

## کاربرد تحلیل هندسه فرکتال در جداسازی ناهنجاری های عنصر اورانیوم با استفاده از داده های ژئوفیزیک هوایی در اکتشاف ناحیه ای اورانیوم منطقه اونلیق (آذربایجان شرقی)

افشار ضیاءظریفی<sup>۱\*</sup>، مسعود صباغان<sup>۲</sup>، علی درویش زاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی اکتشاف معدن دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان- دانشجوی دکتری تخصصی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

<sup>۲</sup>گروه ریاضی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

<sup>۳</sup>گروه مهندسی اکتشاف معدن دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

### چکیده

اولین مراحل اکتشاف اورانیوم، استفاده از داده های ژئوفیزیک هوا برد است که به صورت کلی و با پرواز هواپیماهای حامل آشکارسازهای اشعه گاما صورت می گیرد. با توجه به توزیع عنصر اورانیوم در پوسته زمین عمده ترین بخش مراحل اولیه اکتشاف اورانیوم، فاکتورها و روش های جدایش محدوده ها و نقاط داغ آنومالی از جامعه زمینه می باشد. هندسه فرکتالی با چهارچوبی متمایز از هندسه اقلیدسی و با مدلی برگرفته از طبیعت با استفاده از توابع تکرار پذیر و دور پذیر برای توجیح روندهای طبیعی از جمله توزیع عناصر مختلف در پوسته زمین جهت جدایش جوامع مختلف بکار گرفته می شود. هندسه فرکتالی با استفاده از نمودارهای تمام لگاریتمی عیار- مساحت به دست آمده از بررسی تعداد ۱۰۷۶۹ داده رقومی منطقه اونلیق، قادر به جدایش پله ای محیط های متفاوت (زمینه، حد آستانه ای، آنومالی) با توجه به ضریب زاویه منحنی عیار- مساحت می باشد. در نهایت نقشه مربوط به مناطق آنومالی و معرفی اندیس های معدنی اورانیوم منطقه اونلیق بر اساس مدل های به دست آمده از نتایج فرکتالی تهیه و ارائه شده است.

**کلمات کلیدی:** هندسه فرکتال، ناهنجاری های اورانیوم، روش عیار- مساحت، ژئوفیزیک هوا برد.

### ۱ مقدمه

در مراحل اولیه اکتشاف مواد معدنی و مراحل پی جویی و اکتشاف مقدماتی، برای تعیین و تفکیک دقیق تر جامعه آنومالی از مقادیر زمینه در کانسارهای اورانیوم، روش های سنتی و قدیمی به تدریج جای خود را به روش های نوین که از طبیعت الهام گرفته اند، می دهند. یکی از این روش ها استفاده از هندسه فرکتال در جدایش جوامع مختلف زمینه، حد آستانه و آنومالی در مقایسه با روش های قبلی آمار کلاسیک است. هندسه فرکتالی روشی جدیدی است که نسبت به هندسه اقلیدسی تفاوت های زیادی دارد. هندسه اقلیدسی بیشتر کاربرد در مصنوعات بشر دارد در حالی که هندسه فرکتالی بیشتر در شبیه سازی مدل های طبیعی برگرفته از

