



مطالعات عددی بافت سنگها

تألیف

دکتر منیر مجرد

دانشیار گروه زمین شناسی

دانشگاه ارومیه

۱۴۰۱



سرشناسه:	مجرد آلمان آباد، منیر، ۱۳۵۸
عنوان و نام پدیدآور:	مطالعات عددی بافت سنگها/ تألیف منیر مجرد؛ ویراستار علمی حسین پیرخراطی؛ ویراستار ادبی بهمن نزهت.
مشخصات نشر:	ارومیه: دانشگاه ارومیه، انتشارات، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری:	۳۶۸ ص.، مصور (رنگی)، جدول، نمودار.
فروست:	انتشارات دانشگاه ارومیه؛ ۳۰۹.
شابک:	978-622-5791-00-8
وضعیت فهرست نویسی:	فیپا
یادداشت:	کتابنامه.
موضوع:	سنگ‌شناسی ساختاری Petrofabric analysis
شناسه افزوده:	پیرخراطی، حسین، ۱۳۴۲ - ویراستار علمی
شناسه افزوده:	نزهت، بهمن، ۱۳۵۲ - ویراستار ادبی
شناسه افزوده:	دانشگاه ارومیه
رده بندی کنگره:	QE۴۴۰
رده بندی دیویی:	۸/۵۵۱
شماره کتابشناسی ملی:	۸۷۷۵۶۸۴

مرکز انتشارات دانشگاه ارومیه

ارومیه، کیلومتر ۱۱ جاده سرو، تلفن: ۳۱۹۴۲۲۷۴ - ۳۲۷۷۹۹۳۰ - ۰۴۴، دورنگار ۳۲۷۷۹۹۳۰

عنوان: مطالعات عددی بافت سنگها

تألیف: منیر مجرد

ناشر: انتشارات دانشگاه ارومیه

چاپ و لیتوگرافی میامی

نوبت چاپ: اول

سال چاپ: ۱۴۰۱

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

قیمت پشت جلد: ۲۰۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۵۷۹۱-۰۰-۸

پیشگفتار

خداوند را شاکرم که به بنده حقیر خود توفیق داد تا آنچه در حدود ۲۰ سال درباره کمی سازی بافت سنگها آموخته‌ام به صورت کتاب به دانشجویان عرضه نموده، موجب تسهیل یادگیری ایشان و رواج این شاخه از علم در میهنم شوم. آنچه در مورد موضوع کتاب مسلم است، این است که بی توجه به مسائل پتروفیزیکی سنگها از قبیل اندازه، شکل و توزیع فضایی بلورها و با استناد به ژئوشیمی صرف، تمام داستان تکوین یک سنگ را به درستی نمی‌توان روایت کرد. در این کتاب کوشیده‌ایم تا در تداوم کارهای ارزنده بافتی پترولوژیست‌های ایرانی از قبیل استاد سپاهی گرو، استاد همام و استاد مؤید بر روی بافت سنگها در راستای بیان اهمیت عددی‌سازی بافت سنگها گامی هر چند کوچک برداریم و حق مطلب را در حد توان خود ادا کنیم. هرچند فصول مختلف این کتاب علاوه بر سنگ شناسان برای مهندسين مواد، آلیاژ و سرامیک نیز قابل استفاده است، اما چون مخاطبان اصلی آن دانشجویان هستند سعی شده است که برای سهولت در امر آموزش و تفهیم مطالب آن، به تمام موارد کاربردی اشاره شود. در برخی از فصلهای کتاب به نتایج مقاله‌های چاپ شده خود و محققین خارجی نیز اشاره شده تا کاربرد عملی مطالب نظری به مخاطبین ارائه شود. همچنین دستگاه‌ها و نرم‌افزارهایی را که در این علم مورد استفاده قرار می‌گیرند در متن معرفی شده است.

در حین نگارش کتاب از همکاری استادانی از دانشگاه ارومیه و تبریز بهره‌مند بوده‌ام که در اینجا بر خود فرض می‌دانم که از ایشان تشکر کنم. از آقای دکتر حسین پیرخراطی مدیر محترم گروه زمین‌شناسی دانشگاه ارومیه که ویراستاری علمی کتاب را در نهایت بزرگواری بر عهده گرفتند. از همسرم استاد بهمن زهت که ویراستاری ادبی و زحمت بازبینی متن را تقبل نمودند. از فرزندانم محمد و امیرعلی که در حین آماده‌سازی کتاب صبوری نموده و مشوقم بودند، سپاسگزارم.

