

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۹۲۸.۹

دانشکده فنی  
گروه عمران  
(گرایش خاک و پی)

بررسی تاثیر پارامترهای شاخص و رطوبت محتوی بر مقاومت برشی خاکهای

ریزدانه

از

ایوب احمدی

استاد راهنما

دکتر فرزین کلانتری - دکتر مهیار عربانی

استاد مشاور

دکتر میراحمدلشت نشائی

۱۳۸۶ / ۲ / ۲۱



خرداد ماه ۱۳۸۶

Handwritten signature or initials.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

## تقدیر و سپاس

در اینجا لازم است که از زحمات اساتید محترم راهنما جناب دکتر کلانتری و جناب دکتر عربانی که با صبر و حوصله اینجانب را در پیشبرد پایان نامه یاری رساندند و همچنین مشاور محترم جناب دکتر لشت نشائی و راهنمایی های ارزنده جناب دکتر اسلامی و مدیر گروه محترم عمران جناب دکتر مهرداد و همکلاسیهایم که نهایت تلاش و لطف خود را نسبت به بنده مبذول فرمودند تقدیر و تشکر نمایم.

ز	.....
ر	.....
۱	..... مقدمه
۴	..... فصل ۱- مسائل مطرح در خاکهای غیراشباع
۵	..... ۱-۱- اهداف مطالعات
۸	..... ۱-۲- مفهوم خاک غیراشباع و کاربرد آن
۹	..... ۱-۳- اجرای سدهای خاکی
۱۱	..... ۱-۴- شیب های طبیعی تحت شرایط محیطی
۱۲	..... ۱-۵- بررسی پایداری گودبرداری های قائم
۱۳	..... ۱-۶- ظرفیت باربری پی های سطحی
۱۴	..... ۱-۷- تغییر شکل زمین حاوی مصالح متورم شونده و یا فروریزی
۱۶	..... فصل دوم- اثرات آب در خاک و مقاومت برشی خاکهای اشباع و غیراشباع و مدول الاستیسیته
۱۷	..... ۲-۱- وضعیت آب در طبیعت
۱۷	..... ۲-۲- کشش سطحی آب
۱۸	..... ۲-۳- خاصیت موئینگی (Capillary phenomenon)
۲۰	..... ۲-۴- مکش ماتریک خاک غیراشباع (matric suction)
۲۰	..... ۲-۴-۱- رفتار خاک غیراشباع
۲۷	..... ۲-۵- تفاوت مکش ماتریک با پدیده کاپیلاری
۲۷	..... ۲-۶- مکش اسمزی
۲۷	..... ۲-۷- روشهای اندازه گیری مکش در خاک
۲۸	..... ۲-۷-۱- تانسیومتر
۳۰	..... ۲-۷-۲- استفاده از یلایت فشار
۳۱	..... ۲-۷-۳- استفاده از کاغذ صافی
۳۴	..... ۲-۸- خاصیت ثقلی آب
۳۴	..... ۲-۹- منحنی مشخصه خاک (Soil Moisture Characteristics Curve)
۳۶	..... ۲-۹-۱- روش های بدست آوردن منحنی SWCC
۴۱	..... ۲-۱۰- تئوری های مقاومت برشی خاک غیراشباع
۴۷	..... ۲-۱۰-۱- منحنی ویژگی تنش-مکش (SSCC) و رابطه آن با مقاومت برشی خاک
۴۹	..... ۲-۱۰-۲- منحنی ویژگی خاک-آب (SWCC) و رابطه آن با مقاومت برشی خاک
۵۲	..... ۲-۱۰-۳- رابطه بین رطوبت و چسبندگی زهکشی نشده خاک های چسبنده
۵۳	..... ۲-۱۰-۴- تاثیر درجه اشباع بر پارامترهای مقاومتی خاک
۵۶	..... ۲-۱۱- مدول الاستیسیته خاک
۵۶	..... ۲-۱۱-۱- اصول و مبانی محیط های الاستیسیته خاکها
۵۶	..... ۲-۱۱-۲- نسبت پواسون
۵۸	..... ۲-۱۱-۳- روش های تعیین $E_s$
۵۹	..... ۲-۱۱-۴- روش های آزمایشگاهی تعیین $E_s$
۶۱	..... ۲-۱۱-۵- روش های صحرایی تعیین $E_s$
۶۱	..... ۲-۱۱-۶- مقایسه روش ها
۶۳	..... ۲-۱۱-۷- روابط تجربی جهت تخمین $E_s$
۶۵	..... ۲-۱۱-۸- عوامل موثر در $E_s$ و نسبت پواسون

