

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

مهندسی عمران گرایش خاک و پی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی رفتار برشی خاک در برابر شوینده های آنزیم دار

نگارنده: احسان معینی

استاد راهنما

دکتر امیر بذرافشان مقدم

بهمن ۹۶

شماره: ۹۶۴۲۲
تاریخ: ۹۲/۱۶/۱۵

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای: احسان معینی
با شماره دانشجویی: ۹۴۱۶۸۰۴ رشته: عمران گرایش: ژئوتکنیک
تحت عنوان بررسی رفتار برشی خاک در برابر شوینده های آتزیم دار
که در تاریخ ۹۶/۱۱/۱۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل
اعلام می گردد:

قبول (با درجه: ... ۳۰۰۰) مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر امیر بشارفشان مقدم	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی گلی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر رضا نادری	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر محسن کرامتی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر احمد احمدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

دانشکده مهندسی عمران

تصوه: در صورتی که کسی مردود شود آموزش تحصیلات تکمیلی (موسسه عالی پژوهش) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان

تقدیم می نمایم به

پدر و مادر گرامی ام که همواره در کنارم بوده اند.

تشکر و قدردانی

از اساتید محترم گروه مکانیک خاک بویژه جناب آقای دکتر امیر بذرافشان که در این مسیر حامی و راهنمای بنده بودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تعهدنامه

اینجانب احسان معینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه " بررسی رفتار برشی خاک در برابر شوینده های آنزیم دار " تحت راهنمایی آقای دکتر امیر بذر افشان مقدم 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 .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها 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

کیفیت زندگی بر روی زمین رابطه ی نزدیکی با کیفیت محیط زیست دارد. خاک یکی از منابع مهم و ارزشمند طبیعت است. همواره خاک ها در برابر آلاینده های متعددی قرار داشته اند، از جمله این آلودگی ها می توان نفت، گازوئیل و ... را نام برد. امروزه با افزایش جمعیت جهان یکی دیگر از این آلاینده ها پساب حاصل از استفاده ی مواد شوینده می باشد که از طریق چاه ها و نشت لوله های دفع فاضلاب به طور گسترده ای وارد محیط زیست می شوند و می توانند بر آن تاثیرات منفی زیادی تحمیل کند. این آلاینده ها می توانند علاوه بر تخریب محیط زیست، بر روی خواص ژئوتکنیکی خاک نیز تاثیر گذار باشند و منجر به کاهش ظرفیت باربری و مقاومت خاک شوند. از این رو بررسی رفتار مقاومتی خاک در برابر این آلاینده ها امری ضروری محسوب می گردد. در این تحقیق میزان تاثیر گذاری این شوینده ها بر مقاومت برشی خاک مورد بررسی قرار گرفته است. خاک مورد استفاده در این تحقیق خاک رسی با خاصیت خمیری کم بوده و آزمایشات برش مستقیم و مقاومت فشاری محصور نشده بر روی آن انجام گرفته است. این آزمایشات بر روی نمونه های بدون افزودنی و نمونه های دارای ۲، ۳ و ۴ درصد شوینده انجام پذیرفت و مقاومت برشی آن ها با مقاومت برشی نمونه های بدون افزودنی طی دوره های یک روزه، یک هفته، دو هفته و چهار هفته مورد مقایسه قرار گرفت. در آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده که بر روی نمونه های یک روزه انجام گرفت مقاومت فشاری و چسبندگی زهکشی نشده با افزایش درصد شوینده آنزیم دار با کاهش مواجه شدند. نتایج آزمایش برش مستقیم نیز بیانگر کاهش مقاومت و تغییر در پارامترهای مقاومت برشی خاک مورد آزمایش بودند و با افزایش درصد شوینده بر میزان کاهش چسبندگی خاک نسبت به نمونه های بدون افزودنی افزوده شد. این تغییرات با گذر زمان افزایش یافتند به صورتی که میزان کاهش چسبندگی برای نمونه ی دارای ۴٪ افزودنی نسبت به نمونه ی بدون افزودنی در روز اول ۱۴٪ بوده که در هفته ی چهارم این عدد به ۵۴٪ رسیده است.

کلمات کلیدی: مقاومت برشی، خاک، شوینده آنزیم دار، آلاینده

فهرست مطالب

۱- فصل اول:	۱
مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- ضرورت و لزوم انجام تحقیق	۳
۱-۳- ساختار پایان نامه	۳
فصل دوم:	۵
آلاینده های خاک	۵
۱-۲- مقدمه	۶
۲-۲- تعریف خاک:	۶
۳-۲- ساختار خاک	۷
۲-۳-۱- ساختار خاک های غیر چسبنده	۷
۲-۳-۲- ساختار خاک های چسبنده	۸
۲-۴- آلودگی خاک	۸
۲-۵- منابع آلوده کننده خاک	۹
۲-۶- انواع آلاینده های خاک و بررسی تعدادی از آن ها	۱۰
۲-۶-۱- آلاینده های صنعتی	۱۰
۲-۶-۲- آلاینده های نفتی	۱۰
۲-۶-۳- آلاینده های شهری (موادزائدو زباله)	۱۱
۲-۶-۴- آلاینده های کشاورزی	۱۲
۲-۷- شوینده ها و تاریخچه ی کاربرد آن ها	۱۳

- ۱۴-۲-۸- ترکیب شوینده ها..... ۱۴
- ۱۴-۲-۸-۱- فعال کننده های سطحی..... ۱۴
- ۱۵-۲-۸-۱-۱- دترجنت های آنیونی..... ۱۵
- ۱۵-۲-۸-۱-۲- دترجنت های کاتیونی..... ۱۵
- ۱۵-۲-۸-۱-۳- دترجنت های خنثی..... ۱۵
- ۱۶-۲-۸-۲- سازنده ها..... ۱۶
- ۱۶-۲-۸-۳- افزودنی ها..... ۱۶
- ۱۶-۲-۹- تعریف آنزیم ها..... ۱۶
- ۱۷-۲-۱۰- ساخت آنزیم های پاک کننده..... ۱۷
- ۱۷-۲-۱۱- آنزیم های مورد استفاده در محصولات شوینده..... ۱۷
- ۱۸-۲-۱۲- اثرات زیست محیطی شوینده ها..... ۱۸
- ۱۹-۲-۱۳- تاریخچه ی تحقیق..... ۱۹
- ۲۲-۲-۱۴- مقاومت برشی خاک..... ۲۲
- ۲۲-۲-۱۵- معیار گسیختگی موهر - کولمب..... ۲۲
- ۲۴-۲-۱۶- عوامل موثر بر مقاومت برشی خاک های دانه ای..... ۲۴
- ۲۵-۳- فصل سوم:..... ۲۵
- ۲۵-آزمایش های انجام شده بر روی خاک مورد آزمایش..... ۲۵
- ۲۶-۳-۱- آزمایش دانه بندی با الک..... ۲۶
- ۲۶-۳-۲- آزمایش هیدرومتری..... ۲۶
- ۲۸-۳-۳- تعیین حدود اتربرگ..... ۲۸
- ۲۸-۳-۱- تعیین حد خمیری..... ۲۸

۲۸	.....۳-۳-۲- تعیین حد روانی
۲۹	.....۳-۳-۳- دامنه ی خمیری
۲۹	.....۳-۴- نامگذاری خاک
۲۹	.....۳-۵- تعیین وزن مخصوص ویژه ی خاک
۲۹	.....۳-۶- آزمایش تراکم استاندارد
۳۰	.....۳-۷- آزمایش برش مستقیم
۳۱	.....۳-۷-۱- تئوری آزمایش
۳۱	.....۳-۷-۲- نحوه ی تهیه ی نمونه
۳۳	.....۳-۷-۳- روند انجام آزمایش
۳۴	.....۳-۷-۴- نتایج آزمایشات انجام شده
۵۹	.....۳-۸- آزمایش فشاری ساده (تک محوری، محصور نشده)
۶۳	.....۴- فصل چهارم:
۶۳	.....تحلیل نتایج آزمایش برش مستقیم
۶۴	.....۴-۱- تحلیل نتایج
۷۵	.....۵- فصل پنجم:
۷۵	.....نتیجه گیری نهایی تحقیق
۷۶	.....۵-۱- نتیجه کلی تحقیق
۷۸	.....مراجع

فهرست شکل ها

- شکل (۱-۲) - معیار گسیختگی موهر-کولمب (Braja M. Das)..... ۲۳
- شکل (۱-۳) - نمودار توزیع دانه بندی با آزمایش الک..... ۲۶
- شکل (۲-۳) - نمودار منحنی دانه بندی برای تست هیدرومتری..... ۲۷
- شکل (۳-۳) - نمودار تعیین حد روانی..... ۲۸
- شکل (۴-۳) - نمودار منحنی تراکم استاندارد..... ۳۰
- شکل (۵-۳) - خارج کردن خاک متراکم شده از قالب تراکم استاندارد بوسیله ی جک هیدرولیکی..... ۳۲
- شکل (۶-۳) - نمونه ی قالب گیری شده توسط نمونه گیر دستگاه برش مستقیم..... ۳۲
- شکل (۷-۳) - خارج کردن نمونه ی نهایی از نمونه گیر دستگاه برش مستقیم..... ۳۳
- شکل (۸-۳) - نمودار پوش گسیختگی نمونه یک روزه بدون افزودنی با سرعت $0.36 / (mmmin)$ ۳۵
- شکل (۹-۳) - نمودار پوش گسیختگی نمونه یک روزه بدون افزودنی..... ۳۶
- شکل (۱۰-۳) - نمودار پوش گسیختگی یک هفته بدون افزودنی..... ۳۸
- شکل (۱۱-۳) - نمودار پوش گسیختگی دو هفته بدون افزودنی..... ۳۹
- شکل (۱۲-۳) - نمودار پوش گسیختگی چهار هفته بدون افزودنی..... ۴۱
- شکل (۱۳-۳) - نمودار پوش گسیختگی یک روزه با ۲٪ شوینده آنزیم دار..... ۴۳
- شکل (۱۴-۳) - نمودار پوش گسیختگی یک هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار..... ۴۴
- شکل (۱۵-۳) - نمودار پوش گسیختگی دو هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار..... ۴۶
- شکل (۱۶-۳) - نمودار پوش گسیختگی چهار هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار..... ۴۷
- شکل (۱۴-۳) - نمودار پوش گسیختگی نمونه ی یک روزه با ۳٪ شوینده آنزیم دار..... ۴۹

- شکل (۱۵-۳) - نمودار پوش گسیختگی نمونه ی یک هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۰
- شکل (۱۶-۳) - نمودار پوش گسیختگی نمونه ی دو هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۲
- شکل (۲۰-۳) - نمودار پوش گسیختگی نمونه ی چهار هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۳
- شکل (۲۱-۳) - نمودار پوش گسیختگی یک روزه با ۴٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۵
- شکل (۲۲-۳) - نمودار پوش گسیختگی یک هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۶
- شکل (۲۳-۳) - نمودار پوش گسیختگی دو هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۸
- شکل (۲۴-۳) - نمودار پوش گسیختگی چهار هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۹
- شکل (۲۵-۳) - منحنی تنش - کرنش نمونه بدون افزودنی..... ۶۰
- شکل (۲۶-۳) - منحنی تنش - کرنش نمونه دارای ۲٪ شوینده آنزیم دار..... ۶۰
- شکل (۲۷-۳) - منحنی تنش - کرنش نمونه دارای ۳٪ شوینده آنزیم دار..... ۶۱
- شکل (۲۸-۳) - منحنی تنش - کرنش نمونه دارای ۴٪ شوینده آنزیم دار..... ۶۱
- شکل (۱-۴) - نمودار مقایسه پوش های گسیختگی نمونه های یک روزه..... ۶۴
- شکل (۲-۴) - تغییرات چسبندگی برای نمونه یک روزه..... ۶۵
- شکل (۳-۴) - روند تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در نمونه های یک روزه..... ۶۵
- شکل (۴-۴) - نمودار مقایسه پوش های گسیختگی یک هفته..... ۶۷
- شکل (۵-۴) - روند تغییرات چسبندگی در نمونه های یک هفته..... ۶۷
- شکل (۶-۴) - روند تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در نمونه های یک هفته..... ۶۸
- شکل (۷-۴) - نمودار مقایسه پوش های گسیختگی نمونه های دو هفته..... ۶۹
- شکل (۸-۴) - روند تغییرات چسبندگی در نمونه های دو هفته..... ۷۰

شکل (۹-۴) - روند تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در نمونه دوهفته..... ۷۰

شکل (۱۰-۴) - نمودار مقایسه پوش های گسیختگی نمونه های چهار هفته..... ۷۲

شکل (۱۱-۴) - روند تغییرات چسبندگی در نمونه های چهار هفته..... ۷۲

شکل (۱۲-۴) - روند تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در نمونه چهار هفته..... ۷۳

فهرست جداول

- جدول (۱-۳) - جدول مشخصات خاک مورد آزمایش..... ۳۰
- جدول (۲-۳) - جدول تست یک روزه نمونه بدون افزودنی با سرعت ۰/۰۳۶..... ۳۴
- جدول (۳-۳) - جدول تست برش مستقیم یک روزه بدون افزودنی..... ۳۵
- جدول (۴-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک روزه بدون افزودنی..... ۳۶
- جدول (۵-۳) - جدول تست برش مستقیم یک هفته بدون افزودنی..... ۳۷
- جدول (۶-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک هفته بدون افزودنی..... ۳۷
- جدول (۷-۳) - جدول تست برش مستقیم دو هفته بدون افزودنی..... ۳۸
- جدول (۸-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم دو هفته بدون افزودنی..... ۳۹
- جدول (۹-۳) - جدول تست برش مستقیم چهار هفته بدون افزودنی..... ۴۰
- جدول (۱۰-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم چهار هفته بدون افزودنی..... ۴۰
- جدول (۱۱-۳) - جدول تست برش مستقیم یک روزه با ۰/۲ شوینده ی آنزیم دار..... ۴۲
- جدول (۱۲-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک روزه با ۰/۲ شوینده آنزیم دار..... ۴۲
- جدول (۱۳-۳) - جدول تست برش مستقیم یک هفته با ۰/۲ شوینده ی آنزیم دار..... ۴۳
- جدول (۱۴-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک هفته با ۰/۲ شوینده آنزیم دار..... ۴۴
- جدول (۱۵-۳) - جدول تست برش مستقیم دو هفته با ۰/۲ شوینده ی آنزیم دار..... ۴۵
- جدول (۱۶-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم دو هفته با ۰/۲ شوینده آنزیم دار..... ۴۵
- جدول (۱۷-۳) - جدول تست برش مستقیم چهار هفته با ۰/۲ شوینده ی آنزیم دار..... ۴۶
- جدول (۱۸-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم چهار هفته با ۰/۲ شوینده آنزیم دار..... ۴۷
- جدول (۱۹-۳) - جدول تست برش مستقیم یک روزه با ۰/۳ شوینده ی آنزیم دار..... ۴۸
- جدول (۲۰-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک روزه با ۰/۳ شوینده ی آنزیم دار... ۴۸

- جدول (۳-۲۱) - جدول تست برش مستقیم یک هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار..... ۴۹
- جدول (۳-۲۲) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار .. ۵۰
- جدول (۳-۲۳) - جدول تست برش مستقیم دو هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار..... ۵۱
- جدول (۳-۲۴) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم دو هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار ۵۱
- جدول (۳-۲۵) - جدول تست برش مستقیم چهار هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار..... ۵۲
- جدول (۳-۲۶) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم چهار هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار ۵۳
- جدول (۳-۲۷) - جدول تست برش مستقیم یک روزه با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار..... ۵۴
- جدول (۳-۲۸) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک روزه با ۴٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۴
- جدول (۳-۲۹) - جدول تست برش مستقیم یک هفته با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار..... ۵۵
- جدول (۳-۳۰) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۶
- جدول (۳-۳۱) - جدول تست برش مستقیم دو هفته با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار..... ۵۷
- جدول (۳-۳۲) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم دو هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۷
- جدول (۳-۳۳) - جدول تست برش مستقیم دو هفته با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار..... ۵۸
- جدول (۳-۳۴) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم چهار هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار..... ۵۹
- جدول (۳-۲۵) - جدول مقادیر بدست آمده از تست تک محوری..... ۶۲
- جدول (۴-۱) - پارامترهای مقاوم برشی برای نمونه های یک روزه..... ۶۶
- جدول (۴-۲) - پارامترهای مقاوم برشی برای نمونه های یک هفته..... ۶۹
- جدول (۴-۳) - پارامترهای مقاوم برشی برای نمونه های دو هفته..... ۷۱
- جدول (۴-۴) - پارامترهای مقاوم برشی برای نمونه های چهار هفته..... ۷۴

۱- فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

رشد فزاینده ی جمعیت جهان، مشکلات عمده ای را در ارتباط با پاکیزه نگاه داشتن زمین ایجاد کرده است. نگرانی درباره ی تامین بهداشت و رفع آلودگی های ناشی از صنعت که سرنوشت و حیات زمین را به مخاطره خواهند انداخت، برنامه ریزی های جدی را برای تغییر و بهبود شرایط زندگی طلب می کند. بررسی آلودگی های بوجود آمده در خاک ها یکی از دغدغه های مهندسان بوده است. خاک یکی از منابع مهم و ارزشمند طبیعت به شمار می رود. بدون داشتن خاک سالم، حیات و زندگی بر روی زمین بسیار دشوار خواهد بود. آلوده شدن خاک ممکن است باعث تغییر در خواص مهندسی خاک شود. به همین علت بررسی تاثیر آلودگی های مختلف بر روی خاک و رفتار مقاومتی و خواص ژئوتکنیکی خاک امری ضروری است. هر تغییری در مشخصات مهندسی لایه خاک می تواند منجر به کاهش ظرفیت باربری و افزایش نشست کلی و نسبی سازه شود (Athanasopoulos و همکاران، ۲۰۰۸). همواره خاک ها در برابر آلاینده های متعددی قرار داشته اند، از جمله این آلودگی ها می توان نفت و گازوئیل و ... را نام برد. امروزه با افزایش جمعیت جهان یکی دیگر از این آلاینده ها پساب حاصل از استفاده ی مواد شوینده می باشد. در سال های اخیر با توجه به افزایش اهمیت بهداشت، مصرف محصولات بهداشتی به شکل گسترده ای در بین مردم ترویج پیدا کرده است. گسترش بیش از حد فرآورده های شوینده بهداشتی علی رغم دارا بودن جنبه های مثبت فراوان آلودگی های نوینی را به محیط زیست وارد می کند و توجه مسئولان محیط زیست به این مسئله امری ضروری است. البته در این راستا قدم های مثبتی از سوی تولیدکنندگان این محصولات برداشته شده است. یکی از این راهکارها استفاده از آنزیم ها است که در این مورد موادی تاثیرگذار محسوب می شوند که با جایگزینی برخی مواد شیمیایی باعث ایجاد محصولات سبزتر و دوستدار محیط زیست شده اند. در این تحقیق سعی داریم تاثیرات این شوینده ها را بر خواص مکانیکی خاک و رفتار مقاومتی آن ها مورد بررسی قرار دهیم.

۱-۲- ضرورت و لزوم انجام تحقیق

کیفیت زندگی بر روی زمین رابطه نزدیکی با کیفیت محیط زیست دارد. خاک یکی از منابع مهم و ارزشمند طبیعت است و منبع درآمد و تولید و اساس جمیع تمدن مادی است. از آنجایی که خاک روز به روز به محل دفن مواد زیانبخش و دریافت کننده ی این مواد زیان آور تبدیل شده و همواره بر بار آلودگی آن افزوده می شود، و نیز به طور روزافزون بر اثر ایجاد ساختمان و راه و تأسیسات شهری و صنعتی مقدار زیادی خاک از گردش طبیعی و از حوزه زراعتی خارج و تبدیل به خاک مرده می شود حفاظت و پاکسازی آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. یکی از کارهایی که در این راستا به ما کمک می کند، شناخت و بررسی تاثیر مواد مختلف بر روی خاک و خواص ژئوتکنیکی آن می باشد. میزان تاثیر مواد و شوینده هایی که احتمال آلوده کردن محیط و تغییر دادن خواص مهندسی خاک ها از سوی آن ها پیش بینی می شود امری ضروری و حائز اهمیت است. و لازم است با تحقیق و بررسی رابطه ی میان این شوینده ها با محیط و خواص مهندسی مواد و مصالحی که برای مقاصد مهندسی از آن ها استفاده می کنیم را به صورت روشن دریابیم و در طراحی ها و مطالعات ژئوتکنیکی از آن ها بهره مند شویم. بررسی مشکلات زیست محیطی و راهکارهای مقابله با این مشکلات نظیر انتخاب مواد اولیه مناسب، تهیه محصولات با کارایی بیشتر، تجزیه پذیری شوینده ها امری ضروری محسوب می شود.

۱-۳- ساختار پایان نامه:

در فصل دوم به توضیحات و تعاریفی راجع به خاک و شوینده ها و اجزای تشکیل دهنده ی آن ها پرداخته شده است. همچنین مطالبی راجع به آلودگی های شناخته شده و موادی که باعث آلودگی محیط زیست و به خصوص خاک می شوند ذکر گردیده است. در این فصل تاریخچه تحقیقات انجام شده درباره ی آلودگی ها و شوینده ها نیز مطرح شده است و در پایان توضیحات مختصری راجع به مقاومت برشی ارائه می گردد.

در فصل سوم آزمایش های انجام شده در این تحقیق، پارامترهای متغیر در آزمایش و روش انجام آزمایش ها ارائه می شوند. نتایج حاصل از آزمایش های انجام شده استخراج، نمودارهای مربوطه ترسیم می گردد.

در فصل چهارم به تحلیل نتایج بدست آمده از آزمایش برش مستقیم و مقایسه نتایج در هر وضعیت پرداخته شده است.

در فصل پنجم نتیجه کلی تحقیق بیان گردیده است.

فصل دوم:

آلاینده های خاک

۲-۱- مقدمه

کیفیت زندگی انسان در زمین به طور غیرقابل اجتنابی به کیفیت کلی محیط زیست وابسته است. امروزه مشکلات محیط زیستی یکی از اصلی ترین و یا شاید مهمترین مشکل پیش روی بشر است. آلودگی آب، خاک، هوا و ... را می توان به عنوان بخشی از این مشکلات نام برد، که مستقیماً بر کیفیت زندگی انسان ها و سایر جانداران تاثیر سوء می گذارند. آلودگی خاک یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی حال حاضر جهان می باشد، زیرا نفوذ آلودگی به خاک در ادامه می تواند باعث آلودگی سفره های آب زیر زمینی که یکی از مهمترین منابع تامین آب بسیاری از کشورهای جهان می باشد گردد. در میان انواع آلاینده های شیمیایی، آلودگی های حاصل از شوینده ها یکی از آلاینده های قابل توجه و مهم محسوب می گردند که به علت لزوم مصرف بالای این مواد توسط جوامع بشری، پساب حاصل از آن ها به طور گسترده ای وارد محیط زیست می شود و می تواند بر محیط زیست تاثیرات منفی زیادی تحمیل کند. از این رو لازم است به لحاظ مهندسی میزان تاثیرات سوء این مواد بر خاک مورد بررسی قرار گیرد. و در صورت لزوم سعی گردد تولید کنندگان این مواد را به سمت تولید موادی با حداقل تاثیر منفی بر روی محیط زیست سوق دهیم.

