

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



معاونت پژوهش و فن آوری

به نام خدا

مشور اخلاق پژوهش

بایاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و بهواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظریه اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری، مادنشجویان و اعضا هیأت علمی واحدامی دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

- ۱- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت.
- ۲- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.
- ۳- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش.
- ۴- اصل منفعت ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.
- ۵- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.
- ۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهاد های مرتبط با تحقیق.
- ۷- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت مادر انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی.
- ۸- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.
- ۹- اصل برانیت: التزام به برانیت جویی از هرگونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شانه های غیر علمی می آلائند.



تعه‌دنامه اصالت رساله یا پایان‌نامه تحصیلی

اینجانب احسان فیض‌منش دانش‌آموخته مقطع کارشناسی‌ارشد ناپیوسته/دکتری تخصصی در رشته عمران که در تاریخ ۱۴۰۱/۷/۱۶ از پایان‌نامه/رساله خود تحت عنوان "بررسی تجربی اثر تراکم نسبی بر منحنی مشخصه آب-خاک (SWCC)" با کسب نمره ۱۸/۹۹ و درجه خیلی خوب دفاع نموده‌ام بدینوسیله متعهد می‌شوم:

۱) این پایان‌نامه / رساله حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان‌نامه، کتاب، مقاله و ...) استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آنرا در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده‌ام.

۲) این پایان‌نامه / رساله قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم‌سطح، پایین‌تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و مؤسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره‌برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه یا رساله داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را می‌پذیرم و دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی: احسان فیض‌منش

تاریخ و امضاء: ۱۴۰۱/۸/۳۰



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد علوم تحقیقات

دانشکده عمران، معماری و هنر، گروه سازه، زلزله و ژئوتکنیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران (M.Sc)

گرایش: ژئوتکنیک

عنوان:

بررسی تجربی اثر تراکم نسبی بر منحنی مشخصه آب-خاک (SWCC)

استاد راهنما:

دکتر حسن قاسم‌زاده

استاد مشاور:

دکتر نوید گنجیان

نگارش:

احسان فیض‌منش

پاییز ۱۴۰۱

شکر و قدردانی

سپاس و ستایش مرخداى را جل و جلاله كه آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حكمت او در دل شب تار، در قشبان.

اكنون كه به يارى خداوند اين دوره را به پايان رسانيده ام بر خود واجب مى دانم از استاد راهنماى بزرگوارم جناب آقاى دكتر حسن قاسم زاده كه در طول انجام تحقيق از محضرشان بهره بردم سپاسگزارى نمايم.

مچنين از استاد مشاور گرامى جناب آقاى دكتر نويد كنجيان ، به پاس زحمات بي شائبه شان در طى انجام اين رساله سپاسگزارم.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم:

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه اثار و از خودگذشتگی و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش
نمی کند

«بسان رود که در تیشب ده سر به سنگ میزند رونده باش،

امید هیچ معجزی ز مرده نیست، زنده باش»

فهرست مطالب

شماره صفحه

عنوان

چکیده ۱

فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه ۳

۲-۱ بیان مسأله ۴

۳-۱ اهمیت و ضرورت تحقیق ۴

۴-۱ اهداف تحقیق ۵

۵-۱ فرضیه‌های تحقیق ۵

۶-۱ مرور کلی فصول ۶

فصل دوم: مروری بر ادبیات تحقیق و پیشینه تحقیق

۱-۲ مقدمه ۹

۲-۲ تحلیل رفتار مکانیکی خاک غیراشباع ۹

۳-۲ مقاومت برشی خاک غیراشباع ۱۴

۱-۳-۲ گان و همکاران ۱۸

۲-۳-۲ میرزایی و همکاران ۲۰

۳-۳-۲ باقریه و همکاران ۲۱

۴-۳-۲ قاسم‌زاده و اکبری (۲۰۱۹) ۲۳

۵-۳-۲ قاسم‌زاده و اکبری (۲۰۲۰) ۲۴

۴-۲ مکش و پتانسیل آب درون خاک ۲۵

۱-۴-۲ پتانسیل آب حفره‌ای ۲۵

۲-۴-۲ مکش کل خاک ۲۵

۱-۲-۴-۲ منصورزاده و همکاران ۳۱

۵-۲ منحنی مشخصه آب-خاک (SWCC) ۳۲

۱-۵-۲ تعریف منحنی مشخصه آب-خاک ۳۲

۱-۱-۵-۲ سندرالی باربور ۳۶

۳۶	۲-۵-۲ پدیده پسماند در منحنی مشخصه آب-خاک
۳۸	۳-۵-۲ رژیم‌های مکش و منحنی مشخصه آب-خاک
۴۰	۴-۵-۲ عوامل مؤثر بر منحنی مشخصه آب-خاک
۴۱	۲-۴-۵-۱ نوع خاک
۴۱	۲-۴-۵-۲ محتوا ریزدانه و خاصیت شکل‌پذیری (PI)
۴۲	۳-۴-۵-۲ منحنی دانه‌بندی
۴۲	۴-۴-۵-۲ نسبت تخلخل
۴۶	۵-۴-۵-۲ تراکم خاک
۴۶	۶-۴-۵-۲ دانسیته خشک
۴۷	۷-۴-۵-۲ فرایندهای جریان حرارتی
۴۷	۸-۴-۵-۲ گالاژ و همکاران
۴۹	۹-۴-۵-۲ الکادی و همکارانش
۵۰	۱۰-۴-۵-۲ وان-هان ژو و همکاران
۵۱	۱۱-۴-۵-۲ بایرام و همکاران
۵۳	۱۲-۴-۵-۲ جیانگ و همکاران
۵۴	۱۳-۴-۵-۲ رن-پنگ چن و همکاران
۵۵	۱۴-۴-۵-۲ قاسم‌زاده
۵۶	۵-۵-۲ روش‌های تعیین منحنی مشخصه آب خاک
۵۶	۱-۵-۵-۲ روش‌های تجربی تعیین منحنی مشخصه آب خاک
۶۱	۲-۵-۵-۱-۱ انگ چون لئونگ و همکاران
۶۱	۲-۵-۵-۱-۲ اورلاندو ام‌اولیویرا و همکاران
۶۱	۲-۵-۵-۱-۳ ریفات بولوت و همکاران
۶۱	۲-۵-۵-۱-۴ رندی رین واتر و همکاران
۶۲	۲-۵-۵-۱-۵ مین وانگ و همکاران
۶۳	۲-۵-۵-۲ روش‌های مدلسازی، تعیین منحنی مشخصه آب خاک
۶۵	۲-۵-۵-۲-۱ گنجیان و همکاران