۶۶	۹-۱۱-۲- مقادیر ضریب پواسون $\mu$ و $E_s$ مصالح مختلف در طبیعت.....
۶۸	۱۰-۱۱-۲- تاثیر مکش ماتریک برمدول الاستیک خاک غیراشباع.....
۷۰	فصل ۳ آزمایشهای انجام شده.....
۷۱	۱-۳- آزمایش فشاری محدود نشده برای خاک.....
۷۱	۱-۱-۳- هدف : تعیین مقاومت فشاری نامحدود $q_u$ در خاک.....
۷۱	۲-۱-۳- آزمایش بصورت کنترل کرنش.....
۷۱	۳-۱-۳- آزمایش بصورت کنترل تنش.....
۷۲	۲-۳- کاربردها.....
۷۲	۳-۳- تجهیزات.....
۷۵	۴-۳- روش آزمایش.....
۷۵	۵-۳- ثبت نتایج.....
۷۷	۶-۳- مزایای آزمایش تک محوری.....
۷۹	۷-۳- حدود اثر برگ.....
۷۹	۸-۳- تعیین حد روانی (LL) و حد خمیری (PL).....
۸۱	۹-۳- تعیین حد خمیری : PL.....
۸۱	۱۰-۳- اهمیت و کاربرد حد روانی و حد خمیری.....
۸۲	۱۱-۳- نمودار خمیری.....
۸۴	۱۲-۳- وضعیت تراکم نمونه ها.....
۸۶	۱۳-۳- اثر نوع خاک در تراکم.....
۸۹	۱۴-۳- آزمایش فشاری محدود نشده برای خاکهای چسبنده.....
۹۱	۱۵-۳- مشخصات کالیبراسیون دستگاه.....
۹۲	۱۶-۳- اندازه نمونه های آزمایش شده.....
۹۳	فصل ۴ - بررسی نتایج آزمایشها.....
۹۴	۱-۴- آزمایش ها.....
۹۵	۲-۴- نتایج.....
۹۵	۱-۲-۴- نتایج آزمایشها.....
۹۷	۲-۲-۴- نتایج آزمایشهای تراکم.....
۹۷	۳-۲-۴- مقاومت تک محوری برای خاکهای $B_oA$ .....
۹۸	۴-۲-۴- اثر پرتونیت.....
۹۹	۳-۴- مدول الاستیسیته در رطوبتهای مختلف.....
۹۹	۱-۳-۴- تعیین مدول الاستیسیته با استفاده از منحنی های تنش-کرنش.....
۱۰۱	۲-۳-۴- تعیین مدول الاستیسیته با استفاده از روابط تجربی.....
۱۰۲	۴-۴- نتایج آزمایش های تک محوری و تراکم توام.....
۱۰۷	۵-۴- اثر وزن مخصوص در مقاومت تک محوری.....
۱۰۸	۶-۴- اثر رطوبت بر نسبت تخلخل.....
۱۰۹	۷-۴- اثر رطوبت و درجه اشباع بر مقاومت تک محوری.....
۱۱۱	۸-۴- اثر رطوبت برمدول الاستیسیته مماسی.....
۱۱۱	۹-۴- منحنی های سخت شوندگی آزمایش تک محوری.....
۱۱۲	۱۰-۴- اثر رطوبت بر کرنش گسیختگی.....
۱۱۳	۱۱-۴- اثر تغییرات حدود اثر برگ بر مقاومت برشی.....

۱۱۵.....	فصل ۵ - جمع بندی و نتیجه گیری
۱۱۶.....	۵-۱- نتایج
۱۱۸.....	۵-۲- پیشنهاد برای ادامه کار
۱۱۹.....	مراجع
۱۲۳.....	پیوست

۱۸	جدول (۱-۲) کشش سطحی آب در دماهای مختلف
۲۰	جدول (۲-۲) مقادیر صعود موئینگی آب در خاکها
۲۱	جدول (۳-۲) درجه های متفاوت اشباع
۲۲	جدول (۴-۲) فشار آب در نقاط مختلف شکل (۲-۴)
۵۷	جدول (۵-۲) محدوده مقادیر نسبت پواسون
۵۸	جدول (۶-۲) محدوده مقادیر نسبت پواسون خاکها
۶۴	جدول (۷-۲) محدوده مقادیر مدول الاستیسیته
۶۶	جدول (۸-۲) دامنه ثابتهای الاستیک مصالح مختلف
۶۸	جدول (۹-۲) مقادیر توصیه شده برای $E_s, \nu$ برای خاکهای ماسه ای ولای دار
۷۴	جدول (۱-۳) رابطه بین قوام خاک ریزدانه با مقاومت تک محوری
۷۴	جدول (۲-۳) توصیف حساسیت خاک ریزدانه با مقاومت تک محوری
۸۰	جدول (۳-۳) ضرایب حدروانی
۸۱	جدول (۴-۳) حدخمیری خاک کائولین خالص و کائولین با ۱۰ درصد بنتونیت
۸۶	جدول (۵-۳) بافت خاک و حدود اتربرگ
۹۲	جدول (۶-۳) خصوصیات فیزیکی خاکهای چسبنده A و B
۹۴	جدول (۱-۴) تعداد آزمایشها و میزان رطوبتها برای خاک A
۹۴	جدول (۲-۴) تعداد آزمایشها و میزان رطوبتها برای خاک B
۹۵	جدول (۳-۴) خصوصیات فیزیکی خاکهای چسبنده A و B
۹۶	جدول (۴-۴) مقاومت تک محوری، درجه اشباع، وزن مخصوص خاک A و B در رطوبتهای مختلف
۹۸	جدول (۵-۴) تاثیر بنتونیت بر مقاومت تک محوری خاک کائولین در رطوبتهای مختلف
۱۰۰	جدول (۶-۴) محدوده مدول الاستیسیته خاک کائولین در رطوبتهای مختلف برای اندازه ۳۸ میلیمتر
۱۰۰	جدول (۷-۴) محدوده مدول الاستیسیته خاک کائولین در رطوبتهای مختلف برای اندازه ۴۸ میلیمتر
۱۰۱	جدول (۸-۴) محدوده مدول الاستیسیته حاصل از فرمول تجربی برای اندازه ۴۸ میلیمتر
۱۰۱	جدول (۹-۴) محدوده مدول الاستیسیته حاصل از فرمول تجربی برای اندازه ۳۸ میلیمتر