از همه دانشجویان و استادان محترمی که امکان مطالعه کتاب برای آنها فراهم می‌شود، تقاضا دارم که برای ارتقاء کیفی کتاب از ارایه نظرات صایب و ارزنده خود دریغ نکرده و مؤلف را بهره‌مند سازند.

و من الله التوفیق

منیر مجرد

اسفند ۱۴۰۰

فهرست مطالب

مقدمه..... ۱

فصل اول: روش های جمع آوری داده های بافتی

- ۱-۱ روش های کلی تحلیل بافت با مشاهده دو و سه بعدی..... ۱۳
- ۱-۲ محدودیت ها در بررسی ابعاد دانه ها ۱۶
- ۱-۳ اثرات لبه ها ۱۶
- ۱-۴ روش های تحلیلی سه بعدی ۱۷
- ۱-۴-۱ مقاطع متوالی ۱۷
- ۱-۴-۲ مطالعات نوری و میکروسکوپی ۱۹
- ۱-۴-۳ توموگرافی اشعه ایکس ۲۰
- ۱-۴-۴ تصویربرداری رزونانس مغناطیسی..... ۲۴
- ۱-۵ استخراج پارامترهای فیزیکی دانه ها از داده های حجمی..... ۲۴
- ۱-۶ روش تحلیلی حاصل از تخریب بخشی از سنگ (کانه آرایه)..... ۲۵
- ۱-۶-۱ جدا کردن تجمعات بلوری..... ۲۶
- ۱-۶-۲ انحلال نمونه ۲۶
- ۱-۷ روش های تحلیلی سطحی و مقطعی ۲۸
- ۱-۷-۱ تکنیک آماده سازی سطح ۲۸
- ۱-۷-۲ روش میکروسکوپ الکترونی ۲۹
- ۱-۷-۳ نقشه اشعه ایکس ۳۰
- ۱-۷-۴ کاتدلومینسنس ۳۲
- ۱-۷-۵ روش های تحلیلی نوری ۳۴
- ۱-۷-۵-۱ میکروسکوپ نور عبوری ۳۴
- ۱-۷-۵-۲ میکروسکوپ نور انعکاسی ۳۶
- ۱-۷-۵-۳ میکروسکوپ نومارسکی (DIC) ۳۷
- ۱-۷-۲ تختال ها و برونزدها ۴۰
- ۱-۷-۳ تکنیک اسکن لام (میکروویژنر) ۴۳

۵۰.....	۱-۸ استخراج پارامترهای بافتی از تصاویر
۵۰.....	۱-۸-۱ مسائل اندازه گیری ابعاد بلورها
۵۱.....	۱-۸-۲ پردازش دستی تصویر
۵۲.....	۱-۸-۳ پردازش اتوماتیک تصویر
۵۲.....	۱-۸-۴ تصاویر خاکستری
۵۳.....	۱-۸-۵ پردازش نهایی تصاویر تفکیک شده
۵۳.....	۱-۸-۶ کار کامپیوتری روی تصاویر میکروسکوپ پلاریزان
۵۴.....	۱-۹ محاسبه داده های سه بعدی از روی داده های دو بعدی
۵۴.....	۱-۹-۱ استریولوژی
۵۴.....	۱-۹-۲ پارامترهای مطرح در استریولوژی
۵۷.....	۱-۱۰ تأیید پارامترهای نظری
۵۷.....	۱-۱۰-۱ آزمون مجذور کای
۵۸.....	۱-۱۰-۲ توزیع خط راست
۵۹.....	۱-۱۱ خلاصه مبحث روش های تحلیل بافتی

