

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه سبزگان

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی راه و ساختمان (مکانیک خاک و پی)

**بررسی پارامتریک پایداری شیروانی‌های مسلح با زمین پارچه‌ها**

**(ژئوتکستایل‌ها)**

**اکبر محمدی**

**استاد راهنما**

**دکتر حسن طاهرخانی**

**پاییز ۱۳۹۱**



دانشگاه زنجان

شماره: ۵۰۳-۸۶۳

تاریخ: ۱۳۹۱/۷/۱۷

### صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

خانم / آقای: اکبر محمدی رشته: مهندسی عمران گرایش: خاک و پی

تحت عنوان: مطالعه پارامتریک شیروانی های مسلح شده توسط زمین مصنوعی ها (ژئوتکستایل ها)

در تاریخ ۱۳۹۱/۷/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه زنجان برگزار گردید و نظر هیأت داوران بشرح زیر می باشد:

قبول (با درجه: ..... امتیاز: .....):  مردود  دفاع مجدد

- ۱- عالی (۱۹-۲۰)
- ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹-۱۸)
- ۳- خوب (۱۶-۱۷/۹۹)
- ۴- قابل قبول (۱۴-۱۵/۹۹)
- ۵- غیر قابل قبول (کمتر از ۱۴)

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
-------	------------	--------------------	-----------------

	استادیار	دکتر حسن طاهرخانی	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر مهراں جوانمرد	۲- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر فرهنگ فرخی	۳- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر علی لکی روحانی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی

دکتر محمد حسین شیخپور  
مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه زنجان  
معاونت تحصیلات تکمیلی  
میدان آذغان در خندان

دکتر رضا نوروزیان  
معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی  
دانشگاه

دانشگاه زنجان  
دانشکده مهندسی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب اکبر محمدی تایید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده مهندسی دانشگاه زنجان

می‌باشد.

نام و نام خانوادگی

امضاء



## **سپاس خداوندگار بی‌همتا را که سپاس تنها سزاوار اوست...**

اینک با توفیق به پایان رساندن این پروژه به لطف و یاری پروردگار، شایسته و بایسته است بر اینجانب، قدر دانی از اساتید محترم جناب آقای دکتر طاهرخانی به سبب مشاوره‌های صبورانه و زحمات بی‌دریغ ایشان و نیز خانواده عزیزم به پاس حمایت‌ها و تشویق‌هایشان.

# چکیده

اهمیت پایداری شيروانی‌های خاکی طبیعی و مصنوعی، در کارهای عمرانی بر کسی پوشیده نیست. یکی از روش‌هایی که به وفور در پایداری شيروانی‌ها استفاده می‌شود، تکنیک خاک مسلح با ژئوسنتتیک‌ها می‌باشد. معمولاً، مطالعات شيروانی‌های خاک مسلح در خصوص شيروانی‌های شن و ماسه‌ای انجام شده، با این حال در عمل، ژئوتکتایل‌ها به طور گسترده در شيروانی‌های خاک چسبنده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق، با مدل سازی عددی آزمایش برش مستقیم به بررسی پارامتریک خصوصیات خاک ریزدانه مسلح پرداخته می‌شود. نتایج تحلیل‌ها نشان‌دهنده اعمال یک چسبندگی اضافی به خاک، توسط تسلیح و اهمیت زیاد زاویه اصطکاک خاک، تنش نرمال و زاویه اصطکاک بین خاک و تسلیح در افزایش، و رطوبت در کاهش مقاومت برشی خاک مسلح است.

همچنین، اغلب تحقیقات گذشته متمرکز بر پاسخ شيروانی مسلح با ژئوسنتتیک و همچنین عوامل موثر بر آن بوده است. اما جهت بررسی مکانیسم تسلیح شيروانی مسلح و برای نشان دادن این که چطور ژئوسنتتیک تغییر شکل شيروانی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و تحت شرایط مختلف پایداری شيروانی را افزایش می‌دهد، بایستی فرآیند شکست به دقت بررسی شود. در این پایان‌نامه با تحلیل مدل عددی شيروانی‌های خاکی مسلح و غیر مسلح توسط نرم‌افزار *FLAC 2D* به بررسی تغییر شکل‌های شيروانی پرداخته، و مشاهده می‌شود که تسلیح باعث افزایش تغییر شکل شيروانی و تبدیل گسیختگی ناگهانی شيروانی غیرمسلح به گسیختگی با تاخیر می‌گردد. همچنین با توجه به تغییر شکل شيروانی‌ها، می‌توان گفت که تسلیح در سطح لغزش، باعث انتقال کشش به پشت سطح لغزش و در نتیجه افزایش آن سطح و افزایش مقاومت می‌گردد.

