

کوهی ارائه مقاله

دیپلومای کوهی می کرد مقاله جناب آقای اسرار خانم

کیان گرجستانی، علی اختر پور

باصحون

پروسی اثر افزایش وزن مخصوص خشک بر مقاومت برشی
خاک ریزدانه شهر مشهد در حالت اشباع

دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پایی ایران که در روزهای ۲۲ و ۲۳ مهر ماه ۱۳۹۴
در دانشگاه صنعتی قم برگزار شده است، توسط کمیته داوران مورد پذیرش قرار گرفت و ارائه

کرده است.



بررسی اثر افزایش وزن مخصوص خشک بر مقاومت برشی خاک ریزدانه شهر مشهد در حالت اشباع

کیان گرجستانی^۱، علی اخترپور^۲، سعید ابریشمی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - خاک و پی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

Kian.Gorjestani@yahoo.com

خلاصه

بسیاری از پروژه های عمرانی در حین ساخت و یا در طول دوره بهره برداری در اعماق مختلف با تغییر شرایط رطوبتی نظیر بارندگی، ترکیدگی لوله های آب و فاضلاب، نشست از چاه های جاذب یا بالا آمدن سطح آب زیرزمینی مواجه می شوند و امکان اشباع شدن خاک و در نتیجه کاهش مقاومت برشی آن فراهم می آید. با این وجود اثرات افزایش رطوبت در مطالعات ژئوتکنیک اغلب لحاظ نمی شود؛ بدین معنا که در آزمایشگاه های ژئوتکنیک آزمایش های تعیین مقاومت برشی بر روی نمونه هایی با رطوبت طبیعی صورت می گیرد و بالطبع نتایجی به دور از واقعیت حاصل می شود. از اینرو در این تحقیق، خاک ریزدانه مشهد در حالت اشباع تحت شرایط تحکیم یافته زهکشی شده توسط دستگاه برش مستقیم مورد آزمایش قرار گرفته و نشست حاصل از تحکیم خاک، رفتار تنش - کرنش، تغییر حجم نمونه در حین برش و پارامترهای مقاومت برشی خاک تحت وزن مخصوص های خشک اولیه ۱،۶۳۲، ۱،۷۲۸، ۱،۸۲۴ گرم بر سانتیمتر مکعب بررسی گردیده اند. نتایج حاصل شده نشان می دهد که افزایش درصد رطوبت تأثیر قابل توجهی بر کاهش چسبندگی مؤثر خاک داشته است. همچنین با افزایش وزن مخصوص خشک اولیه و نزدیک شدن به درصد تراکم بیشینه پارامترهای مقاومت برشی بهبود یافته، افزایش سختی، ترد شدگی و رفتار اتساعی در خاک مشاهده گردیده است.

کلمات کلیدی: خاک اشباع، مقاومت برشی، دستگاه برش مستقیم، تحکیم، سختی

۱. مقدمه

بارندگی، ترکیدگی لوله های آب و فاضلاب، نشست از چاه های جاذب یا بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و ... موجب افزایش رطوبت خاک در بسیاری از پروژه های عمرانی می شود در نتیجه خاک دچار نرم شدگی و فرونشست شده، مکش حفره ای موجود در لایه های خاک کاهش می یابد و سبب تضعیف مقاومت برشی خاک و افزایش تغییر شکل ها می گردد. در برخی پروژه ها همچون گودبرداری های شهری تغییر شرایط رطوبت خاک و اشباع شدن آن سبب کاهش شدید ضریب اطمینان پایداری گود می شود چنانکه هر ساله تعدادی از گودها به همین دلیل دچار ناپایداری کلی و یا موضعی می شوند. از این رو به علت اهمیت بالای این قبیل پروژه ها اثرات افزایش رطوبت در مطالعات ژئوتکنیک مبیاست لحاظ گردد. از طرف دیگر تغییرات عمق خاک در خاک های چسبنده سبب تغییر در تراکم خاک گشته و پارامترهای مقاومت برشی خاک متأثر از آن تغییر خواهند کرد. سید و همکاران (۱۹۶۱) اظهار داشتند ساختار خاک های چسبنده متراکم به عواملی چون نیروی بین ذره ای، نیروی خارجی اعمالی جهت تراکم و نیز تاریخچه تنش اعمالی وارد بر خاک وابسته است [۱]. لرویل و وفان (۱۹۹۰) اثر تاریخچه تنش اعمالی و تخلخل اولیه خاک را به اندازه اثر کانی های تشکیل دهنده خاک با اهمیت دانستند [۲]. تغییر خواص مکانیکی خاک با تراکم بر اساس اصولی است که پروکتور در سال ۱۹۳۳ اظهار نمود و حاصل این تئوری آزمایش پروکتور استاندارد بود که به کمک آن وزن مخصوص خشک بیشینه خاک تخمین زده شد [۳]. مطالب بیان شده نشان از اهمیت در نظر گرفتن تغییرات وزن مخصوص خاک در مطالعات ژئوتکنیک دارد که علاوه بر اثرات افزایش رطوبت مبیاست در نظر گرفته شوند. در این تحقیق خصوصیات مکانیکی خاک ریزدانه مشهد تحت وزن مخصوص های خشک متفاوت در شرایط اشباع مورد بررسی قرار گرفته است.