- شکل (۱) وضعیت خاک در مواجهه با آب ..... ۲
- شکل (۲) -نواحی بسیار خشک، خشک و نیمه خشک کره زمین ..... ۲
- شکل (۳) -تصویر کلی از علم مکانیک خاک ..... ۳
- شکل (۱-۱) مقطع تیپ بدنه سدهموژن در حال ساخت ..... ۹
- شکل (۲-۱) وضعیت فشار آب و هوای حفره ای در بدنه سدهموژن در حال ساخت ..... ۹
- شکل (۳-۱) وضعیت فشار آب و هوای حفره ای در بدنه سدهموژن در زمان بهره برداری ..... ۱۰
- شکل (۴-۱) خطوط جریان در مقطع تیپ بدنه سد هموزن ..... ۱۱
- شکل (۵-۱) شیروانی طبیعی تحت تاثیر تغییرات شرایط محیطی ..... ۱۲
- شکل (۶-۱) مثالی از گودبرداری در خاک های نیمه اشباع ..... ۱۳
- شکل (۷-۱) احداث پی بر روی خاک غیر اشباع ..... ۱۴
- شکل (۸-۱) احداث سازه بر روی خاک متورم شونده ..... ۱۴
- شکل (۹-۱) احداث سازه بر روی خاک فرو ریزی ..... ۱۵
- شکل (۱-۲) نمایش برداری نیروهای وارد بر مولکول های مختلف آب ..... ۱۷
- شکل (۲-۲) نمایی از پدیده موئینگی در لوله ها ..... ۱۹
- شکل (۳-۲) خاصیت موئینگی در لوله های با قطرهای مختلف ..... ۱۹
- شکل (۴-۲) تحلیل کشش سطحی ..... ۲۲
- شکل (۵-۲) خاک نیمه اشباع ..... ۲۳
- شکل (۶-۲) -تفکیک سطح آب و هوا ..... ۲۴
- شکل (۷-۲) تیر تاریخچه تنش - کرنش بر رفتار خاک اشباع ..... ۲۵
- شکل (۸-۲) غشای نیمه تراوا ..... ۲۷
- شکل (۹-۲) تانسومتر ..... ۲۸
- شکل (۱۰-۲) نمونه هایی از شیت های کالیبراسیون کاغذ صافی ..... ۳۲
- شکل (۱۱-۲) نمونه شیت کالیبراسیون کاغذ صافی ..... ۳۳
- شکل (۱۲-۲) نحوه بکارگیری کاغذ صافی جهت اندازه گیری مکش خاک ..... ۳۳
- شکل (۱۳-۲) نحوه قراردادن کاغذ صافی در نمونه خاک ..... ۳۴
- شکل (۱۴-۲) منحنی تیپ ویژگی های آب-خاک (SWCC) بانا حیه بندی بر اساس درجه اشباع ..... ۳۵
- شکل (۱۵-۲) منحنی SWCC برای ماسه درشت دانه ..... ۳۶
- شکل (۱۶-۲) الگوریتم اطلاعات پایه ..... ۳۷
- شکل (۱۷-۲) نمونه ای از نرم افزارهای مورد استفاده جهت پیش بینی رفتار خاک باداده های اولیه ..... ۳۸
- شکل (۱۸-۲) پیش بینی پوش مقاومت برشی برای ماسه رس دار با استفاده از منحنی SWCC ..... ۳۹
- شکل (۱۹-۲) خاک غیر اشباع تحت تاثیر گراد یا نه های سه بعدی تنش ..... ۴۲
- شکل (۲۰-۲) نمودارهای تعیین پارامتر % بر اساس درجه اشباع (Jennings & Burland) ..... ۴۴
- شکل (۲۱-۲) پوش گسیختگی غیر خطی مقاومت برشی در برابر مکش ماتریک برای خاکهای غیر اشباع ..... ۴۵
- شکل (۲۲-۲) توسعه پوش گسیختگی مور-کولمب (Fredlund and Rahardjo, 1993) ..... ۴۵
- شکل (۲۳-۲) -رابطه بین  $\phi^b$  و مکش ماتریک (Gan and Fredlund) ..... ۴۶
- شکل (۲۴-۲) منحنی ویژگی تنش-مکش (SSCC) همراه با پوش گسیختگی مور-کلمب ..... ۴۸
- شکل (۲۵-۲) منحنی ویژگی تنش-مکش (SSCC) برای خاک کائولین ولای ..... ۴۹
- شکل (۲۶-۲) رابطه بین منحنی SWCC و مقاومت برشی برای ماسه ولای رس دار ..... ۵۰

