بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک

مطالعه رفتار تحکیمی خاک رس پلیمری

نگارنده:

اسما مبشری

استاد راهنما:

دکتر امیر بذرافشان مقدم

شهریور ۱۳۹۶

شماره: ۲۶۵/ت ت
تاریخ: ۹۶/۶/۲۷

باسمه‌تعالی

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 اسما مبشری با شماره دانشجویی ۹۴۱۵۶۱۴ رشته عمران گرایش ژئوتکنیک تحت عنوان مطالعه رفتار تحکیمی خاک رس پلیمری که در تاریخ ۹۶/۶/۱۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: ..... ☑ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر امیر بذرافشان مقدم	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	-		
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی گلی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر رضا نادری	دانشیار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	دکتر محسن کرامتی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

۳

این پایان‌نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار تقدیم می‌نمایم به:

محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم به خاطر همه‌ی تلاش‌های محبت‌آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام داده‌اند و با مهربانی چگونه زیستن را به من آموخته‌اند.

به آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه‌ی راهم بود.

الهی به ما کمک کن تا بتوانیم ادای دین کنیم و به خواسته‌ی آنان جامه‌ی عمل بپوشانیم.

پروردگارا حسن عاقبت، سلامت و سعادت را برای آنان مقدر نما.

خدایا توفیق خدمتی سرشار از شور و نشاط و همراه و همسو با علم و دانش و پژوهش جهت رشد و شکوفایی ایران کهنسال عنایت بفرما.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند وکوشندگان، حق او را گذاردن نتوانند و سلام و دورد بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب" من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ وجلّ " از جناب آقای **دکتر امیر بذرافشان مقدم** " که درکمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر ما دریغ ننمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از استاد فرزانه جناب آقای دکتر نادری و جناب آقای دکتر کرامتی، که زحمت داوری این اثر رابر عهده گرفته اند کمال تشکر را دارم. در پایان صمیمانه‌ترین سپاس‌های خود را نثار کلیه‌ی اساتید گرانقدری که در طی دو سال تحصیلی چراغ راهم بوده‌اند، می‌نمایم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب **اسما مبشری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی عمران – ژئوتکنیک** دانشکده **عمران دانشگاه صنعتی شاهرود** نویسنده پایان‌نامه **بررسی و مطالعه رفتار تحکیمی خاک رس تثبیت شده با پلیمر** تحت راهنمائی **دکتر امیر بذرافشان 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 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.

چکیده

خاک‌های ریزدانه معمولا در اثر جذب زیاد آب متورم و با از دست دادن آب نشست فراوانی دارند. در نتیجه سازه‌های مهندسی ساخته شده بر روی این خاک‌های مساله‌دار به شدت آسیب می‌بینند. راه‌ها، دیوارهای حائل، پی ساختمان‌ها، سدها و به طور کلی بیشتر سازه‌هایی که در آن‌ها خاک رس در تماس با آب است، دربرابر خطر خرابی ناشی از تورم و نشست قراردارند، به‌طوری‌که سالانه هزینه‌های زیادی برای این خسارات برآورد می‌شود. برای مقابله با این مشکل راه‌های مختلفی از جمله تقویت خاک و زمین نامناسب توسط شمع‌ها و پی‌های عمیق، طراحی مجدد سازه با توجه به محدودیت‌های خاک، بهسازی خاک با افزودنی‌ها و در نهایت تغییر محل پروژه وجود دارد. تثبیت خاک با افزودن پلیمر از جمله روش‌های نوین مورد استفاده بوده که اثرات سوئی بر محیط زیست نداشته و تحقیقات گذشته نشان داده‌است که تاثیر خوبی بر مقاومت خاک‌ها داشته‌اند. در این پژوهش به بررسی اثرات افزودن یک نوع ازاین پلیمرها به نام پلی وینیل الکل بر نشست خاک رس پرداخته شده است. بدین منظور پس از انجام آزمایشات اولیه از جمله دانه بندی، تراکم و تعیین درصد رطوبت و دامنه خمیری خاک، خاک در رطوبت مشخص و ثابت با درصدهای وزنی مختلف(۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲درصد) با پلیمر (پلی وینیل الکل) ترکیب شده و ۲۴ ساعت عمل آوری شده و سپس در دستگاه تحکیم مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهدکه ترکیب این ماده با خاک رس باعث کاهش چشمگیری درمقدار نشست و سرعت تحکیم خاک می‌شود. به‌گونه‌ای که درصدهای ۰/۸ و ۰/۶ بیشترین تاثیر را بر روی نمونه‌ها داشته‌اند.

کلمات کلیدی: تثبیت خاک، پلی وینیل الکل، پلیمر، تحکیم، نشست تحکیم

فهرست مطالب

فصل اول ۱

مقدمه ۱

۱-۱کلیات ۲

۱-۲ اهداف پژوهش ۳

۱-۳ ساختار پژوهش ۴

فصل دوم ۷

مروری بر مطالعات گذشته ۷

۲-۱ مقدمه ۸

۲-۲ روش های بهسازی خاک های نرم ۸

۲-۳ اصلاح و تثبیت خاک ۱۲

۲-۳-۱تثبیت شیمیایی خاک ۱۴

۲-۳-۲ انواع تثبیت کننده ها ۱۴

۲-۴ خاک رس ۱۸

۲-۵ پلی وینیل الکل(POLYVINYL ALCOHOL) ۱۸

۲-۵-۱خواص، فن آوری و کاربرد ۱۹

۲-۶ عملکرد نانو ذرات پلیمری در خاک ۲۰

۲-۷ نشست خاک ۲۱

۲-۸ مروری بر پژوهش های انجام شده ۲۲

فصل سوم ۳۱

نحوه انجام آزمایش ها و نتایج شناسایی خاک ۳۱

۳-۱ مقدمه ۳۲

۳-۲ محل نمونه گیری ۳۲

۳-۳ آزمایش های اولیه برای شناسایی خاک ۳۳

۳-۳-۱ آزمایش دانه بندی و هیدرومتری ۳۳

۳-۳-۲ آزمایش تعیین درصد رطوبت طبیعی ۳۴

۳-۳-۳ آزمایش تراکم ۳۴

۳-۳-۴ آزمایش حدروانی و حد خمیری ۳۶

۳-۳-۵ چگالی نسبی دانه های جامد خاک(Gs) ۳۷

۳-۴ آزمایش تحکیم ۳۹

فصل چهارم ۴۳

تحلیل نتایج ۴۳

۴-۱مقدمه ۴۴

۴-۲ آماده سازی نمونه ها ۴۴

۴-۳ نتایج حاصل از آزمایش تحکیم ۴۵

۴-۳-۱نشانه فشردگی (Cc) ۴۹

۴-۳-۲ نشانه تورم (Cs) ۵۱

۴-۳-۳ تورم آزاد ۵۲

۴-۳-۴ سرعت تحکیم ۵۴

۴-۳-۵ ضریب قابلیت فشردگی حجمی (m_v) ۵۷

۴-۳-۶ ضریب آدومتر ۵۹

۴-۳-۸ نشست نهایی ۶۰

۴-۳-۹ نشست پذیری ۶۱

فصل پنجم ۶۷

نتایج و پیشنهادها ۶۷

مراجع ۷۰

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ ..... ۱۹

شکل۳-۱: محل نمونه گیری ۳۲

شکل ۳-۲: نمودار دانه بندی از آزمایش الک تر و هیدرومتری ۳۳

شکل۳-۳ منحنی تراکم برای خاک رس ۳۶

شکل ۳-۴ ..... ۳۷

شکل ۳-۵. پیکنومتر مورد استفاده برای آزمایش تعیین Gs ۳۹

شکل ۳-۶. منحنی نشست-جذر زمان ۴۰

شکل ۳-۷. دستگاه تحکیم مورد استفاده در آزمایش تحکیم یک بعدی ۴۲

شکل۴-۱. آماده سازی نمونه جهت آزمایش ۴۴

شکل۴-۲. منحنی تحکیم برای خاک بدون پلیمر ۴۵

شکل۴-۳. منحنی تحکیم برای ترکیب خاک با ۰/۴ ٪پلیمر ۴۶

شکل۴-۴. منحنی تحکیم برای ترکیب خاک یا ۶/. ٪ پلیمر ۴۶

شکل۴-۵. منحنی تحکیم برای ترکیب خاک با ۰/۸ ٪ پلیمر ۴۷

شکل۴-۶. منحنی تحکیم برای ترکیب خاک با ۱ ٪پلیمر ۴۷

شکل۴-۷. منحنی تحکیم برای ترکیب خاک با ۱/۲ ٪ پلیمر ۴۸

شکل ۴-۸. منحنی تحکیم برای درصدهای مختلف پلیمر ۴۹

شکل۴-۹. تغییرات ضریب Cc نسبت به افزایش پلیمر ۵۰

شکل۴-۱۰. تغییرات ضریب Cs نسبت به افزایش پلیمر ۵۲

شکل۴-۱۱. تورم آزاد نمونه‌ها نسبت به افزایش درصد پلیمر ۵۳

شکل۴-۱۲.منحنی سرعت تحکیم برای خاک بدون پلیمر ۵۴

شکل ۴-۱۳ منحنی سرعت تحکیم برای ترکیب خاک با ۰/۴ ٪ پلیمر ۵۴

شکل ۴-۱۴. منحنی سرعت تحکیم برای ترکیب خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر ۵۵

شکل ۴-۱۵. منحنی سرعت تحکیم برای ترکیب خاک با ۰/۸ ٪ پلیمر ۵۵

شکل ۴-۱۶. منحنی سرعت تحکیم برای ترکیب خاک با ۱ ٪ پلیمر ۵۶

شکل ۴-۱۷. منحنی سرعت تحکیم برای ترکیب خاک با ۱/۲ ٪ پلیمر ۵۶

شکل ۴-۱۸. سرعت نشست..... ۵۷

شکل ۴-۱۹: تغییرات ضریب قابلیت فشردگی حجمی با تغییر درصد پلیمر ۵۸

شکل ۴-۲۰: تغییرات مدول الاستیسیته خاک رس با افزایش درصد پلیمر ۶۰

شکل ۴-۲۱.منحنی تغییرات نشست نهایی با افزایش درصد پلیمر در خاک رس ۶۱

شکل ۴-۲۲ منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای خاک بدون پلیمر ۶۲

شکل ۴-۲۳. منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای ترکیب خاک با ۰/۴ ٪ پلیمر ۶۲

شکل ۴-۲۴. منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای ترکیب خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر ۶۳

شکل ۴-۲۵. منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای ترکیب خاک با ۰/۸ ٪ پلیمر ۶۳

شکل ۴-۲۶. منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای ترکیب خاک با ۱ ٪ پلیمر ۶۴

شکل ۴-۲۷. منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای ترکیب خاک با ۱/۲ ٪ پلیمر ۶۴

شکل ۵-۲۸. نشست پذیری نمونه‌ها در طول روند تحکیم ۶۵

فهرست جداول

جدول ۲-۱ روش‌های تثبیت بسترهای نرم خاکی بکار گرفته شده..... ۱۱

جدول ۲-۲..... ۲۸

جدول ۳-۱. تعیین درصد رطوبت خاک ۳۴

جدول ۳-۲. وزن مخصوص خشک ۳۵

جدول ۳-۳. نتایج حدود اتربرگ..... ۳۷

جدول ۳-۴. نتایج آزمایش چگالی نسبی دانه‌های جامد خاک ۳۸

جدول۴-۱. نشانه فشردگی ۵۰

جدول ۴-۲.نشانه تورم ۵۱

جدول۴-۳.تورم آزاد..... ۵۳

جدول ۴-۴.داده های مربوط به مقادیر m_v ۵۸

جدول ۴-۵ مدول الاستیسیته..... ۵۹

جدول ۴-۶ نشست نهایی ۶۰

جدول ۴-۷. نشست خاک در پایان هر مرحله از بارگذاری..... ۶۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱کلیات

با رشد روزافزون جمعیت نیاز بشر به مسکن و راه ارتباطی بیش از پیش آشکار می‌گردد و این امر سبب پدید آمدن جوامع شهری بزرگ و کمبود زمین‌های مناسب جهت ساخت و ساز شده‌است. از طرفی خاک‌های ریزدانه(لای و رس) که گستره وسیعی از سطح زمین را پوشانده است معمولا دارای مقاومت وظرفیت باربری کم و مشکلات تورمی هستند، از این‌رو یافتن راه‌هایی برای فراهم کردن زمین مناسب به‌منظور بهره هرچه بیشتر از منابع موجود ضروری به نظر می‌رسد. پژوهشگران علم مکانیک خاک با بکارگیری دست‌آوردهای مهندسی همواره در صدد رفع مشکلات مرتبط با خاک بوده اند و راه حل هایی از جمله :جانشین سازی خاک ضعیف با خاک مناسب تر، تقویت خاک و زمین نامناسب توسط شمع ها و پی های عمیق، طراحی مجدد سازه با توجه به محدودیت های خاک، تغییر دادن شرایط طبیعی خاک های ضعیف برای بدست آوردن ملزومات پروژه (بهسازی) و تغییر محل پروژه را پیشنهاد داده‌اند. بهسازی خاک ، در کلیه مسائل مهندسی خاک و به‌خصوص در شرایط ضعیف بودن آن مطرح می‌باشد. این عمل به منظور اصلاح کاربرد مهندسی خاک برای دستیابی به اهداف مختلف انجام می‌شود. انتخاب روش بهسازی خاک به صورت طبقه‌بندی شده امر مشکلی است. انتخاب روش‌های بهسازی بستگی به عوامل متعددی از جمله نوع خاک، درصد ریزدانه (لای و رس)، مساحت و عمق بهسازی، مقاومت و تراکم پذیری خاک مورد نظر، محدودیت‌های نشست ، دسترسی به مهارت‌های فنی ، نوع تجهیزات ، مصالح و هزینه بهسازی دارد. اهداف متفاوتی برای بهسازی خاک وجود دارند. از جمله می توان به افزایش ظرفیت باربری ، افزایش پایداری شیب و کاهش نشست پی برای خاک‌های ریزدانه و درشت دانه اشاره نمود. مکانیسم‌های مرتبط با بهسازی خواص خاک‌های رسی شامل تحکیم خاک رس با انجام پیش بارگذاری، اجرای ستون های سیمان - خاک یا آهک - خاک و یا هر دو مصالح می باشد. مکانیسم‌های مرتبط با خاک‌های ماسه‌ای رس‌دار، شامل تراکم دینامیکی با استفاده از ضربه زدن به سطح خاک، لرزاندن و جابجایی خاک مورد نظر با استفاده از ستون شنی جایگزینی، جابجایی مواد

حفاری شده از طریق تزریق تراکمی، استفاده از مصالح چسبنده و تزریق سیمان فوق ریز و ایجاد ستون با استفاده از مخلوط خاک با آهک می‌باشد.

بهسازی مشخصات مقاومتی خاک به منظور کاهش خطرات آتی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. نظر به استحصال آسان و قیمت پایین مواد افزودنی نظیر پلیمر، استفاده از این مواد در بهسازی مشخصات رفتاری خاک های ریزدانه در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است.

۱-۲ اهداف پژوهش

واضح است که خاک ماده اساسی در ساخت و ساز می‌باشد، در نتیجه بایستی برای تامین هدف پروژه، شرایط خاک محل اجرا کیفیت لازم را داشته باشد.یکی از راه‌های رسیدن به شرایط مطلوب، تثبیت خاک است. ایجاد تغییراتی در خاک در راستای افزایش ظرفیت باربری و مقاومت در برابر تنش‌های فیزیکی و شیمیایی ناشی از محیط زیست را تثبیت خاک می‌نامند که این فرایند با استفاده از مواد افزودنی انجام می‌گیرد. به‌وسیله‌ی روش‌های گوناگون تثبیت می‌توان مشخصات خاک، نظیر مقاومت، سختی، تراکم‌پذیری، نفوذپذیری، کارایی، استعداد تورم، حساسیت در برابر آب و گرایش به تغییر حجم را تغییر داد .دامنه‌ی این روش‌ها می‌تواند از تغییرات در دانه‌بندی خاک و تراکم تا استفاده از ترکیبات گوناگون یا روش‌های حرارتی و الکتروکینتیک را شامل گردد[۱].

در فرایند تثبیت خاک، پیوند بین ذرات تغییر می‌یابد .این تغییر منجر به ایجاد ساختاری جدید می‌گردد که نسبت به ساختار پیشین خاک چسبندگی بیشتری دارد. در برخی از این روش‌ها ساختار پیشین خاک شکسته می‌شود، ولی در برخی دیگر با تزریق مواد این ساختار مستحکم می‌گردد و مقاومت آن افزایش می‌یابد. تثبیت خاک می‌تواند در سطح یا عمق انجام شود. تثبیت‌هایی که درسطح صورت می‌گیرد، خاک با مصالح موردنظر در محل و با استفاده از تجهیزات اختلاط ترکیب می‌شود؛ پس ازآن تراکم موردنظر با استفاده از غلتک‌های راهسازی، کوبه‌های کوچک یا سایر تجهیزات مرتعش کننده، به دست می‌آید. تثبیت با سیمان، آهک، پلیمر و سایر محصولات پسماند به طور گسترده ای در بهسازی

خاک مورداستفاده قرار می‌گیرد. همچنین پژوهش‌هایی بر روی ترکیبات به دست آمده از خاک با نمک، اسید و باز صورت گرفته‌است .نتایج به دست آمده نشان داد، این مواد منجر به کاهش نشست در خاک می‌شوند[۲].

امروزه در کنار آهک و سیمان از مواد شیمیایی دیگری برای تثبیت خاک استفاده می‌شود که در این میان استفاده از پلیمرها (رزین اوره فرمالدهید، پلی وینیل اکریلیک، پلی وینیل استات و ...) برروی مقاومت خاک بررسی‌های زیادی شده است و نتایج آن باعث افزایش مقاومت خاک شده است. در سال‌های اخیر پلیمرها به‌طور کاملا موثر برای تثبیت خاک در بسیاری از کشورها استفاده می‌شود، لذا ضرورت دارد در کشور ما به علت نفت خیز بودن برای بومی سازی این دانش خارجی و صرفه اقتصادی آن تحقیقات وسیعی صورت گیرد. پلیمر ها در واکنش با خاک باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی نمی‌شوند و گیاه درون خاکی که با این مواد ترکیب شده است رشد می‌کند. ازآنجا که این پلیمرها جهت کاهش نشست مورد بررسی چندانی قرار نگرفته است، لذا ما در این پژوهش به بررسی اثر پلیمر وینیل الکل بر نشست و تحکیم خاک‌های رسی پرداختیم.

۱-۳ ساختار پژوهش

دراین پژوهش ابتدا و در فصل دوم تعریف جامعی از تثبیت خاک، نشست خاک، خاک رس و پلیمر مورد استفاده بیان شده و سپس به بررسی متون فنی که در گذشته انجام شده اند، پرداخته شده است.

در فصل سوم نیز ابتدا موقعیت جغرافیایی محل اخذ نمونه مشخص شده و آزمایش‌های اولیه جهت شناسایی عمومی خاک از جمله وزن مخصوص، درصد رطوبت طبیعی، دانه بندی ، حدود اتربرگ و ... سپس آزمایش تحکیم و آماده‌سازی نمونه‌ها تشریح شده است.

در فصل چهارم به شرح آزمایشات پرداخته شده و نتایج و نمودارهای حاصل از آزمایش تحکیم با درصد های مختلف پلیمر بیان شده و در نهایت در فصل پنجم نیز علاوه بر نتیجه‌گیری از نتایج فوق به بیان پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی نیز پرداخته شده است.