فصل دوم: مبانی نظری اندازه بلورها

۶۳.....	۲-۱ مقدمه
۶۳.....	۲-۲ مفهوم توزیع اندازه
۶۴.....	۲-۲-۱ تعریف اندازه خطی
۶۵.....	۲-۳ مروری کوتاه بر مبانی نظری
۶۶.....	۲-۳-۱ فرایندهای تبلور کینتیکی اصلی
۶۷.....	۲-۳-۱-۱ هسته بندی بلورها
۷۰.....	۲-۳-۱-۲ رشد و انحلال
۷۴.....	۲-۳-۲ بافتهای کینتیکی
۷۵.....	۲-۳-۳ مدلهای تبلور حالت پایدار
۷۸.....	۲-۳-۴ تبلور دسته ای
۷۸.....	۲-۳-۵ بافت های ایجاد شده بصورت مکانیکی
۷۸.....	۲-۳-۵-۱ فشردگی و پالایش فشاری

۸۱.....	۲-۳-۵-۲ تجمعات بلوری
۸۴.....	۲-۳-۵-۳ اختلاط ماگمایی و جمعیت های بلوری
۸۶.....	۲-۳-۶ آثار بافتی تعادل
۸۸.....	۲-۳-۷ مسئله انرژی
۹۰.....	۲-۳-۸ مدل درشت شدگی LSW
۹۲.....	۲-۳-۹ مدل درشت شدگی همسایه های مرتبط (CN)
۹۴.....	۲-۴ نقش سیالات در سیستم های باز
۹۴.....	۲-۵ رشد ادکومولایی
۹۵.....	۲-۷ درشت شدگی مواد جامد
۹۶.....	۲-۸ دگرشکلی بلور
۱۰۱.....	۲-۹ تکه تکه شدن بلور
۱۰۳.....	۲-۱۰ بسته شدن توزیع اندازه دانه
۱۰۵.....	۲-۱۱ روش های تحلیل اندازه
۱۰۶.....	۲-۱۱-۱ روش های تحلیل سه بعدی اندازه
۱۰۷.....	۲-۱۱-۲ روش های تحلیل دو بعدی
۱۰۸.....	۲-۱۱-۲-۱ تعیین طول و عرض دانه از روی طرحواره
۱۰۹.....	۲-۱۱-۲-۲ روش های تعیین اندازه متوسط مقطع برشی دانه
۱۱۰.....	۲-۱۲ استخراج توزیع اندازه دانه از روی داده ها
۱۱۱.....	۲-۱۲-۱ روش پارامتری
۱۱۲.....	۲-۱۲-۲ راه حل های فاقد توزیع
۱۱۴.....	۲-۱۲-۳ روش سالتیکوف

فصل سوم: مطالعات عددی روی توزیع اندازه در سنگهای دگرگونی

۱۱۹.....	۳-۱ مروری کوتاه بر مبانی نظری
۱۲۱.....	۳-۲ کینتیک درشت شدگی (Coarsening)
۱۲۳.....	۳-۲-۱ روابط حاکم بر کینتیک درشت شدگی
۱۲۴.....	۳-۳ سرعت و سازوکار دگرگونی پیشرونده
۱۲۷.....	۳-۴ کاربردهایی از مطالعات عددی

۳-۴-۱	گارنت	۱۲۷
۳-۴-۲	کیانیت و استارولیت	۱۳۹
۳-۴-۳	توزیع اندازه بلوری در هاله های مجاورتی	۱۴۱
۳-۴-۳-۱	رخدادشناسی دگرگونی مجاورتی	۱۴۳
۳-۴-۳-۲	متغیرها	۱۴۵
۳-۴-۳-۳	رخداد دگرگونی ایزوشیمیایی	۱۴۶
۳-۴-۳-۴	رخداد دگرگونی آلوشیمیایی	۱۴۷
۳-۴-۳-۵	سنگهای میزبان کربناتی و الترامافیک (اسکارن)	۱۵۰
۳-۴-۳-۶	روش کار مطالعات کیتیکی	۱۵۱
۳-۴-۳-۷	کیتیک درشت شدگی در هاله مجاورتی شیور	۱۵۳
۳-۴-۳-۸	سرعت هسته بندی و رشد در هاله مجاورتی شیور	۱۵۷
۳-۴-۴	کانی های متفرقه	۱۶۲
۳-۴-۵	میگماتیت ها	۱۶۳
۳-۴-۶	تبلور هیدروترمالی	۱۶۳
۳-۵	بلورهای دگرشکل شده و شکسته	۱۶۴
۳-۶	تبلور مجدد دینامیک	۱۶۴