- شکل (۲-۲۷) پوش گسیختگی متناظر با تنش نرمال خالص در مکش ثابت ..... ۵۱
- شکل (۲-۲۸) منحنی SWCC و مکش-برش و وابستگی آنها بهم مطابق نمودارها ..... ۵۲
- شکل (۲-۲۹) رابطه آب حفره ای آزاد با  $C$  ..... ۵۳
- شکل (۲-۳۰) نتایج مربوط به اثرات درجه اشباع بر پارامترهای مقاومت برشی خاک ..... ۵۴
- شکل (۲-۳۱) مدولهای مختلف برای خاک ..... ۵۶
- شکل (۲-۳۲) نسبت پواسون ..... ۵۷
- شکل (۲-۳۳) منحنی تنش-کرنش ..... ۵۹
- شکل (۲-۳۴) مدول الاستیسیته مماسی اولیه ..... ۶۰
- شکل (۲-۳۵) مدول تنش-کرنش ..... ۶۱
- شکل (۲-۳۶) نمودار مدول الاستیسیته در مقابل مکش ..... ۶۹
- شکل (۳-۱) ابزار مورد استفاده در تهیه نمونه در شرایط تراکم استاندارد ..... ۷۲
- شکل (۳-۲) الگوی گسیختگی برای نمونه ترد ..... ۷۳
- شکل (۳-۳) الگوی گسیختگی برای نمونه نرم ..... ۷۳
- شکل (۳-۴) نمونه تحت آزمایش ..... ۷۵
- شکل (۳-۵) نمونه ای از شیت های ثبت اطلاعات آزمایش ها ..... ۷۶
- شکل (۳-۶) منحنی تیپ تنش-کرنش از یک آزمایش نامحدود در دستگاه سه محوری ..... ۷۷
- شکل (۳-۷) نمودار تغییرات رطوبت و تغییر وضعیت خاک با آن ..... ۷۹
- شکل (۳-۸) نمونه تعیین حد روانی مربوط به یک آزمون ..... ۸۰
- شکل (۳-۹) حد روانی و حد خمیری و شاخص خمیری بعضی از خاکها را در مقایسه نشان می دهد ..... ۸۲
- شکل (۳-۱۰) چارت خمیری مربوط به سایت Glen Carbon ..... ۸۳
- شکل (۳-۱۱) چارت خمیری ..... ۸۴
- شکل (۳-۱۲) منحنی دانسیته در برابر رطوبت برای آزمایش ..... ۸۵
- شکل (۳-۱۳) آزمایش پراکتور ..... ۸۵
- شکل (۳-۱۴) اثر نوع خاک در نمودار وزن مخصوص خشک ..... ۸۶
- شکل (۳-۱۵) رابطه نیمه لگاریتمی بین انرژی تراکم و رطوبت بهینه و ماکزیمم وزن مخصوص خشک ..... ۸۷
- شکل (۳-۱۶) نمایی از وسایل بکار رفته جهت تهیه نمونه های با تراکم استاندارد ..... ۸۸
- شکل (۳-۱۷) نمایی از وسایل بکار رفته جهت تهیه نمونه های با تراکم استاندارد ..... ۸۸
- شکل (۳-۱۸) آزمایش فشاری محدود نشده ..... ۸۹
- شکل (۳-۱۹) نتایج مقاومت فشاری نامحدود با کرنش با انرژی تراکم ثابت و در رطوبت های مختلف ..... ۹۰
- شکل (۳-۲۰) نمونه ای از یک آزمایش تک محوری ..... ۹۰
- شکل (۳-۲۱) گیج های اندازه گیری بار و جابجایی در آزمایش تک محوری ..... ۹۱
- شکل (۳-۲۲) تصویر انجام آزمایش ..... ۹۲
- شکل (۴-۱) منحنی تراکم خاکهای A و B ..... ۹۷
- شکل (۴-۲) نمودار تغییرات مقاومت خاک با رطوبت بازای ۱۰٪ بنتونیت ..... ۹۹
- شکل (۴-۳) منحنی تراکم برای خاک A-38 ..... ۱۰۳
- شکل (۴-۴) منحنی تنش-کرنش برای خاک A-38 ..... ۱۰۳
- شکل (۴-۵) منحنی تراکم برای خاک B-38 ..... ۱۰۴
- شکل (۴-۶) منحنی تنش-کرنش برای خاک B-38 ..... ۱۰۴
- شکل (۴-۷) منحنی تراکم برای خاک A-48 ..... ۱۰۵
- شکل (۴-۸) منحنی تنش-کرنش برای خاک A-48 ..... ۱۰۵

- شکل (۹-۴) منحنی تراکم برای خاک B-48 ..... ۱۰۶
- شکل (۱۰-۴) منحنی تنش- کرنش برای خاک B-48 ..... ۱۰۶
- شکل (۱۱-۴) تغییرات مقاومت تک محوری باوزن مخصوص (A) ..... ۱۰۷
- شکل (۱۲-۴) تغییرات مقاومت تک محوری باوزن مخصوص (B) ..... ۱۰۸
- شکل (۱۳-۴) منحنی تغییرات تخلخل بارطوبت ..... ۱۰۹
- شکل (۱۴-۴) تغییرات مقاومت تک محوری بارطوبت ..... ۱۱۰
- شکل (۱۵-۴) تغییرات مقاومت تک محوری با درجه اشباع ..... ۱۱۰
- شکل (۱۶-۴) تغییرات مدول الاستیسیته مماسی بارطوبت ..... ۱۱۱
- شکل (۱۷-۴) منحنی سخت شوندگی تنش-کرنش ..... ۱۱۲
- شکل (۱۸-۴) تغییرات کرنش محوری گسیختگی بارطوبت ..... ۱۱۲
- شکل (۱۹-۴) تغییرات مقاومت تک محوری باحد روانی در رطوبتهای مختلف ..... ۱۱۳
- شکل (۲۰-۴) تغییرات مقاومت تک محوری باحد روانی از خاک A به خاک B ..... ۱۱۳
- شکل (۲۱-۴) تغییرات مقاومت تک محوری با نشانه خمیری ..... ۱۱۴