فصل دوم

مروری بر مطالعات گذشته

۲-۱ مقدمه

خاک‌های ریزدانه وقتی در معرض رطوبت قرار بگیرند، معمولا متورم شده و از مقاومت آن‌ها کاسته می‌شود. وقتی مقدار بارگذاری افزایش می‌یابد خاک تحت تنش نشست دارد و افزایش این نشست موجب تخریب سازه می‌شود. از این‌رو قبل از ساخت سازه روی این نوع خاک ها باید تمهیداتی جهت کنترل مشکلات آتی اتخاذ شود. در سال‌های اخیر و به دنبال افزایش نیاز به ایجاد ساختمان‌های بلند و یا کاربری خاص در زمین‌های با ابعاد کوچک، ضرورت ایجاد فونداسیون‌هایی با طراحی و اجرای پیچیده در اعماق بیشتر همراه با گودبرداری در زمین‌های نامرغوب و کم مقاومت موجود، حتی در تراز زیر سطح آب وجود دارد. در هر منطقه ای که این گونه زمین‌ها نادیده گرفته شود، موجب عواقب ناگوار مالی و جانی فراوانی خواهد شد و یا حداقل طولانی تر شدن زمان اجرای پروژه و افزایش هزینه‌ها را به دنبال خواهد داشت. از طرفی ساخت فونداسیون ساختمان روی زمین‌هایی که دارای شرایط مقاومتی مطلوبی باشد امری بدیهی است. البته شرایط زمین‌هایی که به منظور ساخت پروژه‌ها باید به کار رود در سرتاسر جهان به طور قابل ملاحظه‌ای بدتر شده است. چنین وضعیتی در کشورهایی نظیر ژاپن و یا کشورهای اسکاندیناوی بیشتر به چشم میخورد. در این کشورها به ناچار بیشتر پروژه‌های ساختمانی بر روی بسترهای نرم آبرفتی، احیاء زمین بالای روبی خاک و یا زمین‌های پوشیده شده از خاک‌های با درصد مواد آلی بالا ساخته می شود [۳].

۲-۲ روش‌های بهسازی خاک‌های نرم

در سراسر جهان مقادیر بسیار زیادی انباشته های خاک نرم وجود دارد. به طور مثال بنادر و لنگرگاه‌های کشورهای جنوب شرق آسیا به طور وسیعی بر روی انباشته های خاک نرم قرار دارد. زمین نرم اصولا به انباشته های خاکی چسبنده با درصد رطوبت بالا و یا انباشته های دانه‌ای نرم اشباع در حالت سست اطلاق می شود. زمین‌های نرم، قابلیت فشردگی بالا و مقاومت پایینی دارند و اغلب ویژگی-های آنها میتواند به صورت بخش های زیر طبقه بندی شود:

۱) پلاستیسیته بالا مانند رس چاق (رس با پلاستیسیته بیشتر از ۵۰)

۲) میزان ریزدانه بالا مانند لای

۳) درصد رطوبت بالا مانند تورب (خاک نباتی)

۴) نسبت تخلخل بالا، انباشته های ماسه‌ای سست

چنین خاک‌هایی خصوصیات ذاتی مختلفی دارند و نیازمند تکنیک‌های بهسازی خاکی متفاوتی هستند. صرف نظر از مشکلاتی که در مورد خاک‌های نرم رسی و یا خاک‌های آلی بیان شد، برخورد با انباشته های سست ماسه‌ای اشباع که تحت نیروهای زلزله، مستعد پدیده روانگرایی هستند نیز همواره از دیگر مشکلات محسوب می شود. اکنون روش‌های مختلف بهسازی جهت افزایش و بهبود خصوصیات ژئوتکنیکی خاک به طور گسترده‌ای مورد استفاده مهندسین است. استفاده از این روش‌ها خصوصیات ژئوتکنیکی خاک را بهبود بخشیده و منجر به کوتاه شدن زمان اجرا و بیشتر شدن طول زمان بهره برداری پروژه می‌شود[۳].

وقتی که جایگزین کردن خاک محل به دلایل زیست محیطی، اقتصادی و فیزیکی قابل پذیرش نباشد، روش‌های بهسازی مورد توجه قرار میگیرد. به طور کلی بهسازی خاک به دلایل ذیل انجام میگیرد:

۱) افزایش ظرفیت باربری و مقاومت برشی و اصطکاکی

۲) افزایش چگالی خاک

۳) کنترل تغییر شکل ها

۴) تسریع تحکیم

۵) کاهش بارهای اعمال شده

۶) آماده سازی و افزایش پایداری جانبی

۷) متوقف کردن نشت آب یا پر کردن حفرات

۸) افزایش مقاومت در برابر روانگرایی

۹) انتقال بارهای خاکریزها به لایه‌های نرم پایینی

به منظور برخورد با مشکلات ناشی از وجود بسترهای نرم، روش‌های بهسازی (تثبیت) متنوعی برای زمین‌های مساله دار ایجاد شده است که در جدول (۲-۱) به صورت موردی بررسی شده است[۳].

جدول ۲-۱.روش‌های تثبیت بسترهای نرم خاکی بکار گرفته شده

اصول بهسازی	روش مهندسی	توضیحات
جابجایی و جایگزینی	حفاری و خاکریزی	پمپاژ لایروبی
	جایگزینی تحت فشار	روش های شمع های کوبشی از ماسه
تحکیم	پیش بارگذاری	پیش بارگذاری
	پیش بارگذاری در کنار زهکش قائم	روش زهکش ماسه ای
		روش زهکش ماسه بسته ای
		روش زهکش صفحه ای
	آبگیری	روش چاه عمیق
		روش چاه نقطه ای
		روش تحکیم مکشی
	آبزدایی شیمیایی	روش شمع های آهکی
افزایش دانسیته-آبگیری و تراکم	تراکم به روش جابجایی و ویبره	روش شمع کوبشی در ماسه
		روش شمع کوبشی در شن
افزایش دانسیته-آبگیری و تراکم	تراکم ویبره ای	روش ویبره شناور
	تراکم ضربه ای	روش تحکیم دینامیکی
صلب سازی(بهسازی افزودنی ها)	مخلوط کردن در هم	روش اختلاط سطحی
		روش اختلاط عمقی
	اختلاط و تزریق فورانی	روش اختلاط با تزریق فورانی
کاهش فشار تماسی	توزیع بار	روش نصب حصار
		روش نصب شبکه های ورقه ای
		روش ایجاد بستر ماسه ای
		روش سفت سازی سطحی
	بارهای تنظیم کننده	روش بارگذاری با خاکریز

تقریباً در اکثر روش‌های بهسازی زمین سه استراتژی عمده وجود دارد:

۱) افزایش مقاومت برشی، چگالی و کاهش تراکم پذیری خاک قونداسیون

۲) استفاده از پرکننده‌های سبک جهت کاهش بار اعمال شده روی فونداسیون‌ها

۳) انتقال بار به خاک در لایه‌های عمیق

روش‌های بهسازی یک روند پیوسته شامل ارزیابی هایی از مرحله ساده تا مرحله جزییات است. این مراحل را به اشکال زیر می توان بیان کرد:

۱) ارزیابی شرایط زمین ضعیف شامل دامنه تغییرات و اثرات منفی آن

۲) برآورد نیازهای اجرایی

۳) تشخیص و ارزیابی محدودیت‌های زیست محیطی

۴) ارزیابی شرایط زیرسطحی، نوع، عمق و شرایط خاک ضعیف و همچنین تراز آب زیرزمینی و ارزیابی مقاومت برشی و قابلیت تراکم پذیری

۵) انتخاب اولیه، نحوه اجرا، اعمال محدودیت‌ها به علت شرایط زیرسطحی، برنامه اجرایی، محدودیت‌های محیطی و میزان بهسازی مورد نیاز

۶) طراحی اولیه

۷) مقایسه و انتخاب بر اساس شرایط اجرا، قابلیت ساخت، قیمت و فاکتورهای مناسب پروژه[۳].

۲-۳ اصلاح و تثبیت خاک

بشر از زمان‌های دور به دنبال راهی برای مقابله با خاک‌های ضعیف بوده است. بیشتر مواقع در برخورد با زمین‌های نامناسب ۵ راه حل یا استراتژی عمده وجود دارد این راه حل‌ها عبارتند از:

۱) جانشین سازی خاک ضعیف با خاک مناسب تر

۲) تقویت خاک و زمین نامناسب توسط شمع ها و پی های عمیق

۳) طراحی مجدد سازه با توجه به محدودیت های خاک

۴) تغییر دادن شرایط طبیعی خاک های ضعیف برای بدست آوردن ملزومات پروژه (بهسازی)

۵)تغییر محل پروژه

افزایش هزینه ی ساخت راه، سد، راه آهن و فرودگاه و به طور کلی سازه‌های خاکی با توجه به محدود بودن بودجه و سرعت اجرای کار سبب می‌گردد تا مهندسان برای جلوگیری از جابه جایی زیاد احجام از مصالح محلی، حداکثر استفاده را نمایند. تثبیت خاک به عنوان روش نتیجه بخش در افزایش توان باربری و کنترل خواص خمیری بسیاری از خاک ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف عمده از تثبیت این است که لایه تثبیت شده بتواند بدون ایجاد تغییر شکل‌های زیاد، بارهای وارده را تحمل نماید.

انتخاب روش تثبیت خاک و ماده تثبیت کننده به صورت طبقه‌بندی شده امر مشکلی است، مهندسین ژئوتکنیک می‌باید با توجه به کلیه‌ی مسائل فنی، اقتصادی، نیروی انسانی و ماشین آلات، تجربه ی شخصی و نتایج آزمایشات، روش بهینه را انتخاب کنند. انتخاب نوع ماده به عواملی چون دانه بندی، شاخص خمیری، توجیه اقتصادی و وجود ماده بستگی دارد[۳] .

با توجه به این‌که در این پژوهش اثر ماده افزودنی(پلیمر) بر خاک مورد بررسی قرار می گیرد،به توضیح تثبیت شیمیایی و انواع تثبیت کننده‌های شیمیایی پرداخته می‌شود.

به طور کلی روش‌های مهم اصلاح یا تثبیت خاک به صورت فهرست به شرح زیر است:

۱- تثبیت مکانیکی

۲- تثبیت الکتریکی

۳- تثبیت حرارتی

۴- تثبیت شیمیایی

با توجه به این‌که در این پژوهش اثر ماده افزودنی(پلیمر) بر خاک مورد بررسی قرار می گیرد،به توضیح تثبیت شیمیایی و انواع تثبیت کننده‌های شیمیایی پرداخته می‌شود[۳].

۲-۳-۱تثبیت شیمیایی خاک

منظور از تثبیت شیمیایی، اصلاح ویژگی های مورد نظر خاک بوسیله مواد افزودنی است. در اثر فعل و انفعالات شیمیایی مواد افزودنی با خاک، خواص خاک از جمله چسبندگی، جذب آب، تورم، تحت تاثیر قرار می گیرد [۳].

۲-۳-۲ انواع تثبیت کننده‌ها

۱-تثبیت با قیر

تثبیت خاک با قیر برای خاک های درشت دانه و شنی که مقدار ریزدانه آنها خیلی زیاد و خواص خمیری آنها نیز کم است مناسب می‌باشد. خاک‌های ریزدانه با خواص خمیری زیاد برای تثبیت با قیر مناسب نیستند. بطور کلی قیرهای مایع مناسب برای تثبیت خاک‌های ریزدانه هستند. میزان متوسط قیر برای تثبیت خاک‌های ریزدانه حدود ۴ تا ۸ درصد وزن خاک است. در مورد خاک های ماسه‌ای، ماسه همراه با مقدار کمی ریزدانه به خوبی با قیر تثبیت می شود[۳].

۲-تثبیت با آهک

آهک با درجات خلوص متفاوت به عنوان تثبیت کننده‌ای برای خاک سابقه‌ی طولانی دارد، اضافه کردن این ماده باعث کاهش خواص خمیری خاک می‌شود. بنابراین وقتی مصالح شنی از نظر دانه‌بندی برای لایه‌های اساس و زیراساس مناسب باشند ولی بعلت حد روانی و یا دامنه خمیری زیاد نتوان از آنها استفاده کرد از این ماده برای کاستن خواص خمیری مصالح و در نتیجه برای ساختن لایه‌های اساس و زیر اساس استفاده می‌شود. معروفترین و متداولترین مواد آهکی مورد استفاده در تثبیت عبارتند از آهک شکفته، آهک شکفته دلومیتی، آهک زنده و آهک زنده دلومیتی. باید توجه داشت که بطور کلی آهک زنده ماده تثبیت کننده مؤثری نسبت به آهک شکفته است و اگر بصورت دوغاب به خاک اضافه شود مقاومت بیشتری را نسبت به موقعی که به صورت پودر اضافه می‌شود ایجاد می‌کند. با توجه به اینکه میزان قابل توجهی از خاک مخصوصا در ایران ریزدانه و از نوع رسی می‌باشد. چون خاک های رسی دارای خواص خمیری بالا هستند و واکنش شیمیایی خوبی خواهند داشت، باید راهی را برای مقاوم کردن و بهبود رفتار اینگونه ریزدانه ها پیدا کرد. یکی از مؤثرترین روش های بهبود کیفی مشخصات فنی خاک های رسی که استفاده از آن ها متداول است بهره‌گیری از آهک می‌باشد، آهک اصولا برای تثبیت خاک‌های ریزدانه که دامنه خمیری آن‌ها بزرگتر از ۱۰ و خاک‌های رسی خیلی خمیری مناسب است ولی این ماده برای تثبیت خاک‌هایی که حاوی مقدار بیش از ۲ ٪ مواد آلی و همچنین حاوی مقدار بیش از ۰/۵ ٪ سولفات قابل حل در آب می‌باشند مناسب نیست. وقتی آهک به خاک ریزدانه اضافه می‌شود واکنش‌های مختلفی اتفاق می‌افتد که عبارتند از: واکنش تبادل کاتیون‌ها، واکنش پوزولانی، واکنش کربناسیون. با توجه به نکات گفته شده می‌توان برداشت کرد که مراحل اجرایی عملیات تثبیت خاک با آهک شامل آماده کردن خاک، پخش آهک، اختلاط و آب پاشی، کوبیدن و تسطیح و عمل آوردن مخلوط می‌شود[۳].

۳-تثبیت با پلیمر

با توجه به رشد چشمگیر مواد شیمیایی جدید به خصوص مواد پلیمری در اجرای پروژه‌های عمرانی و اهمیت و تأثیر این مواد در تثبیت خاک‌های ضعیف، اخیرا علم شیمی و پلیمر را به علم عمران نزدیک کرده است. الیاف پلیمری به دلیل اجرای آسان و ماندگاری بالا و عدم ایجاد مشکل در شرایط اشباع بسیار مورد توجه مهندسین عمران قرار گرفته‌اند. همچنین خواص فیزیکی نسبتا مطلوب از جمله ویژگی‌هایی است که باعث پرمصرف گشتن این محصولات شده‌است. همچنین این گروه ازمواد دارای وزن مخصوص پایین و پایداری خوب در مقابل مواد شیمیایی هستند. امروزه پلیمرهایی از قبیل ژئوتکستایل‌ها، ژئوگریدها و الیاف‌هایی از جنس پلی وینیل، پلی استر، پلی پروپیلین و ... در تثبیت و تسلیح خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند[۳].

از جمله پلیمرهای مورد استفاده در بهبود خاک می‌توان به پلی وینیل الکل[۱] و پلی وینیل استات[۲] اشاره کرد. پلی وینیل الکل و پلی وینیل استات مواد پلیمری چسبناکی هستند که تحقیقات زیادی روی آن‌ها جهت تثبیت خاک صورت گرفته است. این مواد با از دست دادن رطوبت سخت می‌شوند و ذرات خاک را به هم چسبانده و مقاومت خاک را در برابر نیروهای فرسایشی و گسیختگی افزایش می‌دهند . این دو پلیمر به علت چسبندگی بسیار و کشسانی آن‌ها در صنعت استفاده فراوانی دارند .علاوه بر افزایش مقاومت ، استفاده دیگری که از این دو پلیمر می توان کرد استفاده در تثبیت شن‌های روان می باشد . این دو پلیمر به علت چسبندگی که دارند میتوانند مانع از حرکت شن‌های روان در اثر وزش طوفان شوند. به علت اینکه در کشور ما و کشورهای همسایه بحث شن‌های روان و آلودگی هوای ناشی از آن مطرح است از این دو پلیمر برای حلّ این مشکل، میتوان استفاده نمود. از این خاصیت می‌توان در جلوگیری از فرسایش خاک ناشی از بارندگی نیز استفاده نمود .این دو پلیمر به علت اینکه با خاک واکنش شیمیایی نمی‌دهند، این قابلیت را دارند که گیاه درون خاک تثبیت شده در آنها رشد کند. از این قابلیت می‌توان برای تثبیت و پایدار کردن شیب‌های موجود در فضاهای شهری که احتیاج به فضای چمنی باشد، استفاده کرد. نمک‌های آلی گروه‌های پلی وینیل استات، در محیط قلیایی به آهستگی به پلی وینیل الکل و اسید استیک تبدیل می‌شوند.پلی وینیل استات از پلیمراسیون مونومرهای وینیل

استات تولید می‌شود .پلی وینیل الکل را از پلیمراسیون مونومرهای وینیل الکل نیز می‌توان تولید نمود. محلول پلی وینیل استات یک ماده چسبنده برای مواد نفوذپذیر محسوب می‌شود، بخصوص موادی همچون چوب، کاغذ، پارچه و ماسه های ریز دانه، به همین دلیل به عنوان یک چسب محلول در آب کاربرد های فراوانی دارد. لذا اغلب چسب‌های چوب با پایه آب ترکیبی از این پلیمر هستند.چسب چوب‌های سفید رنگ(white glue) از ترکیب خاصی از پلی وینیل الکل و پلی وینیل استات ساخته شده است[۳].

۴-تثبیت با سیمان

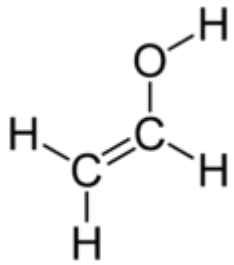
مکانیزم تثبیت خاک با سیمان شبیه مکانیزم تثبیت خاک با آهک است با این تفاوت که در تثبیت خاک با آهک بخشی از مواد پوزولانی برای فعل و انفعال شیمیایی خاک با آهک از طریق خاک تأمین می‌شود، در صورتی‌که مواد پوزولانی برای تثبیت خاک با سیمان به صورت بالقوه در سیمان موجود هستند و لزوماً نباید از طریق خاک تأمین گردد. پس از اضافه شدن سیمان به خاک واکنش های مختلفی بین خاک و سیمان صورت می‌گیرد. مهمترین این واکنش ها واکنش جانشینی یون‌های مثبت و واکنش تجمع-تراکم است. در این واکنش بافت خاک با تجمع ذرات خاک در کنار یکدیگر و به نوعی دانه‌بندی آن تغییر می‌کند و مقاومت آن افزایش می‌یابد. هر چه ذرات سیمان ریزتر باشد هیدراتاسیون بیشتر و برای مدت طولانی حتی تا سالیان دراز انجام می‌شود این امر به افزایش مقاومت ترکیب سیمانی با زمان منجر می‌گردد. مشخصات فنی خاک‌های تثبیت شده با سیمان بستگی به جنس خاک، مقدار سیمان، وزن مخصوص خاک تثبیت و کوبیده شده، کیفیت اختلاط سیمان و خاک، شرایط عمل آوردن مخلوط و زمان دارد. اضافه کردن مقدار سیمان بالاتر از ۲ درصد خواص خاک را تغییر می دهد[۳].

۲-۴ خاک رس

رس‌ها به همراه کلوئیدها ، فعالترین بخش خاک محسوب می شوند و اکثر آنها دارای ساختمان بلوری هستند. قبل از مطالعه کانی‌ها توسط اشعه ایکس تصور می‌شد که کانی‌های رسی ذرات کوچک و ریز کانی‌های اولیه نظیر ذرات کوارتز ، فلدسپات و میکاها باشند، در حالی‌که در حال حاضر کانی‌های رسی ، ترکیب شناخته شده‌ای دارند که شبیه این کانی‌ها نیست و تنها کانی میکا به آنها شبیه است. کانی‌های رسی ، اغلب کانی‌های جدید یا حاصل انحلال کانی‌های اولیه یا کانی‌های ثانویه هستند[۴].