۲-۲- تعریف خاک:

خاک ها توده ای از ذرات کانی هستند که همراه با هوا یا آب موجود در فضاهای خالی، سیستم های سه فازی را تشکیل می دهند. خاک ها بخش وسیعی از سطح زمین را پوشانده اند و به گستردگی و فراوانی به صورت مصالح ساختمانی و زیر سازی مورد استفاده قرار می گیرند. اندازه دانه های تشکیل دهنده ی خاک در دامنه ی وسیعی متغییر است. بر حسب اندازه ی دانه ها، خاک ها معمولاً شن، ماسه، لای و یا رس نامیده می شوند. شن، خرده سنگ همراه با دانه هایی از جنس کوارتز، فلداسپار و سایر کانی ها می باشد. ماسه، دانه هایی اکثراً از جنس کوارتز و فلداسپار می باشد، همچنین دانه هایی از سایر کانی ها نیز گاهی مواقع در آن یافت می شود. لای، ذرات ریز (میکروسکوپی) خاک می

باشد که از دانه های بسیار ریز کوارتز و ذرات پولکی شکل حاصل از متلاشی شدن کانی های میکا دار تشکیل می یابد. رس، ذرات بسیار ریز پولکی شکل میکا، کانی های رس و سایر کانی ها می باشد. خاک های مختلف خواص مکانیکی، تورم زایی، ظرفیت باربری و نشست پذیری مختلفی دارند. لذا شناخت انواع خاک های مساله دار در پروژه و تثبیت آن ها با مصالح مناسب اهمیت فراوانی پیدا می کند.

۲-۳- ساختار خاک

ساختار خاک عبارت است از نظم هندسی قرارگیری ذرات آن نسبت به یکدیگر. عواملی که ساختار خاک را تحت تاثیر قرار می دهند، عبارتند از: شکل، اندازه، ترکیب کانی های ذرات خاک و طبیعت و ترکیب سیال خاک. از نقطه نظر بحث کلی، خاک ها به دو گروه غیر چسبنده و چسبنده تقسیم می شوند. (زهره وند، پژمان، ۱۳۹۴)

۲-۳-۱- ساختار خاک های غیر چسبنده

دو نوع ساختار مهم در خاک های غیر چسبنده وجود دارد: الف- ساختار تک دانه ای و ب- ساختار لانه زنبوری. در ساختار تک دانه ای، در توده ذرات در حال تعادل، هر ذره خاک در تماس با ذرات احاطه کننده یخود می باشد. شکل و دانه بندی ذرات خاک و وضعیت نسبی آن ها، در تراکم و در نتیجه تخلخل خاک موثر می باشد. خاک های حقیقی، ذرات آن ها نه کرووی و نه هم اندازه هستند. در این خاک ها ذرات ریزتر در حفرات موجود بین ذرات بزرگتر جا گرفته و باعث کاهش نسبت تخلخل می شوند. لیکن نامنظمی در شکل ذرات معمولا تمایل به نمایش افزایش در نسبت تخلخل دارد.

در ساختار لانه زنبوری، ذرات ماسه و لای نسبتا ریزدانه با تشکیل زنجیره ای از ذرات، تشکیل قوس های کوچک می دهند. خاک هایی که ساختار آن ها لانه زنبوری است، دارای نسبت تخلخل نسبتا بزرگی هستند و تحت بارهای استاتیک معمولی می توانند ساختار خود را حفظ کنند. لیکن تحت

بارهای استاتیک سنگین و یا حتی بارهای دینامیکی، ساختار آن ها شکسته شده و به علت کاهش زیاد تخلخل، نشست قابل توجهی در خاک بوجود می آید.

۲-۳-۲- ساختار خاک های چسبنده

برای فهم ساختار پایه در خاک های چسبنده، باید نوع نیرو های متقابل بین ذرات رسی معلق در آب را بدانیم. وقتی که دو ذره رس در حالت معلق به یک دیگر نزدیک می شوند، به علت تمایل به رسوخ در لایه مضاعف، یک نیروی دافعه بین دو ذره به وجود می آید. در همان زمان یک نیروی جاذبه به علت نیروهای واندروالس بین ذرات رسی وجود دارد که مستقل از مشخصه های آب می باشد. هر دو نیروی دافعه و جاذبه با کاهش فاصله بین ذرات، با نرخ های متفاوتی افزایش می یابند. وقتی که فاصله بین ذرات خیلی کوچک است، نیروی جاذبه بزرگتر از نیروی دافعه است. این نیروها توسط تئوری کلوئیدی قابل پیش بینی هستند. با توجه به تمرکز بارهای مثبت در لبه های ذرات رس اگر ذرات خیلی به یکدیگر نزدیک باشند، لبه های دارای بار مثبت می توانند توسط سطوح دارای بار منفی جذب شوند.

۲-۴- آلودگی خاک

آلودگی خاک عبارت است از وجود، پخش یا آمیختن یک یا چند ماده خارجی به خاک به مقدار و مدتی که کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن را به طوری که برای انسان یا سایر موجودات زنده یا گیاهان و یا آثار و ابنیه زیان آور باشد، تغییر دهد. به عبارت دیگر هرگونه تغییر در ویژگی های اجزای تشکیل دهنده خاک به طوری که استفاده از آن ناممکن گردد آلودگی خاک نامیده می شود. آلودگی های خاک می توانند از نوع مواد مضر جامد یا مایع باشند که با خاک طبیعی مخلوط شده اند. این آلاینده ها عموماً طی یک فرایند فیزیکی یا شیمیایی به ذرات خاک چسبیده اند و چنانچه به ذرات خاک نچسبیده باشند در لابه لای آنها جای گرفته اند. این آلاینده ها می توانند به دلیل دفع مواد آلوده در خاک یا ریختن این مواد روی خاک و یا شسته شدن خاک با آب های

آلوده، به خاک منتقل شوند. آلودگی خاک در مواردی می تواند به حیوانات، گیاهان و انسان ها صدمه وارد نماید. صدمه به گیاهان توسط خاک های آلوده بسیار ساده و از طریق رشد گیاهان در این خاک ها و جذب آلاینده های خاک از طریق رشد گیاه رخ می دهد. در مورد صدمه به انسان و حیوان نیز آلودگی می تواند توسط بلعیدن، استنشام و یا تماس پوستی با خاک های آلوده منتقل شود. گاهی خوردن گیاهان یا حیواناتی که در معرض خاک های آلوده قرار داشته و صدمه دیده اند نیز می تواند برای انسان زیان آور و صدمه زننده باشد. همچنین در مواردی کار با خاک آلوده و حفاری آن نیز می تواند برای انسان آلوده کننده و زیان آور باشد. (بور، مسلم و یوسفی کبریا، داریوش ، ۱۳۹۰) همچنین این آلاینده ها می توانند بر خواص مهندسی و قابلیت های ژئوتکنیکی خاک تاثیر بگذارند و باعث کاهش مقاومت خاک شوند و در پروژه های عمرانی اختلال ایجاد کنند.

۲-۵- منابع آلوده کننده خاک

آلاینده ها معمولاً در اثر فعالیت های انسان پدید می آیند. افزایش جمعیت، درآمد سرانه، پیشرفت تکنولوژی و بالا بودن استاندارد زندگی از عوامل مهم افزاینده آلاینده ها به حساب می آیند. آلودگی خاک به عنوان یکی از معضلات زیست محیطی عمده در دنیا شناخته می شود. در حال حاضر در کشورهای اروپایی برای جلوگیری از آلودگی خاک عامل بازدارنده ای تحت عنوان "قانون خاک" وجود دارد که موجب شده تا حد زیادی از افزایش آلودگی های خاک جلوگیری شود. منابع مختلف ایجاد آلودگی مانند نشت از صنایع مختلف، لوله های انتقال به صورت انواع آلاینده ها شامل ترکیبات نفتی، فلزات سنگین، ضایعات صنعتی و غیره باعث کاهش کیفیت خاک، گسترش در سطح آب های زیرزمینی و بروز سایر مشکلات زیست محیطی می گردد. (مسلم بور، داریوش یوسفی کبریا، ۱۳۹۰)

۲-۶- انواع آلاینده های خاک و بررسی تعدادی از آن ها

۲-۶-۱- آلاینده های صنعتی

آلاینده های صنعتی شامل کلیه آلاینده هایی است که توسط فعالیت کارخانجات و کارگاه ها به خاک وارد می شود. بحث عمده آلودگی های صنعتی تجمع فلزات سنگین در خاک است. از نظر تاریخی آلودگی به این عناصر ابتدا از معادن استخراج و سپس کارخانه های ذوب این مواد آغاز شد . آلودگی های خاک ناشی از کارخانجات ذوب فلزات، زباله های شهری و صنعتی، حشره کشها و ترافیک اتومبیل ها همگی می توانند غلظت های عناصر سنگین خاک را به حد سمی برسانند. علاوه بر این رسوب این مواد در حفره ها و گودال ها و به دنبال آن تجمع رواناب سطحی در این گودال ها سبب آلودگی آب های زیرزمینی می شود . غبار حاصل از طوفان در این مناطق سبب گستردگی دامنه آلودگی خواهد شد . سوپر فسفات ها و سنگ آهک معمولاً دارای مقادیری از کادمیوم، مس، منگنز، نیکل و روی بوده و بکارگیری آنها آلودگی خاک را به دنبال دارد. آرسنیک در حشره کش ها مورد استفاده قرار گرفته و به علت پایداری دراز مدت در محیط از آن استفاده نمی شود. فلزات سنگین در ترکیب قارچ کش های آلی، علف کش ها و حشره کش ها حضور دارند که با کاربرد آنها، موجبات آلودگی را فراهم می آورند. برخی از فلزات سنگین به طریق زیر تولید و وارد محیط می شوند :

- کادمیوم و روی حاصل از فرسایش لاستیک ها

- سرب ناشی از احتراق بنزین

- وانادیوم، کرم و تنگستن حاصل از خوردگی فلزات (مسلم بور ، داریوش یوسفی کبریا، ۱۳۹۰)

۲-۶-۲- آلاینده های نفتی

مواد نفتی و مشتقات آن ممکن است در اثر حمل و نقل یا ذخیره سازی موجب آلودگی خاک شود. هر قدر مواد نفتی به عمق بیشتری از خاک نفوذ کنند رفع آلودگی مشکل تر و هزینه آن چندین

برابر خواهد بود. متداول ترین آلاینده های نفتی در خاک شامل نفت، گازوئیل، حلال های کلردار، ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن (BTEX)، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) و ... می باشد. از جمله علل آلودگی نفتی، تصادف تانکرهای نفت، بمباران، پخش مواد نفتی و مشتقات آن و برخی فعالیت های بی ملاحظه انسان و ... می باشد. سهم صنایع پتروشیمی و نفت در تولید پسماند خطرناک و سمی ۵ درصد در بین کل صنایع می باشد. عناصر رادیواکتیو نیز از آلاینده های خطرناک به شمار می روند. پس از حادثه چرنوبیل در آوریل 1986 که باعث آزاد شدن عناصر رادیواکتیو به محیط شد تحقیقاتی در مورد این رادیو ایزوتوپ ها در سیستم خاک آغاز گردید. حرکت عناصر رادیواکتیو در خاک به نوع ایزوتوپ، تراکم آنها و همچنین ماهیت فیزیکی شیمیایی خاک مورد نظر بستگی دارد. بعد از حادثه چرنوبیل، عناصر رادیواکتیو ^{90}Sr و ^{137}Cs مورد توجه قرار گرفتند. سزیم و استرانسیوم محصولات واکنش های شکستن هسته ها می باشند و به طور دائم در اثر آزمایش سلاح های اتمی، نیروگاه های هسته ای و باز فرآیند سوخت های هسته ای وارد محیط می شوند. سزیم و استرانسیوم که شبیه پتاسیم و کلسیم هستند در موجودات زنده شدیداً فعال بوده و به آسانی توسط موجودات زنده خاک جذب می شوند. (مسلم بور ، داریوش یوسفی کبریا، ۱۳۹۰)

۲-۶-۳ - آلاینده های شهری (مواد زائد و زباله)

یکی از مهمترین منابع آلوده سازی خاک ها زباله ها می باشند. شیرابه زباله ها می تواند به داخل زمین نفوذ کرده و منابع آبی را نیز آلوده کند. پتانسیل آلودگی فضولات آلی اعم از اینکه خانگی یا روستایی باشد زیاد بوده و می تواند به عنوان یکی از عوامل مؤثر آلوده کننده منابع آب، خاک و در شرایطی هوا به شمار آید، از معایب بکارگیری خاک به عنوان انبار فضولات آلی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- آلودگی خاک ناشی از فلزات سنگین و دیگر عناصر سمی محتوی آنها

- آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی ناشی از آلودگی سطحی و آبشویی فضولات به ویژه از نوع دارنده نیترات در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب
- آلودگی هوا ناشی از پراکندگی ذرات فضولات آلی در شرایط خشک
- اشاعه بیماری های مختلف به وسیله موجودات زنده میکروبی فضولات آلی (مسلم بور ، داریوش یوسفی کبریا، ۱۳۹۰)

۲-۶-۴- آلاینده های کشاورزی

مصرف غیر بهینه کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات نباتی با تجمع فلزات سنگین، ترکیبات آلی پایدار و ... خاک را آلوده می سازد. آلودگی خاک ناشی از بکارگیری کودها از طریق تغییر در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به وجود می آید. کودهای معدنی از سه طریق خصوصیات شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار داده و آلودگی آن را سبب می شوند: تغییر غلظت املاح، تغییر pH و ایجاد مسمومیت .

جلوگیری و محدود کردن آلودگی ناشی از ترکیبات معدنی سمی به دو طریق صورت می گیرد:

- عدم یا کاهش کاربرد آنها در خاک
- مدیریت صحیح خاک و نبات در جهت ممانعت از گردش بیشتر آن ها
- بیشتر پسماند آفت کش های جستجو شده در خاک یا مربوط به ترکیبات شیمیایی معدنی پایدار چون آرسنیک، مس یا سرب بوده که تا قبل از جنگ جهانی دوم از آنها به عنوان حشره کش یا قارچ کش استفاده می شده و یا مربوط به هیدروکربن های کلره پایدار است که بعد از جنگ کشف شده و مورد استفاده قرار گرفته اند.

آفت کش ها از راه های مختلفی وارد خاک می شوند که عبارتند از:

- کاربرد مستقیم آنها در خاک
- از طریق سمپاشی و برگشت مستقیم ذرات سموم معلق در هوا به زمین

- بقایای نباتی که به خاک اضافه می شوند

- سموم جذب شده به وسیله موجودات زنده خاک

تصور می شود ذرات سموم موجود در هوا در سطح ذرات گرد و غبار موجود در هوا متمرکز شده و پس از بارندگی به صورت قطرات حاوی حشره کش به خاک وارد شوند. انتقال ذرات حشره کش از طریق باران به زمین از اهمیت بیشتری برخوردار است و مقدار سمی که از این طریق به خاک می رسد قابل توجه است. (مسلم بور، داریوش یوسفی کبریا، ۱۳۹۰)

۲-۷- شوینده ها و تاریخچه ی کاربرد آن ها

انسان از ابتدای زندگی اجتماعی برای زدودن چرک از تن، جامه، اشیاء و ادوات خود از آب استفاده می کرده است. این حلال پاک کننده ی همگانی، فراوان و ارزان هزاران سال متداول ترین وسیله ی شستشوی بشر بوده است. لیکن برطرف کردن انواع آلودگی ها، به وسیله ی شستشوی ساده با آب میسر نبوده و انسان مجبور شده است که از مواد کمکی دیگر استفاده کند. ابتدا از مواد طبیعی مانند خاک رس و سایر خاک های جاذب استفاده می نموده است، که هنوز هم در بعضی نقاط از خاک رس، گل سر شوی و گل شیرازی برای زدودن و برداشتن لکه های رنگ و چربی ها استفاده می شود. سپس از چوب، برگ و ریشه ی گیاهان استفاده نمودند، بدین ترتیب که آن ها را خشک کرده، کوبیده و برای شستشوی البسه مصرف می نمود. مصرف جزئی برخی از آن ها مانند سدر و چوبک هنوز متداول است. همچنین انسان پی برده بود که خاکستر بسیاری از گیاهان، خاصیت پاک کنندگی بیشتری در زدودن چربی ها دارد. این مشاهدات انسان را برآن داشت که دست به تجربه بزند و چربی ها را با خاکستر گیاهان بخصوصی مخلوط کند و از اختلاط آن ها جسمی به دست آورد که مدت ها بعد صابون نامیده شد و قدمت آن به هزاران سال قبل می رسد. (رستمی ایرانق، علی، ۱۳۸۰) از اوایل قرن نوزدهم میلادی مواد شوینده مصنوعی به نام دترجنت وارد بازار شد. استفاده از دترجنت ها پس از جنگ جهانی دوم گسترش یافت. به ترکیباتی که علاوه بر انحلال و پخش در آب قدرت پاک کنندگی

آن را افزایش دهند درجنت گفته می شود (عسکری، یوسف، ۱۳۹۰). در طول سال های اخیر تحقیقات گسترده ای توسط شیمی دانان انجام گرفت و موجب شد که شوینده های مختلف با خواص جالب در آزمایشگاه ها و سپس در کارخانجات عظیم ساخته شود.

۲-۸- ترکیب شوینده ها

شوینده ها به ندرت به صورت یک ماده شیمیایی خالص به کار برده می شوند. زیرا آن ها در بعضی خواص، بیش از حد لازم قوی بوده و در مقابل، در بعضی خواص بسیار ضعیف هستند، ترکیب شوینده ها معمولا شامل موارد زیر می باشد:

۱- فعال کننده های سطحی (سورفکتانت ها)

۲- سازنده ها

۳- افزودنی ها (رستمی ایرانق، علی، ۱۳۸۰)

۲-۸-۱- فعال کننده های سطحی

یک عامل فعال سطحی ماده ای است که می تواند انرژی سطحی که با آن در تماس است را تغییر دهد. این کاهش انرژی سطحی به صورت کف کردن، افزایش قابلیت پخش یک مایع بر جامد، افزایش تشکیل سوسپانسیون به وسیله ی ذرات جامد در یک مایع و تشکیل امولسیون بروز می کند. مصرف سورفکتانت ها در محصولات آرایشی و بهداشتی شناخته شده و متداول است و بسته به خواص فعالیت سطحی مورد نظر می توان از سورفکتانت ها استفاده نمود. (رستمی ایرانق، علی، ۱۳۸۰)

شوینده ها براساس مواد فعال سطحی به دو دسته سخت و نرم تقسیم می شوند که شوینده های نرم شامل (LABS) یا الکیل بنزن سولفونات خطی هستند که تجزیه پذیر می باشد. شوینده های سخت که شامل (ABS) یا الکیل بنزن سولفونات شاخه ای می باشند، از این گروه می توان به مشهورترین عامل دو دسیل بنزن سولفونات سدیم اشاره کرد که به دلیل داشتن شاخه ی فرعی در محیط زیست تجزیه نمی شود و سبب آلودگی محیط زیست می گردد. در کشورهای پیشرفته با ارتقاء بهداشت و

پاکیزه تر شدن محیط زندگی، بدون تردید مصرف پاک کننده ها افزایش یافته و لزوماً با رعایت جنبه های اقتصادی همراه شده است. حتی برای ترسیم آینده ای که حتی الامکان کمتر دچار خطا و اشتباه باشد نگرشی بر روند تولید محصولات، تغییرات فرمولاسیون و مصرف مواد اولیه مختلف در سطح جهان ضروری است. به طور کلی در کشورهای پیشرفته وضعیت شوینده ها متأثر از تغییراتی در فرمولاسیون محصولات بوده است مثل تمایل به تولید محصولات عاری از فسفات و یا تمایل به ساخت پودرهای سنگین و غیره (عسکری، یوسف، ۱۳۹۰).

دترجنت ها اصولاً ترکیبات آلی زنجیره ای کربن دار هستند که دارای ۲ قطب هیدروفیل و لیپوفیل می باشند. قطب هیدروفیل، آب دوست و قطب لیپوفیل، چربی دوست می باشد. بر اساس خصوصیات قطب هیدروفیل دترجنت ها به سه گروه تقسیم می شوند:

۱- دترجنت های آنیونی، ۲- دترجنت های کاتیونی، ۳- دترجنت های خنثی

۲-۱-۸-۱- دترجنت های آنیونی

این ترکیبات در اثر یونیزاسیون در محیط آبی به یون های منفی ($R-O-S_3^-$) که در آن R یک زنجیر کربنی طولانی الکیلی و یک یون مثبت که اغلب سدیم است تفکیک می شوند. بیشترین دترجنت مصرفی در منازل و مصارف عمومی در این گروه قرار دارد.

۲-۱-۸-۲- دترجنت های کاتیونی

این دترجنت ها در اثر یونیزاسیون به یون های مثبت گروه آمونیومی که دافع آب است و گروه یون های منفی جاذب آب تبدیل می شود و دارای قدرت زیاد باکتری کشی می باشند.

۲-۱-۸-۳- دترجنت های خنثی

این پاک کننده ها از ترکیب چند شاخه اتیلن بر روی یک ریشه ای که دافع آب است حاصل می شود و بهترین مثال از آن ها پلی گلیکول اتو الکیل فنل است که قدرت پاک کنندگی شدید دارد.

(عسکری، یوسف، ۱۳۹۰)

۲-۸-۲- سازنده ها

نقش اصلی مواد سازنده در فرمولاسیون محصولات شوینده کاهش سختی آب شستشو و یا به عبارتی دیگر دفع کاتیون های Ca^{2+} و Mg^{2+} می باشد. این امر موجب عملکرد بهینه سورفکتانت ها و همچنین عدم رسوب ترکیبات کلسیم و منیزیم بر روی الیاف البسه می گردد. (رستمی ایرانق، علی ۱۳۸۰،)

۲-۸-۳- افزودنی ها

موارد زیر از جمله موارد عمده کاربرد افزودنی ها در شوینده ها هستند.

۱- تنظیم کننده ی کف، ۲- مواد ضد خوردگی، ۳- مواد حافظ جلا، ۴- شفاف کننده ها، ۵- آنزیم ها، ۶- رنگ برهای شیمیایی، ۷- مواد رنگی، ۸- مواد غلیظ کننده، ۹- اسانس ها. (رستمی ایرانق، علی ۱۳۸۰،)

۲-۹- تعریف آنزیم ها

آنزیم ها، کاتالیزورهای بیولوژیکی اند که در موجودات زنده وجود دارند و از گیاهان و حیوانات دارای میکروارگانیسم با استفاده از حلال مناسب به دست می آید (Prescott 2001). آنزیم ها، مولکول های بزرگ پروتئینی اند که کارآمدتر از کاتالیزورهای غیرآلی هستند. سرعت واکنش اغلب ۱۰۶ تا ۱۰۱۲ برابر بیشتر است. به دما حساس اند و در دمای ملایم ($35^{\circ}C$) عمل کرده و کارآیی آنها در دماهای بالاتر کم می شود. همچنین نسبت به PH حساس بوده و بهترین عملکرد را در محدوده ی PH برابر ۷ دارند (Norris. et al. 2011). ماده ی خاصی که با آنزیم سازگار بوده و به محصول واکنش می انجامد ماده ی اصلی یا زمینه نامیده می شود. به این صورت که چند مول از ماده زمینه در هر دقیقه به فرآورده تبدیل می شود.