بررسی تاثیر پارامترهای شاخص و رطوبت محتوی بر مقاومت برشی خاکهای ریزدانه

ایوب احمدی

مقاومت برشی خاکهای ریزدانه بسیار تاثیر پذیر از رطوبت محتوی هستند. در عرف مهندسی ژئوتکنیک، نمونه هاقبل از آزمایش اشباع می شوند و این امر موجب دستیابی به پارامترهای کمینه می گردد که در برخی موارد که احتمال افزایش رطوبت کم است، موجب طراحی های بسیار دست بالا می گردد. در این تحقیق تلاش می شود با ساخت نمونه هایی در رطوبت و درجه اشباع مختلف اثر تغییرات رطوبت و درجه اشباع و همچنین وزن مخصوص بر مقاومت فشاری نامحدود و مدول الاستیسیته خاک ریزدانه در دستگاه تک محوری و بصورت آزمایش فشاری محدود نشده ( $\sigma_3 = 0$ ) بررسی شود با انجام این آزمایش همی توان خصوصیات مهندسی خاکهای ریزدانه را در شرایط غیر اشباع بررسی نمود، نتایج این نوع آزمایش ها و مقایسه آنها با نتایج در شرایط اشباع را می توان از نظر کاربرد ارزش گذاری کرد.

در کشور ما زمینه این نوع تحقیقات وجود دارد چرا که شرایط اقلیمی به صورتی است که اکثر نواحی متشکل از خاک غیر اشباع است و میزان رطوبت در آنها پایین است.

واژه های کلیدی : خاک غیر اشباع ، مقاومت برشی خاک، رطوبت محتوی، مقاومت فشاری محدود نشده، مدول

الاستیسیته

## Abstract

Accessment of the effect of the parameters of fine soils and the water content on shear strgth of fine soils.

Aiuob ahmady

Shear strength in the fine grained soil, according to the water content which there is in its.in the geotechnic engineering , direct shear test or triaxial test doing an the saturated soils . because the strength parameters are very low.many time this process give to us overdesign factors, for designation of stractures. In this exploration stroving that : examining of various factors : for example water content , degree of saturation , specific gravity. On the unlimited and limited ( $\sigma_3 = 0$ ) strength and modulus elasticity on the fine grained soils, by an uniaxial apparatus.by these tests we can examining the engineering characteristics of fine grained soils in the partially saturated condition.comparing between results of tests and results of saturated conditions will show to us that. Do we can using the results of partially saturated condition? In we country exists the condition for this kinds of exploration.according to the ecological conditions in iran:the greatest part of we country consist on,the partially saturated and dry soils and the water content in the soils is very low.

**Key words:** unsaturated soil mechanics, soil shear strength , water content , unconfined compression strength, modulus of elasticity

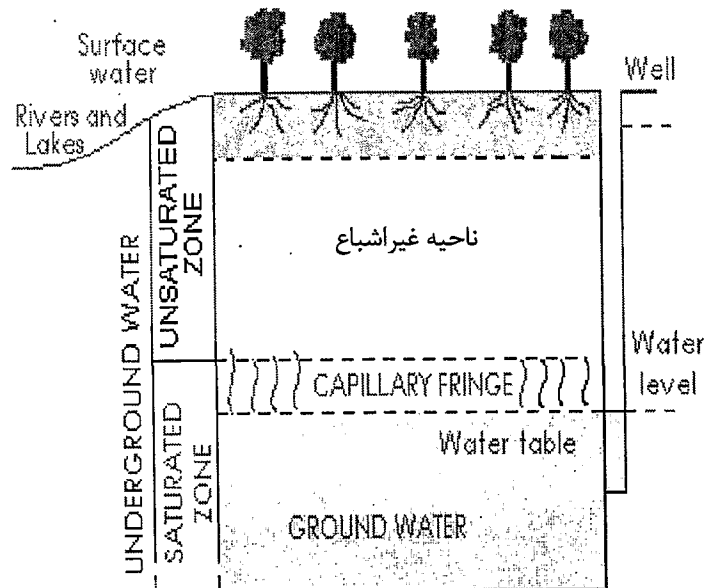
پیش گفتار

مکانیک خاک علمی است مشتمل بر ترکیبی از مکانیک مهندسی و خواص و مشخصه های فیزیکی خاک. این تعریف حالت کلی و عمومی داشته و در مورد محدوده وسیعی از خاکها صدق می کند. طبق تعریف ارائه شده خاکهای مورد نظر در علم مکانیک خاک می تواند اشباع از رطوبت باشد و یا اینکه علاوه بر آب، سیال دیگری نظیر هوا در حفرات آنها موجود باشد. با وجود این، پیشرفت و توسعه مکانیک خاک کلاسیک به گونه ای بوده که در آن بر روی خاکهای ماسه ای، سیلت و رس اشباع و یا شن و ماسه خشک تاکید بیشتر شده و در همین راستا مطالب ارائه شده در کتابهای مکانیک خاک بیشتر در این محدوده می باشد [۱].

