

بررسی تأثیر شبکه برداشت داده‌های اکتشافی بر دقت برآورد مناطق آنومال به روش فرکتالی متغیر- مسامت

سمیه طبسی*^۱، رضا قوامی‌ریابی^۲ و فرامرز دولتی ارده‌جانی^۳

۱) دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن دانشگاه صنعتی شاهرود، somayehtabasi@yahoo.com

۲) استادیار گروه اکتشاف معدن دانشگاه صنعتی شاهرود، rghavami2@yahoo.com

۳) استاد گروه اکتشاف معدن پردیس فنی دانشگاه تهران، fdoulati@ut.ac.ir

* عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۱/۳/۳۰؛ دریافت اصلاح شده: ۹۱/۵/۲؛ پذیرش: ۹۱/۶/۲۷؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۱۲/۵

هکیده

موقعیت روش‌های اکتشافی، به میزان دقت در شناسایی و تفکیک آنومالی‌های موجود در داده‌های اندازه‌گیری شده بستگی دارد. در این مقاله، از روش فرکتال جهت تفکیک مولفه‌های مختلف و تخمین حد آستانه‌ای مولفه آنومال داده‌های گرانی‌سنجی (داده‌ها با یک شبکه منظم برداشت شدند)، استفاده شد. برای تشخیص تغییر بعد فرکتال و جداسازی داده‌های آنومالی از زمینه، از مدل تمام لگاریتمی شتاب جاذبه- مساحت استفاده گردید. در مدل فرکتالی متغیر- مساحت، توزیع داده‌ها و مشخصات فضایی و هندسی داده‌ها نیز انعکاس می‌یابد. نتایج حاصل از کاربرد این مدل با نتایج بررسی مدل فرکتالی غلظت- مساحت در داده‌های رسوبات آبراه‌ای (اکتشاف طلا) با شبکه برداشت نامنظم، با یکدیگر مقایسه شدند. بر این اساس، در تخمین شبکه، وجود یک یا چند داده با آنومالی بالا در بین داده‌های فاقد شبکه بندی منظم، تغییر بعد فرکتالی خاصی را در بین داده‌ها سبب می‌شود و شناسایی سایر داده‌های آنومال را با مشکل مواجه می‌سازد. نوع شبکه برداشت داده‌های اکتشافی نتایج روش‌های تفکیک را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه توزیع سیستماتیک ایستگاه‌های برداشت، نتایج بهتری را در تفکیک داده‌ها به کمک روش فرکتال ارائه می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: آنومال داده‌های گرانی‌سنجی، حد آستانه‌ای، شتاب جاذبه-مساحت، مدل تمام لگاریتمی، مشخصات فضایی و هندسی.

۱- مقدمه

(۱۳۸۱). اما در روش‌های ساختاری (که مبتنی بر موقعیت مکانی ایستگاه‌های اندازه‌گیری داده‌ها نسبت به یکدیگر هستند)، جهت تعیین محدوده آنومالی، ارتباط فضایی داده‌ها و موقعیت آن‌ها نسبت به یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند. در این روش‌ها، جهت تخمین مقدار یک متغیر در یک نقطه، با در نظر گرفتن مختصات ایستگاه‌های برداشت، تأثیر داده‌ها بر اساس موقعیت آنها نسبت به یکدیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در برداشت‌های اکتشافی، برای جداسازی محدوده آنومالی، از روش‌های متعددی استفاده می‌شود. در روش‌هایی نظیر آنالیز سطح روند، فیلترسازی و روش‌های تحلیلی، علاوه بر بررسی پارامترهای توزیع داده و احتمالات، مرز جدایش جامعه آنومالی و زمینه نیز تعیین می‌گردد. در این روش‌ها پارامترهایی نظیر شکل، اندازه، گستردگی و موقعیت محدوده‌های اکتشافی در نظر گرفته نمی‌شود (رفیعی و علی‌نیا

عیار ذخایر نیز (Sim et al. 1999, Wei & Pengda 2002, Deng et al. 2008b, Wang et al. 2007, Wang et al. 2008b) در هندسه فرکتال با افزایش نوسان یک خط، بعد آن از یک بیشتر می‌شود و با نوسان صفحه بعد ۲ به عددی بین ۲ و ۳ افزایش می‌یابد. از دیدگاه اکتشافی، بخشی از این نوسانات می‌توانند معادل آنومالی‌ها باشند. آنومالی‌ها، توابع نمایی متفاوتی را نسبت به زمینه منعکس می‌نمایند که نشان‌دهنده تفاوت بعد فرکتالی آن‌ها با یکدیگر است و از این خاصیت می‌توان جهت جداسازی آنومالی از زمینه استفاده نمود. بنابراین به نسبت شدت تغییر آنومالی‌ها و تعداد فازهای تغییر شدت، بعد فرکتال افزایش خواهد یافت (حسینی پاک و شرف‌الدین ۱۳۸۴).

در روش فرکتال، با در نظر گرفتن همبستگی فضایی داده‌ها و تغییرپذیری آن‌ها در فضای همسایگی‌شان، محدودیت‌هایی نظیر همپوشانی بین جوامع مختلف موجود در داده‌ها و یا وجود داده‌های ضعیف آنومال که در بین داده‌های زمینه با روند تغییرپذیری زیاد پنهان می‌باشند، کاهش می‌یابد (Cheng 2007).

تغییرات توزیع متغیر مورد بررسی به صورت تابعی از فاصله، طرح‌های فرکتالی مختلفی را نشان می‌دهد (Li et al. 2003). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل غلظت- مساحت که توسط چنگ و همکارانش (Cheng et al. 1994) جهت جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش فرکتال معرفی شد اشاره نمود. عوامل تعیین کننده در این روش، مقادیر اندازه‌گیری شده و مساحت محدود به بخش‌های مشخص شده در تعیین دقیق حد آستانه‌ای بهینه جهت تفکیک محدوده آنومالی از زمینه می‌باشند.

در روش‌های اکتشافی مختلف، شبکه برداشت داده‌ها می‌تواند منظم یا نامنظم باشد. در صورت کافی نبودن تعداد داده‌های مورد نیاز، برای کاربرد مدل‌های اکتشافی مختلف باید به تخمین متغیر مورد نظر در نقاط مجهول بر اساس مقادیر معلوم پرداخت. در این حالت نوع شبکه برداشت و وجود پیوستگی بین داده‌ها در ارائه نتایج رضایت‌بخش، تاثیر زیادی خواهند داشت. در این مقاله، نتایج حاصل از کاربرد مدل فرکتالی متغیر- مساحت در تفکیک دو سری داده‌های اکتشافی با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده برتری این مدل در تعیین محدوده‌های آنومال (در حالتی که داده‌ها با شبکه منظم برداشت شده‌اند نسبت به شبکه برداشت نامنظم) می‌باشند.

