

۱۴۲۸۵۹۷
۹۵,۹۴



کتابخانه مرکزی

شکستگی در سنگ

مبتنی بر مین شناسی و رفتار مهندسی

دکتر بهمن تهمچی

دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود

دکتر حسین معاریان

استاد دانشکده فنی دانشگاه تهران



شماره مسلسل ۸۸۲۸

شماره انتشار ۳۷۴۳

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	معماریان، حسین، ۱۳۲۶-
عنوان و نام پدیدآور	شکستگی در سنگ: منشأ زمین‌شناسی و رفتار مهندسی / حسین معماریان، بهزاد تخم‌چی.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۸۴۸ ص: مصور (بخشی رنگی)، نقشه (رنگی)، جدول، نمودار.
فروست	انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۷۴۳.
شابک	978-964-03-6942-5
میت فرست نویسی	فیبا
یادداشت	واژه‌نامه.
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	سنگ‌ها و صخره‌ها -- شکستگی
موضوع	Rocks—Fracture
موضوع	زمین‌شناسی
موضوع	Geology
شناسه افزود	تخم‌چی، بهزاد، ۱۳۵۲-
شناسه افزوده	دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات
رده‌بندی کنگره	۴۳۱/۶:م ۴۳۱/۶:ش ۸۵۱
رده‌بندی دیویی	۵۵۱
شماره کتابشناسی ملی	۴۲۰۳۷۲۹

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf لوح فشرده، بازپس، وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود.

ISBN:978-964-03-6942-5



9 789640 369425

عنوان: شکستگی در سنگ: منشأ زمین‌شناسی و رفتار مهندسی

تألیف: دکتر حسین معماریان - دکتر بهزاد تخم‌چی

طراحی، آماده‌سازی و ویرایش: دکتر حسین معماریان

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۳۹۵

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است»

«کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است»

بها: ۵۵۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: <http://press.ut.ac.ir>

بخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

پیش گفتار

زمینه اصلی بررسی‌های این کتاب شکستگی‌ها، یا به‌زبانی گسستگی‌های ساختاری سنگ، است. شکستگی‌ها از یک دیدگاه خاصیت خاص معدنی مفید بوده و از سوی دیگر نقشی منفی در فعالیت‌های عمرانی و معدنی بازی کنند. در همه این موارد شناسایی مشخصات و رفتار شکستگی‌ها از اهداف اصلی فعالیت‌های اکتشافی است. اکتشاف شکستگی‌ها در مواردی برای بررسی نقش مثبت آنها صورت می‌گیرد. از آن جمله است اکتشاف منابع نفت و گاز در مخازن شکسته؛ اکتشاف آب از منابع کارستی، اکتشاف انرژی زمین گرمایی و بالاخره اکتشاف مواد معدنی متنوع تجمع یافته در شکستگی‌های سنگ. اکتشاف شکستگی‌ها در بسیاری موارد نیز برای بررسی و تعیین نقش منفی آنها در فعالیت‌های مهندسی صورت می‌گیرد. فرار آب از طریق شکستگی‌ها، از تکیه گاه‌ها و دیواره مخازن سدها؛ ناپایداری دامنه‌ها، تونل‌ها و مغارهای زیر زمینی، علت یزش و لغزش قطعات سنگ شکسته و آلوده شدن منابع آب، و صدمه به محیط زیست از طریق نشست‌ها، دهانه‌ها توسط شکستگی‌های سنگ، مواردی از نقش منفی شکستگی هاست.

کتاب شکستگی در سنگ در شش بخش و بیست و یک فصل به نقل تدوین شده است. بخش اول کتاب به مکانیک شکست و رابطه بین تنش و تغییر شکل در توده شکستگی‌ها می‌پردازد. بخش دوم کتاب به زمین شناسی شکستگی‌ها، اختصاص یافته و در آن، شناسگاه و مشخصات شکستگی‌های کششی، یعنی درزها و شکستگی‌های برشی، یعنی گسل‌ها؛ مورد بحث قرار گرفته است. اکتشاف شکستگی‌ها موضوع اصلی بخش سوم کتاب است. در فصل‌های این بخش، روش‌های اکتشافات سطحی و زیرسطحی شکستگی‌ها و همچنین شناسایی شکستگی‌ها توسط طبقه بندی کننده‌ها و ترکیب اطلاعات، مورد بحث قرار گرفته است. عنوان بخش چهارم کتاب تحلیل شکستگی‌ها است و در آن روش‌های تحلیل یک یا دو متغیره، مطالعه فراکتالی شکستگی‌ها و در کنار آن نقش شکستگی‌ها در طبقه بندی توده سنگ و شاخص مقاومت زمین شناختی، عرضه شده است.

بخش پنجم کتاب به مدل سازی شکستگی ها پرداخته است. آخرین بخش کتاب نیز به رفتار شکستگی ها در کاربردهای مهندسی اختصاص یافته است. مخازن نفت و گاز شکسته، آبشکافت، جریان سیال در شکستگی ها و شکستگی ها و معدنکاری، عناوین فصل های این بخش هستند.

مطالب این کتاب می تواند مورد استفاده دانشجویان و کارشناسان رشته های مهندسی عمران، معدن، نفت، منابع آب و زمین شناسی قرار گیرد. فصول کتاب در کنار ارتباطی که با هم دارند، به صورت مستقل تهیه شده اند، در نتیجه می توان بسته به نیاز و با توجه به هدف ها، مجموعه ای منتخب از آنها را در یک درس، عرضه نمود.

