختلف شیرابه



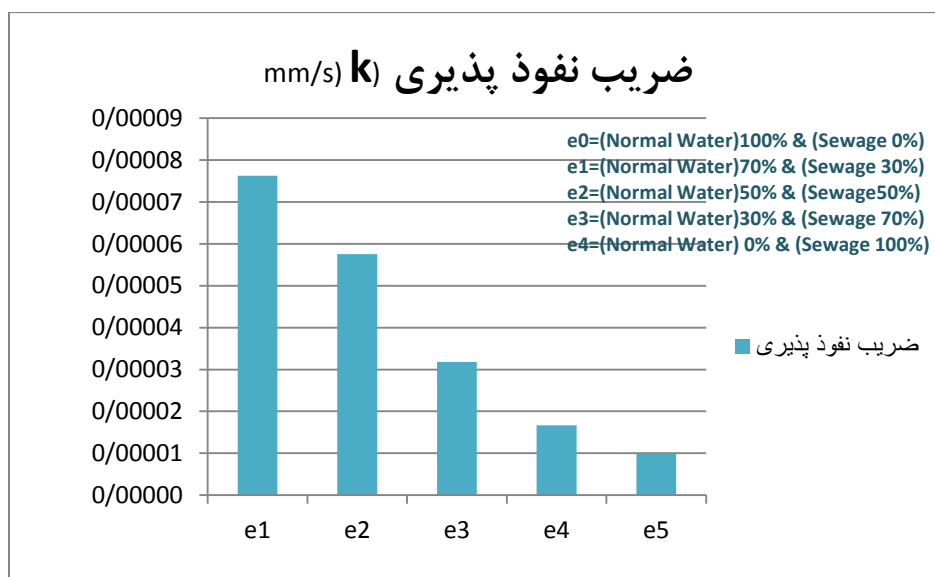
شکل (۴-۱۹) شاخص تورم برای درصد های مختلف شیرابه



شکل (۴-۲۰) شاخص ضریب تحکیم برای درصد های مختلف شیرابه



شکل (۴-۲۱) شاخص ضریب تغییر حجمی برای درصد های مختلف شیرابه



شکل (۴-۲۲) شاخص نفوذ پذیری برای درصد های مختلف شیرابه



## فصل پنجم

### جمع بندی و پیشنهادات



## ۵-۱- جمع‌بندی نتایج

- با افزایش شیرابه مقدار  $cr$  به اندازه حدود ۴۰٪ درصد کاهش پیدا می کند که موارد ذکر شده باعث کم شدن ظرفیت باربری خاک می شود.
- با افزایش شیرابه مقدار  $Cc$  به اندازه حدود ۷۸٪ درصد کاهش پیدا می کند که موارد ذکر شده باعث کم شدن ظرفیت باربری خاک می شود.
- با افزایش شیرابه مقدار  $Cv$  به اندازه حدود ۲۹٪ درصد کاهش پیدا می کند که موارد ذکر شده باعث کم شدن ظرفیت باربری خاک می شود.
- با افزایش شیرابه مقدار  $K$  به اندازه حدود ۱۴٪ درصد کاهش پیدا می کند باعث کاهش نفوذپذیری ( $k$ ) در تنشهای حداکثر اعمالی می شود که این مورد نیز باعث ایجاد یک لایه نفوذ ناپذیر خاک می شود.
- چنانچه خاک محل دفن به ۱۰۰٪ شیرابه آلوده گردد بیشترین کاهش پارامترهای تحکیم و نفوذپذیری خاک و نهایتاً افزایش زمان تحکیم پذیری را داریم.
- تحلیل نتایج بدست آمده از سایر آزمایشها با توجه به ارتباط وهمبستگی آنها و ارزیابی آن با پارامترهای تحکیم با استفاده از روابط ارائه شده مکانیک خاک و روابط تجربی:
- با توجه به نشانه روانی خاک ( $IL$ )، خاک محل در آستانه خمیری می باشد و با توجه به نشانه استحکام ( $IC$ ) قوام و سفتی چندانی ندارد. که موارد فوق نیز تاثیر گذاری شیرابه بر خاک مورد نظر و نهایتاً بر پارامترهای تحکیم و نفوذپذیری را بایستی در نظر داشت.
- از تست  $XRF$  خاک و آنالیز عناصر موجود در خاک که بیشترین مقدار آن عناصر سیلیس حدود ۳۶ درصد و آهن ۱۷ درصد و اکسید آلومینیوم حدود ۱۰ درصد بوده است ، تاثیر بسزایی در تغییر ظرفیت کاتیونی خاک داشته است و نهایتاً باعث تغییر در رفتار تحکیمی خاک و کاهش آن گردیده است.
- همچنین اثرات شیمیایی  $PH$  خاک و شیرابه نیز تاثیر بسزایی در تبادل کاتیونی خاک داشته است که باعث کاهش پارامترهای تحکیمی و نفوذپذیری شده است.