۲-۵ پلی وینیل الکل(POLYVINYL ALCOHOL)

پلی وینیل الکل خالص یا یک پلیمر سنتزی محلول در آب و بصورت پودر سفید رنگ یا کرم که در دمای ۲۳۰ درجه سانتیگراد تجزیه می‌شود. پلی وینیل الکل از یک خاصیت بسیار جذاب برخوردار است و آن، قابلیت تجزیه بیولوژیکی است. مونومرهای وینیل الکل ضعیف هستند و پلی وینیل الکل از جایگزینی گروه استات در وینیل استات با گروه‌های هیدروکسیل تهیه می‌شود؛ پلی وینیل الکل تجاری دارای گرانروی و مقدار گروههای استیل متفاوتی هستند. پلی وینیل الکل که قسمتی از آن هیدرولیز شده باشد دارای دمای ذوب/تبخیر پایین تری است، هیدرولیز زیاد باعث کاهش حلالیت می‌شود با افزایش وزن مولکولی گرانروی افزایش می‌یابد و نوع تجاری آن دارای واحدهای مونومری ۳۵۰۰-۳۰۰۰ و وزن مولکولی ۲۰۰۰۰۰-۳۰۰۰ می‌باشند. در نامگذاری محصولات تجاری، اولین شماره درجه هیدرولیز و شماره دوم نشان دهنده گرانروی در واحد سانتی پواز (محلول آب ۴ ٪ در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد) می‌باشد. متناوبا درصد هیدرولیز با واژه های "عالی" برای ۹۹ ٪ به بالا، "کامل" برای ۹۹-۹۸ ٪، "متوسط" برای ۹۸-۹۰ ٪ و "جزئی" برای ۸۹-۸۵ ٪ مشخص می‌شود فرمول شیمیایی پلی وینیل الکل در شکل(۲-۱) نشان داده شده است[۵].



شکل(۲-۱)

۲-۵-۱خواص، فن آوری و کاربرد

PVA در حالت خشک پایدار، بدون بو، غیرسمی و برای حمل با دست ایمن و دوستدار محیط زیست است. با این حال باید مراقب بود تا میزان گردوغبار در هنگام حمل و نقل و ذخیره سازی به حداقل برسد تا از انفجار غبارجلوگیری به عمل آید. از PVA می توان برای ساخت فیلم و پوشش‌هایی استفاده کرد که دارای قدرت کششی و انعطاف پذیری بالا هستند و در برابر نفوذ اکسیژن، دی اکسید کربن و دیگر بخارها مقاومند.

PVA در آب سرد و گرم محلول است. بعنوان مثال، PVA با ۸۸ ٪ هیدرولیز در آب سرد و گرم حل می‌شود، اما PVA با ۹۸ ٪ هیدرولیز فقط در آب گرم حل می‌شود. بقیه ویژگی ها با هم برابر هستن، درجه هیدرولیز بالاتر، حلالیت کمتر را سبب می‌شود[۵].

کارایی‌های خاص PVA با درجه هیدرولیز و گرانروی متغیر است. درجه هیدرولیز بالاتر باشد، مقاومت نسبت به آب نیز بهتر خواهد بود. برای مثال، چسب‌های مقاوم در برابر آب باید بطور کامل هیدرولیز شوند، اما کاربردهایی که مقاومت در برابر آب نیاز ندارند از PVA با هیدولیز جزئی استفاده می‌کنند. بطور مشابه، کارخانه‌های تولید کاغذ درجات مختلفی ازPVA را با توجه به خواص مورد نیاز انتخاب می‌کنند مثل مقاومت در برابر آب و روغن و همینطور قابلیت جوهرپذیری. در بازار منسوجات، جایی که ازPVA در مرحله‌ی آهار زدن نخ ها استفاده می‌شود تا در طول فرایند بافندگی پاره نشوند،

PVA بر اساس نوع نخ، نوع ماشین و ترکیبات دیگر محلول آهار زنی انتخاب می‌شود مثل آهار، گرانروی، مقاومت در برابر سایش و سهولت حذف محلول بعد از پارچه بافی. محلول آب PVA نسبتا اسیدی است و مستعد رشد قارچ می‌باشد. رطوبت مثل یک نرم کننده عمل می‌کند و باعث کاهش قدرت کششی می‌شود ولی باعث افزایش ازدیاد طول و آستانه پارگی می‌شودPVA در زمان کوتاه و به طور کامل در محیط زیست تجزیه می‌شود و همین امر سبب می‌شود که این ماده به عنوان گزینه‌ی مناسبی برای استفاده در برخی کاربردها نظیر جلد شوینده‌های یک بار مصرف و یا ماهیگیری (جایی که یک بسته PVA از طعمه بر سر قلاب بسته شده، در آب انداخته می‌شود و به تدریج با انحلال PVA در آب، طعمه‌ها آزاد شده و در آب پخش می‌شوند) مطرح شود [۵].

PVA در حلال های نفتی نامحلول است و این ویژگی اجازه می‌دهد تا در پوشش‌ها و فیلم ها مورد استفاده قرار گیرد. در حال حاضرPVA در موارد متنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به ترکیبات قالب‌گیری پلاستیک (بطور مثال اپوکسی به پوشش‌های PVA نمی‌چسبد)، پوشش‌ها و فیلم‌های مقاوم به گازوئیل و سوخت، فرایند آهارزنی و تکمیل در نساجی، چسب‌ها، جوهرهای چاپ، شیشه‌های پوشش‌داده شده، وسایل آرایشی و تزئینی، مواد دارویی (به عنوان عامل افزایش دهنده گرانروی) و الیاف تقویتی بتن اشاره نمود.

۲-۶ عملکرد نانو ذرات پلیمری در خاک

ذرات نانو بااستفاده از خاصیت نانو اعمال شده بر روی آنها به شدت آب‌دوست می‌شوند. نانو پلیمر پلی وینیـل الکـل ، بر روی ذرات رس موجود در خـاک تاثیر می‌گذارد و این تاثیر به دلیل کوچک بودن و سطح زیاد ذرات رس است. خاک رس پس از مخلوط شدن با این پلیمر، لایه‌هایی تشکیل می‌دهد که این لایه‌ها را می‌توان مانند برگه‌های کتاب دانست[۳].

ذرات خاک رس معدنی، بسیار کوچک بوده و مانند صفحات کتاب هستند. این ماهیت کتابی خاک رس، دارای سطح بسیار زیاد بوده که باعث جذب یون‌های فلزی می‌شود. بطوریکه این یون‌ها مقدار فراوانی آب را جذب می‌نمایند.این جاذب‌های آب، باز هم آب جذب نموده و باعث انبساط خاک شده و مقاومت خود را از دست می‌دهند. آب جذبی، قویا به سطح رس پیوند خورده و بوسیله خورشید و حرارت جدا نمی‌شوند و تنها مواد شیمیایی می‌توانند این کار را انجام دهند.این همان فرایندی است که نانو پلیمر وینیل الکل انجام می‌دهد. پلی وینیل الکل، مولکول‌های پیچیده بوده و از دو جزء سر و دم تشکیل شده که سر آن آب دوست و دم آن آب‌گریز است. جذب سطحی آب موجود باعث تورم خاک رس می‌شود. همچنین باعث کاهش اصطکاک بین ذرات خاک و افزایش چسبندگی، پیوستگی و مقاومت خاک رس می‌شود. این یون‌ها خود را به سطح خاک رس چسبانده که یا آنها را جابجا یا درون یون‌های فلزی قفل می‌کند و جاذب‌های آن‌را از بین برده و خاک رس را آب‌گریزی می‌نماید و اثر روغنی به آن می‌دهد[۶].

۲-۷ نشست خاک

با تأثیر سربار، تنش‌های فشاری در لایه های خاک به وجود آمده و باعث فشرده شدن آن می‌شود. فشردگی خاک ناشی از تغییر شکل فشاری و جابجایی ذرات خاک، رانده شدن هوا و آب از حفرات خاک و عوامل دیگر می‌باشد. در یک خاک بخصوص، یک و یا تعدادی از عوامل فوق ممکن است مشارکت داشته باشند. از آنجایی که فشرده شدن خاک باعث نشست سازه واقع بر روی آن می‌شود، از نقطه نظر مهندسی به این پدیده، نشست (Settlement) خاک می‌گویند. درحالت کلی نشست‌های خاک به دو گروه زیر تقسیم می شوند:

۱- نشست تحکیم (Consolidation settlement) که ناشی از تغییر حجم خاک اشباع به علت رانده شدن آب‌های موجود در حفرات است.

۲- نشست آنی (Immediate settlement) که ناشی از تغییر شکل الاستیک خاک خشک و یا خاک‌های مرطوب و اشباع بدون هرگونه تغییـری در میـزان آب می‌باشد. محاسبات نشست آنی معمولاً بر پایه روابط به دست آمده از تئوری الاستیسیته قرار دارد[۷].

۲-۸ مروری بر پژوهش های انجام شده

برای اصلاح و بهبود خاک‌های ریزدانه روش‌های بسیاری همچون عوض کردن خاک، ساختن شالوده‌های شمعی، مهار رطوبت تراکم و... مطرح شده اند. برای متعادل کردن رفتار تورمی و انقباضی و انقباضی خاک‌ها، روش‌هایی مانند تثبیت شیمایی با آهک توسط Chen و خاکستر بادی توسط Cokca و Phanikumar ارائه شدند[۱۰-۸]. همچنین استفاده از ژئوسنتتیک‌ها توسط Ayyar و Vessel و اخیرا استفاده از الیاف توسط Punthutaecha و همکاران مورد مطالعه قرار گرفته اند[۱۲ ,۱۱]. همچنین استفاده از پلیمرهای آلی طی سال‌های اخیر اهمیت فراوانی یافته است .و این پلیمرها توانایی خود را برای آن که به عنوان ماده‌ی افزوده برای تثبیت خاک استفاده شوند، نشان داده‌اند.

افزاینده‌های خاک گوناگونی برای فراهم آوردن افزایش مقاومت خاک ,تثبیت دانه‌های خاک، نفوذپذیری خاک و همینطور با هدف محدود نمودن جذب آب، فرسایش خاک، از دست دادن رطوبت و نشت آب ، بوجود آمده است .با مروری بر تحقیقات دیده می‌شود که بررسی‌های صورت گرفته برروی افزودنی‌های سنتی مانند آهک،سیمان، خاکستر کوره و...در برابر بررسی‌های انجام شده در رابطه با

پایدارسازهای نوین بسیار بیشتر است .اثر تعدادی از این افزاینده و اصلاح کننده‌ها بر روی مقاومت فشاری خاک بررسی و مطالعه شده است.

آزمایش‌هایی توسط Vessel بر روی عملکرد برخی مواد پلیمری از جمله پلی وینیل اکریلیک به عنوان تثبیت کننده بر روی خاک ماسه‌ای انجام گرفت. اساس این تحقیقات روی مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیت شده بود . نتایج نشان داد که با کاربرد پلی وینیل اکریلیک مقاومت فشاری افزایش می‌یابد مقاومت گسیختگی و مقاومت در برابر فرسایش باد برای چهار نوع تثبیت کننده ماسه ارزیابی شد . این تثبیت‌گرها عبارت از امولسیون پلی وینیل الکل، امولسیون پلی وینیل استات، مخلوط کلرید سدیم با شیشه مایع و مخلوط اوره و شیشه مایع بودند[۱۲].

Gopal و همکارانش مطالعات مقایسه ای را برای استفاده از اوره فورمالدهید و پلیمرهای هم خانواده آن برای پایدارسازی ماسه بادی انجام دادند. نمونه ها با در صدهای مختلفی از ترکیبات اوره فرمالدهید ساخته شدند. همه نمونه ها برای مدت زمان ۶ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به منظور گیرش کامل آماده سازی شدند. نتایج نشان میدهند که حداکثر مقاومت فشاری حاصل ۱۶۱۸۱kPa است. با استفاده از ترکیب کاتلیست اسید فسفریک برای پایین آوردن مقدار PH مقاومت نمونه ها به صورت نسبی افزایش پیدا کرد[۱۳].

آزمایشات و تحقیقات صورت گرفته توسط Speyer و موسسه تحقیقات دانشگاه بن آلمان نشان دهنده بهبود ساختار خاک توسط پلی وینیل استات است که شامل : حفظ رطوبت خاک ، تثبیت خاک در شیب‌های تا زاویه ۶۰ درجه در برابر بارش باران و جلوگیری از گردو خاک می‌باشد . آزمایشات صورت گرفته در شیب‌های طول بزرگراه. Puchong – Shah در مالزی نشان می‌دهد که پلی وینیل استات میتواند به عنوان سخت‌کننده خاک به‌کار رود .در تحقیقات و آزمایش‌هایی که توسط خانم دکتر الهه مهدویان و همکاران روی تغییر مقاومت خاک سابگرید تثبیت شده با یک محلول آنزیمی صورت پذیرفت میزان تاثیر آنزیم روی مقاومت (CBR) و صلبیت و مدول خاک (SSG) بررسی گردید. این آزمایشات روی ماسه ،رس و مخلوط ماسه رس انجام گرفت. در خاک‌های با ریز دانه بالا تغییر ناچیز در

CBR ایجاد نموده و در خاکهای با تقریباً ۳۰ ٪ ریزدانه ،CBR تا ۱۴۰٪ افزایش یافته است. متوسط افزایش مقاومت در محدوده خاکهای آزمایش شده ۵۲ ٪ می‌باشد. همچنین بر اساس شاخص ترکیبی مقاومت (CBR, SSG) فقط ۳۰ ٪ نمونه های خشک افزایش مقاومتی بیشتر از ۲۰ ٪ و ۸۰ ٪ نمونه های مرطوب افزایش مقاومتی بیشتر از ۲۰ ٪ در نتیجه کاربرد آنزیم نشان دادند[۱۴].

در چین برای تثبیت تپه‌های ماسه ای روان و کنترل فشار ماسه بادی متورم در امتداد یک بزرگراه در صحرای Taklimakan به وسیله تثبیت کننده‌های پلیمری مانند امولسیون پلی وینیل استات (LVP) و امولسیون پلی وینیل الکل توسط Z.Han و همکارانش آزمایشات و تحقیقات آزمایشگاهی و میدانی در محل برای ارزیابی مقاومت گسیختگی، مقاومت در برابر فرسایش بادمقاومت در برابر یخ زدگی، مقاومت در برابر افزایش عمر ماسه تثبیت شده با این مواد انجام پذیرفت .نتایج نشان داد که مقاومت گسیختگی تا حد 12MPa افزایش یافته که بسیار بزرگ تر از آنچه که مورد نیاز است (1MPa) می باشد .مقاومت در برابر یخ زدگی نیز بسیار مطلوب بود به طوری کاهش وزن نمونه ها صفر بود . شاخص افت مقاومت در برابر افزایش عمر نشان داد که LVP کم ترین افت مقاومت را دارد و کاهش مقاومت آن صفر است و در یک دوره ۴ ساله جوابگو می‌باشد[۱۵].

Ali Kilic Ozbek و همکارانش اثر پلی وینیل الکل را روی تثبیت ذرات خاک و دیگر خواص ساختاری خاک بررسی کردند. از سه نوع خاک ماسه، رس، لوم[1] و رس ماسه‌ای در تحقیق استفاده گردید. پس از عمل آوری ۴۸ ساعته نمونه‌ها، میزان تخلخل، پایداری مصالح ریز دانه، استحکام و مقاومت مصالح به طرز چشمگیری با افزایش درصد کاربرد پلیمر افزایش داشت که در ماسه و لوم بیشتر بود و چگالی ظاهری با افزایش درصد کاربرد پلیمر کاهش می‌یابد[۱۶].

به طور کلی به علت هزینه بالا و نیروی کار زیاد روش‌های فیزیکی و مکانیکی برای تثبیت خاک و کنترل فرسایش، مواد پلیمری برای تثبیت خاک در سطوح تخت و شیب های زیاد، ایده آل می باشد و از نظر اقتصادی نیز مناسب و کم هزینه است و به حداقل نیروی انسانی برای کاربرد نیاز دارد.

[1] loam

استفاده از پلیمرهای آلی طی سال‌های اخیر اهمیت فراوانی یافته است و این پلیمرها توانایی خود را برای آنکه به عنوان ماده‌ی افزوده برای تثبیت خاک استفاده شوند، نشان داده‌اند . افزاینده‌های خاک گوناگونی برای فراهم آوردن افزایش مقاومت خاک، تثبیت دانه‌های خاک، نفوذپذیری خاک و همینطور با هدف محدود نمودن جذب آب، فرسایش خاک، از دست دادن رطوبت و نشت آب به وجود آمده است . با مروری بر تحقیقات می‌بینیم که بررسی‌های صورت گرفته بر روی پایدارهای سنتی مانند آهک، سیمان، خاکستر‌کوره و ...در برابر بررسی‌های انجام شده در رابطه با پایدارسازهای نوین بسیار بیشتر است .اثر تعدادی از این افزاینده و اصلاح کننده‌ها بر روی مقاومت فشاری ماسه بادی بررسی و مطالعه شده است .خاک‌های ماسه‌ای با رزین اوره فرمالدهید (UF) به همراه عامل اتصال عرضی که برای جلوگیری از شسته شدن رزین (UF) در میان خاک ماسه‌ای که با کاهش حلالیت آن به صفر صورت می‌گیرد، تحکیم شدند .برای مثال لایه‌های ماسه با رزین (UF) و به همراه مقادیر متغیری از اسید کلریدریک، آلومینیوم و اسید سولفوریک به عنوان عامل اتصال عرضی تحکیم و سخت شدند[۱۷]. تزریق رزین‌های (UF) به همراه محلول اسید سولفوریک به عنوان عامل اتصال عرضی در خاک‌های ماسه‌ای مقاومت فشاری برابر با $2.5\ N/mm^2$ را فراهم آورد[۱۸]. به طور مشابه تیمار خاک-های ماسه‌ای با رزین‌های (UF) با غلظت معین ۹ درصد نسبت به وزن خاک خشک به همراه منوهیدرات فسفات هیدروژن کلسیم به عنوان عامل اتصال عرضی، مقاومت فشاری تک محوری برابر با $11.4\ N/mm^2$ تا $12\ N/mm^2$ را فراهم ساخت[۱۹].

رزین‌های آبی (UF) با KCl و NH_4Cl مقاومت فشاری برابر با $1.86\ N/mm^2$ را فراهم نمود [۲۰].ساختارهای بر پایه الکیل اکریلات وقتی بر تودهای از ماسه افشانیده شد، مقاومت فشاری برابر با $18\ N/mm^2$ فراهم ساخت[۲۱]. پلی وینیل استات، پلیمرهای وینیل و پلیمرهای اکریلیک به ترتیب مقاومت‌های $0.3792\ N/mm^2$ و $0.2758\ N/mm^2$ و $0.3310\ N/mm^2$ زمانیکه به ترتیب به میزان 1.2 درصد،۱/۴۴ درصد و ۱/۵۷ درصد به نسبت وزن ماسه افزوده شده بود، را فراهم کردند .اوره فرمالدهید و پلی وینیل الکل همراه با یک اسید به خاک زیر سطح در محل، همانند دوغاب به نسبت

۳/۷۵ درصد نسبت به وزن خاک تزریق شد، که مقاومت فشاری $0.67\ N/mm^2$ تا $1.04\ N/mm^2$ فراهم کرد[۲۲].

مطالعه بر روی دو نوع فرمالدهید که برای مقایسه به میزان صفر تا ۵ درصد وزن ماسه به آن اضافه شد، انجام گرفت، که نشان داد حتی استفاده از مقادیر کم نیز جواب بسیار خوبی می‌دهد . به‌طوری‌که مقاومت فشاری غیر محصور برای افزودن پلیمر ۲ درصد، $2.4\ N/mm^2$ می‌دهد . جهت پایدارسازی خاک لای برای کاربری راه‌ها یک تثبیت‌گر جدید به‌کار برده شد . تا کارایی این خاک را افزایش دهد .که به میزان ۴ درصد وزن خاک به آن اضافه شد . برای آزمایش از تست فشاری غیرمحصور استفاده شد . آزمایش در محل انجام گرفته، درستی نتایج را اثبات نمود . ماده مورد نظر مقاومت اولیه، سختی و نگهدارندگی آب را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد و تغییر شکل انقباضی را کاهش می‌دهد. آزمایش‌هایی بر روی عملکرد برخی مواد پلیمری از جمله پلی وینیل اکریلیک به عنوان تثبیت کننده بر روی خاک ماسه‌ای انجام گرفت .اساس این تحقیقات روی مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیت شده بود. نتایج نشان داد که با کاربرد پلی وینیل اکریلیک مقاومت فشاری افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که با کاربرد ۱/۵۷ درصد پلیمر نسبت به وزن ماسه، مقاومت فشاری از $0.016\ N/mm^2$ به $0.331\ N/mm^2$ می‌رسد[۱۴].