۶-۲ خلاصه و جمع‌بندی.....	۶۷
---------------------------	----

فصل سوم: روش اجرای تحقیق

۱-۳ مقدمه.....	۷۰
۲-۳ مشخصات خاک مورد مطالعه.....	۷۱
۳-۳ آزمایش‌های پایه، شناسایی نوع خاک.....	۷۳
۱-۳-۳ تراکم نسبی خشک.....	۷۵
۱-۱-۳-۳ تجهیزات انجام آزمایش.....	۷۵
۲-۱-۳-۳ روش انجام آزمایش.....	۷۶
۴-۳ برنامه آزمایش‌ها و نحوه نمونه سازی خاک غیراشباع در درجات اشباع مختلف.....	۷۷
۵-۳ آزمایش‌های اصلی، بررسی مشخصات رفتاری خاک.....	۷۹
۱-۵-۳ کاغذ فیلتر.....	۷۹
۱-۱-۵-۳ معرفی آزمایش کاغذ فیلتر به روش تماسی.....	۷۹
۲-۱-۵-۳ نحوه ساخت نمونه‌های آزمایش کاغذ فیلتر به روش تماسی.....	۸۰
۳-۱-۵-۳ روند انجام آزمایش کاغذ فیلتر به روش تماسی.....	۸۱
۲-۵-۳ برش مستقیم.....	۸۳
۱-۲-۵-۳ معرفی دستگاه برش مستقیم.....	۸۳
۲-۲-۵-۳ نحوه ساخت نمونه‌های دستگاه برش مستقیم.....	۸۴
۳-۲-۵-۳ روند انجام آزمایش‌های برش مستقیم.....	۸۵
۶-۳ خلاصه و جمع‌بندی.....	۸۷

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل داده‌ها

۱-۴ مقدمه.....	۸۹
۲-۴ نتایج آزمایش تراکم نسبی خشک، مقاومت نمونه خاک‌ها.....	۸۹
۳-۴ نتایج آزمایش کاغذ فیلتر تماسی، منحنی مشخصه آب-خاک.....	۹۰
۴-۴ نتایج آزمایش برش مستقیم، نمودار پوش گسیختگی موهر-کولمب.....	۹۷
۵-۴ جمع‌بندی نتایج بدست آمده از آزمایش کاغذ فیلتر تماسی.....	۱۲۷
۶-۴ جمع‌بندی نتایج بدست آمده از آزمایش برش مستقیم.....	۱۲۹

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۶	مقدمه	۱۳۴
۲-۶	نتیجه گیری	۱۳۴
۳-۶	پیشنهادات	۱۳۷
	منابع و مآخذ:	۱۳۸
	فهرست منابع فارسی	۱۳۸
	فهرست منابع انگلیسی	۱۳۸
	ضمائم و پیوست	۱۵۳
	چکیده انگلیسی	۱۵۴

فهرست جدول‌ها

عنوان	شماره صفحه
جدول (۱-۲): پارامترهای مقاومت برشی اندازه‌گیری شده در طیف گسترده خاک‌ها (Lu و Likos، ۲۰۰۴) ۱۷	
جدول (۲-۲): مزایا و معایب استفاده از سه متغیر در منحنی مشخصه آب-خاک (Fredlund، ۲۰۰۶) ۳۲.....	
جدول (۳-۲): تفاوت روش‌های تجربی برای اندازه‌گیری مکش در منحنی مشخصه آب-خاک (Lu و Likos، ۲۰۰۴) ۵۷.....	
جدول (۱-۳): مشخصات خاک مورد استفاده ۷۲.....	
جدول (۲-۳): مشخصات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده ۷۳.....	
جدول (۳-۳): مشخصات خاک رس کائولینیت مورد استفاده ۷۴.....	
جدول (۴-۳): توصیف کیفی خاک بر حسب تراکم نسبی خشک ۷۵.....	
جدول (۵-۳): مشخصات تراکم خاک‌های مورد استفاده ۷۶.....	
جدول (۶-۳): مقادیر درجه اشباع‌های در نظر گرفته شده متناسب با هر آزمایش‌ها ۷۸.....	
جدول (۱-۴): مشخصات تراکم نمونه خاک‌های مورد استفاده در دو تراکم نسبی خشک مختلف ۹۰.....	
جدول (۲-۴): تأثیر افزایش محتوای ریزدانه، بر بازه مکش و مکش ورودی هوا ۹۶.....	
جدول (۳-۴): تنش‌های نرمال اعمال شده به نمونه خاک‌ها ۹۷.....	
جدول (۴-۴): اثر افزایش مکش ماتریسی بر مقاومت برشی، خاک ماسه‌ای خالص (Soil I) در تراکم نسبی ۹۰٪ ۱۰۷.....	
جدول (۵-۴): اثر افزایش مکش ماتریسی بر مقاومت برشی، خاک ماسه‌ای ترکیبی (Soil II) در تراکم نسبی ۹۰٪ ۱۰۸.....	
جدول (۶-۴): اثر افزایش مکش ماتریسی بر مقاومت برشی، خاک ماسه رس‌دار نوع یک (Soil III)، در تراکم نسبی ۹۰٪ ۱۰۹.....	
جدول (۷-۴): اثر افزایش مکش ماتریسی بر مقاومت برشی، خاک ماسه رس‌دار نوع دو (Soil IV)، در تراکم نسبی ۹۰٪ ۱۱۰.....	
جدول (۸-۴): تأثیر مکش ماتریسی بر روی پارامترهای مقاومتی خاک‌ها، در این پژوهش در مقایسه با پژوهش باقریه ۱۳۲.....	

