

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده پردیس بین الملل  
پایان نامه کارشناسی ارشد

# مقاومت برشی زهکشی نشده و پتانسیل تولید فشار آب حفره ای در خاک های مخلوط شن و ماسه

از  
رضا مرشد

اساتید راهنما:  
دکتر یاسر جعفریان  
دکتر علی قربانی

اسفند ماه ۱۳۹۱

دانشکده پردیس بین الملل  
گروه عمران - مکانیک خاک و پی

مقاومت برشی زهکشی نشده و پتانسیل تولید فشار آب حفره ای  
در خاک های مخلوط شن و ماسه

از  
رضا مرشد

اساتید راهنما:  
دکتر یاسر جعفریان  
دکتر علی قربانی

اسفند ماه ۱۳۹۱

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم که با صبر و پشتیبانی همیشگی خود در تمامی دوران‌های زندگی‌ام، امید موفقیت را در من زنده نگاه داشتند و دعای خیرشان برایم در سراسر زندگی زمینه‌ساز لطف الهی بوده است.

امیدوارم بتوانم گوشه‌ای از محبت‌هایشان را جبران کنم.

## تشکر و قدردانی:

از زحمات بی‌دریغ اساتید راهنمایم آقایان دکتر جعفریان و دکتر قربانی که بدون کمک ایشان انجام آزمایش‌های سه محوری میسر نبود نهایت تشکر و قدردانی را دارم. این بزرگواران دلسوزانه در تمام طول تحصیل با راهنمایی‌های خود نقش غیرقابل انکاری در هرچه پربارتر شدن پایان‌نامه داشته‌اند، سپاسگزاری می‌کنم. همچنین از مدیریت محترم شرکت مشاوره آرمون ژئوتکنیک آقای مهندس رضانجفزاده بابایی جهت در اختیار گذاشتن امکانات و تجهیزات این شرکت جهت پیش بردن اهداف این مطالعه تشکر و قدردانی می‌کنم.

عنوان: مقاومت برشی زهکشی نشده و پتانسیل تولید فشار آب حفره ای در خاک های مخلوط و شن و ماسه

نام دانشجو: رضا مرشد

### چکیده

مقاومت برشی زهکشی نشده خاک‌های دانه‌ای یکی از پارامترهای مهم در بررسی پایداری پی‌ها و دیوارهای حایل است. با توجه به وجود خاک‌های مخلوط شن و ماسه در سواحل دریای خزر شناخت پارامترهای مقاومتی این نوع مخلوط‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق مقاومت برشی زهکشی-نشده و پتانسیل فشار آب حفره‌ای خاک‌های مخلوط شن و ماسه با استفاده از یک سری آزمایشات سه محوری از نوع تحکیم یافته زهکشی نشده در حالت کرنش-کنترل برای این نوع مخلوط‌ها در شرایط مختلف (تغییر در تنش مؤثر همه جانبه، درصد شن و تراکم نسبی) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌های انجام شده برای بررسی تأثیر افزایش درصد شن به خاک‌های مستعد روانگرایی دیدگاه‌های جالب توجهی را ارائه می‌دهد. در این تحقیق مقاومت حالت پایدار مصالح مخلوطی شن و ماسه مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مخلوط‌های شن و ماسه برای درصد‌های بالای ۶۵ درصد شن به علت خردشدگی و سایش دانه‌های درشت، این مخلوط‌ها به حالت پایدار نخواهند رسید. همچنین برای درصد‌های بالای ۲۵ درصد شن، مستعد بودن این مخلوط‌ها برای احتمال وقوع روانگرایی خیلی کم است.

واژه‌های کلیدی: مقاومت برشی زهکشی نشده، پتانسیل فشار آب حفره‌ای، آزمایشات سه محوری استاتیکی، مخلوط شن و ماسه

## فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی سواحل بابلسر
۵	۱-۲-۱- زمین‌شناسی منطقه
۵	۲-۲-۱- لرزه‌خیزی گسل‌های منطقه
۵	۳-۱- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق
۶	۴-۱- روش پژوهش و مراحل انجام پایان‌نامه
۷	۵-۱- هدف از تحقیق
۷	۶-۱- معرفی فصول
۸	فصل ۲: مروری بر منابع
۹	۱-۲- مقدمه
۱۰	۲-۲- پدیده روانگرایی
۱۲	۳-۲- پارامترهای مهم تأثیرگذار در ایجاد روانگرایی
۱۲	۱-۳-۲- نوع خاک
۱۴	۲-۳-۲- دانسیته
۱۴	۳-۳-۲- درجه اشباع
۱۴	۴-۳-۲- سابقه تنش و کرنش‌های قبلی
۱۵	۵-۳-۲- عمر رسوبات و پدیده سیمانتاسیون
۱۵	۶-۳-۲- شکل ذرات
۱۵	۷-۳-۲- بارگذاری
۱۵	۴-۲- رفتار و خصوصیات ماسه‌ها تحت بارگذاری
۱۷	۱-۴-۲- رفتار تنش-کرنش نوع I (خاک منقبض‌شونده)
۱۷	۲-۴-۲- رفتار تنش-کرنش نوع II (خاک منبسط‌شونده)
۱۸	۵-۲- مفهوم حالت پایدار
۱۸	۱-۵-۲- تعیین پتانسیل روانگرایی با استفاده از مفهوم حالت پایدار
۱۹	۲-۵-۲- مفهوم تغییر شکل حالت پایدار
۲۰	۳-۵-۲- ایده حالت دائم
۲۱	۴-۵-۲- ایده شبه حالت دائم
۲۴	۵-۵-۲- عوامل مؤثر بر خط حالت دائم