کلیه واژه های مهم، که در متن کتاب با قلم سیاه (بالد) نشان داده شده اند، به همراه برابر لاتین آنها، در واژه نامه فارسی به انگلیسی و انگلیسی به فارسی پایان کتاب، آمده است. از دیگر بخش های پایانی کتاب فهرست منابع مورد استفاده در فصل های مختلف کتاب است. در انتهای کتاب، همچنین فهرست راهنما، که برای مناسبی برای دسترسی سریع به محل رجوع، اسامی، واژه ها، و مفاهیم متن کتاب است، ارائه شده است.

آگاهی از نظرات ساینده ای که این کتاب را تدریس می کنند، یا دانشجویان و کارشناسانی که آنرا مطالعه می نمایند، در رفع کاستی ها، لغزش های احتمالی و بهبود کیفیت آن در چاپ های بعدی، موثر خواهد بود.

دکتر بهزاد تخمچی

دانشیار، دانشگاه صنعتی شاهرود

دکتر حسین معماریان

استاد دانشکده فنی دانشگاه تهران

فهرست مطالب (فشرده)

۱. مقدمه / ۱

بخش اول: مکانیک شکست

۲. تنش و تغییر شکل در سنگ / ۹

۳. شکست ترد در سنگ / ۶۹

بخش دوم: زمین شناسی شکستگی ها

۴. شکستگی های کششی: درزها / ۱۰۷

۵. شکستگی های برشی: گسل ها / ۱۵۱

بخش سوم: آشنایی با شکستگی ها

۶. برداشت سحرایی شکستگی ها / ۱۹۵

۷. ابزارهای شناسایی زیر پای شکستگی ها / ۲۵۱

۸. شناسایی شکستگی ها با طبقه بندی کننده ها / ۲۹۵

۹. شناسایی شکستگی ها بر روی ملاحظات / ۳۳۵

بخش چهارم: تحلیل شکستگی ها

۱۰. روش های تحلیل یک یا دو متغیره شکستگی ها / ۳۷۳

۱۱. بازنگری روش های خوشه بندی / ۳۹۱

۱۲. مطالعه فرکتالی شکستگی ها / ۴۵۳

۱۳. شکستگی ها و طبقه بندی توده سنگ / ۱۸۵

۱۴. شاخص مقاومت زمین شناختی (GSI) / ۵۱۳

بخش پنجم: مدل سازی شکستگی ها

۱۵. مبانی مدل سازی / ۵۳۹

۱۶. مدل سازی شبکه شکستگی ناپیوسته (DFN) / ۵۸۱

۱۷. بهبود مدل سازی شبکه شکستگی ناپیوسته / ۶۱۷

بخش پنجم: رفتار شکستگی ها در کاربردهای مهندسی

۱۸. مخازن نفت و گاز شکسته / ۶۴۱

۱۹. آبشکافت / ۶۶۷

۲۰. جریان سیال در شکستگی ها / ۶۹۷

۲۱. شکستگی ها و معدن کاری / ۷۰۹

- فهرست منابع / ۷۵۹

- واژه نامه / ۷۸۳

- فهرست راهنما / ۸۱۱

فهرست مطالب (مفصل)

۱	۱. مقدمه
۲	۱-۱. لایه‌بندی
۴	جدایش در لایه‌های رسوبی
۵	۲-۱. ناپیوستگی‌های دیگر
۵	ناپیوستگی‌های رسوبی
۶	ناپیوستگی‌های آذرین
۷	تاریخچه
۹	۲. تنش و تغییر شکل در سنگ
۱۰	۱-۲. تنش در سنگ
۱۳	تنش در یک سطح
۱۳	تنش در یک جسم
۱۵	مولفه‌های تنش
۱۷	وضعیت‌های تنش
۱۷	روابط تنش
۱۸	نمودار موهر تنش
۲۰	رسم نمودار موهر
۲۱	تنش میانگین و تنش عامل
۲۲	رد تنش و میدان تنش
۲۲	وضعیت تنش در زمین
۲۳	۲-۲. تنجش
۲۳	تغییر شکل و تنجش
۲۵	تنجش همگن و ناهمگن
۲۶	بیضی و بیضوی تنجش
۲۷	رد تنجش
۲۸	انباشتگی تنجش
۳۱	کمیت‌های تنجش

۳۱	تنجش طولی	
۳۱	تنجش حجمی	
۳۲	تنجش زاویه‌ای	
۳۲	حالت‌های تنجش	
۳۳	اندازه‌گیری تنجش	
۳۵	بافت سنگ و سایر معیارهای تنجش	
۳۷	رابطه تنش و تنجش	۳-۲.
۳۸	نرخ تنجش	
۴۰	نرخ‌دار خزش	
۴۱	روابط تنش و تنجش	
۴۱	رفتار گرانیت	
۴۵	رفتار گرانیت	
۴۷	رفتار گرانیت	
۴۸	رفتار کششار-گرانیت	
۴۹	رفتار خطی عمومی	
۵۰	رفتار غیر خطی	
۵۱	عوامل موثر بر رفتار سنگ	
۵۱	دستگاه‌های سنجش تغییر شکل	
۵۳	فشار همه جانبه	
۵۴	دما	
۵۵	نرخ تنجش	
۵۶	فشار سیال منفذی	
۶۰	رابطه آزمایش‌ها با شرایط طبیعی	
۶۲	تفاوت بین رفتار و سازوکار تغییر شکل	
۶۷	منابع	

