

بسم الله الرحمن الرحيم

مهندسی شیب‌های سنگی

تأليف

دکتر نادرها'دوف

استاد بخش مهندسی راه و ساختمان و محیط زیست دانشگاه شیراز

مهندس رضا رودکی

دانش‌آموخته‌ی تحصیلات تکمیلی بخش راه، ساختمان و محیط‌زیست دانشگاه شیراز

نشر آینه

۱۳۹۷

شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۹۵۷۱۹-۴-۹
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۴۰۳۷۷۱
عنوان و نام پدیدآور	: مهندسی شیب‌های سنگی / تألیف نادر هاتف، رضا رودکی.
مشخصات نشر	: شیراز: آینه، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۲۴۸ ص.: مصور، جدول، نمودار.
موضوع	: شیب‌های سنگی
موضوع	: Rock slopes
رده بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۵۱۳۶۳
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۷ ۹م۲۵/۷۰۶TA
سرشناسه	: هاتف، نادر، ۱۳۳۸ -
شناسه افزوده	: رودکی، رضا، ۱۳۶۹ -
وضعیت فهرست نویسی	: فیا

عنوان: مهندسی شیب‌های سنگی

تألیف: دکتر نادر هاتف، استاد بخش مهندسی راه و ساختمان و محیط زیست دانشگاه شیراز
مهندس رضا رودکی، کارشناسی ارشد بخش راه، ساختمان و محیط‌زیست دانشگاه شیراز

ناشر: آینه؛ شیراز

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۵۷۱۹-۴-۹

نوبت چاپ: اول، ۱۳۹۷

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

نشر آینه: شیراز، بلوار زند، کوچه ۴۴، مجتمع پارس تلفکس: ۰۷۱۳۲۳۴۸۲۲۸

nashrayene@gmail.com

پیش‌گفتار

نوشتار فرارو، جهت تامین منبعی در دسترس به زبان پارسی درزمینه‌ی تحلیل و طراحی شیب‌های سنگی فراهم شده است. در این راستا پیش‌تر از نگارنده، دو مجلد دیگر به نام‌های "مکانیک سنگ و طراحی پی‌رسانی" و "مهندسی تونل" ارائه شده است.

مطالب این کتاب ساماندهی و بحث علمی می‌باشد:

(الف) روش‌های طراحی

روش‌های طراحی شیب‌های سنگی، به دسته‌ی تحلیل تعادل حدى و تحلیل عددی تقسیم‌بندی می‌شوند. در تحلیل تعادل حدى، ضرایب اطمینان شیب در مقابل گسیختگی‌های صفحه‌ای، دایره‌ای، گوه‌ای و واژگونی محاسبه می‌شوند. نوع گسیختگی، شیب، وسط خصوصیات زمین‌شناسی آن ناحیه مشخص می‌شود. این مباحث در فصل‌های ۲ تا ۵ کتاب مطرح شده‌اند.

در انتهای هر فصل، مثالی کاربردی از مباحث همان فصل طرح شده است که مطالعه آن خوانندگان را با کاربردهای مستقیم مطالب طرح‌شده آشنا می‌سازد.

(ب) پایدارسازی و پایش شیب‌ها

- روش‌های پایدارسازی شامل مسلح‌سازی سنگ‌ها با مهار و پیچ سنگ، حذف سنگ‌ها، استفاده از لقی‌گیری و انفجار و نگهداشتن سنگ‌ها با احداث کانال، فنس و سایه بان در فصل شش این کتاب مورد بحث قرار می‌گیرد.

- پایش شیب‌های سنگی اغلب به‌عنوان یکی از فعالیت‌های مهم و حیاتی به شمار می‌رود. در فصل هفتم کتاب، روش‌های پایش سطحی و زیرسطحی و همچنین روش‌های تفسیر نتایج مورد بحث قرار می‌گیرد.

مطالب این کتاب برگرفته از کتب مرجعی است که طی ۲۸ سال گذشته توسط نگارنده طی تدریس دروس مکانیک سنگ در بخش مهندسی راه، ساختمان و محیط‌زیست دانشگاه شیراز استفاده شده است.

در تهیه‌ی این اثر، ابتدا سپاس‌گزار الطاف پروردگار بزرگ و سپس مرهون همکاری صمیمانه‌ی مهندس رضا رودکی، دانش‌آموخته‌ی تحصیلات تکمیلی بخش راه، ساختمان و محیط‌زیست دانشگاه شیراز می‌باشم که در فراهم آوردن این مجموعه از هرگونه تلاش دریغ نورزیده‌اند.