فهرست نمودارها

شماره صفحه

عنوان

- شکل (۲-۲): تخمین پارامتر تنش مؤثر (χ) بر حسب درجه اشباع (Lu و Likos، ۲۰۰۴) ۱۲
- شکل (۳-۲): تغییرات پارامتر تنش مؤثر و درجه اشباع در برابر مکش ماتریسی در دوره خشک‌شدگی و ترشدگی (Khalili و Zargarbashi، ۲۰۱۰) ۱۳
- شکل (۴-۲): پارامتر تنش مؤثر (χ)، بر حسب (الف) مکش ماتریسی، (ب) نسبت مکش ماتریسی (Lu و Likos، ۲۰۰۴) ۱۴
- شکل (۵-۲): پوش گسیختگی بر اساس معیار موهر-کولمب برای خاک اشباع؛ دایره A در وضعیت تنش پایدار؛ دایره B در وضعیت تنش گسیختگی (Lu و Likos، ۲۰۰۴) ۱۵
- شکل (۶-۲): پوش گسیختگی بر اساس معیار موهر-کولمب اصلاح شده برای خاک غیراشباع در وضعیت تنش در لحظه گسیختگی برای آزمایش سه محوری سیلت (Lu و Likos، ۲۰۰۴) ۱۶
- شکل (۷-۲): نتایج آزمایش برش مستقیم از ارتباط غیرخطی مقاومت برشی و مکش ماتریسی؛ (الف) نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی خاک منجمد غیراشباع (Gan و همکاران، ۱۹۸۸؛ (ب) نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی دو نوع خاک رسی غیراشباع (Escario، ۱۹۸۹) ۱۷
- شکل (۸-۲): نتایج آزمایش برش مستقیم چند مرحله‌ای بر روی نمونه خاک منجمد غیراشباع (Gan و همکاران، ۱۹۸۸) ۱۹
- شکل (۹-۲): معیار گسیختگی موهر-کولمب برای آزمایش برش مستقیم چند مرحله‌ای بر روی نمونه خاک منجمد (Gan و همکاران، ۱۹۸۸) ۱۹
- شکل (۱۰-۲): پوش گسیختگی بدست آمده از نمونه خاک منجمد غیراشباع (Gan و همکاران، ۱۹۸۸) ۲۰
- شکل (۱۱-۲): افزایش تغییرات نمودار (q- ϵ) با افزایش مکش اولیه، در گروه اول با تراکم نسبی ۸۴/۴۲؛ (الف) مکش اولیه ۱۰۰ کیلوپاسکال؛ (ب) مکش اولیه ۱۵۰ کیلوپاسکال (میرزایی، ۱۳۸۹) ۲۱
- شکل (۱۲-۲): افزایش تغییرات نمودار (q- ϵ) با افزایش مکش اولیه، در گروه دوم با تراکم نسبی ۸۷/۱۱؛ (الف) مکش اولیه ۳۰ کیلوپاسکال؛ (ب) مکش اولیه ۱۰۰ کیلوپاسکال (میرزایی، ۱۳۸۹) ۲۱
- شکل (۱۳-۲): منحنی تنش برشی بر حسب جابه جایی افقی در تنش قائم اعمالی مختلف؛ (الف) تنش قائم ۱۰۰؛ (ب) تنش قائم ۴۰۰ (Bagherieh و Farsijani، ۲۰۱۴) ۲۲
- شکل (۱۴-۲): تغییرات پارامترهای مقاومت برش بر حسب مکش اولیه خاک (الف) تنش قائم زاویه اصطکاک داخلی؛ (ب) چسبندگی (Bagherieh و Farsijani، ۲۰۱۴) ۲۳