۲-۱۰- ساخت آنزیم‌های پاک‌کننده

تولید آنزیم‌های میکروبی جایگاه مهمی از صنعت زیست فناوری روز را به نمایش می‌گذارد. مهمترین فرآورده‌های صنعتی آنزیمی، به وسیله تخمیر پیوسته یا تخمیر ناپیوسته ی هوازی، با حجم 1000-20 متر مکعب تولید می‌شود. فرآیند تخمیر در محیط استرلیزه ی خنثی، از مواد اولیه تجدیدپذیر مانند نشاسته، ذرت، شکر و سویا در حضور نمک‌های مختلف انجام می‌گیرد. بیشتر آنزیم‌های صنعتی، از موجودات زنده ذره بینی، در محیط‌های تخمیری تأمین می‌شوند. نتیجه فعالیت آنزیم ناشی از تخمیر، محلولی است که از ذرات نامحلول و توده‌های زنده، به وسیله صاف کردن یا سانتریفیوژ جدا شده‌اند. سپس محلول به وسیله ی تبخیر، فرآیندهای غشایی یا بلوری کردن تغلیظ شده، براساس نوع آنزیم مورد استفاده، فعالیت گوناگونی روی آن انجام می‌شود. آنزیم‌ها در محصولات شوینده ی لباس برای پاک‌کنندگی عمیق لباس به گونه ای که لکه یا چرک یا بوی بدی پس از شستشو باقی نماند، همچنین برای سفیدکنندگی، حفظ بافت و رنگ پارچه و حفظ شدن رنگ آن به کار می‌روند. با استفاده از آنزیم‌ها می‌توان مقدار دیگر مواد تشکیل‌دهنده ی شوینده را کم کرد. امروزه آنزیم‌ها در کنار مواد اصلی چون سورفکتانت‌ها، بیلدرها و سفیدکننده‌ها بیش از پیش مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنزیم‌ها هیدرولیز مولکول‌های ماکروآلی را کاتالیز می‌کنند و مولکول‌هایی تشکیل می‌دهند که حلالیت بیشتری در آب دارند، سپس سورفکتانت‌ها این مواد را در آب به حالت سوسپانسیون در می‌آورند. بنابراین آنزیم‌ها و سورفکتانت‌ها مکمل هم هستند و با استفاده از آن‌ها در کنار هم می‌توان تمیزکنندگی را در دمای پایین‌تر و PH‌های ملایم‌تر به طور موثرتری انجام داد. (کوره‌پزان‌مفتخر، مهدیه و یوسفی، لیلا؛ ۱۳۹۱)

۲-۱۱- آنزیم‌های مورد استفاده در محصولات شوینده

- ۱- پروتئاز: لکه‌های پروتئینی را تجزیه می‌کند مانند لکه‌های حاصل از غذا، چمن، خون و
- ۲- آمیلاز: لکه‌های نشاسته‌ای را تجزیه می‌کند مانند لکه‌های حاصل از غذا، سس‌ها و

- ۳- لیپاز: لکه های چربی را تجزیه می کند مانند لکه های حاصل از غذا، مواد آرایشی و مایعات بدن.
- ۴- سلولاز: کرک های کتان را کاهش می دهد، لکه های ریز ذره را آزاد می کند، برگشت لکه را در طی شستشو و پوشیدن کاهش می دهد و به سفیدی لباس کمک می کند.
- ۵- ماناناز: مواد مانان را می شکند و باعث حذف لکه های حاوی موادی چون گوارگام می شود مانند لکه های حاصل از سس ها و مواد آرایشی.
- ۶- پکتیناز: لکه های پکتین را می شکند مانند لکه های حاصل از میوه ها.

۲-۱۲- اثرات زیست محیطی شوینده ها

سال های زیادی است که صنایع صابون و دترجنت به دلیل ایجاد آلودگی هایی در آب مانند آلودگی کف و مغذی شدن، توجه مسئولان محیط زیست را به خود جلب نموده است. دترجنت ها پس از مصرف به همراه پساب به دریاچه ها یا رودخانه ها ریخته می شوند و بر روی محیط زیست تاثیر مخرب می گذارند.

برخی آثار سوء شوینده ها بر محیط زیست عبارتند از:

- ۱- تجمع کف بر روی آب های سطحی و جلوگیری از عمل اکسیژن گیری آب
- ۲- تولید بو و طعم نامطبوع در آب
- ۳- اثرات سمی بر موجودات زنده مانند انسان، موجودات آبی و گیاهان
- ۴- تخریب و انهدام اکوسیستم
- ۵- حذف و کاهش مواد معلق آب در حضور شوینده ها به صورت دلخواه مقدور نیست
- ۶- به خودگیری میکروب های بیماری زا و مساعد نمودن شرایط محیطی در جهت شیوع بیماری ها
- ۷- اشکال در امر انعقاد و ته نشینی و صاف کردن آب
- ۸- تجزیه ناپذیری گروه سخت دترجنت ها

وجود کف در حوض های هوادهی در تصفیه خانه های فاضلاب میزان انتقال اکسیژن به فاضلاب را به شدت تقلیل می دهد به طوری که گاهی تقلیل راندمان تصفیه در اثر کف دترجنت ها به ۸۰ درصد می رسد. در حوض های ته نشینی اولیه وجود ماده موثر دترجنت مانع ته نشینی کامل مواد معلق می شود و چربی موجود در فاضلاب در اثر کف زیاد به سایر قسمت های تصفیه خانه نیز راه می یابد) Sherman و همکاران، (۱۹۷۸)

شوینده ها نفوذ پذیری خاک را تغییر می دهند و سبب افزایش سرعت نفوذ فاضلاب می شوند. مقدار حرکت شوینده در خاک متغییر بوده و به جنس و ماهیت زمین بستگی دارد. وجود شوینده ها در خاک نفوذپذیری خاک را افزایش داده و میکروارگانسیم ها و حتی مولکول هایی که به طور معمول نمی توانند از صافی های خاک عبور کنند در حضور شوینده ها قادر خواهند بود از خلل و فرج لایه های متوالی و مختلف خاک عبور نمایند و موجب آلودگی میکروبی آب هایی شوند که در فاصله زیاد نسبت به سطح زمین قرار دارند. (دبیری، مینو؛ ۱۳۷۹)

۲-۱۳- تاریخچه ی تحقیق

Meegoda و همکارانش در سال ۱۹۹۳ به بررسی نفوذ پذیری خاک های رس آلوده در بلند مدت و کوتاه مدت پرداختند و در طولانی مدت تغییراتی در ساختار خاک مشاهده نمودند (Meegoda و همکاران، ۱۹۹۳). Ratnaweera و Meegoda در مقاله ای دیگر در سال ۲۰۰۵ به بررسی مقاومت برشی و رفتار تنش کرنش خاک های آلوده پرداخت. آن ها در این تحقیق از سه ماده ی شیمیایی گلیسرین، پروپانول و استون با ویسکوزیته های متفاوت استفاده کردند که برای افزودنی پروپانول و گلیسرین با کاهش مقاومت برشی مواجه شدند و با افزایش غلظت این مواد میزان کاهش بیشتر شد اما برای افزودنی استون با تغییرات خیلی زیادی روبرو نشدند (Ratnaweera و Meegoda، ۲۰۰۵). Singh و همکارانش در سال ۲۰۰۸ کاراکترهای نشست در خاک های رسی آلوده به هیدرو کربن های نفتی را مورد بررسی قرار دادند و شاهد افزایش نشست به علت افزایش شاخص تراکم پذیری بودند

(Singh و همکاران، ۲۰۰۸). در سال ۱۳۸۸ آقای اوجاکی مقاله ای تحت عنوان شوینده ها و محیط زیست ارائه دادند، وی در این مقاله ترکیب شیمیایی شوینده ها، مشکلات زیست محیطی ناشی از شوینده ها و تاثیرات فسفات در محیط زیست و راهکارهای مقابله با این مشکلات نظیر انتخاب مواد اولیه مناسب، تهیه محصولات با کارایی بیشتر، کاهش مواد پرکننده، تجزیه پذیری شوینده ها و تولید محصولات شوینده کنسانتره را مورد بررسی قرار داده است. نتایج این تحقیق بدین صورت است که برای کاهش صدمات وارده به محیط زیست بهتر است مواد اولیه دترجنت ها به جای ذخایر پتروشیمیایی از مواد طبیعی مانند روغن نارگیل و روغن خرما و ... که به راحتی قابل دسترسی و تولید هستند، استفاده گردد (اوجاکی، علی ۱۳۸۸). آقایان Ivan Gratchev و Ikuo Towhata در سال ۲۰۱۳ مقاله ای ارائه دادند که در آن رفتار مقاومتی خاک های آلوده به اسید را در بلند مدت مورد بررسی قرار دادند، آن ها دو نوع خاک که اولی مونت موریلونیت و دومی لای دارای کائولینیت بود را به مدت ۳۰۰ روز در معرض سولفوریک اسید قرار دادند و پس از آن بر روی آن ها آزمایش سه محوری انجام دادند، نتایج نشان داد خاک رس در بازه ی pH بین ۷/۳ تا ۶ با کاهش مقاومت مواجه شد اما لای در pH برابر ۶ یک افزایش مقاومت جزئی داشت، اما زمانیکه pH تا عدد ۴ کاهش پیدا کرد، مقاومت خاک نیز با کاهش شدید مواجه شد. آقایان عسکری لاسکی و مهرداد در سال ۱۳۹۲ تأثیر نفوذ شیرابه زباله های شهری بر مقاومت برشی خاک رس را مورد بررسی قرار دادند. آن ها در این تحقیق نمونه هایی استوانه ای شکل را به وسیله ی شیرابه های حاصل از زباله های شهری و خاک رس لای دار بازسازی کردند و از آنها مغزه گیری کرده و نمونه ها را تحت آزمایش برش مستقیم و فشاری محصور نشده قرار دادند. نتایج آزمایشات آن ها بدین صورت بود که با افزایش میزان آلودگی مقاومت برشی، مقاومت فشاری، چسبندگی خاک و زاویه ی اصطکاک داخلی همگی با کاهش روبرو بودند (عسکری لاسکی، بهزاد؛ و مهرداد، میرعبدالحمید؛ ۱۳۹۲). آقای آزادگان و همکارش در سال ۱۳۹۳ مقاله ای تحت عنوان آلاینده های خاک ارائه دادند و در این مقاله به انواع آلوده کننده های خاک و شناسایی آن ها از جمله مواد رادیواکتیو، فلزات سنگین، مواد نفتی، شوینده ها، آفت کش ها،

آلاینده های صنعتی، کودهای آلی و معدنی و نیز روش های حذف آن ها از محیط خاک پرداخته اند (آزادگان، عقیل؛ آزادگان، علیه؛ ۱۳۹۳). آقایان بیت ... پور و رئیسی در سال ۱۳۹۳ اثر آلاینده های آلی بر روی خصوصیات تحکیمی خاک های ریزدانه را بررسی کردند. آن ها نمونه های خاک با استفاده از روش دوغابی و نمونه دوغابی فشرده شده تحت یک بار از پیش تعیین شده برای نشان دادن اثر تاریخچه تنش با آب و غلظت های مختلف از دو ماده ی آلی را تهیه کردند. نتایج نشان می دهد که شاخص فشردگی (C_c) در شرایط اسلاری (دوغابی) با افزایش غلظت ماده آلاینده افزایش می یابد. اما در مورد نمونه با تاریخچه تنش، کاهش شاخص فشردگی در نمونه های خاک وجود دارد. فشار پیش تحکیمی در مورد خاک با پلاستیسیته پایین با افزودن ماده آلاینده افزایش پیدا می کند، اما برای خاک هایی با پلاستیسیته بالا هیچ تغییر قابل توجهی به وجود نمی آید. به عبارت دیگر تغییرات شاخص فشردگی وابسته به نوع خاک و مواد شیمیایی آلاینده می باشد. (بیت اله پور، ایمان؛ و رئیسی استبرق، علی؛ ۱۳۹۳). آقای تکدستان و همکاران در سال ۱۳۹۴ مقاله ای با عنوان اثرات زیست محیطی پساب صنعت شوینده و دترجنت ها و راهکارهای مناسب جهت کاهش آلودگی آن ها ارائه دادند و به مشکلات زیست محیطی ناشی از شوینده ها و آلودگی های تولیدی در این صنعت پرداختند و استفاده از سورفکتانت موجود در روغن خام که دارای ارزش بیولوژیکی است، را در ساخت شوینده ها پیشنهاد داده و همچنین ژئولیت ها را جایگزین خوبی برای فسفات ها که عامل اصلی ایجاد مشکلات زیست محیطی در رودخانه ها و دریاچه ها می باشند، می دانند (تکدستان، افشین و همکاران، ۱۳۹۴). آقایان باهر طالاری و محمدی گلستان مقاله ای ارائه دادند که در آن به بررسی تاثیر آلودگی گازوئیل بر ویژگی های ژئوتکنیکی خاک رس پرداختند. نتایج آزمایشات برش مستقیم آن ها نشان می دهد با افزایش میزان آلاینده ها، میزان چسبندگی کاهش و زاویه اصطکاک داخلی خاک افزایش می یابد. افزایش میزان آلاینده ها تا درصد مشخصی باعث کاهش مقاومت تک محوری و دامنه خمیری خاک می گردد. (باهر طالاری ، طاهر ؛ محمدی گلستان،

حسن؛۱۳۹۵). Rama Vara Prasad و همکاران در سال ۲۰۱۷ تاثیر آلودگی های قلیایی بر تورم پذیری خاک های رسی را مورد بررسی قرار داد. آن ها در این تحقیق از سدیم هیدروکسید به عنوان آلاینده استفاده کردند و این ماده را بر روی سه نوع خاک رسی با غلظت های متفاوت مورد استفاده قرار دادند، نتایج تورم خاک ها را بین ۸ الی ۵۶ درصد بسته به نوع خاک و میزان غلظت مورد استفاده از ماده ی آلاینده نشان دادند. Rama Vara Prasad و همکاران در مقاله ی دیگری در سال ۲۰۱۷ تورم پذیری خاک های آلوده به اسید را مورد ارزیابی قرار دادند، در این مقاله تاثیر سولفوریک اسید و فسفریک اسید را بر سه نوع خاک با ویژگی های متفاوت بررسی نمودند و نتیجه گرفتند نوع کانی رسی به لحاظ کاتیون های موجود در خاک و غلظت اسید عوامل کلیدی در کنترل رفتار تورم در هنگام آلودگی به اسید است. (Rama Vara Prasad و همکاران، ۲۰۱۷)

۲-۱۴- مقاومت برشی خاک

مقاومت برشی توده ی خاک، مقاومت داخلی واحد سطح آن خاک است که می تواند برای مقابله با گسیختگی یا لغزش در امتداد هر صفحه ی داخلی، بروز دهد. مقاومت برشی خاک ها عاملی مهم در بسیاری از مسائل مهندسی پی نظیر ظرفیت باربری پی های سطحی و شمع ها، پایداری شیروانی های سدها و خاکریزها، و فشار جانبی خاک وارد بر دیوارهای حایل می باشد.

۲-۱۵- معیار گسیختگی موهر - کولمب

در سال ۱۹۰۰، موهر نظریه ای برای گسیختگی مواد ارائه داد. مطابق این نظریه، گسیختگی در راستای یک صفحه در جسم در اثر ترکیب بحرانی تنش های عمودی و برشی اتفاق می افتد و نه به وسیله ی تنش عمودی تنها و یا تنش برشی تنها، رابطه ی بین تنش عمودی و برشی در روی صفحه ی گسیختگی به وسیله ی عبارت زیر داده می شود:

$$s = f(\sigma)$$

(معادله ی ۱-۲)

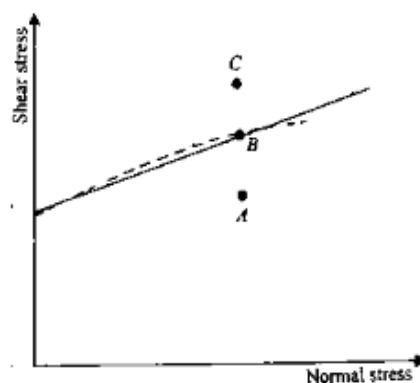
که S تنش برشی و σ تنش عمودی در صفحه ی گسیختگی است. پوش گسیختگی تعریف شده به وسیله معادله ی (۱-۲) همانند شکل (۱-۲) منحنی الخط می باشد.

در سال ۱۷۷۶، کولمب تابع $f(\sigma)$ را به صورت زیر تعریف کرد:

$$s = c + \sigma \tan\phi \quad (2-2)$$

که c ضریب چسبندگی و ϕ زاویه ی اصطکاک داخلی خاک است.

رابطه ی (۲-۲) معمولاً به نام معیار گسیختگی موهر - کولمب نامیده می شود. مفهوم پوش گسیختگی می تواند با استفاده از شکل (۱-۲) توضیح داده شود. اگر تنش های عمودی و برشی در روی یک صفحه در یک توده ی خاک در مختصات $s - \sigma$ با نقطه ی A نشان داده شوند، در راستای این صفحه گسیختگی برشی اتفاق نخواهد افتاد. گسیختگی برشی در طول صفحه ای اتفاق خواهد افتاد که تنش های عمودی و برشی نشان داده شده با نقطه ی B ، بر روی پوش گسیختگی قرار بگیرند. حالت تنش نشان داده شده با نقطه ی C امکان وجود ندارد، برای این که این نقطه در بالای پوش گسیختگی واقع است؛ و قبل از این که حالت تنش به این مرحله برسد، گسیختگی برشی اتفاق خواهد افتاد.



شکل (۱-۲) - معیار گسیختگی موهر-کولمب (Braja M. Das)

۲-۱۶- عوامل موثر بر مقاومت برشی خاک های دانه ای

۱- دانسیته ی نسبی : مهمترین فاکتور در بسیاری از مسایل ژئوتکنیک از قبیل نشست زمین پایداری سازه های خاکی و پتانسیل روانگرایی خاک های ماسه ای می باشد. زاویه ی اصطکاک داخلی تابعی از دانسیته ی نسبی می باشد، به گونه ای که با افزایش دانسیته ی نسبی زاویه ی اصطکاک داخلی افزایش می یابد.

۲- اندازه ی ذرات : از آنجا که دانسیته ی نسبی با افزایش اندازه ی ذرات کاهش پیدا می کند طبیعی است مقاومت برشی با افزایش قطر متوسط ذرات، کاهش پیدا می کند.

۳- شکل ذرات : در حالت کلی خاک هایی که دارای ذرات تیز گوشه هستند، زاویه ی اصطکاک بیشتری نسبت به خاک های گرد گوشه دارند که این مساله ناشی از زیاد بودن قفل و بست بین ذرات خاک است. هرچه دانه ها گرد گوشه تر می شوند اثر کمتری در اصطکاک داخلی دارند.

۴- خرد شدگی ذرات : خرد شدگی ذرات در تنش های بالا موجب کاهش زاویه ی اصطکاک داخلی و افزایش کرنش های اصلی در شکست می گردد.

۵- غیر ایزوتروپیک بودن خاک : عکس العمل خاک ها در بارگذاری های در جهات مختلف متفاوت می باشد که ناشی از نحوه ی رسوب گذاری آن هاست، چنانچه جهت تنش اصلی ماکزیمم و جهت رسوب گذاری ماسه یکی باشد مقاومت ماکزیمم حاصل می شود و بالعکس.

۶- اثر وجود ذرات ریز دانه : وجود ذرات رس و لای در یک خاک دانه ای، اصطکاک داخلی را کاهش می دهد، زیرا ذرات رس در بین دانه ها قرار گرفته و در نهایت حرکت آن ها را آسان می کنند. میزان این کاهش بستگی مستقیم به میزان ریزدانه دارد.

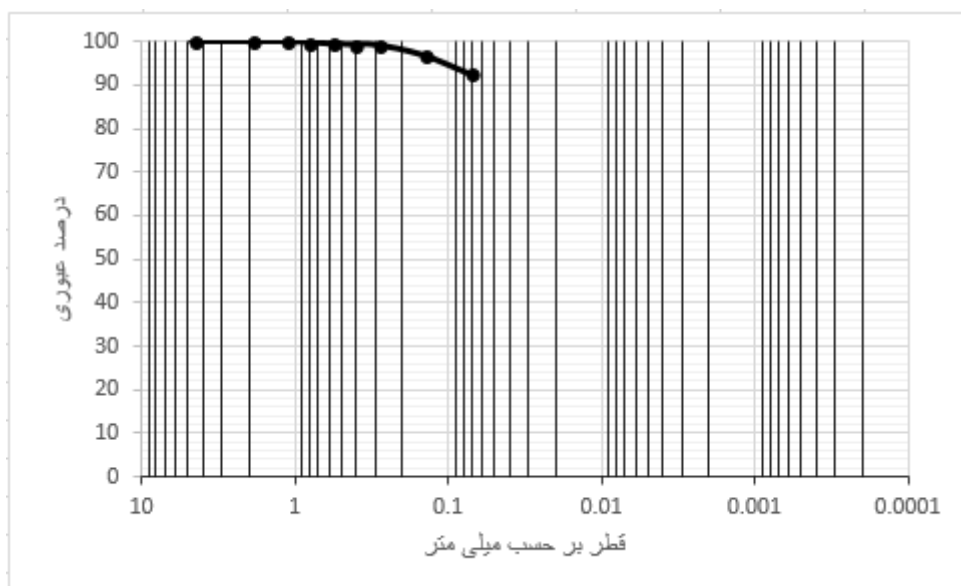
۳- فصل سوم:

آزمایش های انجام شده بر روی

خاک مورد آزمایش

۳-۱- آزمایش دانه بندی با الک

توزیع دانه های بزرگتر از ۰/۰۷۵ میلی متر (الک شماره ۲۰۰) با آزمایش الک و توزیع دانه های ریزتر از ۰/۰۷۵ میلی متر با آزمایش هیدرومتری انجام می شود. الک های استاندارد برای جدا کردن دانه های خاک به اندازه های متفاوت به کار می روند. آنالیز الک روی دانه های خشک خاک که ابعاد آن ها از الک استاندارد شماره ۲۰۰ بزرگتر است (مثل ماسه، شن و قلوه سنگ) به کار می رود. منحنی توزیع دانه بندی خاک مورد آزمایش در شکل (۳-۱) قابل مشاهده می باشد.



شکل (۳-۱) - نمودار توزیع دانه بندی با آزمایش الک

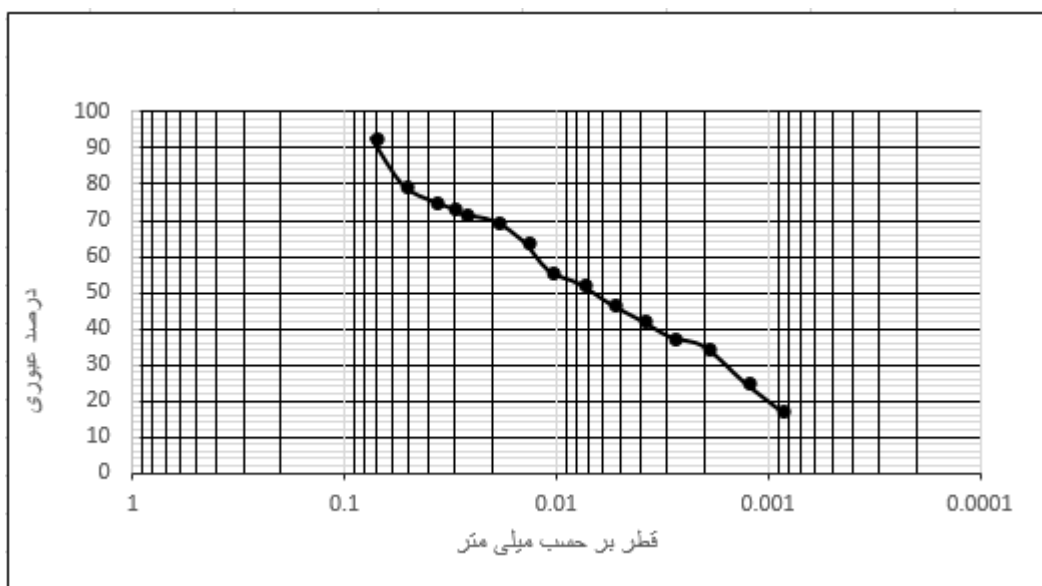
۳-۲- آزمایش هیدرومتری

توزیع دانه بندی خاک های ریزدانه (رس و لای عبوری از الک نمره ۲۰۰) با استفاده از آزمایش هیدرومتری انجام می شود. آزمایش هیدرومتری براساس قانون استوکس بنا شده است. این قانون قطر یک کره را به زمان مورد نیاز برای سقوط کردن آن درون یک سیال با ویسکوزیته معلوم مرتبط می کند. ایده ی آنالیز هیدرومتری این است که ذرات خاک بزرگتر (سنگین تر) زودتر از ذرات کوچکتر

(سبک تر) سقوط می کنند. آزمایش تقریبی است چون تمام ذرات ریز خاک کروی نیستند بلکه برخی از آن ها صفحه ای می باشند.

لازم به ذکر است در این تست از محلول هگزامتافسفات سدیم به عنوان جداکننده استفاده شده است. منحنی مربوط به تست هیدرومتری در شکل (۲-۳) قابل مشاهده می باشد.