۶۹	شکست ترد در سنگ	۳.
۷۰	مقدمه	۱-۳.
۷۳	انواع شکست ترد	

۷۵	شکستگی کششی	۲-۳
۷۹	انواع گسترش ترک کششی	
۸۲	حالت‌های جابه‌جایی در سطح شکست	
۸۴	شکستگی‌های برشی	۳-۳
۸۷	فرایند گسلش ترد	۴-۳
۸۷	لغزش اصطکاکی	
۸۹	لغزش ناشی از رشد رگه‌های موازی گسل	
۹۰	تربیان تنش‌آوری	
۹۰	مراپه ایجاد شکست ترد	۵-۳
۹۱	ترک شکست کششی	
۹۳	ملاک شکست کششی	
۱۰۰	ملاک لغزش اصطکاکی	
۱۰۱	تشکیل شکستگی م‌دید با لغزش شکستگی قبلی	
۱۰۲	تاثیر شرایط محیطی بر شکستگی	۶-۳
۱۰۲	تاثیر سیالات بر رشد ترک کششی	
۱۰۵	تاثیر ابعاد بر مقاومت کششی	
۱۰۵	تاثیر فشار منفذی بر گسیختگی برشی و لغزش اصطکاکی	
۱۰۶	تاثیر تنش اصلی متوسط بر گسیختگی برشی	
۱۰۶	منابع	
۱۰۷	شکستگی‌های کششی: درزها	۴
۱۰۸	واژگان درزها	۱-۴
۱۱۰	ریخت شناسی سطح درزها	۲-۴
۱۱۴	آرایه درزها	۳-۴
۱۱۵	دسته و سیستم درز	
۱۱۶	تقاطع درزها	
۱۱۸	فاصله‌داری درزها در سنگ‌های رسوبی	
۱۲۰	رابطه فاصله‌داری و ضخامت لایه	
۱۲۰	رابطه فاصله‌داری و سنگ‌شناسی	

۱۲۱	رابطه فاصله‌داری و مقاومت کششی	
۱۲۱	رابطه فاصله‌داری و بزرگی تنجش کششی	
۱۲۲	برداشت صحرایی درزها	۴-۴
۱۲۵	منشا و تفسیر زمین‌ساختی درزها	۵-۴
۱۲۵	درزهای ناشی از باربرداری	
۱۲۷	تشکیل درزهای پوسته‌ای	
۱۲۸	درزهای حاصل از آبشکافت طبیعی	
۱۳۱	درزهای وابسته به تغییر شکل‌های زمین‌ساختی	
۱۳۲	درزهای ناشی از گسلش	
۱۳۴	سیستم‌های راست‌گوشه	
۱۳۵	سیستم‌ها: دوچ	
۱۳۷	تشکیل درزها در سنگ‌های آذرین	
۱۳۸	محدودیت‌های درزها	۶-۴
۱۴۰	رگه‌ها	۷-۴
۱۴۱	تشکیل آرایه رگه‌ها	
۱۴۳	ماهیت مواد پرکننده رگه	
۱۴۶	خطواره‌ها	۸-۴
۱۴۸	منابع	
۱۵۱	شکستگی‌های برشی: گسل‌ها	۵
۱۵۲	واژگان گسل‌ها	۱-۵
۱۵۳	جابه‌جایی گسل‌ها	۲-۵
۱۶۰	نمایش گسل‌ها در نقشه و نیمرخ	
۱۶۱	جدایش گسل‌ها	
۱۶۳	خمش گسل‌ها	
۱۶۴	نحوه تمام شدن و طول گسل‌ها	
۱۶۸	ویژگی‌های گسل‌ها	۳-۵
۱۶۸	سنگ‌های گسلی	
۱۷۰	ساختارهای سطح گسل	

۱۷۳	چین‌های مرتبط با گسلش
۱۷۳	۴-۵. اکتشاف گسل‌ها
۱۷۶	اکتشاف زیرسطحی گسل‌ها
۱۷۹	۵-۵. رابطه تنش و گسلش
۱۸۱	سیالات و گسلش
۱۸۲	بزرگی تنش‌های مورد نیاز برای گسلش
۱۸۴	۶-۵. سیستم‌های گسلی
۱۸۴	تقسیم‌بندی آرایه گسل‌ها
۱۸۴	سیستم‌های گسل عادی
۱۸۶	سیستم‌های گسل رانده
۱۸۷	سیستم‌های کم‌استعداد
۱۸۸	معکوس شدن سیستم‌های گسلی
۱۸۸	۷-۵. گسلش و انسل
۱۸۸	گسلش و منابع معدنی
۱۸۹	گسلش و زمین‌لرزه
۱۹۲	منابع
۱۹۵	۶. برداشت صحرایی شکستگی‌ها
۱۹۶	۱-۶. مقدمه
۱۹۸	۲-۶. جهت‌یابی
۱۹۹	برداشت داده‌ها
۲۰۰	نمایش داده‌ها
۲۰۲	۳-۶. فاصله‌داری
۲۰۳	برداشت داده‌ها
۲۰۳	نمایش داده‌ها
۲۰۴	۴-۶. تداوم
۲۰۵	برداشت داده‌ها
۲۰۶	نمایش داده‌ها
۲۰۷	۵-۶. ناهم‌واری

۲۰۸	روش کار
۲۰۹	کمپاس و شیب سنج صفحه‌ای
۲۰۹	فتوگرامتری
۲۰۹	نمایش داده‌ها
۲۰۹	نیمرخ برداری خطی
۲۱۳	کمپاس و شیب سنج صفحه‌ای
۲۱۳	روش فتوگرامتری
۲۱۳	عبارات توصیفی
۲۱۴	برآورد مقاومت برشی
۲۱۵	مقاومت دیواره
۲۱۷	روش کار
۲۱۷	درجه هوازدگی توده سنگ
۲۱۷	آزمایش شاخص دستی
۲۱۷	آزمایش با چکش اشمیت
۲۲۰	سایر موارد
۲۲۰	توزیع میزان هوازدگی
۲۲۱	آزمایش دست شاخص سنگ
۲۲۱	آزمایش با چکش اشمیت
۲۲۲	نمایش داده‌ها
۲۲۲	درجه هوازدگی توده سنگ و مواد سنگی
۲۲۲	آزمایش شاخص دستی سنگ
۲۲۲	آزمایش با چکش اشمیت
۲۲۳	بازشدگی
۲۲۳	روش کار
۲۲۴	نمایش داده‌ها
۲۲۵	پرشدگی
۲۲۶	روش کار
۲۲۶	عرض پرشدگی
۲۲۶	میزان پرشدگی