- شکل (۲-۱۷): تأثیر نوع خاک بر پروفیل‌های مکش ماتریسی انواع خاک‌ها در شرایط جریان پایدار؛ الف) ماسه؛ ب) سیلت؛ ج) رس (Lu و Likos، ۲۰۰۴) ۳۰
- شکل (۲-۱۸): تغییرات ضریب اطمینان (F.S) بر حسب درجه اشباع در سطح لغزش A-A' خاکریز با مرز زهکشی (منصور زاده، ۱۳۸۷) ۳۱
- شکل (۲-۱۹): الگوی منحنی مشخصه آب-خاک (درجه اشباع بر حسب مکش ماتریسی) (Sai K Vanapalli و همکاران، ۱۹۹۹) ۳۳
- شکل (۲-۲۰): نمایش اصطلاحات موجود در منحنی مشخصه آب-خاک در دو شاخه خشک شدگی و ترشدگی (Fredlund و Xing، ۱۹۹۴) ۳۴
- شکل (۲-۲۱): نمایشی از پارامترهای موجود در منحنی مشخصه آب-خاک (Jiang و همکاران، ۲۰۱۷) ۳۵
- شکل (۲-۲۲): شکل شماتیک فرآیند پسماند در منحنی مشخصه آب-خاک (قاسم‌زاده، علیوردی و محمدی ۱۳۹۸، ۱:۹۷) ۳۷
- شکل (۲-۲۴): مدل مفهومی مک کوئین برای نشان دادن رفتار کلی منحنی مشخصه آب-خاک (Lu و Likos، ۲۰۰۴) ۳۹
- شکل (۲-۲۵): مقایسه منحنی مشخصه آب-خاک برای انواع خاک‌ها (Lu و Likos، ۲۰۰۴) ۴۰
- شکل (۲-۲۶): منحنی مشخصه آب-خاک بر حسب نوع خاک (Vanapalli و همکاران، ۱۹۹۹) ۴۱
- شکل (۲-۲۷): منحنی مشخصه آب-خاک برای خاک‌های دانه‌ای و ریزدانه (Zapata و همکاران، ۲۰۰۰) ۴۲
- شکل (۲-۲۹): رفتار منحنی مشخصه آب-خاک در دو ساختار حفرات درون دانه‌ای و حفرات بین دانه‌ای (Jiang و همکاران، ۲۰۱۷) ۴۵
- شکل (۲-۳۰): منحنی مشخصه آب-خاک در سه نسبت تخلخل مختلف (Chen و همکاران، ۲۰۱۹) ۴۵
- شکل (۲-۳۱): اثر دانسیته ظاهری خشک بر روی منحنی مشخصه آب-خاک (Yang و همکاران، ۲۰۰۴) ۴۶
- شکل (۲-۳۲): الف) تأثیر محتوای آب حجمی و مکش برای گرد سیلیس؛ ب) تأثیر هدایت حرارتی و مکش برای گرد سیلیس (قاسم‌زاده، علیوردی و محمدی ۱۳۹۸، ۱:۹۷) ۴۷
- شکل (۲-۳۳): منحنی توزیع اندازه دانه‌ها برای چهار خاک ماسه‌ای (Uchimura و Gallage، ۲۰۱۰) ۴۸
- شکل (۲-۳۴): تأثیر اندازه دانه پارامتر D10 بر متغیرهای منحنی مشخصه آب-خاک؛ الف) مکش؛ ب) پسماند (Uchimura و Gallage، ۲۰۱۰) ۴۹
- شکل (۲-۳۵): منحنی مشخصه آب-خاک، خاک ماسه رس‌دار در درصد ترکیبات مختلف رسی (Elkady و همکاران، ۲۰۱۳) ۵۰
- شکل (۲-۳۶): منحنی مشخصه آب-خاک در سه تخلخل اولیه (Wan-Huan Zhou و همکاران، ۲۰۱۴) ۵۱

شکل (۲-۳۷): منحنی مشخصه آب-خاک نمونه‌های دست نخورده سه نوع خاک مختلف (Bayram و Bahmani, ۲۰۱۵).....	۵۲
شکل (۲-۳۸): اثر تراکم (اصلاح شده) بر منحنی مشخصه آب-خاک نمونه‌های سه نوع خاک مختلف (Bayram و Bahmani, ۲۰۱۵).....	۵۲
شکل (۲-۳۹): (a) منحنی مشخصه آب-خاک؛ (b) منحنی مشخصه تنش-مکش؛ برای نمونه‌های فشرده شده لس تحت تراکم خشک مختلف (Jiang و همکاران, ۲۰۱۷).....	۵۴
شکل (۲-۴۰): (a) منحنی مشخصه آب-خاک؛ (b) منحنی مشخصه تنش-مکش؛ برای نمونه‌های فشرده شده لس تحت مقدار رطوبت اولیه مختلف (Jiang و همکاران, ۲۰۱۷).....	۵۴
شکل (۲-۴۵): منحنی مشخصه آب-خاک براساس مدل پیشنهادی، برای W.PI بین ۱-۴۰ (Ganjian و همکاران, ۲۰۰۷).....	۶۶
شکل (۳-۲): منحنی دانه‌بندی خاک‌های مورد استفاده.....	۷۳
شکل (۳-۳): منحنی دانه بندی خاک رس کائولینیت.....	۷۴
شکل (۳-۷): منحنی مشخصه آب-خاک برای خاک ماسه‌ای خالص ۱۶۱.....	۸۳
شکل (۳-۱۱): پوش گسیختگی موهر-کولمب برای خاک ماسه‌ای خالص (خیاطیان, ۱۳۹۸)؛ الف) نمونه خشک، ب) نمونه اشباع.....	۸۷
شکل (۴-۱): اثر تراکم نسبی بر منحنی مشخصه آب-خاک، خاک ماسه‌ای خالص (Soil I) D11.....	۹۱
شکل (۴-۲): اثر تراکم نسبی بر منحنی مشخصه آب-خاک، خاک ماسه‌ای ترکیبی (Soil II).....	۹۲
شکل (۴-۳): اثر تراکم نسبی بر منحنی مشخصه آب-خاک، خاک ماسه رس‌دار نوع یک (Soil III).....	۹۳
شکل (۴-۴): اثر تراکم نسبی بر منحنی مشخصه آب-خاک، خاک ماسه رس‌دار نوع دوم (Soil IV).....	۹۴
شکل (۴-۵): اثر درصد محتوای ریز دانه بر منحنی مشخصه آب-خاک تمامی خاک‌ها؛ الف) تراکم نسبی ۵۰٪؛ ب) تراکم نسبی ۹۰٪.....	۹۶
شکل (۴-۶): اثر مکش ماتریسی بر نمودار تنش برشی بر حسب تغییر مکان افقی خاک ماسه‌ای خالص D11 (Soil I)؛ در تراکم نسبی ۵۰٪؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰.....	۱۰۰
شکل (۴-۷): اثر مکش ماتریسی بر نمودار تنش برشی بر حسب تغییر مکان افقی خاک ماسه‌ای ترکیبی (Soil II)؛ در تراکم نسبی ۵۰٪؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰.....	۱۰۲

