

۲۰۶۰۵۷۱



مکانیک شکست سنگ

تالیف و تدوین:
دکتر شبیر ارشدنژاد



Journal of Earth Engineering
نشریه بین‌المللی مهندسی ژرفا

تهیه شده با همکاری
شرکت مهندسين مشاور فرا رهساز فن



۱۳۹۸

سرشناسه:	ارشدنژاد، شبیر، ۱۳۵۷.
عنوان:	مکانیک شکست سنگ / تألیف شبیر ارشدنژاد؛
نام پدیدآور:	تهیه و تدوین نشریه بین‌المللی مهندسی زمین JEE؛
مشخصات نشر:	با همکاری شرکت مهندسین مشاور فرا رهساز فن
مشخصات ظاهری:	ژرف: تهران، نشر ژرف، ۱۳۹۸
شابک:	رقعی. هندبوک: ۲۴۰ ص؛ مصور، جدول، نمودار.
وضعیت فهرست‌نویسی: فیبا	۹۷۸-۹۶۴-۸۹۲۵-۰۱-۲
یادداشت:	کتاب‌نامه
موضوع:	مکانیک شکست اجسام
موضوع:	Fracture Mechanics
موضوع:	مکانیک سنگ
موضوع:	اندازه‌گیری
موضوع:	Measurement
شناسه:	نشریه مهندسی زمین
شناخت افزودنی:	Journal of Earth Engineering
بندی کنگ:	TAF۰۹
بندی دهی:	۶۲۰/۱۱۲۶
شماره:	۵۸۸۲۱۲

|| مکانیک شکست سنگ ||

|| تألیف: دکتر شبیر ارشدنژاد

استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد واحد تهران

با همکاری شرکت مهندسین مشاور فرا رهساز فن
تهیه و تدوین:

نشریه بین‌المللی مهندسی زمین JEE

انتشار اول، آبان ۱۳۹۸ / تیراز: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۸۹۲۵-۰۱-۲

قیمت: ۲۸۰۰۰ تومان

حروف‌نگاری و صفحه‌پردازی: خط‌ویراست

چاپ و صحافی: پردیس دانش، تلفن ۳۳۹۲۳۱۷۹

ناشر: نشر ژرف. تلفن ۶۶۴۰۳۲۸۴ - jarfpublish@gmail.com

تمامی حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به مولف می‌باشد.

فصل اول: بررسی‌های تاریخی پدیده شکست: ۵

۷

۱-۱- سابقه مطالعاتی

۳۴

۱-۱- نقد مطالعات پیشین

فصل دوم: مفاهیم اساسی در مکانیک شکست: ۳۷

۳۹

۱-۲-۱- آشنایی

۴۳

۲-۲- انواع شکست

۴۴

۱-۲-۲- شکست نرم

۴۵

۲-۲-۲- شکست ترد

۴۸

۱-۲-۲-۲- شاخص تردی

۵۱

۲-۲-۲-۲- شکست ترد تنش سه برابری سنگ‌ها

۵۲

۳-۲- مدهای سه‌گانه شکست و شرایط تنش و کرنش صفحه‌ای

۵۴

۴-۲- تحلیل تنش در مجاورت نوک ترک

۵۸

۵-۲- برآورد ابعاد ناحیه پلاستیک نوک ترک

فصل سوم: ضریب شدت تنش: ۶۷

۶۹

۱-۳- آشنایی

۶۹

۲-۳- ترک لبه‌ای در یک سمت نمونه تحت کشش

۷۲

۳-۳- ترک لبه‌ای در یک سمت نمونه تحت خمش خالص

۷۳

۴-۳- ترک لبه‌ای تحت بار متمرکز

۷۵

۵-۳- ترک لبه‌ای تحت بار گسترده

۷۷

۶-۳- ترک لبه‌ای تحت بار گسترده مثلثی

۷۹

۷-۳- ترک طرفین چال با فشار یکنواخت داخلی

صفحه	فهرست مطالب
۸۱	۳-۸- تمرکز تنش در اطراف حفره بیضوی
۸۱	۳-۹- چال با ترک‌های شعاعی
۸۲	۳-۱۰- استوانه تحت خمش با دو ترک در طرفین
۸۵	۳-۱۱- ترک در جدار لوله تحت کشش
۸۶	۳-۱۲- ترک در جدار لوله تحت خمش
۸۸	۳-۱۳- ترک در لوله تحت فشار داخلی

فصل چهارم: تحلیل تنش در اطراف چال: ۹۱ (فرایند جوانه‌زنی ترک)