## ۵-۲- پیشنهادها

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش تحکیم و کاهش پارامترهای این آزمایش (CV و CC) که علت اصلی آن نفوذ شیرابه در خاک محل دفن و تغییرات اساسی در ساختمان خاک و عوامل شرح داده شده گردید پیشنهاد می شود برای ارزیابی بهتر این تحقیق اثر درصدی مختلف شیرابه با آزمایشهای زیر نیز انجام شود تا بتوان تحقیق کاملی ارائه شود و از هر پارامتر بدست آمده از آزمایشهای عنوان شده وسعت نظر بیشتری برای طراحی محل دفن (لندفیل)<sup>۱۵</sup> بدست آید.:

- اثر بارگذاری و باربرداری مجدد نیز در آزمون تحکیم بر خاک محل دفن انجام شود تا یکی بودن پارامترهای CI و CS مشخص گردد.

- اثر شیرابه را با آزمایش حدود اتر برگ نیز انجام شود تا بتوانیم نظر جامع تری راجع به پارامترهای نشانه خمیری، نشانه روانی و نشانه استحکام نیز داشته باشیم.

- تست تراکم انجام شود تا بتوانیم تغییرات ساختمان خاک را بررسی کنیم.

- انجام آزمایشهای سه محوری ، فشاری محدود نشده و برش مستقیم نیز میتواند اطلاعات جامعی از پارامترهای مقاومت برشی و مدول الاستیسیته خاک نیز به همراه داشته باشد که برای طراحی لندفیل بسیار مهم است.

- تست پتانسیل رمبدگی خاک هم میتواند مفید واقع شود و اگر خاک دارای این پتانسیل باشد بایستی به روشهای مرسوم اصلاح گردد.

- آزمایش بارگذاری صفحه نیز پیشنهاد می گردد که میتواند فاکتور بسیار مهمی در طراحی پی محل احداث لندفیل باشد.

- برای جلوگیری از اثرات شیرابه بر محیط زیست لزوما بایستی از نفوذ شیرابه بر خاک محل دفن (لند فیل) با

---

<sup>۱۵</sup> Landfills

استفاده از استانداردهای طراحی و روشهای اجرای مناسب جلوگیری بعمل آید تا کمترین مخاطرات زیست محیطی ناشی از نفوذ بر خاک و رسیدن این مواد سمی و خطرناک بر سفره های آب زیر زمینی فراهم آید.

## فهرست منابع

[1] Zhao, D., Experimental study of stress-strain and shear strength behavior of contaminated cohesive soils, 1996.

[۲] معاونیان، م، ح، یثربی، ش، تأثیر مایعات آلی بر خلوصیات تحکیم یک بعدی خاکهای رسی متراکم. هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، ۱۳۸۷.

[3] Estabragh, A., et al., Consolidation behavior of two fine-grained soils contaminated by glycerol and ethanol. *Engineering Geology*, 2014. 178: p. 102-108.