محیط طبیعت کاربرد دارد. در هندسه اقلیدسی اشکال بر اساس مقیاس تغییر می کنند در مقابل آن هندسه فرکتالی مستقل از مقیاس و بر اساس یک ویژگی تکرار پذیری مدلی بر اساس سیمای طبیعت پیرامون ما ارایه می دهد. در هندسه اقلیدسی تمامی موضوعات و مدل های ارایه شده بوسیله معادلات تحلیلی بررسی می شوند اما در هندسه فرکتال معادله حاکم یک معادله با تابع تکرارپذیر و دور پذیر است و ماهیت تکرار پذیری دارد. اشکالی که در هندسه اقلیدسی مورد مطالعه قرار می گیرند وضعیت ثابتی دارند ولی در هندسه فرکتال اشکال عموماً تکراری و کاملاً حالت قطعه بندی دارند. هندسه اقلیدسی خاصیت مشتق پذیری دارد ولی در هندسه فرکتال مشتق پذیری مفهومی ندارد. اجزای سازنده اشکال اقلیدسی نقاط، خطها، صفحات و حجم ها هستند ولی در هندسه فرکتال یک پارامتر جزء سازنده اولیه یا وضعیت اولیه یا موقعیت اولیه دارد و فرکتال اعتقادی بر مشتق پذیری ندارد چون اجزاء تکرار پذیرند. در واقع جزء اولیه آنچنان تکرار پذیر می شود که بصورت یک حجم مشاهده می شود که از تکرار پذیری زیادی از آن جزء اولیه سازنده خود به دست می آید. ویژگی برجسته بعضی از پدیده های زمین شناسی و معدنی اغلب وجود فرآیندهای در ارتباط با اغتشاش در پوسته زمین است که هندسه فرکتالی با توانایی بیشتر از روش های قدیمی و آماری می تواند در این پدیده های معدن ساز پیش داوری کند.

در روش آمار کلاسیک، مبنای کار، محاسبه پارامترهای آماری مربوط به کل منطقه می باشد که با استفاده از پارامترهای مختلف و مقادیر حول میانگین، جداسازی جوامع انجام می گیرد [۱]. در روش فرکتال بر اساس مقادیر و نقشه های هم شدت رادیومتری، ابتدا نمودار لگاریتمی عیار-مساحت با توجه به خطوط هم شدت رادیومتری و مقادیر عیار محدوده ها ترسیم می شود. این منحنی در دو محور بر اساس مقادیر مساحت و مقادیر عیار داده های اندازه گیری شده ترسیم می شود و سپس از روی نقاط و ضریب شکست منحنی، مقادیر زمینه، حد آستانه، و آنومالی جدا می شوند و محدوده ها و اندیس های قابل توجه اورانیوم برای ادامه کار اکتشافی در قالب نقشه های به دست آمده معرفی می گردند [۱].

در این مقاله روش های فوق در اولین مرحله اکتشاف برای یک بر گه  $1/50000$ ، به شماره نقشه ۳-۵۵۶۳ به نام منطقه اولنلیق (آذربایجان شرقی) بکار گرفته شده است. طول جغرافیایی این منطقه ۴۷ درجه ۳۰ دقیقه تا ۴۷ درجه ۴۵ دقیقه و عرض جغرافیایی آن ۳۷ درجه ۳۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه می باشد.

## ۲ روش ها

### ۱-۲ کلیات روش فرکتال

بعضی از پدیده های اطراف ما در چارچوب هندسه اقلیدسی قابل توجیه نمی باشند. در هندسه ی اقلیدسی بُعد، یک عدد صحیح نامنفی یعنی صفر، یک، دو، سه و... می باشد. از اینرو هندسه ی اقلیدسی می تواند اشکال یک بعدی، دو بعدی، سه بعدی و یا بیشتر را توضیح دهد. نگرش دیگر این است که بعد پدیده ها و یا رخدادها را عدد صحیحی نپنداریم، بلکه ملاحظه کنیم که بعد می تواند به طور پیوسته از صفر تا یک و از یک تا دو و از دو تا سه و یا بیشتر تغییر کند. برای مثال، اگر خط فضای یک بعدی و صفحه فضای دو بعدی است، یک خط شکسته که صدها بار شکسته می شود شکلی را به وجود می آورد که می توان بر حسب شدت این شکست ها بعدی بین

یک و دو به آن نسبت داد. در این صورت می توان آن را شکلی بین خط و صفحه معرفی کرد با بعد بین یک و دو.

