



انتشارات دانشگاه لرستان

۱۳۸

ریزگی‌های مهندسی سنگ‌ها

مؤلف:

بیانیانگ ژانگ

ترجمه:

دکتر امین جمشیدن

(عضو هیأت علمی گروه زمین‌شناسی دانشگاه لرستان)

سرشناسه	لیانینگ ژانگ lianyang zhang
عنوان و نام پدیدآور	ویژگی‌های مهندسی سنگ‌ها/ مولف لیانینگ ژانگ؛ مترجم امین جمشیدی؛ ویراستار علمی محمدرضا نیکودل؛ ویراستار ادبی سیدمحسن حسینی مؤخر.
مشخصات نشر	خرم‌آباد، دانشگاه لرستان، ۱۳۹۷
مشخصات ظاهری	۴۷۸ ص، جدول، مصور
شابک	
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
یادداشت	عنوان اصلی: Engineering properties of rocks, 2nd ed. 2017.
یادداشت	کتاب‌نامه
موضوع	مکانیک سنگ
موضوع	Rock mechanics
موضوع	سنگ‌ها و صخره‌ها — آزمایش‌ها
موضوع	Rocks — Testing
شناسه افزوده	جمشیدی، امین، ۱۳۴۲؛ مترجم
شناسه افزوده	نیکودل، محمدرضا، ویراستار
شناسه افزوده	دانشگاه لرستان
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۷ خ ۹ ج ۷۰۶ / TA
رده‌بندی دیویی	۶۲۴/۱۵۱۳۲
شماره کتاب‌شناسی ملی	۵۲۵۹۰۰۰



انتشارات دانشگاه لرستان

ویژگی‌های مهندسی سنگ‌ها

مؤلف: لیانینگ ژانگ

مترجم: دکتر امین جمشیدی (عضو هیأت علمی گروه زمین‌شناسی دانشگاه لرستان)

ویراستار علمی: دکتر محمدرضا نیکودل (عضو هیأت علمی گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس)

ویراستار ادبی: دکتر سیدمحسن حسینی مؤخر (عضو هیأت علمی گروه ادبیات، زبان فارسی دانشگاه لرستان)

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه، چاپ اول ۱۳۹۷

أمور رایانه‌ای و طرح جلد: سهمیه اسدزاده

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۲۱۷-۷۶-۵

بها: ۵۰۰۰۰ ریال

فهرست

صفحه	عنوان
۱۳	پیشگفتار مؤلف
۱۵	پیش گفتار مترجم
فصل اول	
مقدمه	
۱۷	۱-۱- مشکلات مهندسی سنگ
۲۱	۲-۱- تعیین ویژگی‌های مهندسی سنگ ۱
۲۵	۳-۱- مثال‌هایی از تعیین خصوصیات مهندسی سنگ‌ها
۳۳	۴-۱- سیستم خبره سنگ
۳۴	۵-۱- محتوای کتاب
۳۷	منابع
فصل دوم	
تنش‌های برجا	
۳۹	۱-۲- مقدمه
۴۲	۲-۲- استراتژی برای تعیین تنش‌های برجا در سنگ
۴۵	۳-۲- نقشه تنش جهانی
۴۶	۴-۲- تغییرات تنش برجا با عمق
۴۷	۱-۴-۲- تنش قائم
۴۸	۲-۴-۲- تنش افقی
۵۶	۵-۲- تفسیر
۵۹	منابع

فصل سوم

سنگ بکر

۶۳	۱-۳- مقدمه
۶۳	۲-۳- طبقه‌بندی سنگ بکر
۶۴	۱-۲-۳- طبقه‌بندی زمین‌شناسی
۶۸	۲-۲-۳- طبقه‌بندی مهندسی
۷۱	۳-۳- ویژگی‌های شاخص سنگ بکر
۷۱	۱-۱-۳- خلخل
۷۶	۲-۳-۳- جگال
۷۹	۳-۳-۳- سرت می
۸۴	۴-۳-۳- شاخص‌های
۸۶	۵-۳-۳- عدد واجهشی
۸۹	۶-۳-۳- شاخص دوام وارفتگی
۹۰	۷-۳-۳- شاخص ساییدگی
۹۱	۸-۳-۳- شاخص نفوذ سوزن
۹۴	۹-۳-۳- سختی شور
۹۶	۱۰-۳-۳- عدد نفوذ مخروط
۹۷	۱۱-۳-۳- همبستگی بین ویژگی‌های شاخص
۱۰۷	منابع