نتایج آزمایش هیدرومتری انجام شده بر روی خاک مد نظر در جدول (۲-۳) و شکل (۲-۳) نمایش داده شده است.



شکل (۲-۳) - نمودار منحنی دانه بندی برای تست هیدرومتری

لازم به ذکر است آزمایش الک به علت کلوخه بودن خاک در حالت تر انجام شده است. چرا که در حالت روش خشک این کلوخه ها در تعیین نوع خاک اختلال ایجاد کرده و جنس خاک ماسه بدست می آمد اما پس از شستن خاک الک ها کلوخه ها باز شده و نوع خاک به شکل صحیح رسی نشان داده شد.

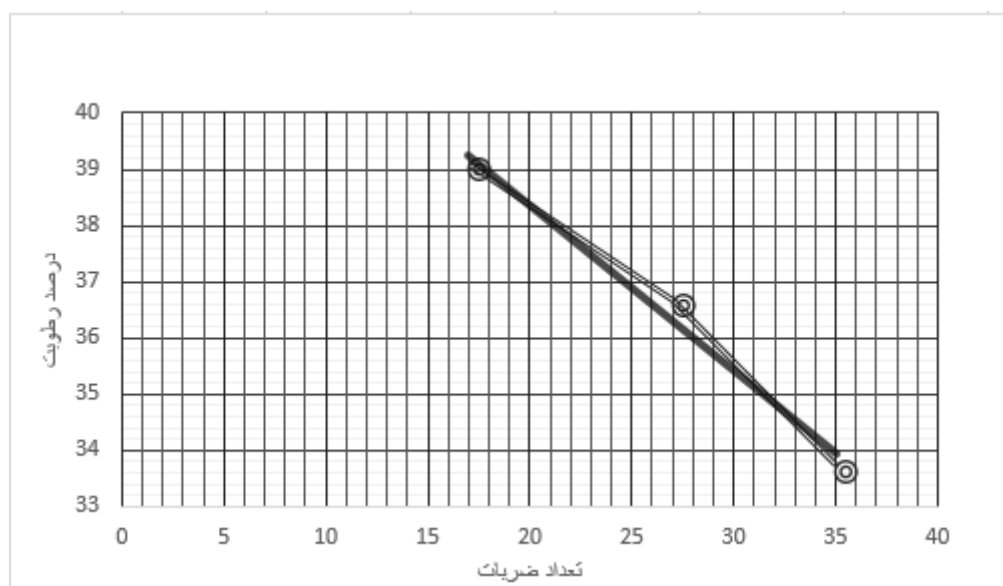
۳-۳- تعیین حدود اتربرگ

۳-۳-۱- تعیین حد خمیری

حد خمیری میزان رطوبتی است که وقتی خاک به قطر $3/2$ میلی متر به شکل فتیله در می آید ترک بخورد. در اینجا دو آزمایش انجام شده و حد خمیری به صورت میانگین بدست آمده است، رطوبت حد خمیری خاک مورد آزمایش ۲۱٪ می باشد.

۳-۳-۲- تعیین حد روانی

حد روانی میزان رطوبتی است که در آن رطوبت رفتار خاک بین حالت سیال و پلاستیک تغییر می کند. رطوبت حد روانی با کمک دستگاه کاساگرانده تعیین می گردد. حد روانی رطوبتی است که در آن رطوبت شیار ایجاد شده در خاک موجود در جام کاساگرانده با اعمال ۲۵ ضربه به اندازه $12/7$ میلی متر بسته شود.



شکل (۳-۳) - نمودار تعیین حد روانی

برطبق شکل (۳-۳) رطوبت مطابق با ۲۵ ضربه برابر با ۳۷٪ می باشد که همان رطوبت حد روانی است.

۳-۳-۳- دامنه ی خمیری

دامنه ی خمیری، اختلاف عددی بین حد روانی و حد خمیری خاک است و مشخص کننده ی درصد رطوبتی است که در آن خاک به حالت خمیری می ماند. بنا به آزمایشات حد خمیری و حد روانی انجام شده دامنه ی خمیری خاک مورد آزمایش ۱۶ می باشد.

۳-۴- نامگذاری خاک

با توجه به منحنی های دانه بندی و آزمایشات حدود اتربرگ خاک مورد نظر با روش طبقه بندی متحد CL یا رس با خاصیت خمیری کم نامگذاری گردید.

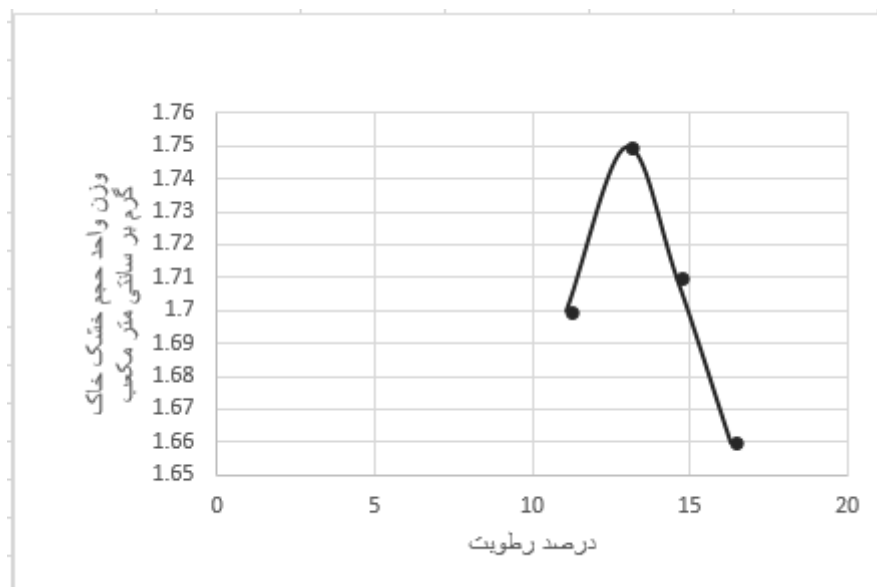
۳-۵- تعیین وزن مخصوص ویژه ی خاک

وزن مخصوص ویژه یا توده ی ویژه یک خاک یا G_s عبارت است از نسبت وزن حقیقی حجم مشخصی از ذرات خاک به وزن حقیقی همان حجم آب مقطر در دمای ۴ درجه ی سیلسیوس. مقدار (G_s) برای خاک مورد آزمایش ۲/۷ بدست آمده است.

۳-۶- آزمایش تراکم استاندارد

تراکم آزمایشگاهی شامل متراکم ساختن خاک در یک میزان رطوبت معین در یک قالب با ابعاد معین با استفاده از انرژی تراکم مشخصی می باشد. این عمل در میزان رطوبت های متفاوتی تکرار می شود تا منحنی تراکم خاک به دست آید. در این تست می توانیم مقدار بهینه ی آب برای رسیدن به بیشینه ی وزن مخصوص خاک مورد نظر را بدست آوریم.

منحنی تراکم نیز در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل (۳-۴) - نمودار منحنی تراکم استاندارد

با توجه به شکل (۳-۴) رطوبت بهینه برای خاک مورد آزمایش ۱۳٪ و حداکثر دانسیته ی خشک آن ۱/۷۵ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد.

در جدول شماره (۳-۱) مشخصات خاک مورد آزمایش نشان داده شده است.

جدول (۳-۱) - جدول مشخصات خاک مورد آزمایش

نام خاک	G_s	LL	PL	PI	$(\gamma_d)_{max}, (\frac{gr}{cm^3})$	$\omega_{opt}, \%$
CL	۲/۷	۳۷	۲۱	۱۶	۱/۷۵	۱۳

۳-۷- آزمایش برش مستقیم

در همه ی مسائل مربوط به پایداری خاک از قبیل طراحی پی ها، دیوارهای حائل و خاکریز ها، داشتن اطلاعات کافی راجع به مقاومت خاک ضروری است. اندازه گیری و تعیین مقاومت خاک ها به ویژه برای خاک های چسبنده که در مباحث پایداری خاک اهمیت و کاربرد زیادی دارد، جزء مباحث پیچیده مطرح در مکانیک خاک می باشد. مقاومت خاک در قسمت های مختلف منحنی که معرف معیار گسیختگی مصالح است، اسامی مختلفی دارد که شامل مقاومت کششی، مقاومت برشی و مقاومت فشاری می باشد، لیکن می توان گفت که مقاومت برشی خاک، عمده ترین عامل در تعیین

رفتار خاک ها می باشد. مقاومت برشی خاک، مقاومت داخلی در واحد سطح آن است، یعنی مقاومتی که خاک می تواند برای تاب آوردن در برابر گسیختگی و لغزش در امتداد هر صفحه ی دلخواه در داخل خود بسیج کند. مشخص است که موضوع مقاومت برشی برای بررسی مسائل پایداری خاک از قبیل باربری و پایداری شیب ها و شیروانی ها و فشار افقی موثر بر روی سازه های نگه دارنده (دیواره های حائل) خاک کاربرد دارد.

۳-۷-۱- تئوری آزمایش

یکی از مدل های رفتاری الاستیک که در جهت تعیین واکنش محیط در برابر بار، مورد استفاده فراوان دارد، مدل موهر - کولمب است. این مدل با ساده سازی هایی، به طور گسترده به عنوان معیار گسیختگی مصالح استفاده می شود. پارامترهای این مدل و معیار گسیختگی توسط آزمایش برش مستقیم به دست می آید و این پارامترها همان زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک می باشند. در آزمایش برش مستقیم با حرکت دادن نیمه ی بالایی یک جعبه محتوی خاک نسبت به نیمه ی پایینی آن، خاک داخل جعبه را تحت تنش برشی قرار می دهیم تا تحت این تنش برشی، گسیخته شود. وقتی که نیروی برشی به اندازه ی کافی بزرگ باشد، قسمت بالایی جعبه نسبت به قسمت زیرین آن جابجا شده، باعث بریده شدن خاک می شود.

۳-۷-۲- نحوه ی تهیه ی نمونه

برای تهیه ی نمونه ها خاک مورد نظر با درصدهای لازم شوینده و با رطوبت بهینه که در آزمایش تراکم ۱۳٪ بدست آمده بود، در قالب تراکم استاندارد در سه لایه و هر لایه ۲۵ ضربه متراکم شده است. پس از آن با استفاده از جک هیدرولیکی نمونه ی استوانه ای شکل از قالب تراکم خارج گردیده است.

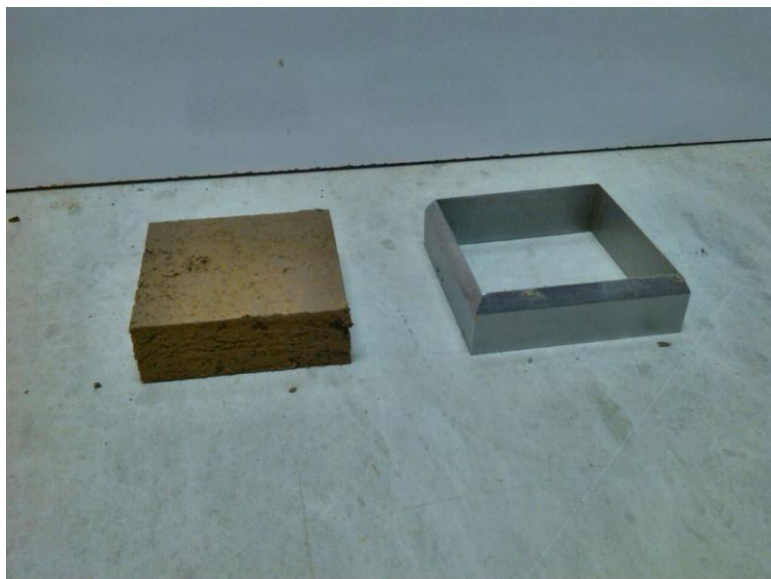


شکل (۳-۵) - خارج کردن خاک متراکم شده از قالب تراکم استاندارد بوسیله ی جک هیدرولیکی

پس از آن توسط تیغ کاتر نمونه برش می خورد و آماده ی قالب گیری با نمونه گیر دستگاه برش مستقیم می گردد. نمونه گیر دستگاه برش مستقیم در خاک متراکم فرو برده می شود و قسمت های اضافی توسط تیغ جدا شده اند.



شکل (۳-۶) - نمونه ی قالب گیری شده توسط نمونه گیر دستگاه برش مستقیم
 آخرین مرحله خارج کردن نمونه از نمونه گیر و بدست آمدن نمونه ی نهایی است. نمونه ی موجود دارای ابعاد $۶ \times ۶ \times ۲/۵$ سانتی متر می باشد و تا زمانی که مؤند قرار دادن آن در دستگاه برش مستقیم فرا برسد، برای جلوگیری از کاهش رطوبت در پلاستیک نگه داشته می شود.



شکل (۷-۳) - خارج کردن نمونه ی نهایی از نمونه گیر دستگاه برش مستقیم

۳-۷-۳- روند انجام آزمایش

در آزمایش برش مستقیم، برای اعمال بار دو روش وجود دارد:

الف) آزمایش کنترل تنش، که در آن نیروی برشی توسط وزنه ثابت وارد می شود و مقدار کرنش اندازه گیری می شود.

ب) آزمایش کنترل کرنش، که در این روش نرخ تغییر شکل یا کرنش ثابت است و مقدار نیروی برشی اندازه گیری می شود. در این جا نیروی برشی توسط موتور سنکرون وارد می شود و مقدار نیرو بوسیله ی دینام اندازه گرفته می شود.

در این تحقیق برای اندازه گیری مقاومت برشی از روش کنترل کرنش استفاده شده است. همچنین برش مستقیم بر روی خاک مورد آزمایش برای بررسی روند تغییرات مقاومت برشی در چهار حالت انجام گرفته است. حالت اول نمونه ی بدون افزودنی و حالت دوم نمونه ی دارای ۲٪ شوینده آنزیم دار و حالت سوم نمونه ی دارای ۳٪ شوینده ی آنزیم دار و حالت چهارم نمونه ی دارای ۴٪ شوینده ی آنزیم دار بوده است و نمونه هایی برای انجام آزمایش به صورتی که در بند (۳-۷-۲) توضیح داده شد تهیه گردیده است. این آزمایشات طی دوره های یک روز، یک هفته، دو هفته و چهار هفته برای هر حالت انجام گرفته است. در انجام آزمایش از سربار قائم ۰/۲۷۸، ۰/۵۵۶ و ۱/۱۱۱ کیلو گرم بر سانتی

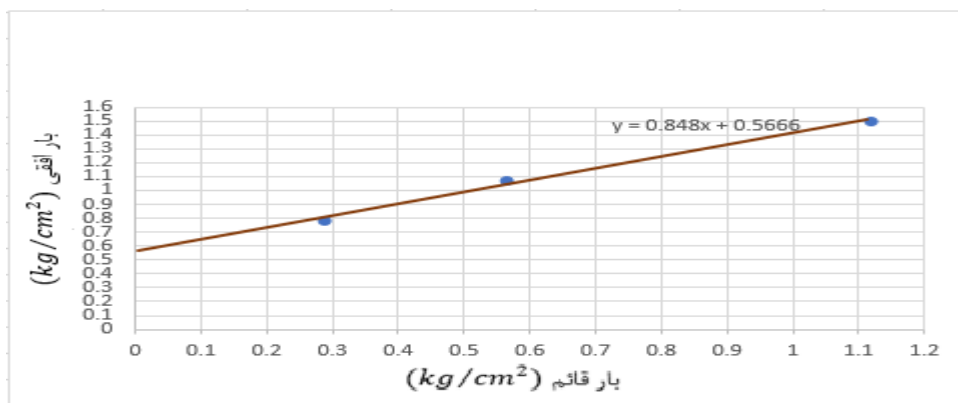
متر مربع استفاده شده است و پوش گسیختگی به صورتی که در نمودار ها نشان داده شده است تشکیل شده است. لازم به ذکر است که آزمایش برای هر سربار در هر دوره، سه نوبت انجام گرفته است و از مقادیر بدست آمده میانگین گیری شده و سپس پوش گسیختگی را تشکیل داده ایم. سرعت دستگاه ۰/۹ میلی متر بر دقیقه انتخاب شد که البته یک تست با سرعت پایین ۰/۰۳۶ میلی متر بر دقیقه جهت مقایسه انجام گرفت و با صرف نظر از خطای موجود تمام آزمایشات با همان سرعت ۰/۹ میلی متر بر دقیقه انجام پذیرفت.

۳-۷-۴- نتایج آزمایشات انجام شده

نتایج تست یک روزه برای نمونه ی بدون افزودنی با سرعت ۰/۰۳۶ میلی متر بر دقیقه در جدول (۳)-۲ و پوش گسیختگی آن در شکل (۳-۵) نشان داده شده است.

جدول (۳-۲) - جدول تست یک روزه نمونه بدون افزودنی با سرعت ۰/۰۳۶

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
یک روزه بدون افزودنی (سرعت دستگاه ۰/۰۳۶ میلی متر بر دقیقه)	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۷۷۹	۰/۵۶۷	۴۰/۳
		۰/۵۵۶	۱/۰۷۳		
		۱/۱۱۱	۱/۴۹۷		



شکل (۳-۸) - نمودار پوش گسیختگی نمونه یک روزه بدون افزودنی با سرعت $0.36 (mm/min)$ با صرف نظر از خطایی که بوجود می آید سرعت بالاتری برای دستگاه انتخاب شده است و سایر آزمایشات انجام گرفته است.

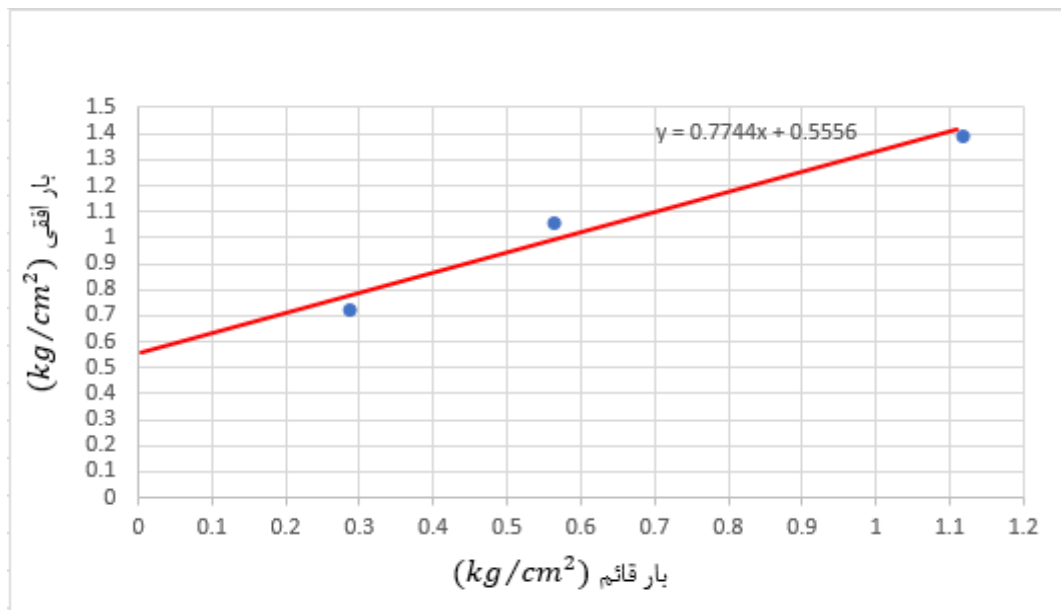
- جدول شماره (۳-۳ و ۴-۳) و شکل (۳-۶) نتایج تست یک روزه بدون افزودنی را نشان می دهد.

جدول (۳-۳) - جدول تست برش مستقیم یک روزه بدون افزودنی

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
یک روزه بدون افزودنی	۱	۰/۲۷۸	۰/۷۸۹	۰/۶۴۷۶	۳۵/۲۸	۰/۵۵۶	۳۷/۷۵
		۰/۵۵۶	۱/۱۲۴				
		۱/۱۱۱	۱/۴۰۶				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۶۹	۰/۴۹۶۱	۳۹/۰۳	۰/۵۵۶	۳۷/۷۵
		۰/۵۵۶	۰/۹۹۴				
		۱/۱۱۱	۱/۳۸۱				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۶۹	۰/۵۲۲	۳۸/۸۸	۰/۵۵۶	۳۷/۷۵
		۰/۵۵۶	۱/۰۵۵				
		۱/۱۱۱	۱/۳۹				

جدول (۴-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک روزه بدون افزودنی

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
یک روزه بدون افزودنی	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۷۲۳	۰/۵۵۶	۳۷/۷۵
		۰/۵۵۶	۱/۰۵۸		
		۱/۱۱۱	۱/۳۹۲		



شکل (۹-۳) - نمودار پوش گسیختگی نمونه یک روزه بدون افزودنی

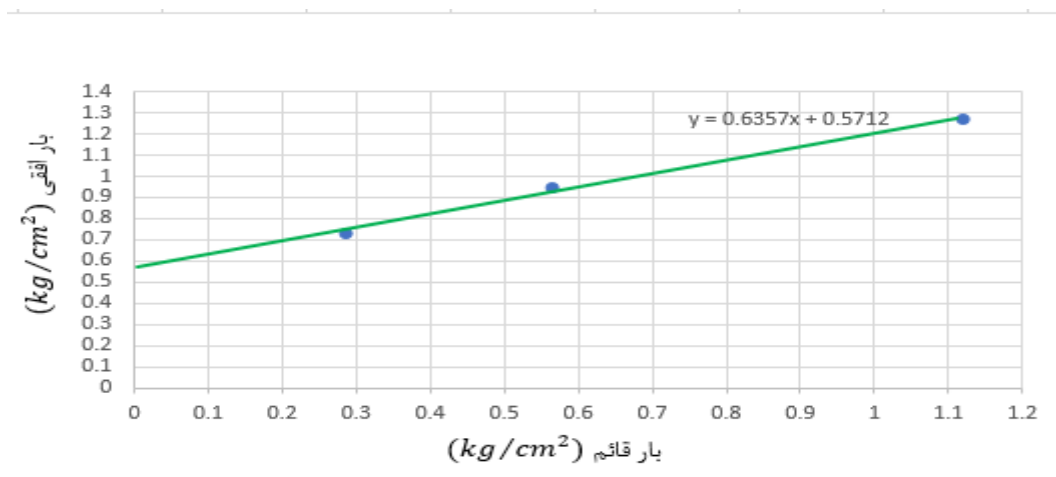
- جدول شماره (۳-۵ و ۳-۶) و شکل (۳-۷) نتایج تست یک هفته بدون افزودنی را نشان می دهد.