میزان تأثیر آنزیم بر پایه اندازه‌گیری‌های آماری روی تغییر در مقاومت CBR صلبیت خاک و مدول خاک ارزیابی شد، تست‌های آزمایشگاهی تحت استاندارد آشتو صورت گرفت .مقاومت خاک با درصد زیادی ریزدانه تغییر چندانی نکرد، ولی خاک با ۳۰ درصد ریزدانه، ۱۴۰ درصد افزایش مقاومت داشت. افزایش در شرایط خشک بیشتر از شرایط تر بوده است[۲۳].

Ajayi و همکارانش یک آزمایش را برای تعیین اثرات پایدار سازها بر روی خاک‌های سیلتی - رسی با ترکیب رزین اپوکسی و سخت کننده پلی آمید انجام دادند. ترکیب افزودنی مخلوطی از رزین اپوکسی با سخت کننده پلی آمید به نسبت ۱ به ۱ بود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ترکیب بیش از

۴٪ پایدارساز در خاک‌های سیلتی - رسی باعث افزایش ظرفیت باربری مواد در آزمایش فوق بصورت غیر خیس ، می شود[۲۴].

مقاومت گسیختگی و مقاومت در برابر فرسایش باد برای چهار نوع تثبیت‌کننده ماسه ارزیابی شد .این تثبیت‌گرها عبارت از امولسیون پلی وینیل الکل، امولسیون پلی وینیل استات، مخلوط کلرید سدیم با شیشه مایع و مخلوط اوره و شیشه مایع بودند .در آزمایش‌های میدانی پوسته سخت شده توسط پلی‌وینیل‌استات، الاستیک است، در صورتی‌که پوسته سخت شده با مخلوط کلرید سدیم و شیشه مایع، سخت و شکننده می باشد[۲۵].

علی بردبار و همکاران نیز در مقاله‌شان به بررسی تاثیر افزودن فیبرهای طبیعی و مصنوعی برروی پارامترهای تحکیمی خاک از جمله تنش پیش تحکیمی پرداخته و باافزودن درصدهای مختلف وزنی فیبر و آزمایشات تحکیم بیان کردند که باعث افزایش فشار پیش تحکیمی و افزایش ضرایب تورم و فشردگی خاک گردیده و دامنه این تغییرات در خصوص فیبرهای طبیعی(دردرصدهای وزنی یکسان) نسبت به فیبرهای مصنوعی بیشتر می‌باشد[۲۶].

کیوان کریمی عسکرانی و همکاران نیز باافزودن آهک و سیمان به خاک رسی، تاثیر این افزودنی‌ها بر افزایش مقاومت برشی خاک پیش تحکیم‌یافته را با استفاده از آزمایش برش مستقیم بررسی کرده و دریافتند پیوندهای بین ذره‌ای و نسبت پیش‌تحکیمی OCR متغیرهای مهم تاثیرگذار بر مقاومت برشی زهکشی شده خاک‌های رس پیش‌تحکیم‌یافته هستند. آن‌ها همچنین بیان کردند که افزایش در مقدار و شدت پیوندهای شیمیایی بین ذره‌ای به واسطه ایجاد سمنتاسیون بین ذرات خاک بدست آمده است باعث افزایش مقاومت اصطکاکی و لغزشی و در نتیجه افزایش مقاومت برشی زهکشی شده برای خاک-های پیش‌تحکیم‌یافته می‌شود. خاک سمنته شده با آهک پس از ۷ روز عمل آوری به حدود ۹۲ ٪ از مقاومت خود می‌رسد و با ادامه زمان عمل‌آوری تا ۲۸ روز تاثیر قابل توجهی در پارامترهای مقاومت چسبندگی C و مقدار m آن حاصل نمی‌گردد در صورتی‌که در خاک سمنته شده با سیمان با ادامه زمان

عمل آوری از ۷ روز تا ۲۸ روز تاثیر قابل توجهی در پارامترهاس مقاومت چسبندگی C و مقدار m حاصل می‌شود[۲۷].

وحیدرضا اوحدی و همکاران نیز با بررس تاثیر افزودن آهک به خاک‌های واگرا و یافتن میزان پیش‌تحکیمی دریافتند که مهمترین نتیجه پژوهش حاضر را می‌توان تعیین درصد بهینه آهک براساس میزان افزایش تنش پیش تحکیمی و آزمایش‌های ریز ساختاری بیان نمود[۲۸].

جدول (۲-۱) جمع بندی مطالعات پیشین را نشان می‌دهد که برای هر تثبیت گر نتایج به صورت کلی ارائه شده است.

جدول ۲-۲

ماده تثبیت کننده	محقق	نوع خاک بررسی شده	نتیجه
آهک	Chen	ریزدانه	متعادل شدن رفتار تورمی و انقباضی خاک های ریزدانه
خاکستر بادی	Cokca	ریزدانه	متعادل شدن رفتار تورمی و انقباضی خاک های ریزدانه
ژئوسنتتیک	Ayyar Vessel	ریزدانه	متعادل شدن رفتار تورمی و انقباضی خاک های ریزدانه
الیاف	Punthutaecha	ریزدانه	متعادل شدن رفتار تورمی و انقباضی خاک های ریزدانه
پلی وینیل الکل	Vessel	ماسه	افزایش مقاومت فشاری افزایش مقاومت گسیختگی

ماده تثبیت کننده	محقق	نوع خاک بررسی شده	نتیجه
پلی وینیل استات	Speyer		حفظ رطوبت خاک تثبیت خاک در شیبهای ۶۰ درجه جلوگیری از گردو غبار سخت کننده خاک
پلی وینیل استات پلی وینیل الکل	Z.Han	ماسه	افزایش مقاومت گسیختگی افزایش مقاومت در برابر یخ زدگی
پلی وینیل الکل	Ali Ozbek	ماسه لوم رس ماسه دار	کاهش چگالی ظاهری پایداری مصالح ریزدانه
فیبرهای طبیعی و مصنوعی	علی بردبار و همکاران	ریزدانه	افزایش مقاومت پیش تحکیمی افزایش ضریب تورم افزایش ضریب فشردگی
آهک سیمان	کیوان کریمی عسکرانی	رس	افزایش مقاومت پیش تحکیمی
آهک	وحیدرضا اوحدی	خاک واگرا	افزایش مقاومت پیش تحکیمی

فصل سوم

نحوه انجام آزمایش‌ها و نتایج شناسایی خاک

۳-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا مکان و محدوده مورد مطالعه شرح داده می‌شود. سپس آزمایش‌های اولیه برای شناسایی خاک مورد نظر توضیح داده شده و نتایج آزمایش‌ها آمده است. در پایان آزمایش تحکیم یک بعدی انجام شده بر روی نمونه‌ها شرح داده می‌شود.

۳-۲ محل نمونه گیری

با توجه به پهنه وسیعی از خاک‌های ریزدانه درشهرستان مشهد ،خاک مورد استفاده در این پژوهش از بولوار شارستان رضوی از عمق ۱۴ متر تهیه شده و برای پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است.منطقه نمونه گیری در شکل زیر نشان داده شده است.

شکل۳-۱: محل نمونه گیری

در ادامه به بررسی خواص اولیه خاک می‌پردازیم.

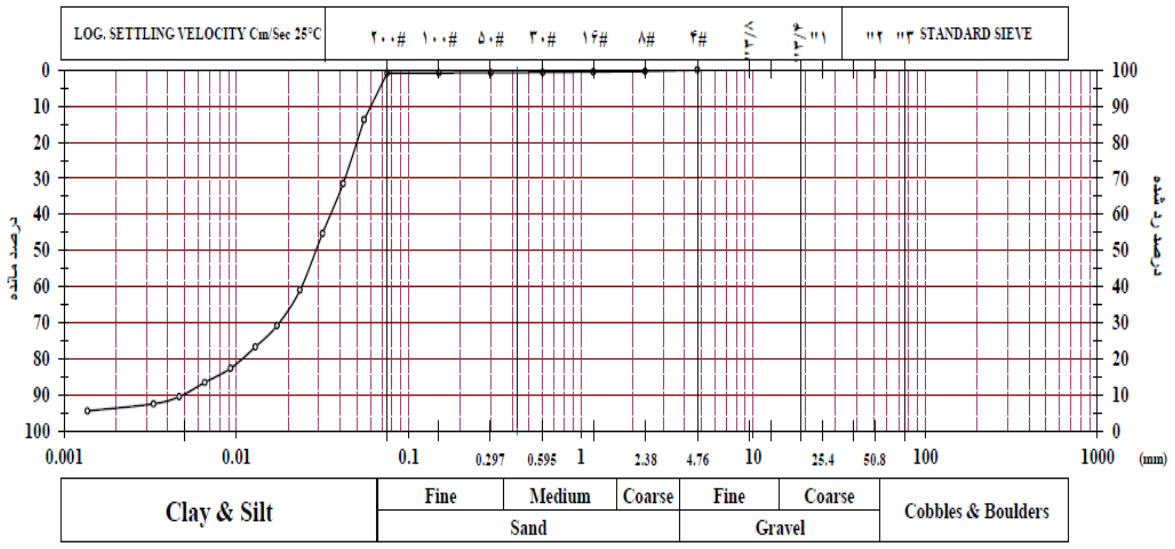
۳-۳ آزمایش‌های اولیه برای شناسایی خاک

نمونه‌های خاک به صورت دستی تهیه شده اند و با توجه به ترکیب خاک و ماده افزودنی در حالت خشک، نمونه ها به صورت دست خورده و در تراکم و رطوبت معین مورد آزمایش قرار گرفتند. به منظور شناسایی خاک آزمایش‌های اولیه صورت گرفت که در ادامه شرح داده می‌شوند.

۳-۳-۱ آزمایش دانه بندی و هیدرومتری

آزمایش دانه بندی به‌صورت تر برای دانه‌های بزرگتر 0.075mm و آزمایش هیدرومتری بر طبق استاندارد ASTM D 442-63 بر روی خاک انجام شده و پس از آن منحنی دانه بندی برای این آزمایش رسم شده است. روند کار بدین ترتیب است که ابتدا مقدار مشخصی از خاک از الک شماره ۲۰۰ عبور داده تا درصد ریزدانه خاک به‌دست آید. مشاهده شد که ۱۰۰ ٪ خاک از الک نمره ۲۰۰ عبور می‌کنند. بنابراین جهت انجام آزمایش دانه‌بندی می‌بایست از روش هیدرومتری استفاده شود.

شکل (۳-۲) نمودار حاصل از انجام آزمایش‌های دانه بندی خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲: نمودار دانه بندی از آزمایش الک تر و هیدرومتری

۳-۳-۲ آزمایش تعیین درصد رطوبت طبیعی

دراکثر آزمایش‌های مکانیک خاک، لازم است درصد رطوبت خاک تعیین شود.

آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک طبق آیین نامه ASTM D 2216 انجام شد. هدف از این آزمایش تعیین درصد وزنی زطوبت خاک نسبت به دانه‌های خشک خاک می‌باشد.

نتایج آزمایش در جدول (۳-۱) آمده‌است.

جدول ۳-۱. تعیین درصد رطوبت خاک

شماره آزمایش	درصد رطوبت
۱	۷/۲۵
۲	۷/۲۷
۳	۷/۲۶
میانگین	۷/۲۶

۳-۳-۳ آزمایش تراکم

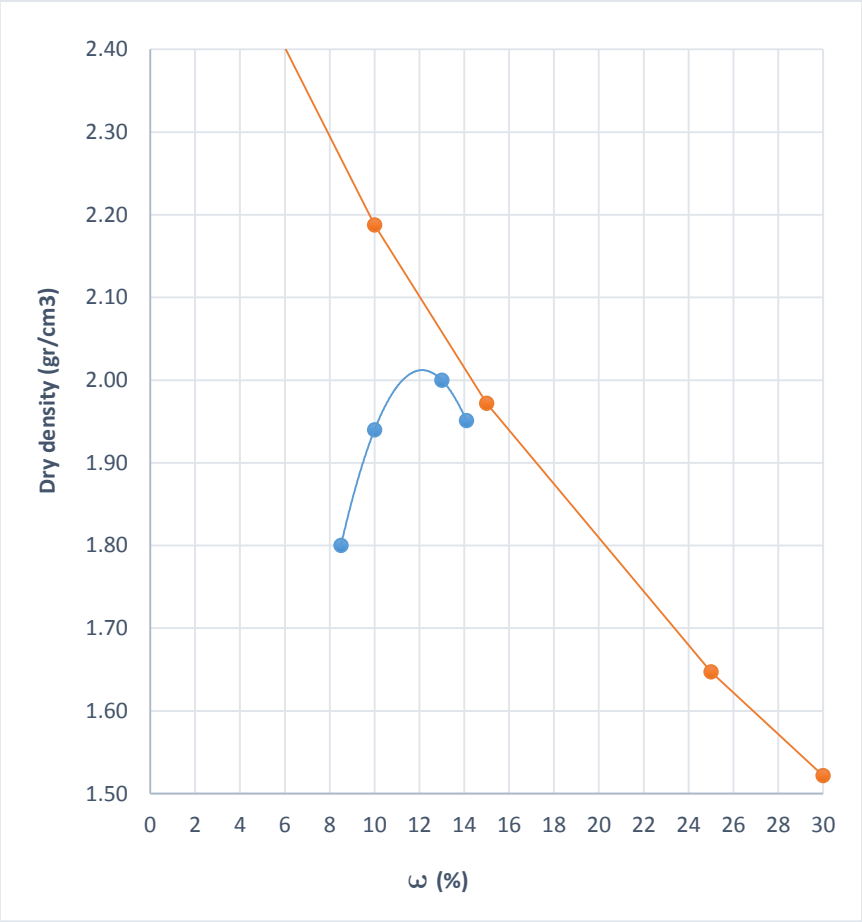
برای انجام آزمایش تراکم ابتدا نمونه درسه مرحله قالب تراکم کوبیده شده و پس از ان از سه نقطه آن نمونه های کوچکی برداشته شدو رطوبت آنها محاسبه شده است و با داشتن حجم قالب تراکم و وزن خاک کوبیده شده درآن وزن مخصوص خشک خاک اندازه گیری می‌شود. سپس رطوبت را دو درصد نسبت به رطوبت قبلی اضافه می‌کنیم و روند قبلی تکرار می‌شود.اضافه کردن رطوبت تا جایی ادامه داردکه با افزایش آن وزن مخصوص خشک نسبت به مرحله قبل کاهش یابد.

آزمایش تراکم استاندارد طبق استاندارد ASTM D 698-7 انجام شد. دراین آزمایش برروی ۵ نمونه از خاک عمل تراکم انجام گرفت و نتایج آزمایش در جدول (۳-۲) آمد است.

جدول ۳-۲. وزن مخصوص خشک

γ_d (KN/m^3)	ω (%)
۱۳/۸	۷/۳۴
۱۵/۴۸	۹/۰۰
۱۶/۹۸	۱۰/۵۴
۲۰/۲	۱۳/۰۴
۱۸/۹۹	۱۶/۸۰

با توجه به جدول (۳-۲) می توان منحنی وزن مخصوص خشک خاک نسبت به رطوبت در شکل (۳-۳) ارائه شده است، با توجه به آن حداکثر وزن مخصوص خشک خاک برابر ۲۰/۲ می‌باشد که رطوبت بهینه را برابر ۱۳ ٪ نشان می‌دهد.



شکل۳-۳ منحنی تراکم برای خاک رس

۳-۳-۴ آزمایش حدروانی و حد خمیری

آزمایش حدود اتربرگ طبق استاندارد ASTM D 4318 انجام شد. برای تعیین حد روانی آزمایش جام کاساگرانده و برای تعیین حد خمیری از روش فیتیله استفاده شد.

هدف آزمایش، به دست آوردن حد روانی(میزان رطوبت برای حالتی که خاک چسبنده از حالت روان به یک حالت پلاستیک گونه و خمیری می‌رسد) و حد خمیری(درصد رطوبت برای حالتی که خاک چسبنده از حالت خمیری به حالت نیمه جامد تغییر می‌کند) و دامنه خمیری خاک می‌باشد.

میانگین نتایج به دست آمده از سه سری آزمایش در جدول (۳-۳) آمده است.

جدول ۳-۳. نتایج حدود اتربرگ

حد روانی	حد خمیری	دامنه خمیری
۳۸	۳۰	۸
۳۹	۳۱	۸
۳۷	۲۹	۸
۳۸	۳۰	۸

الف

ب

شکل ۳-۴. الف) جام کاسگرانده برای آزمون حد روانی ب) روش فیتیله برای آزمون حد خمیری

۳-۳-۵ چگالی نسبی دانه‌های جامد خاک(Gs)

این آزمایش مطابق استاندارد ASTM D 854 که برای بدست آوردن چگالی نسبی دانه‌های جامد خاک می‌باشد صورت گرفته‌است.

برای محاسبه چگالی دانه‌های جامد خاک،ازرابطه(۳-۱) استفاده می‌شود.

رابطه ۳-۱

$$Gs = K \times \frac{M_S}{M_S + M_{PW} - M_{PWS}}$$

M_s : جرم ذرات خاک

M_{PW}: جرم آب و ذرات خاک

$M_S+M_{PW}-M_{PWS}$: جرم آب و ذرات خاک و پیکنومتر

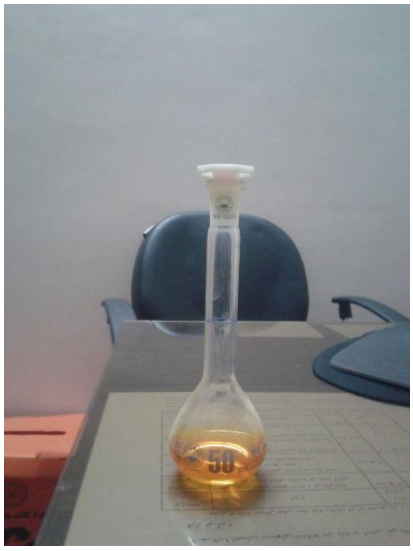
K: ضریب تصحیح دمای آب

چگالی نسبی هر خاک در مسائلی چون نشست و پایداری در مهندسی خاک استفاده می‌شود. همچنین وزن مخصوص ویژه در محاسبات مربوط به بسیاری از آزمون‌های آزمایشگاهی به‌کار گرفته می‌شود.

این آزمایش برروی سه نمونه خاک صورت پذیرفت و در نهایت میانگین آن‌ها به عنوان چگالی نسبی دانه‌های جامد خاک در نظر گرفته شد. لازم به‌ذکر است جدول (۳-۴) نتایج آزمایش چگالی نسبی دانه‌های خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴. نتایج آزمایش چگالی نسبی دانه‌های جامد خاک

شماره آزمایش	Gs
۱	۲/۶۶
۲	۲/۶۶
۳	۲/۶۹
میانگین	۲/۶۷



شکل ۳-۵. پیکنومتر مورد استفاده برای آزمایش تعیین Gs

۳-۴ آزمایش تحکیم

این آزمایش روشی است برای محاسبه مقدار و سرعت تحکیم خاک در شرایط یک بعدی تحت اثر بارگذاری تنش-کنترل .در این آزمایش یک نمونه در شرایطی که به صورت جانبی محدود شده است تحت اثر بارگذاری محوری قرار می‌گیرد .بار به صورت پله ای به نمونه اعمال می شود در در هر مرحله از بارگذاری ضمن اندازه گیری تغییرات ارتفاع، به نمونه امکان تحکیم (خارج شدن آب حفره ای)داده می شود .مقادیر اندازه گیری شده برای محاسبه رابطه تخلخل -تنش موثر و همچنین سرعت تحکیم مورد استفاده قرار می گیرند.

برای تعیین میزان نشست خاک‌ها به علت تحکیم از تئوری تحکیم ترزاقی با فرضیات زیر استفاده می شود:

۱- خاک همگن است

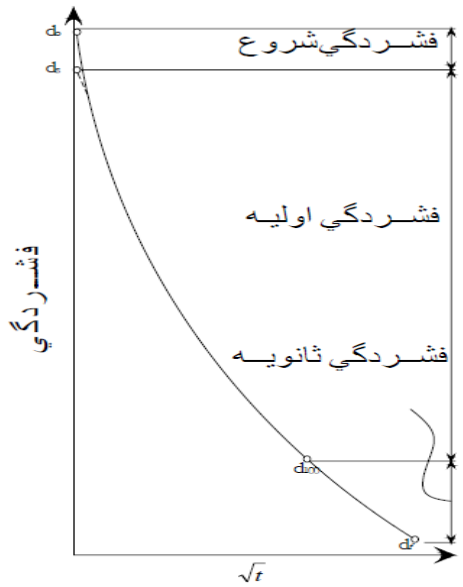
۲- خاک ها اشباع است

۳- زهکشی و تراکم یک بعدی است.