می‌توان بیان نمود، تاکنون روشی همه‌گیر برای محاسبه ضریب ایمنی شيروانی‌ها ارائه نشده است. در همین راستا، به بررسی روش کاهش مقاومت با توجه به نتایج تحلیل مدل‌سازی‌های عددی، جهت محاسبه ضریب ایمنی شيروانی‌های خاک مسلح، پرداخته می‌شود. نتایج حاکی از آن هستند که تسلیح، تاثیر به سزایی در افزایش ضریب ایمنی شيروانی‌های خاکی داشته، مخصوصاً در هنگامی که عوامل گسیختگی هندسی مثل شیب شيروانی یا ارتفاع آن افزایش می‌یابند. همچنین مشاهده می‌شود که اثر کاهندگی پایداری، توسط رطوبت نسبت به اثر افزایش تراکم، بیشتر است و خاکهای متراکم با رطوبتی بیش از رطوبت بهینه، با کاهش ضریب ایمنی مواجه می‌باشند.

واژگان کلیدی: ژئوسنتتیک، ژئوتکتایل، خاک ریزدانه مسلح، مدل‌سازی عددی، آزمایش برش مستقیم، روش

کاهش مقاومت، نرم افزار *FLAC 2D*، تراکم خاک، مکانیسم تغییر شکل شيروانی

## فهرست مطالب

فهرست جداول	۵
فهرست اشکال	۷
فهرست نمودارها	ح
۱- فصل اول: پیشگفتار	۱
۱-۱. مقدمه	۲
۲-۱. تعریف مساله و فرضیات	۴
۳-۱. اهداف پایان نامه	۶
۴-۱. ساختار پایان نامه	۶
۲- فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده	۸
۱-۲. تاریخچه خاک مسلح	۹
۲-۲. ژئوتکستایل ها	۹
۱-۲-۲. انواع ژئوتکستایل ها از نظر شکل ظاهری و روش تولید	۱۰
۲-۲-۲. عملکردها و کاربردهای اصلی ژئوتکستایل ها	۱۳
۳-۲. پایداری شیروانی های خاکی	۱۵
۴-۲. مکانیسم تسلیح خاک	۱۶
۱-۴-۲. مقاومت اصطکاکی خاک مسلح	۱۹
۲-۴-۲. مدلی برای رفتار خاک مسلح و غیرمسلح	۲۱
۳-۴-۲. کارهای آزمایشگاهی انجام شده	۲۴
۱-۳-۴-۲. رفتار خاک مسلح با نوارهای فلزی	۲۵
۲-۳-۴-۲. رفتار خاک مسلح با ژئوتکستایل	۲۹
۳-۳-۴-۲. بررسی رفتار سطح واسط بین خاک و ژئوتکستایل با آزمایش برش مستقیم	۳۴
۴-۳-۴-۲. بررسی اثر انواع تسلیح	۳۸