۲۲۷	کانی‌شناسی
۲۲۷	اندازه ذرات
۲۲۸	مقاومت مواد پرکننده
۲۲۸	جابه‌جایی قبلی
۲۲۸	مقدار آب و تراوایی
۲۲۹	نمایش داده‌ها
۲۲۹	۹-۶. نشست آب
۲۳۰	روش کار
۲۳۱	سایر موارد
۲۳۳	نمایش داده‌ها
۲۳۴	۱۰-۶. تعداد دست درها
۲۳۴	روش کار
۲۳۵	نمایش داده‌ها
۲۳۵	۱۱-۶. اندازه قطعات
۲۳۶	روش کار
۲۳۷	سایر موارد
۲۳۸	نمایش داده‌ها
۲۳۸	۱۲-۶. برداشت مغزه حفاری
۲۳۹	روش کار
۲۳۹	مغزه بازیابی شده
۲۳۹	فراوانی گسستگی‌ها
۲۴۰	شاخص کیفیت سنگ (RQD)
۲۴۰	داده‌های تکمیلی
۲۴۰	جهت‌یابی
۲۴۱	فاصله‌داری
۲۴۲	تداوم
۲۴۲	ناهمواری
۲۴۲	مقاومت دیواره
۲۴۳	بازشدگی

۲۴۳	برشدگی
۲۴۴	نشت آب
۲۴۴	تعداد دسته درزها
۲۴۵	اندازه قطعات
۲۴۵	سایر موارد
۲۴۷	ارایه نتایج
۲۴۸	منابع
۲۵۱	۷. ابزارهای شناسایی زیرسطحی شکستگی‌ها
۲۵۲	۱-۷. بهینه مطالعات شکستگی‌ها
۲۵۷	مروری بر مطالعات شکستگی‌ها در مخازن نفتی ایران
۲۵۹	۲-۷. چاه‌نمودارهای تصویری
۲۶۲	۳-۷. چاه‌نمودارهای بر فیزیکی
۲۶۴	۴-۷. تصحیحات داده‌ها
۲۶۵	۵-۷. ساخت چاه‌نمودار شکستگی
۲۶۵	۶-۷. شناسایی شکستگی‌ها از چاه‌نمودارها
۲۶۶	۷-۷. سازند و میدان مورد بررسی
۲۶۸	۸-۷. تاثیر زون‌های شکسته بر چاه‌نمودارها
۲۷۱	بررسی بتروفیزیک/زمین‌شناسی چاه‌نمودارها در زون‌های شکسته
۲۷۱	چاه‌نمودار قطر سنج
۲۷۲	چاه‌نمودار آهک، دلویمیت، شیل و انیدریت
۲۷۲	چاه‌نمودارهای بتاسیم، توریم و CGR
۲۷۳	چاه‌نمودار گامای اورانیم
۲۷۳	چاه‌نمودارهای GR و SGR
۲۷۴	چاه‌نمودار RT
۲۷۴	چاه‌نمودار DT
۲۷۵	چاه‌نمودار RHOB
۲۷۵	چاه‌نمودار PEF
۲۷۶	چاه‌نمودار NPHI

۲۷۶	چاه‌نمودار SW
۲۷۷	۹-۷. بررسی عددی رفتار چاه‌نمودارها در زون‌های شکسته (مطالعه موردی)
۲۷۷	رفتار یک بعدی چاه‌نمودارها در زون‌های شکسته
۲۷۹	رفتار دو بعدی چاه‌نمودارها در زون‌های شکسته
۲۷۹	رفتار سه‌بعدی چاه‌نمودارها در زون‌های شکسته
۲۸۱	۱۰-۷. گزینش چاه‌نمودارهای بهینه
۲۸۲	روش شبکه بیزین
۲۸۳	الگوریتم k2
۲۸۴	رس حذف بازگشتی پارزن
۲۸۵	۱۱-۷. چاه‌نمودارهای مطلوب جهت شناسایی زون‌های شکسته (مطالعه موردی)
۲۸۵	نتایج اعمال شبکه بیزین
۲۸۷	نتایج اعمال روش حذف بازگشتی پارزن
۲۸۹	گزینش نهایی چاه‌نمودارها جهت شناسایی زون‌های شکسته
۲۸۹	۱۲-۷. جمع‌بندی
۲۹۰	منابع
۲۹۵	۸. شناسایی شکستگی‌ها با طبقه‌بندی کننده‌ها
۲۹۶	۱-۸. طبقه‌بندی و ماتریس طبقه‌بندی
۲۹۷	۲-۸. ماشین بردار پشتیبان
۲۹۸	طبقه‌بندی کننده خطی
۳۰۰	ماشین بردار پشتیبان در سیستم‌های غیر خطی
۳۰۱	اصول ماشین بردار پشتیبان
۳۰۲	نمایش دوگان و بردارهای پشتیبان
۳۰۳	تکنیک کرنل
۳۰۵	انتخاب کرنل مناسب
۳۰۵	پیاده‌سازی طبقه‌بندی کننده SVM بر روی چاه‌نمودارها
۳۰۶	نرمالیزه کردن داده‌ها
۳۰۶	آموزش طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان
۳۰۶	کاهش تعداد داده‌های آموزشی توسط انتخاب بردارهای نمونه