جدول (۳-۵) - جدول تست برش مستقیم یک هفته بدون افزودنی

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
یک هفته بدون افزودنی	۱	۰/۲۷۸	۰/۷	۰/۵۳۴۱	۳۴/۲۱	۰/۵۷۰۶	۳۲/۳۸
		۰/۵۵۶	۰/۹۴۷				
		۱/۱۱۱	۱/۲۷۸				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۷۵۹	۰/۶۳۵۲	۲۷/۹۶	۰/۵۷۰۶	۳۲/۳۸
		۰/۵۵۶	۰/۹۶۶				
		۱/۱۱۱	۱/۲۱۳				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۷۴	۰/۵۴۲۷	۳۴/۹۶	۰/۵۷۰۶	۳۲/۳۸
		۰/۵۵۶	۰/۹۲۷				
		۱/۱۱۱	۱/۳۲۱				

جدول (۳-۶) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک هفته بدون افزودنی

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
یک هفته بدون افزودنی	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۷۳۳	۰/۵۷۱	۳۲/۳۷
		۰/۵۵۶	۰/۹۴۷		
		۱/۱۱۱	۱/۲۷		



شکل (۱۰-۳) - نمودار پوش گسیختگی یک هفته بدون افزودنی

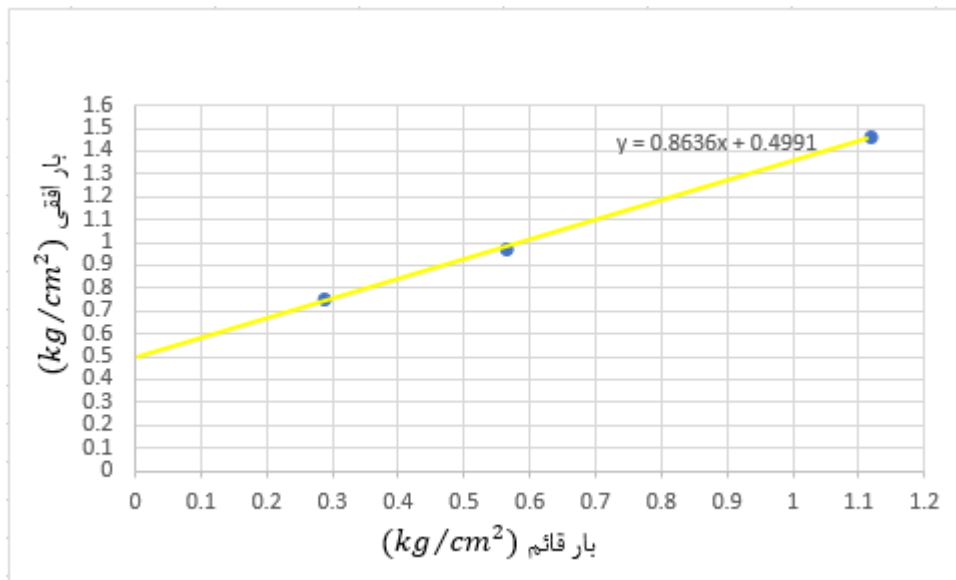
- جدول شماره (۷-۳ و ۸-۳) و شکل (۸-۳) نتایج تست دو هفته بدون افزودنی را نشان می دهد.

جدول (۷-۳) - جدول تست برش مستقیم دو هفته بدون افزودنی

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
دو هفته بدون افزودنی	۱	۰/۲۷۸	۰/۷۸۹	۰/۵۸۶۱	۳۷/۷۴	۰/۴۹۹	۴۰/۸۱
		۰/۵۵۶	۱/۰۳۵				
		۱/۱۱۱	۱/۴۴				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۷۲۶	۰/۴۵۴۶	۴۲/۴۳	۰/۴۹۹	۴۰/۸۱
		۰/۵۵۶	۰/۹۳۷				
		۱/۱۱۱	۱/۴۷۹				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۷۳	۰/۴۵۸۶	۴۱/۹۸	۰/۴۹۹	۴۰/۸۱
		۰/۵۵۶	۰/۹۲۷				
		۱/۱۱۱	۱/۴۶۹				

جدول (۸-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم دو هفته بدون افزودنی

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
دو هفته بدون افزودنی	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۷۴۸	۰/۴۹۹	۴۰/۸۱
		۰/۵۵۶	۰/۹۶۶		
		۱/۱۱۱	۱/۴۶۳		



شکل (۱۱-۳) - نمودار پوش گسیختگی دو هفته بدون افزودنی

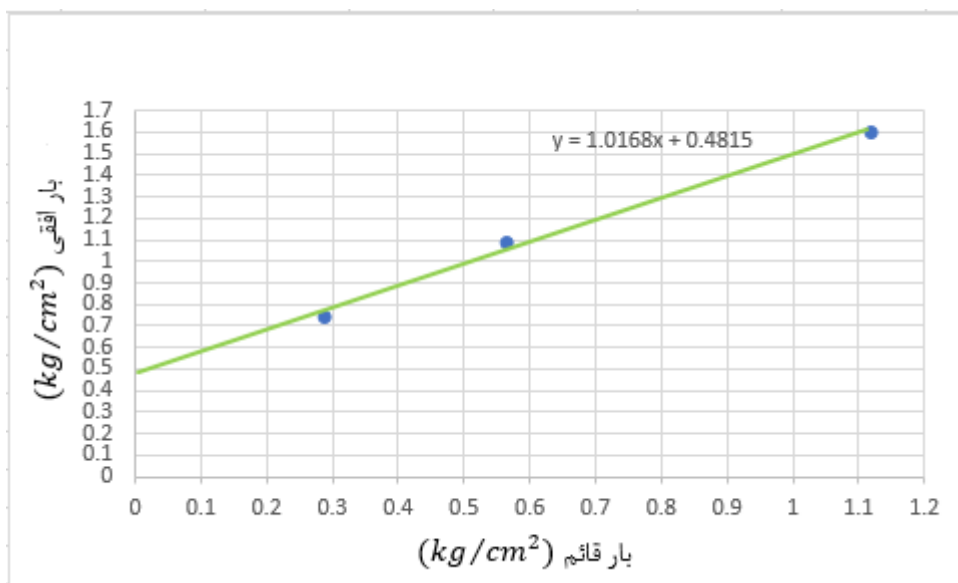
- در جدول شماره ۹-۳ و ۱۰-۳ و شکل (۹-۳) نتایج تست چهار هفته بدون افزودنی نشان داده شده است.

جدول (۹-۳) - جدول تست برش مستقیم چهار هفته بدون افزودنی

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
چهار هفته بدون افزودنی	۱	۰/۲۷۸	۰/۷۴	۰/۴۷۴۵	۴۵/۶۱		
		۰/۵۵۶	۱/۰۷				
		۱/۱۱۱	۱/۶				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۷۹	۰/۵۴۲	۴۳/۵۴	۰/۴۸	۴۵/۴۸
		۰/۵۵۶	۱/۰۹۵				
		۱/۱۱۱	۱/۵۹				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۶۹	۰/۳۶۵۴	۵۰/۴۸		
		۰/۵۵۶	۱/۰۸۵				
		۱/۱۱۱	۱/۶۰۷				

جدول (۱۰-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم چهار هفته بدون افزودنی

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
چهار هفته بدون افزودنی	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۷۴	۰/۴۸	۴۵/۴۸
		۰/۵۵۶	۱/۰۸۳		
		۱/۱۱۱	۱/۵۹۹		



شکل (۳-۱۲) - نمودار پوش گسیختگی چهار هفته بدون افزودنی

با توجه به نتایج تست های برش مستقیم مربوط به نمونه های بدون افزودنی، تغییراتی در مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی، طی دوره های زمانی مختلف مشاهده می گردد. که از جمله دلایل این مساله می توان خطای آزمایشگاهی و تغییرات رطوبت نمونه های تهیه شده طی این دوره های زمانی را نام برد.

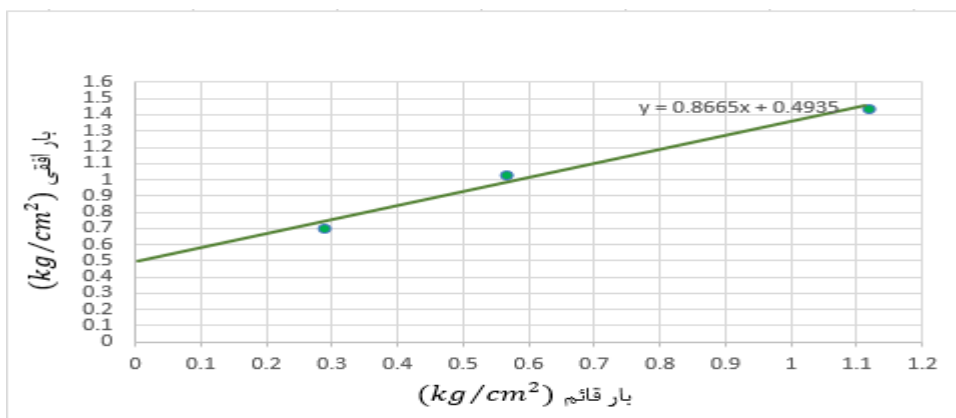
- در جدول شماره (۳-۱۱ و ۳-۱۲) و شکل (۳-۱۰) نتایج تست یک روزه با ۲٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است.

جدول (۱۱-۳) - جدول تست برش مستقیم یک روزه با ۲٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
یک روزه شوینده با ۲٪ آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۶۵۹	۰/۴۰۵	۴۴/۷۳	۰/۴۹۴	۴۰/۷۸
		۰/۵۵۶	۰/۹۸۸				
		۱/۱۱۱	۱/۴۹۵				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۷۲۱	۰/۴۸۷	۴۰/۶۶	۰/۴۹۴	۴۰/۷۸
		۰/۵۵۶	۰/۹۶۳				
		۱/۱۱۱	۱/۴۳۷				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۷۱۳	۰/۵۹۱	۳۶/۹۴	۰/۴۹۴	۴۰/۷۸
		۰/۵۵۶	۱/۱۴				
		۱/۱۱۱	۱/۳۸۳				

جدول (۱۲-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک روزه با ۲٪ شوینده آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
یک روزه با ۲٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۶۹۸	۰/۴۹۴	۴۰/۹
		۰/۵۵۶	۱/۰۳		
		۱/۱۱۱	۱/۴۳۸		



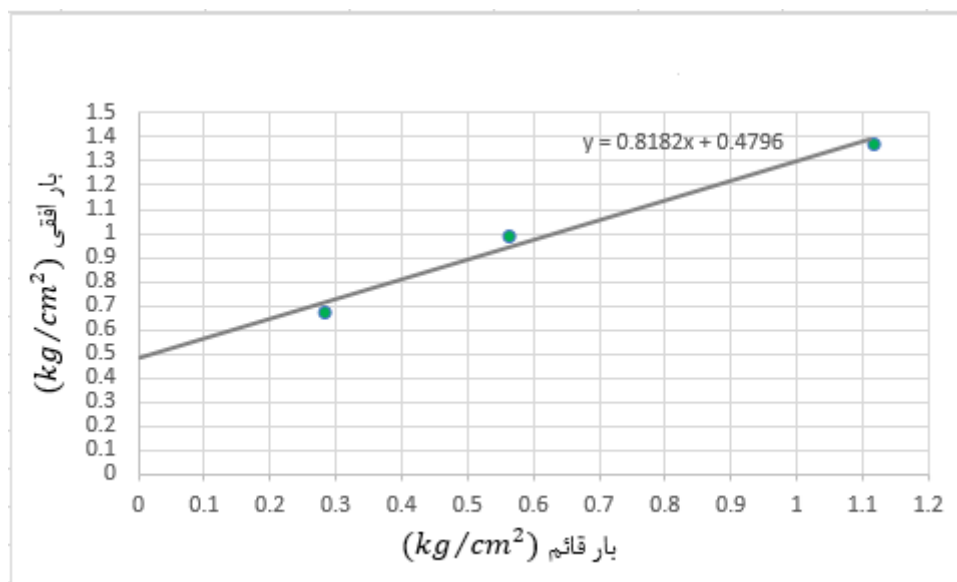
شکل (۳-۱۳) - نمودار پوش گسیختگی یک روزه با ۲٪ شوینده آنزیم دار
 - در جدول شماره (۳-۱۳ و ۳-۱۴) و شکل (۳-۱۱) نتایج تست یک هفته با ۲٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است.

جدول (۳-۱۳) - جدول تست برش مستقیم یک هفته با ۲٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
یک هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۶۹۷	۰/۴۸۶	۳۸/۵۵	۰/۴۸	۳۹/۲۷
		۰/۵۵۶	۰/۹۴۵				
		۱/۱۱۱	۱/۳۶۶				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۶۷۵	۰/۵۲۷	۳۷/۱۳	۰/۴۸	۳۹/۲۷
		۰/۵۵۶	۱/۰۴۲				
		۱/۱۱۱	۱/۳۳۷				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۶۳۸	۰/۴۲۵۵	۴۲/۱۴	۰/۴۸	۳۹/۲۷
		۰/۵۵۶	۰/۹۸۳				
		۱/۱۱۱	۱/۴۰۷				

جدول (۳-۱۴) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
یک هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۶۷	۰/۴۸	۳۹/۳
		۰/۵۵۶	۰/۹۹		
		۱/۱۱۱	۱/۳۷		



شکل (۳-۱۴) - نمودار پوش گسیختگی یک هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار

تغییرات اندکی در مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی نمونه های یک هفته نسبت به نمونه های یک روزه دارای ۲٪ شوینده قابل مشاهده است.

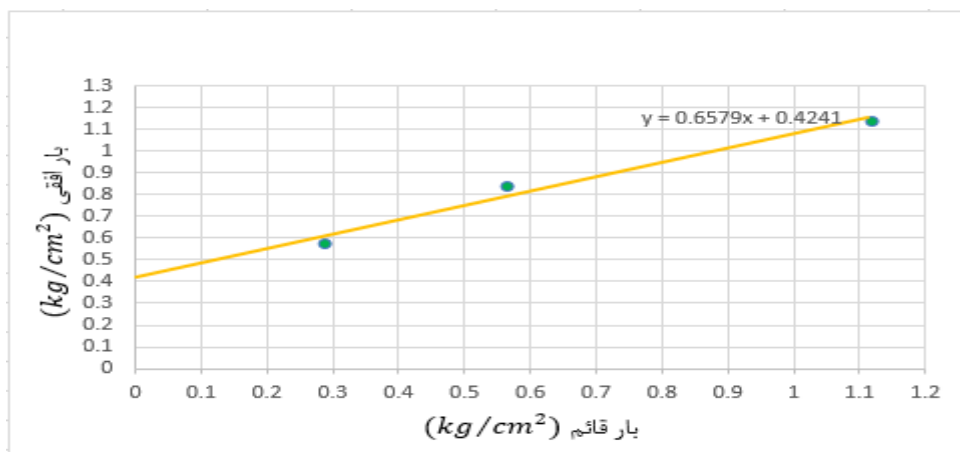
- در جدول شماره (۳-۱۵ و ۳-۱۶) و شکل (۳-۱۲) نتایج تست دو هفته با ۲٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است. که در این جداول کاهش چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی نسبت به نمونه های بدون افزودنی مشهود است.

جدول (۱۵-۳) - جدول تست برش مستقیم دو هفته با ۲٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
دو هفته شوینده ۲٪ آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۶۱۷	۰/۴۸	۲۸/۳۹	۰/۴۲۴	۳۳/۱۸
		۰/۵۵۶	۰/۸۰۱				
		۱/۱۱۱	۱/۰۷۴				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۵۳۷	۰/۳۷۶	۳۶/۸۵		
		۰/۵۵۶	۰/۸۶۴				
		۱/۱۱۱	۱/۱۸۵				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۵۷۱	۰/۴۱۷	۳۴/۳		
		۰/۵۵۶	۰/۸۴۹				
		۱/۱۱۱	۱/۱۵۷				

جدول (۱۶-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم دو هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
دو هفته ۲٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۵۷۵	۰/۴۲۴	۳۳/۳۴
		۰/۵۵۶	۰/۸۳۸		
		۱/۱۱۱	۱/۱۳۹		



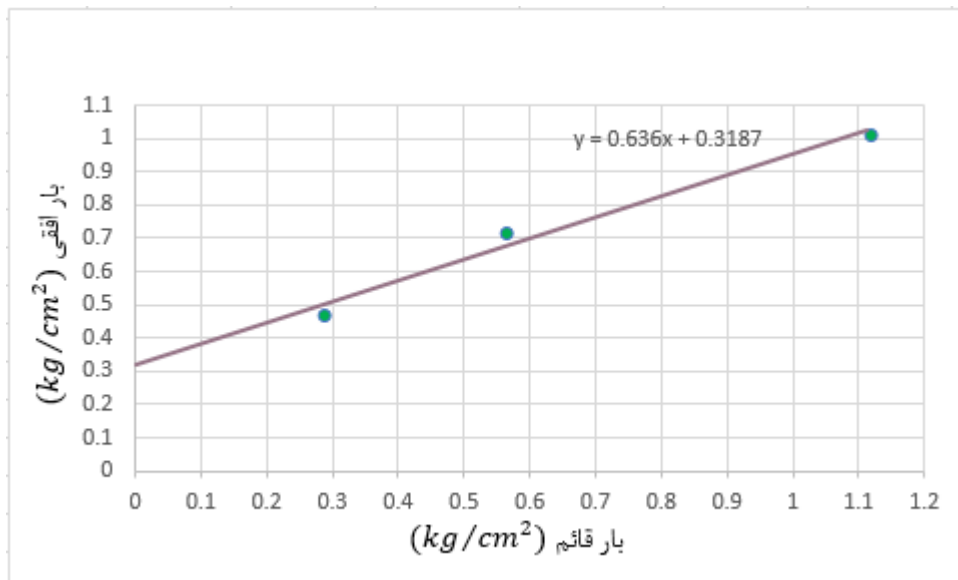
شکل (۳-۱۵) - نمودار پوش گسیختگی دو هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار - در جدول شماره (۳-۱۷ و ۳-۱۸) و شکل (۳-۱۳) نتایج تست چهار هفته با ۲٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است.

جدول (۳-۱۷) - جدول تست برش مستقیم چهار هفته با ۲٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
چهار هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۴۶۵	۰/۳۰۱	۳۴/۷	۰/۳۱۹	۳۲/۳
		۰/۵۵۶	۰/۷۲۸				
		۱/۱۱۱	۱/۰۵۶				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۴۹۴	۰/۳۳۹	۳۰/۱۹		
		۰/۵۵۶	۰/۶۷۳				
		۱/۱۱۱	۰/۹۸۲				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۴۴۸	۰/۳۱۶	۳۲/۳۶		
		۰/۵۵۶	۰/۷۳۵				
		۱/۱۱۱	۰/۹۹۸				

جدول (۳-۱۸) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم چهار هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
چهار هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۴۶۹	۰/۳۱۹	۳۲/۵۸
		۰/۵۵۶	۰/۷۱۲		
		۱/۱۱۱	۱/۰۱۲		



شکل (۳-۱۶) - نمودار پوش گسیختگی چهار هفته با ۲٪ شوینده آنزیم دار

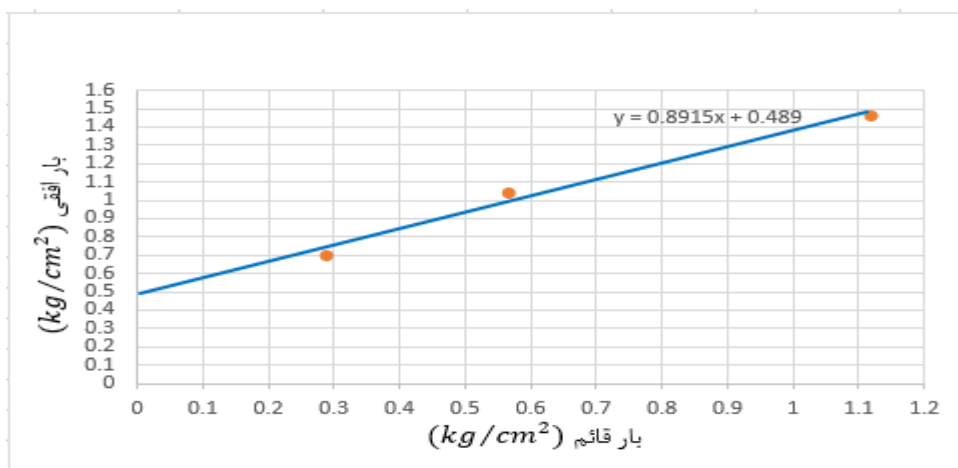
- در جدول شماره (۳-۱۹ و ۳-۲۰) و نمودار (۳-۱۴) نتایج تست یک روزه با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است.

جدول (۳-۱۹) - جدول تست برش مستقیم یک روزه با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
یک روزه با ۳٪ شوینده آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۷	۰/۴۹۱۹	۴۵/۵۹	۰/۴۹	۴۱/۷۲
		۰/۵۵۶	۱/۱۷۳				
		۱/۱۱۱	۱/۵۸۸				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۷۶۹	۰/۵۴۶۶	۳۸/۴۶	۰/۴۹	۴۱/۷۲
		۰/۵۵۶	۰/۹۸۶				
		۱/۱۱۱	۱/۴۳				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۶۲۱	۰/۴۱۹	۴۱	۰/۴۹	۴۱/۷۲
		۰/۵۵۶	۰/۹۶۲				
		۱/۱۱۱	۱/۳۶۵				

جدول (۳-۲۰) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک روزه با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
یک روزه با ۳٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۷	۰/۴۹	۴۱/۷۲
		۰/۵۵۶	۱/۰۴		
		۱/۱۱۱	۱/۴۶۱		



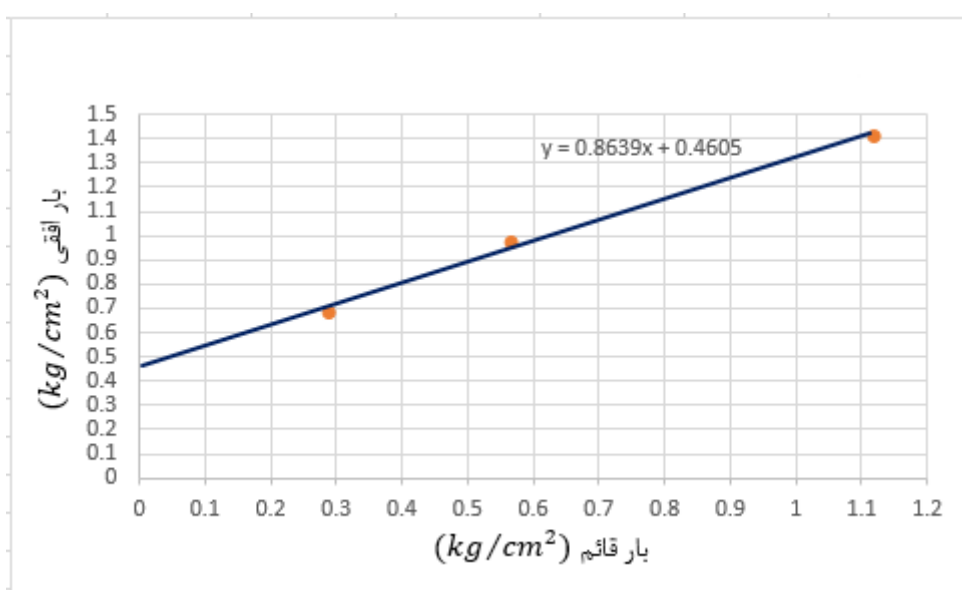
شکل (۳-۱۴) - نمودار پوش گسیختگی نمونه ی یک روزه با ۳٪ شوینده آنزیم دار - در جدول شماره (۳-۲۱ و ۳-۲۲) و شکل (۳-۱۵) نتایج تست یک هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است.

جدول (۳-۲۱) - جدول تست برش مستقیم یک هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
یک هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۷	۰/۵۰۷۱	۳۸/۶۵	۰/۴۶	۴۰/۸۲
		۰/۵۵۶	۰/۹۹۶				
		۱/۱۱۱	۱/۳۸۱				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۶۹	۰/۴۱۸۵	۴۳/۲۶	۰/۴۶	۴۰/۸۲
		۰/۵۵۶	۰/۹۲۷				
		۱/۱۱۱	۱/۴۶۹				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۶۴	۰/۴۴۵	۴۰/۷۸	۰/۴۶	۴۰/۸۲
		۰/۵۵۶	۰/۹۹۲				
		۱/۱۱۱	۱/۳۸۱				

جدول (۳-۲۲) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
یک هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۶۸	۰/۴۶	۴۰/۸۲
		۰/۵۵۶	۰/۹۷۲		
		۱/۱۱۱	۱/۴۱		



شکل (۳-۱۵) - نمودار پوش گسیختگی نمونه ی یک هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار

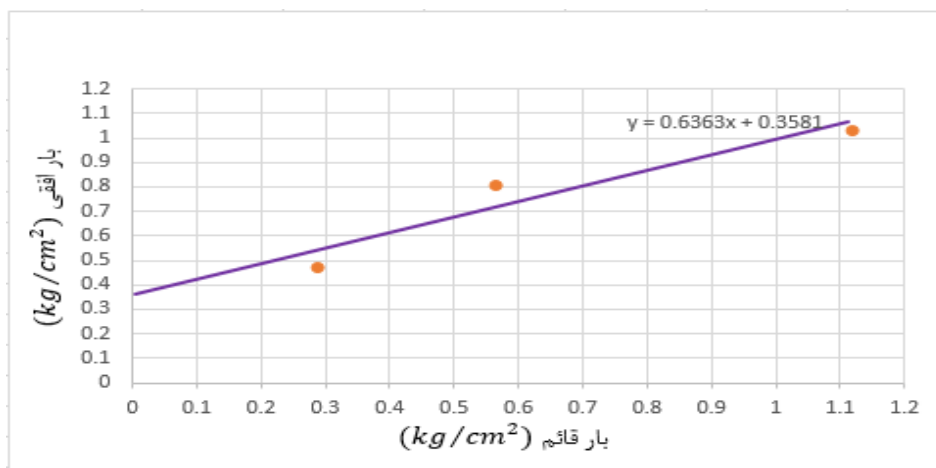
- در جدول شماره (۳-۲۳ و ۳-۲۴) و شکل (۳-۱۶) نتایج تست دو هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است.