- ۴۱ ----- ۵-۳-۴-۲. مکانیسم رفتار خاک مسلح در دیوار حائل
- ۴۳ ----- ۵-۲. روش‌های تحلیل پایداری شیروانی‌ها
- ۴۶ ----- ۳- فصل سوم: بررسی پارامترهای موثر بر مکانیسم خاک مسلح
- ۴۷ ----- ۱-۳. مقدمه
- ۴۷ ----- ۲-۳. مدل‌سازی خاک
- ۴۹ ----- ۳-۳. مدل‌سازی مسلح کننده
- ۵۰ ----- ۴-۳. مدل‌سازی شرایط بارگذاری
- ۵۳ ----- ۵-۳. صحت سنجی مدل
- ۵۵ ----- ۶-۳. بررسی پارامترهای مختلف
- ۵۵ ----- ۱-۶-۳. نوع تسلیح
- ۵۵ ----- ۱-۱-۶-۳. زبری ژئوتکستایل
- ۵۷ ----- ۲-۱-۶-۳. سختی ژئوتکستایل
- ۵۹ ----- ۳-۱-۶-۳. بررسی سه نوع ژئوتکستایل
- ۶۱ ----- ۲-۶-۳. تاثیر خصوصیات خاک
- ۶۱ ----- ۱-۲-۶-۳. تراکم خاک
- ۶۶ ----- ۲-۲-۶-۳. نسبت پواسون
- ۶۸ ----- ۳-۲-۶-۳. زاویه اصطکاک داخلی خاک
- ۷۱ ----- ۴-۲-۶-۳. چسبندگی خاک
- ۷۴ ----- ۴- فصل چهارم: بررسی پارامترهای موثر بر پایداری شیروانی های خاکی مسلح
- ۷۵ ----- ۱-۴. مقدمه
- ۷۵ ----- ۲-۴. ضریب ایمنی شیروانی‌های خاکی
- ۷۶ ----- ۱-۲-۴. روش کاهش مقاومت
- ۷۷ ----- ۱-۱-۲-۴. مدل‌سازی شیروانی
- ۷۹ ----- ۲-۱-۲-۴. محاسبه ضریب ایمنی براساس تحلیل عددی
- ۸۱ ----- ۲-۲-۴. بررسی پارامترهای موثر بر پایداری شیروانی‌های خاکی

۸۲	-----	۱-۲-۲-۴. ارتفاع شیروانی
۸۳	-----	۲-۲-۲-۴. شیب شیروانی
۸۶	-----	۳-۲-۲-۴. چسبندگی خاک
۸۷	-----	۴-۲-۲-۴. زاویه اصطکاک داخلی خاک
۸۹	-----	۵-۲-۲-۴. زاویه اصطکاک بین خاک و تسلیح
۹۰	-----	۶-۲-۲-۴. تراکم
۹۲	-----	۳-۴. بررسی تغییر شکل شیروانی‌ها
۹۲	-----	۱-۳-۴. نحوه بررسی مکانیسم تسلیح در شیروانی‌های خاکی مسلح
۹۳	-----	۲-۳-۴. مدل‌سازی شیروانی
۹۳	-----	۳-۳-۴. تجزیه و تحلیل مکانیسم تسلیح در شیروانی‌ها
۹۳	-----	۱-۳-۳-۴. تغییر شکل شیروانی غیرمسلح
۹۷	-----	۲-۳-۳-۴. تغییر شکل شیروانی مسلح
۱۰۰	-----	۴-۳-۴. اثر تسلیح
۱۰۴	-----	۵-۳-۴. تاثیر شیب شیروانی
۱۰۵	-----	۵- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۰۶	-----	۱-۵. مقدمه
۱۰۶	-----	۲-۵. نتایج
۱۰۶	-----	۱-۲-۵. نتایج بررسی پارامترهای موثر بر مکانیسم خاک مسلح توسط آزمایش برش مستقیم
۱۰۷	-----	۲-۲-۵. نتایج بررسی پارامترهای موثر پایداری شیروانی‌های خاکی مسلح
۱۰۹	-----	۳-۵. پیشنهادات
۱۱۱	-----	مراجع
۱۱۵	-----	چکیده انگلیسی