فصل چہارم

نایبوستگی‌های سنگ

۱۱۳	۴-۱- مقدمه
۱۱۳	۴-۲- انواع ناپیوستگی‌ها
۱۱۶	۴-۳- توصیف ناپیوستگی‌ها
۱۱۷	۴-۴- جهت یابی ناپیوستگی
۱۲۲	۴-۵- شدت ناپیوستگی‌ها
۱۲۳	۴-۵-۱- فاصله داری و فراوانی، خطی، ناپیوستگی‌ها

۱۲۹	۲-۵-۴- شاخص کیفیت سنگ
۱۳۶	۳-۵-۴- فراوانی سطحی و حجمی
۱۴۲	۴-۵-۴- اندازه بلوک
۱۴۵	۶-۴- تداوم، اندازه و طول خط اثر ناپیوستگی ها
۱۴۵	۱-۶-۴- تداوم ناپیوستگی
۱۵۲	۲-۶-۴- طول اثر ناپیوستگی
۱۵۹	۳-۶-۴- شکل ناپیوستگی
۱۶۳	۴-۶-۴- اندازه ناپیوستگی
۱۷۰	۷-۴- تانسور شکستگی
۱۷۱	۸-۴- زبری ناپیوستگی
۱۷۴	۹-۴- بازشدگی ناپیوستگی
۱۷۵	۱۰-۴- مواد پر کننده ناپیوستگی
۱۷۶	منابع

فصل پنجم توده سنگ

۱۸۳	۱-۵- مقدمه
۱۸۳	۲-۵- طبقه‌بندی توده سنگ
۱۸۴	۱-۲-۵- شاخص کیفی سنگ (RQD)
۱۸۴	۲-۲-۵- طبقه‌بندی ژئومکانیکی سنگ (RMR)
۱۸۹	۳-۲-۵- طبقه‌بندی کیفیت تونل سازی (Q)
۱۹۸	۴-۲-۵- طبقه‌بندی شاخص توده سنگ (RMI)
۲۰۳	۵-۲-۵- طبقه‌بندی شاخص مقاومت زمین شناسی (GSI)
۲۱۰	۳-۵- همبستگی بین طبقه‌بندی‌های مختلف
۲۱۲	۴-۵- طبقه‌بندی هوازدگی سنگ
۲۱۸	منابع

فصل ششم

تغییر شکل پذیری

۲۲۳	۶-۱ مقدمه
۲۲۴	۶-۲ تغییر شکل پذیری سنگ بکر
۲۲۴	۶-۲-۱ مدول الاستیک سنگ بکر
۲۴۰	۶-۲-۲ نسبت پواسون سنگ بکر
۲۴۴	۶-۳ تغییر شکل پذیری ناپیوستگی‌های سنگ
۲۴۴	۶-۳-۱ سختی نرمال
۲۵۵	۶-۳-۲ سختی برشی
۲۵۶	۶-۳-۳ انحراف ناپیوستگی‌ها
۲۵۸	۶-۴ تغییر شکل پذیری توده سنگ
۲۵۸	۶-۴-۱ روش‌های تجربی برای برآورد مدول تغییر شکل توده سنگ
۲۷۲	۶-۴-۲ رهیافت محیط پیوسته، معادل برای برآورد مدول تغییر شکل توده سنگ
۳۰۳	۶-۴-۳ نسبت پواسون توده سنگ
۳۰۴	۶-۵ تأثیر مقیاس روی تغییر شکل‌پذیری توده سنگ
۳۰۸	۶-۶ تأثیر تنش محصورکننده روی تغییر شکل‌پذیری سنگ
۳۱۰	۶-۷ ناهمسانی تغییر شکل‌پذیری سنگ
۳۱۴	منابع

فصل هفتم

مقاومت

۳۲۵	۷-۱ مقدمه
۳۲۶	۷-۲ مقاومت سنگ بکر
۳۲۶	۷-۲-۱ مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر
۳۴۷	۷-۲-۲ مقاومت کششی سنگ بکر
۳۵۴	۷-۲-۳ معیار مقاومت تجربی سنگ بکر
۳۵۷	۷-۲-۴ پارامترهای Mohr-Coulomb سنگ بکر
۳۵۹	۷-۳ مقاومت ناپیوستگی‌های سنگ