با افزایش شکستگی های خط مورد نظر می تواند بعدی بیش از یک را اختیار کند. با افزایش تغییرات خط در بعد دوم، رفته رفته حالتی پیش می آید که تغییرات خط، کاملاً یک فضای دو بعدی را تحت پوشش قرار می دهد و به رویه تبدیل می شود. برای درک بهتر بعد فرکتال، فرض کنیم می خواهیم طول یک خط هم عیار (خطی که نقاط با غلظت برابر را به هم وصل می کند) اورانیوم را به دست آوریم. در این صورت با توجه به نوسانات شدید این خط، طول اندازه گیری شده آن بستگی به طول خط کشی دارد که به عنوان گام برای اندازه گیری استفاده می شود، زیرا اندازه گیری با یک خط کش بزرگ (گام بزرگ) مستلزم آن است که تغییرات و نوسانات کوچک مقیاس این خط تراز در نظر گرفته نشود، در حالی که با یک خط کش کوچک می توان بسیاری از این تغییرات کوچک مقیاس را نیز اندازه گرفت. بدیهی است این تغییرات کوچک مقیاس به طول اندازه گیری شده خط تراز می افزاید. فرض کنید برای اندازه گیری طول خط تراز مورد نظر از خط کشی با گام  $x_0$  استفاده کنیم در این حالت اگر تعداد گام برابر  $N_0$  باشد، طول خط برابر است با:  $L_0 = N_0 x_0$ . حال اگر با یک خط کش با گام کوچکتر  $x_1$  طول خط را اندازه بگیریم طول دقیق تری از آن به دست خواهیم آورد که برابر:  $L_1 = N_1 x_1$  است. یک منحنی نمودار طول این خط را به عنوان طول گام های مختلف ارائه می دهد. منحنی حاصل را می توان به صورت کلی زیر بیان کرد: (برای توضیح بیشتر به مرجع [۱] مراجعه فرمایید).

$$L = ax^{1-D}$$

که در این رابطه  $D$  را بعد فرکتال خط مورد نظر می نامند و  $a$  مقدار ثابتی است که مقدار آن تابع واحد کمیت به کار رفته برای اندازه گیری است. این مسئله برای ابعاد بالاتر نیز قابل تعمیم است. بطور کلی مقدار سطح یا حجم اشکال نامنظم و پیچیده با تغییرات مقیاس تغییر می کند. شناخت این اشکال با تعیین روند این تغییرات ممکن می شود. ارزیابی سرعت افزایش طول، سطح یا حجم نسبت به کوچک شدن مقیاس اندازه گیری می تواند معرف میزان پیچیدگی شکل و در نتیجه بعد آن باشد.

## ۲-۲ اندازه گیری بعد فرکتال

روش های مختلفی برای اندازه گیری بعد فرکتال وجود دارد. روش مورد استفاده در تعیین بعد فرکتال برای داده های رادیومتری روش خود تشابهی<sup>۱</sup> است که به توضیح این روش می پردازیم. اشکال فرکتالی در مقیاس های مختلف از نظر بزرگ نمایی ممکن است مشابه باشند. این خاصیت آنها را خود تشابهی می نامند. اجزای تشکیل دهنده یک شکل فرکتال وقتی به دقت بررسی شوند، همانند خود آن شکل می باشد. سیستم آبراهه ای، سیستم درزه ها و سیستم گسل ها و بسیاری از سیستم های دیگر طبیعت دارای چنین خاصیت فرکتالی هستند.

1- Self- similarity

برای تمامی اشکال خود تشابه، رابطه‌ی نمایشی زیر برقرار می‌باشد:

$$A = S^D$$

که در آن  $A$  تعداد اجزاء،  $S$  ضریب کوچک‌نمایی و  $D$  بعد فرکتال است. به عنوان مثال شکل (۱-۲) را در نظر بگیرید. این شکل همان منحنی معروف کخ را نشان می‌دهد. بُعد فرکتال این شکل با توجه به مقادیر  $A=4$  و  $S=3$  (خط اولیه سه برابر هر قطعه از خط شکسته است) بصورت زیر محاسبه می‌شود:

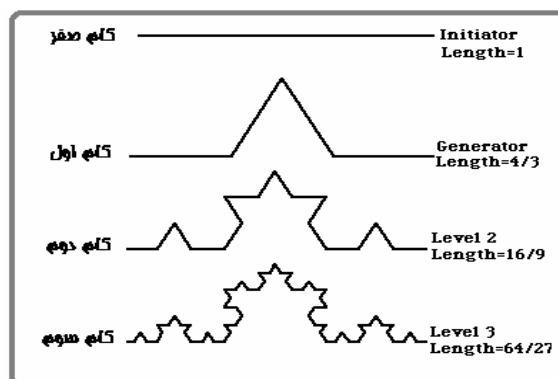
$$4 = 3^D$$

$$D = \frac{\log 4}{\log 3} = 1.2618$$

یک منحنی فرکتالی در واقع یک نمودار خود تشابه است که از تعداد زیادی خط‌های کوچک مشابه تشکیل شده است. هرچه این منحنی دارای پیچ و تاب بیشتری باشد (پیچیده تر باشد) مقدار  $A$  نسبت به  $S$  بزرگتر شده و در نتیجه بعد فرکتالی آن بیشتر می‌شود. به طوری که وقتی منحنی آن قسمت اعظم صفحه را می‌پوشاند، بُعد آن به طرف ۲ میل می‌کند. لازم به ذکر است که برای محاسبات بُعد فرکتال و استفاده از اختلاف بُعد فرکتال دو جامعه زمینه و آنومالی، برای جدا کردن این دو جامعه در مورد داده‌های رادیومتری منطقه از روش خود تشابهی استفاده گردیده است [۲].

### ۲-۳ روش‌های تعیین بُعد فرکتالی الگوهای اکتشافی

در حال حاضر چنین تشخیص داده شده است که فرآیندهای طبیعی در مقیاس غیر قابل تغییر می‌باشند و این غیر قابل تغییر بودن پدیده‌ها در دامنه وسیعی از تغییرات مقیاس صدق می‌کند. فرآیندهای غیر متغیر نسبت به مقیاس یعنی فرآیندهایی که در دیدگاه ثابتی تکرار می‌شوند عموماً بصورت فرکتالی نشان داده می‌شوند.



شکل ۱-۲: محاسبه بعد فرکتال منحنی کخ [۲].

راه های متنوعی برای تعریف رفتار فرکتالی وجود دارد. یکی اینکه آنها را مرتبط به فرکانس پیدایش شان در مقایسه با اندازه در نظر گیرند. مثلاً رابطه تناژ و عیار برای کانسارهای اقتصادی رفتار فرکتالی را نشان می دهند که اگر تناژ کانسار با میانگین عیار متناسب باشد، میانگین عیار در این حالت باید به توان خاصی برسد تا این رابطه معنادار گردد [۵]. چنین ارتباطی برای نهشته های جیوه، مس و اورانیوم در آمریکا وجود دارد که بعد فرکتالی آنها به ترتیب ۲/۰۱، ۱/۱۶، ۱/۴۸ است، (Turcotte, 1986).

یکی از کاربردهای عمده هندسه فرکتال در تخمین حد آستانه ای و در نتیجه جداسازی جامعه آنومالی از زمینه بر اساس اختلاف بعد فرکتال آنها است. اگر منطقه ای نسبت به متغیر ژئوشیمیایی مطلوب، فاقد آنومالی باشد و صرفاً جامعه زمینه در آن یافت شود قله ها و دره های کم ارتفاعی در صفحه تغییر پذیری آن متغیر ظاهر می شود. لذا بعد فرکتال آن کم و نزدیک به ۲ خواهد شد. به محض گذر از محدوده زمینه و ورود به محدوده آنومال، بدلیل پیدایش قله های مرتفع در تغییر پذیری متغیر ژئوشیمیایی، بعد فرکتال به نسبت شدت آنومالی افزایش می یابد. از این رو می توان با استفاده از اختلاف بعد فرکتال دو جامعه، زمینه و آنومالی آنها را از یکدیگر جدا کرد. الگوریتم های مختلفی برای محاسبه بعد فرکتال وجود دارد (۲). در زیر به بررسی این روش ها می پردازیم:

چهار روش در این زمینه وجود دارند که عبارتند از: الف- تحلیل واریوگرام ب- رابطه طول خط هم عیار بر حسب طول گام اندازه گیری آن. ج- رابطه مساحت - محیط د- رابطه عیار - مساحت. در زیر به شرح مختصری از این روش ها می پردازیم:

**الف- تحلیل واریوگرام:** از بین روش های فوق، روش تحلیل واریوگرام مستقیماً روی داده ها قابل انجام است ولی سه روش دیگر نیاز به درون یابی و رسم نقشه خطوط هم عیار دارد. واریوگرام پراش جفت نمونه هایی که به فاصله  $h$  از یکدیگر واقعد را به دست می دهد. اگر یک متغیر رفتار فرکتالی در تغییر پذیری خود داشته باشد با افزایش فاصله  $h$ ، مقدار واریوگرام نیز دائماً افزایش خواهد یافت. این پیوستگی در واریوگرام محصول خود تشابهی الگوهای ژئوشیمیایی است. در بررسی های فرکتالی به منظور محاسبه بعد فرکتال الگوی ژئوشیمیایی در مقیاس ناحیه ای، بهتر است واریوگرام داده های خام (تبدیل نیافته) رسم شود. در چنین حالتی مقدار بعد فرکتالی به طور اضافی تخمین زده می شود. لذا لازم است نتایج حاصل با دقت تفسیر شوند.

**ب- طول - گام:** روش دوم برای به دست آوردن بعد فرکتالی، روش اندازه گیری طول خطوط هم عیار بر حسب طول گام (طول خط کش) مختلف است که در قسمت قبل توضیح داده شد. در این روش لازم است که ابتدا با استفاده از روش های درون یابی، خطوط هم عیار رسم شوند و سپس برای هر خط تراز با استفاده از نمودار لگاریتم طول اندازه گیری شده بر حسب لگاریتم طول گام، بعد فرکتالی آن تعیین می شود.

**ج- مساحت - محیط:** روش سوم برای به دست آوردن بعد فرکتالی، استفاده از رابطه مساحت - محیط است. در این حالت نیز لازم است خطوط هم عیار از طریق روش های درون یابی رسم شوند. سپس محیط هر خط بسته و مساحت داخل آن محاسبه شود در صورتیکه الگوی پراکنندگی ژئوشیمیایی مورد نظر دارای ماهیت فرکتالی

باشد، بین محیط و مساحت درون خطوط هم عیار، رابطه زیر را می توان برقرار کرد: (برای توضیح بیشتر به مرجع [۱] مراجعه فرمایید).

$$P = C(A)^{0.5 D_1}$$

که در آن P محیط و A مساحت درون خطوط عیار و C یک مقدار ثابت است.  $D_1$  بعد فرکتال خط هم عیار مورد نظر است. مزیت این روش آن است که می توان بر اساس میزان حساسیت روش آنالیز داده ها و در نتیجه بر اساس دامنه ای از داده ها که احتمال خطا در آنها کمتر است خطوط هم عیار را برای تعیین بعد فرکتال انتخاب کرد.

بنابراین می توان از خطوط هم عیاری که به دلیل ضعف روش آنالیز، دقت کافی ندارند صرف نظر کرد. البته برای درون یابی و شبکه بندی منظم داده ها، از این داده های کم دقت می توان استفاده نمود.