۲- مدل متغیر- مساحت

این مدل بر یکسری معادلات تجربی استوار است و برای جدایش مقادیر آنومالی از زمینه داده‌های اکتشافی به صورت زیر بیان

وجود داده‌های آنومال در کنار یکدیگر موجب تقویت شدت آنومالی و بر عکس وجود داده آنومال در بین داده‌های زمینه باعث کاهش آنومالی می‌گردد. روش فرکتال، روشی ساختاری است که علاوه بر ارتباط فضایی و تغییرپذیری در داده‌های برداشت شده، اختصاصات مستقل از مقیاس و ویژگی‌های هندسی آنومالی‌ها را نیز مد نظر قرار می‌دهد (Cheng et al. 1994, 1996, Cheng 1997). هندسه فرکتال بر خلاف هندسه اقلیدسی، علاوه بر بحث در خصوص ابعاد صحیح (یک، دو و سه)، به بررسی ابعاد غیر صحیح و توصیف پدیده‌های طبیعی نیز می‌پردازد (Cheng et al. 1996). مجموعه فرکتالی از نظر ریاضی، مجموعه‌ای است که اجزای آن دارای خصلت خود تشابهی یا خود تمایلی هستند. بر اساس رابطه ۱، خودتشابهی به صورت اختلاف اشکال فرکتالی هم‌شکل در بزرگی و کوچکی آن‌ها با نسبت r بیان می‌شود.

رابطه (۱)

$$X = (X_1, X_2, X_8, \dots, X_E) \rightarrow rX = (rX_1, rX_2, rX_8, \dots, rX_E)$$

رابطه نمایی ۲، برای تمام اشکال خود تشابه برقرار است که در آن N_i تعداد اجزاء با اندازه r_i بعد فرکتال و γ ضریب ثابت می‌باشند (Turcotte 2002).

$$N_i = \gamma r_i^{-D} \quad \text{رابطه (۲)}$$

ماهیت الگوهای فرکتالی که از رابطه نمایی تبعیت می‌کند و حاصل خاصیت خودتشابهی فرآیندهای مستقل از مقیاس می‌باشند (Mandelbort 1983, Evertsz & Mandelbort 1992)، توسط ابعاد فرکتال مشخص می‌شود (Agterberg 1994, Cheng 1997, Evertsz & Mandelbort 1992). بعد فرکتال، از مفاهیم اساسی هندسه فرکتال می‌باشد که می‌تواند نشان دهنده پیچیدگی شکل جسم فرکتالی باشد.

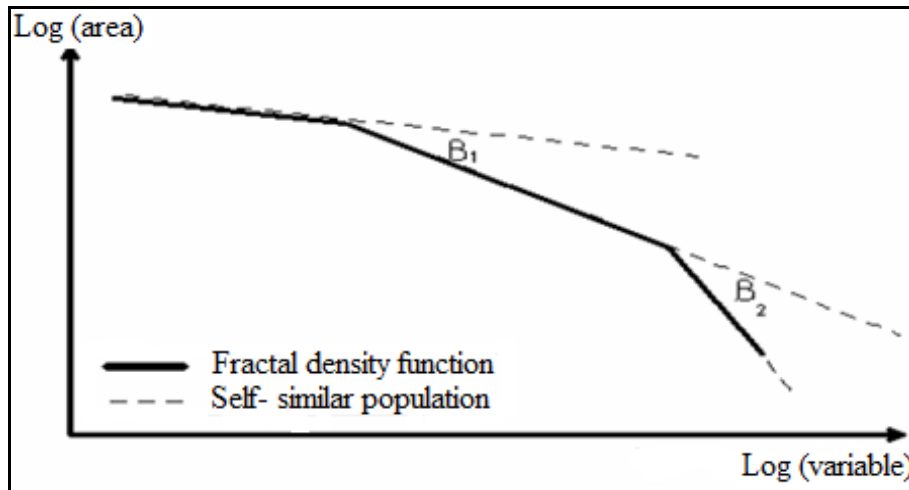
با پیدایش هندسه فرکتال، استفاده از مدل‌های فرکتال و مولتی فرکتال در علوم مختلف مطرح گردید. به کمک هندسه فرکتال می‌توان به توصیف غیر منظم بودن پدیده‌های زمین‌شناسی و الگوی توزیع فضایی آن‌ها (Mandelbrot 1983, Cheng 1995, Cheng & Agterberg 1995, Wang et al. 2008a, Raines 2008)، بررسی میزان و شدت شکستگی‌ها (Laubach & Ward 2006, Ortega et al. 2006)، میزان جابجایی گسل‌ها (Pickering et al. 1997)، بزرگی و شدت زمین لرزه‌ها (Dimri 2005)، ابعاد ذرات خرد شده سنگ‌ها (Korvin 1992)، توزیع ضخامت رگه‌ها (Monecke et al. 2005)، تعیین مشخصات کانی‌سازی‌ها، ذخایر معدنی و فازهای مختلف کانی‌ها (Turcotte 1996, 2002, Sanderson et al. 1994, Shi & Wang 1998, Zuo et al. 2009)، و بررسی چگونگی توزیع عناصر و توزیع

می‌شود (Cheng 1999).

$$A(\geq \rho) \propto \rho^{-D} \quad (3)$$

می‌باشد. توان نمایی D ، بر اساس دامنه‌های متفاوت ρ ، تغییر می‌کند. با رسم نمودار تمام لگاریتمی مساحت در مقابل متغیر مورد نظر، می‌توان بعد D هر جامعه را از طریق شیب خط برازش شده و تغییرات آن به دست آورد (تصویر ۱).

در این رابطه، $A(\rho)$ مساحتی است که توسط منحنی تراز با مقدار بیشتر یا مساوی متغیر ρ محدود شده است و با مقادیر ρ متناسب



تصویر ۱- تفکیک جوامع موجود در داده‌های اکتشافی با الگوی متغیر- مساحت.