۴- خواص خاک ثابت است.

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

در شکل (۳-۳) منحنی فشردگی نمونه خاک نسبت به جذر زمان رسم شده است .در این شکل، d_0 شروع فشردگی است. d_s نقطه شروع اصلاح شده است که از امتداد مماس بر منحنی به دست آمده است. . d_{100} نقطه ۱۰۰درصد فشردگی ، d_f حد نهایی آن است. فشردگی از d_0 تا d_{100} تحکیم اولیه خوانده می شود و از d_{100} تا d_f تحکم ثانویه خواهد بود . d_0 معمولا بالای d_s قرار دارد .با اعمال بارگذاری، تحکیم اولیه شروع می شود و بعد از اتمام تحکیم، فشردگی ادامه می یابد .در این حالت هیچ نوع فشار هیدروستاتیکی اضافه یا محو نمی شود .در واقع این حالت تحکیم ثانویه است که به علت شکستگی تدریجی باند های بین دانه ها یا زهکشی آب جذب سطحی خود ذرات است .محاسبات زمانی تئوری ترزاقی فقط برای تحکیم اولیه صحت دارد.



شکل ۳-۶. منحنی نشست-جذر زمان [۷]

آزمایش تحکیم معمولا بر روی نمونه‌هایی که از نمونه‌های دست نخورده از نهشته‌های ریزدانه تهیه شده اند انجام می‌شود .این آزمایش را می توان بر روی نمونه‌های ساخته شده نیز انجام داد .نتایج

آزمایش تحکیم پایه ای برای محاسبه مقدار و سرعت نشست پی‌های سازه‌ها و خاکریزهایی که بر روی نهشته‌های ریزدانه ساخته می‌شوند خواهد بود .همچنین از این آزمایش میتوان برای تعیین پارامترهای مدل‌های رفتاری مصالح مانند مدل تحکیم یک بعدی ترزاقی یا مدهای حالت حدی استفاده کرد.

بعداز پایان آژمایش‌های اولیه بر روی نمونه خاک جهت تعیین ضرایب تحکیم آزمایش تحکیم طبق استاندارد ASTM انجام شد.

ابتدا دستگاه برروی فشارهای اولیه قرار گرفته و هر ۲۴ ساعت این فشار دو برابر خواهد شد. بارهای ۰/۵،۱،۲،۴،۸،۱۶ kg/cm^2 کیلو پاسکال طی شش روز اعمال و در دو مرحله بار برداری(مرحله اول ۱۶ kg/cm^2 و مرحله دوم kg/cm^2 ۸) صورت گرفت. تصویر بارگذاری در شکل (۳-۷) نشان داده شده است.

در هر گام بارگذاری میزان تغییر شکل در زمان‌های ۶، ۱۵و ۳۰ ثانیه و درادامه در ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه و در انتها در ۲۴ ساعت یادداشت شده است. نکته ایان ذکر دیگر این است که برای افزایش دقت در محاسبات هر آزمایش ۳ بار انجام شده است.

شکل ۳-۷. دستگاه تحکیم مورد استفاده در آزمایش تحکیم یک بعدی

فصل چهارم

تحلیل نتایج

۴-۱مقدمه

در فصل قبل پارامترهای شناسایی خاک مورد نظر مورد آزمایش قرار گرفت و پس از اتمام آزمایش‌های مربوطه به یافتن حد روانی و همچنین چگالی و دانسیته خاک،پرداخته شد. دراین فصل به انجام آزمایش‌های تحکیم و تعیین ضرایب تحکیم، نشست، سرعت نشست و... پرداخته خواهد شد.

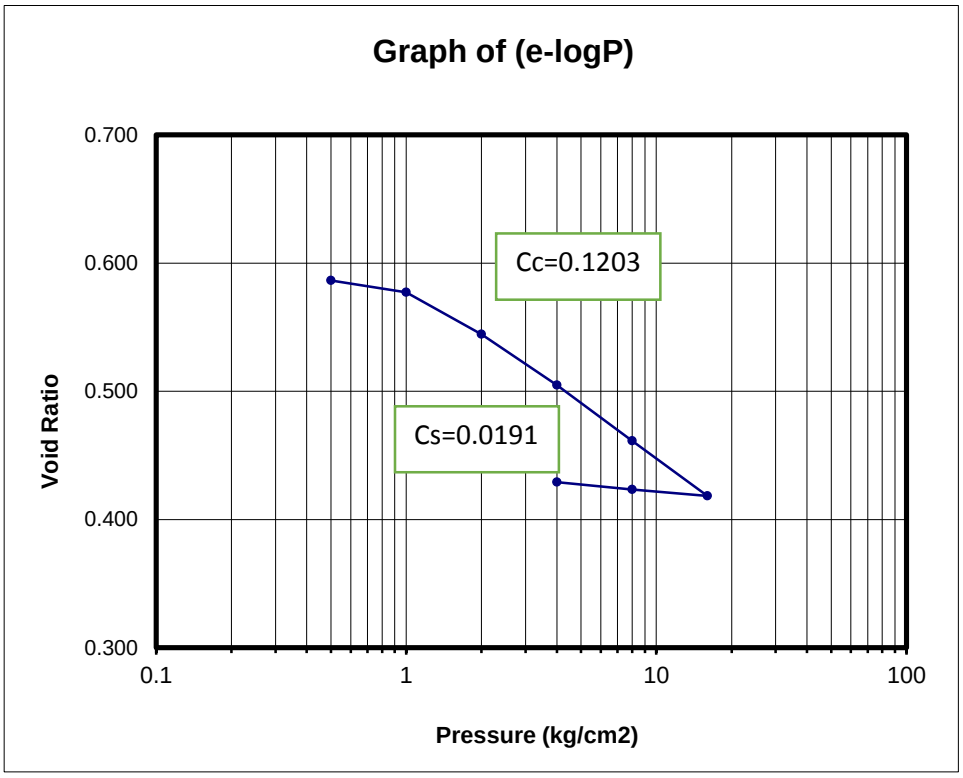
۴-۲ آماده سازی نمونه ها

برای آماده سازی نمونه ها ابتدا خاک را در اون به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا کاملا خشک شود و سپس از الک ۱۰ عبور می‌دهیم .از آن‌جایی که قبلا درصد رطوبت برای درصد تراکم های مختلف اندازه گرفته شده و مقدار پلیمر با درصدهای مختلف با خاک ترکیب شد.مطابق شکل (۴-۱) بمنظور جلوگیری ازبین رفتن رطوبت و یکدست شدن نمونه، ترکیب در نایلون انجام گرفت با داشتن حجم رینگ مقدار خاک لازم را آماده و رطوبت مربوط به همان تراکم را به خاک زده و نمونه هارا داخل نایلون به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا عمل آوری شوند.سپس نمونه‌ها در سه مرحله داخل قالب تحکیم کوبیده شده و آزمایش تحکیم انجام شد.

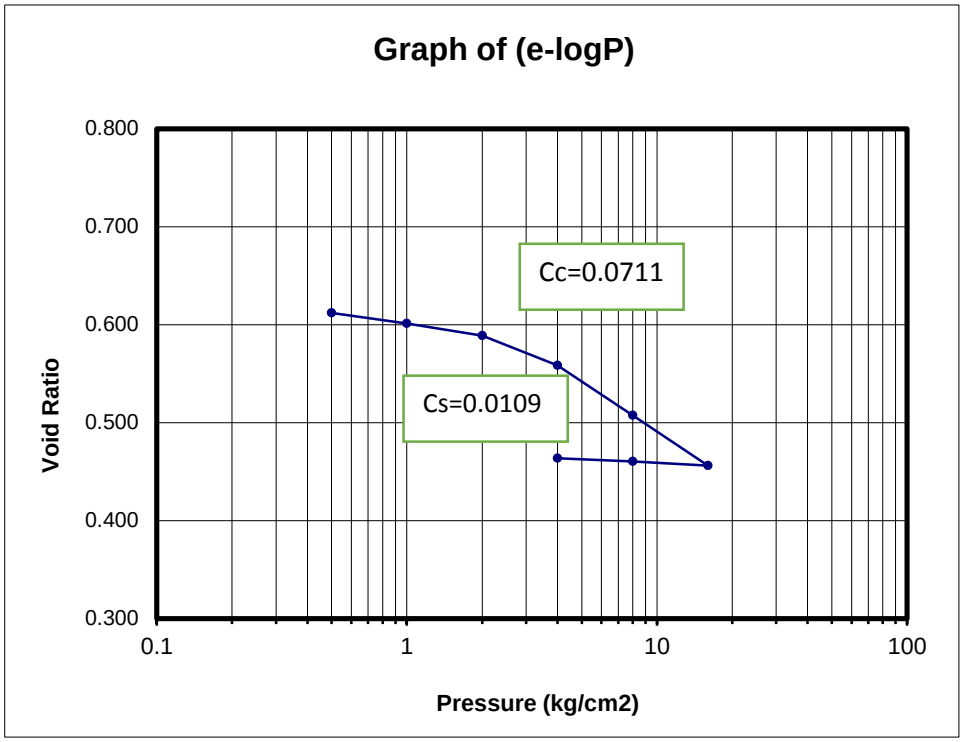
شکل۴-۱. آماده سازی نمونه جهت آزمایش

۴-۳ نتایج حاصل از آزمایش تحکیم

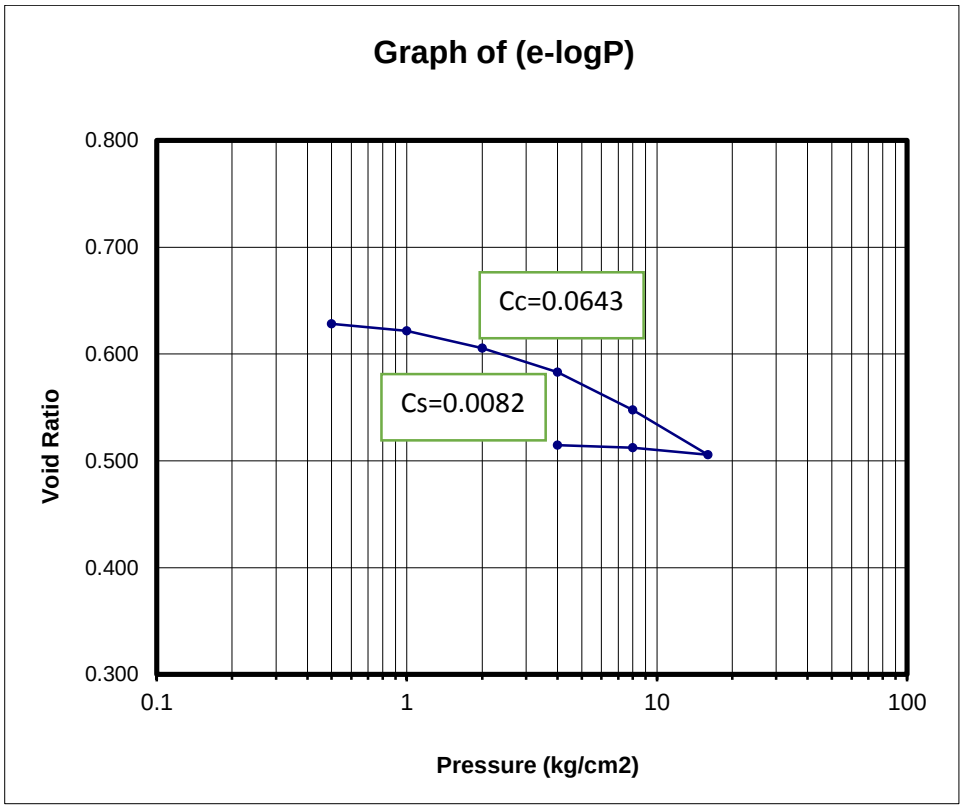
شکل‌های (۴-۲) الی (۴-۷)گراف‌های به دست آمده از آزمایش تحکیم را نشان می‌دهد. در هریک از نمودار ها مقادیر ضرایب تورم و فشار ذکر شده است که با مقایسه آنها شرایط ترکیب های مختلف را می‌توان بررسی نمود.



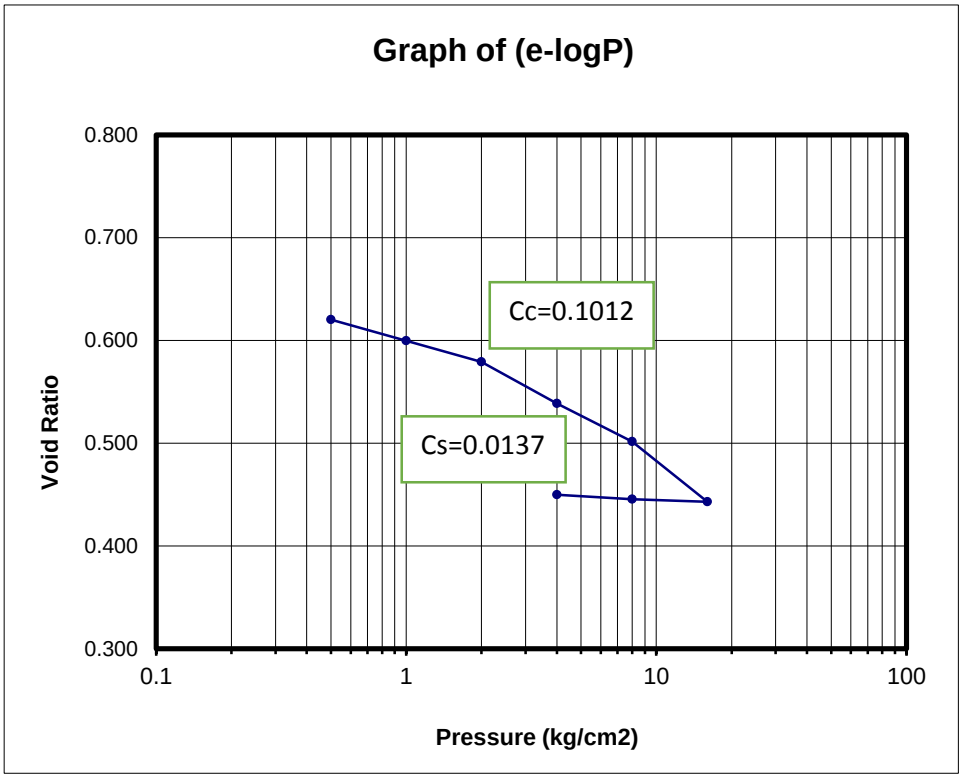
شکل۴-۲. منحنی تحکیم برای خاک بدون پلیمر



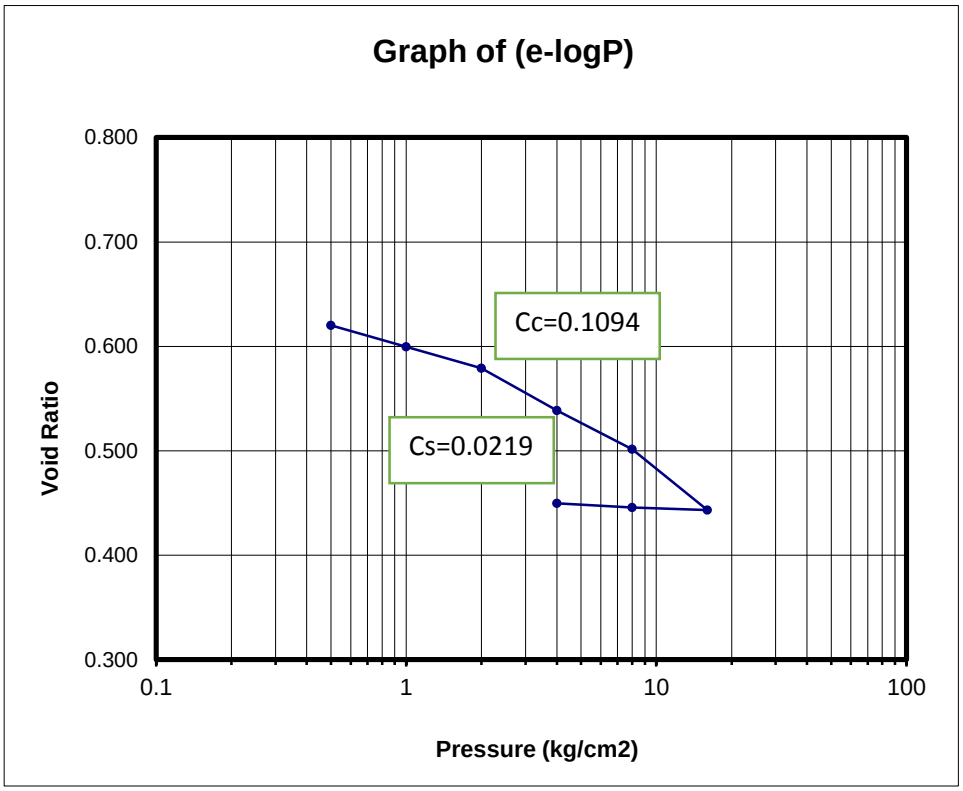
شکل۴-۳. منحنی تحکیم برای ترکیب خاک با ۰/۴ ٪پلیمر



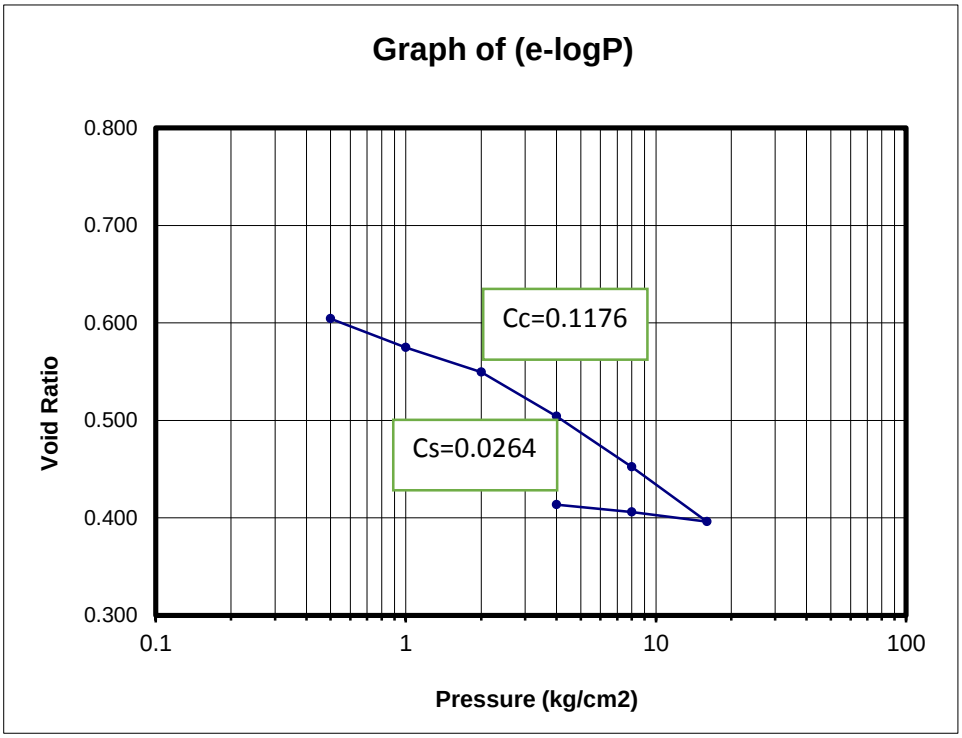
شکل۴-۴. منحنی تحکیم برای ترکیب خاک یا ۰/۶ ٪ پلیمر



شکل۴-۵. منحنی تحکیم برای ترکیب خاک با ۰/۸ ٪ پلیمر

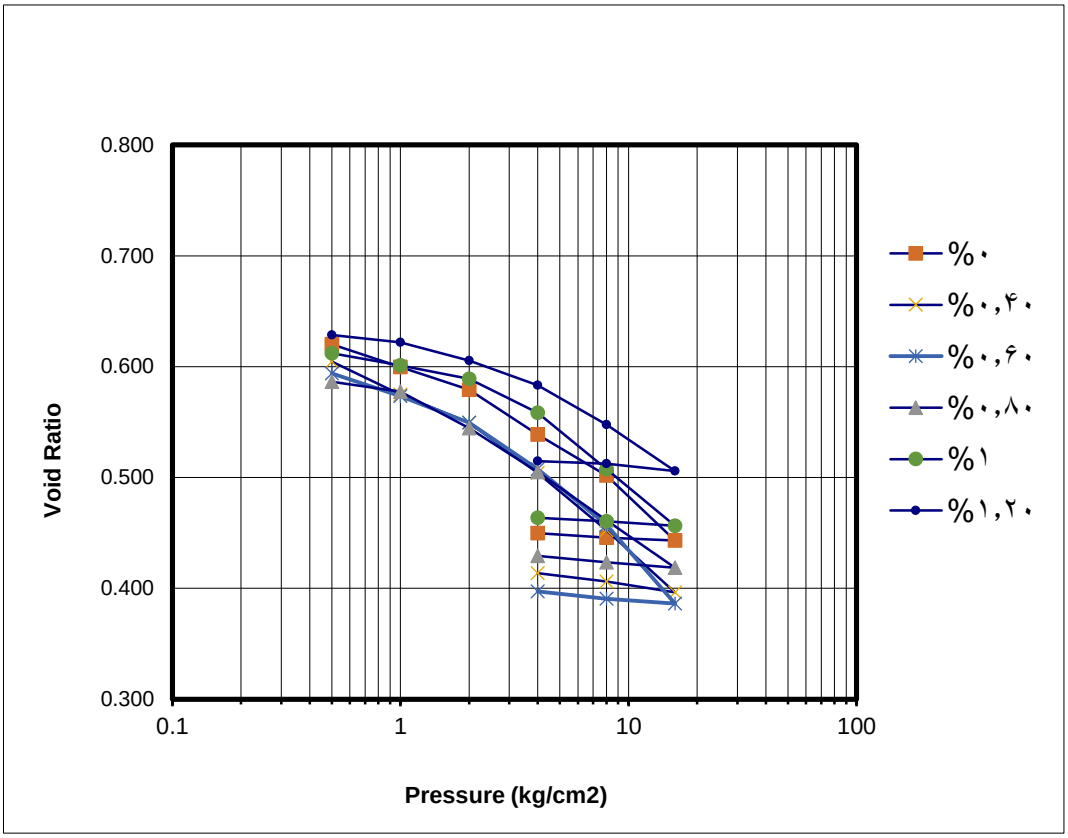


شکل۴-۶. منحنی تحکیم برای ترکیب خاک با ۱ ٪پلیمر



شکل۴-۷. منحنی تحکیم برای ترکیب خاک با ۱/۲ ٪ پلیمر

با نگاهی کلی به نمودارهای e-logp در شکل (۴-۸) مشاهده می‌شود که کمترین میزان تخلخل مربوط به ترکیب خاک و ۰/۶ ٪ پلیمر می‌باشد.