شکل (۴-۸): اثر مکش ماتریسی بر نمودار تنش برشی بر حسب تغییر مکان افقی خاک ماسه رس‌دار نوع یک (Soil III)؛ در تراکم نسبی ۵۰٪؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰..... ۱۰۴

شکل (۴-۹): اثر مکش ماتریسی بر نمودار تنش برشی بر حسب تغییر مکان افقی خاک ماسه رس‌دار نوع دوم (Soil IV) در تراکم نسبی ۵۰٪؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰..... ۱۰۶

شکل (۴-۱۰): اثر تراکم نسبی و بر نمودار پوش گسیختگی موهر-کولمب خاک ماسه‌ای خالص (Soil D11)؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰..... ۱۱۲

شکل (۴-۱۱): اثر تراکم نسبی بر نمودار پوش گسیختگی موهر-کولمب، خاک ماسه‌ای ترکیبی (Soil II)؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰..... ۱۱۴

شکل (۴-۱۲): اثر تراکم نسبی بر نمودار پوش گسیختگی موهر-کولمب، خاک ماسه رس‌دار نوع یک (Soil III)؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰..... ۱۱۶

شکل (۴-۱۳): اثر تراکم نسبی بر نمودار پوش گسیختگی موهر-کولمب، خاک ماسه رس‌دار نوع دوم (Soil IV)؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰..... ۱۱۸

شکل (۴-۱۴): اثر تراکم نسبی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌ای خالص (Soil I) D11، در تراکم نسبی ۵۰٪ و ۹۰٪؛ الف) نمودار زاویه اصطکاک داخلی خاک برحسب مقادیر مختلف درجه اشباع ب) نمودار چسبندگی خاک برحسب مقادیر مختلف درجه اشباع..... ۱۲۰

شکل (۴-۱۵): اثر تراکم نسبی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌ای ترکیبی (Soil II)، در تراکم نسبی ۵۰٪ و ۹۰٪؛ الف) نمودار زاویه اصطکاک داخلی خاک برحسب مقادیر مختلف درجه اشباع ب) نمودار چسبندگی خاک برحسب مقادیر مختلف درجه اشباع..... ۱۲۲

شکل (۴-۱۶): اثر تراکم نسبی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه رس‌دار نوع یک (Soil III)، در تراکم نسبی ۵۰٪ و ۹۰٪؛ الف) نمودار زاویه اصطکاک داخلی خاک برحسب مقادیر مختلف درجه اشباع ب) نمودار چسبندگی خاک برحسب مقادیر مختلف درجه اشباع..... ۱۲۴

شکل (۴-۱۷): اثر تراکم نسبی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه رس‌دار نوع دو (Soil IV)، در تراکم نسبی ۵۰٪ و ۹۰٪؛ الف) نمودار زاویه اصطکاک داخلی خاک برحسب مقادیر مختلف درجه اشباع ب) نمودار چسبندگی خاک برحسب مقادیر مختلف درجه اشباع.....	۱۲۶
شکل (۴-۱۸): تأثیر تراکم بر روی نسب تخلخل و منحنی مشخصه آب-خاک در این مطالعه در مقایسه با مطالعه رن-پنگ چن الف) نتایج بدست آمده در این مطالعه ، ب) نتایج بدست آمده در مطالعه رن-پنگ چن.....	۱۲۸
شکل (۴-۱۹): تأثیر محتوای ریزدانه بر منحنی مشخصه آب-خاک در این مطالعه در مقایسه با مطالعه واناپالی الف) نتایج بدست آمده در این مطالعه ، ب) نتایج بدست آمده در مطالعه واناپالی.....	۱۲۹
شکل (۴-۲۰): تأثیر افزایش مکش ماتریسی بر نمودار تنش برشی برحسب تغییر مکان افقی، در این مطالعه در مقایسه با مطالعه میرزایی؛ الف) نتایج بدست آمده در این مطالعه ، ب) نتایج بدست آمده در مطالعه میرزای.....	۱۳۱
شکل (پ-۱-۲): اثر مکش ماتریسی بر نمودار تنش برشی بر حسب تغییر مکان افقی خاک ماسه‌ای خالص D11 (Soil I)؛ در تراکم نسبی ۹۰٪؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰.....	۱۴۹
شکل (پ-۱-۳): اثر مکش ماتریسی بر نمودار تنش برشی بر حسب تغییر مکان افقی خاک ماسه‌ای ترکیبی (Soil II)؛ در تراکم نسبی ۹۰٪؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰.....	۱۵۰
شکل (پ-۱-۴): اثر مکش ماتریسی بر نمودار تنش برشی بر حسب تغییر مکان افقی خاک ماسه رس‌دار نوع یک (Soil III)؛ در تراکم نسبی ۹۰٪؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰.....	۱۵۱
شکل (پ-۱-۵): اثر مکش ماتریسی بر نمودار تنش برشی بر حسب تغییر مکان افقی خاک ماسه رس‌دار نوع دوم (Soil IV)؛ در تراکم نسبی ۹۰٪؛ الف) درجه اشباع ۱.۴، ب) درجه اشباع ۴.۹۵، ج) درجه اشباع ۱۰، د) درجه اشباع ۲۵، ه) درجه اشباع ۵۰، و) درجه اشباع ۷۵، ز) درجه اشباع ۱۰۰.....	۱۵۳