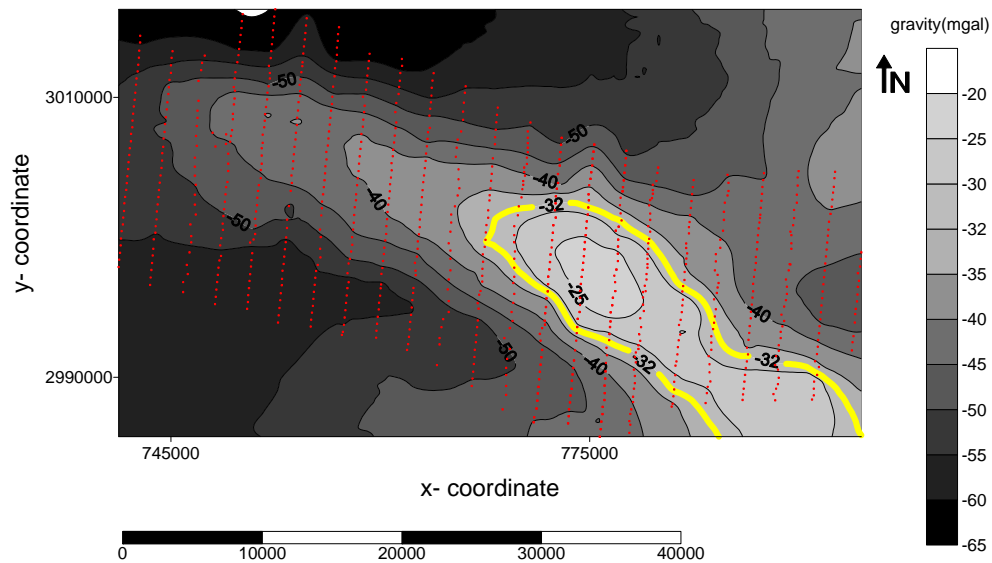
و ارتفاعات بلند می‌باشد. تاقدیس مورد مطالعه در جنوب شرق کمر بند چین خورده زاگرس واقع شده است و از دو تاقدیس کوچک‌تر با روند تقریباً مشابه تشکیل شده است. این تاقدیس از جنوب به سواحل شمالی خلیج فارس محدود می‌شود. روند غالب گسل‌های منطقه شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد. قدیمی‌ترین سازندهای رخنمون‌دار منطقه، سازندهای خامی و بنگستان بوده و سازندهای جوان‌تر آغاچاری، بختیاری، میشان، گچساران و آسماری روی آن‌ها قرار گرفته‌اند. عملیات گرانی‌سنجی در منطقه مورد مطالعه به منظور مشخص کردن وضعیت ساختارهای زیرسطحی و تعیین عمق تله‌های هیدروکربوری احتمالی انجام پذیرفته است. در این پروژه اکتشافی، پروفیل‌های برداشت ۲/۵ کیلومتر و ایستگاه‌های برداشت ۵۰۰ متر از یکدیگر فاصله دارند. بنابراین مساحت هر سلول شبکه برداشت را می‌توان $۲۵۰۰ * ۵۰۰$ متر مربع در نظر گرفت که ایستگاه‌های برداشت در مرکز این سلول‌ها قرار دارند. تصویر ۲ نقشه منحنی تراز مقادیر آنومالی بوگه منطقه مورد مطالعه (اکتشافات نفتی) و جدول ۱ پارامترهای مرتبط با توزیع داده‌های برداشت شده را نشان می‌دهند. به منظور کاربرد مدل فرکتالی شتاب جاذبه- مساحت، ابتدا داده‌های گرانی‌سنجی منطقه مورد مطالعه، کلاس بندی و سپس فراوانی هر یک از کلاس‌ها مشخص گردید (جدول ۲). حاصل ضرب فراوانی هر کلاس در مساحت هر سلول ($۲۵۰۰ * ۵۰۰$ متر مربع)، مساحت کل سلول‌های مورد بررسی برای هر کلاس را نشان می‌دهد.

تغییر بعد فرکتالی هر بخش با انحراف شیب خط راست برازش شده مشخص خواهد شد و نقطه تلاقی دو بخش نیز به عنوان حد آستانه‌ای تفکیک معرفی می‌شود. داده‌های آنومال غالباً مساحت کوچکی از منطقه را در بین داده‌های با مقدار بالا به خود اختصاص می‌دهند. داده‌های زمینه نیز بخش زیادی از داده‌های با مقدار پایین را شامل می‌گردند و به راحتی از بخش آنومال مجزا می‌شوند. در نتیجه می‌توان گفت که $A(\rho)$ تابعی کاهشی از ρ می‌باشد.

۱-۲- روش شتاب جاذبه- مسامت و تعیین مناطق آنومال

داده‌های گرانی‌سنجی

تغییرات شتاب جاذبه زمین (حاصل اختلاف دانسیته اجرایی است که در اعماق متفاوت نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند)، جوامع مختلف با ابعاد فرکتالی متفاوتی را در بین داده‌ها نشان می‌دهد. در فرآیند تفکیک مقادیر باقی‌مانده گرانی (آنومالی) از مقادیر ناحیه‌ای (زمینه)، اثرات حاصل از تغییرات دانسیته نزدیک سطح از اثراتی که توسط اجرام واقع در اعماق بیشتر حاصل می‌شوند، تفکیک می‌گردند (Reynolds 1997). به منظور ارزیابی نتایج حاصل از اعمال روش فرکتال بر داده‌های با شبکه‌بندی منظم، از داده‌های گرانی‌سنجی یک تاقدیس با روند شمال غرب- جنوب شرق در مطالعات اکتشاف نفت منطقه‌ای در جنوب غرب ایران (زاگرس) استفاده شده است. منطقه مورد بررسی با وسعتی حدود ۷۶۵ کیلومتر مربع دارای وضعیت توپوگرافی خشن بوده



تصویر ۲- کنتورهای گرانی و ایستگاه‌های برداشت داده‌های گرانی در منطقه مورد مطالعه (جنوب غرب ایران- تله ناقدیسی در اکتشافات هیدروکربوری).

جدول ۱- مشخصات آماری داده‌های مربوط به آنومالی بوکه در منطقه مورد مطالعه.

Mean(mGal)	Max(mGal)	Min(mGal)	Std(mGal)	CV(%)
-۴۳/۰۸۳	-۲۰/۹۹	-۶۵/۰۸	۹/۸۴۴	۲۲/۸۵

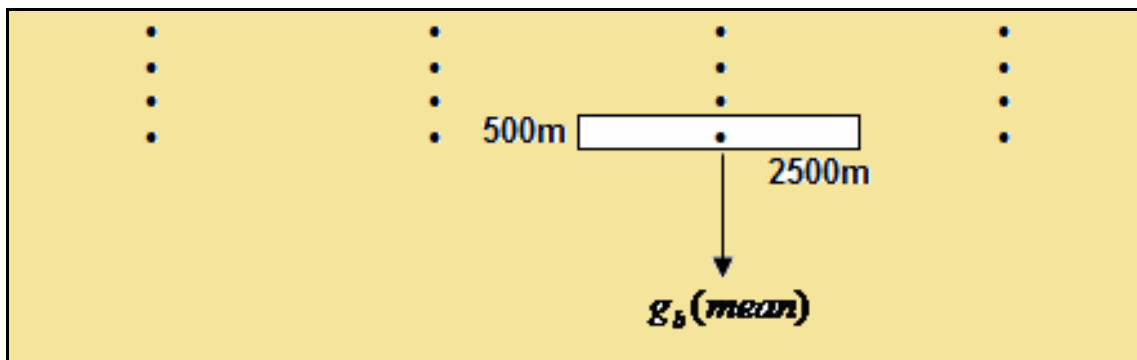
جدول ۲- نتایج حاصل از کلاس‌بندی و تعیین فراوانی هر کلاس از داده‌های گرانی سنجی منطقه مورد مطالعه.