شکل ۴-۸. منحنی‌های تحکیم برای درصدهای مختلف پلیمر

۴-۳-۱نشانه فشردگی (Cc)

با داشتن نمودار آزمایشگاهی e در مقابل logp و با توجه به شکل‌های (۴-۲)الی(۴-۷) می‌توان نشانه فشردگی(Compression index) را طبق رابطه (۴-۱) برای انجام محاسبات تحکیم به‌دست آورد.

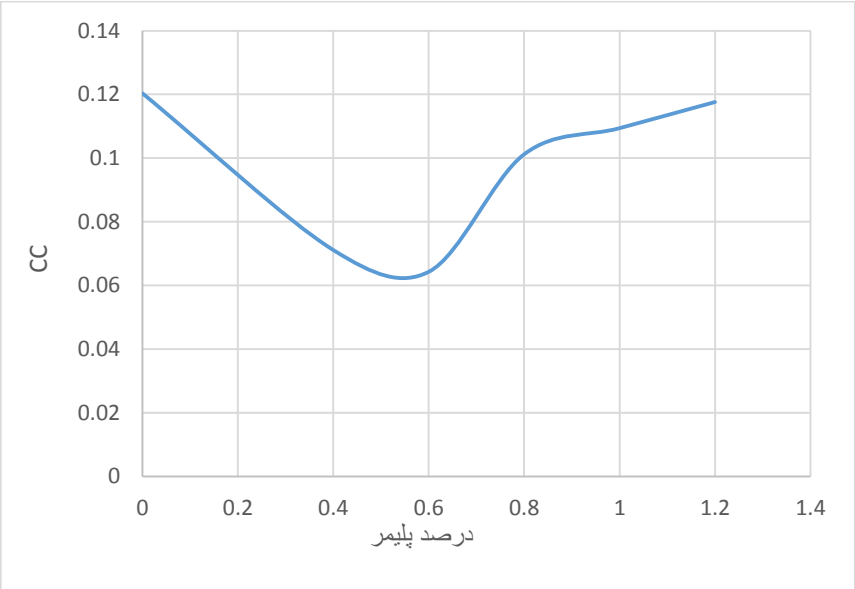
$$Cc = \frac{\Delta e}{\log \frac{p_2}{p_1}} \qquad (۱-۴)$$

در شکل (۴-۹) تغییرات شاخص تحکیم نمونه‌ها (Cc) (Compression index) با افزایش درصد پلیمر با توجه به داده‌های جدول(۴-۱) ارائه شده است. ملاحظه می‌شود با افزایش درصد پلیمر در مخلوط، مقدار شاخص تحکیم ابتدا کاهش و سپس افزایش یافته است. بیشترین میزان کاهش مربوط به نمونه‌های مخلوط با ۰/۶ ٪ پلیمر است. با افزودن پلیمر به خاک رس مقدار Cc کاهش می‌یابد

و این به معنای کمتر شدن امکان فشردگی خاک می‌باشد، در نتیجه نشست تحکیمی خاک کاهش می‌یابد. این تاثیر مثبت بر تحکیم خاک برای مخلوط خاک با ۰/۶ ٪ درصد پلیمر به حداکثر رسیده‌است و وقتی درصد پلیمر افزایش می‌یابد نشانه فشردگی رو به افزایش است .

جدول۴-۱. نشانه فشردگی

درصد پلیمر	Cc
۰/۰	۰/۱۲۰۳۳
/۴	۰/۰۷۱۱۰۴
/۶	۰/۰۶۴۲۶۷
/۸	۰/۱۰۱۱۸۶۷
۱	۰/۱۰۹۳۹۱
۱/۲	۰/۱۱۷۵۹۵



شکل۴-۹. تغییرات ضریب Cc نسبت به افزایش پلیمر

۴-۳-۲ نشانه تورم (Cs)

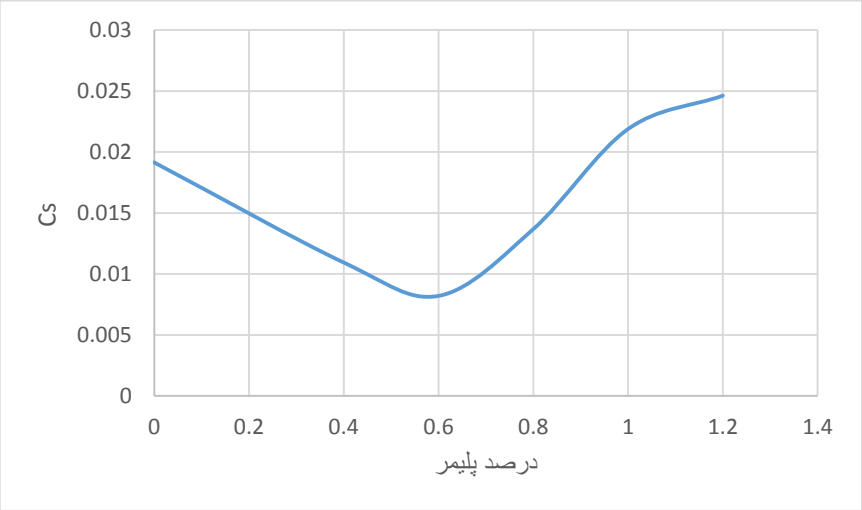
نشانه تورم به طور قابل ملاحظه‌ای کوچکتر از نشانه فشردگی است و آن‌را معمولا می‌توان از نتایج آزمایشگاهی طبق رابطه (۴-۲) به دست آورد.

$$Cs = \frac{\Delta e_s}{\log \frac{p_2}{p_1}} \qquad (۴-۲)$$

شکل (۴-۱۰) نمودار تغییر شاخص تورم (Swelling index) (Cs) بر حسب درصدهای مختلف پلیمر برای نمونه‌های مخلوط با خاک رس را بر اساس داده های جدول (۴-۲) نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد در انتهای فرایند تحکیم باربرداری صورت گرفته و تورم خاک مورد بررسی قرار گرفته است .هرچه ضریب Cs کمتر باشد خاک در وضعیت مطلوبتری قرار دارد چرا که تغییرات حجم خاک و درنتیجه نشست آن کمتر می‌شود. شاخص تورم نمونه‌های مخلوط با ۰/۶ ٪ پلیمر نسبت به رس خالص کمتر می‌باشد لیکن با افزایش پلیمر به ۰/۸ ٪ به بالا شاخص تورم افزایش یافته است.

جدول ۴-۲.نشانه تورم

Cs	درصد پلیمر
۰/۰۱۹۱۴۳	۰/۰
۰/۰۱۰۹۳۹	/۴
۰/۰۰۸۲۰۴	/۶
۰/۰۱۳۶۷۴	/۸
۰/۰۲۱۸۷۸	۱
۰/۰۲۴۶۱۳	۱/۲



شکل۴-۱۰. تغییرات ضریب Cs نسبت به افزایش پلیمر

۴-۳-۳ تورم آزاد

تورم آزاد همان تورم نمونه در اثر جذب آب در اثر سربار ناچیز می باشد. در آزمایش تحکیم یک بعدی، تورم آزاد درصد تغییر ارتفاع نمونه در اثر جذب آب به ارتفاع اولیه آن است و از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$FreeSwelling\,(\%) = \frac{\Delta H}{H_0} * 100$$ رابطه ۴-۱

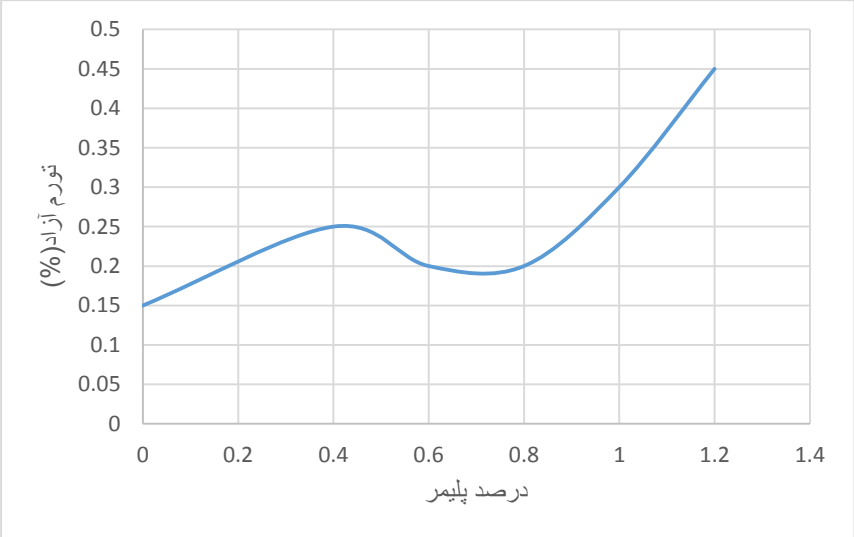
که در این رابطه H_0 وΔH به ترتیب ارتفاع اولیه نمونه و تغییر ارتفاع نمونه در اثر جذب آب می‌باشند.

در جدول (۴-۳)تورم آزاد نمونه‌ها ارائه شده است.و سپس منحنی حاصل از آن در شکل (۴-۱۰) ارائه شده‌است.

مشاهده می شود با افزودن پلیمر به خاک رس تورم آزاد افزایش یافته است. این افزایش برای ۱ ٪ پلیمر به بالا بسیار بیشتر است.

جدول۴-۳.تورم آزاد

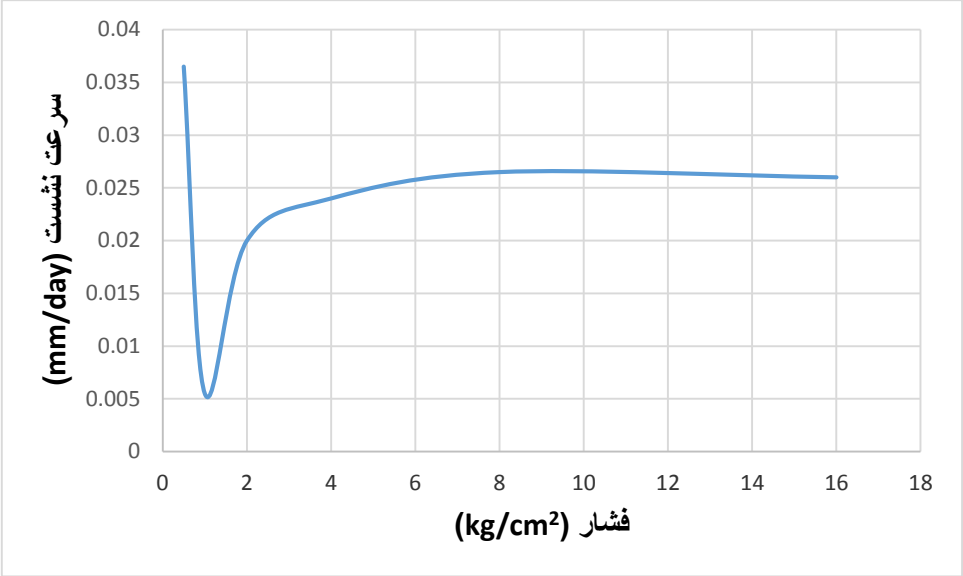
تورم آزاد(٪)	درصد پلیمر
۰/۱۵	۰/۰
۰/۲۵	/۴
۰/۲۰	/۶
۰/۲۰	/۸
۰/۳۰	۱
۰/۴۵	۱/۲



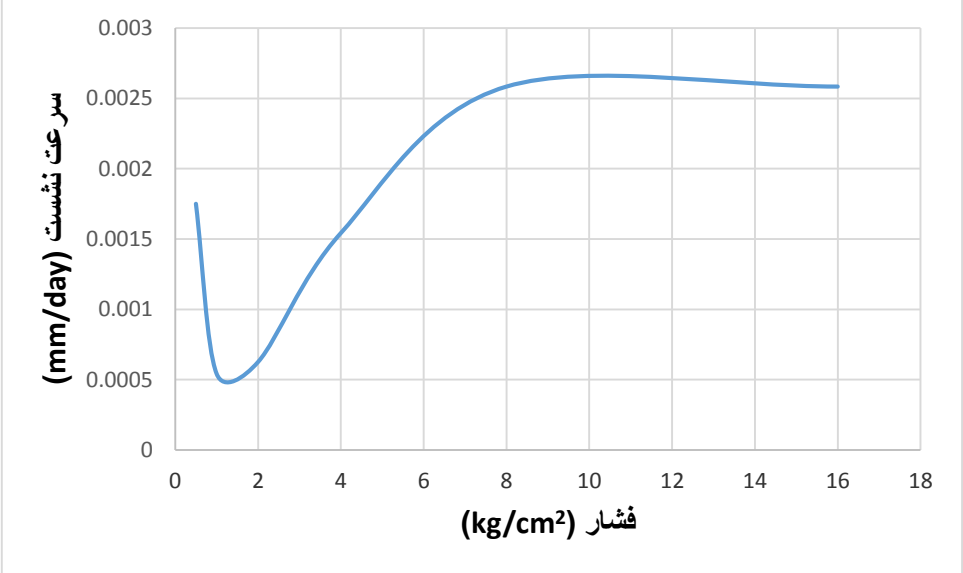
شکل۴-۱۱. تورم آزاد نمونه‌ها نسبت به افزایش درصد پلیمر

۴-۳-۴ سرعت تحکیم

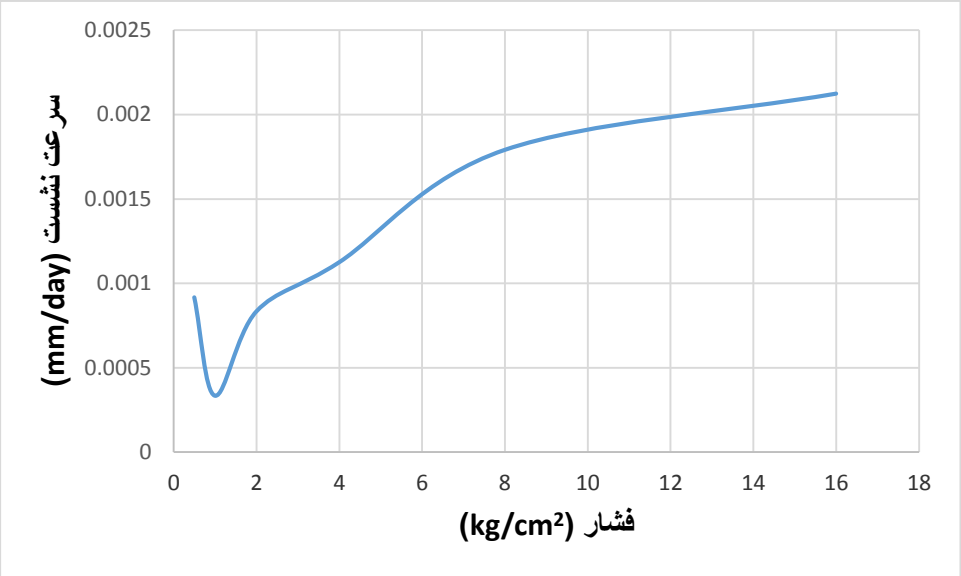
تغییرات نشست نسبت به زمان در هر بازه ۲۴ ساعته(سرعت نشست) محاسبه و نمودار آن در شکل‌های (۴-۱۲) الی(۴-۱۷) ارائه شده است که در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.



