

شماره دهم زمستان ۱۳۴۷

بسم الله الرحمن الرحيم

مدل سازی فرکتال و چند فرکتال داده های ژئوشیمیایی

تألیف:

دکتر اردشیر هزارخانی

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

مهندس بشیر شکوه سلجوقی

پاییز ۱۳۹۵

۷۶۱۶۶۶۱

سروشانه	هزارخانی، اردشیر، ۱۳۴۰
عنوان و نام پدیدآور	مدل سازی فرکتال و چندفرکتال داده های ژئوشیمیایی / تألیف اردشیر هزارخانی، بشیر شکوه سلجوقی
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۹۵
مشخصات ظاهری	د ۲۹۵ ص: مصور (بخش رنگی) جدول، نمودار
شابک	978-964-463-650-9
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	واژه نامه
یادداشت	کتاب نامه: ص. ۲۷۸-۲۸۳
یادداشت	نمایه
موضوع	برخال ها
موضوع	Fractals
موضوع	چند برخال ها
موضوع	Multifractals
موضوع	ژئوشیمی
موضوع	Geochemistry
موضوع	ژئوشیمیایی معدنی
موضوع	Mining geology
شناسه افزوده	شناسه ملی: ۱۳۶۶
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
رده بندی کنگره	۱۳۹۵: ۴/۸۶/۴۸۶
رده بندی دیویی	۵۱۴/۷۴۲
شماره کتابشناسی ملی	۴۴۱۲۱۵۱



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۶۵۰-۹
دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.

عنوان کتاب	مدل سازی فرکتال و چندفرکتال داده های ژئوشیمیایی
تألیف	دکتر اردشیر هزارخانی، مهندس بشیر شکوه سلجوقی
ناشر	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	پاییز ۱۳۹۵
تیراژ	۳۰۰ نسخه
قیمت	۱۷۰۰۰ تومان
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۶۵۰-۹
	ISBN : 978-964-463-650-9

آدرس مرکز پخش: خیابان ولپعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وب سایت: [www. http://publication.aut.ac.ir](http://publication.aut.ac.ir)

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱ هندسه فرکتال.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۱
۲-۱ سیستم‌های خطی.....	۲
۳-۱ سیستم‌های غیر خطی.....	۲
۴-۱ سیستم‌های خطی در طبیعت استثناء هستند.....	۳
۵-۱ فاکتور دایس آشوب.....	۵
۶-۱ هندسه طبیعت جسم سیستم‌های آشوبناک.....	۹
۱-۶-۱ هندسه کلاسیک.....	۱۰
۲-۶-۱ هندسه برحاله (فرکتال).....	۱۱
مراجع.....	۵۹
فصل ۲ بُعد فرکتال.....	۶۱
۱-۲ مقدمه.....	۶۱
۲-۲ بُعد اجسام هندسی.....	۶۲
۳-۲ بُعد اجسام فرکتالی.....	۶۴
۴-۲ انواع بُعد هندسه فرکتال.....	۷۱
۱-۴-۲ بُعد توپولوژیکی.....	۷۱
۲-۴-۲ بُعد هاوسدورف.....	۷۲
۳-۴-۲ بُعد تشابهی.....	۷۶
۴-۴-۲ بُعد ظرفیت (فرکتالی) - D_{cap}	۷۷
۵-۴-۲ بُعد اطلاعات - D_I	۷۹
۶-۴-۲ بُعد همبستگی.....	۷۹
۷-۴-۲ بُعد لیپانوف - D_L	۸۰
۵-۲ روش‌های تعیین بُعد فرکتال.....	۸۱
۱-۵-۲ بُعد خود تشابهی (D_s).....	۸۳
۲-۵-۲ بُعد اندازه (d).....	۸۷
۳-۵-۲ رابطه بین خود تشابهی (D_s) و بُعد اندازه (d).....	۹۲