۲۴	۶-۲ پارامتر حالت.....
۲۵	۷-۲ معیار گسیختگی مور- کولمب.....
۲۵	۱-۷-۲ رابطه تنش های اصلی در لحظه گسیختگی.....
۲۷	۸-۲ بررسی مخلوط های شن و ماسه در مطالعات محققین پیشین.....
۲۷	۹-۲ آزمایش ها و مدل فراگاتزی و همکاران.....
۲۷	۱-۹-۲ مصالح مورد استفاده در آزمایش های فراگاتزی و همکاران.....
۲۸	۲-۹-۲ نتایج آزمایش های فراگاتزی و همکاران.....
۳۰	۱۰-۲ مطالعات اونس و ژو.....
۳۰	۱-۱۰-۲ مصالح آزمایش اونس و ژو.....
۳۲	۱۱-۲ تحقیقات کوکوشو و همکاران.....
۳۲	۱-۱۱-۲ مصالح آزمایش کوکوشو و همکاران.....
۳۴	۲-۱۱-۲ رفتار زهکشی نشده خاک های رودخانه ای.....
۳۵	۱۲-۲ تحقیقات سیمونی و هولزبای.....
۳۵	۱-۱۲-۲ مصالح آزمایش شده در تحقیقات سیمونی و هولزبای.....
۳۶	۲-۱۲-۲ نتایج آزمایش های برش مستقیم.....
۳۷	۳-۱۲-۲ معادلات تجربی.....

### فصل ۳: روش تحقیق

۴۰	
۴۱	۱-۳ مقدمه.....
۴۱	۲-۳ جمع آوری و تهیه مصالح.....
۴۲	۳-۳ وزن مخصوص ویژه دانه ها.....
۴۳	۴-۳ روش انجام آزمایش تعیین نسبت تخلخل حداقل و حداکثر.....
۴۵	۵-۳ انواع آزمایش های سه محوری.....
۴۶	۶-۳ تجهیزات آزمایش سه محوری.....
۴۶	۱-۶-۳ محفظه یا سلول دستگاه سه محوری.....
۴۷	۲-۶-۳ سیستم های اعمال فشار.....
۴۷	۳-۶-۳ سیستم های بار گذاری محوری.....
۴۸	۷-۳ دستگاه سه محوری موجود.....
۴۹	۸-۳ دیتالاگر (بخش الکترونیک و ثبت کننده داده ها).....
۴۹	۱-۸-۳ کارت مبدل آنالوگ به دیجیتال.....
۴۹	۲-۸-۳ مبدل نیرو.....
۴۹	۳-۸-۳ مبدل های فشار.....



۴۹	..... ۳-۸-۴- جابجایی سنج ها.
۵۰	..... ۳-۹-۹- کالیبره کردن دستگاه سه محوری
۵۱	..... ۳-۹-۱- نحوه عملکرد دستگاه آزمایش سه محوری
۵۱	..... ۳-۹-۲- آبیگری نمونه آزمایش سه محوری
۵۲	..... ۳-۹-۳- بررسی درجه اشباع نمونه
۵۴	..... ۳-۹-۴- تحکیم نمونه
۵۴	..... ۳-۹-۵- مرحله اعمال بارگذاری محوری
۵۴	..... ۳-۱۰-۱- کالیبره کردن دستگاه سه محوری
۵۵	..... ۳-۱۰-۱- نحوه عملکرد دستگاه آزمایش سه محوری
۵۵	..... ۳-۱۰-۲- آبیگری نمونه آزمایش سه محوری
۵۶	..... ۳-۱۱-۱- نمونه سازی
۵۸	..... ۳-۱۱-۱- نمونه سازی به روش تراکم کاهش یافته

#### فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها

۶۲	
۶۳	..... ۴-۱- مقدمه
۶۳	..... ۴-۲- عوامل مؤثر بر مقاومت برشی و فشار آب حفره‌ای مخلوط شن و ماسه
۶۳	..... ۴-۲-۱- اثر تراکم‌های نسبی و تنش‌های مؤثر همه‌جانبه متفاوت
۶۸	..... ۴-۲-۲- اثر تراکم نسبی و تنش‌های مؤثر همه‌جانبه بر روی نمودار مسیرهای تنش
۷۲	..... ۴-۲-۳- تأثیر افزایش میزان شن بر مقاومت برشی و فشار آب حفره‌ای نمونه‌ها
۷۶	..... ۴-۲-۴- اثر ضریب یکنواختی بر مقاومت برشی مخلوط‌های شن و ماسه
۷۷	..... ۴-۳- تشریح شرایط نمونه‌های مورد آزمایش و ارائه جدول تست‌ها
۷۸	..... ۴-۴- معیار گسیختگی مور-کولمب در مخلوط‌های شن و ماسه
۸۱	..... ۴-۵- خط حالت پایدار برای نمونه‌های شن و ماسه
۸۲	..... ۴-۶- مقاومت برشی نهایی و پسماند در نمونه‌های ماسه‌ای شن دار
۸۳	..... ۴-۷- ارزیابی استعداد روانگرایی استاتیکی
۸۷	..... ۴-۸- پارامتر حالت در خاک‌های مخلوط شن و ماسه
۹۳	..... ۴-۹- شاخص پارامتر تردی در مخلوط‌های شن و ماسه
۹۴	..... ۴-۱۰- سطح ورسلف در مخلوط‌های شن و ماسه

#### فصل ۵: جمع‌بندی و پیشنهادها

۹۶	
۹۷	..... ۵-۱- مقدمه
۹۷	..... ۵-۲- بررسی رفتار پی‌ها در هنگام وقوع روانگرایی

- ۹۸ ..... ۱-۲-۵- کاهش ظرفیت باربری پی‌ها
- ۹۸ ..... ۲-۲-۵- نشست و چرخش پی‌ها
- ۹۹ ..... ۳-۵- راه‌های پیشنهادی برای مقابله با روانگرایی در سواحل شمالی
- ۱۰۰ ..... ۱-۳-۵- تراکم
- ۱۰۰ ..... ۲-۳-۵- استهلاک فشار آب منفذی
- ۱۰۱ ..... ۳-۳-۵- سیمانتاسیون و جامدسازی
- ۱۰۱ ..... ۴-۳-۵- جایگزینی
- ۱۰۱ ..... ۵-۳-۵- پایین آوردن سطح آب زیرزمینی
- ۱۰۱ ..... ۶-۳-۵- مقید کردن کرنش برشی
- ۱۰۲ ..... ۷-۳-۵- پیش بارگذاری
- ۱۰۲ ..... ۸-۳-۵- اجرای تقویت سازه‌ها
- ۱۰۲ ..... ۴-۵- جمع‌بندی
- ۱۰۲ ..... ۵-۵- نتیجه‌گیری
- ۱۰۴ ..... ۶-۵- ارائه راهکار و پیشنهاد برای ادامه کار

۱۰۵

مراجع

۱۰۸

پیوست‌ها

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) موقعیت شهر بابلسر در نوار ساحلی..... ۴
- شکل (۱-۲) نحوه قرارگیری ذرات ماسه در سه وضعیت مختلف..... ۱۱
- شکل (۲-۲) محدوده خاک‌های سیلان‌پذیر..... ۱۳
- شکل (۳-۲) نمایش خط حالت پایدار..... ۱۶
- شکل (۴-۲) رفتار نمونه‌های منقبض‌شونده و منبسط‌شونده تحت آزمایش‌های سه‌محوری..... ۱۸
- شکل (۵-۲) خط حالت پایدار در فضای سه بعدی  $(\tau - \sigma' - e)$ ..... ۲۲
- شکل (۶-۲) خصوصیات رفتار ماسه سست زهکشی‌نشده و مفهوم حالت دائم و شبه دائم..... ۲۳
- شکل (۷-۲) تعریف پارامتر حالت..... ۲۴
- شکل (۸-۲) مشابه‌سازی نیروهای وارده بر دانه‌های خاک..... ۲۵
- شکل (۹-۲) معیار گسیختگی مور-کولمب..... ۲۶
- شکل (۱۰-۲) خط گسیختگی مماس بر دایره‌های مور..... ۲۷
- شکل (۱۱-۲) منحنی توزیع اندازه دانه‌ها فراگاتزی و همکاران (۱۹۹۲)..... ۲۸
- شکل (۱۲-۲) مقایسه تنش محوری اضافی حداکثر پیش‌بینی شده با نتایج فراگاتزی و همکاران (۱۹۹۲)..... ۲۹
- شکل (۱۳-۲) مقایسه تنش انحرافی حداکثر پیش‌بینی شده فراگاتزی و همکاران (۱۹۹۲)..... ۳۰
- شکل (۱۴-۲) منحنی توزیع اندازه دانه‌ها برای مصالح آزمایش اونس و ژو (۱۹۹۵)..... ۳۱
- شکل (۱۵-۲) حداکثر و حداقل نسبت تخلخل مخلوط در مقابل مقدار شن اونس و ژو (۱۹۹۵)..... ۳۲
- شکل (۱۶-۲) سه نوع ذرات برای دو نوع خاک رودخانه‌ای و گرانیته کوکوشو و همکاران (۲۰۰۴)..... ۳۳
- شکل (۱۷-۲) تغییرات حداکثر و حداقل چگالی با ضریب یکنواختی کوکوشو و همکاران (۲۰۰۴)..... ۳۴
- شکل (۱۸-۲) تغییرات تنش محوری اضافی و فشار آب حفره‌ای کوکوشو و همکاران (۲۰۰۴)..... ۳۵
- شکل (۱۹-۲) مسیر تنش مؤثر در فضای  $q - p'$  کوکوشو و همکاران (۲۰۰۴)..... ۳۵
- شکل (۲۰-۲) نتایج آزمایش‌های جعبه برش مستقیم بزرگ مقیاس سیمونی و هولزبای (۲۰۰۶)..... ۳۶
- شکل (۲۱-۲) زاویه اصطکاک حالت بحرانی مخلوط‌های شن و ماسه سیمونی و هولزبای (۲۰۰۶)..... ۳۸
- شکل (۲۲-۲) معادله تجربی توصیف تغییرات ضریب نقاط آزمایشگاهی سیمونی و هولزبای (۲۰۰۶)..... ۳۸
- شکل (۲۳-۲) مقایسه  $\phi'_{peak}$  اندازه‌گیری شده و پیش‌گویی شده به وسیله سیمونی و هولزبای (۲۰۰۶)..... ۳۹
- شکل (۱-۳) ماسه ساحلی بابلسر و شن رودخانه‌ای گرد گوشه روی الک ۴..... ۴۲
- شکل (۲-۳) منحنی‌های دانه‌بندی ماسه با درصدهای مختلف شن..... ۴۲