[4] Braja M. Das., *Principles of Geotechnical Engineering*, 1994.

[5] Lambe T. W. ., *The Structure of Compacted Clay*. *J. of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 1958. Vol. 84, 1-35.

[6] رحیمی، افسون، متین، مهران، تکنولوژی سرامیک های ظریف چاپ اول ۱۳۶۹. شرک سهامی انتشار.

[7] Kaya A, Fang HY. Experimental evidence of reduction in attractive and repulsive forces between clay particles permeated with organic liquids. *Canadian geotechnical journal*. 2005 Apr 1;42(2):632-40.

[8] Wang, Y.-H., and Siu, W.-K. Structure characteristics and mechanical properties of Kaolinite soils. I. Surface charges and structural characterization. *Canadian Geotechnical Journal*, 2006. 43, 587-600.

[9] Paykov, O., *Influence of organic pore fluid on geotechnical properties of soil*, 2012. California State University, Fullerton.

[10] خطیبی، م، استبرق، ع، ر، همکاران بررسی آزمایشگاهی خواص مکانیکی خاک سیمان تهیه شده از خاک رسی آلوده به مواد هیدروکربنی. تحقیقات آب و خاک ایران، بهار ۱۳۹۴، دوره ۴۶، شماره ۱. (ص ۱۴۱-۱۴۹).

[11] Meegoda NJ, Rajapakse RA. Short-term and long-term permeabilities of contaminated clays. *Journal of Environmental Engineering*. 1993 Jul;119(4):725-43.

[12] Moavenian, M.H. and S.S. Yasrobi, Volume change behavior of compacted clay due to organic liquids as permeant. *Applied clay science*, 2008. 39(1): p. 60-71.

[13] Olgun, M. and M. Yıldız, Effect of organic fluids on the geotechnical behavior of a highly plastic clayey soil. *Applied Clay Science*, 2010. 48(4): p. 615-621.

[14] Di Matteo, L., F. Bigotti, and R. Ricco, Compressibility of kaolinitic clay contaminated by ethanol-gasoline blends. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2010. 137(9): p. 846-849.

[۱۵] حمیدی، ا، جداری، س بررسی خصوصیات تحکیمی خاکهای رسی آلوده به سیال آلی. *مجله مهندسی عمران شریف*، ۱۳۹۰، دوره ۲-۲۹، شماره ۲، صفحه ۲۹-۳۵.

[۱۶] اوحدی، و. ر، فخیم جو، م. س، تأثیر تغییر ساختار ناشی از ثابت دی الکتریک آلاینده های آلی بر نشست پذیری و نفوذپذیری بنتونیت تحکیم عادی یافته. *دومین کنفرانس ملی سازه - زلزله - ژئوتکنیک* ۱۳۹۱.

[۱۷] بت الله پور، ا، استبرق، ع.، ا بررسی اثر آلاینده های آلی بر روی خصوصیات تحکیمی خاکهای ریزدانه. *گروه مهندسی آب* ۱۳۹۳، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه تهران.

[18] Olgun, M. and M. Yildiz, The Effects of Pore Fluids with Different Dielectric Constants on the Geotechnical Behaviour of Kaolinite. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2012. 37(7): p. 1833-1848.

[19] Spagnoli, G., H. Stanjek, and A. Sridharan, Influence of ethanol/water mixture on the undrained shear strength of pure clays. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2012. 71(2): p. 389-398.

[20] Anandarajah, A. and D. Zhao, Triaxial behavior of kaolinite in different pore fluids. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 2000. 126(2): p. 148-156.

[21] Ratnaweera, P. and J.N. Meegoda, Shear strength and stress-strain behavior of contaminated soils. 2005.

[22] Olgun, M. and M. Yildiz, Influence of acetic acid on structural change and shear strength of clays. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering*, 2012. 36(C1): p. 25.

[23] Chen, J., A. Anandarajah, and H. Inyang, Pore fluid properties and compressibility of kaolinite. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 2000. 126(9): p. 798-807.