همچنین از مدیران و کارشناسان محترم شرکت مهندسی مشاور فراشار آسیا که علاقه‌ی خود را در حمایت معنوی و مالی از انتشار این کتاب ابراز داشته‌اند صمیمانه سپاسگزارم.

در پایان لازم به یادآور است که این اثر خالی از نقص نیست، از این‌رو پیشاپیش از دیدگاه‌ها و پیشنهادهای همه صاحب‌نظران در جهت ارتقای کمی و کیفی مطالب ارایه‌شده استقبال می‌نمایم.

نادر هاتف

استاد بخش راه، ساختمان و محیط‌زیست و
ستوان مودسه‌ی ژئوتکنیک دانشگاه شیراز

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ۱۱
- ۲-۱- طبیعت سنگ ۱۲
- ۳-۱- کاربرد یک سنگ در طراحی شیب‌های سنگی ۱۲
- ۴-۱- اصول مهندسی شیب‌های سنگی ۱۴
- ۱-۴-۱- شیب‌های سنگی در پروژه‌های مهندسی عمران ۱۵

فصل دوم: گسیختگی صخره‌ای

- ۱-۲- مقدمه ۱۹
- ۲-۲- شرایط کلی برای گسیختگی صفحه ۲۰
- ۳-۲- تحلیل گسیختگی صفحه‌ای ۲۰
- ۱-۳-۲- تأثیر آب زیرزمینی بر پایداری ۲۵
- ۲-۳-۲- موقعیت و عمق ترک کششی بحرانی ۲۸
- ۳-۳-۲- ترک کششی به‌عنوان شاخص ناپایداری ۲۸
- ۴-۳-۲- زاویه تمایل صفحه لغزش بحرانی ۳۱
- ۵-۳-۲- تحلیل گسیختگی روی سطح ناهموار ۳۱
- ۴-۲- تسلیح شیب ۳۳
- ۱-۴-۲- تسلیح با مهارهای کششی ۳۴
- ۲-۴-۲- تسلیح با پایدار کننده‌های غیر کششی دوغاب ریزی شده ۳۵
- ۳-۴-۲- تسلیح با دیوار پشت‌بند ۳۷
- ۵-۲- تحلیل لرزه‌ای شیب‌های سنگی ۳۸
- ۱-۵-۲- عملکرد شیب‌های سنگی در حین زمین‌لرزه ۳۹
- ۲-۵-۲- تحلیل خطر لرزه‌ای ۴۱
- ۳-۵-۲- توصیف خصوصیات حرکت زمین ۴۲
- ۴-۵-۲- تحلیل پایداری شبه استاتیک ۴۳

- ۲-۵-۵- تحلیل نیومارک ۴۵
 ۲-۶- مثالی از طراحی احتمالاتی ۴۹
 ۲-۷- مسئله‌ی نمونه ۱-۲: گسیختگی صفحه‌ای- تحلیل و تثبیت ۵۲

فصل سوم: گسیختگی گوه‌ای

- ۳-۱- مقدمه ۵۷
 ۳-۲- تعریف هندسه‌ی گوه ۵۹
 ۳-۳- تحلیل گسیختگی گوه ۶۲
 ۳-۴- تحلیل گوه- شامل چسبندگی، اصطکاک و فشار آب ۶۳
 ۳-۵- نمودارهای پایداری گوه- بر اساس حالات صرفاً اصطکاکی ۶۸
 ۳-۵-۱- مثال تحلیل گوه با استفاده از چارت‌های حالت صرفاً اصطکاکی ۷۵
 ۳-۶- تحلیل جامع گوه ۷۸
 ۳-۶-۱- داده‌های تحلیل جامع ۸۸
 ۳-۶-۲- برنامه‌های کامپیوتری برای تحلیل جامع ۱۰
 ۳-۶-۳- مثالی از تحلیل جامع گوه ۸۲

فصل چهارم: گسیختگی واژگونی

- ۴-۱- مقدمه ۸۵
 ۴-۲- انواع گسیختگی‌های واژگونی ۸۷
 ۴-۲-۱- واژگونی بلوکی ۸۷
 ۴-۲-۲- واژگونی پیچشی ۸۸
 ۴-۲-۳- واژگونی بلوکی-پیچشی ۸۸
 ۴-۲-۴- مدهای ثانویه واژگونی ۸۹
 ۴-۳- جنبش‌شناسی شکست واژگونی بلوکی ۹۱
 ۴-۳-۱- آزمایش شکل بلوک ۹۱
 ۴-۳-۲- آزمایش لغزش بین لایه‌ای ۹۲
 ۴-۳-۳- آزمایش امتداد بلوک ۹۳
 ۴-۴- تحلیل تعادل حدی واژگونی روی پاشنه‌های پله‌ای ۹۴
 ۴-۴-۱- هندسه‌ی بلوک ۹۵
 ۴-۴-۲- پایداری بلوک ۹۷