حد بالایی	تعداد	میانگین دسته	مقدار گرانی (mGal)	مساحت (m ²)	مساحت Log	گرانی Log
-۶۵	۱	-۶۵/۰۸	۱/۹۲	۱۲۵۰۰۰	۶/۰۹۶	۰/۲۸۳۳
-۶۲/۵	۱۲	-۶۳/۶۴۳	۳/۳۵۷	۱۵۰۰۰۰۰	۷/۱۷۶	۰/۵۲۵۹
۶۰	۱۱	-۶۱/۱۵۹	۵/۸۴۱	۱۳۷۵۰۰۰	۷/۱۳۸	۰/۷۶۶۴
-۵۷/۵	۴۴	-۵۸/۴۰۴	۸/۵۹۶	۵۵۰۰۰۰۰	۷/۷۴	۰/۹۳۴۲
-۵۵	۵۴	-۵۶/۱۷	۱۰/۸۳	۶۷۵۰۰۰۰	۷/۸۲۹	۱/۰۳۴
-۵۲/۵	۵۴	-۵۳/۵۹	۱۳/۴۱	۶۷۵۰۰۰۰	۷/۸۲۹	۱/۱۲۷
-۵۰	۷۴	-۵۱/۰۹۱	۱۵/۹۰۹	۹۲۵۰۰۰۰	۷/۹۶۶	۱/۲۰۱
-۴۷/۵	۶۵	-۴۸/۸۶۴	۱۸/۱۳۶	۸۱۲۵۰۰۰	۷/۹۰۹	۱/۲۵۸
-۴۵	۱۰۳	-۴۶/۲۶	۲۰/۷۴	۱۲۸۷۵۰۰۰	۸/۱۰۹	۱/۳۱۶
-۴۲/۵	۹۹	-۴۳/۷۸۵	۲۳/۲۱۵	۱۲۳۷۵۰۰۰	۸/۰۹۲	۱/۳۶۵
-۴۰	۱۰۹	-۴۱/۲۵۱	۲۵/۷۴۹	۱۳۶۲۵۰۰۰	۸/۱۳۴	۱/۴۱
-۳۷/۵	۷۰	-۳۸/۸۵۷	۲۸/۱۴۳	۸۷۵۰۰۰۰	۷/۹۴۲	۱/۴۴
-۳۵	۴۸	-۳۶/۲۶۳	۳۰/۷۳۷	۶۰۰۰۰۰۰	۷/۷۷۸	۱/۴۸
-۳۲/۵	۳۳	-۳۳/۶۹۱	۳۳/۳۰۹	۴۱۲۵۰۰۰	۷/۶۱۵	۱/۵۲
-۳۰	۵۷	-۳۱/۱۶	۳۵/۸۴	۷۱۲۵۰۰۰	۷/۸۵۲	۱/۵۵
-۲۷/۵	۳۹	-۲۸/۵۴۵	۳۸/۴۵۵	۴۸۷۵۰۰۰	۷/۶۸۷	۱/۵۸
-۲۵	۴۲	-۲۶/۲۸۲	۴۰/۷۱۸	۵۲۵۰۰۰۰	۷/۷۲	۱/۶
-۲۲/۵	۲۵	-۲۳/۸۱۱	۴۳/۱۸۹	۳۱۲۵۰۰۰	۷/۴۹۴	۱/۶۳
-۲۰	۱۰	-۲۱/۷۲۱	۴۵/۲۷۹	۱۲۵۰۰۰۰	۷/۰۹۶	۱/۶۵

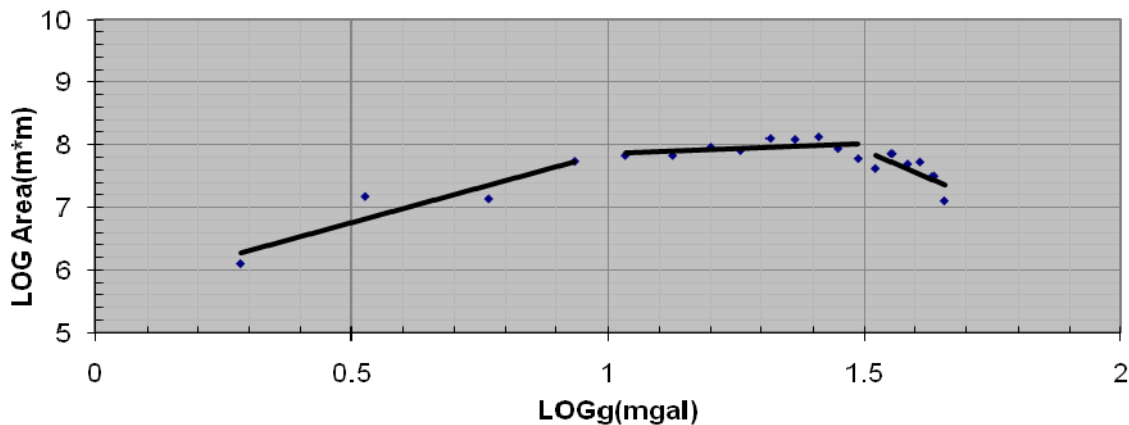
بر اساس سوم این نمودار، با افزایش مقدار گرانی، مساحت نیز کاهش می‌یابد.

در تصویر ۴، سه روند خطی با ابعاد فرکتالی را می‌توان به جوامع زمینه، گذر از زمینه به آنومالی و آنومالی نسبت داد. مجموعه‌ای از فرآیندهای زمین‌شناسی مختلف نظیر فعالیت‌های ولکانیکی یا نفوذی، رسوبگذاری، تکتونیسیم، دگرگونی و کانی‌سازی، می‌توانند باعث تشکیل و تغییر شکل ساختارها و اختلاف شتاب جاذبه شده و جوامع مختلفی را در داده‌های گرانی برداشت شده ایجاد نمایند (طیسی ۱۳۸۹-الف).

برای هر کلاس، مقدار میانگین گرانی آن به عنوان گرانی مورد نظر محاسبه می‌شود. در تصویر ۳، روند اجرای این مراحل به صورت شماتیک نشان داده شده است. پس از محاسبه مساحت سلول‌ها و تعیین میانگین گرانی هر سلول، نمودار تمام لگاریتمی تغییرات شتاب جاذبه نسبت به مساحت رسم و بر اساس داده‌های موجود سه روند با ابعاد فرکتالی مختلف بر داده‌ها برازش گردید. در تصویر ۴، بهترین روندهای خطی انطباق داده شده بر داده‌ها نشان داده شده است. این تصویر، توزیع فراوانی مربوط به داده‌های برداشت شده و مشخصات فضایی و هندسی توزیع داده‌ها را در هر کدام از بخش‌ها نشان می‌دهد.



تصویر ۳- نمایش شماتیک مراحل اجرای روش فرکتالی شتاب جاذبه- مساحت.