## فهرست جداول

- جدول شماره ۲-۱. مقادیر زوایای برشی و ضریب برهمکنش  $\alpha$ ، برای انواع ژئوتکستایل ----- ۲۱
- جدول شماره ۲-۲. خصوصیات خاک ماسه‌ای دریاچه ارای ----- ۲۶
- جدول شماره ۲-۲. نتایج آزمایشات سه محوری و تعیین ضریب گسیختگی ----- ۲۸
- جدول شماره ۲-۳. زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی تعیین شده از نتایج آزمایشات سه محوری ----- ۲۹
- جدول شماره ۲-۵. خصوصیات خاک ماسه‌ای از ساحل خزر ----- ۲۹
- جدول شماره ۲-۴. خصوصیات خاک رسوبی ----- ۳۱
- جدول شماره ۲-۵. پارامترهای مدل برای رفتار *pre-peak* و *post-peak* ----- ۳۷
- جدول شماره ۲-۶. مشخصات المان‌های مسلح کننده خاک رس ----- ۳۹
- جدول شماره ۳-۱. خصوصیات مکانیکی خاک رسوبی ----- ۴۸
- جدول شماره ۳-۲. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ژئوتکستایل ----- ۴۹
- جدول شماره ۳-۳. خصوصیات مکانیکی المان واسط ----- ۵۰
- جدول شماره ۳-۴. مشخصات سه نوع ژئوتکستایل مختلف ----- ۵۹
- جدول شماره ۳-۵. خصوصیات مکانیکی خاک با توجه به میزان تراکم ----- ۶۱
- جدول شماره ۳-۶. مشخصات نمونه‌ها با تراکم نسبی و رطوبت متفاوت ----- ۶۲
- جدول شماره ۳-۷. نتایج تحلیل مدل‌های عددی با تراکم نسبی متفاوت که پس از ترسیم پوش گسیختگی بدست آمده‌اند ----- ۶۳
- جدول شماره ۴-۱. پارامترهای هندسی مورد بررسی شیروانی و محدوده تغییرات آنها ----- ۷۸
- جدول شماره ۴-۲. مشخصات یک مدل پیش‌فرض از شیروانی مسلح و غیرمسلح ----- ۷۹
- جدول شماره ۴-۳. پارامترهای موثر بر پایداری شیروانی و محدوده تغییرات آنها ----- ۸۱

جدول شماره ۴-۴. مشخصات مدل‌سازی‌های انجام شده برای شیروانی‌های مسلح و غیرمسلح ----- ۹۳

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. ژئوتکستایل بافته شده تک رشته‌ای ----- ۱۱
- شکل ۲-۲. ژئوتکستایل بافته شده چند رشته‌ای ----- ۱۱
- شکل ۲-۲. ژئوتکستایل با تار و پود بصورت غشاء نازک ----- ۱۱
- شکل ۴-۲. ژئوتکستایل بی بافت با اتصال حرارتی ----- ۱۲
- شکل ۳-۲. ژئوتکستایل بی بافت پانچ سوزنی ----- ۱۲
- شکل ۴-۲. شکل چند نمونه ژئوکامپوزیت ----- ۱۲
- شکل ۵-۲. تنش و کرنش در المان خاک غیر مسلح ----- ۱۶
- شکل ۶-۲. تنش و کرنش در المان خاک مسلح ----- ۱۷
- شکل ۷-۲. مقاومت برشی در المان خاک غیر مسلح ----- ۱۷
- شکل ۸-۲. گسیختگی المان خاک مسلح ----- ۱۸
- شکل ۹-۲. انواع مختلف مقاومت برشی در سطح تماس خاک-ژئوتکستایل ----- ۲۰
- شکل ۱۰-۲. (الف) جعبه آزمایش برش مستقیم، (ب) آزمایش بیرون کشیدن ----- ۲۰
- شکل ۱۱-۲. پلان و نحوه قرارگیری عناصر تسلیح ----- ۲۶
- شکل ۱۲-۲. نحوه آرایش و قرارگیری عناصر تسلیح ----- ۳۰
- شکل ۱۳-۲. دو نوع ژئوتکستایل *CTG* و *FTG* ----- ۳۵
- شکل ۱۴-۲. بردارهای جابجایی (الف) در مرحله تشکیل کامل گوه گسیختگی (ب) در مرحله بعد از تشکیل کامل گوه گسیختگی ----- ۴۱
- شکل ۱۵-۲. کرنش‌های برشی (الف) خاکریز غیر مسلح (ب) خاکریز مسلح ----- ۴۲
- شکل ۱-۳. مدل عددی نمونه غیر مسلح ----- ۵۱

- شکل ۳-۲. مدل عددی نمونه مسلح ----- ۵۱
- شکل ۳-۳. نحوه اعمال نرخ کرنش برشی ----- ۵۲
- شکل ۳-۴. بردارهای تغییر مکان برشی نمونه پس از اعمال نرخ کرنش برشی ----- ۵۲
- شکل ۴-۱. شمایی از مدل شیروانی ایجاد شده در نرم افزار ----- ۷۸
- شکل ۴-۲. روند تغییر شکل شیروانی ۱:۳ غیرمسلح ----- ۹۴
- شکل ۴-۳. روند تغییر شکل شیروانی ۱:۳ مسلح ----- ۹۷