۳۰۶	تعیین کرنل مناسب	
۳۰۷	تعیین پارامترهای کرنل	
۳۰۷	آزمایش طبقه‌بندی کننده	
۳۰۷	نتایج طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان	
۳۰۸	الگوریتم کلونی زنبور عسل	۳-۸
۳۱۰	جستجوی غذا در طبیعت	
۳۱۰	ساختار کلی کلونی زنبور عسل	
۳۱۱	زنبورها در واقعیت	
۳۱۲	الگوریتم کلونی زنبور عسل ABC	
۳۱۴	تولید موقعیت اولیه منبع غذایی	
۳۱۵	فرستادن زنبور، ان کارگر به موقعیتهای منابع غذایی	
۳۱۶	ه مناسب مدیریت احتمال در انتخاب احتمالی	
۳۱۶	حذف منابع غذایی بدون نکات و جایگزینی آن با منبع غذایی جدید	
۳۱۷	خلاصه الگوریتم کلونی زنبور عسل (ABC)	
۳۱۸	پیاده‌سازی الگوریتم کلونی زنبور عسل بر روی داده‌های مخزنی	
۳۱۸	نرمالیزه کردن داده‌ها	
۳۱۸	آموزش الگوریتم به منظور شناسایی رون‌های شکسته از شکسته	
۳۲۰	کنترل عملکرد طبقه‌بندی کننده	
۳۲۰	نتایج طبقه‌بندی به روش کلونی زنبور عسل	
۳۲۴	الگوریتم استدلال موردگرا	۴-۸
۳۲۶	فرایند اجرای استدلال موردگرا	
۳۲۸	نتایج طبقه‌بندی به روش استدلال موردگرا	
۳۲۹	مدل‌سازی هیبرید استدلال موردگرا و کلونی مصنوعی زنبور عسل	۵-۸
۳۳۱	نتایج طبقه‌بندی به روش هیبرید استدلال موردگرا و کلونی مصنوعی زنبور عسل	
۳۳۳	منابع	

۳۳۵	شناسایی شکستگی‌ها با ترکیب اطلاعات	۹
۳۳۶	عملکرد ترکیب اطلاعات در بهبود شناسایی زون‌های شکسته	۱-۹
۳۳۸	نتایج اعمال روش‌های ترکیب اطلاعات در مطالعه موردی	۲-۹

۳۳۹	روش رای اکثریت	۳-۹
۳۴۱	عملکرد روش رای اکثریت	
۳۴۱	عملکرد میانگین گیری مرتب وزن دار	۴-۹
۳۴۲	تعریف عملگر OWA	
۳۴۴	نحوه محاسبه وزن ها در عملگر میانگین گیری مرتب وزن دار	
۳۴۷	عملکرد روش جمع اوزان مرتبه یافته	
۳۴۹	ترکیب طبقه بندی کننده ها	۵-۹
۳۵۳	الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل به عنوان یک ترکیب کننده	۶-۹
۳۵۴	عملکرد روش کلونی زنبور عسل	
۳۵۹	روش سازی مسئله با استفاده از کلونی مصنوعی زنبور عسل ارتقاء یافته	۷-۹
۳۶۱	عملکرد روش کلونی مصنوعی زنبور عسل ارتقاء یافته	
۳۶۱	رویکرد ارائه الگوریتم اعمال شده به مسئله و تحلیل حساسیت	۸-۹
۳۶۲	موقعیت جغرافیایی جابجایی ها	
۳۶۲	جامعیت مدل های موج	
۳۶۳	قابلیت تفکیک عمقی به نه رزونانس های شکسته و نشکسته	
۳۶۵	تخمین فراوانی شکستگی ها در زون های شکسته	۹-۹
۳۶۶	نتایج تخمین فراوانی شکستگی ها در زون های شکسته	
۳۷۰	جمع بندی	۱۰-۹
۳۷۱	منابع	
۳۷۳	تحلیل یک یا دو متغیره شکستگی ها	۱۰
۳۷۴	روش های توصیفی خوشه بندی درزها	۱-۱۰
۳۷۴	خوشه بندی با نمودار گلسرخ	
۳۷۶	تصاویر استریوگرافیک	۲-۱۰
۳۷۶	تصویر کروی	
۳۷۷	تصویر استریوگرافیک	
۳۸۰	روش کار با استریونت	۳-۱۰
۳۸۰	تصویر استریوگرافیک صفحه	
۳۸۲	تصویر استریوگرافیک خط	

۳۸۲	اندازه‌گیری شیب ظاهری قطعات
۳۸۴	تعیین جهت‌یابی صفحه بر اساس اطلاعات دو خط از آن
۳۸۶	تعیین زاویه بین دو خط
۳۸۷	فصل مشترک دو صفحه
۳۸۸	استفاده از قطب صفحات برای رسم تقاطع دو صفحه
۳۸۹	۴-۱۰. تحلیل استریوگرافیک برداشت‌های صحرایی
۳۹۰	خوشه‌بندی درزها یا استریونت
۳۹۳	۵-۱۰. کاستی‌های خوشه‌بندی با نمودار گل‌سرخ‌ی و استریونت
۳۹۶	مراجع
۳۹۷	۱۱. بازنگری روش‌های خوشه‌بندی درزها
۳۹۸	۱-۱۱. پیشینه، مطالعات اصلاح روش‌های خوشه‌بندی درزها
۴۰۰	۲-۱۱. روش‌های طبقه‌بندی
۴۰۱	نزدیک‌ترین همسایه
۴۰۳	پارزن
۴۰۵	بیزین
۴۰۹	شبکه عصبی چند لایه مفهومی
۴۱۳	بهینه‌سازی تعداد لایه‌های میانی
۴۱۴	شیوه آموزش شبکه
۴۱۴	عدم قطعیت عملکرد شبکه با ساختار شبکه MLP ثابت
۴۱۴	بهینه‌سازی نرخ یادگیری الگوریتم بهینه‌سازی
۴۱۴	بهینه‌سازی تعداد نرون‌های لایه میانی
۴۱۵	تعداد نرون‌های لایه خروجی
۴۱۵	نوع تابع تحریک نرون‌ها
۴۱۵	شرط توقف آموزش
۴۱۷	۳-۱۱. طبقه‌بندی درزها در فضای با بُعد بالا
۴۱۷	ساخت داده‌های مصنوعی
۴۱۸	طبقه‌بندی به‌روش‌های سنتی
۴۲۰	طبقه‌بندی به‌روش پارزن