فصل چهارم: مطالعات عددی روی توزیع اندازه در سنگ های آذرین

۴-۱	مقدمه	۱۶۷
۴-۲	سنگ های آتشفشانی	۱۶۸
۴-۲-۱	پلاژیوکلاز در دریاچه گدازه بازالتی	۱۶۸
۴-۲-۲	پلاژیوکلاز در جریان گدازه ای	۱۶۹
۴-۲-۳	نرخ رشد پلاژیوکلاز در ماگمای بازالتی	۱۷۰
۴-۲-۴	توزیع الیوین در بازالت	۱۷۱
۴-۲-۵	پلاژیوکلاز در آندزیت	۱۷۵
۴-۲-۶	الیوین در پیکریت	۱۷۸
۴-۲-۷	آنورتوکلاز در فنولیت	۱۷۸
۴-۲-۸	لوئیسیت، الیوین و کلینوپیروکسن در ولکانیت تحت اشباع از سیلیس	۱۷۹

۱۸۳.....	۴-۲-۹ پلاژیوکلاز در داسیت
۱۸۶.....	۴-۲-۱۰ میکروولیت ها
۱۸۷.....	۴-۲-۱۱ زیرکن در توف ریولیتی و گدازه
۱۸۹.....	۴-۲-۱۲ آمفیبول و پلاژیوکلاز در داسیت
۱۹۴.....	۴-۳ سنگهای درونی
۱۹۴.....	۴-۳-۱ گابرو
۱۹۵.....	۴-۳-۲ ارتوز، پلاژیوکلاز و کوارتز در گرانیت پورفیری
۱۹۵.....	۴-۳-۳ آلکالی فلدسپار در گرانودیوریت
۱۹۷.....	۴-۳-۴ الماس

فصل پنجم: مبانی نظری شکل و موقعیت دانه ها و حفرات

۲۰۳.....	۵-۱ مقدمه
۲۰۴.....	۵-۲ مرور کوتاهی مبانی نظری
۲۰۶.....	۵-۳ فرم های رشد
۲۰۷.....	۵-۴ فرم های انحلال
۲۰۸.....	۵-۵ شکل بلورهای دگرشکل شده
۲۱۰.....	۵-۶ زاویه دوسطحی بلورها در سنگ ها
۲۱۳.....	۵-۷ روش کار سه بعدی
۲۱۳.....	۵-۸ روش کار دو بعدی روی مقاطع
۲۱۶.....	۵-۹ داده های تصویراندازی
۲۱۶.....	۵-۱۰ استخراج پارامترهای مرز دانه ها
۲۱۸.....	۵-۱۱ تعیین زاویه دوسطحی
۲۱۹.....	۵-۱۲ کاربردها
۲۱۹.....	۵-۱۲-۱ شکل کانی ها در سنگ های متبلور دگرشکل نشده
۲۱۹.....	۵-۱۲-۱-۱ پلاژیوکلاز
۲۲۰.....	۵-۱۲-۱-۲ زیرکن
۲۲۲.....	۵-۱۲-۱-۳ شکل دیگر کانی ها
۲۲۶.....	۵-۱۲-۲ شکل کانی در سنگ های دگرشکل شده

۲۲۷.....	۵-۱۳ توزیع و روابط فضایی دانه
۲۲۹.....	۵-۱۴ هسته بندی بلورها
۲۳۳.....	۵-۱۵ تجمع بلوری
۲۳۶.....	۵-۱۶ استخراج پارامترهای توزیع فضایی
۲۳۶.....	۵-۱۶-۱ مسافت نزدیکترین همسایه (R بزرگ)
۲۴۰.....	۵-۱۷ بافت حفرات پر شده با سیال
۲۴۲.....	۵-۱۸ مباحث نظری نفوذپذیری
۲۴۳.....	۵-۱۹ نفوذپذیری سنگ های مذاب
۲۴۴.....	۵-۲۰ حباب ها در گدازه ها
۲۴۴.....	۵-۲۰-۱ هسته بندی و رشد حباب ها
۲۴۸.....	۵-۲۰-۲ توزیع اندازه و شکل حباب ها BSD
۲۴۹.....	۵-۲۰-۲-۱ روش کار
۲۵۳.....	۵-۲۰-۳ مطالعه موردی حباب ها در بازالت