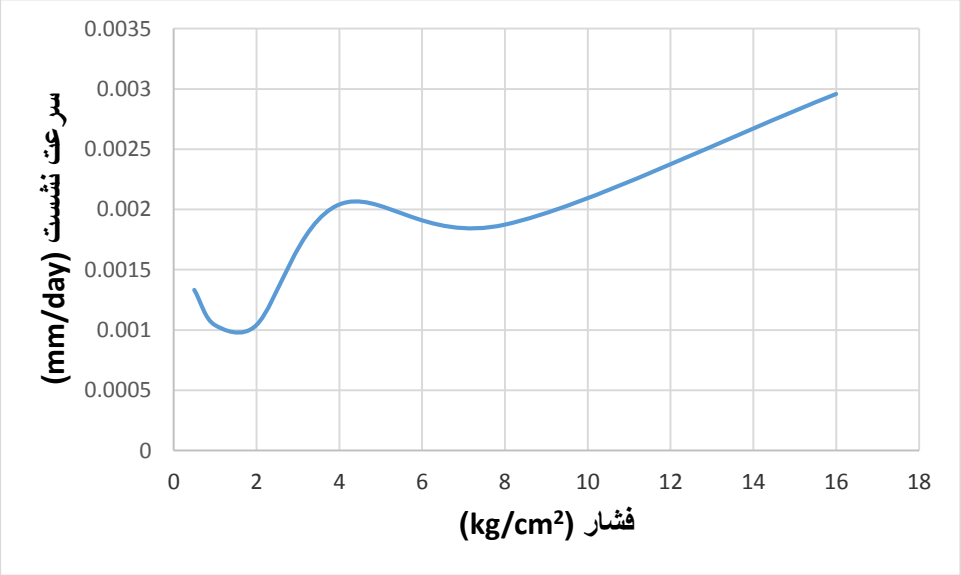
شکل۴-۱۲.منحنی سرعت تحکیم برای خاک بدون پلیمر



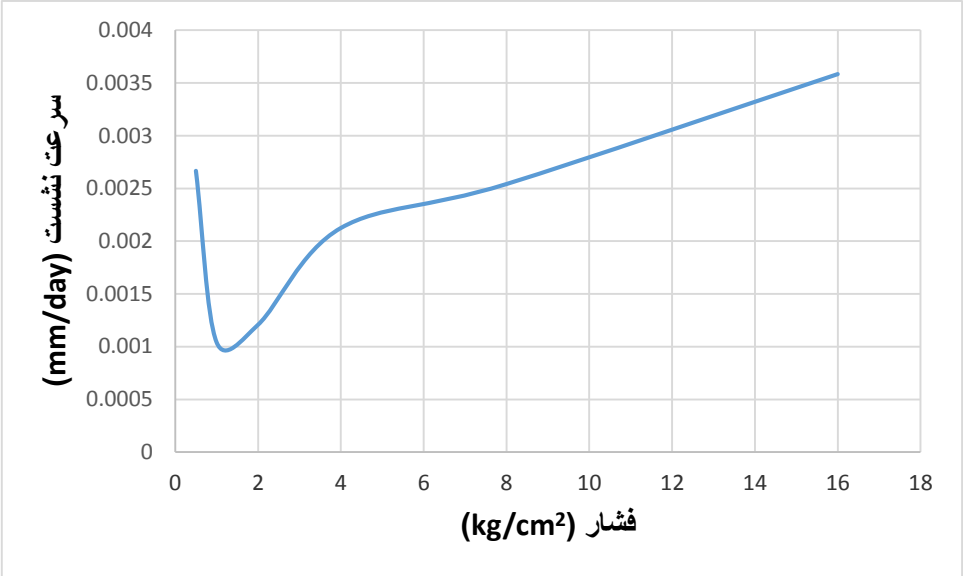
شکل ۴-۱۳ منحنی سرعت تحکیم برای ترکیب خاک با ۰/۴ ٪ پلیمر



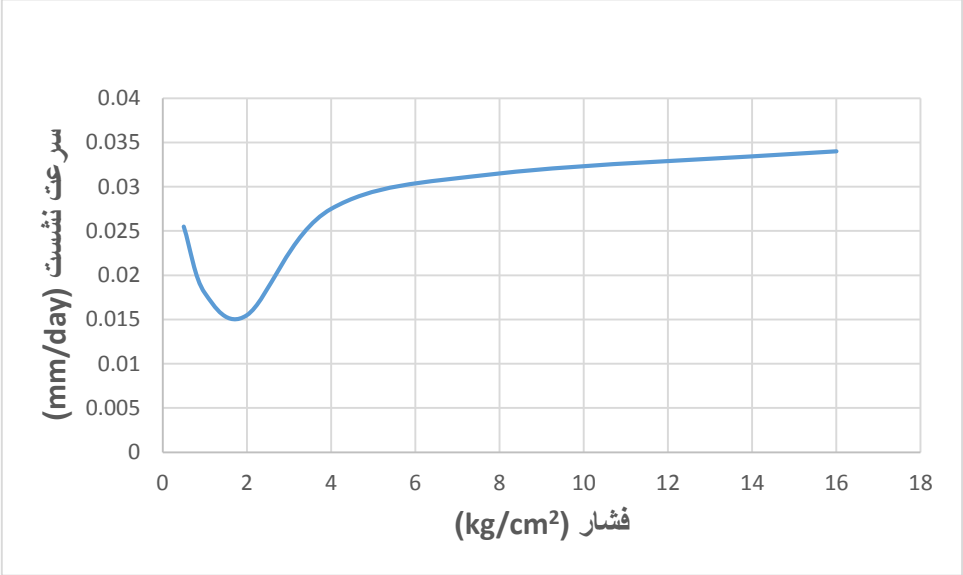
شکل ۴-۱۴. منحنی سرعت تحکیم برای ترکیب خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر



شکل ۴-۱۵. منحنی سرعت تحکیم برای ترکیب خاک با ۰/۸ ٪ پلیمر

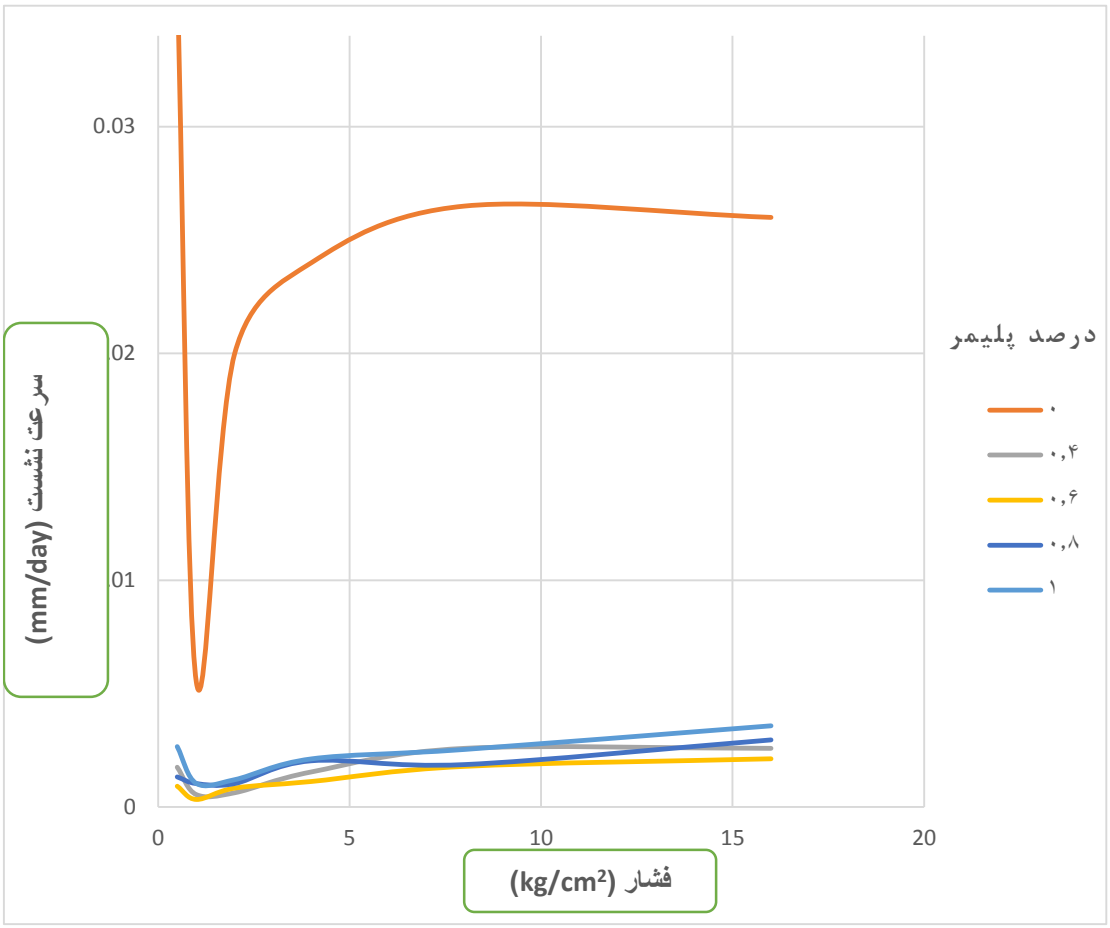


شکل ۴-۱۶. منحنی سرعت تحکیم برای ترکیب خاک با ۱ ٪ پلیمر



شکل ۴-۱۷. منحنی سرعت تحکیم برای ترکیب خاک با ۱/۲ ٪ پلیمر

با نگاه کلی به تغییرات سرعت نشست تحکیمی بر اثر افزودن درصدهای مختلف پلیمر در شکل(۴-۱۸) می‌توان دریافت که افزودن پلیمر باعث کاهش چشمگیری در سرعت نشست خاک شده است و حداقل سرعت نشست در ترکیب خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر رخ داده است. کاهش سرعت نشست می‌تواند به سازه و خاک زیر آن فرصت کافی برای بازتوزیع تنش ناشی از نشست دهد و در نتیجه آن باعث کاهش اثرات مخرب ناشی از نشست‌های تحکیمی در دراز مدت داشته باشد.



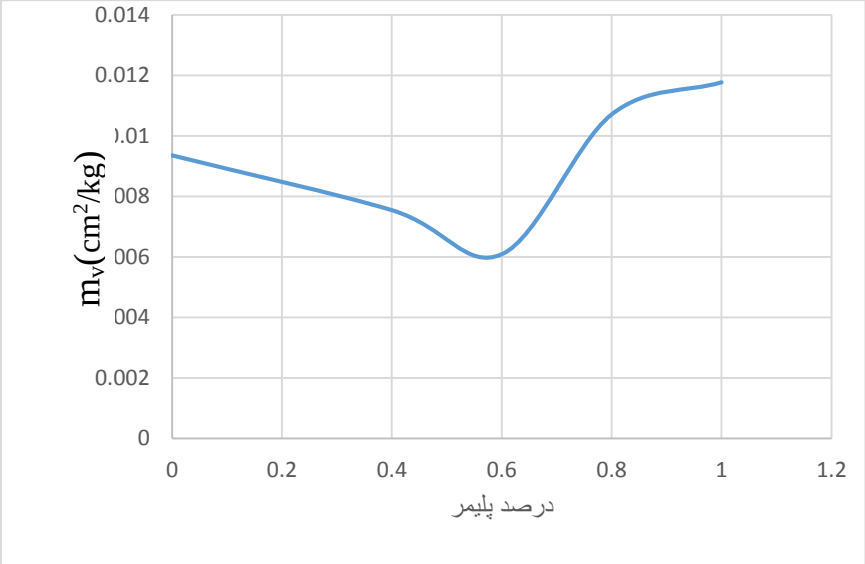
شکل ۴-۱۸. سرعت نشست

۴-۳-۵ ضریب قابلیت فشردگی حجمی (m_v)

جدول (۴-۴) ضریب قابلیت فشردگی حجمی به دست آمده از آزمایش تحکیم مربوط به هر نمونه ترکیب شده با پلیمر را نشان می‌دهد. تغییرات ضریب قابلیت فشردگی حجمی نسبت به افزایش درصد پلیمر اضافه شده در شکل (۵-۱۹) ارائه شده است. با کاهش m_v در اثر افزودن پلیمر، تغییرات حجم خاک کاهش می‌یابد که منجر به عدم تغییر شکل خاک در برابر افزایش بارهای وارده می‌شود و سختی آن افزایش می‌یابد. با توجه به شکل کمترین مقدار ضریب m_v مربوط به خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر می‌باشد که با افزایش پلیمر به درصدهای بیشتر برروی خاک رس نتیجه معکوس می‌شود و ضریب تغییر حجم افزایش می‌یابد.

جدول ۴-۴.داده های مربوط به مقادیر m_v

درصد پلیمر	$m_v(cm^2/kg)$
۰	۰/۰۰۹۳۵۴
/۴	۰/۰۰۷۵۴۲
/۶	۰/۰۰۶۰۸۳
/۸	۰/۰۱۰۸۰۷
۱	۰/۰۱۱۷۷۱
۱/۲	۰/۰۱۲۵۴۲



شکل ۴-۱۹: تغییرات ضریب قابلیت فشردگی حجمی با تغییر درصد پلیمر

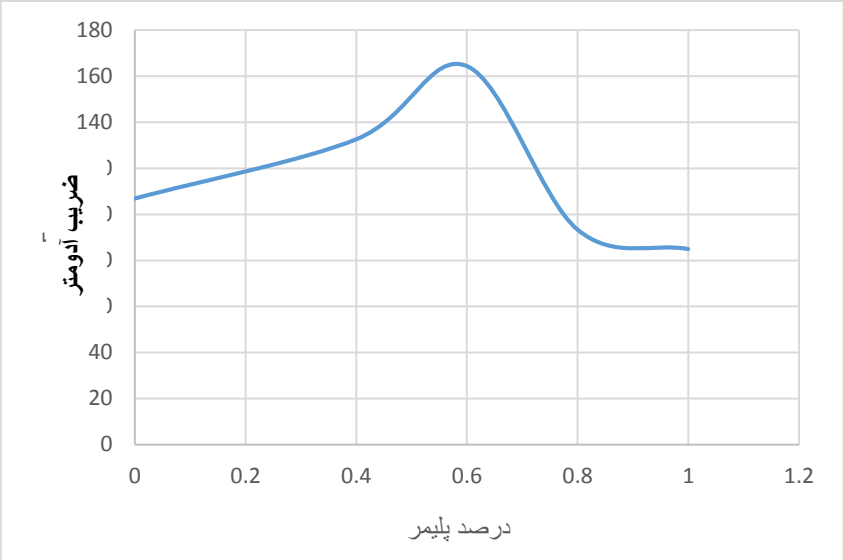
۴-۳-۶ ضریب آدومتر

با توجه به مقدار m_v می‌توان ضریب آدومتر را به که معکوس ضریب قابلیت فشردگی حجمی و نشانگر سختی خاک است به دست آورد.

در شکل ۴-۲۰ تغییرات ضریب آدومتر نسبت به درصد پلیمر نشان داده شده است. طبق نمودار بیشترین مقدار آن مربوط به خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر می‌باشد و با افزایش پلیمر از ۰/۶ ٪ به بالا مقدار مدول نسبت به خاک معمولی کمتر شده است.

جدول ۴-۵ مدول الاستیسیته

ضریب آدومتر	درصد پلیمر
۱۰۶/۹۰۴۲	۰
۱۳۲/۵۹۶۷	/۴
۱۶۴/۳۸۳۶	/۶
۹۳/۳۸۵۲۱	/۸
۸۴/۹۵۵۷۵	۱
۷۹/۷۳۲۱	۱/۲



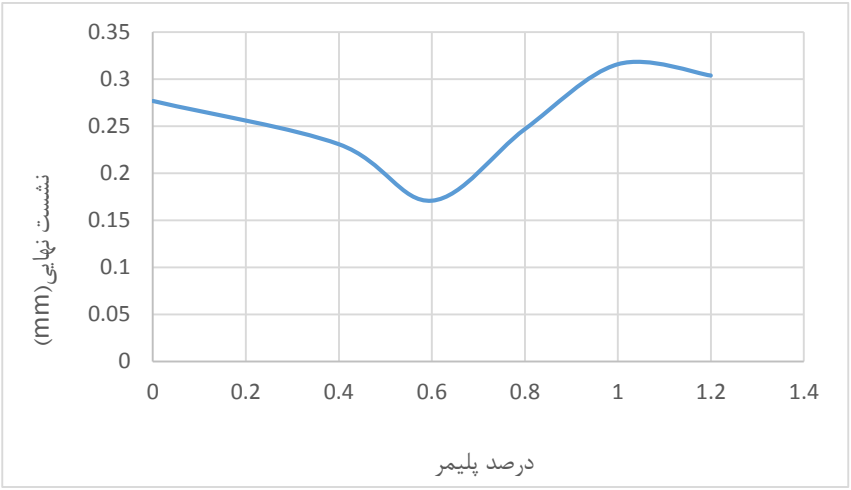
شکل ۴-۲۰: تغییرات مدول الاستیسیته خاک رس با افزایش درصد پلیمر

۴-۳-۸ نشست نهایی

نشست خاک در انتهای هر آزمایش در جدول (۴-۶) نشان داده شده است. با توجه به نمودار حاصل از این نتایج در شکل (۴-۲۱) مشاهده می‌شودکه کمترین میزان نشست مربوط به ترکیب خاک و ۰/۶ ٪ پلیمر می‌باشد.

جدول ۴-۶ نشست نهایی

نشست نهایی (mm)	درصد پلیمر
۰/۲۷۷	۰
۰/۲۳۱	/۴
۰/۱۷۱	/۶
۰/۲۴۷	/۸
۰/۳۱۶	۱
۰/۳۰۴	۱/۲



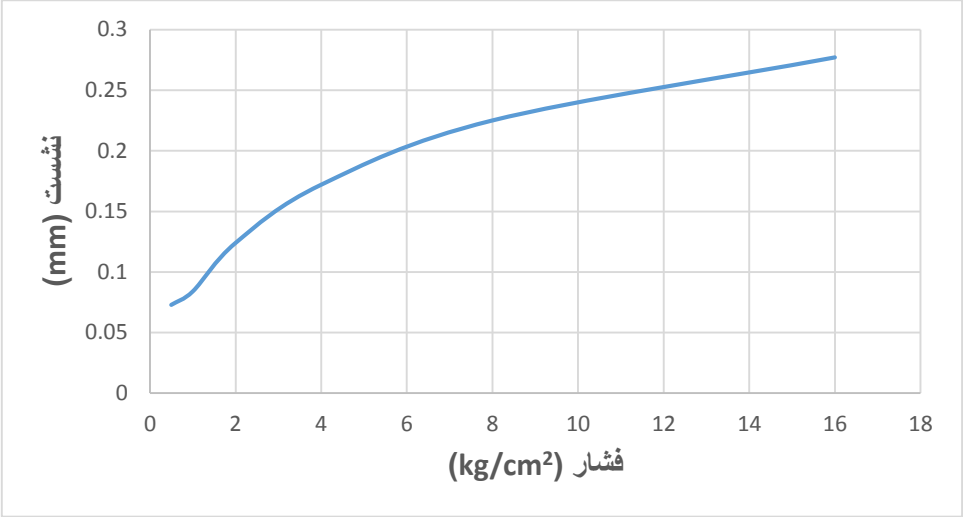
شکل ۴-۲۱.منحنی تغییرات نشست نهایی باافزایش درصد پلیمر در خاک رس

۴-۳-۹ نشست پذیری

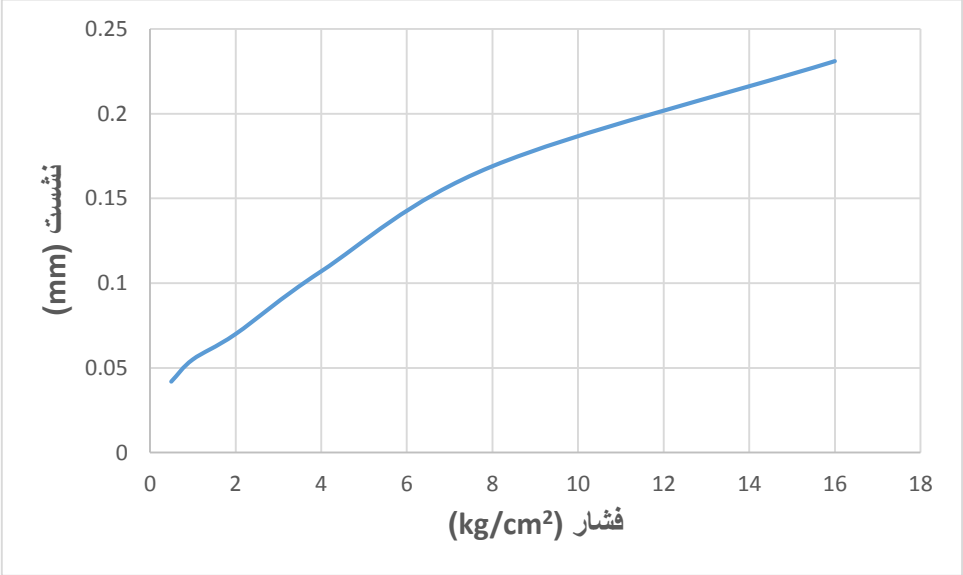
براساس داده‌های جدول (۴-۷)، منحنی تغییرات نشست در پایان هر بارگذاری برای هر نمونه در شکل‌های (۴-۲۲) الی (۴-۲۷) ارائه شده‌اند.