۹۷	۲-۵-۴ بعد شمارش خانه (D _b)
۱۰۲	۲-۵-۵ روش تقسیم
۱۰۴	۲-۵-۶ روش طیف توان
۱۰۴	۲-۵-۷ مساحت- محیط
۱۰۵	۲-۵-۸ روش واریوگرام
۱۰۷	۲-۶ جمع‌بندی فصل دوم
۱۰۸	مراجع
۱۰۹	فصل ۳ اندازه‌گیری‌های چندفرکتالی
۱۰۹	۳-۱ مقدمه
۱۱۲	۱-۲-۱ خاصیت چندفرکتالی
۱۱۶	۳-۲-۱ مثالی شهودی از چندفرکتال
۱۱۹	۳-۳-۱ تعریف چندفرکتال‌ها
۱۳۰	۳-۴-۱ روش‌های نام چندفرکتال‌ها
۱۳۰	۳-۴-۱-۱ روش بعد همبستگی تعمیم‌یافته $D(q)$ و توان‌های جرمی $\tau(q)$
۱۳۳	۳-۴-۲ طیف چندفرکتال $f(\alpha)$
۱۳۵	۳-۴-۳ تابع هم‌بعد $\tau(\nu)$ و گشتاور مقیاسی $K(q)$
۱۳۷	۳-۵-۱ آبشارهای ضربی
۱۳۸	۳-۵-۲ آبشار ضربی دو جمله‌ای
۱۴۲	۳-۶-۱ مشخص‌سازی چندفرکتال‌ها از طریق طیف چندفرکتال
۱۴۹	۳-۷-۱ روش‌های تخمین طیف چندفرکتال
۱۵۰	۳-۷-۱-۱ روش هیستوگرام
۱۵۰	۳-۷-۲ روش گشتاورها
۱۵۳	۳-۸-۱ تفسیر طیف چندفرکتال
۱۵۳	۳-۸-۲ طیف چندفرکتال به‌عنوان بعد فرکتال
۱۵۳	۳-۸-۲ طیف چندفرکتال از تئوری انحراف بزرگ
۱۵۶	مراجع
۱۵۹	فصل ۴ جداسازی آنومالی از زمینه با استفاده از فرکتال و چندفرکتال
۱۵۹	۴-۱ مقدمه
۱۶۲	۴-۲ جداسازی آنومالی از زمینه با استفاده از هندسه فرکتال
۱۶۷	۴-۳ توزیع‌های فرکتالی

۱۶۹	۴-۳-۱ توزیع تابع توان
۱۷۲	۴-۳-۲ توزیع پرتو
۱۷۴	۴-۳-۳ توزیع لاگ نرمال
۱۷۵	۴-۳-۴ توزیع Zipf
۱۷۶	۴-۴ الگوهای فرکتالی و اکتشافات ژئوشیمیایی
۱۷۷	۴-۵ روش‌های تعیین بعد فرکتال الگوهای ژئوشیمیایی
۱۸۰	۴-۶ تخمین حد آستانه به روش فرکتالی
۱۸۴	۴-۷ مدل‌های فرکتال / چندفرکتال
۱۸۶	۴-۷-۱ مدل تعداد-اندازه
۱۸۷	۴-۷-۲ مدل فرکتالی غلظت-مساحت
۱۹۲	۴-۷-۳ مدل فرکتال غلظت-فاصله
۱۹۵	۴-۷-۴ مدل فرکتال غلظت-حجم
۱۹۵	۴-۷-۵ مدل فرکتال عیار-محیط
۱۹۷	۴-۷-۶ مدل فرکتال عیار-تعداد
۱۹۸	۴-۷-۷ مدل فرکتال مساحت-توان
۲۰۲	۴-۷-۸ آنالیز سینگیولاریتی محلی
۲۰۶	۴-۷-۹ استفاده از پارامترهای چندفرکتال در جداسازی آنومالی از زمینه
۲۰۹	مراجع
۲۱۷	فصل ۵ کاربردهای فرکتال و چندفرکتال در حوزه ژئوشیمی کاربردی
۲۱۷	۵-۱ مقدمه
۲۱۸	۵-۲ جداسازی آنومالی از زمینه
۲۱۹	۵-۳ تهیه نقشه مناطق امید بخش معدنی
۲۲۱	۵-۴ مشخص‌سازی توزیع عمودی غلظت عنصری ژئوشیمیایی
۲۲۴	۵-۴-۱ مدل‌های فرکتال مشخص‌سازی توزیع عمودی عناصر ژئوشیمیایی
۲۲۷	۵-۴-۲ شاخص‌های فرکتال مشخص‌سازی توزیع عمودی عناصر ژئوشیمیایی
۲۳۲	۵-۵ درون‌یابی فرکتالی / چندفرکتالی داده‌های ژئوشیمیایی
۲۳۲	۵-۵-۱ مقدمه
۲۳۳	۵-۵-۲ انواع درون‌یابی
۲۳۳	۵-۵-۳ درون‌یابی نقطه‌ای
۲۵۵	۵-۵-۴ درون‌یابی مساحتی
۲۵۶	۵-۵-۵ اعتبارسنجی روش درون‌یابی