## فهرست نمودارها

- نمودار ۱-۲. تاثیر زهکش‌ها در افزایش مقاومت خاک و سرعت پراکندگی *PWP* ----- ۱۴
- نمودار ۱-۲. پوش گسیختگی برای خاک ماسه ای مسلح و غیرمسلح ----- ۱۹
- نمودار ۳-۲. نمودار هیپربولیکی تنش-کرنش خاک ----- ۲۲
- نمودار ۲-۲. نمودار هیپربولیکی تغییر یافته تنش-کرنش خاک ----- ۲۲
- نمودار ۵-۲. نمودار تغییر مدول تانژانت اولیه خاک ----- ۲۴
- نمودار ۳-۲. نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های مسلح و غیرمسلح (برای فشار محصورکننده  $kpa$  ۳۵٫۰) ---  
۲۷
- نمودار ۷-۲. نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های مسلح و غیرمسلح ( برای فشار محصورکننده  
 $kpa$  ۱۳۸٫۰) ----- ۲۷
- نمودار ۴-۲. الف) نمودار تنش انحرافی-کرنش محوری و نمودار تغییرات کرنش حجمی به کرنش محوری برای  
نمونه‌ها با آرایش  $۲a$  و  $۴a$  تحت تنش نرمال  $kpa$  ۱۰۰ ب) پوش گسیختگی خاک ماسه ای مسلح و غیر مسلح با  
آرایش  $۴a$  - نمودارهای خط چین برای نمونه با سایز  $۳۸ mm$  و نمودارها با خط ممتد برای نمونه با سایز  
 $۱۰۰mm$  می‌باشند ----- ۳۱
- نمودار ۹-۲. نمودارهای تنش برشی-تغییر شکل برشی و اتساع- تغییر شکل برشی برای خاک رسوبی غیر  
مسلح ----- ۳۲
- نمودار ۱۰-۲. نمودارهای تنش برشی-تغییر شکل برشی و اتساع- تغییر شکل برشی برای خاک رسوبی مسلح - ۳۲
- نمودار ۱۱-۲. تنش برشی-کرنش برشی خاک رسوبی مسلح با زوایای مختلف و پوش گسیختگی خاک رسوبی  
مسلح و غیر مسلح ----- ۳۳
- نمودار ۱۲-۲. پوش گسیختگی خاک رسوبی غیر مسلح و مسلح با زوایای تسلیح مختلف ----- ۳۳
- نمودار ۵-۲. نتایج آزمایش برش مستقیم روی ماسه کالپی ----- ۳۴

- نمودار ۲-۱۴. رفتار سطح واسط *FTG*-ماسه کالپی ----- ۳۵
- نمودار ۲-۶. رفتار سطح واسط *CTG*-ماسه کالپی ----- ۳۵
- نمودار ۲-۷. نمودار کلی تنش-تغییر مکان سطح واسط ----- ۳۶
- نمودار ۲-۱۷. نمودار مقاومت نرمال شده با تغییر مکان پلاستیک برای سطح واسط دو نوع ژئوتکستایل و ماسه کالپی ----- ۳۸
- نمودار ۲-۸. مقایسه رفتار سطح واسط پیش بینی شده و آزمایشگاهی ----- ۳۸
- نمودار ۲-۹. منحنی‌های تنش-کرنش المان‌های تسلیح در آزمایش کشش عرضی ----- ۳۹
- نمودار ۲-۱۰. تغییرات باربری خاک رس مسلح شده با المان‌های متفاوت بر حسب نسبت نشست خاک به بعد پی ----- ۴۰
- نمودار ۳-۱. الف) نمودار صحت سنجی تغییر شکل برشی-تنش برشی نمونه مسلح ----- ۵۳
- نمودار ۳-۲. پوش گسیختگی نمونه خاک غیر مسلح ----- ۵۴
- نمودار ۳-۳. پوش گسیختگی نمونه خاک مسلح ----- ۵۴
- نمودار ۳-۴. مقایسه تغییرات تنش برشی بیشینه و نیروی محوری ایجاد شده در ژئوتکستایل در تنش‌های نرمال متفاوت در اثر تغییر زبری ----- ۵۷
- نمودار ۳-۵. مقایسه تغییرات تنش برشی بیشینه و نیروی محوری ایجاد شده در ژئوتکستایل در تنش‌های نرمال متفاوت در اثر تغییر سختی تسلیح ----- ۵۸
- نمودار ۳-۶. پوش گسیختگی ترسیمی برای سه نوع ژئوتکستایل مختلف ----- ۶۰
- نمودار ۳-۷. صحت سنجی نتایج تحلیل مدل‌های عددی با نتایج آزمایشگاهی الف) خاک غیر مسلح با تراکم ۸۵٪ و رطوبت ۲۶٪ ب) خاک غیر مسلح با تراکم ۱۰۰٪ و رطوبت ۲۴/۶٪ ----- ۶۲
- نمودار ۳-۸. تغییر زاویه اصطکاک مدل‌های تحلیل شده با رطوبت‌های متفاوت ----- ۶۴
- نمودار ۳-۹. تغییر زاویه اصطکاک مدل‌های تحلیل شده با درصد تراکم‌های متفاوت ----- ۶۴