جدول (۳-۲۳) - جدول تست برش مستقیم دو هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
دو هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۴۷۹	۰/۳۰۱۱	۳۷/۲۱	۰/۳۵۸	۳۲/۴۷
		۰/۵۵۶	۰/۷۷۳				
		۱/۱۱۱	۱/۱۲۸				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۵۲۹	۰/۴۶۱۷	۲۷/۷۲	۰/۳۵۸	۳۲/۴۷
		۰/۵۵۶	۰/۸۷۲				
		۱/۱۱۱	۱/۰۰۶				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۴۰۴	۰/۳۱۰۱	۳۲/۰۷	۰/۳۵۸	۳۲/۴۷
		۰/۵۵۶	۰/۷۷۹				
		۱/۱۱۱	۰/۹۶۶				

جدول (۳-۲۴) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم دو هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
دو هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۴۷۱	۰/۳۵۸	۳۲/۴۷
		۰/۵۵۶	۰/۸۰۸		
		۱/۱۱۱	۱/۰۳۳		



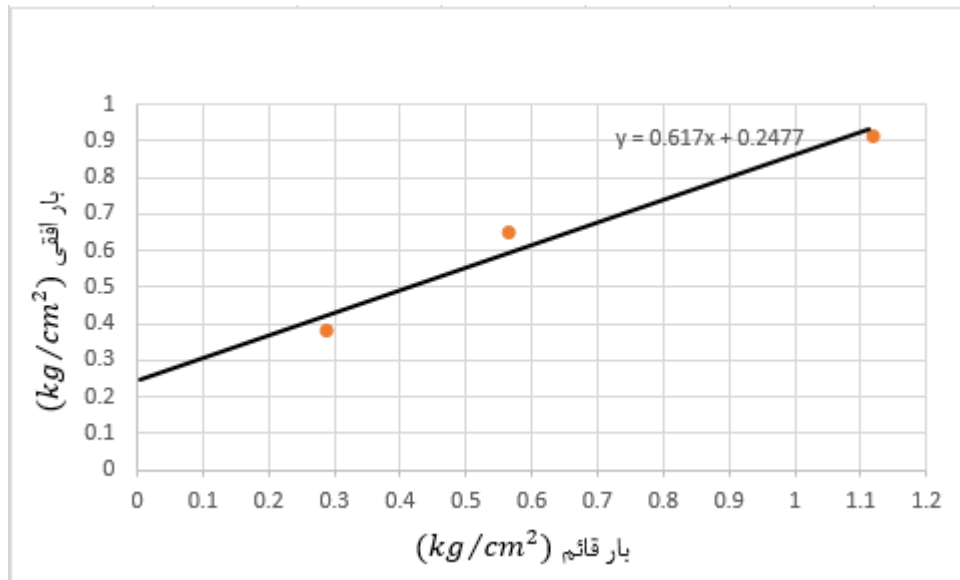
شکل (۳-۱۶) - نمودار پوش گسیختگی نمونه ی دو هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار
 - در جدول شماره (۳-۲۵ و ۳-۲۶) و شکل (۳-۱۷) نتایج تست چهار هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است.

جدول (۳-۲۵) - جدول تست برش مستقیم چهار هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
چهار هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۳۶۵	۰/۲۵۸۲	۳۰/۰۶	۰/۲۴۸	۳۱/۶۷
		۰/۵۵۶	۰/۶۶۱				
		۱/۱۱۱	۰/۸۷۴				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۴۱۴	۰/۲۸۵۲	۳۱/۱۵	۰/۲۴۸	۳۱/۶۷
		۰/۵۵۶	۰/۶۸				
		۱/۱۱۱	۰/۹۳۷				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۳۶۵	۰/۲۰۰۱	۳۳/۷۱	۰/۲۴۸	۳۱/۶۷
		۰/۵۵۶	۰/۶۰۲				
		۱/۱۱۱	۰/۹۳۱				

جدول (۲۶-۳) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم چهار هفته با ۳٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
چهار هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۳۸۱	۰/۲۴۸	۳۱/۶۷
		۰/۱۵۵۶	۰/۶۴۸		
		۱/۱۱۱	۰/۹۱۴		



شکل (۲۰-۳) - نمودار پوش گسیختگی نمونه ی چهار هفته با ۳٪ شوینده آنزیم دار

برای نمونه های دارای ۳٪ شوینده در دوره ی زمانی چهار هفته افت چسبندگی بسیار محسوسی مشاهده می شود که باتوجه به شکل (۱۷-۳) میزان چسبندگی خاک ۰/۲۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدست آمده است.

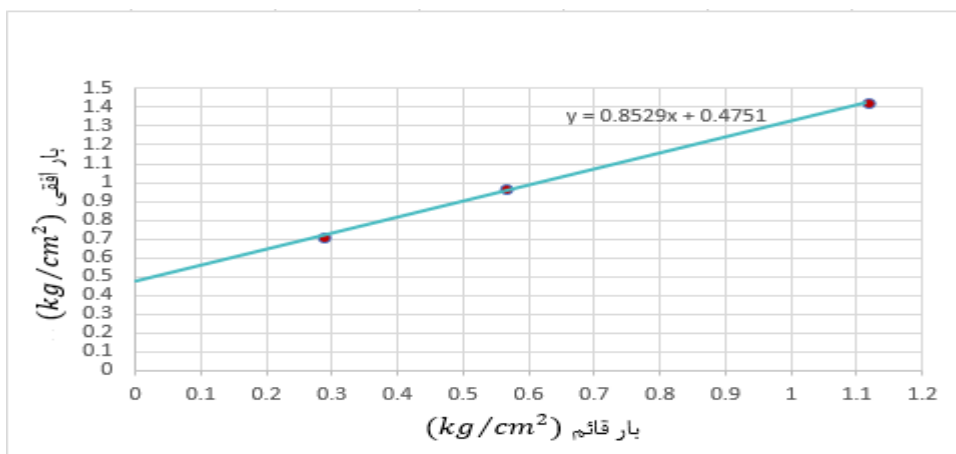
- در جدول شماره (۲۷-۳ و ۲۸-۳) و شکل (۱۸-۳) نتایج تست یک روزه با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است.

جدول (۳-۲۷) - جدول تست برش مستقیم یک روزه با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
یک روزه با ۴٪ شوینده آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۷۶۸	۰/۵۰۹	۴۰/۱۷	۰/۴۷۵	۴۰/۴۶
		۰/۱۵۵۶	۰/۹۴۲				
		۱/۱۱۱	۱/۴۵۹				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۶۵۹	۰/۴۵۱	۴۱/۰۴	۰/۴۷۵	۴۰/۴۶
		۰/۱۵۵۶	۰/۹۸۶				
		۱/۱۱۱	۱/۴۰۱				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۶۸۸	۰/۴۶۵	۴۰/۱۷	۰/۴۷۵	۴۰/۴۶
		۰/۱۵۵۶	۰/۹۵۲				
		۱/۱۱۱	۱/۳۹۷				

جدول (۳-۲۸) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک روزه با ۴٪ شوینده آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
یک روزه با ۴٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۷۰۵	۰/۴۷۵	۴۰/۴۶
		۰/۱۵۵۶	۰/۹۶		
		۱/۱۱۱	۱/۴۱۹		



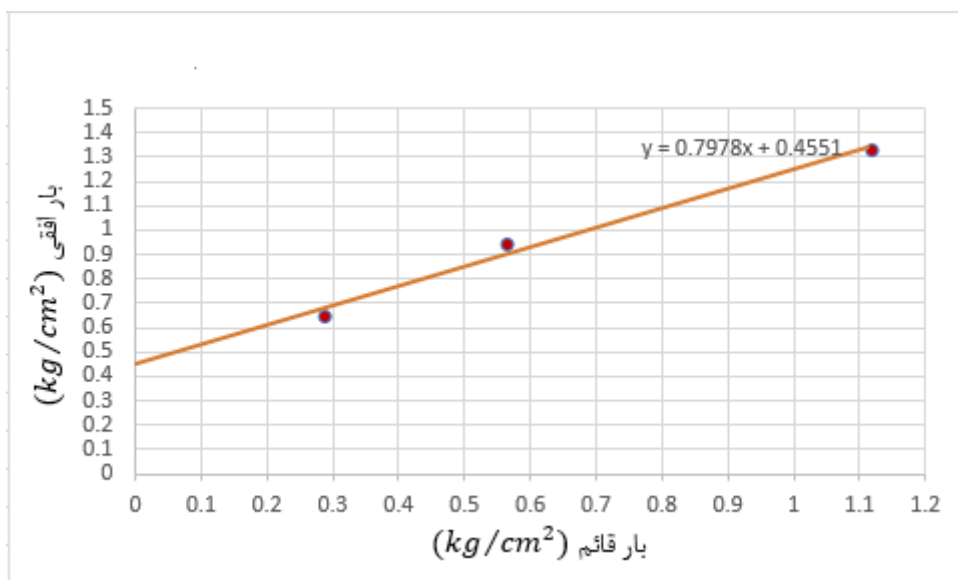
شکل (۳-۲۱) - نمودار پوش گسیختگی یک روزه با ۴٪ شوینده آنزیم دار
 - در جدول شماره (۳-۲۹ و ۳-۳۰) و نمودار (۳-۱۹) نتایج تست یک هفته با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است.

جدول (۳-۲۹) - جدول تست برش مستقیم یک هفته با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
یک هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۶۳۷	۰/۴۴۳	۳۹/۷	۰/۴۶	۳۸/۱۳
		۰/۵۵۶	۰/۹۶۱				
		۱/۱۱۱	۱/۳۴۷				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۶۷۴	۰/۴۹	۳۶/۲۲	۰/۴۶	۳۸/۱۳
		۰/۵۵۶	۰/۹۲۷				
		۱/۱۱۱	۱/۲۹۴				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۶۴۱	۰/۴۴۷	۳۸/۴۶	۰/۴۶	۳۸/۱۳
		۰/۵۵۶	۰/۹۲۹				
		۱/۱۱۱	۱/۳۱۶				

جدول (۳-۳۰) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم یک هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
یک هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۶۵	۰/۴۵۵	۳۸/۵۸
		۰/۵۵۶	۰/۹۳۹		
		۱/۱۱۱	۱/۳۲۸		



شکل (۳-۲۲) - نمودار پوش گسیختگی یک هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار

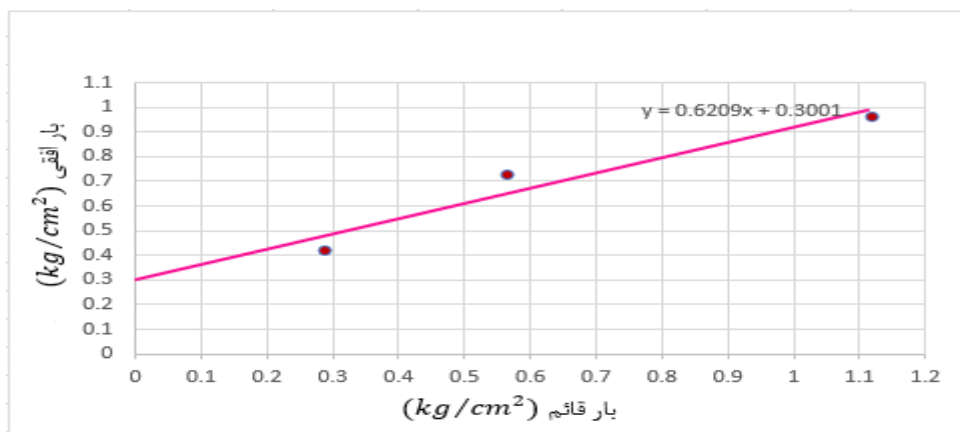
- در جدول شماره (۳-۳۱ و ۳-۳۲) و شکل (۳-۲۰) نتایج تست دو هفته با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است. در جداول و نمودارهای نمونه های ۴٪ نیز افت چسبندگی دیده می شود که با گذشت زمان میزان این کاهش نسبت به نمونه های بدون افزودنی و همچنین نسبت به نمونه های با درصد کمتر شوینده بیشتر می شود و به شکل محسوسی قابل مشاهده است.

جدول (۳-۳۱) - جدول تست برش مستقیم دو هفته با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
دو هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۴۱۱	۰/۳۳۱	۳۰/۶۵	۰/۳۰۴	۳۱/۷۵
		۰/۵۵۶	۰/۷۷۹				
		۱/۱۱۱	۰/۹۵				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۴۳۹	۰/۳۱۲	۳۱/۶۷	۰/۳۰۴	۳۱/۷۵
		۰/۵۵۶	۰/۷۲۲				
		۱/۱۱۱	۰/۹۷۵				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۴۰۱	۰/۲۶۸	۳۲/۹۴	۰/۳۰۴	۳۱/۷۵
		۰/۵۵۶	۰/۶۹۸				
		۱/۱۱۱	۰/۹۶۴				

جدول (۳-۳۲) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم دو هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
دو هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۴۱۹	۰/۳	۳۱/۸۳
		۰/۵۵۶	۰/۷۲۶		
		۱/۱۱۱	۰/۹۶۳		



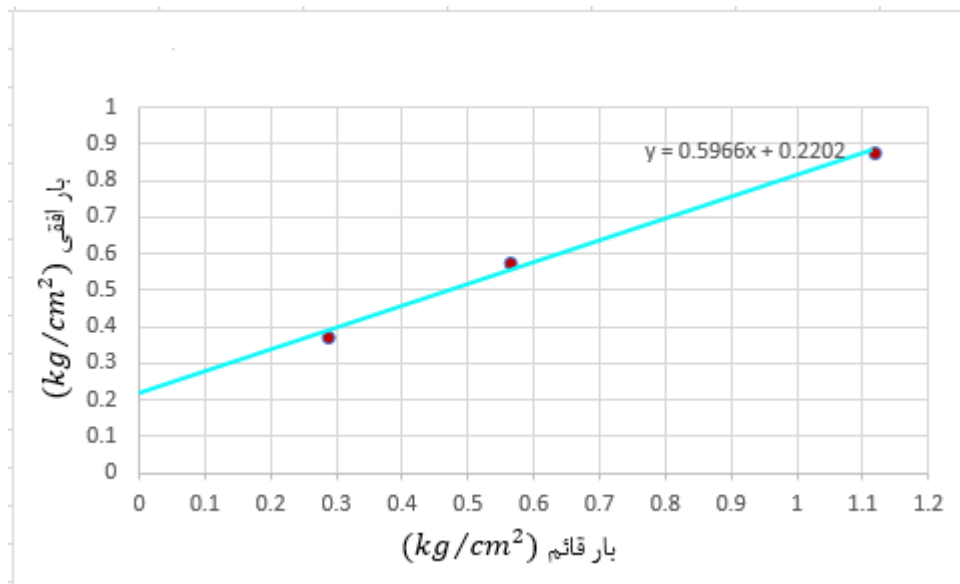
شکل (۳-۲۳) - نمودار پوش گسیختگی دو هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار
 - در جدول شماره (۳-۳۳ و ۳-۳۴) و شکل (۳-۲۱) نتایج تست چهار هفته با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار نشان داده شده است.

جدول (۳-۳۳) - جدول تست برش مستقیم دو هفته با ۴٪ شوینده ی آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی	میانگین چسبندگی (kg/cm^2)	میانگین زاویه اصطکاک داخلی
چهار هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار	۱	۰/۲۷۸	۰/۳۴۷	۰/۱۸۴	۳۲/۹۳	۰/۲۲۱	۳۰/۷۶
		۰/۵۵۶	۰/۵۶۹				
		۱/۱۱۱	۰/۸۹۵				
	۲	۰/۲۷۸	۰/۳۷۲	۰/۲۵۹	۲۹/۳۱	۰/۲۲۱	۳۰/۷۶
		۰/۵۵۶	۰/۶۳۵				
		۱/۱۱۱	۰/۸۶۱				
	۳	۰/۲۷۸	۰/۳۹۸	۰/۲۱۹	۳۰/۰۵	۰/۲۲۱	۳۰/۷۶
		۰/۵۵۶	۰/۵۱۴				
		۱/۱۱۱	۰/۸۷۱				

جدول (۳-۳۴) - جدول مقادیر میانگین تست برش مستقیم چهار هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار

عنوان تست	نمونه	بار قائم (kg/cm^2)	میانگین بیشینه ی تنش (kg/cm^2)	چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
چهار هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار	میانگین	۰/۲۷۸	۰/۳۷۲	۰/۲۲	۳۰/۸۲
		۰/۵۵۶	۰/۵۷۳		
		۱/۱۱۱	۰/۸۷۶		

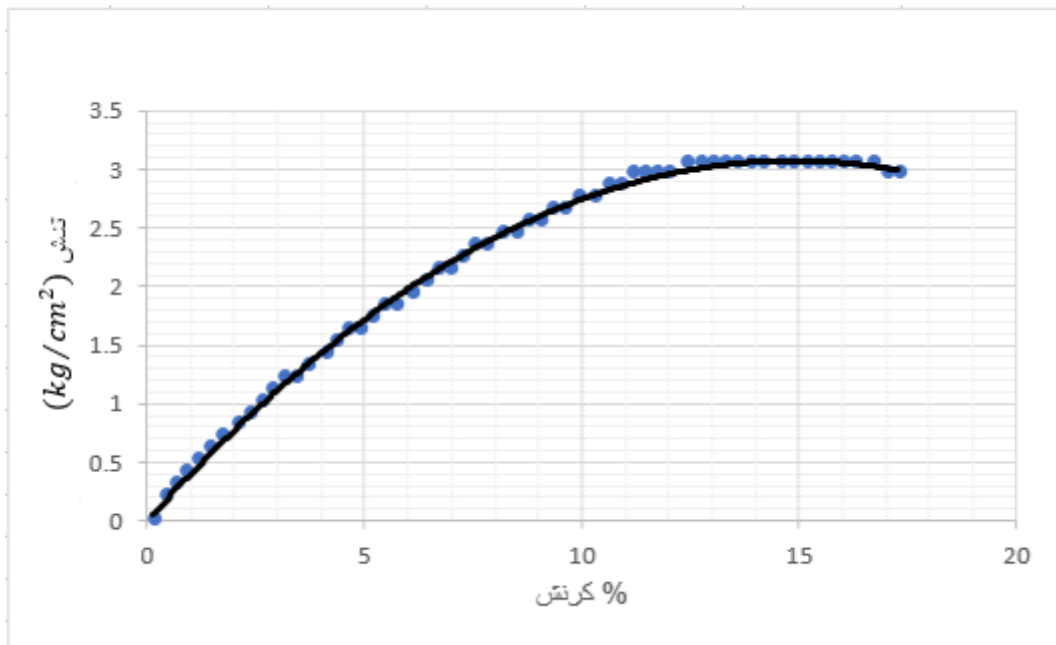


شکل (۳-۲۴) - نمودار پوش گسیختگی چهار هفته با ۴٪ شوینده آنزیم دار

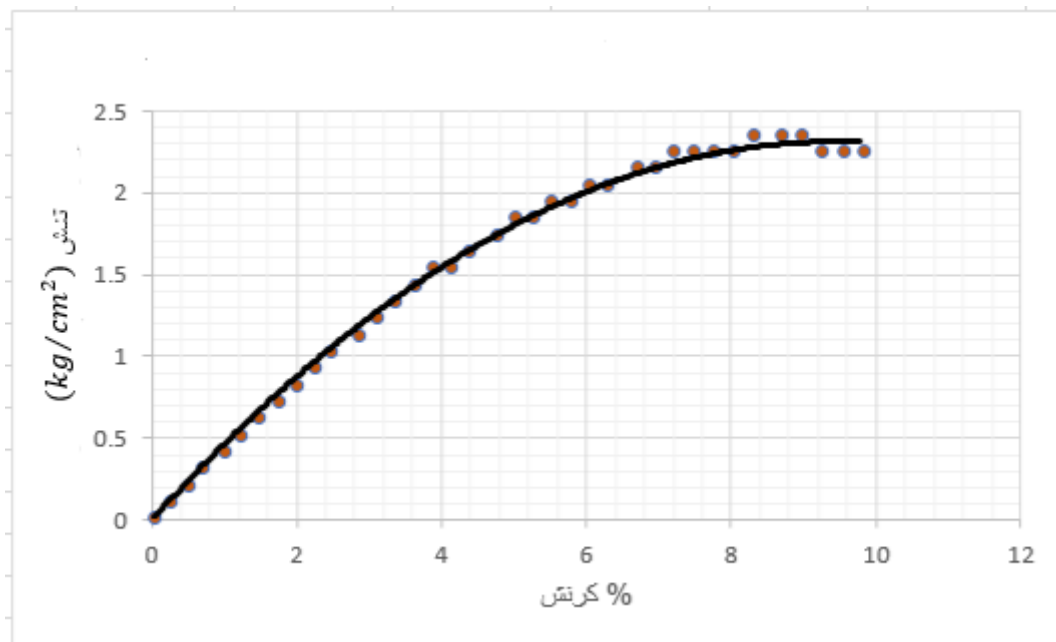
۳-۸- آزمایش فشاری ساده (تک محوری، محصور نشده)

آزمایش فشار تک محوری نوع ویژه ای از آزمایش برش سه محوری است. آزمایش فشار تک محوری، تعیین مقاومت فشاری یک استوانه خاک بدون هیچ بار همه جانبه است. در این آزمایش بار محوری به سرعت به نمونه اعمال می شود تا گسیخته گردد. نصف مقدار تنش حداکثر برابر با مقاومت برشی خاک می باشد. شکل های (۳-۲۲)، (۳-۲۳)، (۳-۲۴) و (۳-۲۵) به ترتیب منحنی های تنش -

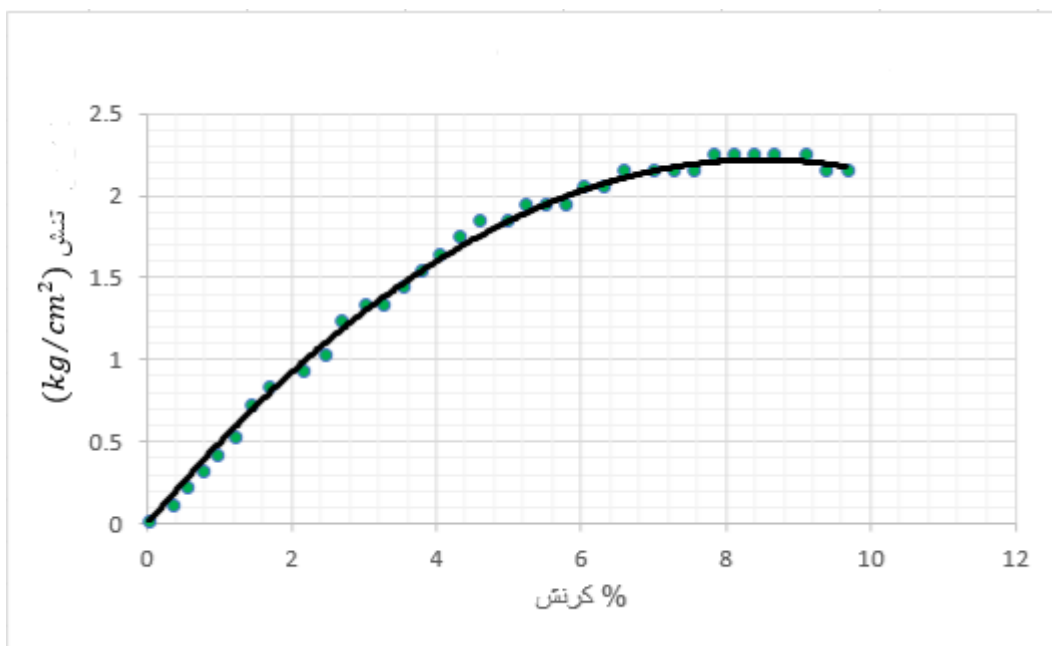
کرنش نمونه های بدون افزودنی، دارای ۲٪ شوینده، دارای ۳٪ شوینده و دارای ۴٪ شوینده که از آزمایش تک محوری بدست آمده است را نشان می دهد.