فصل ششم: مطالعات عددی روی بافت سنگ های دگرشکل شده

۲۵۹.....	۶-۱ بافت سنگ های جهت یافته
۲۶۱.....	۶-۲ بافت حاصل از رشد بلورهای نو
۲۶۱.....	۶-۲-۱ تبلور از ماگما
۲۶۲.....	۶-۲-۲ تبلور کانی در حالت جامد
۲۶۲.....	۶-۳ فابریک های حاصل از دگرشکلی ماگمایی
۲۶۸.....	۶-۴ تأثیر درشت شدگی و انحلال فشاری در بافت
۲۶۹.....	۶-۵ روش کار بافتی روی سنگ های جهت یافته
۲۷۰.....	۶-۵-۱ روش های تعیین SPO
۲۷۰.....	۶-۵-۱-۱ روش مستقیم سه بعدی
۲۷۱.....	۶-۵-۲ اندازه گیری عملیاتی جهت یافتگی ها
۲۷۳.....	۶-۶ لزوم تهیه نمونه های جهت دار
۲۷۴.....	۶-۷ اندازه گیری جهت یافتگی ترجیحی
۲۷۶.....	۶-۸ تخمین SPO کانی

۶-۹ تخمین LPO کانی	۲۷۶
۶-۱۰ جهت یافتگی ترجیحی در سنگ های دگرگونی	۲۷۹
۶-۱۱ جهت گیری های فابریکی در سنگ های آذرین	۲۹۹

فصل هفتم: آشنایی با برخی نرم افزارهای کلیدی در این شاخه از علم

۷-۱ مقدمه	۳۰۷
۷-۲ برنامه CSDCorrections	۳۰۷
۷-۲-۱ روش کار	۳۰۷
۷-۲-۲ قابلیت ها	۳۰۸
۷-۳ برنامه Whole Slide Imaging (WSI)	۳۱۱
۷-۴ نرم افزارهای پردازش تصویری	۳۱۲
۷-۴-۱ مبانی پردازش تصویر	۳۱۳
۷-۴-۲ مراحل پردازش دیجیتالی تصویر	۳۱۴
۷-۴-۳ برنامه ASAP -Automated Slide Analysis Platform	۳۱۶
۷-۴-۴ برنامه های پردازش تصویر: ImageJ, Fiji, Anix, MIPCloud	۳۱۷
۷-۵ نرم افزار Photoshop	۳۲۴
۷-۵-۱ روش کار	۳۲۴
۷-۶ برنامه Digimizer	۳۲۷
۷-۷ رسم نمودار سه بعدی در Excel	۳۳۰
منابع	۳۳۵
نمایه	۳۴۱

مقدمه

مطالعات سیستم‌های ماگمایی با استفاده از بافت نمونه‌های آتشفشانی برای بررسی موقعیت و مدت اقامت ماگما در آشیانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل‌سازی فرایندهای آتشفشانی و سیستم‌های ماگمایی در دهه‌های اخیر پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته است که این امر مرهون پیشرفت روش‌های تجربی و تحلیلی است. کارهای آزمایشگاهی سرمایش و افت فشار موجب ارتقای دانش و درک ما از روند اتفاقات تبلوری همراه فوران شده است. در کنار این مورد، پیشرفت‌های مربوط به نقشه‌برداری ترکیبی از کانی، تجزیه ایزوتوپی و زمان-سنجی انتشار، ابزارهایی برای تخمین تاریخچه پیچیده بلورها فراهم آورده است. آزمایشات تجربی نمی‌تواند تمام بافت‌های زمینه سنگ را توضیح دهد. زیرا ماگما دارای بلورهای اندوژن (متبلور شده از مایعات انتقالی) و اگزوژن (حاصل از هر فرایندی خارج از سیستم) است که این تفسیر جمعیت بلوری نمونه‌های آتشفشانی را پیچیده می‌سازد. تحلیل و تفسیر CSD و سایر پارامترهای فیزیکی جمعیت بلوری ما را قادر به تمایز منشأ گوناگون و تاریخچه رشد متفاوت کرده و این درک نهایی ما را از فرایندهای آتشفشانی ارتقاء می‌بخشد. لذا می‌بایست تحلیل اندازه بلورها به سایر مطالعات تجربی و ژئوشیمیایی افزوده شود تا نتایج کامل‌تری از منشأ ماگما بدست آید. اندازه‌گیری‌های فیزیکی مبتنی بر ترکیب می‌تواند مراحل مختلف رشد را نشان داده و موضوع زمان را برای فرایندهای مختلف در شرایط تبلور آشکار کند (Cashman, 2020).