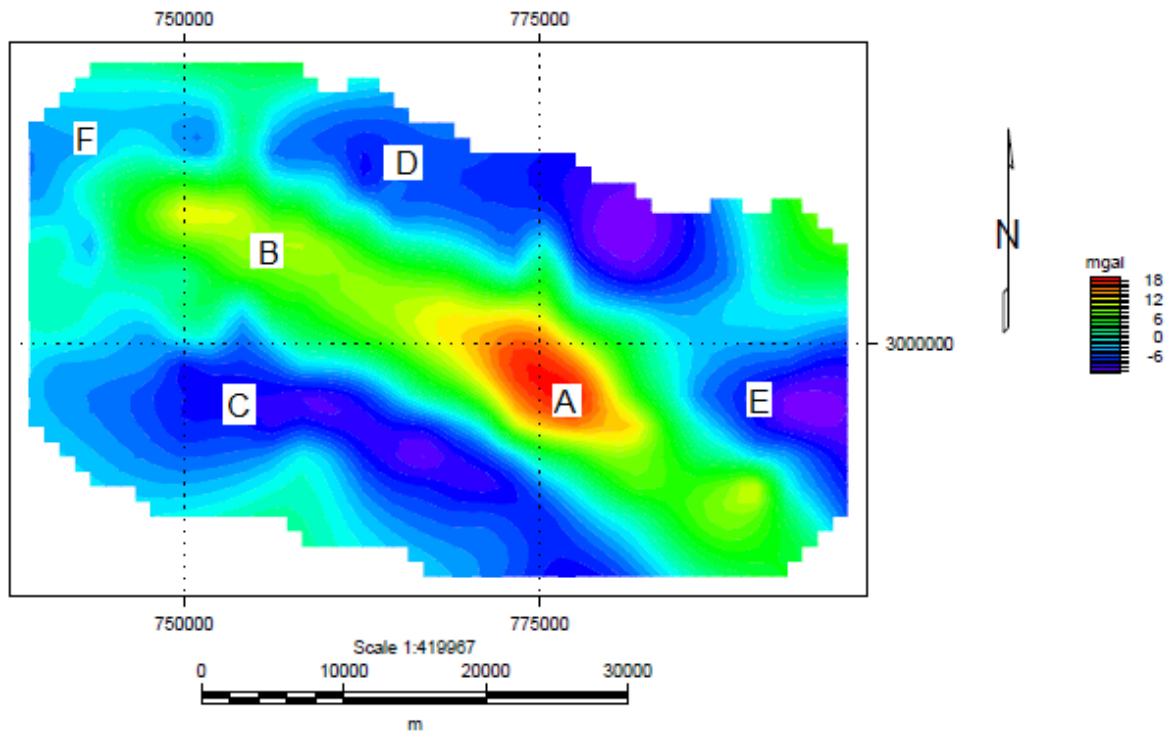


تصویر ۴- مدل فرکتالی لگاریتمی شتاب جاذبه- مساحت جهت تفکیک داده‌های گرانی سنجی (طیسی ۱۳۸۹-الف).

ای مشخص شده روی نقشه کنتوری داده‌های گرانی سنجی منطقه (تصویر ۲)، محدوده آنومال مشخص می‌شود. تصویر ۵، نقشه آنومالی باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۳ گرانی منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس تصویر ۲، مدل فرکتالی شتاب جاذبه- مساحت، انطباق قابل قبولی را از نظر رسیدن به ساختار اکتشافی مورد نظر که در اینجا تاقدیس رخنمون‌دار A است، نشان می‌دهد.

نقاط شکست بین هر کدام از پاره‌خطها روی این نمودار و مقادیر متناظر آنها را می‌توان به عنوان حدآستانه‌ای جدایش هر بخش در نظر گرفت. نقطه عطف بین قطعه دوم و سوم برازش شده بر منحنی، نشان‌دهنده حدآستانه‌ای جدایش بخش آنومالی از مقادیر زمینه است که مقدار گرانی حدود ۳۲- میلی گال را نشان می‌دهد.

از آنجا که در مطالعات گرانی سنجی اکتشافات نفتی، تله‌های تاقدیسی کل به عنوان آنومالی مثبت مد نظر می‌باشند، با تعیین مقدار حد آستانه-

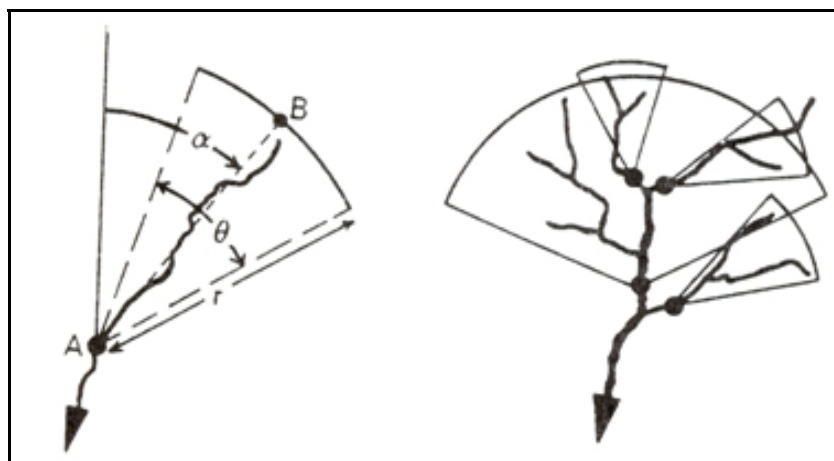


تصویر ۵- نقشه آنومالی، باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۳ گرانی منطقه مورد مطالعه (طیسی ۱۳۸۹-ب).

پیوستگی داده‌ها از بین می‌رود. در نتیجه، بردار توزیع متغیرهای مورد بررسی در داده‌های رسوبات آبراه‌ای، به سمت بالای حوضه آبریز می‌باشد و داده‌های این رسوبات نمی‌توانند در تخمین نقطه‌ای که در پایین دست قرار دارد شرکت نمایند (Levinson 1974). برای درون‌یابی داده‌های جهت‌دار، باید مرز حوضه آبریز و جهتی که داده‌ها می‌توانند در تخمین شرکت نمایند، مشخص شود. در روش تخمین شبکه‌ای، بسته به مقیاس شبکه برداشت داده‌ها، ابتدا نقشه مورد نظر به وسیله شبکه‌ای از سلول‌های هم بعد پوشانده می‌شود و سپس برای هر نمونه مرز حوضه آبریز بالادست آن با محصور کردن هر حوضه آبریز در یک قطاع مشخص می‌گردد (تصویر ۶).

۲-۲- روش غلظت- مسامت در اکتشاف رسوبات آبراه‌ای

برای ارزیابی نتایج بکارگیری روش فرکتال در حالتی که شبکه برداشت داده‌ها نامنظم است، از داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای مربوط به کانی‌سازی طلای تیب پهنه‌های برشی منطقه‌ای واقع در غرب ایران (کردستان) استفاده شد. داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌ای معمولاً شبکه نامنظمی را تشکیل می‌دهند. اما در بررسی‌های اکتشافی یک نقشه با شبکه‌ای منظم از داده‌های اندازه‌گیری شده و یا تخمین زده شده مورد نیاز است. جریان آبراهه، یک حالت عدم تقارن را بر توزیع عناصر ایجاد می‌نماید. هر نمونه در تخمین نمونه بالادست خود بیشترین تاثیر را داشته و