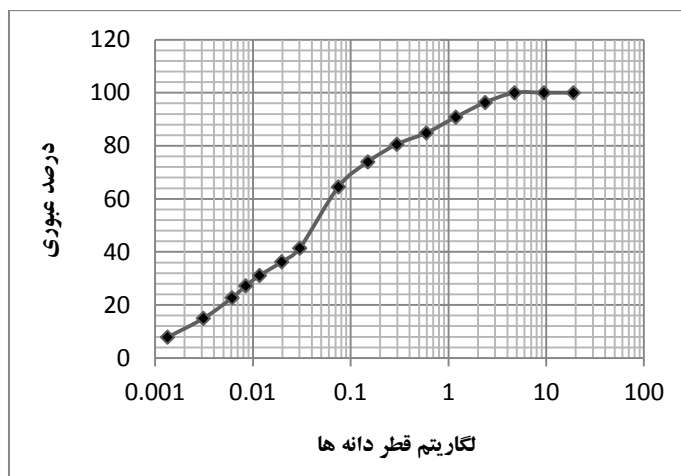
^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - خاک و پی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. مطالعات پایه (تعیین مشخصات فیزیکی خاک)

خاک در نظر گرفته شده برای انجام مطالعات این تحقیق از یک پروژه گودبرداری واقع در بلوار شارستان رضوی (ضلع غربی حرم مطهر) در نظر گرفته شده است و شامل دو بخش درشت دانه و ریز دانه است که جهت دانه بندی آن از آزمایش های دانه بندی با الک به روش تر و هیدرومتری بهره گیری شده است. آزمایش ها مطابق با استاندارد ASTM D422-87 "روش استاندارد آزمایش برای تحلیل اندازه ذرات خاک ها" انجام شده اند [۴]. آزمایش دانه بندی بر روی خاک مورد نظر ۳ مرتبه تکرار شده است و میانگین منحنی های دانه بندی حاصل شده در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲ - منحنی دانه بندی خاک

در منحنی فوق محور افقی بیانگر قطر دانه ها در مقیاس لگاریتمی و محور قائم بیانگر درصد عبوری متناظر با قطر ذرات است. با توجه به منحنی دانه بندی خاک مورد نظر شامل شن نبوده و از ۳۵٪ ماسه، و ۶۴٫۵۲٪ ریزدانه تشکیل شده است. برای تعیین چگالی دانه های جامد مطابق با استاندارد ASTM D854-87 "روش استاندارد آزمایش برای وزن مخصوص ویژه خاک ها" عمل شده است. با توجه به محاسبات صورت گرفته چگالی جامد دانه ها برای این خاک ۲٫۷۲ تعیین شده است [۵]. حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری مطابق با استاندارد ASTM D4318-87 "روش استاندارد آزمایش برای حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری خاک ها" تعیین شده است [۶]. نتایج حاصل از آزمون جام کاساگرانده و فتیله، حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری را به ترتیب ۲۶٪، ۲۰٪ و ۶٪ نشان داده است. همچنین با توجه به نتایج حاصل از منحنی دانه بندی خاک مورد نظر مطابق با استاندارد ASTM D2487-06 "دستور العمل سیستم طبقه بندی یونیفاید" در زمره خاک های دو اسمی CL-ML قرار می گیرد [۷]. جهت دستیابی به وزن مخصوص بیشینه و درصد رطوبت بهینه مطابق با استاندارد ASTM D698-78 "روش استاندارد آزمایش برای پارامترهای تراکم آزمایشگاهی خاک" عمل شده است [۸]. مطابق با روش پراکتور استاندارد، خاک در قالبی به قطر ۴ و ارتفاع ۴٫۶ اینچ در ۳ لایه تحت ۲۵ ضربه ی چکش ۲٫۵ کیلوگرمی که از ارتفاع ۳۰ سانتیمتر سقوط می کند متراکم شده است. خاک در نظر گرفته شده در درصد رطوبت ۱۵٫۱٪ به وزن مخصوص خشک بیشینه که برابر با ۱٫۹۲ گرم بر سانتیمتر مکعب است می رسد و با اضافه نمودن رطوبت، وزن مخصوص کاهش می یابد.

۳. آزمایش های برش مستقیم تحکیم یافته زهکشی شده

مقاومت برشی خاک عمده ترین عامل در تعیین رفتار خاک هاست. 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 دلخواه در داخل خود بسیج کند. یکی از مدل های رفتاری الاستو پلاستیک که برای تعیین واکنش محیط خاک در برابر بار به وفور به کار می رود مدل موهر کلمب است. این مدل به طور گسترده به عنوان معیار گسیختگی مصالح استفاده می شود. پارامترهای این مدل و معیار گسیختگی توسط آزمایش برش مستقیم تعیین می شوند. در آزمایش برش مستقیم با اعمال تغییر شکل به خاک تحت شرایط کرنش کنترل شده بر روی یک صفحه از پیش تعیین شده در امتداد نیروی برشی، خاک تحت تنش برشی قرار داده می شود تا تحت این تنش برشی گسیخته شود. عموماً سه یا تعداد بیشتری نمونه تحت بارگذاری های قائم متفاوت آزمایش می شوند تا تأثیر این عامل بر روی مقاومت برشی و جابجایی مشخص شده و نتیجتاً پارامترهای مقاومتی پوش گسیختگی موهر کلمب تعیین شود. در این تحقیق آزمایش

برش مستقیم مطابق با استاندارد ASTM D3080 "روش استاندارد آزمایش برای برش مستقیم خاک ها تحت شرایط تحکیم یافته زهکشی شده" انجام شده است [۹].