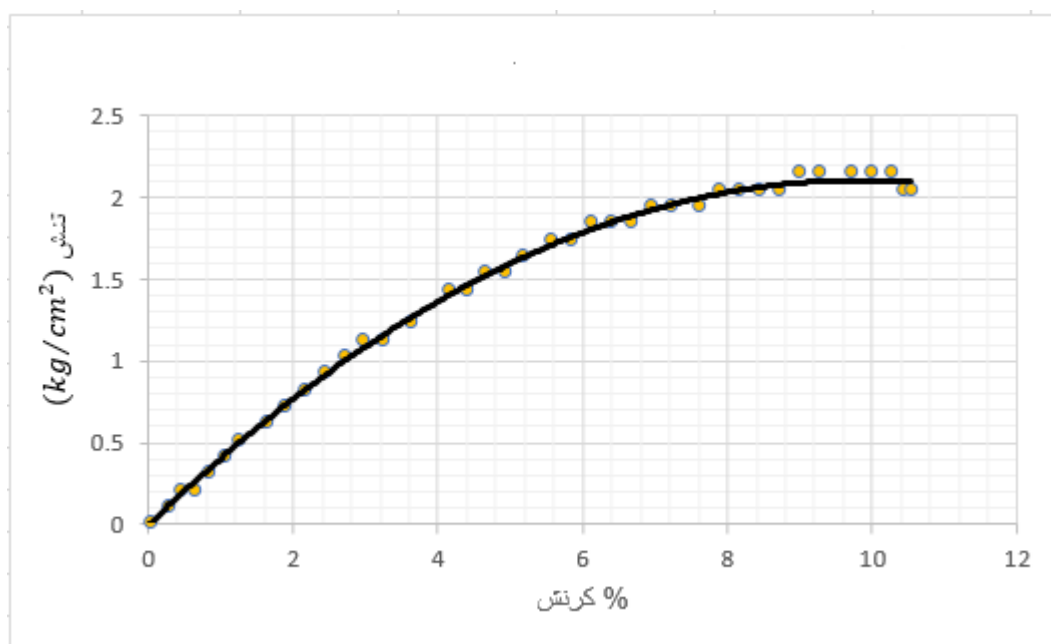
شکل (۳-۲۵) - منحنی تنش - کرنش نمونه بدون افزودنی



شکل (۳-۲۶) - منحنی تنش - کرنش نمونه دارای ۲٪ شوینده آنزیم دار



شکل (۳-۲۷) - منحنی تنش - کرنش نمونه دارای ۳٪ شوینده آنزیم دار



شکل (۳-۲۸) - منحنی تنش - کرنش نمونه دارای ۴٪ شوینده آنزیم دار

در جدول شماره ی (۳-۳۵) مقادیر حداکثر مقاومت فشاری محدود نشده و چسبندگی زهکشی نشده (C_{II}) نشان داده شده است. مشاهده می گردد که با افزایش درصد شوینده آنزیم دار، مقاومت فشاری خاک کاهش یافته است.

جدول (۳-۲۵) - جدول مقادیر بدست آمده از تست تک محوری

نمونه	مقاومت فشاری (kg/cm^2)	چسبندگی زهکشی نشده (kg/cm^2)
بدون افزودنی	۳/۰۶	۱/۵۶
با ۲٪ شوینده	۲/۳۵	۱/۱۸
با ۳٪ شوینده	۲/۲۴	۱/۱۲
با ۴٪ شوینده	۲/۱۴	۱/۰۷

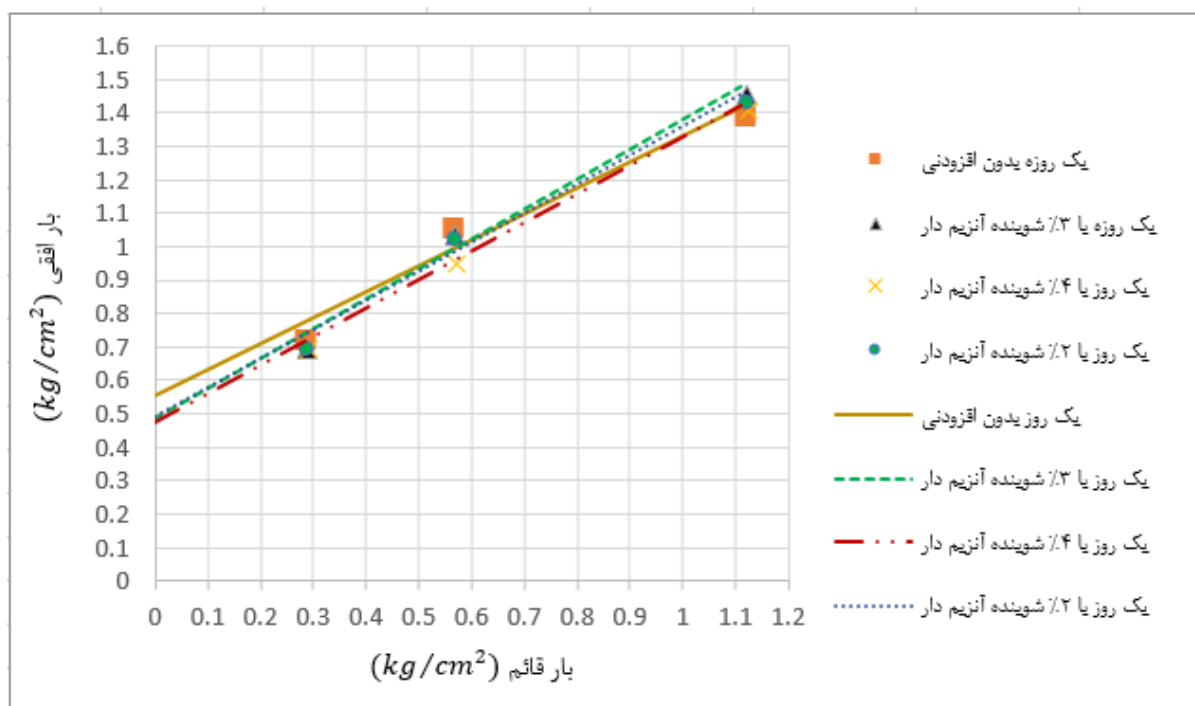
۴- فصل چهارم:

تحليل نتايج آزمائش برش مستقيم

۴-۱- تحلیل نتایج

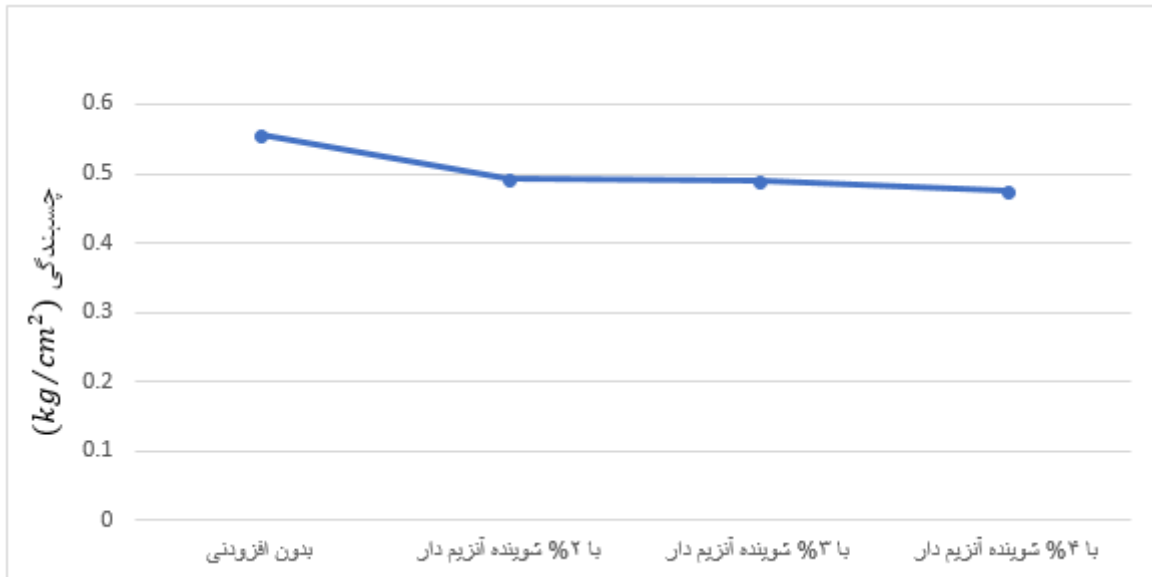
در فصل سوم جداول و نمودار هایی بر طبق آزمایشات برش مستقیم تحت عنوان نتایج آزمایشات برش مستقیم ارائه گردید که در آنها پوش های گسیختگی نمونه های بدون افزودنی و با ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۴٪ شوینده آنزیم دار طی دوره های یک روزه، یک هفته، دو هفته و چهار هفته نشان داده شده است. در این فصل تحلیل این نتایج و روند تغییرات فاکتورهای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مورد بررسی قرار می گیرد.

در شکل شماره (۴-۱) پوش های گسیختگی نمونه های یک روزه مورد مقایسه قرار گرفته اند و مشاهده می گردد که پوش های دارای شوینده تقریباً منطبق بر یکدیگر هستند و تغییرات چندانی نسبت به یک دیگر نداشته اند در حالیکه چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی برای این نمونه ها با تغییرات اندکی نسبت به نمونه ی بدون افزودنی مواجه می باشد.

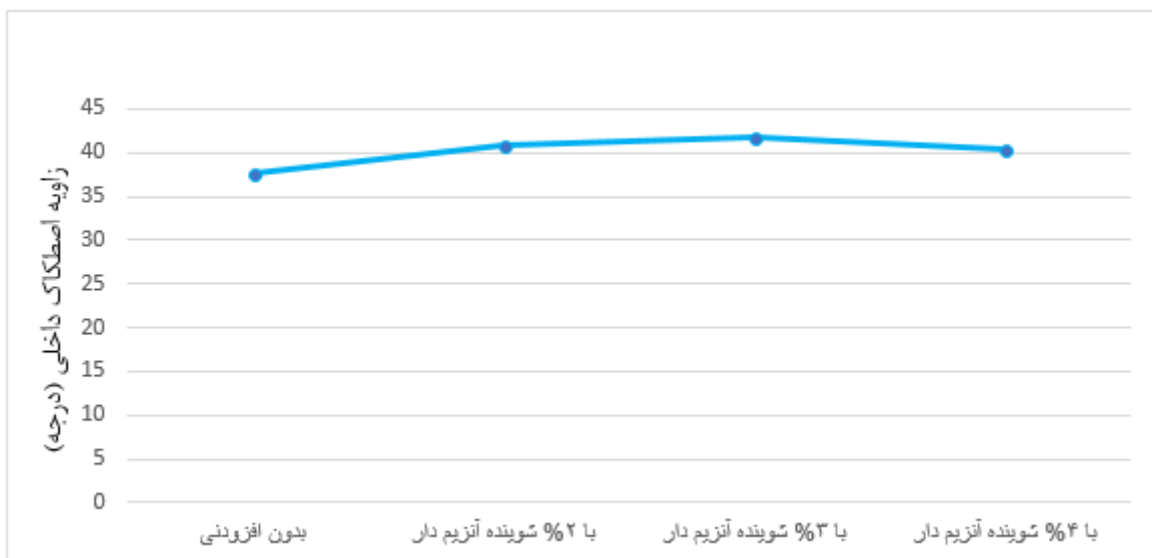


شکل (۴-۱) - نمودار مقایسه پوش های گسیختگی نمونه های یک روزه

روند تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی برای نمونه های یک روزه به ترتیب در نمودارهای (۲-۴) و (۳-۴) قابل مشاهده می باشد.



شکل (۲-۴) - تغییرات چسبندگی برای نمونه یک روزه



شکل (۳-۴) - روند تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در نمونه های یک روزه

با توجه به نمودار نشان داده شده در شکل (۲-۴) مشاهده می شود چسبندگی نمونه های تهیه شده از خاک مورد آزمایش که دارای شوینده می باشند روند کاهشی دارند. چسبندگی نمونه های دارای

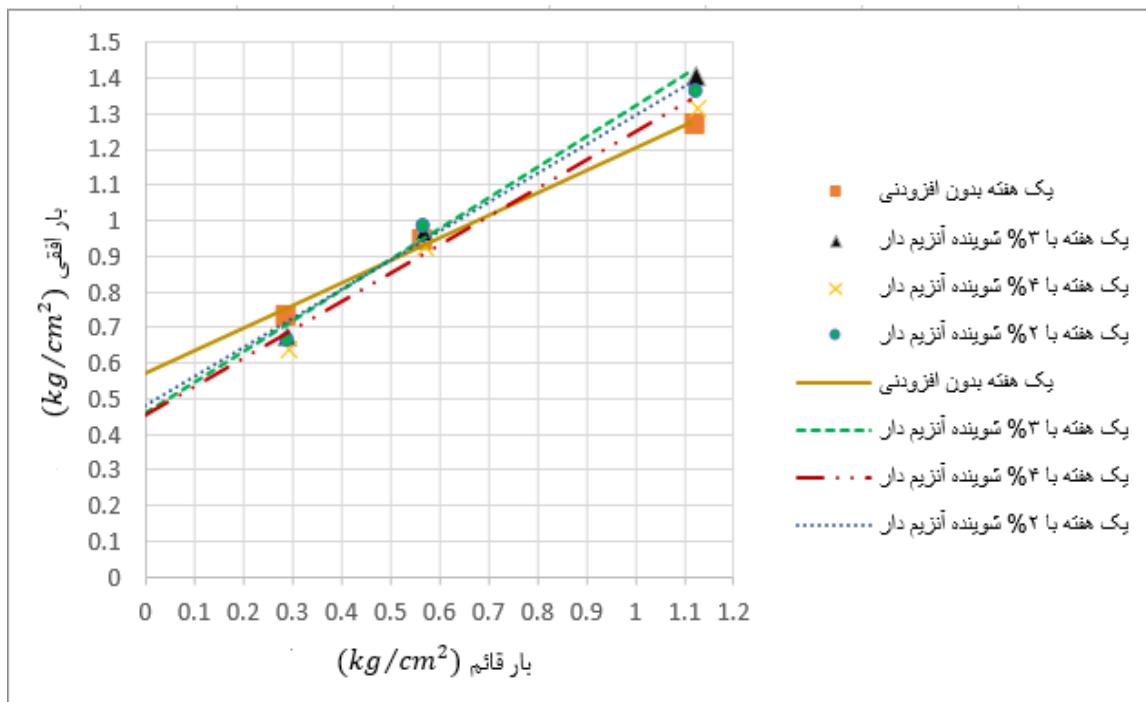
۰.۲٪، ۰.۳٪ و ۰.۴٪ شوینده نسبت به نمونه ی بدون افزودنی به ترتیب ۰.۱۱٪، ۰.۱۲٪ و ۰.۱۴/۵٪ کاهش پیدا کرده است. این در حالی است که زاویه اصطکاک داخلی برای نمونه های آلوده تقریباً ۰.۸٪ افزایش را نسبت به نمونه ی بدون افزودنی نشان می دهد.

در جدول (۱-۴) مقادیر عددی چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی برای نمونه ی یک روزه نشان داده شده است.

جدول (۱-۴) - پارامترهای مقاومت برشی برای نمونه های یک روزه

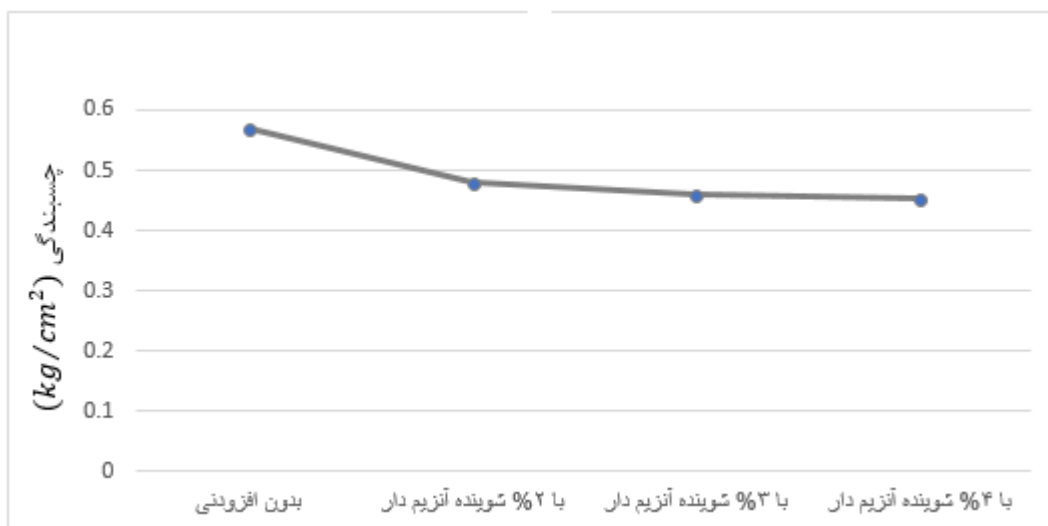
نمونه	چسبندگی خاک (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی خاک (درجه)
بدون افزودنی	۰/۵۵۵۶	۳۷/۷۵
با ۰.۲٪ شوینده آنزیم دار	۰/۴۹۳۵	۴۰/۹
با ۰.۳٪ شوینده آنزیم دار	۰/۴۸۹	۴۱/۷۲
با ۰.۴٪ شوینده آنزیم دار	۰/۴۷۵۱	۴۰/۴۶

در شکل شماره ی (۴-۴) پوش های گسیختگی نمونه های یک هفته مورد مقایسه قرار گرفته اند.

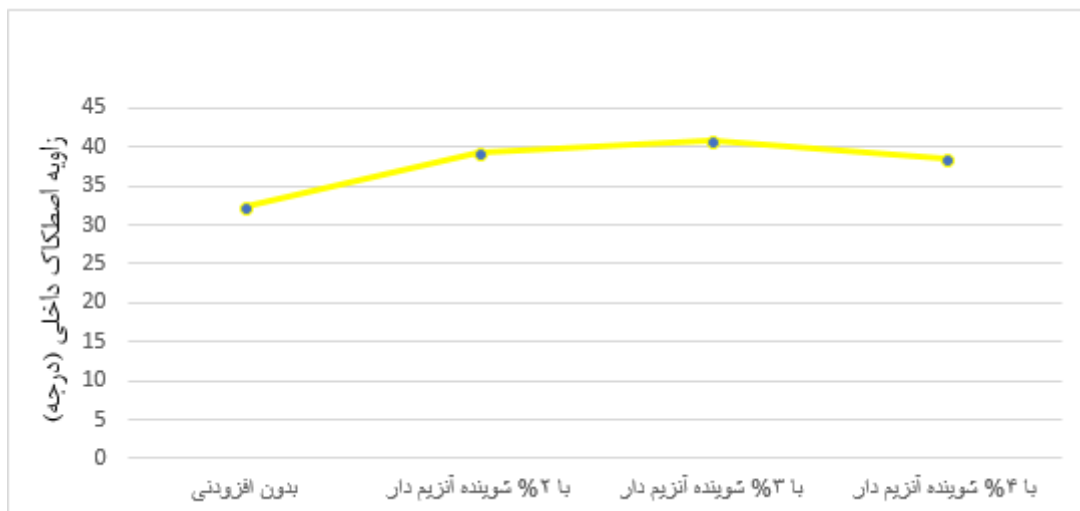


شکل (۴-۴) - نمودار مقایسه پوش های گسیختگی یک هفته

روند تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی برای نمونه های یک هفته به ترتیب در شکل های (۴-۲) و (۴-۳) قابل مشاهده می باشد.



شکل (۴-۵) - روند تغییرات چسبندگی در نمونه های یک هفته



شکل (۴-۶) - روند تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در نمونه های یک هفته

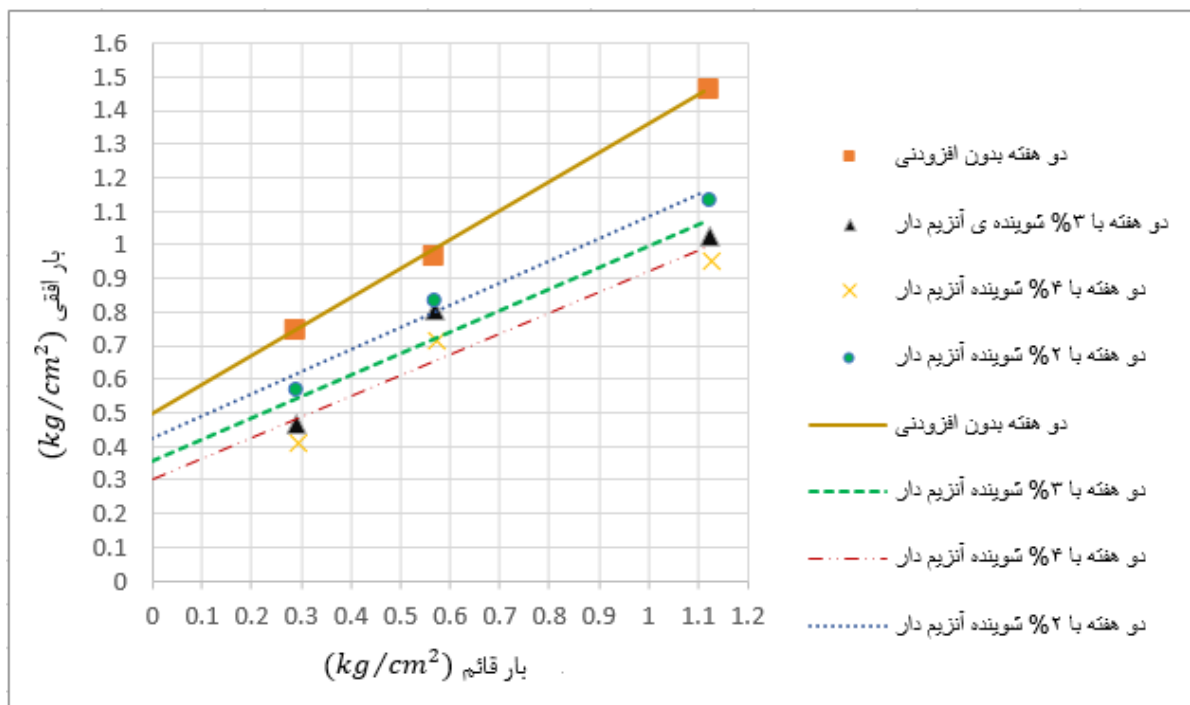
با توجه به نمودار شکل (۴-۵) مشاهده می شود چسبندگی نمونه های تهیه شده از خاک مورد آزمایش که دارای شوینده می باشند به روند کاهشی خود مانند نمونه های یک روزه ادامه داده اند. چسبندگی نمونه های دارای ۲٪، ۳٪ و ۴٪ شوینده نسبت به نمونه ی بدون افزودنی به ترتیب ۱۶٪، ۱۹٪ و ۲۰٪ کاهش پیدا کرده است. با توجه به اعداد بدست آمده مشاهده می گردد که روند کاهش میزان چسبندگی در مدت یک هفته نسبت به یک روز بیشتر بوده است. این در حالی است که زاویه اصطکاک داخلی برای نمونه های آلوده تقریباً ۲۱٪ افزایش را نسبت به نمونه ی بدون افزودنی نشان می دهد.