- [24] Gratchev, I. and I. Towhata, Compressibility of natural soils subjected to long-term acidic contamination. *Environmental Earth Sciences*, 2011. 64(1): p. 193-200.
- [25] Arasan, S., Effect of chemicals on geotechnical properties of clay liners: a review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2010. 2(8): p. 765-775.
- [26] Akinwumi, I., D. Diwa, and N. Obianigwe, Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay. *International Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 2014. 3(4): p. 816-824.
- [27] Estabragh, A., et al., Mechanical behavior of a clay soil contaminated with glycerol and ethanol. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2016. 20(5): p. 503-519.
- [28] Khomehchiyan, M., A.H. Charkhabi, and M. Tajik, Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*, 2007. 89(3): p. 220-229.
- [29] Thiyyakkandi, S. and S. Annex, Effect of organic content on geotechnical properties of Kuttanad clay. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2011. 16: p. 1653-1663.
- [30] Casey, B.B.A. The consolidation and strength behavior of mechanically compressed finegrained sediments. 2014, Massachusetts Institute of Technology.
- [31] Puri, V.K., Geotechnical aspects of oil-contaminated sands. *Soil and Sediment Contamination*, 2000. 9(4): p. 359-374.
- [32] Wang, Y.-H. and W.-K. Siu, Structure characteristics and mechanical properties of kaolinite soils. I. Surface charges and structural characterizations. *Canadian Geotechnical Journal*, 2006. 43(6): p. 587-600.
- [33] Ratnaweera, P., The influence of pore fluids on shear strength and stress-strain behavior of granular soils. *New Jersey Institute of Technology*, 1993. Department of Civil and Environmental Engineering.
- [34] ASTM 2011. Standard test methods for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading. D2435. West Conshohocken, PA.
- [35] Budhu, M., 2000. *Soil Mechanics and Foundations*, John Wiley & Sons, New York.

[36] Singh, S., R. Srivastava, and S. John, Settlement characteristics of clayey soils contaminated with petroleum hydrocarbons. *Soil & sediment contamination*, 2008. 17(3): p. 290-300.

[۳۷] ذوالفقاری س، (۱۳۹۵)، کارشناسی ارشد، تاثیر ناشی از الودگی سیالات الی بر رفتار تحکیمی خاکهای رسی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

[38] Chen, J., A. Anandarajah, and H. Inyang, Pore fluid properties and compressibility of kaolinite. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 2000. 126(9): p. 798-807.

[39] Acar, Y.B., et al., The effect of organic fluids on hydraulic conductivity of compacted kaolinite, in *Hydraulic barriers in soil and rock*. 1985, ASTM International.

**Abstract:**

according to the social life and the rapid increase of population in human societies , the amount of urban waste production has increased dramatically . One way to dispose of this garbage from the environment around human life is to bury them . the landfill practices have caused many problems in the environment , and on the other hand , atmospheric precipitation is caused by atmospheric pollutants that have negative impacts on the mechanical behavior of soils due to the soil permeability or open spaces . according to this study , based on the fundamental changes of sewage on clay and the final resistance of the desired soil , it must be evaluated and investigated , so that , according to this study , the effect of sewage on the soil and the final soil properties of the urban solid waste is studied , and the results of this study were evaluated and presented in the diagram . in this study , using standard methods of different test (and by percentages of 0 % , 30 % , 70 % , 70 % and 100 % sewage) were determined that strengthening and permeability decreases significantly , reducing the mechanical resistance of the soil .

**Keywords: Urban Waste - Sewage - Clay Soil - Soil Pollution - consolidation parameters**





**Shahrood University of Technology**  
**Faculty Kharazmis Pardis**  
**Civil Engineering Group**

**Effect of the leachate of Shahrood MSW materials on the  
consolidation parameters of soil of Science in shahrood  
university**

**By:**  
**Morteza Ajam**

**Supervisor:**  
**Dr. Mohsen Keramati**

**august 2019**