نمونه ها در درصد تراکم های ۹۵، ۹۰ و ۸۵ که معادل با وزن مخصوص های خشک اولیه ۱،۸۲۴، ۱،۷۲۸ و ۱،۶۳۲ گرم بر سانتیمتر مکعب است با درصد رطوبت بهینه توسط یک جک فشاری با اعمال فشار در قالب برش به صورت لایه لایه بازسازی شده است. در ساخت نمونه، سطح هر لایه قبل از اضافه کردن لایه خاک بعدی خراشیده شده و مرز لایه های مختلف به گونه ای تنظیم شده که هیچکدام با سطح گسیختگی خاک در جعبه برش منطبق نباشد. در طی آماده سازی نمونه ها دما و رطوبت محیط ثابت نگه داشته شده اند [۹]. در تحقیق پیش رو برای انجام آزمایش های برش مستقیم از قالبی مربعی شکل به بعد ۶ سانتیمتر و ضخامت ۲ سانتیمتر استفاده شده است. جهت اشباع سازی، نمونه ی ساخته شده به جعبه برش انتقال داده شده است. از آنجا که آزمایش به صورت زهکشی شده انجام شده است مطابق با دستور العمل دستگاه، یک سنگ متخلخل و یک صفحه شیارکش در زیر و یک سنگ متخلخل در بالای نمونه قرار داده شده است. لازم به ذکر است که جهت انجام زهکشی میبایست سنگ های متخلخل حداقل به مدت ۲ ساعت در آب جوشانده شوند تا منافذ آن ها در صورت گرفتگی باز شده و اشباع شوند. پس از قرارگیری جعبه برش در محفظه دستگاه، درون محفظه آب ریخته شده تا جعبه برش در آب مستغرق شود. از آنجا که خاک های ریزدانه در تماس با آب افزایش حجم می دهند جهت جلوگیری از تورم، بنا بر توصیه آیین نامه وزنه اعمال بار بر روی نمونه قرار داده می شود تا از تورم خاک جلوگیری کند [۹]. مدت زمان لازم جهت اشباع شدن نمونه ها با آزمون و خطا تعیین شده به نحوی که نمونه های با وزن مخصوص خشک اولیه ۱،۸۳۲ گرم بر سانتیمتر مکعب پس از ۷۲ ساعت و دیگر نمونه ها پس از ۴۸ ساعت قرارگیری در آب، به رطوبت متناظر با اشباع شدن رسیده اند. شکل ۴ نحوه اشباع سازی نمونه در محفظه دستگاه برش مستقیم را نمایش می دهد. آزمایش های انجام شده از نوع تحکیم یافته هستند از این رو قبل از اعمال نیروی برشی، نمونه ی اشباع، تحت سربار در نظر گرفته شده تحکیم شده و مطابق با توصیه آیین نامه تا زمانی که نشست به طور کامل انجام شود تحکیم ادامه داده شده است [۹]. کلیه نمونه ها پس از گذشت ۲۴ ساعت به نشست نهایی رسیده اند. شکل ۵ تحکیم نمونه اشباع تحت سربار در نظر گرفته شده را نمایش می دهد.



شکل ۵ - تحکیم نمونه اشباع



شکل ۴ - نحوه اشباع سازی نمونه

از آنجا که آزمایش های اشباع بایستی به صورت زهکشی شده انجام شوند سرعت اعمال نیروی برشی باید به حدی باشد که فرصت زهکشی به نمونه داده شود تا فشار آب حفره ای مثبت در آن ایجاد نشود. آیین نامه برای برش زهکشی شده خاک های ریزدانه در ۱ سانتیمتر مسیر برش، مدت زمان ۲۰۰ دقیقه را پیشنهاد داده است. در این تحقیق جهت اطمینان بیشتر ۳،۵ برابر مدت زمان پیشنهاد شده را در نظر گرفته که برای ۱ سانتیمتر مسیر برش معادل سرعت ۰،۰۱۴ میلیمتر بر دقیقه است.

۴. نتیجه گیری

جدول ۱ نتایج حاصل از تحکیم نمونه ها تحت تنش های قائم را نشان می دهد.

جدول ۱- نتایج حاصل از تحکیم نمونه های اشباع تحت تنش های قائم

وزن مخصوص خشک (gr/cm^3)	نشست حاصل از تنش قائم ۱۱۱ کیلو پاسکال (mm)	نشست حاصل از تنش قائم ۱۶۶ کیلو پاسکال (mm)	نشست حاصل از تنش قائم ۲۲۲ کیلو پاسکال (mm)
1.632	1.675	1.987	2.136
1.728	1.151	1.428	1.632
1.824	0.992	1.179	1.417

با توجه به نتایج همانطور که انتظار می رود با افزایش تنش قائم در هر وزن مخصوص نشست افزایش پیدا می کند و در هر تنش قائم با افزایش وزن مخصوص و نزدیک شدن به وزن مخصوص خشک بیشینه نشست کاهش می یابد. پس از رسم پویش های گسیختگی عرض از مبدأ و شیب هر یک از آن ها که معرف چسبندگی مؤثر و زاویه اصطکاک داخلی مؤثر خاک مورد نظر هستند تعیین گردیده و در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- چسبندگی مؤثر و زاویه اصطکاک داخلی مؤثر نمونه های اشباع در وزن مخصوص های خشک مختلف