فهرست شکل‌ها

عنوان	شماره صفحه
شکل (۱-۱): فلوجارت روند انجام پژوهش.....	۷
شکل (۱-۲): متغیرهای حالت وضعیت تنش بر روی المان مکعبی خاک؛.....	۱۲
شکل (۱۵-۲): هندسه شماتیک انحنای فصل مشترک آب-هوا در خاک غیراشباع؛ الف) بین دو ذره کروی؛ ب) بین دو دانه ورقه‌ای (Lu و Likos, ۲۰۰۴).....	۲۶
شکل (۱۶-۲): مدل مفهومی پروفیل‌ها و رژیم‌های مکش در یک توده همگن خاک غیراشباع (Lu و Likos, ۲۰۰۴).....	۲۹
شکل (۲۳-۲): دو مکانسیم، رفتار پسماند در خاک‌های دشت دانه؛ الف) مکانسیم زاویه تماس در دو جبهه خشک و تر؛ ب) مکانسیم توزیع ناهمگن اندازه ذرات فرآیندهای خشک و ترشدگی (Lu و Likos, ۲۰۰۴).....	۳۸
شکل (۲۸-۲): ساختار تخلخل درون خاک‌ها (Jiang و همکاران, ۲۰۱۷).....	۴۴
شکل (۴۱-۲): الف) شکل شماتیک از کشش سنج آزمایشگاهی با نوک کوچک؛ ب) محل تماس نوک سرامیکی متخلخل و دانه‌های خاک غیراشباع (Lu و Likos, ۲۰۰۴).....	۵۸
شکل (۴۲-۲): شکل شماتیک از دستگاه صفحات فشار به همراه اجزاء آن (Lu و Likos, ۲۰۰۴).....	۵۹
شکل (۴۳-۲): شکل شماتیک از ساختار کلی آزمایش کاغذ فیلتر تماسی (Lu و Likos, ۲۰۰۴).....	۶۰
شکل (۴۴-۲): شکل و سائز مختلف نمونه‌ها؛ الف) نمونه حلقوی؛ ب) نمونه دایره‌ای (Wang و همکاران, ۲۰۱۵).....	۶۲
شکل (۴۶-۲): فلوجارت فصل دوم.....	۶۸
شکل (۱-۳): چهار نوع خاک مورد استفاده: الف) خاک ماسه‌ای خالص (Soil I) D11؛ ب) خاک ماسه‌ای ترکیبی (Soil II)؛.....	۷۲
ج) خاک ماسه رس‌دار نوع یک (Soil III)؛ د) خاک ماسه رس‌دار نوع دوم (Soil IV).....	۷۲
شکل (۴-۳): نمایی از نگهداری نمونه‌های ساخته شده خاک‌های غیراشباع.....	۷۷
شکل (۵-۳): نمایی از سه فیلتر آزمایش کاغذ فیلتر تماسی.....	۸۰
شکل (۶-۳): مراحل از ساخت نمونه‌های آزمایش کاغذ فیلتر تماسی؛ الف) نحوه قرارگیری سه کاغذ فیلتر در تماس با خاک غیراشباع؛ ب) متراکم کردن دو لایه خاک غیراشباع با فیلتر میانی بین لایه‌ها؛ ج) نمایی از نمونه‌های ساخته شده، در درجه اشباع‌های مختلف؛ د) نمایی از قرارگیری نمونه‌ها در جعبه یونولیت.....	۸۱

شکل (۳-۸): دستگاه برش مستقیم؛ الف) نمایی از جعبه برش و تجهیزات آزمایش برش مستقیم ب) نمایی از دستگاه برش مستقیم در حین آزمایش.....	۸۴
شکل (۳-۹): نمونه ساخته شده خاک غیراشباع، برای آزمایش برش مستقیم.....	۸۵
که در این روابط (P_h) نیروی برشی، (τ) تنش برشی، (ϕ) زاویه اصطکاک داخلی، می باشد.....	۸۶
شکل (۳-۱۰): نمای از گسیختگی دو نمونه خاک غیراشباع تحت آزمایش برش مستقیم الف) خاک ماسه رس دار نوع یک؛ ب) خاک ماسه ای خالص D11.....	۸۶
شکل (پ ۱-۱): خاک ماسه ای خالص ۱۶۱.....	۱۴۴

چکیده

در این تحقیق، به مطالعه و بررسی اثر تراکم نسبی بر منحنی مشخصه آب-خاک و همچنین بر پارامترهای مقاومت برشی، بصورت تجربی پرداخته شده است. آزمایش‌های تراکم نسبی، کاغذ فیلتر و برش مستقیم بر روی چهار نوع خاک مورد استفاده شامل، خاک‌های ماسه‌ای خالص و خاک ماسه ترکیبی و دو خاک ماسه رس‌دار با درصد محتوای ریزدانه (مقدار رس ۵٪ و ۱۰٪)، در درجه اشباع‌های مختلف صورت گرفته است. با بررسی منحنی مشخصه آب-خاک مربوط به آزمایش کاغذ فیلتر به روش تماسی مشاهده می‌شود که، افزایش تراکم نسبی از میزان ۵۰٪ به ۹۰٪، باعث کاهش نسبت تخلخل خاک‌ها می‌شود و منحنی مشخصه آب-خاک تغییر کرده، ولی در مکش‌های بالا منحنی مشخصه آب-خاک در دو تراکم نسبی مختلف تغییر معناداری با هم ندارند. همچنین در یک تراکم نسبی ثابت افزایش محتوای ریزدانه در خاک ماسه‌ای، باعث شده تا فواصل منحنی‌های مشخصه آب-خاک در دو تراکم نسبی مختلف از یکدیگر کمتر جابه‌جا گردد و همچنین مقدار مکش ورودی هوا، مکش ماندگار و ظرفیت نگهداشت آب حفره‌ای این نوع خاک‌ها در قیاس با خاک‌های ماسه‌ای خالص و ماسه ترکیبی افزایش یابد. از طرفی دیگر، نتایج بدست آمده از آزمایش برش مستقیم نشان می‌دهد که با افزایش تراکم نسبی از میزان ۵۰٪ و ۹۰٪، در محدوده مکش‌های زیاد تغییرات تراکم نسبی بیشترین تأثیر را بصورت روند افزایشی بر روی پارامتر زاویه اصطکاک داخلی خاک‌ها داشته و در محدوده مکش‌های کم، تغییرات تراکم نسبی تأثیر ناچیزی به صورت روند افزایشی بر روی پارامتر زاویه اصطکاک داخلی خاک دارد.