۹۳	۴-۱- اثرهای
۹۳	۴-۲- تحلیل تنش در اطراف چال
۱۰۰	۴-۳- بررسی پدیده تمرکز تنش بین دو چال
۱۰۶	۴-۴- بررسی امکان بر جود استوانه ترک
۱۱۱	۴-۵- انتشار ترک پیرامون چال‌ها
۱۱۶	۴-۶- انتگرال J
۱۱۹	۴-۷- روش شکست هیدرولیکی

فصل پنجم: تعیین چقرمگی سنگ: ۱۲۳ (روش‌های آزمایشگاهی و مدل‌های تحلیلی)

۱۲۵	۵-۱- روش‌های آزمایشگاهی
۱۲۶	۵-۱-۱- آزمایش تعیین استحکام ترک مد I
۱۲۶	۵-۱-۱-۱- آزمون برزلی با ترک مستقیم سرتاسری
۱۲۷	۵-۱-۱-۲- آزمون با ترک فاق‌دار دیسک برزلی
۱۳۳	۵-۱-۱-۳- آزمون برزلی بدون ترک و بدون فاق
۱۳۴	۵-۱-۱-۴- آزمون نصف دیسک تحت خمش
۱۳۵	۵-۱-۱-۵- آزمون انفجاری

صفحه	فهرست مطالب
۱۲۷	۵-۱-۱-۶- آزمون دیسک با لبه شکافدار
۱۲۹	۵-۱-۱-۷- آزمون دیسک برزیلی با سطوح تخت
۱۴۱	۵-۱-۲- آزمایش تعیین استحکام ترک مد II
۱۴۱	۵-۱-۲-۱- آزمون دیسک برزیلی با ترک فاقدار
۱۴۵	۵-۱-۲-۲- آزمایش بارگذاری چند نقطه‌ای
۱۴۹	۵-۲-۳- روش جعبه برش
۱۵۲	۵-۲-۴- رگگذاری ترکیبی (مد یک و دو)
۱۵۶	۵-۳- تخمین چقرمگی سنگ‌ها با استفاده از مدل‌های تجربی
۱۵۸	۵-۴- آزمون‌های مخی سنجی
۱۵۸	۵-۴-۱- آزمون سختی مخروط نفوذی (NCB)
۱۵۹	۵-۴-۲- آزمون سنگ را با ل
۱۶۳	۵-۵- تأثیر ابعاد ذات چقرمگی
۱۶۵	۵-۶- چقرمگی شکست

فصل ششم: برخی کاربردهای مکانیک شکست سنگ: ۱۶۹

۱۷۱	۶-۱- آشنایی
۱۷۲	۶-۲- انفجار و شکست کنترل شده
۱۸۰	۶-۳- خردایش سنگ
۱۸۱	۶-۴- تخمین فشار دینامیکی درون چال
۱۸۲	۶-۴-۱- روش انتقال انرژی
۱۸۵	۶-۴-۲- روش ترموشیمی
۱۸۶	۶-۵- شکافت سنگ با مواد منبسط شونده (NEEM)
۱۸۷	۶-۵-۱- آماده‌سازی مواد منبسط شونده
۱۸۷	۶-۵-۲- عکس‌العمل ماده
۱۹۳	۶-۵-۳- مدل تجربی برای برآورد فشار چال

فهرست منابع: ۱۹۹

- ۲۰۱ منابع فارسی
۲۰۳ منابع انگلیسی
پیوست‌ها: ۲۱۹
۲۲۱ پیوست الف- مثال ۱
۲۲۵ پیوست ب- مثال ۲
۲۲۶ پیوست پ- جداول کاربردی



پسگفتار

مکانیک، شکست شاخه‌ای از مکانیک جامدات است که به بررسی چگونگی گسیختگی اجسام در حین بارگذاری می‌پردازد. در بسیاری از موارد، اجسام قبل از رسیدن به نقطه تنش تسلیم دچار شکست یا گسیختگی می‌شوند. این امر محققان متعددی را سال‌ها به خود مشغول کرد. اینگلیس (Inglis, 1913) از اوایل افرادی بود که در ظهور علم مکانیک شکست با کمک بررسی پدیده تمرکز تنش، گام‌های موثری برداشت. وی روشی برای تحلیل تنش در اطراف یک سوراخ بیضی شکل ارائه کرد. سپس گریفیث (Griffith, 1920) با استفاده از قانون اول ترمودینامیک توانست تئوری شکست را بر اساس یک مدل ساده انرژی پایه‌گذاری کند. بر اساس این تئوری، شرط ناپایداری و رشد ترک و رسیدن به شکست در یک جسم، تغییر در انرژی کرنشی حاصل از رشد ترک برای غلبه بر انرژی سطحی ماده است.