شاید بتوان یکی از دلایل این امر را بدین گونه تشریح کرد که در گذشته قسمت عمده گسترش تمدن و توسعه مناطق شهری و صنعتی در نواحی با آب و هوای معتدل زمین انجام گرفته که در این مناطق در بیشتر موارد انواع خاکها حالت اشباع داشته است و بدین ترتیب علم مکانیک خاک بیشتر به این نوع خاکها پرداخته و پیشرفت داشته است [۱].

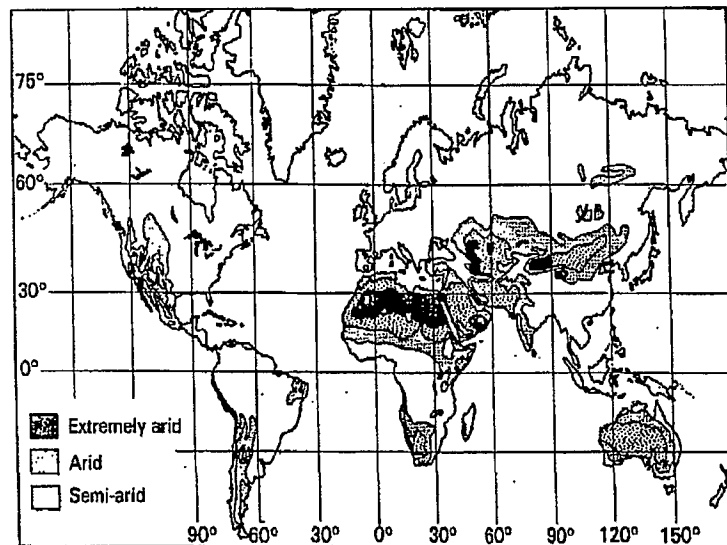
آب و هوا نقش مهمی را در وضعیت رطوبت خاک ایفاء می کند. بدین ترتیب که در طی فرایند بارندگی، قسمتی از آب وارد خاک می شود. از طرف دیگر آب نفوذی به خاک به سه صورت جریان در خود آن در اثر شرایط توپوگرافی محل، تبخیر مستقیم از سطح زمین و یا از طریق تبخیر و تعرق گیاهان خارج می شود. اختلاف بین مقدار آب ورودی و خروجی از خاک طی فرایندهای مورد اشاره به صورت آب حفره ای خاک ظاهر می شود [۱].

در نواحی خشک و نیمه خشک زمین به علت کمی بارش و تبخیر مداوم آب از سطح زمین و تعرق گیاهان معمولاً سطح آب زیرزمینی نسبت به سطح زمین پائین تر است و لذا لایه های فوقانی زمین حالت نیمه اشباع داشته و فشار آب حفره ای در آن لایه ها منفی است. در این مناطق تغییرات ناگهانی و سریع شرایط جوی و بارش باران های شدید باعث تغییر در میزان رطوبت خاک لایه های نزدیک سطح زمین و در نتیجه تغییر فشار آب حفره ای می شود. بدین ترتیب حجم و مقاومت برشی خاک تغییر می یابد. گروهی از خاکها متورم شده و پاره ای دیگر مقاومت برشی خود را ازدست می دهند. در نقاط بسیاری از زمین بارش های شدید باعث ایجاد نوسان در فشار آب حفره ای و بروز لغزه های بسیار حجیم در شیروانی های نیمه اشباع و طبیعی شده است [۲].



شکل (۱) وضعیت خاک در مواجهه با آب

در سال ۱۹۵۳ میلادی میگز<sup>۱</sup> نواحی کم بارش زمین را مطابق شکل (۲) به سه گروه کاملاً خشک، خشک و نیمه خشک تقسیم کرده است. چنانچه در شکل مذکور مشخص است، حدود ۳۳ درصد سطح خشکیهای زمین در این سه محدوده قرار می گیرند. با توجه به توضیحات ارائه شده و با در نظر گرفتن وسعت قابل توجه آن، لزوم توسعه مکانیک خاک غیر اشباع و کاربرد هر چه بیشتر آن مشخص می شود [۲].



شکل (۲) - نواحی بسیار خشک، خشک و نیمه خشک کره زمین [۲].