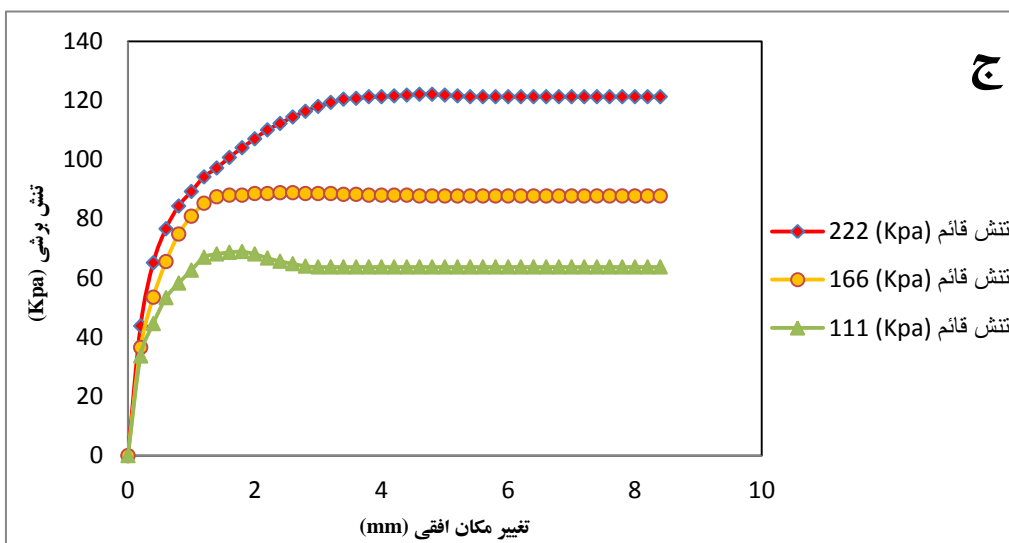
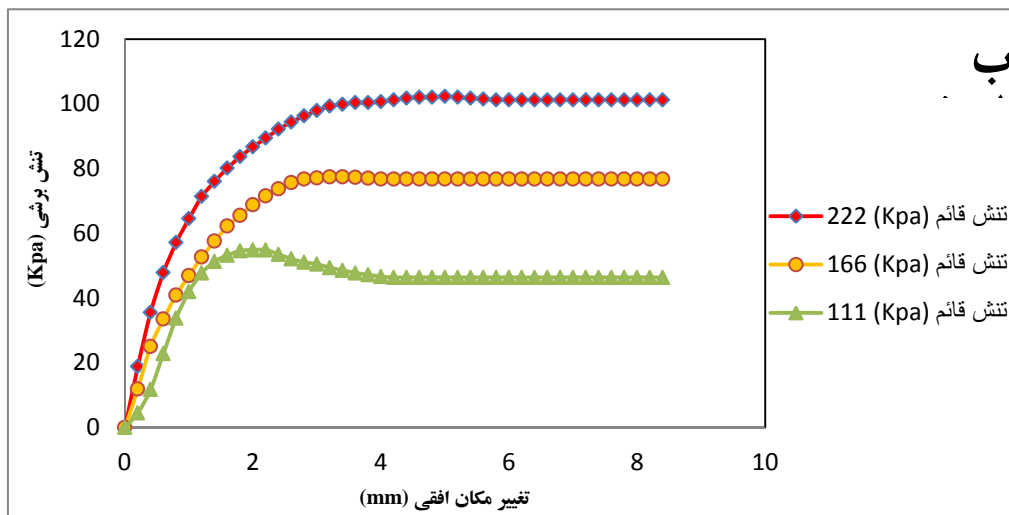
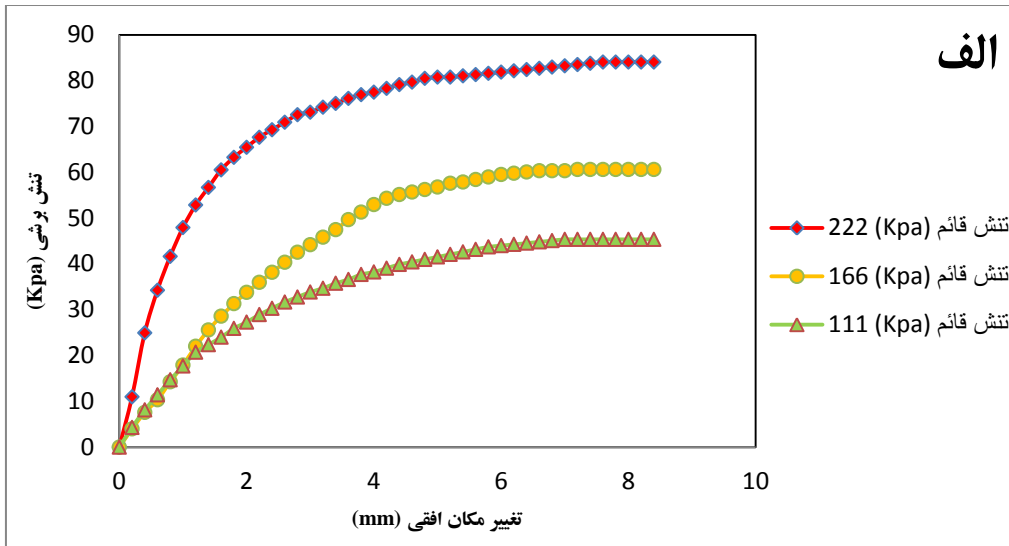
وزن مخصوص خشک (gr/cm^3)	درصد تراکم (%)	چسبندگی مؤثر (Kpa)	زاویه اصطکاک داخلی مؤثر (درجه)
1.632	85	4	18.5
1.728	90	6.84	21
1.824	95	11.26	24.1

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول فوق مشاهده می شود که با افزایش وزن مخصوص خشک و نزدیک شدن به وزن مخصوص خشک بیشینه به سبب کاهش تخلخل خاک و چفت و بست بیشتر دانه های خاک در یکدیگر چسبندگی مؤثر افزایش پیدا کرده در حالی که با کاهش وزن مخصوص خشک، کاهش چشمگیری در چسبندگی مؤثر مشاهده نشده است. با این حال چسبندگی مؤثر در هر سه وزن مخصوص خشک، مقداری بیش از صفر دارد که ناشی از پیش تحکیم یافتگی نمونه ها است.