- نمودار ۳-۱۰. تغییر چسبندگی مدل‌های تحلیل شده با رطوبت‌های متفاوت ----- ۶۵
- نمودار ۳-۱۱. پوش گسیختگی خاک غیر مسلح با نسبت پواسون‌های متفاوت ----- ۶۶
- نمودار ۳-۱۲. نمودار پوش گسیختگی خاک مسلح با نسبت پواسون‌های متفاوت ----- ۶۷
- نمودار ۳-۱۳. تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک در برابر تغییر نسبت پواسون ----- ۶۸
- نمودار ۳-۱۴. نمودار پوش گسیختگی الف) نمونه‌های غیرمسلح و ب) نمونه‌های مسلح با تغییر زاویه اصطکاک داخلی خاک ----- ۶۹
- نمودار ۳-۱۵. نسبت تنش برشی بیشینه نمونه خاک مسلح به غیر مسلح در برابر تغییرات زاویه اصطکاک ---- ۷۰
- نمودار ۳-۱۶. پوش گسیختگی نمونه غیر مسلح با تغییر چسبندگی خاک ----- ۷۱
- نمودار ۳-۱۷. پوش گسیختگی نمونه مسلح با تغییر چسبندگی خاک ----- ۷۲
- نمودار ۳-۱۸. نسبت تنش برشی بیشینه نمونه خاک مسلح به غیر مسلح در برابر تغییرات چسبندگی خاک -- ۷۳
- نمودار ۴-۱. ضریب کاهش مقاومت-تغییر مکان ماکزیمم افقی برای نمونه شیروانی غیرمسلح ----- ۸۰
- نمودار ۴-۲. ضریب کاهش مقاومت-تغییر مکان ماکزیمم افقی برای نمونه شیروانی مسلح با ۱۰ صفحه ژئوتکستایل ----- ۸۰
- نمودار ۴-۳. تغییرات ارتفاع شیروانی و ضریب ایمنی ----- ۸۲
- نمودار ۴-۴. نمودار تغییرات ضریب ایمنی نسبت به تعداد لایه های تسلیح در ارتفاع‌های متفاوت از شیروانی -- ۸۳
- نمودار ۴-۵. نمودار تغییرات زاویه شیب شیروانی و ضریب ایمنی ----- ۸۳
- نمودار ۴-۶. نمودار تغییرات ضریب ایمنی نسبت به تعداد لایه های تسلیح در شیب‌های متفاوت از شیروانی -- ۸۴
- نمودار ۴-۷. نمودار تغییر ارتفاع و شیب شیروانی به حالت پیش فرض در برابر تغییرات ضریب ایمنی نسبت به حالت پیش فرض برای شیروانی غیر مسلح ----- ۸۵
- نمودار ۴-۸. نمودار تغییر ارتفاع و شیب شیروانی به حالت پیش فرض در برابر تغییرات ضریب ایمنی نسبت به حالت پیش فرض برای شیروانی مسلح با ده لایه تسلیح ----- ۸۵