- شکل (۳-۳) دسی کاتر و دستگاه و کیوم همراه با پیکنومتر و بالن استاندارد برای بدست آوردن Gs ..... ۴۳
- شکل (۴-۳) قالب تراکم و میز ویریه برای بدست آوردن دانسیته نسبی حداقل و حداکثر..... ۴۴
- شکل (۵-۳) نسبت تخلخل و چگالی حداقل و حداکثر برای مخلوط با درصدهای مختلف شن ..... ۴۵
- شکل (۶-۳) دستگاه سه محوری به همراه قالب دو تکه ای و تجهیزات جانبی..... ۴۸
- شکل (۷-۳) دستگاه دیتالاگر شامل سه قسمت Power، Signal Condition و کارت مبدل ..... ۵۰
- شکل (۸-۳) سلول دستگاه سه محوری و کپسول دی اکسید کربن جهت سرعت بخشیدن به زمان اشباع ..... ۵۲
- شکل (۹-۳) تأثیر غشاء بر روی نمونه های سه محوری..... ۵۶
- شکل (۱۰-۳) منحنی های تحکیم همسان ماسه تویورا با روش های مختلف نمونه سازی برای دو حالت ..... ۵۷
- شکل (۱۱-۳) نمایش منحنی تحکیم همسان در شرایط مختلف نمونه سازی ..... ۵۷
- شکل (۱۲-۳) نمایش نمونه به هنگام نصب بر روی پایه سلول دستگاه سه محوری..... ۶۰
- شکل (۱۳-۳) نمایش روش نمونه سازی در حالت تراکم کاهش یافته..... ۶۱
- شکل (۱-۴) نمایش مقاومت برشی زهکشی نشده و فشار آب حفره ای در ماسه بابلسر..... ۶۴
- شکل (۲-۴) نمایش مقاومت برشی زهکشی نشده و فشار آب حفره ای در نمونه های با ۴۵ درصد شن ..... ۶۵
- شکل (۳-۴) نمایش مقاومت برشی زهکشی نشده و فشار آب حفره ای در نمونه های با ۶۵ درصد شن ..... ۶۶
- شکل (۴-۴) نمایش مقاومت برشی زهکشی نشده و فشار آب حفره ای در نمونه های شنی..... ۶۷
- شکل (۵-۴) نمودار مسیر تنش در نمونه های ماسه بابلسر..... ۶۸
- شکل (۶-۴) نمودار مسیر تنش در نمونه های با ۵ درصد شن..... ۶۹
- شکل (۷-۴) نمودار مسیر تنش در نمونه های با ۲۵ درصد شن..... ۶۹
- شکل (۸-۴) نمودار مسیر تنش در نمونه های با ۴۵ درصد شن..... ۷۰
- شکل (۹-۴) نمودار مسیر تنش در نمونه های با ۶۵ درصد شن..... ۷۰
- شکل (۱۰-۴) نمودار مسیر تنش در نمونه های با ۸۵ درصد شن..... ۷۱
- شکل (۱۱-۴) نمودار مسیر تنش در نمونه های شنی..... ۷۱
- شکل (۱۲-۴) مقایسه مقاومت برشی مخلوط های شن و ماسه در مقابل تراکم نسبی..... ۷۲
- شکل (۱۳-۴) نمودارهای تأثیر افزایش شن بر مقاومت برشی زهکشی نشده..... ۷۳
- شکل (۱۴-۴) نمودارهای تأثیر افزایش شن بر فشار آب حفره ای..... ۷۴
- شکل (۱۵-۴) نمودارهای تأثیر افزایش شن بر مسیرهای تنش ..... ۷۵
- شکل (۱۶-۴) تأثیر ضریب یکنواختی بر روی نمونه های شن و ماسه..... ۷۶
- شکل (۱۷-۴) نمودارهای دایره مور (تأثیر افزایش شن بر زاویه اصطکاک داخلی مخلوط شن و ماسه)..... ۷۹