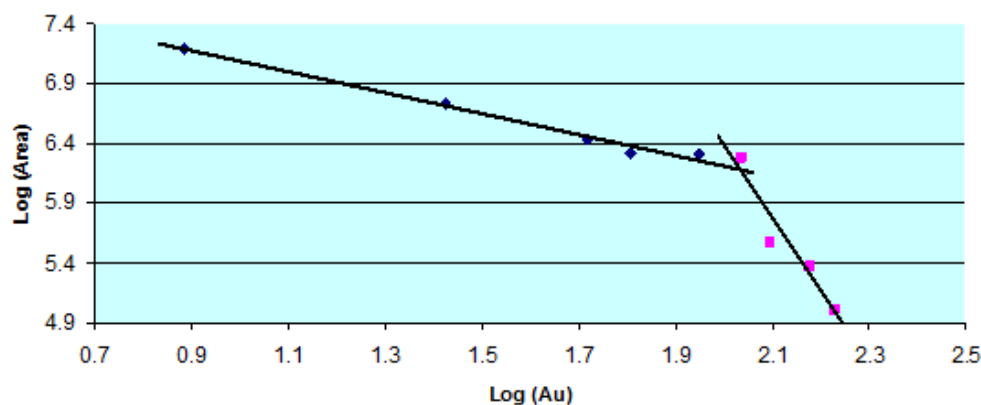
تصویر ۶- نمایش هندسی قطاع‌های پوشش دهنده یک حوضه آبریز (حسینی پاک و شرف‌الدین ۱۳۸۴).

سه پارامتر، به عنوان وزن نهایی نمونه در تخمین سلول در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۴).

$$w_i = \frac{w_{i1} + w_{i2} + w_{i3}}{3} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در نهایت مقدار $x = \sum w_i x_i$ ، بر اساس میانگین وزن دار n نمونه موثر، برای سلول مورد نظر تخمین زده می‌شود (حسنى پاک و شرف‌الدین ۱۳۸۴).

تصویر ۷ نمودار تمام لگاریتمی غلظت- مساحت در تعیین بعد داده‌های رسوبات آبراه‌ای مربوط به داده‌های ژئوشیمیایی کانی‌سازی طلای تیپ پهنه‌های برشی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که به روش تخمین شبکه‌ای درونیابی شده‌اند.



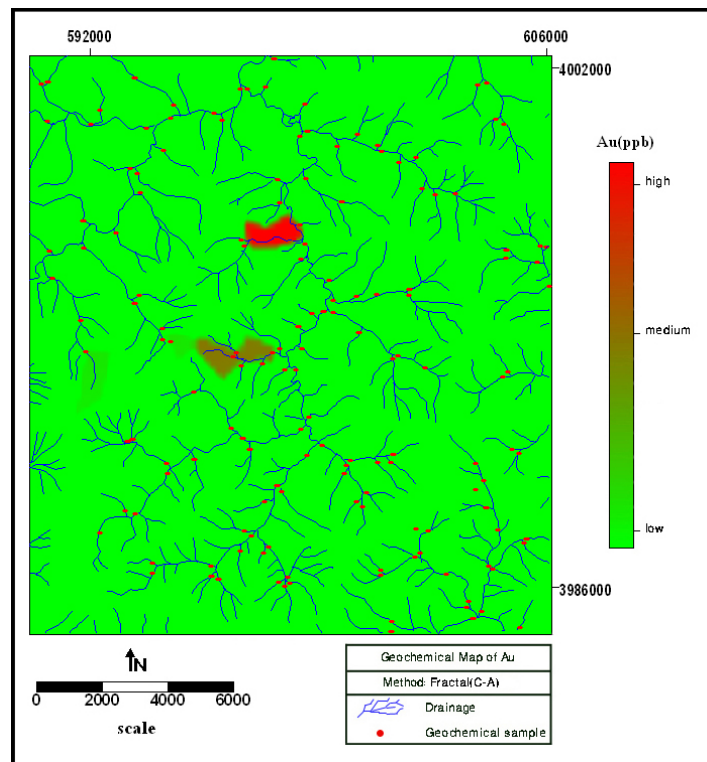
تصویر ۷- نمودار غلظت - مساحت طلا (غلظت بر حسب ppb) طلای تیپ پهنه برشی کردستان (سیدرحیمی نیارق ۱۳۸۷).

یکدیگر در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، نقاطی که در تخمین شرکت می‌کنند باید با یکدیگر ارتباط فضایی داشته و کاملاً مستقل از یکدیگر نباشند. تعیین دقیق شعاع تاثیر و الگوی پراکندگی یکنواخت نقاطی که در تخمین شرکت داده می‌شوند، اعتبار تخمین را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به این ترتیب، در محدوده تاثیر هر نقطه، تعداد زیادی تخمین بر اساس فاصله از محل نمونه بر مبنای روش وزن‌دهی صورت می‌پذیرد که جهت تعیین بعد فرکتال مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این حالت، روی نمودار لگاریتمی متغیر- مساحت برای هر کدام از مقادیر تخمین زده شده، روندی با بعد فرکتالی مجزا مشخص می‌شود. در حالی که ممکن است تغییرات بعد فرکتالی مربوط به حضور یک یا چند داده با آنومالی بالا در بین داده‌ها باشد و حدآستانه‌ای مشخص شده، برای تعداد محدودی نمونه تعریف شود. در این حالت نقشه‌های رسم شده صرفاً محدوده‌های کوچکی از آنومالی‌ها را شناسایی خواهند نمود. بنابراین تعیین بعد فرکتال داده‌های اکتشافی، در حالتی که داده‌ها با شبکه منظم برداشت شده باشند، نتایج صحیح و واقعی‌تری را نشان داده و در تعیین محل و محدوده آنومالی‌های اکتشافی از توانایی بیشتری برخوردار می‌باشد.