در جدول (۴-۲) مقادیر عددی چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی برای نمونه ی یک هفته نشان داده شده است.

جدول (۴-۲) - پارامترهای مقاومت برشی برای نمونه های یک هفته

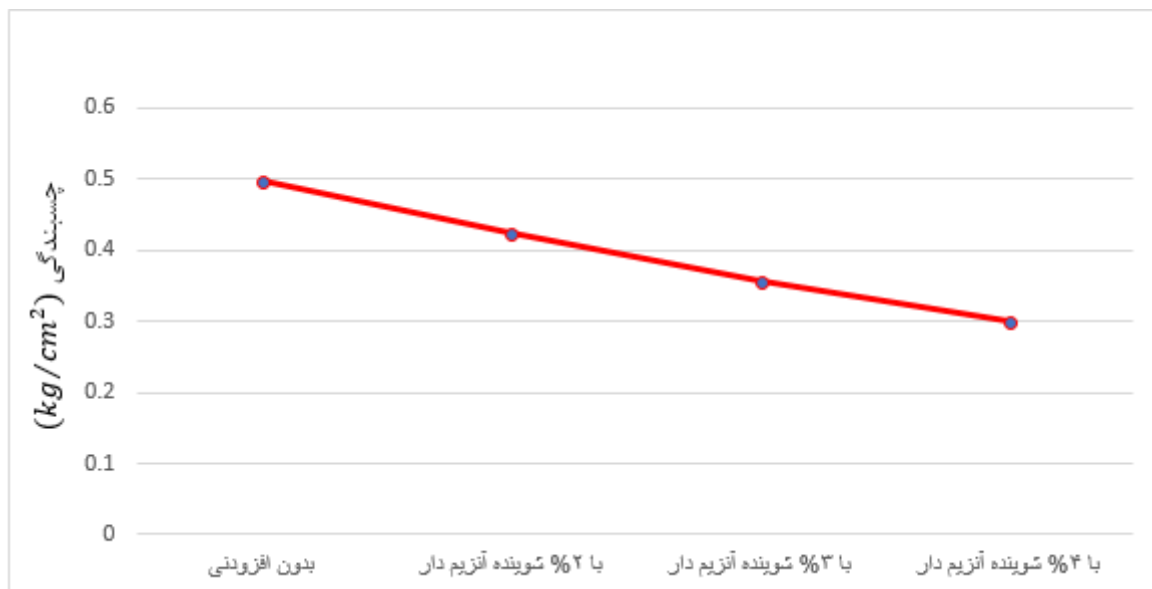
نمونه	چسبندگی خاک (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی خاک (درجه)
بدون افزودنی	۰/۵۷۱۲	۳۲/۳۷
با ۲٪ شوینده آنزیم دار	۰/۴۷۹۶	۳۹/۳
با ۳٪ شوینده آنزیم دار	۰/۴۶۰۵	۴۰/۸۲
با ۴٪ شوینده آنزیم دار	۰/۴۵۵۱	۳۸/۵۸

در شکل شماره ی (۴-۷) پوش های گسیختگی نمونه های دو هفته مورد مقایسه قرار گرفته اند. در این نمودار کاهش مقاومت نمونه های آلوده نسبت به نمونه ی بدون افزودنی به شکل محسوسی قابل مشاهده است.

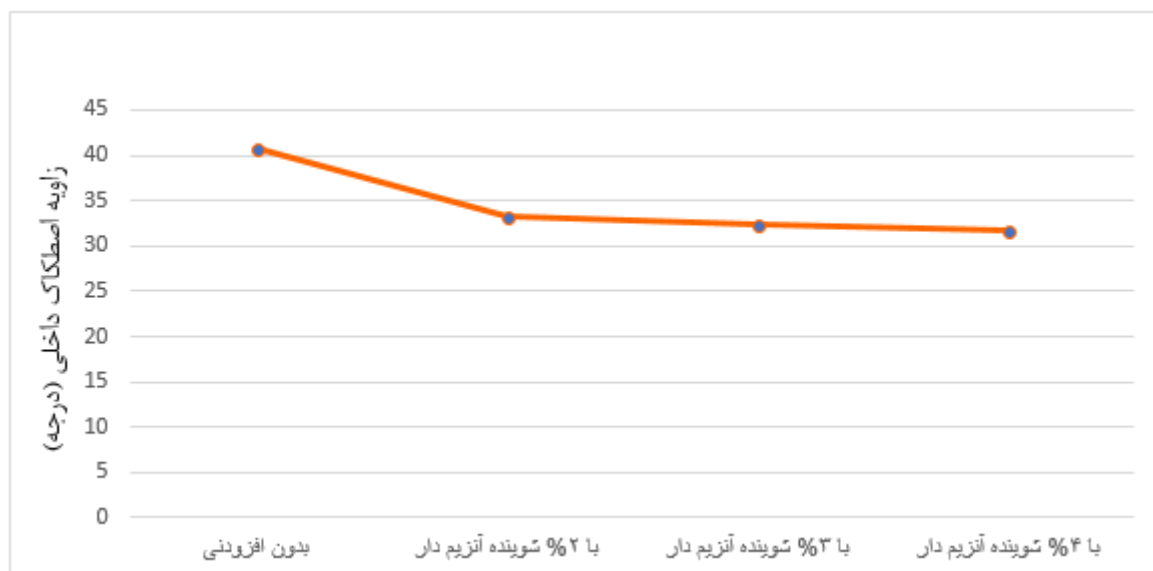


شکل (۴-۷) - نمودار مقایسه پوش های گسیختگی نمونه های دو هفته

روند تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی برای نمونه های دو هفته به ترتیب در شکل های (۸-۴) و (۹-۴) قابل مشاهده می باشد.



شکل (۸-۴) - روند تغییرات چسبندگی در نمونه های دو هفته



شکل (۹-۴) - روند تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در نمونه دو هفته

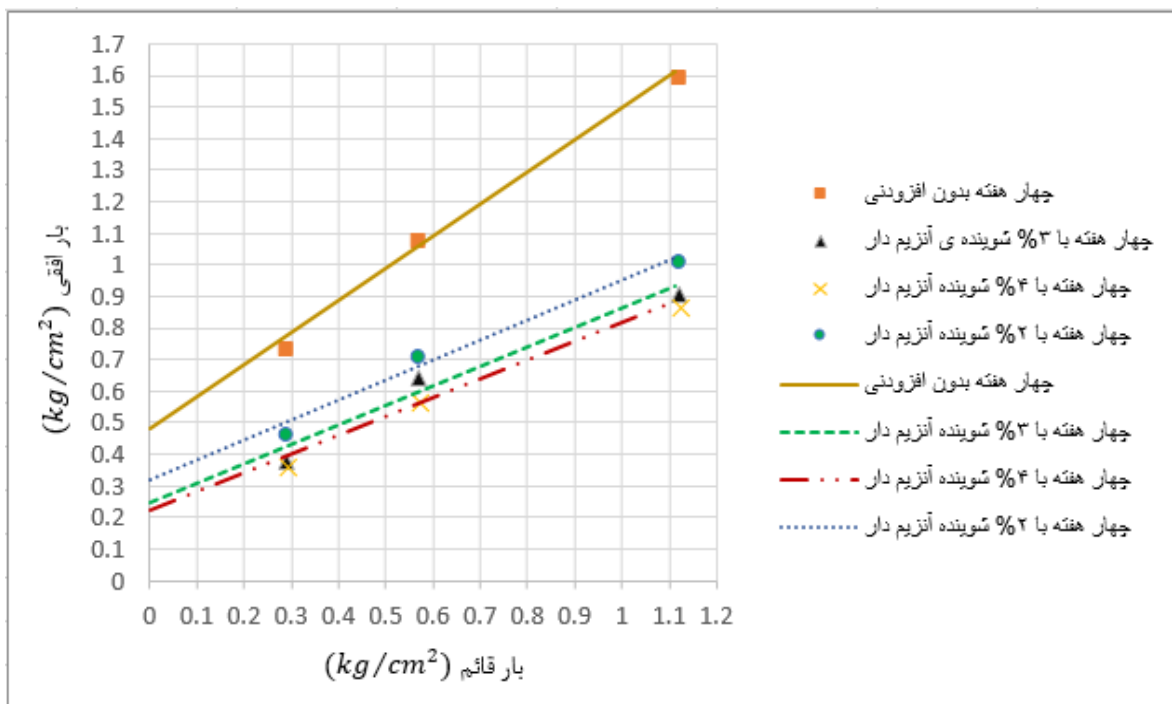
با توجه به شکل (۴-۸) مشاهده می شود چسبندگی نمونه های تهیه شده از خاک مورد آزمایش که دارای شوینده می باشند در هفته دوم نیز به روند کاهش خود ادامه داده اند. چسبندگی نمونه های دارای ۲٪، ۳٪ و ۴٪ شوینده نسبت به نمونه ی بدون افزودنی به ترتیب ۱۵٪، ۲۸٪ و ۴۰٪ کاهش پیدا کرده است. با توجه به اعداد بدست آمده مشاهده می گردد که روند کاهش میزان چسبندگی در مدت دو هفته نسبت به یک روز و یک هفته بیشتر بوده است. همچنین در هفته ی دوم زاویه اصطکاک داخلی در نمونه های آلوده با کاهش محسوسی مواجه بوده است و مقدار آن نسبت به نمونه ی بدون افزودنی در حدود ۲۰٪ کاهش داشته است.

در جدول (۴-۳) مقادیر عددی چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی برای نمونه ی دو هفته نشان داده شده است.

جدول (۴-۳) - پارامترهای مقاومت برشی برای نمونه های دو هفته

نمونه	چسبندگی خاک (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی خاک (درجه)
بدون افزودنی	۰/۴۹۹۱	۴۰/۸۱
با ۲٪ شوینده آنزیم دار	۰/۴۲۴۱	۳۳/۳
با ۳٪ شوینده آنزیم دار	۰/۳۵۸۱	۳۲/۴۷
با ۴٪ شوینده آنزیم دار	۰/۳۰۰۱	۳۱/۸۳

در نمودار شکل (۴-۱۰) پوش های گسیختگی نمونه های چهار هفته مورد مقایسه قرار گرفته اند.

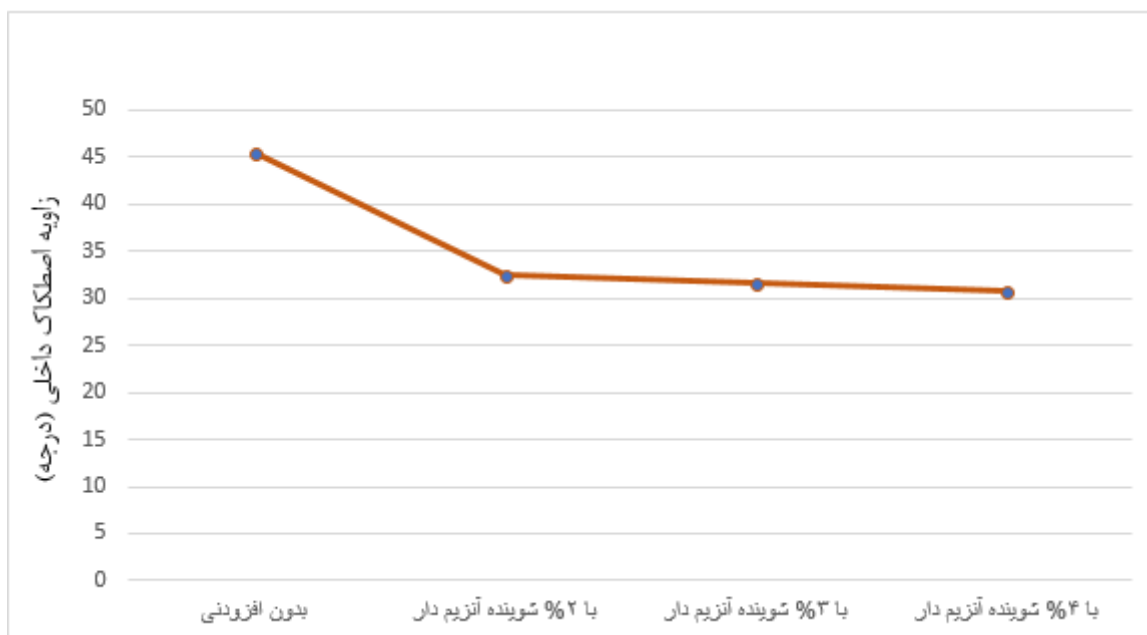


شکل (۴-۱۰) - نمودار مقایسه پوش های گسیختگی نمونه های چهار هفته

روند تغییرات چسبندگی و زاویه ی اصطکاک داخلی برای نمونه های چهار هفته به ترتیب در شکل های (۴-۱۱) و (۴-۱۲) قابل مشاهده می باشد.



شکل (۴-۱۱) - روند تغییرات چسبندگی در نمونه های چهار هفته



شکل (۴-۱۲) - روند تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در نمونه چهار هفته

با توجه به شکل (۴-۱۱) مشاهده می شود چسبندگی نمونه های تهیه شده از خاک مورد آزمایش که دارای شوینده می باشند در هفته چهارم به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. چسبندگی نمونه های دارای ۲٪، ۳٪ و ۴٪ شوینده نسبت به نمونه ی بدون افزودنی به ترتیب ۳۴٪، ۴۹٪ و ۵۴٪ کاهش پیدا کرده است. با توجه به اعداد بدست آمده مشاهده می گردد که روند کاهش میزان چسبندگی در مدت چهار هفته نسبت به یک روز و یک هفته و دو هفته بیشتر بوده است. همچنین در هفته ی چهارم زاویه اصطکاک داخلی در نمونه های آلوده با کاهش محسوسی مواجه بوده است و مقدار آن نسبت به نمونه ی بدون افزودنی در حدود ۳۰٪ کاهش داشته است. در حالیکه زاویه اصطکاک داخلی در نمونه های آلوده با افزایش میزان آلودگی تغییر چندانی نسبت به یکدیگر نداشته اند.

در جدول (۴-۴) مقادیر عددی چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی برای نمونه ی چهار هفته نشان داده شده است.

جدول (۴-۴) - پارامترهای مقاومت برشی برای نمونه های چهار هفته

نمونه	چسبندگی خاک (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی خاک (درجه)
بدون افزودنی	۰/۴۸۱۵	۴۵/۴۸
با ۲٪ شوینده آنزیم دار	۰/۳۱۸۷	۳۲/۵۸
با ۳٪ شوینده آنزیم دار	۰/۲۴۷۷	۳۱/۶۷
با ۴٪ شوینده آنزیم دار	۰/۲۲۰۲	۳۰/۸۲

لازم به ذکر است مقادیر بدست آمده تحت عنوان زاویه اصطکاک داخلی، مقادیر ظاهری می باشند چرا که خاک مورد آزمایش خاک رسی می باشد و نکته ی قابل توجه کاهش مقاومت در نمونه ها به هنگام وجود آلاینده می باشد. و از این مقادیر صرفا در جهت مقایسه نمونه ها و اینکه شوینده ها مقاومت برشی خاک را کاهش می دهند می توان استفاده کرد.

۵- فصل پنجم:

نتیجه گیری نهایی تحقیق

۵-۱- نتیجه کلی تحقیق

در این تحقیق روند آزمایشات فشاری محصور نشده و برش مستقیم انجام شده نشان می دهد با اضافه شدن شوینده به خاک تغییرات چشم گیری در خواص ژئوتکنیکی خاک مورد آزمایش صورت می پذیرد که این تغییرات با گذشت زمان با افزایش بیشتری روبرو هستند. که به صورت موردی نتایج آزمایشات بیان شده اند.

۱- در آزمایش فشاری محصور نشده مقاومت فشاری و چسبندگی نمونه های دارای افزودنی با کاهش روبرو شدند و با افزایش درصد شوینده بر میزان این کاهش افزوده شد.

۲- چسبندگی خاک مورد نظر با افزایش میزان شوینده در طی دوره های مختلف که در این تحقیق اعم از یک روز، یک هفته، دو هفته و چهار هفته بود، با کاهش روبرو شد.

۳- نمونه هایی که با درصدهای یکسان تهیه شده بود نیز در طی دوره ها با گذر زمان با کاهش میزان چسبندگی مواجه بودند.

۴- زاویه اصطکاک داخلی دارای تغییرات منظمی نبود به طوری که در ابتدا در دوره های یک روز و یک هفته برای نمونه ی بدون افزودنی نسبت به نمونه های حاوی شوینده با کاهش مواجه بود. در صورتیکه در دوره های دو هفته و چهار هفته با گذر زمان بر مقادیر زاویه اصطکاک داخلی در نمونه ی بدون افزودنی، افزوده شد.

۵- در نمونه های دارای شوینده زاویه اصطکاک داخلی همواره در کلیه دوره ها با کاهش روبرو بود که میزان کاهش در این نمونه ها در هفته ی دوم و چهارم نسبت به نمونه های بدون افزودنی محسوس و قابل توجه بود.

۶- در هر دوره نمونه های با درصدهای متفاوت شوینده نسبت به یکدیگر تغییر چندانی در زاویه اصطکاک داخلی از خود نشان نداده اند.

۷- یکی از علل کاهش چسبندگی سورفکتانت ها هستند، آن ها باعث کاهش کشش سطحی آب می شوند. از طرفی کشش سطحی یکی از عوامل چسبندگی در خاک محسوب می گردد، بنابر این چسبندگی خاک با کاهش مواجه می شود.

- Athanasopoulos, G., Grizi, A., Zekkos, D., Founta, P., and Zisimatou, E. (2008). "Municipal solid waste as a reinforced soil: Investigation using synthetic waste." ASCE-Geoinstitute Geocongress 2008, Geotechnics of Waste Management and Remediation, New Orleans, 168–175, Geotechnical Special Publication _GSP_No. 177.
- Gratchev, I., Towhata, I. (2013) "*Stress–strain characteristics of two natural soils subjected to long-term acidic contamination.*" Soils and Foundations. Vol.53, No.3:469–476.
- Meegoda N. J. and Rajapakse R. A. (1993), "*Short-term and long-term permeability of contaminated clay,*" J. Environ. Eng. 119 (4), pp. 725–743.
- Norris, R., Ryan, L., Acaster, D. (2011), Cambridge International AS And a Level Chemistry Coursebook. Cambridge University Press, UK, pp. 413-414.
- Prasanna Ratnaweera¹ and Jay N. Meegoda. (2005), "*Shear Strength and Stress-Strain behavior of Contaminated Soils*" Geotechnical Testing Journal, Vol. 29, No. 2.
- Prescott, C. N., (2001), "Chemistry: A Course for 'O' Level. Workbook". Times Media Private Ltd. Singapore, pp. 154.
- Rama Vara Prasad , C. et al.(2017). "*Swelling behavior of kaolinitic clays contaminated with alkali solutions:A micro-level study.*" Applied Clay Science. Vol 135 .575–582.
- Rama Vara Prasad, C. et al. (2017). "*Swelling characteristics of soils subjected to acid contamination.*" Soils and Foundations.
- Sherman, J. D. et. al. (1978), Soap, Cosmet. Chem.Spec., December, 33 (1978); u. s. patent, 4, 094, 778.
- Singh S. K., Srivastava R. K. and John S. (2008), "*Settlement characteristics of clayey soils contaminated with petroleum*

hydrocarbons.,” Soil & Sediment Contamination, Vol. 17, No. 3, pp. 290-300,.

آزادگان، عقیل؛ آزادگان، علیه؛ ۱۳۹۳، آلاینده های خاک، اولین کنگره ی ملی زیست شناسی و علوم طبیعی ایران، تهران، ایران.

اوجاقي، علی؛ ۱۳۸۸، شوینده ها و محیط زیست، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، ایران.

باهر طالاری ، طاهر ؛ محمدی گلستان، حسن؛ ۱۳۹۵، اثر آلودگی گازوئیل بر ویژگیهای ژئوتکنیکی خاک

رس، اولین کنفرانس بین المللی آب، محیط زیست و توسعه ی پایدار، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی. بور، مسلم؛ یوسفی کبریا، داریوش؛ ۱۳۹۰، آلاینده های خاک و روش های پاکسازی آنها، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار، ایران.

بیت اله پوره، ایمان؛ رئیسی استبرق، علی؛ ۱۳۹۳، بررسی اثر آلاینده های آلی بر روی خصوصیات تحکیمی خاک های ریزدانه، نشریه پژوهش نفت شماره ۱-۸۵، صفحات ۱۶۹-۱۷۹ .

تکدستان، افشین؛ حسینی پناه، الهام؛ کردانی، معصومه؛ جنادله، حبیب؛ ۱۳۹۴، اثرات زیست محیطی پساب صنعت شوینده و دترجنت ها و راهکارهای مناسب جهت کاهش آلودگی آن ها، کنفرانس بین المللی علوم، مهندسی و فناوری محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دبیری، مینو؛ ۱۳۷۹، آلودگی محیط زیست هوا- آب- خاک- صوت، انتشارات اتحاد، صفحات ۳۳۳-۳۶۹. - رستمی ایرانق، علی؛ ۱۳۸۰، مطالعه ی تصفیه پذیری پساب های حاوی سورفکتانت ها و بررسی بازیافت آن ها، دانشگاه صنعتی شریف، پایان نامه.

زهره وند، پژمان؛ ۱۳۹۴، پایان نامه ارشد، تاثیر آلودگی به گازوئیل بر روی خواص خاک های ماسه ای، دانشگاه صنعتی شریف.

عسکری لاسکی، بهزاد؛ و مهرداد، میرعبدالحمید؛ ۱۳۹۲، بررسی تأثیر نفوذ شیرابه زباله های شهری بر مقاومت برشی خاک رس (مطالعه موردی محل دفن زباله واقع در سراوان رشت)، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.

عسکری، یوسف؛ ۱۳۹۰، ارزیابی اثرات مواد شوینده و آلوده کننده محیط زیست، ششمین همایش ملی ایده های نو در کشاورزی، خوراسگان، دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان.

کوره پزان مفتخر، مهدیه و یوسفی، لیلا؛ ۱۳۹۱، کارایی در سایه حضور آنزیم، مجله رشد آموزش شیمی ، دوره ی بیست و ششم، صفحات ۲۱-۲۷.

Abstract

The quality of life on earth is closely related to the quality of the environment. Soil is one of the most important and valuable sources of nature. Soils have always been exposed to many pollutants, among these contaminants we can name oil, gasoline and so on. Today, with increasing population of the world, another pollutant is the waste from the use of detergents that are widely introduced into the environment through wells and sewage leakage pipes and they can impose a lot of negative effects on it. These pollutants can, in addition to environmental destruction, also affect the geotechnical properties of the soil and cause to reduce the soil bearing capacity and resistance. Hence, the study of resistance behavior of soil against these pollutants is considered essential. In this research, the effect of these detergents on the shear strength of the soil has been investigated. Soil used in this research is CL and direct shear test and unconfined compression test was done. These experiments were carried out on non-additive samples and also samples with 2, 3 and 4% detergent and their shear strength was compared with the shear strength of non-additive specimens during one day, one week, two weeks and four weeks. In the test of unconfined compression strength that performed on one-day samples Compressive strength and non-drainage cohesion were reduced by increasing the amount of enzymatic detergent. Direct shear test results also showed a decrease in resistance and a change in the shear strength parameters of the tested soil and by increasing the detergent content, soil cohesion decreased as compared to non-additive samples. These changes have increased over time as the cohesion reduction for a 4% additive sample was 14% higher than the non-additive specimen on the first day, it reached 54% on the fourth week.

Key words: shear strength, soil, enzymatic detergent, pollutant



Shahrood University of Technology
Faculty of Civil Engineering

M. Sc. Thesis in Soil and Foundation Engineering

Shear behavior of soil against enzymatic detergent

By: **Ehsan Moeini**

Supervisor

Dr. Amir Bazrafshan Moghadam

February 2018