۴۲۳	طبقه‌بندی به‌روش K نزدیک‌ترین همسایگی
۴۲۴	طبقه‌بندی به‌روش بیزین
۴۲۵	طبقه‌بندی به‌روش شبکه عصبی چندلایه مفهومی
۴۲۵	عدم قطعیت عملکرد شبکه
۴۲۶	بهینه‌سازی نرخ یادگیری الگوریتم بهینه‌سازی
۴۲۶	بهینه‌سازی تعداد ترون‌های لایه میانی
۴۲۸	اولویت‌بندی روش‌های طبقه‌بندی
۴۲۸	خوشه‌بندی
۴۳۰	خوشه‌بندی میانگین K داده
۴۳۲	خوشه‌بندی فازی میانگین K داده
۴۳۴	خوشه‌بندی والی
۴۳۶	خوشه‌بندی رزهای آسماری
۴۳۶	برداشت درختان به‌ازای آسماری در سد سیمره
۴۳۸	خوشه‌بندی به‌روش‌های متداول
۴۳۹	آنالیز مولفه‌های اصلی
۴۴۱	آماده‌سازی اطلاعات درزها
۴۴۳	خوشه‌بندی درزهای آسماری به‌روش میانگین K داده
۴۴۶	خوشه‌بندی درزهای آسماری به‌روش میانگین فازی K داده
۴۴۷	خوشه‌بندی درزهای آسماری به‌روش متوی
۴۴۸	اولویت‌بندی روش‌های خوشه‌بندی
۴۴۹	منابع
۴۵۳	۱۲. مطالعه فرکتالی شکستگی‌ها
۴۵۶	۱-۱۲. بعد فرکتال
۴۵۶	روش پرگار تقسیم سیار
۴۵۹	روش پرگار تقسیم سیار دو به‌دو
۴۶۰	روش تغییر نما
۴۶۱	روش مربع شمار
۴۶۳	روش خود تشابهی

۴۶۴	معادلات نمو
۴۶۴	۲-۱۲. تحلیل فرکتالی گسل نهبندان
۴۶۶	۳-۱۲. ارتباط بعد فرکتال خطوط ساحلی با سیستم گسلش
۴۶۷	۴-۱۲. تعیین زبری سطوح شکستگی با استفاده از بعد فرکتال
۴۷۱	۵-۱۲. مدل سازی فررکتالی مخازن شکسته
۴۷۵	۶-۱۲. مدل سازی شکستگی های پی سنگ به روش های آماری و فرکتالی
۴۷۹	۷-۱۲. مدل سازی مخازن شکسته به روش شبکه عصبی-فرکتال
۴۸۲	منابع

۴۸۵	۱۳. شناسایی ها و طبقه بندی توده سنگ
۴۸۶	۱-۱۳. انواع طبقه بندی ها
۴۸۸	۲-۱۳. طبقه بندی ژئومکانیکی (RMR)
۴۸۸	مقاومت فشاری، تنش ممیزی
۴۸۹	کیفیت مغزه حفاری
۴۹۲	فاصله داری درزها
۴۹۳	جهت یابی درزها
۴۹۳	وضعیت سطح درز
۴۹۳	میزان باز شدگی درزها
۴۷۴	تداوم سطح درز
۴۹۴	ناهمواری سطح درز
۴۹۴	دیواره درز
۴۹۴	آب زیر زمینی
۴۹۴	روش انجام طبقه بندی ژئومکانیکی
۴۹۸	۳-۱۳. طبقه بندی Q
۵۰۰	داده های لازم برای طبقه بندی Q
۵۰۱	کیفیت مغزه حفاری RQD
۵۰۱	تعداد دسته درزها (J_n)
۵۰۱	عدد زبری سطح درز (J_r)
۵۰۴	عدد تجزیه سطح درز

۵۰۵	ضریب کاهش آب درز (J_w)	
۵۰۶	ضریب کاهش تنش (SRF)	
۵۰۶	روش تعیین مقدار Q	
۵۰۸	اندازه قطعات	
۵۰۸	مقاومت بین قطعات سنگ	
۵۱۰	تنش فعال در سنگ	
۵۱۰	کاربرد روش Q	
۵۱۱	۴-۱۳. پی نوشت	
۵۱۱	منابع	
۵۱۳	۱۴. شاخص مقاومت زمین شناختی	
۵۱۵	۱-۱۴. سیستم طبقه بندی شاخص مقاومت زمین شناختی (GSI)	
۵۲۰	۲-۱۴. کاربرد GSI در سازه های میرهمگن فیلیش	
۵۲۲	۳-۱۴. تغییر GSI با دو فاکتور CR در SR	
۵۲۴	اصطلاحات پیشنهاد شده در ریسک تهمین GS	
۵۲۸	۴-۱۴. اصلاح جدول GSI با توجه به حجم بلوک ها و فاکتور شرایط درز	
۵۲۸	حجم بلوک	
۵۳۲	فاکتور شرایط درز	
۵۳۳	۵-۱۴. پی نوشت	
۵۳۵	منابع	
۵۳۹	۱۵. مبانی مدل سازی	
۵۴۰	۱-۱۵. طبقه بندی کلی روش های مدل سازی و شبیه سازی	
۵۴۵	۲-۱۵. شبیه سازی فرکتالی	
۵۴۵	تولید داده های مصنوعی با ویژگی های آماری معلوم	
۵۴۵	شبیه سازی فرکتالی یک بعدی	
۵۴۸	شبیه سازی فرکتالی دو بعدی	
۵۵۱	۳-۱۵. تخمین گره های آماری	

