

تحلیل پایداری شیروانی‌های خاکی

و آموزش کاربردی نرم‌افزار

GeoStudio (SLOPE/W)

تألیف

دکتر فرزین سلیمانی

(عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه تبریز)

مهندس بهرام نورانی

(دانشجوی دکترای سازه‌های آبی دانشگاه تبریز)

مهندس رضا نوروزی

(دانشجوی دکترای سازه‌های آبی دانشگاه تبریز)

سرشناسه	:	سلماسی، فرزین، ۱۳۴۸ -
عنوان و نام پدیدآور	:	تحلیل پایداری شیروانی‌های خاکی و آموزش کاربردی نرم‌افزار GeoStudio(SLOPE/W)/تألیف فرزین سلماسی، بهرام نورانی، رضا نوروزی.
مشخصات نشر	:	تهران: ماراویا، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	:	۲۹۹ ص.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۹۷۷۳۸-۷-۹
وضعیت فهرست نویسی	:	فیا
یادداشت	:	کتابنامه.
موضوع	:	شیب‌ها (مکانیک خاک) -- پایداری -- الگوهای ریاضی
موضوع	:	Slopes (Soil mechanics) -- Stability -- Mathematical models
موضوع	:	شیب‌ها (مکانیک خاک) -- پایداری -- نرم‌افزار
موضوع	:	Slopes (Soil mechanics) -- Stability -- Software
شناسه افزوده	:	نورانی، بهرام، ۱۳۴۹ -
شناسه افزوده	:	Nourani, Bahram
شناسه افزوده	:	نوروزی، رضا، ۱۳۷۰ -
شناسه افزوده	:	Norouzi, Reza
رده بندی کد ره	:	TAV۱۰/س۸ت۳ ۱۳۹۷
رده بندی دیویی	:	۱۵۱/۶۳۴
شماره کتابشناسی ملی	:	۵۵، ۲۳



عنوان کتاب: تحلیل پایداری شیروانی‌های خاکی و آموزش کاربردی نرم‌افزار GeoStudio(SLOPE/W)

تألیف: فرزین سلماسی - بهرام نورانی - رضا نوروزی

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۸

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

انتشارات: ماراویا

قیمت: ۳۵۰۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: خدمات چاپ و نشر آنلاین

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۷۷۳۸-۷-۹

طرح جلد از: مهندس حامد شیرعلیزاده

نشانی: تهران، شهرک شهید الخچیان، خیابان نور، جنب فضای سبز - تلفن: ۰۹۱۴۴۱۴۲۶۳۴

فهرست مطالب

۱۹	پیشگفتار.....
۲۳	فصل اول: مبانی تحلیل پایداری شیروانی‌های خاک.....
۲۴	۱-۱ مقدمه.....
۲۷	۲-۱ ضریب اطمینان پایداری.....
۲۸	۳-۱ پایداری شیب نامحدود.....
۳۱	۴-۱ شیب محدود با نشست ثابت.....
۳۶	۵-۱ ضریب محدود- کلیات.....
۳۶	۵-۱ بررسی شیب محدود با سطح شکست صفحه‌ای (روش کالمن، ۱۸۷۵).....
۴۰	۵-۱-۲ بررسی شیب محدود با سطح شکست دایره‌ای- عادی.....
۴۱	۵-۱-۲-۱ روش بی‌رسی پایداری.....
۴۱	۵-۱-۲-۱ روش ساده- شیب در خاک همگن با $\phi = 0$
۵۰	۵-۱-۲-۲ پیشرفت‌های اخیر در مورد نوع دایره بحرانی شیب‌های رسی ($\phi = 0$).....
۵۱	۵-۱-۲-۳ روش لغزش توده- شیب در خاک همگن با $(c' - \phi')$
۵۸	۶-۱ تجزیه و تحلیل میچالوفسکی (۲۰۰۲).....
۶۰	۷-۱ تجزیه و تحلیل استوار، شیواکوگا، ساکالا و دان (۲۰۱۱).....
۶۵	۸-۱ روش قطعه‌ای معمولی.....
۷۰	۹-۱ روش ساده شده بیشاپ برای قطعات.....
۷۳	۱۰-۱ تجزیه و تحلیل پایداری با روش قطعات در حالت نشست ثابت.....
۷۴	۱۱-۱ راه حل برای حالت نشست ثابت.....
۷۴	۱۱-۱-۱ راه حل بیشاپ و مورگنشترن.....
۷۵	۱۱-۱-۲ راه حل اسپنسر.....
۸۲	۱۱-۱-۳ راه حل میچالوفسکی.....
۸۵	۱۲-۱ روش قطعه‌ای مورگنشترن در شرایط تخلیه سریع آب پشت شیب خاک.....
۸۹	۱۳-۱ تغییرات ضریب اطمینان پایداری شیب در خاکریزهای رسی در شرایط رس اشباع.....
۹۱	۱۴-۱ خاکبرداری رس اشباع.....
۹۳	مسائل.....
۹۳	۱۵-۱ مسائل همراه با حل تشریحی.....
۱۱۱	۱۶-۱ مسائل تستی بدون حل تشریحی.....
۱۲۰	۱۷-۱ مسائل تشریحی بدون حل.....