د- عیار - مساحت: آخرین روشی که اینجا بحث می شود، به دست آوردن بعد فرکتالی با روش عیار - مساحت است. بنا به تعریف اساس این روش بر مبنای محاسبه غلظت های مختلف اندازه گیری مقادیر مختلف عنصر اورانیوم و محاسبه مساحت متناظر با غلظت های اندازه گیری می باشند. رابطه ی بین بعد خط هم عیار با مساحت را می توان به صورت زیر بر قرار کرد: (برای توضیح بیشتر به مرجع [۱] مراجعه فرمایید).

$$A(\mu \geq x_0) = F \cdot x_0^{-a}$$

که در آن  $A(\mu \geq x_0)$  مساحت تجمعی محصور شده به وسیله خطوط هم عیاری است که عیار متناظر آنها مساوی  $x_0$  است. a پارامتری مرتبط با بعد خط هم عیار است. در انتهای بحث در مورد این روش، لازم به ذکر است که برای تعیین بعد فرکتالی داده های رادیومتری هوایی منطقه ی اولیق آذربایجان شرقی از روش عیار - مساحت با اعمال این روش بر تعداد ۱۰۷۶۹ داده ی ژئوفیزیک هوایی شامل پردازش و درونیابی داده ها، شبکه بندی آنها، به دست آوردن مساحت های تجمعی محصور شده متناظر با عیار توزیع عنصر اورانیوم در منطقه اولیق و به دست آوردن بعد فرکتالی با روش عیار - مساحت برای تهیه نقشه های مناطق امید بخش اکتشاف اورانیوم استفاده شده است [۳].

### ۳ بحث

#### ۳-۱ جدایش جامعه آنومالی و زمینه داده های ژئوفیزیک هوایی به روش فرکتالی

هدف از بحث قبل رسیدن به مرحله جداسازی جامعه آنومالی از زمینه است که با تخمین حد آستانه ای صورت می گیرد. در برداشت های اکتشافی اگر نمودار فراوانی عنصر یعنی یا منحنی توزیع آنرا که از قرار دادن مقادیر اندازه گیری عنصر در محور افقی و تعداد تکرار مقادیر اندازه گیری شده یا فراوانی آنها را در محور قائم قرار دهیم در این منحنی توزیع به دست آمده عنصر مورد نظر توزیع عناصر در مقادیر بزرگ تابع توزیع یعنی مقادیر اندازه گیری بالا در محور افقی تابع توزیع، آنومالی ها یا ناهنجاریها را تشکیل می دهد. این مقادیر که از بقیه داده ها (زمینه) قابل تفکیک هستند مناطق امید بخش برای پیدایش کانی سازی اقتصادی در نظر گرفته

می شوند. روش های مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومال از زمینه وجود دارند. این روش ها از نظر انواع ساده (بر اساس پارامترهای آماری توزیع) تا روش های پیچیده (بر اساس ساختار فضایی توزیع عیار داده ها) تغییر می کنند. این روش ها بطور کلی به دو روش غیر ساختاری و ساختاری تقسیم بندی می شوند [۳]:

**الف) روش غیر ساختاری:** در این روش فقط مقدار اندازه گیری شده برای هر نمونه مورد توجه قرار می گیرد و موقعیت فضایی نقاط نمونه برداری در نظر گرفته نمی شود. پایه و اساس این روش حساب احتمالات است. این روش بر مبنای پارامترهای آماری توزیع و یا بر اساس احتمال مقادیر آنومالی عمل می کند. روش غیر ساختاری که یکی از ابزار آن آمار کلاسیک است، تفکیک جوامع آنومالی و زمینه را بر اساس میانگین و انحراف معیار امکانپذیر می کند. این روش در عمل در مورد داده های اکتشافی معایب فراوانی دارد که این معایب در بعضی موارد باعث بوجود آمدن آنومالی های خلاف واقع و با اغتشاش زیاد و ایجاد مزاحمت در مشخص کردن مقدار زمینه مقادیر داده ها و حد آستانه ای داده های می باشد. با توجه به دلایل ذکر شده امروزه برای دستیابی به نتایج بهتر و دقیقتر بیشتر محققان بدنبال روش های جدیدی هستند که مدل های نزدیک به واقعیتی را در مورد توزیع عناصر زمین در یک منطقه در مراحل اکتشاف مواد معدنی و مراحل پی جویی ارایه دهد.