- شکل (۴-۱۸) کلیه تست‌های سه‌محوری استاتیکی زهکشی نشده در فضای  $\eta$ - $\phi$  ..... ۸۰
- شکل (۴-۱۹) خط‌های حالت پایدار برای ماسه بابلسر و شن‌های ماسه‌دار ..... ۸۱
- شکل (۴-۲۰) خط‌های حالت پایدار در فضای  $q$ - $p'$  برای ماسه بابلسر و شن‌های ماسه‌دار ..... ۸۲
- شکل (۴-۲۱) مقاومت برشی نهایی در مقابل درصدهای مختلف شن ..... ۸۲
- شکل (۴-۲۲) مقاومت برشی پسماند در مقابل درصدهای مختلف شن ..... ۸۳
- شکل (۴-۲۳) تغییرات فشار آب حفره‌ای در برابر تراکم نسبی بعد از تحکیم برای نمونه‌های شن و ماسه ..... ۸۴
- شکل (۴-۲۴) تغییرات فشار آب حفره‌ای در برابر زاویه اصطکاک داخلی در لحظه گسیختگی ..... ۸۴
- شکل (۴-۲۵) تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی در برابر تنش مؤثر اولیه در لحظه گسیختگی ..... ۸۵
- شکل (۴-۲۶) مقاومت برشی نمونه‌ها در فضای  $K_f$  به  $\phi$  برای نمونه‌های مخلوط شن و ماسه ..... ۸۶
- شکل (۴-۲۷) وضعیت اولیه و پایدار ماسه بابلسر (قبل و بعد از گسیختگی) ..... ۸۷
- شکل (۴-۲۸) وضعیت اولیه و پایدار نمونه‌های با ۵ درصد شن (قبل و بعد از گسیختگی) ..... ۸۸
- شکل (۴-۲۹) وضعیت اولیه و پایدار نمونه‌های با ۲۵ درصد شن (قبل و بعد از گسیختگی) ..... ۸۸
- شکل (۴-۳۰) وضعیت اولیه و پایدار نمونه‌های با ۴۵ درصد شن (قبل و بعد از گسیختگی) ..... ۸۹
- شکل (۴-۳۱) وضعیت اولیه و پایدار نمونه‌های با ۶۵ درصد شن (قبل و بعد از گسیختگی) ..... ۸۹
- شکل (۴-۳۲) وضعیت اولیه و پایدار نمونه‌های با ۸۵ درصد شن (قبل و بعد از گسیختگی) ..... ۹۰
- شکل (۴-۳۳) وضعیت اولیه و پایدار نمونه‌های شن رودخانه‌ای (قبل و بعد از گسیختگی) ..... ۹۰
- شکل (۴-۳۴) ماکزیمم مقاومت برشی زهکشی نشده به تنش همه‌جانبه مؤثر در برابر پارامتر حالت ..... ۹۱
- شکل (۴-۳۵) ارزیابی استعداد روانگرایی برای نمونه‌های مخلوط شن و ماسه در فضای  $\eta$ - $\psi$  ..... ۹۲
- شکل (۴-۳۶) تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی در برابر پارامتر حالت برای مخلوط‌های شن و ماسه ..... ۹۳
- شکل (۴-۳۷) تغییرات فشار آب حفره‌ای اضافی در برابر شاخص پارامتر تردی ..... ۹۴
- شکل (۴-۳۸) سطح ورسلف برای مخلوط‌های شن و ماسه در آزمایش‌های سه‌محوری زهکشی نشده ..... ۹۵

## فهرست جداول

- جدول (۱-۲) مشخصات مواد بکار رفته اونس و ژو (۱۹۹۵)..... ۳۱
- جدول (۲-۲) مشخصات فیزیکی خاک رودخانه‌ای و گرانیتی کوکوشو و همکاران (۲۰۰۴)..... ۳۳
- جدول (۳-۲) مشخصات خاک سیمونی و هولزبای (۲۰۰۶)..... ۳۶
- جدول (۱-۳) مشخصات مصالح مورد استفاده در آزمایش‌های سه‌محوری استاتیکی..... ۴۵
- جدول (۱-۴) مشخصات و شرایط تست‌ها در آزمایش‌های سه‌محوری استاتیکی..... ۷۷

## فهرست علائم اختصاری

$\sigma$	تنش کل
$\sigma'$	تنش مؤثر
$\Delta u$	تغییرات فشار آب حفره‌ای
$\tau$	مقاومت برشی
$\varphi$	زاویه اصطکاک داخلی
$\sigma_3$	تنش همه‌جانبه
$\sigma_1$	تنش اصلی حداکثر
$q$	تنش محوری اضافی
$p$	تنش در توده خاک
$e$	نسبت تخلخل
$e_{ss}$	نسبت تخلخل متناظر با فشار همه‌جانبه وارد بر نمونه
$Su$	مقاومت برشی زهکشی نشده
$SSL$	خط حالت پایدار
$QSSL$	خط شبه حالت پایدار
$\psi$	پارامتر حالت
$F_d$	نیروی بارگذاری قائم
$B$	درجه اشباع
$CU$	آزمایش سه‌محوری زهکشی نشده
$ru$	ضریب اضافه فشار آب حفره‌ای
$G_s$	چگالی ویژه دانه‌های خاک
$e_{min}$	نسبت تخلخل حداقل
$e_{max}$	نسبت تخلخل حداکثر
$Dr$	تراکم نسبی
$\rho_{min}$	چگالی حداقل
$\rho_{max}$	چگالی حداکثر
$C_u$	ضریب یکنواختی
$I_B$	شاخص تردی
$v$	حجم ویژه