جدول ۴-۷. نشست خاک در پایان هر مرحله از بارگذاری

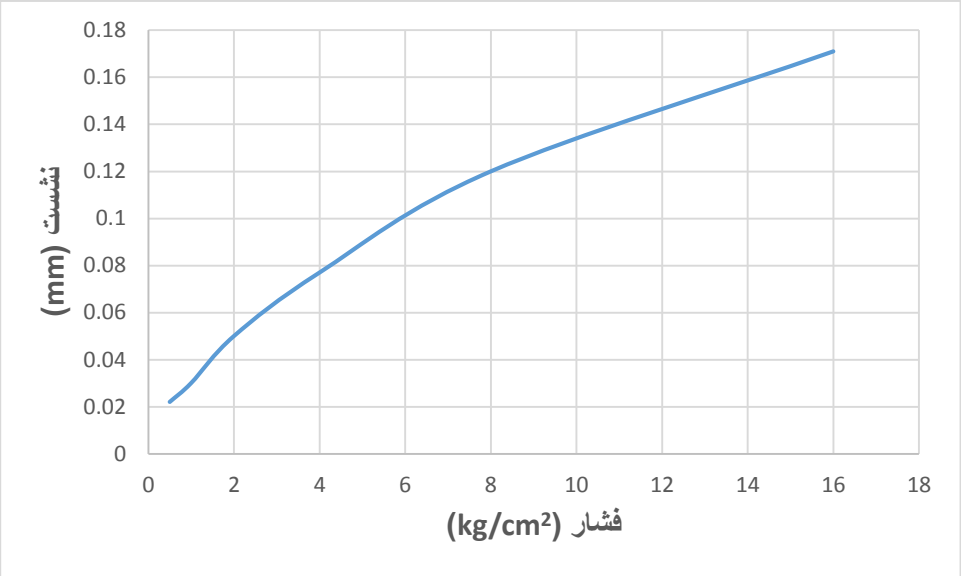
بار / درصد پلیمر	۰	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۰/۱	۱/۲
۰/۵	۰/۰۷۳	۰/۰۴۲	۰/۰۲۲	۰/۰۳۲	۰/۰۶۴	۰/۰۵۱
۱	۰/۰۸۴	۰/۰۵۵	۰/۰۳۰	۰/۰۵۷	۰/۰۸۹	۰/۰۸۷
۲	۰/۱۲۴	۰/۰۷۰	۰/۰۵۰	۰/۰۸۲	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸
۴	۰/۱۲۷	۰/۱۰۷	۰/۰۷۷	۰/۰۱۳۱	۰/۱۶۹	۰/۱۷۳
۸	۰/۲۲۵	۰/۱۶۹	۰/۱۲۰	۰/۱۷۶	۰/۲۳۰	۰/۲۳۶
۱۶	۰/۲۷۷	۰/۲۳۱	۰/۱۷۱	۰/۲۷۴	۰/۳۱۶	۰/۳۰۴



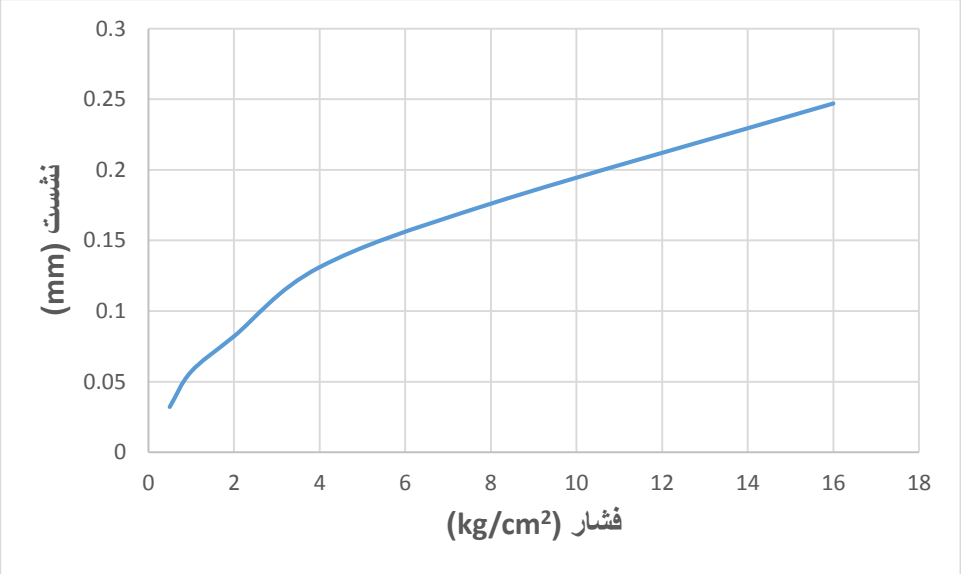
شکل ۴-۲۲ منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای خاک بدون پلیمر



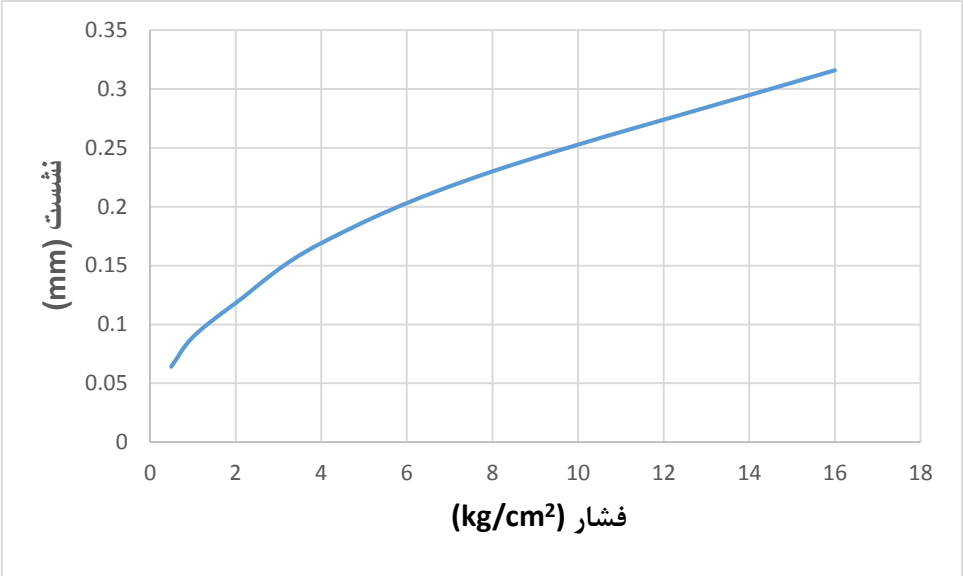
شکل ۴-۲۳. منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای ترکیب خاک با ۰/۴ ٪ پلیمر



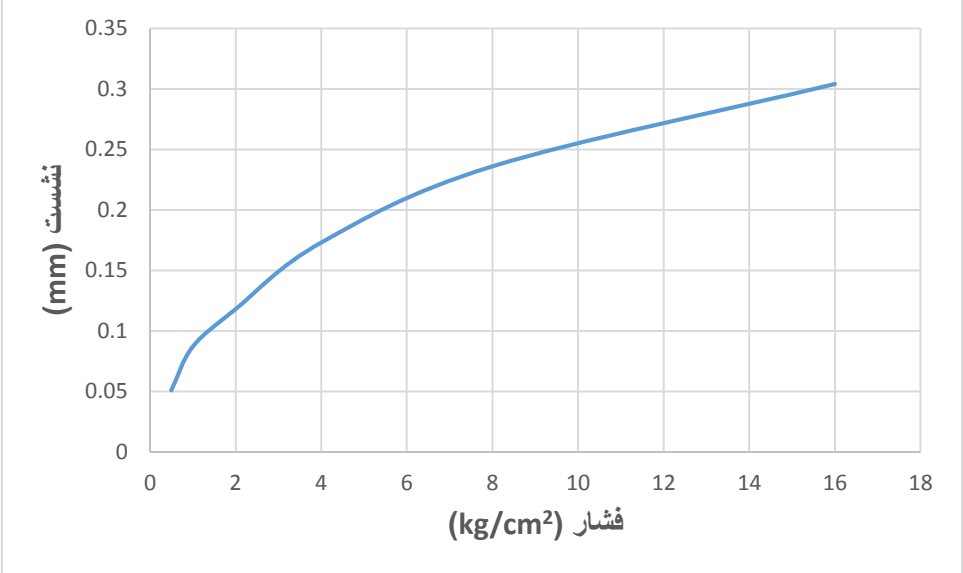
شکل ۴-۲۴. منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای ترکیب خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر



شکل ۴-۲۵. منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای ترکیب خاک با ۰/۸ ٪ پلیمر

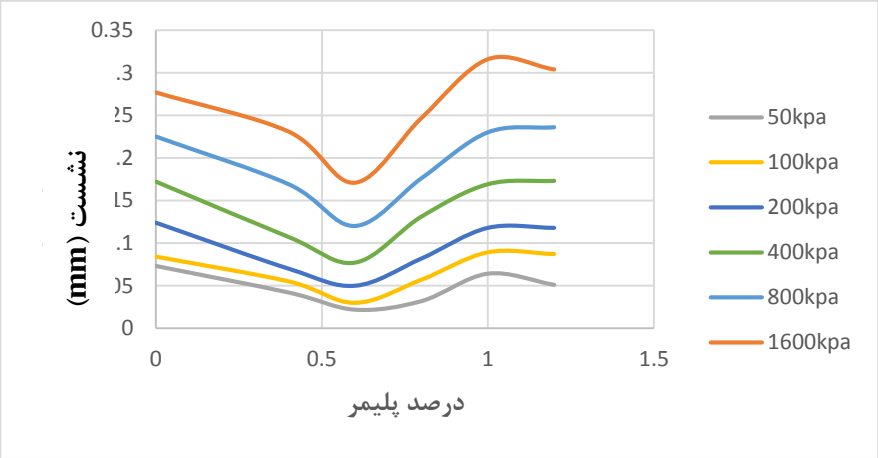


شکل ۴-۲۶. منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای ترکیب خاک با ۱ ٪ پلیمر



شکل ۴-۲۷. منحنی نشست در هرمرحله از بارگذاری برای ترکیب خاک با ۱/۲ ٪ پلیمر

برای بررسی رفتار نشست‌پذیری نمونه‌ها، تغییرات نشست نمونه ها برای فشارهای مختلف در شکل (۴-۲۸) رسم شده‌است. در این شکل میزان نشست نهایی در پایان هر مرحله از بارگذاری، زیر فشار سربار ثابت، بر حسب درصد پلیمر ارائه شده است. با توجه به شکل(۴-۲۸) ملاحظه می‌شود که نشست در نمونه‌های دارای پلیمر بیشتر می‌باشد. و با افزایش پلیمر به ۱ ٪ نشست نسبت به خاک معمولی افزایش یافته است. همچنین کمترین میزان نشست مربوط به خاک دارای ۰/۶ ٪ پلیمر می‌باشد که به طور میانگین نشست را به نصف حالت معمولی می‌رساند.



شکل ۵-۲۸. نشست پذیری نمونه‌ها در طول روند تحکیم

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادها

۵-۱ نتایج

به‌طور کلی دراین پژوهش سعی بر آن بوده است که با بررسی نمونه‌هایی از ترکیب خاک رس و پلیمر وینیل الکل، یک ارتباط منطقی بین افزودن پلیمر به خاک رس و شاخص‌های تحکیم خاک دست پیدا کرد. بدین منظور در فصل قبل روی ۶ گروه از ترکیب خاک و پلیمر وینیل الکل و برای به حداقل رساندن خطا از هر ترکیب سه مرتبه آزمایش انجام گرفته و با توجه به میانگین سه سری آزمایش نتایج و نمودارهای مرتبط با تحکیم تعیین گردید که در ادامه به بیان نتایج می‌پردازیم.

با افزودن پلیمر وینیل الکل به خاک رس مشاهده شد که نشانه فشردگی (Cc) کاهش می‌یابد و بیشـترین کاهش شاخص تحکیم در ترکیب خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر می باشد، که در این ترکیب نشانه فشردگی نسبت به خاک رس بدون پلیمر حدود ۵۰ ٪ کاهش داشته است.

در اثر افزودن پلیمر وینیل الکل نشـــانه تورم (Cs) کاهش می‌یابد و در ترکیب خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر بیشترین کاهش نشانه تورم مشاهده می‌گردد به طوریکه نشانه تورم نسبت به خاک بدون پلیمر ۶۰ ٪ کاهش یافته است.

نتایج آزمایشـــات نشـــان می‌دهد که افزودن پلیمر وینیل الکل به خاک رس باعث افزایش تورم آزاد خاک رس شده است.

در حالتی که که خاک با ۰/۶ ٪ پلی وینیل الکل ترکیب شـده اسـت نشـست تحکیم به حداقل میزان ممکن رسیده است. سرعت تحکیم برای این ترکیب خاک نسبت به خاک رس تا ۱۳۰ ٪ کاهش را نشان داد.

نتایج آزمایشـات تحکیم نشـان می‌دهد که با افزودن پلیمر وینیل الکل به خاک رس، نشـسـت نهایی خاک کاهش می‌یابد.در ترکیب خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر شاهد کمترین میزان نشست نهایی هستیم که نسبت به خاک رس ۴۰ ٪ کاهش داشته است.

افزودن پلیمر به خاک رس باعث افزایش میزان سختی خاک(مدول الاستیسیته) و درنتیجه تغییر شکل کمتر خاک در اثر بارگذاری شده است. بیشترین مدول الاستیسیته مربوط به ترکیب خاک با ۰/۶ ٪ پلیمر می‌باشد که نسبت به خاک رس ۵۳ ٪ افزایش یافته است.

۵-۲ پیشنهاد

- با انجام آزمایشات گسترده تری می‌توان تاثیر پلیمر وینیل الکل را بر مقاومت برشی خاک رس، توسط آزمایش‌های سه محوری مورد بررسی قرار داد.
- با انجام آزمایشات دقیق‌تر می‌توان اثر پلی وینیل الکل را بر نشست تحکیمی خاک رس در تراکم‌های متفاوت بررسی و مقایسه کرد.
- همچنین می‌توان با آزمایشات گسترده‌تر آزمایش‌های تحکیم را برای رطوبت‌های مختلف بر روی خاک رس پلیمری انجام داد و مقایسه نمود.

مراجع

1- Winterkorn, H.F. and Pamukcu, S. (1991). "*Soil Stabilization and Grouting*." Springer US, Foundation Engineering Handbook, pp.317-378.

2- Evstatiev, D. (1988). "*Loess Improvement Methods*." Journal of Engineering Geology, Vol.25, pp.341-366.

۳- مویدی ح، جمالی مقدم م، خواری م،(۱۳۹۶)"بهسازی زمین‌های نرم مکانیزم‌ها و مطالعات موردی"چاپ اول، انشارات دانشگاه صنعتی کرمانشاه،کرمانشاه.

۴-اسلامی ا، سخاوتیان آ، (۱۳۹۲)" مهندسی ژئوتکنیک: طراحی،کابردها و مخاطرات" چاپ دوم، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، تهران،۵۴۵.

5- Klatte, F. and Rollett, A., (1917), "*Plastic composition and process of producing it*,".

۶-زمردیان م،مصدقی ا،(۱۳۹۵)" بررسی آزمایشگاهی تثبیت کننده پلیمری پلی وینیل استات، برفرسایش داخلی و مقاومت ماسه رس دار کائولینیتی" مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، شماره ۳، دوره ۶.

۷-اسکروچی ع،صدیقی منش م،(۱۳۷۷)" آزمایشگاه مکانیک خاک" چاپ اول،انتشارات دانشگاه هرمزگان،تهران، ۱۳۷.

8- Chen, F.H., (1988) , "*Foundations on Expjdansive Soils*", Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.

9- Cokca, E., (2001), "Use of class C fly ashes for the stabilization of an expansive soil", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 127(7), pp. 568-573.

10- Phanikumar , (2004), B.R., and Sharma, R.S., "Effect of fly ash on engineering properties of expansive soils", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 130(7), 764-767.

11- Ayyar, T.S.R., Krishnaswamy, N.R., and Viswanadham, B.V.S., (1989), "Geosynthetics for foundations on a swelling clay", *In: Proceedings of International Workshop on Geotextiles*, Bangalore, India, pp. 176- 180.

12- Vessely, M.J., and Wu, J.T.H., (2002), "Feasibility of geosynthetic inclusions for reducing swelling of expansive soils", Transportation Research Record, Report No. 1787, pp. 42-51.

13- Gopal R, Singh J, and Das G.(1983), "Chemical Stabilisation of Sand Comparative Studies OnlreaFormaldehyde Resins. As Dune Sand Stabiliser and Effect Of Compaction OnStrength" (Part IV). In Transactions of Indian Society of Desert Technology and University Centre of Desert Studies, Vol. 8 No. 2, Indian Society of Desert Technology, Jodhpur, India, pp. 13-19.

14- Tolleson, A.R., Shantavi, F.M., Harman, N.E, Mahdavian, E., (2003), "An evaluation of strength change on subgrade soils stabilized with an enzyme comparisons catalyst solution using CBR and SSG" geometrics Inc engineering & resource consultants.

15- Zhu, Z.D. and Liu, S.Y., (2008), "Utilization of a new soil stabilizer for silt subgrade" Journal ofengineering geology, 97, pp 192-198.

16-Oztas, T. Ozbek, A. and Aksakal, L.(2002), "Structural Developments in Soils Treated with Polyvinyl alcohol," www.toprak.org.tr/isd/can_22.htm - 12k.

17- Crowley, J., Bell, D. and Holtwiesche, B.(2008), "Environmentally-Favorable Erosion Control With A Polyvinyl Acetate-Based Formulation.

18- Constatinescu, M. (1980), "Composition for consolidating and im-permeabilizing sand striate" Interprindera 'Metrou' Rom RO, pp 75-311.

19- Nitto Chemical Industry Co Ltd. Soil stabilization Tokyo: Koho, (1983), JP 58 24 469

20- Zhu, Z.D. and Liu, S.Y., (2008), "Utilization of a new soil stabilizer for silt subgrade" Journal ofengineering geology, 97, pp 192-198.

21- Siddiqi, R.A. and Moore, C.J., (1981), “Polymer stabilization of sandy soil for erosion control” Transportation Research Records, 827, pp 30-34.

22- Han, Z., (2007), “Chemical stabilization of mobile dune fields along a highway in the Taklimakan Desert of China” Journal of Arid Environment, 68 pp 260-270.

23- Zhu, Z.D. and Liu, S.Y., (2008), “Utilization of a new soil stabilizer for silt subgrade” Journal ofengineering geology, 97, pp 120-150.

24- Ajayi-Majebi A, Grissom W.A. Smith L.S., and Jones E.E.(1991), “Epoxy-Resin-Based Chemical Stabilization of a Fine, Poorly Graded Soil System'. In Transportation Research Record 1295, TRIB, National Research Council, VWashington, D.C.

25- Han, Z., (2007), “Chemical stabilization of mobile dune fields along a highway in the Taklimakan Desert of China“, Journal of Arid Environments 68, pp 200-230.

۲۶- تابع بردبار ع. رئیسی استبرق ع. و هورفر ع، (۱۳۸۹)، "تأثیر افزودن فیبرهای طبیعی و مصنوعی روی پارامترهای تحکیم و تغییر شکل خاک"، دومین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه های آبیاری وزهکشی، ص ۱۸،کرج.

۲۷- کریمی عسکرانی ک. پاکباز س،(۱۳۹۲)، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک، اردبیل.

۲۸-اوحدی و. امیری م. حمیدی ص،(۱۳۹۳)، "بهسازی خاک‌های واگرا با آهک با نگرش ویژه به کاهش شدت قله های اصلی کانی های رسی در پراش پرتو ایکس"،مجله علمی پژوهشی عمران-مدرس، تهران.

ABSTRACT

Fine-grained soils usually swell due to water absorption and show high settlement when losing water. Therefore, engineering structures built on this type of problematic soils would be damaged. Roads, retaining wall, buildings foundation, dams and in general more structure in which clay is in contact with water are at the risk of failure due to swelling and settlement So that a significant cost estimated annually for these damages. To deal with this problem there are several ways including strengthening of unsuitable soil and land, using piles and deep foundations, redesign of structure, considering the soil limitations, soils stabilization with additive materials and eventually changing the location of project. Stabilization of soil by adding polymer is one of the new methods that has no adverse effect on environment and past researches have shown that adding polymer has positive impact on soil strength. In this study, the effect of adding one type of polymer (Polyvinyl alcohol) on the clayey soil settlement has been investigated. For this purpose, after initial tests including gradation, compaction, determination of moisture content and Atterbarg limits tests, the soil was mixed with different percentages (0.4, 0.6, 0.8, 1 and 1.2 percent) with polymer (polyvinyl alcohol) and was treated for 24 hours and then it was treated for consolidation. The results showed that the combination of this material with clay significantly reduce the amount of soil settlement and consolidation's rate in which the percentages of 0.8 and 0.6 have the highest impact on the samples..

Keywords: Stabilization, polymer, polyvinyl alcohol, consolidation

Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Geotechnical Engineering

study of Consolidation behavior of polymer clay

By: Asma Mobasheri

Supervisor(s):
Dr Amir Bazrafshan Moghaddam

September 2017