کلیدواژه: خاک غیراشباع، منحنی مشخصه آب-خاک (SWCC)، تراکم نسبی، درجه اشباع، مکش ماتریسی، درصد ریزدانه

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه

با توجه به آنکه بخش وسیعی از مساحت مناطق دنیا جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود و تراز سطح آب زیر زمینی در اعماق پایین زمین واقع شده است، بنابراین اغلب خاک‌ها در وضعیت عادی در حالت غیراشباع می‌باشند. دانستن ویژگی‌های مکانیکی خاک‌های غیراشباع امری ضروری می‌باشد، چرا که بر رفتار مهندسی آن خاک، در جهت رفتارشناسی یک توده خاک تأثیر گذار می‌باشد. علم جوان مکانیک خاک غیراشباع که دارای پیچیدگی فراوانی نسبت به مکانیک خاک کلاسیک می‌باشد، باعث شده در بسیاری از مسائل مهندسی ژئوتکنیک به دلیل عدم آگاهی و دقت طراحان در شناخت مسائل مرتبط با خاک‌های غیراشباع، طراحی‌های نامطمئن و یا غیراقتصادی در سازه‌های خاکی، خاکریزی سدهای خاکی و ظرفیت پایداری شیروانی‌های خاکی، صورت گیرد. وجود فشارهای منفی آب حفره‌ای در خاک‌های غیراشباع موجب مکش^۱ در این خاک‌ها شده است و از آنجایی که رفتار توده خاک‌های غیراشباع به میزان زیادی به مکش درون آن بستگی دارد، بدون شناخت تأثیرات مکش درک صحیحی از رفتار خاک‌های غیراشباع امکان‌پذیر نمی‌باشد. (قاسم‌زاده، علیوردی و محمدی ۱۳۹۸، ۴۵:۱).

بنابراین درک و فهم رفتار هیدرومکانیک خاک‌های غیراشباع نیازمند شناخت مکش و همچنین مشخصه‌های هیدرولیکی و مکانیکی فازهای تشکیل دهنده این خاک، شامل؛ دانه‌های خاک، آب و هوا می‌باشد. در این میان، منحنی مشخصه آب-خاک که بیانگر رابطه بین مقدار رطوبت (درصد حجمی یا وزنی) و میزان مکش خاک می‌باشد، یکی از مهم‌ترین مفاهیم کاربردی در مکانیک خاک غیراشباع است که پایه و اساس بسیاری از مدل‌سازی‌ها و تحلیل‌ها در خاک‌های غیراشباع است. بطوری که با در اختیار داشتن منحنی مشخصه آب-خاک، می‌توان برای مدل‌سازی رفتار مکانیکی خاک غیراشباع و تعیین پارامتر مکش بکار گرفت. علاوه بر این، منحنی مشخصه آب-خاک در تعیین خصوصیات مختلف خاک در شرایط غیراشباع، مانند نفوذپذیری، مقاومت برشی، توزیع اندازه حفرات، میزان رطوبت پسماند در خاک، هدایت هیدرولیکی و هدایت جریان‌های حرارتی در محیط خاک غیراشباع و غیره، نقش مهمی را ایفا می‌کند.

^۱ Suction

۲-۱ بیان مسأله

مدل‌سازی و مطالعه رفتار مکانیکی خاک‌های غیراشباع، تحت تأثیر عواملی مختلفی مستلزم داشتن دستگاه‌های آزمایشگاهی پیشرفته‌ای می‌باشد تا بتوان جنبه‌های مختلف رفتار اینگونه خاک‌ها را مطالعه نمود. اما به دلیل مشکلاتی از قبیل، وجود فرآیندهای سخت و پرهزینه انتقال، آماده‌سازی نمونه‌ها، نصب و نگهداری تجهیزات آزمایشگاهی، اندازه‌گیری پارامترها بخش کوچک از شرایط خاک در محل و از طرفی دیگر با توجه به اهمیت نقش و جایگاه منحنی مشخصه آب-خاک در علم مکانیک خاک غیراشباع، مطالعات لازم جهت بررسی اثر تراکمی نسبی بر روی منحنی مشخصه آب-خاک و پارامترهای مقاومت برشی خاک‌ها، صورت گرفته است و تنها برای خاک‌های صرفاً درشت دانه و صرفاً ریزدانه، تحت محدوده مشخص مکش، اثر عواملی چون ساختار خاک، نوع خاک، توزیع اندازه دانه‌بندی خاک بر منحنی مشخصه آب-خاک مورد بررسی قرار گرفته است.

در این تحقیق، به مطالعه آزمایشگاهی اثر تراکم نسبی بر منحنی مشخصه آب-خاک و مقاومت برشی، چهار نوع خاک ماسه‌ای با درصد محتوای ریزدانه مختلف، در درجه‌های اشباع و تراکم‌های نسبی مختلف پرداخته شده است. همچنین این مطالعه با استفاده از آزمایش کاغذ فیلتر^۱ و آزمایش برش مستقیم که در آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی ایران به طور متداول مورد استفاده قرار می‌گیرند، انجام شده است.

۳-۱ اهمیت و ضرورت تحقیق

بسیاری از مسائل مرسوم مهندسی ژئوتکنیک تا حدود زیادی در حوزه خاک‌های غیراشباع قرار می‌گیرد که می‌توان به، بررسی و نحوه ساخت مدفن‌های زباله در محدوده خاک غیراشباع، انتقال یا تراوش آلاینده‌ها در محیط غیراشباع، پایداری حفره‌ها در ناحیه خاک‌های غیراشباع، حرکت لایه‌های زمین در خاک‌های متورم شونده، پایداری شیروانی‌های خاکی تحت اثر شرایط بارش‌های سنگین، فرآیند متراکم سازی خاک‌ها جهت بهبود مشخصات مکانیکی و هیدرولیکی خاک‌ها به عنوان بخش جدایی ناپذیر در بسیاری از سازه‌های خاکی، اشاره کرد.