۵۵۲	واریوگرام
۵۵۶	کریجینگ ساده
۵۵۷	کریجینگ معمولی
۵۵۸	کریجینگ عام
۵۵۸	لاگ کریجینگ
۵۵۹	کو کریجینگ
۵۵۹	کریجینگ شاخص
۵۶۰	۴-۱۵. شبیه سازی آماری
۵۶۲	شبیه سازی مشروط
۵۶۳	شبیه سازی متوالی شاخص
۵۶۳	شبیه سازی چند نقطه ای
۵۶۶	الگوریتم انسیم (SNESIM)
۵۷۰	درخت جستجو
۵۷۲	الگوریتم ایسا
۵۷۳	۵-۱۵. برخی کاستی های روس های زمین آماری
۵۷۴	ناتوانی واریوگرام در شناسایی ساختار
۵۷۵	مشکلات ناشی از هموار سازی کریجینگ
۵۷۸	مشکلات ناشی از محدودیت اطلاعات
۵۷۸	منابع
۵۸۱	۱۶. مدل سازی شبکه شکستگی ها
۵۸۲	۱-۱۶. مقدمه
۵۸۴	۲-۱۶. پیشینه مدل سازی شبکه شکستگی ها
۵۸۸	۳-۱۶. عوامل موثر بر ایجاد شکستگی ها
۵۹۰	۶-۱۶. روش ها مدل سازی شکستگی ها
۵۹۱	۵-۱۶. داده های مورد نیاز برای مدل سازی شکستگی ها
۵۹۱	داده های چاه
۵۹۲	داده های مدل زمین شناسی
۵۹۲	داده های چاه آزمایشی

۵۹۲	۶-۱۶	اثر شکستگی‌ها روی خصوصیات لرزه‌ای
۵۹۳	۷-۱۶	مفهوم شبکه گسسته شکستگی
۵۹۴		مکان هندسی شکستگی‌ها
۵۹۴		جهت‌یابی شکستگی‌ها
۵۹۴		طول خط اثر شکستگی‌ها
۵۹۵		بازشدگی شکستگی‌ها
۵۹۵		فرایند مدل سازی شکستگی‌ها
۵۹۵	۸-۱۶	فرایندهای شبیه سازی ویژگی‌های مختلف شکستگی‌ها
۵۹۶		الگوی شبیه‌سازی سلسله‌ای
۵۹۷		شبیه سازی جهت‌یابی شکستگی‌ها
۶۰۱		شبیه سازی اصل شکستگی‌ها
۶۱۱		شبیه سازی بازشدگی شکستگی‌ها
۶۱۱	۹-۱۶	نرم‌افزارهای مدل سازی شکستگی در صنعت نفت
۶۱۳	۱۰-۱۶	اهمیت مدل سازی شکستگی‌ها در مطالعات مخزنی
۶۱۴		منابع
۶۱۷	۱۷	بهبود مدل سازی شبکه گسسته شکستگی‌ها
۶۱۸	۱-۱۷	مقدمه
۶۱۹	۲-۱۷	ساختار مدل شبکه گسسته شکستگی
۶۱۹	۳-۱۷	بهبود در مدل استاتیک
۶۲۱	۴-۱۷	بهبود در شبیه سازی شکستگی‌ها در مدل استاتیک
۶۲۲	۵-۱۷	مثالی موردی از مدل سازی شکستگی‌ها به‌شیوه DFN
۶۲۳		بزرگ مقیاس کردن نمودار شدت شکستگی
۶۲۷		مدل سازی شدت شکستگی‌ها
۶۳۰	۶-۱۷	بهبود مدل شکستگی‌ها به‌شیوه DFN با استفاده از چاه‌نمودارها
۶۳۹		منابع
۶۴۱	۱۸	مخازن نفت و گاز شکسته
۶۴۲	۱-۱۸	مخازن شکسته طبیعی

- ۶۴۵ انواع مخازن شکسته
- ۶۴۶ ۲-۱۸. مخازن هیدروکربوری شکسته ایران
- ۶۴۷ جهت یابی تنش های فعال
- ۶۴۷ پراکندگی گسل ها
- ۶۴۹ تکوین پوسته ایران
- ۶۴۹ واحدهای زمین ساختمانی ایران
- ۶۵۱ زاگرس
- ۶۵۱ چین خوردگی های زاگرس
- ۶۵۳ کامل ساختاری حوضه زاگرس
- ۶۵۵ زاگرس چین خورده
- ۶۵۷ مخازن شکسته زاگرس
- ۶۵۹ شکستگی های مخازن آسماری
- ۶۶۰ ۳-۱۸. نقش شکستگی ها در بهندسی مخزن
- ۶۶۰ نقش شکستگی ها در بهسازی حفاری
- ۶۶۲ نقش شکستگی ها در نوسه میدان
- ۶۶۳ نقش شکستگی ها در ازدیاد است
- ۶۶۴ منابع
- ۶۶۷ ۱۹. آشفکافت طبیعی و القایی
- ۶۶۸ ۱-۱۹. آشفکافت طبیعی
- ۶۶۸ جهت یابی شکستگی های کششی
- ۶۷۲ تعیین فشار آب در گسیختگی کششی
- ۶۷۳ آشفکافت در سنگ های سخت نشده
- ۶۷۴ گسیختگی کششی در سنگ های ناهمسانگرد
- ۶۷۷ ۲-۱۹. آشفکافت القایی
- ۶۸۰ افزایش تولید از چاه های آب
- ۶۸۱ معدن کاری تخریب بزرگ
- ۶۸۱ تعیین تنش برای طراحی های ژئوتکنیکی
- ۶۸۲ تسهیل تولید نفت و گاز از مخازن