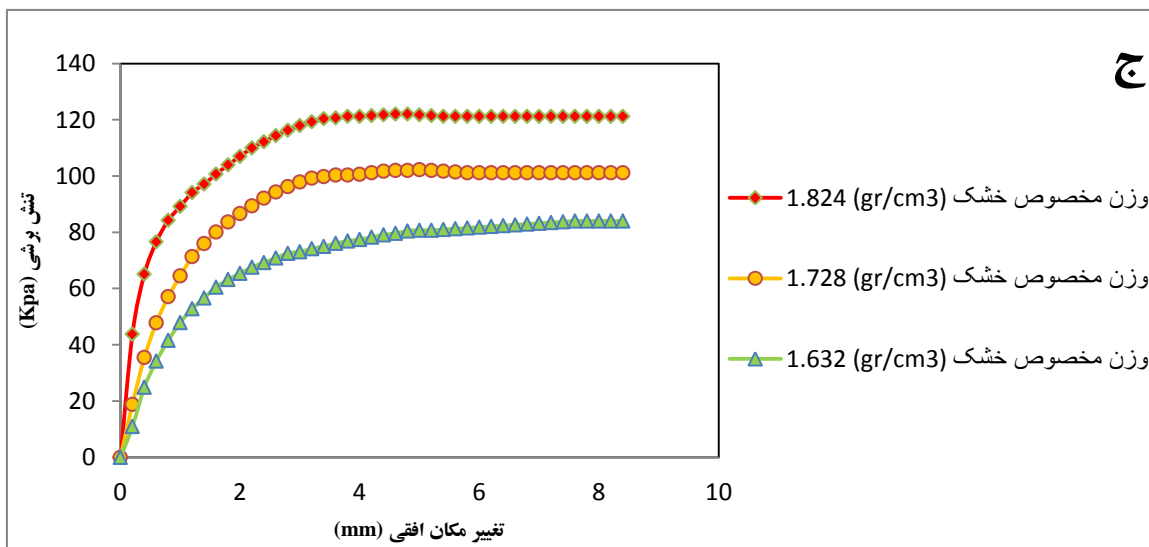
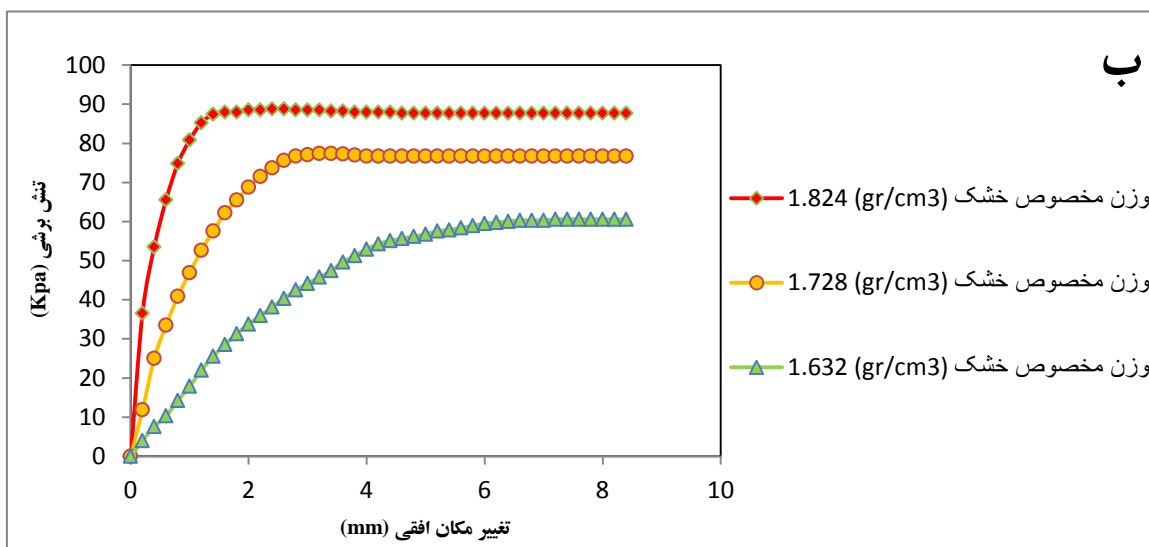
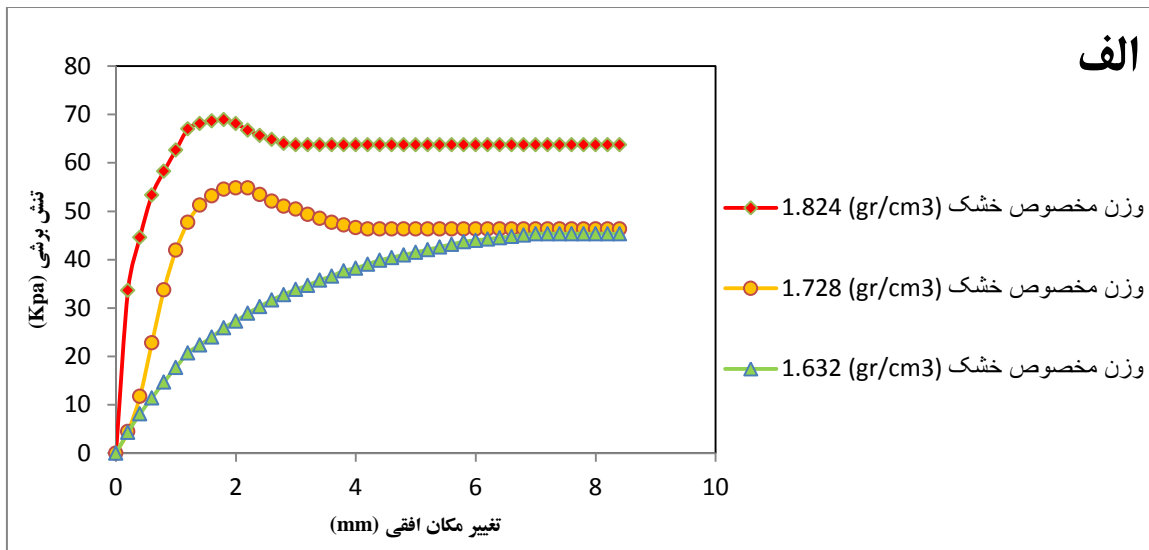
جهت مشاهده رفتار تنش - تغییر مکان خاک تا لحظه رسیدن به مقاومت باقیمانده آزمایش ها تا تغییر مکانی معادل با ۱۵٪ طول نمونه ادامه داده شده اند. شکل ۶ رفتار تنش - تغییر مکان خاک را تحت اثر تنش های عمودی متفاوت برای هر وزن مخصوص خشک نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود نمونه هایی که در وزن مخصوص های ۱,۷۲۸ و ۱,۸۲۴ گرم بر سانتیمتر مکعب ساخته شده اند، تحت تنش ۱۱۱ کیلوپاسکال رفتار پیش تحکیم یافته نشان داده اند و با افزایش تنش قائم اعمال شده بر خاک رفتار پیش تحکیمی به تدریج به عادی تحکیمی تغییر یافته است. این مهم بیانگر آن است که انرژی تراکمی که نمونه ها با آن ساخته شده اند سبب پیش تحکیم یافتگی نمونه ها تا تنش ۱۱۱ کیلوپاسکال شده است. در منحنی تنش - تغییر مکان مربوط به نمونه های با وزن مخصوص ۱,۶۳۲ گرم بر سانتیمتر مکعب، هیچ نقطه اوجی دیده نشده چراکه به سبب کاهش درصد تراکم، خاک مشابه با خاک های سست رفتاری نرم و انعطاف پذیر داشته و تغییر مکان متناظر با گسیختگی نسبت به سایر نمونه ها افزایش یافته است. در هر وزن مخصوص با افزایش تنش قائم، علاوه بر تنش برشی تغییر مکان متناظر با گسیختگی نیز افزایش پیدا کرده به نحوی که منحنی تنش - تغییر مکان نمونه هایی که تحت اعمال تنش قائم بزرگتر گسیخته شده اند دیرتر به گسیختگی رسیده و انحنای بیشتری پیدا کرده اند. کلیه نمونه ها قبل از تغییر مکان افقی ۸ میلیمتر به مقاومت باقیمانده رسیده اند.