# فصل ۱:

## مقدمه



## ۱-۱- مقدمه

چگونگی رفتار خاک‌های دانه‌ای در بارگذاری‌های گوناگون همواره از موضوعات جالب توجه و کاربردی در مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک بوده است. با توجه به اینکه این گونه خاک‌ها در طبیعت به وفور یافت می‌شوند لذا واکنش‌های آن‌ها در حین زلزله، برای تصمیم‌گیری در مورد وقوع یا عدم وقوع پدیده روانگرایی لازم است، چرا که یکی از پیچیده‌ترین و مخرب‌ترین پدیده‌های ژئوتکنیکی، پدیده روانگرایی است. خرابی‌های زیاد ناشی از این پدیده در زلزله‌های مختلف، توجه محققین بسیاری را به آن جلب کرده است. تولید فشار آب منفذی در شرایط غیرزهکشی، نشان اصلی تمام پدیده‌های روانگرایی است. تمایل خاک‌های غیرچسبنده به متراکم شدن در اثر بارگذاری استاتیکی و یا سیکلی امری شناخته شده است. هنگامی که خاک‌های غیرچسبنده اشباع می‌باشند، در اثر بارگذاری سریع در شرایط زهکشی نشده تمایل به متراکم شدن دارند، که این امر موجب افزایش فشار آب حفره‌ای گشته و در نتیجه تنش‌های مؤثر کاهش می‌یابد (Seed, 1979).

اثرات ویران‌کننده پدیده روانگرایی سبب توجه ویژه مهندسين ژئوتکنیک در یک پروید سه ماهه در سال ۱۹۶۴ گشت یعنی هنگامی که زلزله Good Friday در آلاسکا پس از زلزله نیگاتای ژاپن رخ داد. در هر دو زلزله آلاسکا و نیگاتای ژاپن نمونه‌های جالبی از خرابی ناشی از زلزله مانند گسیختگی شیب‌ها، گسیختگی شالوده‌ها، دیوارهای حایل، پل‌ها و شنواری سازه‌های مدفون اتفاق افتاد. در طی ۳۰ سال پس از این زلزله‌ها، روانگرایی توسط صدها محقق در سراسر جهان بررسی و مطالعه شده است. مطالب فراوانی برداشت شد، اما راه تحقیق در این باب هنوز هموار نگشته است. اصطلاحات، روندها و روش‌های مختلفی پیشنهاد شده و یک روش غالب به آرامی در حال شکل گرفتن است. در سال‌های اخیر بسیاری از این تفاوت‌ها با درک این واقعیت که علت وجودی آن‌ها در بخش عمده‌ای مربوط به معانی می‌باشد، از میان رفته است. در این تحقیق به جای پرداختن به روند پیچیده گسترش دانش روانگرایی، چهارچوبی جهت درک مفاهیم رفتار خاک در حالت زهکشی نشده ارائه می‌کنیم و از آنجایی که مقاومت حالت پایدار نشانگر مقاومت خاک در تغییر شکل‌های بزرگ است، از آن در تحلیل استعداد روانگرایی مخلوط‌های شن و ماسه استفاده شده است. حالت پایدار زمانی اتفاق می‌افتد که خاک حین اعمال تنش برشی در حجم ثابت و فشار همه‌جانبه ثابت به تغییر شکل خود ادامه دهد. مقاومت برشی خاک در این وضعیت مقاومت حالت پایدار نامیده می‌شود (Poulos et al., 1985).