۲۵۷.....	۶-۵ تخمین فرکتالی ضخامت و فاصله در مجموعه رگه‌های معدنی.....
۲۵۸.....	۶-۵-۱ تعیین بعد فرکتال ساختارهای خطی (رگه‌ها).....
۲۶۳.....	۶-۵-۲ تحلیل فرکتالی ضخامت رگه‌های معدنی.....
۲۶۸.....	۷-۵ مدل‌های فرکتال برای تخمین ذخیره معدنی.....
۲۶۹.....	۷-۵-۱ روش‌های سنتی تخمین ذخیره.....
۲۷۰.....	۷-۵-۲ مدل‌سازی ریاضی.....
۲۷۸.....	مراجع.....
۲۸۵.....	نمایه.....
۲۸۷.....	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی.....
۲۹۳.....	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی.....

پیشگفتار

امام علی (ع):

برای هر چیز، زکاتی است و زکات علم نشر آن است.

نیاز روز افزون به فلزاتی نظیر آهن، مس، سرب و روی از یک طرف و کاهش منابع سهل الوصول و سطحی این عناصر از طرف دیگر موجب شده است تا ذخایر عمیق تر این فلزات مورد توجه قرار گیرند. کشف این کانسارها روش های پیچیده تر و پیشرفته تر را در مطالعات اکتشافی طلب می کند. آنجا که کشف نهشته های جدید به طور روزافزونی مشکل تر می گردد مسئله ای استفاده از تکنولوژی جدید و متنوع در امر اکتشاف مطرح می شود، به طوری که شایسته است در این ارتباط از روش های محاسباتی استفاده شود تا صرف هزینه های هنگفت، بهره برداری و حفاری از یک توده معدنی با یک کربی روبرو باشد. یکی از روش های نوین چند دهه اخیر تکنیک فرکتال / چندفرکتال بوده است. ^۱ آسانه کتاب جامعی در این زمینه در طول سال های گذشته تدوین نگردیده است و بیشتر در قالب مقالات بیان شده است. بدین منظور بر آن شدیم تا به بیان مفهوم هندسه فرکتال و کاربردهای آن در حوزه ژئوشیمی اکتشافی به عنوان یک ابزار ریاضی و محاسباتی کارآمد بپردازیم.

این کتاب نتیجه دو سال پژوهش در زمینه هندسه فرکتال و کاربرد آن در ژئوشیمی اکتشافی برای زمین شناسان و مهندسين معدن بوده است. یاد آوری، هدف اصلی این کتاب است. در این کتاب در ابتدا مفاهیم پایه هندسه فرکتال شرح داده شده است و به سؤالاتی از قبیل "فرکتال چیست؟"، "بعد فرکتالی چیست؟"، "چگونه می توان بعد یک فرکتال را به دست آورد و این بعد چه معنی می دهد؟" پاسخ داده می شود. سپس هندسه فرکتال به عنوان یک ابزار ریاضی قدرتمند معرفی گشته و در نهایت کاربرد آن در حوزه علوم زمین به ویژه مهندسی اکتشاف معدن با ارائه تکنیک های مختلف هندسه فرکتال / چندفرکتال شرح داده شده است.

یکی از ویژگی های مهم این کتاب این است که مبانی فرکتال / چندفرکتال به طور کامل و به زبان ساده شرح داده شده و به آسانی قابل فهم است. در توصیف تئوری فرکتال / چندفرکتال سعی گردیده تا با ارائه شکل های زیاد و متنوع به فهم موضوع و درک آسان آن کمک شود. کتاب حاضر در پنج فصل به رشته تحریر در آمده و به تشریح روش هایی می پردازد که به کمک آن می توان برخی از مسائل ژئوشیمی اکتشافی را حل نمود. تلاش شده مطالب

سطحی غیرضروری و اضافی و همچنین، محاسبات بیش از حد ریاضی که از نگاه ریاضی محض به این نظریه می‌نگرد، مطرح نگردد.