شکل ۷ منحنی تنش - تغییر مکان خاک تحت اثر وزن مخصوص های خشک متفاوت برای هر تنش قائم را نشان می دهد. با بررسی شکل فوق مشاهده می گردد که در یک تنش قائم ثابت، منحنی تنش - تغییر مکان نمونه هایی که با وزن مخصوص خشک بیشتری ساخته شده اند بالای منحنی نمونه هایی که با وزن مخصوص کمتر ساخته شده اند قرار گرفته است چراکه با افزایش وزن مخصوص خشک اولیه مقاومت برشی نمونه بهبود می یابد. همچنین با افزایش وزن مخصوص خشک، شیب اولیه منحنی تنش - تغییر مکان افزایش پیدا کرده که موجب افزایش سختی خاک می گردد. همانطور که پیشتر نیز بیان شد افزایش تنش قائم نیز منجر به افزایش سختی خاک می گردد از اینرو همانطور که مشاهده می شود سختی نمونه هایی که با وزن مخصوص خشک بیشتر ساخته شده اند و تحت اعمال تنش قائم بالاتری قرار گرفته اند به نسبت سایر نمونه ها بیشتر است. از سوی دیگر همزمان با افزایش سختی تغییر مکان متناظر با گسیختگی نمونه کاهش می یابد بنحوی که نمونه زودتر گسیخته شده و رفتار پیش تحکیمی نشان می دهد که به معنای افزایش تردی نمونه ها می باشد. این مهم در تنش قائم ۱۱۱ کیلوپاسکال مشهود تر است.

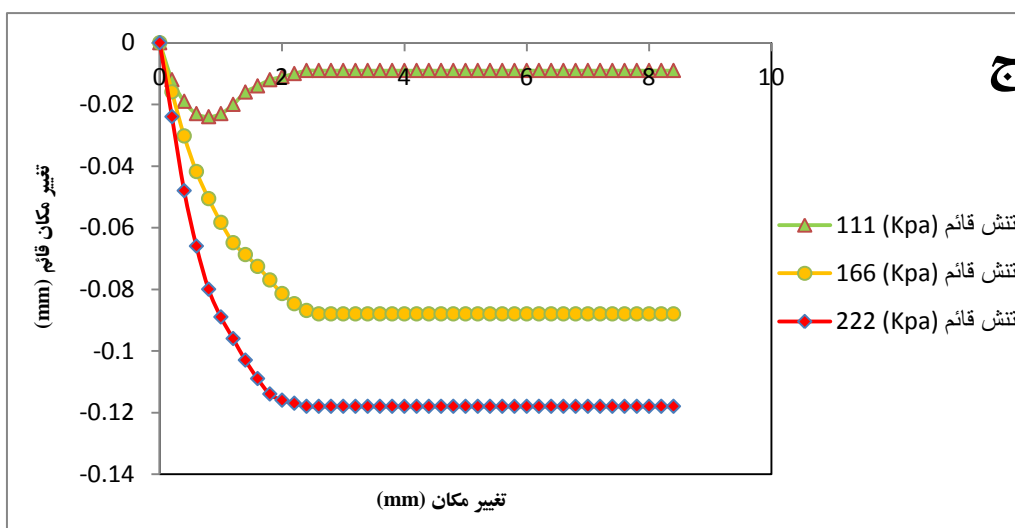
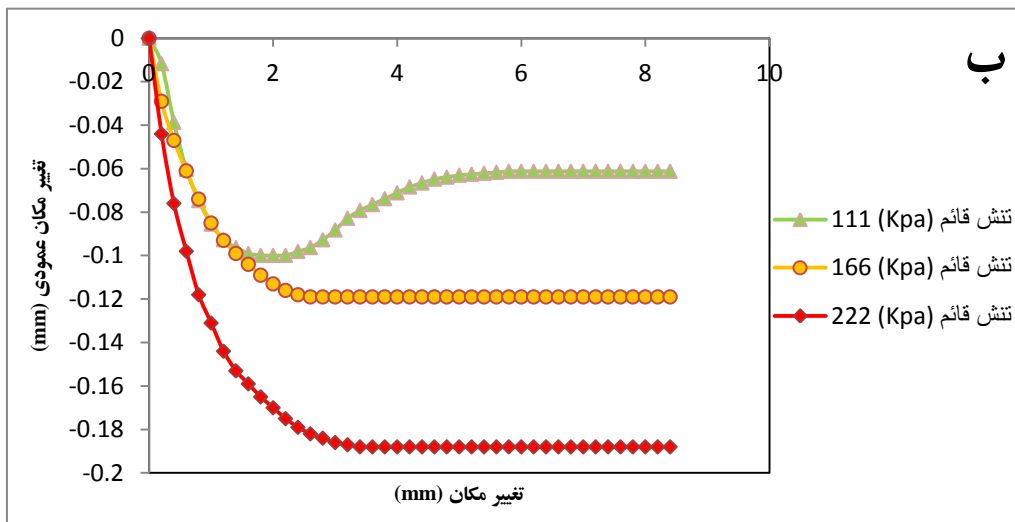
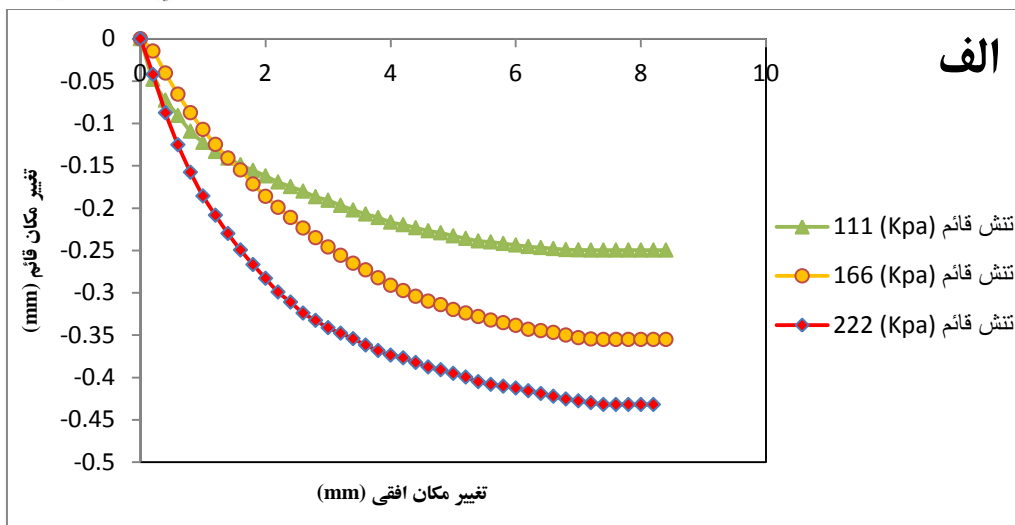
شکل ۸ تغییر مکان قائم نمونه های اشباع را در حین برش نسبت به تغییر مکان افقی نمونه تحت اثر تنش های عمودی متفاوت برای هر وزن مخصوص خشک نشان می دهد. با توجه به شکل، رفتار غالب نمونه های اشباع، انقباضی بوده چراکه به سبب اشباع بودن، خاک رفتاری نرم و شکل پذیر داشته و ذرات در حین برش بر روی یکدیگر نلغزیده بلکه در یکدیگر فرو رفته اند. در وزن مخصوص ۱,۶۳۲ گرم بر سانتیمتر مکعب به سبب کاهش درصد تراکم، خاک رفتاری مشابه با خاک های سست دارد و با رفتاری نرم در قیاس با سایر نمونه ها در تغییر مکان افقی بیشتری به نشست حداکثر می رسد و در کلیه تنش های قائم رفتاری انقباضی نشان داده است. با افزایش وزن مخصوص، نشست نمونه ها کمتر شده به نحوی که در وزن مخصوص ۱,۸۲۴ گرم بر سانتیمتر مکعب نشست به کمترین میزان می رسد. در هر وزن مخصوص با افزایش تنش قائم اتساع کمتر شده و نمونه نشست بیشتری پیدا کرده است چراکه با کاهش تخلخل در لحظه برش نشست افزایش می یابد. در وزن مخصوص های ۱,۷۲۸ و ۱,۸۲۴ گرم بر سانتیمتر مکعب در تنش قائم ۱۱۱ کیلو پاسکال بالا بودن وزن مخصوص خشک نمونه و کم بودن تنش قائم، سبب رفتار اتساعی خاک شده است.