۳۵۹	 Mohr-Coulomb مدل ۱-۳-۷
۳۶۰	 مدل مقاومت برشی دو خطی ۲-۳-۷
۳۶۰	 Barton مدل ۳-۳-۷
۳۶۴	 مقاومت برشی ناپیوستگی‌های پر شده ۴-۳-۷
۳۶۶	 مقاومت توده سنگ ۴-۷
۳۶۶	 ۱-۴-۷ مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ
۳۷۱	 ۲-۴-۷ مقاومت کششی توده سنگ
۳۷۲	 ۳-۴-۷ معیار مقاومت تجربی توده سنگ
۳۷۸	 ۴-۴-۷ پارامترهای Mohr-Coulomb توده سنگ
۳۸۱	 ۵-۴-۷ روش محاسب بسته معادل برای برآورد مقاومت توده سنگ
۳۹۲	 ۵-۷ معیارهای مقاومت سنگی توده سنگ
۳۹۲	 ۱-۵-۷ معیار Fan-Hudson
۳۹۳	 ۲-۵-۷ معیار تعمیم‌یافته Priest
۳۹۴	 ۳-۵-۷ معیار تعمیم‌یافته Zhang-Zhu
۳۹۴	 ۴-۵-۷ ارزیابی نسخه سه بعدی معیار مقاومت Hoek-Brow
۳۹۶	 ۵-۵-۷ معیار سه بعدی تعمیم یافته اصلاح شده Zhang-Zhu
۴۰۰	 ۶-۷ مقاومت پسماند سنگ
۴۰۲	 ۷-۷ تأثیر مقیاس روی مقاومت سنگ
۴۰۷	 ۸-۷ ناهمسانی مقاومت سنگ
۴۱۲	 منابع

فصل هشتم

نفوذپذیری

۴۲۷	 ۱-۸ مقدمه
۴۲۸	 ۲-۸ نفوذپذیری سنگ بکر
۴۳۴	 ۳-۸ نفوذپذیری ناپیوستگی‌ها
۴۳۶	 ۴-۸ نفوذپذیری توده سنگ
۴۴۳	 ۵-۸ تأثیر تنش روی نفوذپذیری سنگ
۴۴۸	 ۶-۸ تغییر نفوذپذیری سنگ با عمق

- ۴۵۲ ۸-۷- تأثیر دما روی نفوذپذیری سنگ
- ۴۵۶ ۸-۸- تأثیر مقیاس روی نفوذپذیری سنگ
- ۴۵۹ ۸-۹- ارتباط بین ناپیوستگی‌ها
- ۴۶۱ ۸-۱۰- ناهمسانی نفوذپذیری سنگ
- ۴۶۵ منابع
- ۴۷۳ واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

پیشگفتار مؤلف

به دلایل مختلف، تعیین پارامترهای طراحی سازه با استفاده از روش‌های مستقیم توسط مهندسان سنگ مشکل است. به عنوان یک راه حل، مهندسان سنگ از مقادیر معمول یا روابط تجربی برای تعیین غیر مستقیم پارامترهای مورد نظرشان استفاده می‌کنند. برای مثال، مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر عمدتاً در طراحی سازه‌های سطحی و زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد که روش تعیین آن توسط انجمن بتن آمریکا¹ و انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ² به صورت استاندارد درآمده است. اگر چه آزمایش مقاومت فشاری تک محوری نسبتاً ساده است، اما انجام آن زمانبر و پرهزینه است و همچنین به مغزه‌ای برخی است نیاز است که این موضوع برای سنگ‌های ضعیف و سست غالباً مشکل یا غیر ممکن است. بنابراین، آزمایش‌هایی مانند شاخص بار نقطه‌ای، چکش اشمیت، امواج التراسونیک و مقاومت ضربه‌ای برای برآورد غیر مستقیم مقاومت فشاری تک محوری سنگ، با استفاده از روابط تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مثال دیگر تعیین مدول تغییر شکل توده سنگ است. توده سنگ معمولاً دارای ناپیوستگی‌ها است. برای تعیین مقادیر واقعی مدول‌های تغییر شکل سنگ بیاز به آزمون‌های برجا مانند بارگذاری صفحه‌ای، جک تخت، سلول فشار سنج، جک‌گذار، دمانه و دیلاتومتر می‌باشد. این آزمایش‌ها زمانبر، پرهزینه و در برخی موارد انجام آنها غیر ممکن است. به این جهت، از شاخص‌ها و طبقه‌بندی‌هایی مانند مغزه بازیافتی³، ژئومکانیکی⁴، بارتون⁵ و شاخص مقاومت ریمبورت-ناسی⁶ برای تخمین غیر مستقیم مدول‌های تغییر شکل سنگ‌ها استفاده می‌شود.