مطالب این کتاب به شرح زیر سازمان‌دهی شده است:

فصل اول: در این فصل سعی شده است نگاهی کلی از هندسه فرکتال و الگوهای مختلف آن برای خواننده ایجاد شود. این فصل با مروری مختصر از سیستم‌های خطی، غیرخطی شروع می‌گردد و بیان می‌گردد که سیستم‌های طبیعی مانند رخدادهای معدنی، سیستم‌هایی پیچیده و غیرخطی هستند و سیستم‌های خطی در طبیعت تنها یک استثناء هستند. پس از آن مبحث تنوری آشوب مطرح گردیده که یک تنوری بسیار مهم برای بیان سیستم‌های پیچیده و غیرخطی است. در حقیقت هندسه طبیعت، تجسم سیستم‌های آشوبناک است. برای بیان یک سیستم آشوبناک هندسه اقلیدسی ناکارآمد است و به معرفی هندسه دیگری به نام هندسه فرکتال یا هندسه برخال نیاز است. در ادامه فصل، خواننده با ویژگی‌های هندسه فرکتال به‌ویژه مفاهیم خود متشابهی و ناوی می‌مقیاس آشنا می‌گردد. سپس فرکتال‌های طبیعی و انواع فرکتال‌های پایه از جمله مجموعه کانتور، مندلبروت، جولیا شرح داده می‌شوند. در نهایت فصل با ذکر چند نمونه از کاربردهای سیستم هندسه فرکتال و ذکر تاریخچه‌ای مختصر از پیشرفت این علم در طول زمان به پایان می‌رسد.

فصل دوم: در این فصل به بررسی مفهومی بعد فرکتال پرداخته می‌شود. در هندسه فرکتالی، هر شکل و پیچیدگی‌های آن با اعدادی نشان داده می‌شوند؛ که به آن‌ها بُعدهای فرکتالی گفته می‌شود. این بُعدها معمولاً اعداد صحیح نیستند و می‌توانند اعداد پیوسته‌ای بین یک و دو و سه و بیشتر را شامل شوند. از مفهوم بُعد به منظور توصیف کمی یک سیستم خود متشابه (خود مانا) استفاده می‌شود. بُعد فرکتال، درحالی‌که از یک نظمی را بر اساس خود متشابهی اندازه‌گیری می‌نماید و یک شاخص عددی را برای توصیف خود متشابهی پدیده‌های پیچیده فراهم می‌آورد. در این فصل در ابتدا مفهوم بعد اقلیدسی به منظور ساد سازی مفهوم بعد فرکتالی بیان گردیده است. سپس انواع بعدهای فرکتالی معرفی گردیده و در ادامه روش‌های تعیین بعد فرکتال از جمله سه بعد خود متشابهی، بعد اندازه و بعد شمارش جعبه‌ها شرح داده شده است.

فصل سوم: در این فصل به مفهوم چندفرکتال پرداخته می‌شود و در ابتدا خاصیت چندفرکتالی مطرح می‌گردد و از مثال‌های شهودی در حوزه اکولوژی برای فهم آسان‌تر آن استفاده می‌شود. سپس به بیان ریاضی مفهوم چندفرکتال پرداخته می‌شود. تابع بعد همبستگی تعمیم‌یافته $D(q)$ ، تابع هم بعد، تابع گشتاور مقیاسی، توان‌های جرمی $\tau(q)$ و طیف چندفرکتال برای کمی‌سازی مفهوم چند فرکتال بیان می‌شوند. در ادامه این فصل به مبانی آبشار ضربی

به عنوان مبدأ شروع مفهوم چندفرکتال پرداخته می شود. این فصل با تشریح روش های تخمین طیف فرکتال یعنی روش های هیستوگرام و روش های گشتاورها پایان می پذیرد.