**ب) روش های ساختاری:** به روش هایی اطلاق می شود که ارتباط فضایی نمونه ها و یا به عبارت دیگر موقعیت آنها نسبت به هم را در نظر می گیرد. در روش قبلی، موقعیت یک نمونه آنومال در روی نقشه و تاثیر گزاری یا تاثیر پذیری آن به نقاط اطراف مورد توجه قرار نمی گرفت. بنابراین داده ها بدون در نظر گرفتن مختصات شان تحلیل می شدند. اختلاف روش های ساختاری و غیر ساختاری در این است که روش ساختاری موقعیت جغرافیایی نقاط که تعیین کننده موقعیت آنها نسبت به هم است را برای تعیین آنومالی مدنظر قرار می دهد بنابراین وجود چند نمونه آنومال از جامعه داده ها در کنار یکدیگر می تواند موجب تقویت آنها شود. همچنین بر عکس این تفسیر وجود یک نمونه آنومال در بین جامعه ای از نمونه های زمینه از اهمیت آن می کاهد. این همان اثری است که در تفسیر آنومالی ها مورد توجه قرار می گیرد و در کارهای اکتشاف مواد معدنی جهت مشخص نمودن نقاط آنومال و امید بخش اهمیت به سزایی دارد.

یکی از ابزار قدرتمند و جدید روش های ساختاری استفاده از هندسه فرکتال و به کارگیری آن جهت تمایز جوامع مختلف داده ها می باشد. برای استفاده از این ابزار جدید ابتدا باید یک الگوی فرکتالی از داده ها بسازیم. در بین الگوهای توزیع عناصر هم مانند الگوهای دیگر خاصیت خود تشابهی و استقلال از مقیاس مشاهده می شود. بنابراین امکان پیدایش الگوهای فرکتالی در آنها وجود دارد. مدل هر چیزی تصور ذهنی بر اساس امکانات طبیعت است. مدل آن چنان سیمایی از طبیعت پیرامون ما است که بر اساس امکانات و ابزار آلات موجود بشر تعریف می شود. مدل ها بر اساس توانایی های فکری دائماً در تغییر بوده که یکی از آنها توسط مندربرف بصورت هندسه فرکتال برای توجیح داده های طبیعی ارایه شده است. در یک روند اغتشاشی چندین جامعه فرکتالی در یکدیگر تداخل دارند بنابراین وقتی چند جامعه فرکتالی توأم بررسی می شوند برای تک تک جوامع باید یک معادله خط نوشت. در یک سری داده های توزیع عناصر ممکن است چند گروه فرکتالی متصل

به هم مشاهده شوند. برای روشن شدن مطلب ما فقط دو گروه فرکتالی متصل به هم را در نظر می‌گیریم که یک گروه معرف زمینه و گروه دیگر معرف آنومالی است. برای جدایش جامعه آنومالی سعی می‌شود غلظتی بحرانی که در محدوده آن بُعد فرکتالی تغییر می‌کند (یعنی از بُعد کمتر مربوط به جامعه زمینه با سطح توزیع عناصر بطور هموار به بُعد بیشتر مربوط به جامعه آنومالی با سطح توزیع عناصر بطور ناهموار) به عنوان حد آستانه ای معرفی گردد. بنابراین در این روش از توزیع فراوانی عناصر و شکل هندسی آنومالی به طور همزمان برای تشخیص حد آستانه ای و جدایش جامعه آنومالی و زمینه و حتی جامعه های کوچکتر بین آنها استفاده می‌گردد. برای تعیین بعد فرکتالی داده ها روش عیار-مساحت می‌تواند برای هر خط هم عیار پارامتر مرتبط با بُعد آن را یعنی مساحت آنرا محاسبه کرد. که این محاسبه برای داده های ژئوفیزیک هوایی منطقه اونلیق آذربایجان شرقی برای تفکیک جوامع آنومالی از زمینه با استفاده از روش فرکتال و به کمک نرم افزارهای مختلف موجود انجام گرفته است.