مقادیر معمول و روابط تجربی بین ویژگی‌های سنگ، به شکل‌های مختلف و در منابعی همچون کتاب‌ها، دستنامه‌ها، گزارشات و مقالات چاپ شده در مجلات و کنفرانس‌ها جمع‌آوری شده‌اند. برای متخصصان و مهندسان، دستیابی به اطلاعات مناسب برای تعیین ویژگی‌های سنگ مورد نیاز طراحی پروژه، غالباً مشکل، زمانبر و یا حتی غیر ممکن است. هدف اصلی این کتاب گردآوری و ارائه روابط بین ویژگی‌های مختلف سنگ و همچنین مقادیر معمول آنها است.

¹ ASTM

² ISRM

³ RQD

⁴ RMR

⁵ Q

⁶ GSI

کتاب حاضر مشتمل بر هشت فصل است. فصل اول شامل کلیاتی در مورد مشکلات و مسائل مهندسی سنگ‌ها و روش‌هایی برای تعیین ویژگی‌های آنها است. همچنین در این فصل، مثال‌هایی در مورد استفاده از روابط تجربی برای تخمین ویژگی‌های سنگ ارائه شده است. در فصل دوم تنش‌های برجا در توده سنگ، توصیف و روابط تجربی مختلف برای تخمین آنها ارائه شده است. طبقه‌بندی سنگ بکر، خصوصیات ناپیوستگی‌ها و همچنین طبقه‌بندی توده سنگ در فصل‌های ۳ تا ۵ آورده شده‌اند. فصل‌های ۶ تا ۸ به ارائه مقادیر معمول و روابط همبستگی تغییر شکل، مقاومت و نفوذپذیری سنگ بکر، ناپیوستگی‌ها، توده سنگ می‌پردازد. باید توجه کرد که مقادیر معمول و همبستگی‌ها نباید به عنوان جزئی از آزمایش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های سنگ استفاده شوند، بلکه باید به منظور تکمیل و تأیید اطلاعات مربوط به پروژه مورد استفاده قرار گیرند.

این کتاب برای افراد به فعالیت آنها مرتبط با مکانیک سنگ و مهندسی سنگ است، در نظر گرفته شده است. مطلب کتاب می‌تواند در عمل، برای مهندسان به منظور تعیین ویژگی‌های مهندسی مورد نیاز برای یک پروژه خاص استفاده شود. همچنین به عنوان کتاب آموزشی در ارتباط با مقادیر معمول ویژگی‌های سنگ‌های مختلف کاربردهای تأثیرگذار بر آنها می‌تواند مفید باشد. از طرف دیگر، کتاب حاضر برای افرادی که در مهندسی معدنی فعالیت دارند و برای انتخاب مقادیر مناسب ویژگی‌های مورد نیاز در مدل، مفید خواهد بود.

مؤلف از پروفیسور سونمز^۱ به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های مدول‌های تغییر شکل صمیمانه تشکر می‌کند. دکتر هوک^۲، اطلاعات با ارزشی در مورد تفاوت توده سنگ در اختیار مؤلف قرار داده که از ایشان سپاسگزاری می‌شود. بخش‌هایی از فصل‌های ۳، ۶ و ۷ برگرفته از طرح تحقیقاتی دوره دکترای مؤلف در موسسه تکنولوژی ماساچوست است. مؤلف از حمایت و دیدگاه‌های پروفیسور انیستین^۳ قدردانی می‌کند. در پایان از دکتر سیلوا^۴ و آقای گریسمال^۵ از شرکت مشاور ICF به دلیل حمایت‌هایشان در طول آماده‌سازی این کتاب تشکر می‌کند.

لیانیانگ ژانگ

شرکت مشاور ICF

¹ Sonmez

² Hoek

³ Einstein

⁴ Silva

⁵ Grismala