عوامل بسیار زیادی بر رفتار خاک‌های دانه‌ای مؤثرند که می‌توان از تراکم خاک، تراز تنش‌های مؤثر همه جانبه بر توده خاک، بافت، دانه‌بندی، شکل عمومی دانه‌ها و کانی‌های تشکیل دهنده خاک نام برد. در مسائل کاربردی بکارگیری یک پارامتر حالت (State parameter) به منظور قضاوت در مورد چگونگی رفتار کیفی و کمی خاک ضروری می‌باشد. از لحاظ تاریخی، نقش و تأثیرگذاری تراکم بر رفتار خاک پذیرفته شده است. بر این اساس، شاخص تراکم نسبی به عنوان یک پارامتر حالت پیشنهاد گردیده و بطور گسترده در طراحی و اجرای سازه‌های خاکی بکار برده شده است. در مطالعات تکمیلی بعدی مشاهده گردید که تنش مؤثر همه‌جانبه نیز می‌تواند شانه به شانه تراکم نقش تعیین کننده‌ای را بر چگونگی رفتار خاک ایفا نماید. به عنوان مثال در نمونه‌های خاک با تراکم یکسان، با افزایش تنش مؤثر همه‌جانبه رفتار خاک به آرامی انقباضی‌تر می‌گردد. در شرایط زهکشی شده، تمایل به کاهش حجم بیشتر می‌شود و در شرایط زهکشی نشده تمایل به رفتار مقاومتی نرم‌شونده و نیز افزایش تولید فشار آب منفذی را دارد. با توجه به ناتوانی شاخص تراکم نسبی در بیان رفتار خاک‌ها (Been and Jefferies (1985) پارامتر حالت را تعریف کردند و آن را به عنوان جایگزینی برای شاخص تراکم نسبی معرفی نمودند. پارامتر حالت به صورت فاصله میان نسبت تخلخل نمونه و نسبت تخلخل روی خط حالت دائمی، متناظر با فشار همه جانبه‌ای که نمونه آن را تحمل می‌نماید، تعریف می‌شود. در این تعریف، خط حالت بحرانی (در صفحه نسبت تخلخل برحسب تنش مؤثر همه‌جانبه) معرف یک حالت مرجع رفتار خاک می‌باشد و براساس علامت و مقدار پارامتر حالت می‌توان درباره نوع رفتار و شدت رفتار (انقباضی یا اتساعی بودن) قضاوت نمود یعنی معیاری برای ارزیابی رفتار کلی ماسه در بارگذاری ارائه دادند. محققین دیگری از جمله Bolton (1986) براساس نتایج آزمایش‌های سه محوری روی چند ماسه مختلف میان مؤلفه‌های رفتاری خاک، تراز تراکم و تنش مؤثر وارد بر توده خاک، زوایای اصطکاک داخلی خاک در مقاومت برشی ماکزیمم و حالت بحرانی همبستگی‌های تجربی گوناگونی را پیشنهاد کردند.

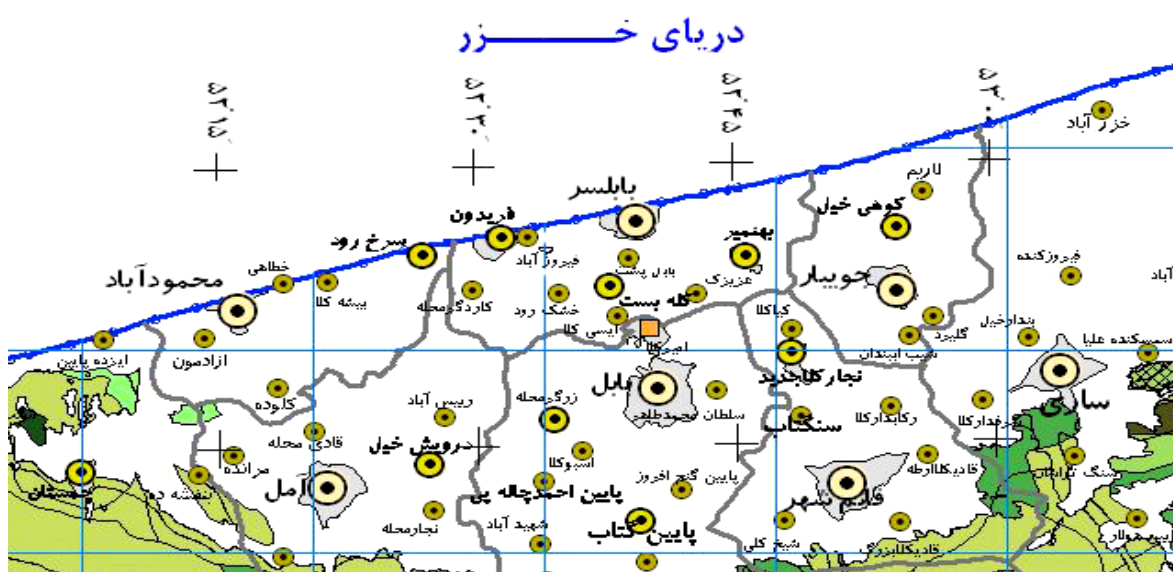
در ادامه تحقیقات محققین از جمله Evans and Zhou (1995) نشان دادند که مقاومت سه محوری تناوبی مخلوط شن و ماسه با افزایش مقدار درشت‌دانه افزایش می‌یابد. (Houlsby and Simoni (2006) با انجام یک سری آزمایشات برش مستقیم نتیجه گرفتند که مقاومت برشی مخلوط با ازدیاد میزان شن افزایش می‌یابد. با افزایش درصد شن به دلیل افزایش اتساع خاک، نیروی لازم برای جابجایی دانه‌ها در راستای قائم بیشتر می‌شود و این موضوع باعث ازدیاد مقاومت برشی مخلوط خواهد شد.