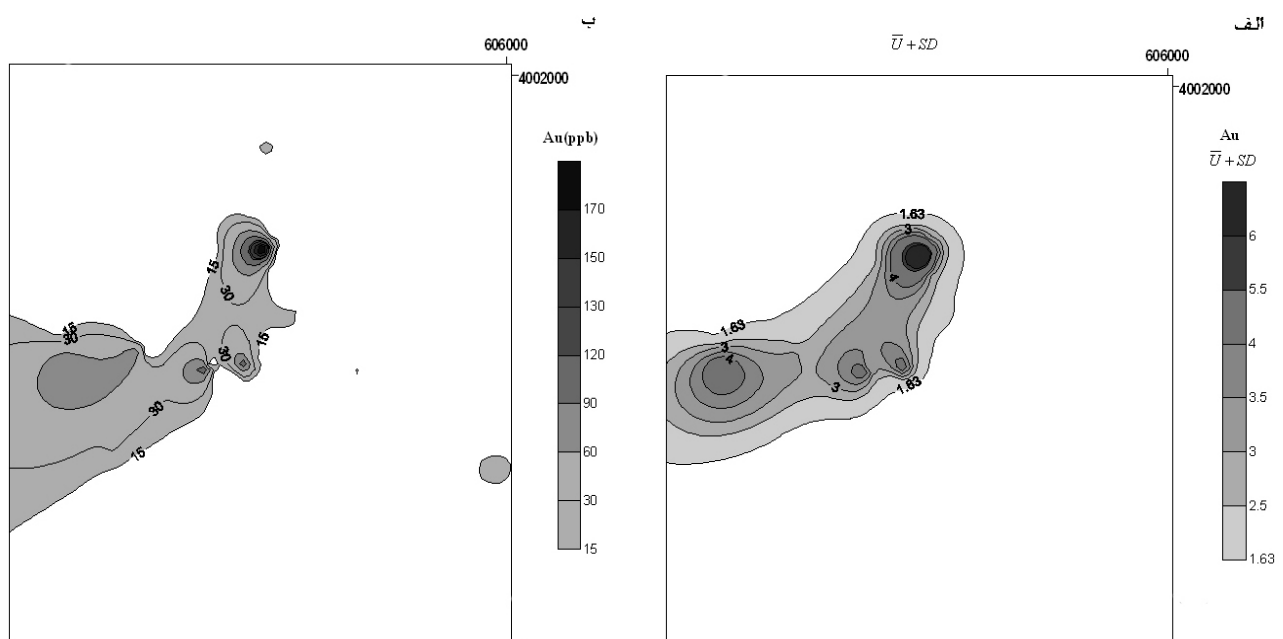
به این ترتیب لازم است به تعداد نمونه‌های برداشت شده، قطاع یا چندضلعی رسم گردد تا حوضه آبریز هر نمونه مشخص شود. در این حالت، بخش زیادی از مساحت قطاع‌های مختلف با یکدیگر همپوشانی دارند. با محاسبه میزان اثر هر نمونه در محدوده قطاع نظیرش به وسیله وزن دادن می‌توان اثر همپوشانی‌ها را محاسبه و خنثی نمود (حسنى پاک و شرف‌الدین ۱۳۸۴).

در تخمین یک سلول از شبکه که قطاع‌های مربوط به n نمونه آن را قطع کرده‌اند، برای هر یک از n نمونه مورد نظر سه وزن مربوط به مساحت قطاع، سلول شبکه و وزن مربوط به فاصله مرکز سلول شبکه از نقطه راس قطاع برای نمونه آم محاسبه می‌شود. سپس متوسط این

در تصویر ۷، دو خط با ابعاد فرکتالی مختلف، بر روی داده‌ها برازش شده است. خطی که دارای بعد فرکتالی بزرگتر است (تصویر ۷- الف)، به جامعه آنومالی و خط دیگر به جامعه زمینه مرتبط می‌باشد. محل تقاطع این دو خط، مقدار حدآستانه‌ای برابر ۱۱۲ppb را برای عنصر طلا نشان می‌دهد. نقشه ژئوشیمیایی مناطق امیدبخش حاصل از روش غلظت - مساحت داده‌های اکتشافی رسوبات آبراه‌ای مثال مورد نظر، در تصویر ۸ ارائه شده است. بر اساس اکتشافات تفصیلی انجام شده در منطقه مورد مطالعه، ۴ اندیس طلا وجود دارد. نقشه ژئوشیمیایی روش‌های آماره فضایی U و مدل‌سازی نمودارهای احتمال (تصویر ۹) و حفاری‌های انجام شده در کانی‌سازی کرویان، وجود این آنومالی‌ها را تایید می‌نمایند. مناطق آنومال تعیین شده بر اساس مدل فرکتالی غلظت- مساحت، فقط ۲ اندیس از ۴ اندیس طلای شناخته شده در منطقه را نشان می‌دهد (سیدرحیمی نیارق ۱۳۸۷). در این شرایط، هرگونه ناهمگنی در حوضه آبریز، مانعی در برابر پیوستگی کمیت مورد بررسی ایجاد می‌نماید. در تخمین دقیق این داده‌ها، توپوگرافی و الگوی توزیع آبراه‌ها نیز باید در نظر گرفته شود. در تخمین شبکه‌ای، همبستگی فضایی بین نقاط برداشت به صورت دامنه تاثیر نقاط با



تصویر ۸- نقشه مناطق امیدبخش حاصل از مدل فرکتالی غلظت - مساحت برای عنصر طلا (کردستان) (سیدرحیمی نیارق ۱۳۸۷).



تصویر ۹- الف- نقشه کنتوری مناطق آنومال $\bar{U} + SD$ ب- نقشه کنتوری مناطق آنومال نمودار احتمال (سیدرحیمی نیارق ۱۳۸۷).

۳- نتیجه‌گیری

داده‌ها با تغییرات بعد فرکتال داده‌های اکتشافی از یکدیگر تفکیک می‌شوند. در مدل فرکتالی متغیر- مساحت، ویژگی‌هایی نظیر توزیع، مشخصات فضایی، مکانی و هندسی داده‌ها انعکاس می‌یابد. وجود داده‌های آنومال در کنار یکدیگر موجب تقویت شدت آنومالی و بر عکس وجود داده آنومال در بین داده‌های زمینه باعث کاهش آنومالی

الگوی فرکتالی متغیر- مساحت که بر پدیده‌های طبیعی زمین‌شناسی حاکم است، در قالب توابع خطی- لگاریتمی با استفاده از تغییرات نمایی کمیت‌های مستقل نظیر شتاب جاذبه یا غلظت، به بررسی پارامتر وابسته (مساحت تراکمی) می‌پردازد. جوامع فرکتالی مختلف موجود در

Geostatistics for the Next Century, Kluwer, Dordrecht: 223-234.

Cheng, Q., 1995, "The perimeter-area fractal model and its application to geology", *Mathematical Geology*, Vol. 27 (1): 69-82.

Cheng, Q., Agterberg, F. P. & Bonham-Carter, G. F. 1996, "A spatial analysis method for geochemical anomaly separation", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 56 (3): 183-195.

Cheng, Q., 1997, "Fractal/multifractal modeling and spatial analysis", In: *Glahn, V.P. (Ed.), Proceedings IAMG'97, Vol. 1 (I), International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), Barcelona, Spain: 57-72.*

Cheng, Q., 1999, "Spatial and scaling modeling for geochemical anomaly separation", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 63 (3): 175-194.

Cheng, Q., 2007, "Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China", *Ore Geol. Rev.*, Vol. 32: 314-324.

Cheng, Q., Agterberg, F. P. & Ballantyne, S. B., 1994, "The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 51: 109-130.

Cheng, Q. & Agterberg, F. P., 1995, "Multifractal modeling and spatial point processes", *Math. Geol.* Vol. 27: 831-845.

Deng, J., Wang, Q.F., Yang, L. Q., Zhou, L., Gong, Q.J., Yuan, W.M., Xu, H., Guo, C.Y. & Liu, X.W., 2008, "The structure of ore-controlling strain and stress fields in the Shangzhuang gold deposit in Shandong Province, China", *Acta Geological Sinica*, Vol. 83 (5): 769-780.

Dimri, V. P., 2005, "Fractals in geophysics and seismology: an introduction", In: *Dimri, V. P. (Ed.), Fractal Behaviour of the Earth System, Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 1-22.*

Evertsz, C. J. G. & Mandelbrot, B. B., 1992, "Multifractal measures", In: *Peitgen, H.-O., Ju'rgens, H., Saupe, D. (Eds.), Chaos and Fractals, Springer, New York: 922-953.*

Korvin, G., 1992, "Fractal models in the earth sciences". *Elsevier Science Publishers B. V.*, 191-230.