- نمودار ۹-۴. نمودار تغییرات چسبندگی شیروانی و ضریب ایمنی ----- ۸۶
- نمودار ۱۰-۴. نمودار تغییرات ضریب ایمنی شیروانی نسبت به تعداد لایه های تسلیح در چسبندگی های متفاوت خاک ----- ۸۶
- نمودار ۱۱-۴. نمودار تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک و ضریب ایمنی شیروانی ----- ۸۷
- نمودار ۱۲-۴. نمودار تغییرات ضریب ایمنی شیروانی نسبت به تعداد لایه های تسلیح در زاویه اصطکاک داخلی متفاوت خاک ----- ۸۷
- نمودار ۱۳-۴. نمودار تغییر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک به حالت پیش فرض در برابر تغییرات ضریب ایمنی نسبت به حالت پیش فرض برای شیروانی غیر مسلح ----- ۸۸
- نمودار ۱۴-۴. نمودار تغییر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک به حالت پیش فرض در برابر تغییرات ضریب ایمنی نسبت به حالت پیش فرض برای شیروانی مسلح با ده لایه تسلیح ----- ۸۹
- نمودار ۱۵-۴. نمودار تغییرات زاویه اصطکاک سطح واسط خاک و تسلیح و ضریب ایمنی شیروانی ----- ۹۰
- نمودار ۱۶-۴. نمودار تغییرات ضریب ایمنی شیروانی در برابر تغییرات رطوبت و تراکم ----- ۹۰
- نمودار ۱۷-۴. نمودار تغییرات تعداد لایه های تسلیح و ضریب ایمنی شیروانی برای تراکم های مختلف خاک --- ۹۱
- نمودار ۱۸-۴. تغییرات نسبت تغییر شکل افقی و قائم به ارتفاع شیروانی ۱:۳ در برابر اضافه تنش های اعمالی به شیروانی غیرمسلح ----- ۹۴
- نمودار ۱۹-۴. نمودار تغییرات نسبت تغییر شکل افقی و قائم به ارتفاع شیروانی ۱:۳ در برابر نسبت فاصله افقی از سطح شیروانی غیرمسلح به ارتفاع آن برای اضافه بار اعمالی به میزان ۵۰۰ کیلوپاسکال ----- ۹۵
- نمودار ۲۰-۴. زون برشی شیروانی ۱:۳ غیرمسلح در تراز  $H/1$  ----- ۹۶
- نمودار ۲۱-۴. زون برشی شیروانی ۱:۳ غیرمسلح در تراز  $H/3$  ----- ۹۷
- نمودار ۲۲-۴. تغییرات نسبت تغییر شکل افقی و قائم به ارتفاع شیروانی ۱:۳ در برابر اضافه تنش های اعمالی به شیروانی مسلح ----- ۹۸

- نمودار ۴-۲۳. نمودار تغییرات نسبت تغییر شکل افقی و قائم به ارتفاع شیروانی ۱:۳ در برابر نسبت فاصله افقی از سطح شیروانی به ارتفاع آن برای اضافه بار اعمالی به میزان ۵۰۰ کیلوپاسکال ----- ۹۹
- نمودار ۴-۲۴. زون برشی شیروانی ۱:۳ مسلح در تراز  $H/1$  ----- ۱۰۰
- نمودار ۴-۲۵. زون برشی شیروانی ۱:۳ مسلح در تراز  $H/3$  ----- ۱۰۰
- نمودار ۴-۲۶. تغییرات نسبت تغییر شکل افقی به ارتفاع شیروانی ۱:۳ در تراز  $H/1$  و فواصل افقی متفاوت از پاشنه شیروانی مسلح و غیرمسلح در برابر اضافه تنش وارده به شیروانی ----- ۱۰۱
- نمودار ۴-۲۷. تفاوت تغییر شکل افقی شیروانی ۱:۳ مسلح و غیر مسلح در طول ژئوتکستایل و در ترازهای مختلف ----- ۱۰۲
- نمودار ۴-۲۸. تفاوت تغییر شکل افقی شیروانی ۱:۳ مسلح و غیر مسلح در طول ژئوتکستایل و در ترازهای مختلف ----- ۱۰۳
- نمودار ۴-۲۹. تفاوت تغییر شکل افقی شیروانی ۱:۱ مسلح و غیر مسلح در طول ژئوتکستایل و در ترازهای مختلف ----- ۱۰۴

# فصل اول

## پیشگفتار