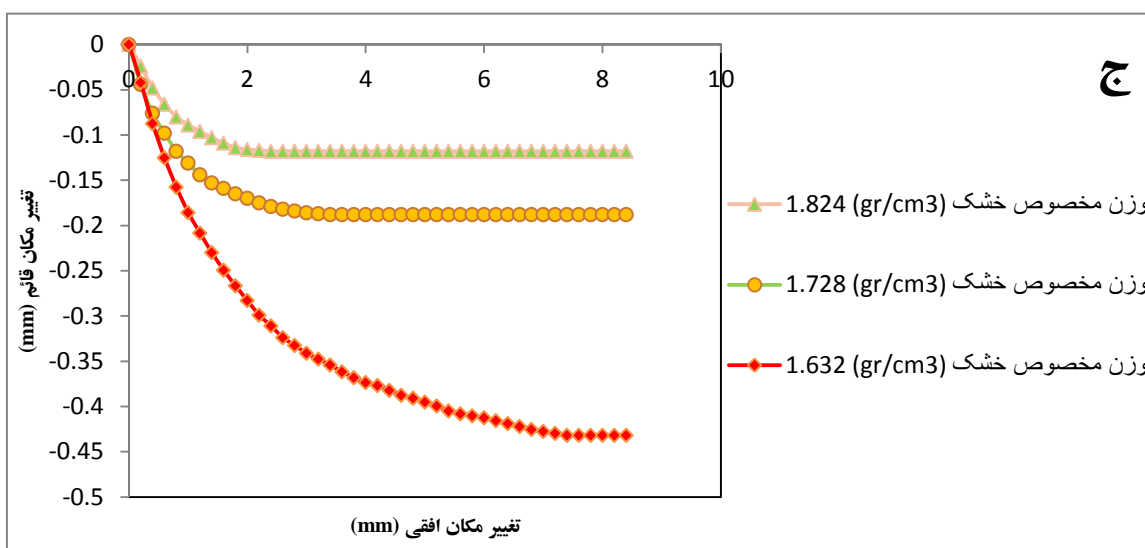
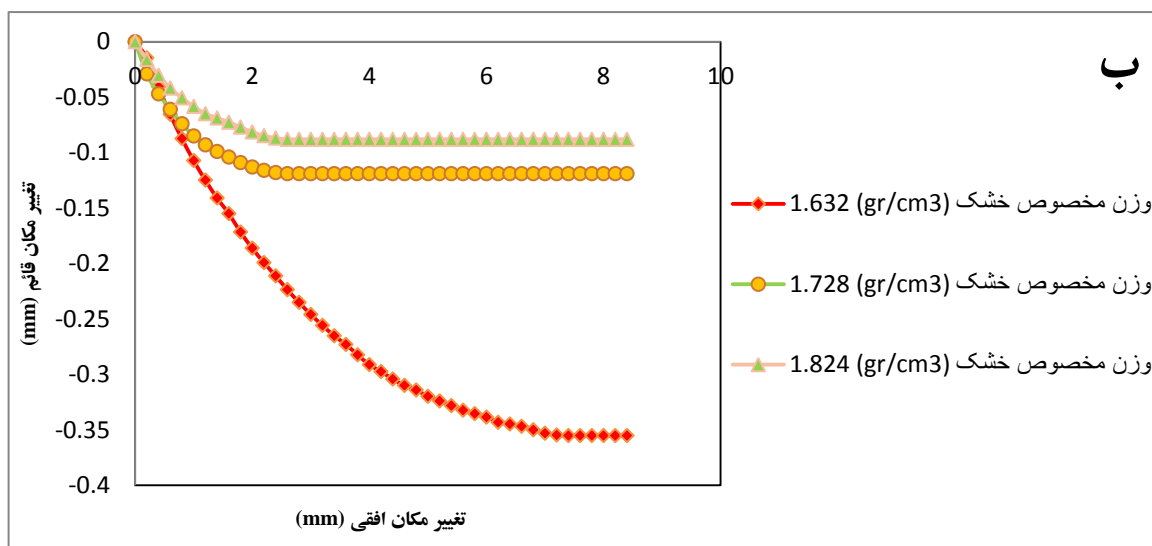
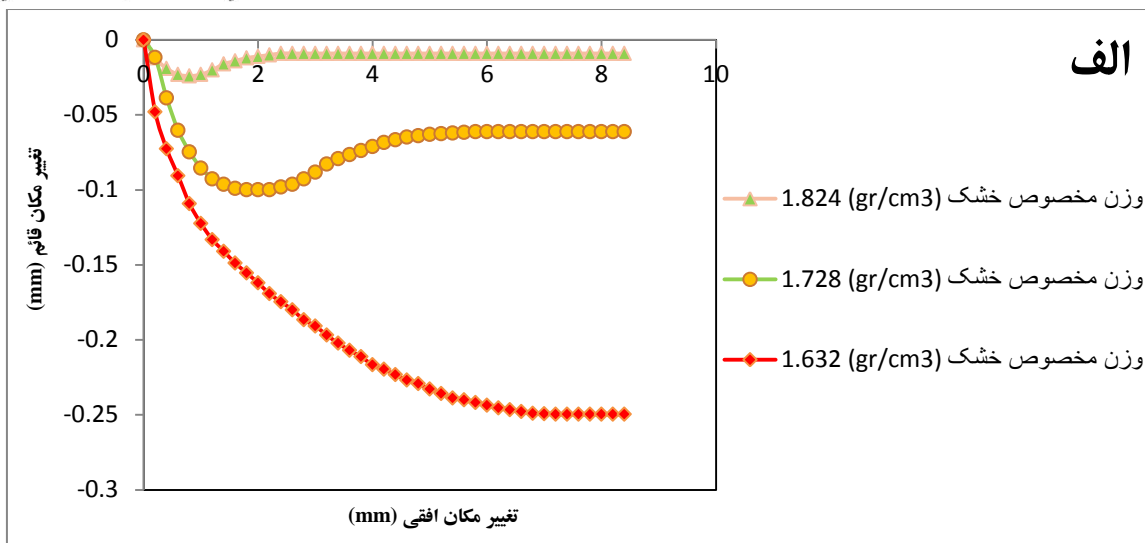
شکل ۶- رفتار تنش-تغییر مکان خاک اشباع در وزن مخصوص های خشک متفاوت (گرم بر سانتیمتر مکعب) (الف) ۱,۶۳۲ (ب) ۱,۷۲۸ (ج) ۱,۸۲۴