Laubach, S. E. & Ward, M. E., 2006, "Diagenesis in porosity evolution of opening-mode fractures, Middle Triassic to Lower Jurassic La Boca Formation, NE Mexico", *Tectonophysics*, Vol. 419: 75-97.

Levinson, A. A., 1974, "Introduction to exploration geochemistry", *Applied Publishing Ltd*, 924 pp.

Li, C.J., Ma, T.H. & Shi, J.F., 2003, "Application of a fractal method relating concentration and distances for separation of geochemical anomalies from background", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 77 (2-3): 167-175.

Mandelbrot, B.B., 1983, "The Fractal Geometry of Nature (updated and augmented edition)", *Freeman, New York*, 468 pp.

Monecke, T., Monecke, J., Herzig, P.M., Gemmell, J. B. & Mönch, W., 2005, "Truncated fractal frequency distribution of element abundance data: a dynamic model

می‌گردد. در روش فرکتال، همپوشانی بین جوامع مختلف موجود در داده‌ها و یا وجود داده‌های ضعیف آنومال که در بین داده‌های زمینه با روند تغییرپذیری زیاد پنهان می‌باشند، کاهش می‌یابد. با توزیع غیر سیستماتیک و ناهمگن شبکه برداشت داده‌ها، در مدل تمام لگاریتمی متغیر- مساحت به تعداد محدودی از داده‌ها بعد فرکتالی اختصاص می‌یابد. در این حالت، حدآستانه‌ای مشخص شده برای این تعداد محدود از نمونه‌ها تعریف شده و محدوده‌های آنومالی به صورت دقیق تعیین نمی‌شوند. اما توزیع سیستماتیک و همگن ایستگاه‌های برداشت داده‌های اکتشافی از ایجاد روندهای غیر واقعی روی نمودار تمام لگاریتمی متغیر- مساحت جلوگیری نموده و نتایج بهتری را در تفکیک داده‌های اکتشافی به کمک روش فرکتال ارائه می‌نماید.

تشکر و قدردانی

از مدیریت محترم واحد اکتشافات ژئوفیزیک شرکت ملی نفت ایران و ریاست محترم سازمان زمین‌شناسی به جهت ارائه داده‌های اکتشافی مناطق مورد مطالعه و همچنین از ریاست پژوهشکده فناوری‌های نوین دانشگاه صنعتی شاهرود به دلیل حمایت مالی در راستای انجام طرح پژوهشی "تحلیل دقت برآورد مناطق آنومال با استفاده از روش فرکتال در اکتشافات معدنی و نفتی" تقدیر و تشکر می‌گردد.

مراجع

حسینی پاک، ع.ا. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۴، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۰۱۴ ص.

رفیعی، ع. و علی‌نیا، ف.، ۱۳۸۱، "جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از طریق روش‌های فرکتالی و چند متغیره (مطالعه موردی برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ جبال بارز)"، سومین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۶ تا ۸ آبان.

سید رحیمی نیارقی، م. م. ۱۳۸۷، "تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش‌های فرکتالی و آماره فضایی U و مقایسه آنها با نتایج روش نمودار احتمال در چهار گوش سقز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۴۱ ص.

طیسی، س.، ۱۳۸۹-الف، "تحلیل دقت برآورد مناطق آنومال با استفاده از روش فرکتال در اکتشافات معدنی و نفتی"، گزارش طرح پژوهشی پژوهشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۳۰ ص.

طیسی، س.، ۱۳۸۹-ب، "مقایسه مدل‌سازی داده‌های گرانی‌سنجی ناحیه دهنو به روش نمودارهای احتمال و روش‌های متداول تفکیک آنومالی در شناسایی ساختارهای تاقدیسی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۴۲ ص.

Agterberg, F. P., 1994, "Fractals, multifractals, and change of support", In: *Dimitrakopoulos, R. (Ed.),*

for the metasomatic enrichment of base and precious metals", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 232 (3-4): 363-378.

Ortega, O. J., Marrett, R. A. & Laubach, S. E., 2006, "A scale-independent approach to fracture intensity and average spacing measurement", *AAPG Bulletin*, Vol. 90 (2): 193-208.

Pickering, G., Peacock, D. C. P., Sanderson, D. J. & Bull, J. M., 1997, "Modeling tip zones to predict the throw and length characteristics of faults", *AAPG Bulletin*, Vol. 81: 82-99.

Raines, G. L., 2008, "Are fractal dimensions of the spatial distribution of mineral deposits meaningful?", *Nat. Resour. Res.*, Vol. 17: 87-97.

Reynolds J. M. 1997, "An introduction to applied and environmental geophysics", *John Wiley & Sons*, 796 pp.

Sanderson, D. J., Roberts, S. & Gumiel, P., 1994, "A fractal relationship between vein thickness and gold grade in drill core from La Codosera", *Spain, Economic Geology*, Vol. 89 (1): 168-173.

Shi, J. & Wang, C., 1998, "Fractal analysis of gold deposits in China: implication for giant deposit exploration", *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, Vol. 23: 616-618 (In Chinese with English Abstract).

Sim, B. L., Agterberg, F. P. & Beaudry, C., 1999, "Determining the cutoff between background and relative base metal contamination levels using multifractal methods", *Computers & Geosciences*, Vol. 25: 1023-1041.

Turcotte, D. L., 1996, "Fractals and Chaos in geophysics", 2nd ed. *Cambridge University Press, Cambridge U K*, 81-99.

Turcotte, D. L., 2002, "Fractals in petrology", *Lithos*, Vol. 65 (3): 261-271.

Wang, Q. F., Deng, J., Wan, L., Yang, L. Q. & Gong, Q. J., 2007, "Discussion on the kinetic controlling parameter of the stability of orebody distribution in altered rocks in the Dayingezhuang gold deposit, Shandong", *Acta Petrologica Sinica*, Vol. 23 (4): 590-593 (In Chinese with English Abstract).

Wang, Z., Cheng, Q., Xu, D. & Dong, Y., 2008a, "Fractal modeling of sphalerite banding in Jinding Pb-Zn deposit, Yunnan, Southwestern China", *Journal of China University of Geosciences*, Vol. 19 (1): 77-84.

Wang, Q. F., Deng, J., Wan, L., Zhao, J., Gong, Q. J., Yang, L. Q., Zhou, L. & Zhang, Z. J., 2008b, "Multifractal analysis of the element distribution in skarn-type deposits in Shizishan Orefield in Tongling area, Anhui province, China", *Acta Geologica Sinica*, Vol. 82 (4): 896-905.

Wei, S. & Pengda, Z., 2002, "Theoretical study of statistical fractal model with applications to mineral resource prediction", *Computers & Geosciences*, Vol. 28 (3): 369-376.

Zuo, R., Cheng, Q., Xia, Q. & Agterberg, F. P., 2009, "Application of fractal models to distinguish between different mineral phases", *Mathematical Geosciences*, Vol. 41 (1): 71-80.