روش‌های تحلیل بافت در پترولوژی^۱

ما در پترولوژی نتایج آزمایش‌های طبیعی را بررسی می‌کنیم و به این مسئله معکوس می‌پردازیم که چه وقایعی بر روی مواد اولیه روی داده که آنرا تبدیل به

¹ Petrological methods

سنگی کرده است که ما اکنون مشاهده می‌کنیم. این مسئله پیچیده است و همیشه یک راه حل واحد ندارد. ما باید بدانیم که مواد آغازگر احتمالی چه بوده اند و فرایندهای ثانوی رخ داده ممکن کدامند. رویکرد کلی این است که تعدادی از پارامترهای دخیل را انتخاب کرده و آنها را در سنگ نهایی ارزیابی کنیم. یک ماده اولیه به صورت پیش فرض انتخاب شده و فرایندهای متعدد روی آن اعمال می‌شود. در نهایت نتایج این مدل‌سازی با سنگ مورد نظر مقایسه می‌شود.

همه سنگها از مجموعه‌ای از کانیها با ابعاد، جهت‌گیری و شکل‌های گوناگون تشکیل شده‌اند که به طرق مختلف مورد مشاهده قرار می‌گیرند. مطالعات پترولوژیکی مقدماتی در صحرا و نیز توسط میکروسکوپ پلاریزان صورت می‌گیرد. ارزش تجزیه‌های شیمیایی در پترولوژی کلاسیک زیاد است لیکن در قدیم فقط معدودی از نمونه‌ها و تنها تعدادی از عناصر مورد تجزیه قرار می‌گرفت نه همه آنها. با پیشرفت علم و توسعه ابزارهای آزمایشگاهی و تجزیه‌های شیمیایی و ایزوتوپی، اکنون روش‌های تجزیه‌ای حقیقتاً دارای اهمیت غیر قابل انکاری هستند. در واقع بیشتر زمین‌شناسان تصور می‌کنند پترولوژی آذرین و دگرگونی تنها مشتمل بر تجزیه‌های شیمیایی و ایزوتوپی ساده کانیهاست. در اینجا یک نکته ظریف وجود دارد و این کتاب می‌کوشد تا نشان دهد تجزیه‌های کمی بافت‌ها نیز می‌تواند در درک نحوه تکامل مواد سنگی کمک کننده باشد. به نوعی شاید بتوان گفت پارامترهای بافتی بیشتر از روش‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی در تعیین فرایندهای مؤثر در تغییر اندازه، شکل، موقعیت و جهت‌گیری بلورها دارای اهمیت است. هرچند بهتر این است که از تمامی جنبه‌ها به مسئله نگریسته شود.

مخاطب این کتاب تمامی سنگ شناسان آذرین و دگرگونی در همه سطوح هستند. برخی پترولوژیست‌ها ممکن است نسبت به پتانسیل مطالعات بافتی در

حل مسائل ناشی از توجه تک بعدی متکی بر روشهای تجزیه شیمیایی، آگاهی نداشته باشند. برخی دیگر ممکن است مطالعات بافتی را آغاز کرده باشند لیکن بر کاربرد آن در سایر زیر رده‌های علم پترولوژی اطلاعاتی نداشته باشند.

یک مطالعه پترولوژیکی ایده آل می‌بایست نظریه محتمل، روش‌های تجزیه‌ای مقدور و کاربرد آنها را روی یک سنگ واقعی با هم ترکیب کند تا بتواند به نتیجه جامعی دست یابد. گرچه پترولوژیست هم یک انسان است و در بسیاری از موارد یکی از محورها به ضرر سایر محورها بر دیگری می‌چربد. به نظر می‌رسد صدای زنگ هشدار برای غلبه مباحث نظری و نیز تعدد روشهای شیمیایی به مباحث کاربردی قابل مشاهده روی سنگهای واقعی به صدا درآمده است. امید است خوانندگان این کتاب بتوانند در جهت درک عمیق تر منشأ سنگها هر دو-گونه اندازه‌گیری‌های کمی را با نظریه‌های مستحکم ژئوشیمی با هم بیامیزند.