فصل دوم: اصول کار با نرم افزار GEOSTUDIO-2012 ۱۲۳

۱-۲	مقدمه	۱۲۴
۲-۲	مفاهیم کاربردی در نرم افزار	۱۲۴
۱-۲-۲	روش های تعیین پایداری شیب ها در SLOPE/W	۱۲۴
۲-۲-۲	روش Grid and Radius	۱۲۵
۳-۲	بهینه سازی ضریب اطمینان	۱۲۵
۴-۲	عوامل موثر بر پایداری شیب	۱۲۶
۵-۲	استفاده از شرایط ماندگاری جریان در تعیین پارامترهای مکانیکی	۱۲۶
۶-۲	مدل های مقاومتی موجود در نرم افزار	۱۲۷
۶-۲-۱	مدل موهر - کولمب	۱۲۷
۶-۲-۲	مدل هکشی نشده	۱۲۹
۶-۲-۳	مدل نورن - رومت	۱۲۹
۶-۲-۴	مدل مقاومت - بیرمال و د	۱۲۹
۶-۲-۵	مدل بایلینر	۱۲۹
۶-۲-۶	مدل مقاومت تابعی از عمق	۱۳۰
۶-۲-۶-۱	مدل مقاومت نسبت به عمق	۱۳۰
۶-۲-۶-۲	مدل مقاومت نسبت به سطح مشخص	۱۳۱
۶-۲-۷	مدل مقاومت غیرهمرود	۱۳۲
۶-۲-۸	مدل مقاومت نقاط داده ای نرمال	۱۳۲
۶-۲-۹	مدل مقاومت با استفاده از تابع غیرهمرود	۱۳۳
۶-۲-۱۰	مدل مقاومت برشی زهکشی نشده - اصطکاکی	۱۳۵
۶-۲-۱۱	SHANSEP or Strength = f(Overburden) مدل	۱۳۵

فصل سوم: ارائه مثال های کاربردی ۱۳۷

۱-۳	تعیین ضریب اطمینان پایداری برای یک شیب ساده و همگن به روش معمولی و بیشاپ با نرم افزار	
SLOPE/W		۱۳۸
۲-۳	تعیین ضریب اطمینان پایداری برای یک شیب ساده و همگن به روش بیشاپ و مورگنشترن - پرایس با	
SLOPE/W		۱۴۳
۳-۳	تعیین ضریب اطمینان پایداری برای یک شیب متشکل از دو لایه به روش مورگنشترن - پرایس با نرم افزار	
SLOPE/W		۱۴۲

۳-۴ ضریب اطمینان پایداری شیب خاکریز در حالت خاک خشک و اشباع با افت سطح آب و تعیین نوع دایره لغزش.....	۱۹۶
۳-۵ بررسی اثر هسته رسی قائم و مایل بر پایداری شیب در سدهای خاکی.....	۲۰۶
۳-۶ بررسی عملکرد زهکش‌های افقی در افزایش پایداری شیب‌های خاکی در بارندگی‌های شدید با شبیه‌سازی عددی.....	۲۱۱
ضمیمه.....	۲۱۹
مراحل نصب و فعالسازی نرم‌افزار GEOSTUDIO-2012.....	۲۲۰
پاسخنامه به سوالات امتحانی.....	۲۲۸
مراجع.....	۲۲۹

پیشگفتار

به توده خاک‌های طبیعی یا مصنوعی که سطح آن‌ها با افق زاویه می‌سازد، سطح شیب‌دار می‌گویند. عوامل طبیعی مانند حرکت یخچال‌ها، هوازدهی، فرسایش، نهشته شدن و رسوب‌گذاری، سبب ایجاد توده‌های خاکی شیب‌دار طبیعی از قبیل تپه‌ها، کوه‌ها، دامنه رودخانه‌ها و تشکیلات ساحلی می‌شوند. انواع پرشدگی‌ها مانند خاکریزها، سدهای خاکی، بندها و انواع بریدگی‌ها شامل بریدگی‌های بزرگراه، راه آهن، دیوار کانال و حفاری‌های پی‌ها و ترانشه نمونه‌هایی از شیب‌های مصنوعی می‌باشند. شیب‌ها تحت تاثیر نیروی ثقل و تغییرات آن می‌باشند. وجود دو عامل نیروی جاذبه و آب به طور همزمان، از عوامل اولیه و مستقیمی هستند که سبب تغییر در شیب‌ها می‌شوند. همچنین شیب‌ها تحت تاثیر پدیده‌های طبیعی از قبیل واکنشر شیمیایی، زلزله و نیروهای یخچالی یا باد واقع می‌شوند که می‌تواند ناگهانی، آهسته یا به تدریج باشد. پیش‌بینی این تغییرات، کار مشکلی است و جلوگیری از بروز این تغییرات مسئله مهم‌تری برای مهندسان می‌باشد.