روش‌های آزمایشگاهی به عنوان یکی از دقیق‌ترین ابزار محققین در ارزیابی خاک‌ها با شرایط مختلف است. به وسیله تجهیزات پیشرفته آزمایشگاهی نظیر آزمایشات میز لرزان، آزمایشات سه محوری

دینامیکی و استاتیکی و همچنین آزمایشات برش ساده و یا پیچش دینامیک بر روی نمونه های دست نخورده و یا بازسازی شده از خاک، امکان ارزیابی دقیق از خاک منطقه مورد مطالعه را در آزمایشگاه فراهم می آورد.

## ۱-۲- مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیکی سواحل بابلسر

در این بخش مطالعات مربوط به زمین شناسی، لرزه خیزی، شناسایی و تعیین خصوصیات ژئوتکنیکی منطقه ساحلی شهر بابلسر مورد بررسی قرار می گیرد. مجموعه این مطالعات دلایلی را تشکیل می دهند که به موجب آنها لزوم انجام عملیات بررسی استعداد روانگرایی و تحلیل ریسک در منطقه بابلسر مشخص می شود. شهر ساحلی بابلسر در ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این شهر در میان گسل های مهمی واقع شده است که از توان لرزه ای بالایی برخوردارند. از مهمترین این گسل ها می توان از شمال البرز و خزر و خطواره های آمل، بابل و نور را نام برد که دارای توان لرزه ای بالایی هستند. با توجه به اینکه پدیده روانگرایی در مناطق لرزه خیز و در خاک های ماسه ای اشباع محتمل است، بررسی خطرات ناشی از زلزله در بابلسر دارای اهمیت بسیار زیادی می باشد. متوسط بارندگی سالانه در شهرستان بابلسر حدود ۷۶۸ میلیمتر بوده و حداکثر مطلق درجه حرارت  $33/8$  درجه سانتیگراد و حداقل مطلق رطوبت نسبی ۳۱ درصد گزارش شده است. نقشه (۱-۱) موقعیت شهرستان بابلسر در نوار ساحلی را نشان می دهد.



شکل (۱-۱) موقعیت شهر بابلسر در نوار ساحلی

دریای خزر با وسعتی حدود ۴۳۸۰۰۰ کیلومتر مربع، بزرگترین دریاچه جهان به شمار می‌رود که بین کشور ایران و جمهوری‌های استقلال یافته شوروی سابق، ترکمنستان، قزاقستان، روسیه و آذربایجان واقع شده است. طول آن ۱۰۵۲ کیلومتر و عرض متوسط آن ۵۵۴ کیلومتر می‌باشد. سواحل جنوبی آن از «خلیج حسینقلی» تا «آستارا» مربوط به خط ساحلی ایران است. طول این کرانه ۹۹۱ کیلومتر است. کناره‌های این دریاچه عموماً شن‌زار و پست و صاف می‌باشد. خلیج گرگان در جنوب شرقی و مرداب انزلی در جنوب غربی، دو بریدگی مهم آن است. خلیج گرگان توسط شبه جزیره میانکاله و مرداب انزلی، به وسیله شبه جزیره‌ی غازیان از دریای خزر جدا می‌شود.

### ۱-۲-۱- زمین‌شناسی منطقه

رشته کوه‌های البرز که از آذربایجان تا خراسان امتداد یافته‌اند، دارای ویژگی‌های چینه‌شناسی و کوه‌زائی یکنواختی نبوده و دارای تفاوت‌های محسوسی می‌باشند و در نتیجه به واحدهای مختلفی تقسیم شده‌اند. این ناحیه از جنوب به گسل شمالی البرز، از شرق به گرگان و از غرب به رشت محدود می‌شود و حد شمالی آن را دریای خزر تشکیل می‌دهد. گسترش رسوبات عهد حاضر متشکل از رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای، دلتائی و ساحلی کم عمق در حاشیه ساحلی دریای خزر که بخشی از ناحیه مورد بحث می‌باشد، بسیار چشم‌گیر است و به لحاظ قرار گرفتن منطقه در یک دشتی مسطح و با شیب توپوگرافی بسیار کم که توسط رسوبات عهد حاضر پوشانده شده است و ضخامت قابل توجهی هم دارند.

### ۱-۲-۲- لرزه‌خیزی گسل‌های منطقه

زمین لرزه‌های تاریخی سده بیستم در گستره استان مازندران بیشتر در بخش‌های مرکزی، خاور و شمال خاوری آن در اثر عملکرد پهنه‌های گسلی شمال البرز، خزر، بهشهر و خطواره‌های آمل و بابل روی داده است. خاک‌های دانه‌ای و استعداد تولید فشار آب حفره‌ای در اثر زمین‌لرزه باعث خرابی‌ها و خسارات شدید در این منطقه شده است. زمین‌لرزه‌های تاریخی و نیز فعالیت گسل‌ها و خطواره‌های ساختاری در این منطقه نشانگر پهنه‌ای، بسیار لرزه‌خیز است که هر لحظه احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ای ویرانگر در آن وجود دارد.

### ۱-۳- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

مقاومت برشی خاک‌های ماسه‌ای حاوی دانه‌های درشت در حد شن، یکی از مسائل مهم در طراحی‌های ژئوتکنیکی می‌باشد. اکثر مدل‌های رفتاری ارائه شده برای تبیین رفتار برشی خاک‌های مخلوط شن و