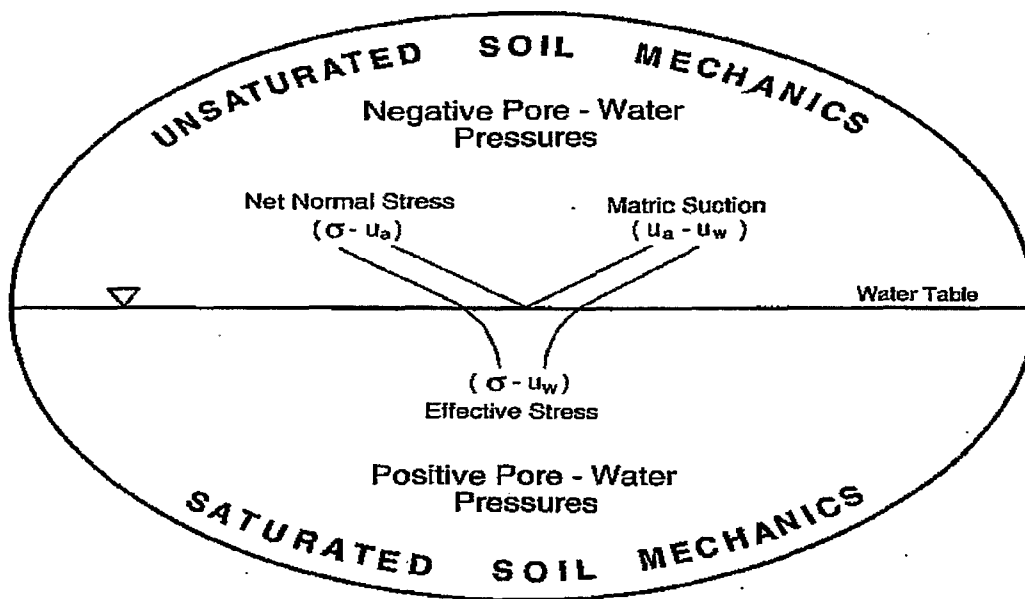
خاکهای غیر اشباع رسی مناطق مختلفی را در کشور شامل می شود. در اکثر موارد در تحلیل خاکها از شرایط اشباع کامل استفاده می کنیم. که این امر باعث افزایش ضریب اطمینان و همچنین افزایش هزینه پروژه ها می شود. در این تحقیق سعی شده با ایجاد

<sup>۱</sup> -Meigs(1953)



نمونه های غیر اشباع و دررطوبت های مختلف به ارزیابی پارامترهای مشخصه خاک پرداخته شود. تعیین و ارزیابی مقاومت تک محوری  $q_u$  خاک ها جهت استفاده درشاخه راهسازی، سدسازی و ساختمان های مرتفع ازجمله اهداف این تحقیق است. همچنین بعلت اینکه درشرایط طبیعی خاکهای سطحی دروضعیت غیراشباع هستند، ارزیابی پارامترهای مقاومتی چنین خاک هایی ارزشمند خواهد بود.

درخاکهای غیراشباع بعلت وجود آب و هوابین ذرات، آب تحت نیروی کشش موئینگی (کاپیلار) می باشد [۲].



شکل (۳)- تصویر کلی از علم مکانیک خاک [۲].

وفشارمنفذی اولیه درآب منفی است. اگرچنین خاکی تحت آزمایش تک محوری فشاری قرارگیرد. فشارآب و هوافزایش می یابد. واین افزایش فشاربه درجه اشباع ( $S_r$ ) بستگی دارد. یعنی باافزایش  $S_r$  میزان فشارآب منفذی و هوا افزایش می یابد. بعلت اشکالات درارزیابی فشارهای آب و هوادر حال حاضر تعیین جداگانه آنها در آزمایشهای فوق نسبتاً سخت است. و باید ارزیابی های دقیق تر براساس دستگاه تست سه محوری انجام گیرد. از طرف دیگر خاک غیراشباع تحت آزمایش درطی آزمایش ممکن است. دارای تغییرات در  $S_r$  باشد. بدلیل اینکه اعمال فشار بر نمونه باعث فشردگی هوای حفره ها و ازدیاد قابلیت حل شدن هوا درآب می شود. در نتیجه این عمل درجه اشباع تمایل به رشد و افزایش دارد. و برای نمونه های با  $S_r$  بالا این امکان وجود دارد که تحت فشارهای نسبتاً کم درجه اشباع به ۱۰۰٪ برسد. که بعد از آن شرایط  $\phi = 0$  یعنی اشباع کامل وجود خواهد داشت [۴ و ۳].

در چهاردهم اخیر تئوری های مختلفی جهت تعریف پارامترهای مقاومتی خاک های غیراشباع ارائه شده است. که این تئوری ها و روابط ترکیبی از تجربیات فراوان آزمایشگاهی و تئوری های علمی و فیزیکی است. که در بخشهای بعدی به قسمت هایی از آنها اشاره می کنیم.

## فصل ۱

### خاکهای غیراشباع

## ۱-۱-اهداف مطالعات

یک مهندس ژئوتکنیک در زمینه خاکهای غیراشباع بطور کلی با سه گروه از مسایل روبرو است.

۱. جریان آب در محیط متخلخل

۲. مقاومت برشی خاک

۳. تغییر حجم خاک و مکانیزم آن

بر همین اساس پارامترهای مهندسی خاک ( به غیر از پارامترهای شناسایی ) به سه دسته تقسیم می شود.

۱. ضرایب نفوذپذیری و پارامترهای هیدرولیکی

۲. پارامترهای مقاومت برشی

۳. ضرایب تغییر حجم و تحکیم

که برای پاسخ گویی به مسایل مطرح شده حداقل یک دسته از پارامترهای مورد اشاره بکار می رود و برای استفاده از هر یک از این پارامترها در طراحی و آنالیزها اول باید بصورت تئوریک با آن پارامتر آشنا بود، دوم نحوه اندازه گیری آن پارامترها و سوم چگونگی استفاده و کاربرد پارامتر در مدل سازی و نحوه مدل سازی را دانست.