از دیدگاه مهندسی، اگر ضریب اطمینان یک شیب را حساب‌نمایی باشد، شیب مشکل پایداری نخواهد داشت. لذا پایداری یک شیب یک واژه نسبی است. برای تحلیل یک سد خاکی در حالت نرمال یا طبیعی، ضریب اطمینان شیب بالادست و پایین‌دست باید حداقل ۱/۵ بدست آید تا مورد قبول باشد. ولی برای همین سد در حالت وقوع زلزله، ضریب اطمینان ۱/۲ نیز قابل قبول خواهد بود.

در سال ۱۹۱۶ در گوتنبرگ و سوئد، تحقیقاتی پیرامون لغزش‌ها، در حوضه کانال پاناما انجام گرفت. همچنین در همین دوره زمانی جریان خاکی عظیمی در رس‌های نزدیک ساحل ژوئیب گوئیک در سال ۱۸۹۸ اتفاق افتاد که تحقیقاتی جهت ایجاد یک تحلیل سیستماتیک و نظام‌مند برای پایداری شیب‌ها به وجود آورد. در این زمینه، برخی از مهندسان سوئدی مطمئن‌ترین روش را برای تحلیل پایداری شیب‌ها ارائه کردند که هنوز نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از این روش‌ها همراه با سایر روش‌ها در داخل محتوای این کتاب مورد بحث قرار خواهند گرفت.

ابزارهای تحلیلی موجود برای ارزیابی پایداری شیب‌ها عموماً ترکیبی از موارد تئوری همراه با مشاهدات و شواهد تجربی است. همانطور که در مورد اغلب مسائل خاک‌ها مشخص است، ارزیابی

عوامل مورد نظر مشکل است. این عوامل زیاد بوده و به هم وابسته‌اند و همراه با تغییرات محیط تغییر می‌یابند. به عنوان مثال هنگامی که تنش‌های برشی بر روی یک شیب برابر یا بیشتر از مقاومت برشی خاک می‌شوند، گسیختگی در آستانه ظهور خواهد بود. ارزیابی بزرگی تنش برشی و مقاومت برشی به عوامل پیچیده‌ای وابسته است، بنابراین پیش‌بینی گسترش احتمالی حرکت تدریجی شیب و متعاقباً پایداری یک شیب، یک ارزیابی از تنش‌های برشی و مقاومت برشی است.

در حالی که بخشی از این کتاب تئوری‌های مسئله پایداری شیب را بیان می‌کند، بخش دیگر در مورد تکنیک کلی مدل سازی با نرم افزار مرتبط می‌باشد. مدل سازی یک نوع مهارت است که فراگیری آن لازم می‌باشد. دانش یک نرم افزار ما را به یک مدل ساز ماهر تبدیل نمی‌کند. مدل سازی درست، نیاز به تفکر دقیق و برنامه ریزی دارد و همچنین یک درک خوب از مفاهیم بنیادی فیزیک را لازم دارد. جهت حل مسائل مهندسی نرم افزارها، نسبتاً زیادی در دسترس می‌باشد. بعضی از این نرم افزارها بدون دانستن تئوری‌های مربوطه منجر به من نادانیت مسائل می‌گردد که نیاز به دانستن تئوری وجود دارد. همچنین در زمینه مدل سازی این مسائل نیاز به رعایت نکاتی می‌باشد تا مدل ارائه شده حداکثر شباهت را با شرایط واقعی مسئله داشته باشد. در کتاب حاضر به بر آن شده تا ابتدا تئوری‌های مربوطه بیان شده و سپس بهترین نرم افزار مرتبط به همراه نکات لازم در مدل سازی برای علاقمندان قدم به قدم معرفی گردد.