۶۸۴	تولید انرژی زمین گرمایی
۶۸۵	ذخیره سازی دی اکسید کربن
۶۸۵	توسعه متان از لایه های زغال سنگ
۶۸۶	زهکشی متان از معادن زغال سنگ
۶۸۶	کاستن از انفجار سنگ
۶۸۷	شبیه سازی شکست هیدرولیکی
۶۸۸	منابع

۶۹۱	۲۰. جریان سیال در شکستگی ها
۶۹۲	۱-۲۰. جریان سیال در شکستگی های مخازن
۶۹۳	مخازن نفت در
۶۹۴	مخازن زمین گرمایی
۶۹۶	کاربردهای انرژی زمین گرمایی
۶۹۶	مخازن زمین گرمایی ایران
۶۹۹	آبخوان ها
۶۹۹	۲-۲۰. آلودگی آب های زیر زمینی
۷۰۰	پسماندهای سمی خطرناک
۷۰۱	۳-۲۰. پسماندهای با رادیو اکتیو بالا
۷۰۳	۴-۲۰. معدنکاری
۷۰۴	۵-۲۰. سازه های عمرانی
۷۰۴	دامنه های طبیعی و مصنوعی
۷۰۵	سدها و مخازن
۷۰۶	سازه های زیر زمینی
۷۰۸	سازه های ذخیره سازی و انتقال سیالات
۷۰۸	منابع

۷۰۹	۲۱. شکستگی ها و کانی سازی
۷۱۰	۱-۲۱. زون های برشی
۷۱۲	انواع زون های برشی

۷۱۳	زون‌های برشی ترد
۷۱۴	زون‌های برشی شکل‌پذیر
۷۱۴	زون‌های گذار ترد-شکل‌پذیر
۷۱۵	۲-۲۱. رگه‌ها
۷۱۶	رگه‌های برشی
۷۱۷	رگه‌های کششی
۷۲۰	رگه‌های برشی-کششی
۷۲۱	۳-۲۱. اشکال کانی‌سازی مرتبط با شکستگی‌ها
۷۲۳	اشکال کانی‌سازی لایه‌بندی
۷۲۳	رگه‌های برشی
۷۲۵	بافت‌های ناشی از رشد جهت‌یافته کانی‌ها
۷۲۷	بافت‌های جانمایی و کانی‌سازی افشان
۷۲۷	کانی‌سازی درون‌جبهه‌ها
۷۲۹	کانی‌سازی در زمینه‌های گسلی
۷۳۰	۴-۲۱. سازوکارهای ایجاد انبساط
۷۳۰	باز شدن شکستگی‌ها در کشش
۷۳۰	چرخش شکستگی‌ها
۷۳۱	حرکت روی سطوح برشی غیر مسطح
۷۳۲	چرخش متغیر لایه‌ها
۷۳۲	انبساط سمت محدب لایه‌های خم شده
۷۳۳	انبساط در اثر کوتاه شدگی ناهمگن
۷۳۴	۵-۲۱. تشکیل رگه
۷۳۴	سازوکارهای انتقال
۷۳۵	جریان انتشاری
۷۳۵	جریان سیال
۷۳۵	کنترل کننده‌های حرکت سیال کانه‌دار
۷۳۷	ته‌نشست کانه در شبکه جریان سیال
۷۳۸	نحوه تمرکز جریان سیال در اجزای شبکه گسلی
۷۳۹	رژیم‌های پیوسته جریان سیال

۷۴۱	تاثیر فرایند لغزش ناگهانی بر دینامیک تشکیل کانه
۷۴۳	رشد رگه بدون درز برداشتن
۷۴۵	۶-۲۱ کنترل کننده‌های ساختاری کانی‌سازی رگه‌ای
۷۴۶	قانون دارسی، گسل‌های فعال و کنترل ساختاری
۷۴۸	کنترل ساختاری از مقیاس کوچک تا مقیاس پروژه
۷۴۸	نقش کنترل ساختاری در تعیین اهداف حفاری و تخمین ذخیره
۷۴۹	۷-۲۱ کانی‌سازی و زمین‌ساخت
۷۵۰	عوامل زمین‌ساختی کنترل کننده کانی‌سازی
۷۵۱	کانی‌سازی در حاشیه‌های همگرا
۷۵۱	رخورد قاره‌ای
۷۵۲	زمین‌فرسایش حاشیه قاره‌ها
۷۵۳	کمان جزایر
۷۵۳	کانی‌سازی در حاشیه‌های واگرا
۷۵۳	زون گسترش بر اثر اقیانوس
۷۵۵	کانسارهای مرتبط با کاف‌های درون قاره‌ای
۷۵۶	کانسارهای همراه با خاسته‌های متداوم لغز
۷۵۶	کانسارهای مرتبط با مناطق دایر
۷۵۷	منابع
۷۵۹	فهرست منابع کتاب
۷۸۳	واژه‌نامه (فارسی - انگلیسی)
۷۹۷	واژه‌نامه (انگلیسی - فارسی)
۸۱۱	فهرست راهنما