باتوجه به عنوان پایان نامه که ارزیابی و تخمین مقاومت فشاری محدود نشده و همچنین مدول الاستیسیته خاکهای غیراشباع می باشد روش آزمایشگاهی بکاررفته شامل آزمایش فشاری محدود نشده (آزمایش سه محوری با فشار جانبی  $\sigma_3 = 0$ ) و همچنین تهیه نمونه های باتراکم استاندارد از آزمایش پراکتوراست همچنین جهت تعیین میزان مقاومت تک محوری خاک مورد مطالعه ، نمونه ها در دو قطر ۳۸ و ۴۸ میلی متر استفاده شد و رطوبت های مورد آزمایش شامل ۱۰٪ ، ۱۵٪ ، ۲۰٪ ، ۲۵٪ و ۳۰٪ انتخاب گردید بطوریکه در رطوبت ۳۰٪ نمونه ها به درجه اشباع ۱۰۰٪ نزدیک می شدند در ضمن جهت تعیین اثر تغییرات حدود اتربرگ بر مقاومت تک محوری آزمایشها در دو حالت ۱- کاتولین خالص و ۲- کاتولین همراه با ۱۰٪ بنتونیت استفاده شد.

از عمده معضلات مطرح در چنین پروژه هایی عدم آشنایی کامل با میزان درصد اثر پارامترهای موثر بر مقاومت خاک می باشد یعنی پارامترهایی از قبیل اندازه ذرات ، رطوبت موجود ، تراکم ، حدود اتربرگ و ابعاد نمونه های مورد آزمایش هر کدام چه مقدار در نتایج تاثیر گذار هستند آیا ابعاد مورد آزمایش کفایت می کند یا نه؟

هدف از انجام آزمایش هایی مانند برش مستقیم و آزمایش سه محوری و بخصوص آزمایش تک محوری عبارت از مطالعه و تعیین مقدار عددی پارامترهای موثر بر مقاومت برشی خاک می باشد و اگر خاک غیراشباع باشد موضوعاتی از قبیل مکش نیز مطرح می شود که بر مقاومت برشی خاکها تاثیر گذار است..

مفهوم مقاومت برشی توده خاک، که مقاومت داخلی واحد سطح خاک است که می تواند برای مقابله با گسیختگی یا لغزش در امتداد هر صفحه داخلی، بروز دهد. برای تحلیل مسائل پایداری خاک نظیر ظرفیت فشاری، پایداری شیروانی ها و فشار جانبی بر

روی سازه های حایل خاک، لازم است طبیعت مقاومت برشی بخوبی شناخته شود. مور (۱۹۰۰) نظریه ای برای گسیختگی مصالح ارائه داد که در آن گسیختگی نه به علت تنش قائم حداکثر و نه تنش برشی حداکثر، بلکه به علت ترکیبی بحرانی از آنها پیش بینی می شود. طبق این نظریه رابطه مقاومت برشی و تنش قائم در صفحه گسیختگی بصورت زیر نوشته می شود.

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (1-1)$$

برای اغلب مسائل مکانیک خاک، بادقت کافی می توان مقاومت برشی درروی صفحه گسیختگی را یک تابع خطی از تنش قائم در نظر گرفت (کولمب ۱۷۷۶). این رابطه بصورت زیر بیان می شود [۵]:

$$\tau_f = C + \sigma \tan \varphi \quad (2-1)$$

در این تابع :

$C$  = چسبندگی

$\varphi$  = زاویه اصطکاک داخلی

$\tau_f$  = مقاومت برشی

$\sigma$  = تنش قائم

باتوجه به رابطه فوق برای تعیین مقاومت برشی واقعی خاک لازم است که از تنش موثر قائم خاک یعنی  $\sigma' = \sigma - u_w$  در معادله (۲-۱) استفاده شود، از همین جا مسئله تاثیر آب بر مقاومت برشی خاک ها ظاهر می شود این موضوع بقدری اهمیت دارد که اغلب آزمایش های مکانیک خاک در شرایط اشباع صورت می گیرد، تا مقاومت خاک در بحرانی ترین وضعیت بدست آید از یک دیدگاه شرایط اشباع برای آزمایش ها مناسب است یعنی اگر خاک در طول زمان حتی یک بار و یا در یک بازه زمانی کم بصورت اشباع در آید حداقل مقاومت برشی خود را بروز خواهد داد و این مسئله ممکن است باعث از بین رفتن پایداری خاک شده و بتبع آن سازه های وابسته به آن نیز تخریب شوند لذا در این روش طراحی ها و محاسبات باربری خاک بر اساس شرایط اشباع انجام می گیرد.

روش دوم که در این پایان نامه مدنظر قرار گرفته عبارت است از ایجاد نمونه های غیر اشباع و سپس انجام آزمایش می باشد اگرچه این روش بدلیل هزینه های اضافی آزمایشگاهی چندان مورد اتفاق عموم نیست اما چون پارامترهای دیگری از قبیل مکش ماتریک و فشار هوای حفره ای در معادلات ظاهری شود قابل تامل است سوال اصلی این است که آیا این روش یعنی بررسی خواص خاک در حالت غیر اشباع مورد نیاز است یا نه.

برای پاسخگویی به این سوال لازمست که بدانیم که حدود ۳۳ درصد خشکیهای کره زمین در اقلیم هایی قرار دارند که بسیار کم باران است و خاک بصورت خشک و یا نیمه خشک است و احتمال اشباع شدن خاک صفر است و خاک همواره تحت تاثیر شرایط آب وهوایی خشک و گرم است [۲] و بررسی خواص خاک در شرایط اشباع برای چنین خاکی معقول نخواهد بود و همچنین