شکل ۷- رفتار تنش - تغییر مکان خاک اشباع در تنش های قائم متفاوت (کیلوپاسکال) (الف) ۱۱۱ (ب) ۱۶۶ (ج) ۲۲۲



شکل ۸- تغییر مکان قائم نمونه اشباع در وزن مخصوص های خشک متفاوت (گرم بر سانتیمتر مکعب) الف) ۱,۶۳۲، ب) ۱,۷۲۸، ج) ۱,۸۲۴



شکل ۹- تغییر مکان قائم نمونه اشباع در تنش های قائم متفاوت (کیلوپاسکال) (الف) ۱۱۱ (ب) ۱۶۶ (ج) ۲۲۲

شکل ۹ تغییر مکان قائم نمونه های اشباع در حین برش نسبت به تغییر مکان افقی نمونه تحت اثر وزن مخصوص های خشک متفاوت برای هر تنش قائم را نشان می دهد. در هر تنش قائم با کاهش وزن مخصوص خشک به سبب فاصله گرفتن از وزن مخصوص خشک پیشینه نشست نمونه در حین برش افزایش یافته است. همچنین در هر وزن مخصوص خشک با افزایش تنش قائم، نشست نمونه افزایش پیدا کرده و در تغییر مکان افقی بزرگتری به نشست حداکثر می رسد. نمونه های با وزن مخصوص خشک ۱،۸۲۴ و ۱،۷۲۸ گرم بر سانتیمتر مکعب در تنش ۱۱۱ کیلو پاسکال به سبب نزدیک بودن به وزن مخصوص خشک پیشینه و کم بودن تنش قائم رفتار اتساعی نشان داده اند.

۵. مراجع

1. Seed, H.B., Mitchell, J.K. and Chan, C. K. (1961), "The Strength of Compacted Cohesive Soils, in Shear Strength of Cohesive Soils," ASCE, Boulder, CO, pp 877-964.
2. Leroueil, S. and Vaughan, P. R. (1990), "The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks," Geotechnique, 40(3), pp 467-488.
3. Proctor, R. R. (1933), "Design and Construction of Rolled Earth Dams," Engineering News Record, Vol. 3, pp 245-248, 286-289, 348-351, 372-376.
4. ASTM Standard D422-63, 2007, "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils" Annual book of ASTM standards, Philadelphia, PA.
5. ASTM Standard D854-14, 2014, "Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer" Annual book of ASTM standards, Philadelphia, PA.
6. ASTM Standard D4318-10, 2010, "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils " Annual book of ASTM standards, Philadelphia, PA.
7. ASTM Standard D2487-11, 2011, "Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)" Annual book of ASTM standards, Philadelphia, PA.
8. ASTM Standard D 698-12, 2012, " Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort" Annual book of ASTM standards, Philadelphia, PA.
9. ASTM Standard D 3080-11, 2011, " Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions" Annual book of ASTM standards, Philadelphia, PA.