- ۴-۳-۳- روند محاسبه پایداری واژگونی سیستمی از بلوک‌ها ۱۰۰
- ۴-۴-۴- نیروی کابل موردنیاز برای پایدارسازی یک شیب ۱۰۱
- ۴-۴-۵- ضریب اطمینان برای تحلیل تعادل حدی گسیختگی‌های واژگونی ۱۰۲
- ۴-۴-۶- مثالی از تحلیل تعادل حدی در گسیختگی واژگونی ۱۰۳
- ۴-۴-۷- اعمال نیروهای خارجی روی شیب‌های در معرض واژگونی ۱۰۵
- ۴-۵- تحلیل پایداری واژگونی پیچشی ۱۰۷
- ۴-۶- مسئله نمونه ۴-۱: تحلیل گسیختگی واژگونی ۱۱۰

فصل پنجم گسیختگی دایره‌ای

- ۵-۱- مقدمه ۱۱۲
- ۵-۲- شرایط گسیختگی دایره‌ای و روش‌های تحلیل ۱۱۴
- ۵-۲-۱- شکل سطح لغزش ۱۱۵
- ۵-۲-۲- روش تحلیل پایداری ۱۱۶
- ۵-۳- نحوه به دست آوردن نمودارهای گسیختگی دایره‌ای ۱۱۸
- ۵-۳-۱- فرضیات جریان آب زیرزمینی ۱۲۰
- ۵-۳-۲- ایجاد نمودارهای گسیختگی دایره‌ای ۱۱۱
- ۵-۳-۳- کاربرد نمودارهای گسیختگی دایره‌ای ۱۲۳
- ۵-۴- محل سطح لغزش بحرانی و ترک کششی ۱۲۵
- ۵-۵- مثالی از تحلیل گسیختگی دایره‌ای ۱۲۶
- ۵-۵-۱- مثال ۱- شیب گودال رس چینی ۱۲۷
- ۵-۵-۲- مثال ۲- شیب بزرگراه ۱۲۸
- ۵-۶- تحلیل دقیق‌تر پایداری گسیختگی‌های دایره‌ای ۱۲۹
- ۵-۶-۱- روش قطعات بی شاپ و جانبو ۱۳۱
- ۵-۶-۲- کاربرد معیار گسیختگی غیرخطی در تحلیل پایداری بیشاپ ۱۳۶
- ۵-۶-۳- مثالی از روش‌های تحلیلی بیشاپ و جانبو ۱۳۷
- ۵-۶-۴- برنامه‌های کامپیوتری تحلیل پایداری گسیختگی دایره‌ای ۱۴۱
- ۵-۶-۵- تحلیل گسیختگی دایره‌ای سه‌بعدی ۱۴۲
- ۵-۶-۶- تحلیل عددی پایداری شیب ۱۴۲
- ۵-۷- مسئله‌ی نمونه ۵-۱: تحلیل گسیختگی دایره‌ای ۱۴۳

۶-۶-۷- سایه‌بان‌های سنگی و تونل‌ها ۲۱۰

فصل هفتم: پایش حرکت شیب‌ها

۷-۱- مقدمه ۲۱۵

۷-۲- انواع حرکت شیب ۲۱۸

۷-۲-۱- پاسخ اولیه ۲۱۸

۷-۲-۲- حرکت پس‌رونده و پیش‌رونده ۲۱۹

۷-۲-۳- پایش با مدت ۲۲۱

۷-۳- روش‌های پایش سطح ۲۲۲

۷-۳-۱- پایشگرهای برض تراز ۲۲۳

۷-۳-۲- نقشه‌برداری ۲۲۵

۷-۳-۳- تصویربرداری لیزری ۲۲۶

۷-۳-۴- کجی‌سنج‌ها ۲۲۷

۷-۳-۵- سیستم موقعیت‌یاب جهانی ۲۲۷

۷-۳-۶- رادار دهانه‌ترکیبی ۲۲۸

۷-۴- روش‌های پایش زیرزمینی ۲۲۸

۷-۴-۱- میله‌بازرسی گمانه ۲۲۸

۷-۴-۲- بازتاب‌سنجی دامنه‌زمان ۲۲۹

۷-۴-۳- انحراف‌سنج‌ها ۲۲۹

۷-۵- تفسیر داده‌ها ۲۳۰

۷-۵-۱- نمودارهای زمان-حرکت و زمان-سرعت ۲۳۰

۷-۵-۲- مکانیسم‌های شکست شیب ۲۳۵

مراجع ۲۳۷