دادهای کیفی در برابر داده‌های کمی

با اینکه الگوها و ساختارهای سنگها در گذشته نیز ثبت و مشاهده می شد لیکن در قرن نوزدهم بود که میکروسکوپ پلاریزان ما را قادر کرد اطلاعات جزئی و گسترده‌ای درباره سنگها بدست آوریم. تا آن زمان مشاهده‌ها اغلب کیفی بود مانند متوسط اندازه دانه‌ها، روابط توصیفی دانه‌ها، شکل مرزهای دانه‌ها و فابریک جهت یافتگی بلورها. با وجود اینکه داده‌های کیفی کاربرد خود را دارند، اما آنها قادر نیستند مدل‌های فیزیکی هر فرایند را مانند داده‌های کمی توضیح دهند. چنانچه مشاهدات کمی صحیحی از سنگها در اختیار باشد، مدلهای می‌توانند پیش-بینی‌های کمی دقیقی انجام دهند. اغلب اوقات پترولوژیست‌ها مدل‌های زمین-شناسی پیچیده‌ای ارائه می‌کنند تا در انتهای مقاله متذکر شوند که نتایج آنها با سنگهای واقعی مشابه است! واقعا چه نیازی بر این است که اندازه‌گیری‌های کمی بافت سنگها با پیش بینی‌های نظری قابل قیاس باشد؟

در حقیقت مرز بین داده‌های کمی و کیفی تا حدودی ساختگی است و با جنبه‌های گوناگون ماهیت داده مرتبط است. در مطالعات کمی منظور از ماهیت و چگونگی داده بیشتر صحت اندازه‌گیری‌هاست. چنانچه داده‌ها صحیح نباشند آنها نیز بیش از داده‌های توصیفی اهمیتی نخواهند داشت و در واقع ممکن است مشکل‌ساز و اشتباه برانگیز باشند. در مطالعات ژئوشیمیایی معتبر، صحت تجزیه از طریق مواد مرجع و استاندارد سنجیده می‌شود. در حالیکه برای مطالعات بافتی چنین مواد مرجعی بسیار معدود و یا به کلی غیر موجود است.

تعریف بافت^۱

بافت یک سنگ در این کتاب مبتنی بر آرایش هندسی دانه‌ها، بلورها، حباب‌ها و شیشه در سنگ است. دانشمندان دیگر و ژئوفیزیکدان‌ها از واژه پلی کریستال نیز برای مواد سنگی استفاده می‌کنند. گرچه ساختار داخلی دانه‌ها و بلورها دارای اهمیت بالایی در تفسیر هستند لیکن در این کتاب مورد بحث قرار نمی‌گیرند. واژه بافت مورد استفاده در این کتاب شامل جهت‌گیری بلورها هم می‌شود که از آن بعنوان فابریک یا طرحواره هم نام برده شده است. این دو کلمه (بافت و فابریک) در برخی علوم به معنای متضاد هم استفاده می‌شوند. ولی در علم مهندسی مواد عبارت ریزساختار^۲ به همین معنی بافت استفاده می‌شود و برخی پترولوژیست‌ها آنرا بیشتر می‌پسندند. با این همه نام یک موضوع چندان اهمیتی نداشته و این محتواس که مهم است. برخی اجزاء کلیدی بافت یک سنگ عبارتند از: اندازه دانه‌ها، بلورها و حباب‌ها - شکل و مرز بین دانه‌ها و بلورها - جهت‌گیری دانه‌ها و شکل و شبکه بلورها - موقعیت و اتصال بین‌بلوری - روابط بین فازهای گوناگون (Higgins, 2006). فاکتورهای بافتی مهمی مثل

¹ texture

² microstructure

روابط بین کانی‌های محصور شده در بلورهای غربالی نیز وجود دارد لیکن بطور معمول کمّی‌سازی نمی‌شوند. دقت و صحت در پارامترهای بافتی تعیین شده از یک سنگ بسیار پیچیده است. اما مسئله فعلی پترولوژی این نیست. با این حال چنانچه این پارامترها با دقت تعیین شده باشند می‌بایست آنها را به صورت گزارش‌های مدون در منابع داده الکترونیک حفظ کرد حتی اگر در هنگام اجرای پژوهش مورد نیاز نباشد ممکن است در آینده از آن استفاده شود.