فصل چهارم: در این فصل و فصل بعد به جنبه های کاربردی هندسه فرکتال در حوزه علوم زمین به خصوص ژئوشیمی اکتشافی پرداخته می شود. در کل، سه دستاورد مهم در طول سی سال گذشته از کاربرد هندسه فرکتال در حوزه ژئوشیمی مشاهده شده است. اولین دستاورد پیشنهاد یک سری از مدل های فرکتال / چندفرکتال استفاده شده برای جداسازی آنومالی های ژئوشیمیایی از زمینه یا تعیین غلظت مینا و پایه در مطالعات زیست محیطی بوده است. دومین دستاورد معرفی مفهوم سینگیولاریتی است، که مطالعه کانی سازی را از دیدگاه غیرخطی ممکن می سازد و ابزاری مؤثر را برای تهیه نقشه آنومالی های ضعیف و محلی فراهم می آورد و سومین دستاورد توانایی آن کمی سازی توزیع عمودی غلظت عناصر ژئوشیمیایی با استفاده از روش های فرکتالی است.

از آنجایی که جداسازی آنومالی از زمینه "از مباحث مهم در حوزه ژئوشیمی اکتشافی و زیست محیطی است در این فصل پس از بررسی چشم اندازهای ژئوشیمیایی از دیدگاه فرکتالی به کاربرد هندسه فرکتال در جداسازی آنومالی ژئوشیمیایی از زمینه پرداخته می شود که مهم ترین کاربرد این علم در حوزه ژئوشیمی اکتشافی می باشد. در ابتدا روش های مختلف جدایش آنومالی از زمینه (روش های ساختاری و غیر ساختاری) مطرح می گردد و مزایا و معایب آنها شرح داده می شود. در ادامه به این موضوع پرداخته می شود که چه توزیع هایی را می توان توزیع های فرکتالی / چندفرکتالی در نظر گرفت. در انتهای فصل انواع مدل های مختلف فرکتالی به ویژه مفهوم سینگیولاریتی به منظور جدایش آنومالی از زمینه تفسیر می گردد و به تفصیل توضیح داده می شود که برخلاف روش های سنتی که قادر به جداسازی آنومالی های ضعیف از زمینه نبودند روش های فرکتالی / چند فرکتالی منجمله روش های سینگیولاریتی و طیف توان- مساحت توانسته اند به خوبی از عهده جداسازی آنومالی های محلی و ضعیف از زمینه برآید.

فصل پنجم: در این فصل سایر کاربردهای هندسه فرکتال در حوزه روش های کاربردی و مطالعات زیست محیطی بیان می گردد. از مهم ترین کاربردهایی که در این فصل به تفصیل به آنها پرداخته گردیده است می توان به تهیه نقشه مناطق امیدبخش معدنی، مشخص سازی توزیع عمودی غلظت عنصری ژئوشیمیایی و درونیابی چندفرکتالی اشاره نمود.

گروه نخست مخاطبان این کتاب، دانشجویان مقاطع مختلف تحصیلی رشته های ریاضی و فنی و مهندسی می باشند که با سیستم های پیچیده و غیرخطی سر و کار دارند. این کتاب می تواند به عنوان یک منبع برای هندسه فرکتال مورد استفاده قرار گیرد. گروه دوم مخاطبان،

کارشناسان، محققان، مدیران و مهندسان در بخش‌های صنعتی هستند که با مسائل سخت و پیچیده به لحاظ محاسباتی و با ابعاد بزرگ سر و کار دارند.

ما مؤلفین اذعان داریم با وجود دقت و حوصله بسیاری که در انتخاب و ترتیب مطالب و نیز شیوا و روان بودن جملات به کار بردیم، متن کتاب عاری از نارسایی‌ها و اشکالات نیست. امیدوارم استادان و دانشجویان محترم در رفع این کاستی‌ها به مؤلفین یاری دهند. از همه کسانی که مشوق ما مؤلفین در مدت زمان تهیه این اثر بودیم، مراتب سپاس و امتنانمان را اعلام داریم. در پایان، از کارکنان محترم انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران (به نشر) که موجبات چاپ و نشر این کتاب را فراهم آورده‌اند، صمیمانه سپاسگزاریم.

مهندس بشیر شکوه سلجوقی

دانشجوی دکترای دانشکده مهندسی معدن

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر اردشیر هزارخانی

استاد دانشکده مهندسی معدن

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

شهریور ماه ۱۳۹۵