پارامتر مکش بافتی (ماتریسی^۲) متغیر مهمی در تعریف وضعیت تنش در خاک غیراشباع می‌باشد. بنابراین، کنترل و اندازه‌گیری مکش ماتریسی برای تحلیل رفتار مکانیکی خاک غیر اشباع (جریان سیال، مقاومت، تغییر حجم) الزامی است. از سوی دیگر، با اندازه‌گیری درصد رطوبت در حال تعادل درون خاک‌ها، می‌توان مکش متناظر با آن را به کمک منحنی مشخصه آب-خاک به دست آورد. تا کنون هیچ رابطه

¹ Contact filter paper

² Matric Suction

تحلیلی اثبات شده‌ای بین رطوبت و مکش خاک یافت نشده است، بنابراین با استفاده از منحنی مشخصه آب-خاک و همچنین ویژگی‌ها و روابط حاکم بر خاک‌های غیراشباع می‌توان یک پایه رضایت‌بخش برای برآورد بسیاری از خصوصیات مهم و تأثیرگذار خاک غیراشباع، با توجه به اهمیت آن در مهندسی ژئوتکنیک و ژئو-زیست محیطی فراهم کرد.

۱-۴ اهداف تحقیق

اهداف این پژوهش موارد ذیل هستند:

- ❖ بررسی اثر تراکم نسبی خاک‌ها بر روی منحنی مشخصه آب-خاک، در خاک‌های غیراشباع
- ❖ بررسی اثر تراکم نسبی، بر پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های غیراشباع

همچنین

- ❖ بررسی اثر درصد محتوای ریزدانه موجود در خاک ماسه‌ای رس‌دار (رس ۵٪ و ۱۰٪) بر روی منحنی مشخصه آب-خاک

۱-۵ فرضیه‌های تحقیق

❖ در منحنی مشخصه آب-خاک (SWCC) در شرایطی که، مقادیر درصد رطوبت پایین می‌باشد (متناظر با مقادیر بالای مکش)، مکانیسم‌های که بر رفتار نگهداشت آب حفره‌ای و مکش درون خاک حاکم است شامل؛ مکانیسم کوتاه مدت جذب سطحی (اندرکنش ذرات و آب حفره‌ای) می‌باشد که در خاک‌های ریزدانه خمیری اهمیت ویژه‌ای دارد. در مقادیر درصد رطوبت بالا (متناظر بر مقادیر پایین مکش)، مکانیسم‌های که بر رفتار نگهداشت آب حفره‌ای و مکش خاک درون حاکم است شامل؛ مکانیسم موئینگی^۱ می‌باشد.

❖ خاک‌های که دارای محتوای ریزدانه بیشتری می‌باشند، منحنی مشخصه آب-خاک (SWCC) آنها بالاتر از نمونه خاک‌های با محتوای ریزدانه کمتر می‌باشند.

❖ در خاک‌های ماسه‌ای در مقادیر بالای مکش، بخش جذب سطحی به خاطر سطح مخصوص و بار سطحی ناچیز ماسه‌ها، محدود است، از طرفی مکانیسم موئینگی حاکم بر مکش خاک‌های ماسه‌ای، در مقادیر مکش ورودی هوای پایین قطع می‌شود.

^۱ Capillary mechanisms

۱-۶ مرور کلی فصول

در این تحقیق به طور کلی شامل ۵ فصل می‌باشد:

در فصل اول، در مورد کلیات تحقیق، بیان مسأله اساسی تحقیق و اهمیت موضوع، اهداف تحقیق بحث شده است.

در فصل دوم، ابتدا در مورد مفاهیم کلی و مسائل خاک غیراشباع مرتبط با مقاومت برشی بحث شده است. سپس به بررسی و تعریف اصطلاحات منحنی مشخصه آب-خاک، عوامل مؤثر بر آن و همچنین روش‌های تخمین منحنی مشخصه آب-خاک، پرداخته شده است. از طرفی پیشینه تحقیق و خلاصه مقالات ارائه شده برخی از محققین در آخر هر موضوع جمع‌آوری شده است.

در فصل سوم، شرح کلی از مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق و آزمایش‌های پایه انجام شده روی نمونه خاک‌ها ارائه گردیده است. در ادامه این فصل، روند آزمایش‌ها و محاسبات لازمه برای آزمایش‌های تراکم نسبی، کاغذ فیلتر و برش مستقیم بطور کامل بیان شده است.

در فصل چهارم، نتایج آزمایش‌های تراکم نسبی، کاغذ فیلتر و برش مستقیم در سه بخش مجزا آورده شده است. تحلیل‌های انجام گرفته روی نتایج آزمایش‌ها به تفکیک، اثر تراکم‌های نسبی مختلف و درصد محتوای ریزدانه بر روی منحنی مشخصه آب-خاک، پارامترهای مقاومت برشی، توسط جداول و نمودارها ارائه شده است.

در فصل پنجم، خلاصه‌ای از مطالب ارائه شده و نتایج به دست آمده از انجام تحقیق بیان می‌گردد. سپس پیشنهادات در خصوص تکمیل این تحقیق و موضوعات مرتبط مطرح شده‌اند، و در انتها لیست منابع استفاده شده در پایان نامه، به ترتیب الفبای فارسی و لاتین آورده شده است.

در ادامه مطابق (شکل ۱-۳)، خلاصه‌ای از روند ارائه شده در این پژوهش، به صورت فلوچارت آورده شده است