کتابی که در پیش رو دارید به شرح مسئله پایداری شیبها (پایداری شیروانی‌های خاک) می‌پردازد. عوامل مختلفی بر پایداری شیبها تأثیر دارند که این پارامترها شامل چسبندگی خاک، ضریب اصطکاک داخلی خاک، تنش‌های موجود و تراز آب می‌باشند. این پارامترها به نوعی در مقاومت بخشی سطح لغزش موثر می‌باشند. روش‌های تعادل حدی^۱ (LEM) از جمله قدیمی‌ترین روش‌ها برای بررسی پایداری شیبها، تعیین سطح لغزش بحرانی و مقدار کمینه ضریب اطمینان می‌باشند. یکی از نرم افزارهای قدرتمند در زمینه بررسی پایداری شیبها نرم افزار GeoStudio می‌باشد که مدل سازی مسائل مربوط به پایداری شیب با این نرم افزار توسط زیر مجموعه SLOPE/W انجام می‌گیرد که روش کار با این نرم افزار در این کتاب بیان خواهد گردید.

¹ Limit Equilibrium Method

همانطور که اشاره گردید نرم افزار SLOPE/W جهت بررسی سطوح شیب دار و تعیین ضریب اطمینان در طراحی شیب مورد استفاده قرار می گیرد. این عمل در نرم افزار از طریق روش های تعادل حدی انجام می گیرد. در نرم افزار SLOPE/W برخلاف دیگر نرم افزارهای مجموعه نرم افزاری GeoStudio از روش المان محدود استفاده نمی شود و شامل مجموعه ای از روش های ترسیمی و تعادل حدی برای تحلیل پایداری شیب می باشد.

نسخه های مختلفی از این نرم افزار از سال ها قبل تاکنون قبل توسط شرکت سازنده آن ارائه شده است. جدیدترین نسخه که در دسترس نویسندگان کتاب حاضر بوده، نسخه سال ۲۰۱۲ می باشد. هر چند، نسخه های مختلف GeoStudio تفاوت اساسی با یک دیگر نداشته و با فراگیری یک نسخه، می توان به نسخه های بعدی و جدیدتر، مسلط شد.

این کتاب در چهار فصل تنظیم شده است. در فصل اول به مبانی تئوری روش های پایداری شیب پرداخته شده است. این روش ها در بخش مبانی مکانیک خاک وجود دارند. در این کتاب برای فصل اول تصمیم بر آن شد که ترجمه فصل ۱۵ کتاب معروف "مبانی مهندسی ژئوتکنیک" تألیف داس و سبحان مورد استفاده قرار گیرد. از آخرین ویرایش موجود (ویرایش هشتم) در سال ۲۰۱۴ استفاده گردید. فصل اول با ارائه تعدادی از مسائل خاتمه می یابد. اکثر این مسائل، رای پاسخ های تشریحی هستند ولی برخی بدون جواب و بر عهده خواننده گذاشته شده است. پاسخ نامه سوالات تستی در ضمیمه کتاب آورده شده است. در فصل دوم به اصول کار با نرم افزار GeoStudio پرداخته شده است. معرفی منوهای مختلف شبیه سازی در این فصل ارائه شده تا کاربر با محیط نرم افزار آشنایی پیدا کند. ضمیمه نسخه ۲۰۱۲ نرم افزار GeoStudio استفاده شده است. در فصل سوم به ارائه مثال های کاربردی تهیه ضریب اطمینان پایداری شیب های مختلف پرداخته شده است تا دانشجویان و مهندسين گام به گام با توضیحات ارائه شده، قادر به حل مسئله شوند. فصل چهارم که ضمیمه نامگذاری شده، مراحل نصب و فعال سازی نرم افزار GeoStudio را توضیح می دهد.

امید است که این کتاب راهنمای مناسب و خوبی برای علاقمندان باشد. کتاب حاضر می تواند مورد استفاده برای رشته های علوم و مهندسی آب (در دانشکده کشاورزی)، مهندسی عمران و سایر تخصص -

های مرتبط (مانند علوم زمین‌شناسی، جغرافیا و آب‌خیزداری) در سطوح دانشگاهی و شرکت‌های مهندسی مشاور باشد. بدیهی است که هر اثری خالی از اشکال و کاستی نیست. گردآورندگان این کتاب از دریافت کردن نقایص کارشان توسط صاحب‌نظران و علاقه‌مندان خرسند خواهند شد و از انتقادهای سازنده ایشان استقبال خواهند کرد. بنابراین باعث مباهات و افتخار خواهد بود که این موارد استخراج و از طریق پست الکترونیکی جهت بهبود و تکمیل کتاب حاضر ارسال گردد.

فرزین سلماسی (Salmasi@tabrizu.ac.ir)

بهرام نورانی (Nourani.Bahram@tabrizu.ac.ir)

رضا نوروزی (Rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir)

دی ماه ۱۳۹۷