تحلیل کمّی بافتی یک سنگ با اندازه‌گیری پارامترهای بافتی آن آغاز می‌شود. مدل‌سازی برای نحوه تکوین آن پارامتر به صورت مستقل و جداگانه صورت می‌گیرد. بعنوان مثال اندازه دانه جدا از سایر پارامترها تحلیل می‌شود. این شاید بدلیل نو بودن این شاخه نسبت به مطالعات ژئوشیمیایی و ایزوتوپی باشد. البته امروزه تلاش‌هایی در جهت مدل‌سازی سه بعدی برای بافت سنگها انجام می‌شود.

انباشت اطلاعات^۱ و منابع داده

یکی از دشواری‌ها در این زمینه حجم زیاد مطالعات و درهم‌تنیدگی و عدم شفافیت آنها در شاخه‌های مختلف این حوزه است. اینجا از تعبیر انباشت اطلاعات برای آن استفاده می‌شود. شاید صدها یا حتی هزاران مطالعه درباره جهت‌گیری بلورها در سنگهای دگرگونی وجود داشته باشد ولیکن در سنگهای آذرین این مورد به کمتر از شمار انگشتان دست می‌رسد. پس نیاز است که توسعه همه جانبه و یکنواخت در همه زمینه‌ها صورت گیرد. در مجموع درباره شکل و موقعیت فضایی بلورها در هر دو شاخه آذرین و دگرگونی به یک اندازه داده وجود دارد در حالیکه درباره جهت‌یابی بلورها در سنگهای دگرگونی و در حوزه اندازه بلور و حفره در سنگهای آذرین بیشتر تمرکز شده است.

¹ Information density

داده‌های علمی در شکل‌های مختلف منتشر می‌شوند بعضی به درستی داوری می‌شوند و به سهولت قابل دسترسی و ارجاع دادن هستند اما بعضی این مشخصات را ندارند. در این کتاب چکیده مقالات همایش‌ها بدلیل عدم داوری درست و نیز داده‌های مفید اندک، مورد بررسی قرار نگرفته است. نتایج پایاننامه‌های کارشناسی ارشد و دکترا هم با وجود حجم وسیع، بخاطر اینکه مثل مقالات مجلات مورد داوری دقیق نبوده‌اند، اینجا نیامده است. بعلاوه دسترسی به کل پایاننامه‌ها همیشه آسان نیست و اغلب نتایج به صورت شفاهی نقل می‌شود. البته نتایج پایاننامه‌های علمی همیشه توسط استاد راهنما یا دانشجو در مجلات چاپ می‌شود.

ساختار این کتاب

این کتاب گستره وسیعی از کاربردهای بافتی کمی را در حل مسائل پترولوژیکی به همراه روشهای تحلیل آنها جمع کرده است. لذا ابتدا به روش‌های کاربردی کلی پرداخته شده سپس موضوعات بر حسب پارامترهای مورد اندازه‌گیری نظیر اندازه، شکل، جهت‌گیری و موقعیت بلورها توضیح داده شده‌اند. در فصول بعدی به بررسی نظری پرداخته شده تا ماهیت مسائل درک شود. همچنین روشهای تحلیل آماری و نحوه استخراج داده‌های بافتی معنی‌دار شرح داده شده است. همچنین کاربردهای کنونی و آتی این داده‌ها آورده شده است. درباره داده‌های مرتبط با حفرات نیز مباحثی گنجانده شده است. نتایجی از مقالات چاپ شده نویسندگان در مجلات معتبر نیز به کتاب افزوده شده تا نمونه‌های موردی از مطالعات بافتی به مخاطب ارائه شود.

یک مورد مهم استفاده از دستگاه اسکن کل لام میکروسکوپی یا مقطع نازک است که بعنوان یک روش جدید حداقل در ایران مورد اشاره قرار گرفته است. بهره-