محققان بسیاری پس از گریفیث از ایده او استفاده کرده و مسائل متنوعی را حل کردند، اما همچنان جنبه‌های ناشناخته فراوانی در این مبحث از مکانیک جامدات باقی مانده بود. وسترگارد (Westergaard, 1939) با کمک ریاضیات عالی مهندسی توانایی به منظور تشریح توزیع

تنش در اطراف ترک پیشنهاد داد. ایروین (Irwin, 1948) گام بلندتر و البته متفاوتی را با بیان مفهوم جدیدی به نام نرخ رها شدن انرژی شکست، ضریب شدت تنش و چقرمگی برداشت. وقوع جنگ جهانی دوم و رقابت نظامی بین کشورها، باعث شد تا زمینه تحقیقات گسترده‌ای در مبحث مکانیک شکست فراهم شود.

امروزه مبحث مکانیک شکست علاوه بر رشته مهندسی مکانیک، جایگاه ویژه‌ای در رشته مهندسی معدن، عمران و ژئوتکنیک کسب کرده است. تا پیش از ظهور مکانیک شکست در مهندسی معدن (شاخه مکانیک سنگ) تعیین مرز پایداری و یا ناپایداری سازه‌های سنگی، منوط به آگاهی از تنش تسلیم و یا کرنش‌های مجاز بود. البته این روش‌ها امروزه نیز کاربرد می‌روند اما ناهمگنی و وجود ناپیوستگی‌ها در ساختار سنگ باعث شده تا در بسیاری از موارد شکست‌های ناگهانی و دور از پیش‌بینی رخ دهد. این امر سبب شده تا به منظور تشخیص ترک‌های بحرانی در سنگ پیش از پاشیدن رقتار در لحظه شکست و تعیین ظرفیت باربری سنگ‌ها، مکانیک شکست، جای خود را در رشته مکانیک سنگ باز کند. این اتفاق در دهه ۶۰ میلادی آغاز شد و از آن زمان تاکنون تحقیقات فراوانی در این زمینه صورت گرفته است، ولی همچنان نقاط مبهمی باقی است. یکی از زمینه‌های کاربرد مکانیک شکست در رشته مهندسی معدن، در استخراج سنگ‌های احتمالی و همچنین مبحث حفاری و انفجار است.

در این کتاب در فصل اول به تاریخچه بررسی پدیده شکست توسط محققان و نقد و بررسی آن‌ها پرداخته شده است. در فصل دوم مفاهیم اساسی در مکانیک شکست معرفی و تلاش شده تا با جزئیات کامل تشریح شوند. در فصل سوم چگونگی محاسبه ضریب شدت تنش در چندین هندسه پرکاربرد در مکانیک سنگ و تونلسازی با ارائه فرمول‌ها و

نمودارهای تجربی بحث شده است. فصل چهارم پدیده تحلیل تنش در اطراف چال و همچنین تشریح فرایند جوانه زنی ترک را مورد بررسی قرار می دهد. فصل پنجم به تشریح روش های آزمایشگاهی برای اندازه گیری چقرمگی سنگ ها و همچنین تخمین این پارامتر با کمک مدل های تجربی اختصاص دارد. در فصل ششم نیز جنبه های کاربردی شاخه مکانیک شکست سنگ در مهندسی معدن از جمله حفاری و انفجار استخراج شده و شکافت هدفمند سنگ با استفاده از مواد منبسط شونده غیرانفجاری، معرفی شده است. تلاش شده تا منابع معتبر متعددی معرفی شوند و در پایان کتاب، پیوستی متشکل از تعدادی جدول کاربردی از داده های اندازه گیری شده و همچنین دو مثال آزمایشگاهی، ارائه شده است.

نویسنده تلاش کرده تا ضمن گردآوری یک مجموعه سودمند از مکانیک شکست سنگ، جنبه انحصار را رعایت کند. با این وجود و با توجه به گستردگی مبحث مکانیک شکست، نمی توان ادعا کرد که تمام جنبه های قابل استفاده در مکانیک سنگ پوشش داده شده است.

امید است که این کتاب به عنوان اولین منبع فارسی در زمینه مورد بحث، مورد توجه علاقمندان و محققان مکانیک سنگ باشد و بتواند سبب برداشتن گام های بزرگتری برای تالیف کتاب های غنی تر توسط صاحب نظران در این زمینه باشد.

شبیر ارشدنژاد

تابستان ۱۳۹۸