در داده‌های ژئوفیزیک هوایی عنصر اورانیوم منطقه اونلیق با دو گروه داده فرکتالی متصل به هم مواجه هستیم که یک گروه معرف زمینه و گروه دیگر معرف آنومالی است. در اینجا برای جدایش جامعه آنومالی سعی می‌شود غلظتی بحرانی، که در محدوده آن بعد فرکتالی تغییر می‌کند به عنوان حد آستانه‌ای معرفی گردد. با روش هایی که در قسمت قبل ارایه شد، می‌توان برای هر خط هم عیار پارامترهای مرتبط با بُعد آن مانند مساحت - محیط یا طول - گام و غیره را محاسبه کرد. از آنجا که مدل های فرکتالی نوعی روابط نمایی بین این پارامترها برقرار می‌کنند، لذا نمودار آنها در دستگاه مختصات تمام لگاریتمی به صورت خط راست در می‌آید. در این صورت اگر نمودار عیار - مساحت که از اهمیت خاصی برخوردار است برای داده‌های اکتشافی ژئوفیزیک هوایی عنصر اورانیوم منطقه اونلیق آذربایجان شرقی رسم شود به صورت دو یا چند خط در می‌آید. در مناسبترین حالت ممکن، دو خط حاصل می‌گردد. مرز بین دو خط دارای عیاری است که معرف حد آستانه‌ای می‌باشد. در واقع این دو خط نماینده جوامع زمینه و آنومالی است که دو شیب مختلف دارند و نشان دهنده آن است که بُعد جامعه زمینه و آنومالی متفاوت خواهد بود. برای رسم نمودارهای عیار - مساحت ابتدا لازم است یا نقشه کنتوری و یا نقشه شبکه بندی شده منطقه تهیه شود تا بتوان مقادیر عیار و مساحت هر خط تراز را محاسبه کرد. برای این منظور روش های مختلفی برای درون‌یابی داده‌ها وجود دارد که بسته به نوع داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای داده‌های توزیع عناصر اورانیوم منطقه که توسط روش ژئوفیزیکی رادیومتری هوایی (اندازه گیری اشعه گامای ساطع شده از منابع اورانیوم سطحی) می‌توان از روش های درون‌یابی معمول مانند عکس مجذور فاصله، کریجینگ و یا روش های دیگر استفاده کرد که برای داده‌های منطقه اونلیق از روش عکس مجذور فاصله استفاده شده و سپس نقشه هم شدت رسم شده است. پس از رسم نقشه شبکه بندی داده‌ها، برای هر سلول، عیاری خواهیم داشت. همچنین هر سلول مساحت مشخصی دارد. به عنوان مثال اگر بخواهیم به روش عیار - مساحت بُعد فرکتالی (یا حد آستانه‌ای) را محاسبه کنیم، کافی است که مقادیر عیار به ترتیب صعودی مرتب شوند. برای عیارهای تکراری فقط یکی از آنها به همراه مجموع مساحت همه سلول‌هایی که آن عیار را دارند در جدول باقی می‌ماند. سپس لازم است برای هر عیار معین مساحت‌ها به صورت تجمعی محاسبه شوند. پس از انجام این



محاسبات می توان نمودار لگاریتم عیار- مساحت را رسم کرد و از روی آن حد آستانه ای را به روشی که در بالا گفته شد تخمین زد [۳].

### ۲-۳ تخمین مقادیر حد آستانه، آنومالی ممکن و آنومالی احتمالی به روش هندسه فرکتال

روش هندسه فرکتال نسبت به روش های آماری روش جدیدتری است، در آن ساختار فضایی داده ها نیز مورد توجه قرار می گیرد، در صورتی که در روش های آمار کلاسیک، ساختار فضایی داده ها مورد توجه قرار نمی گرفت. تعیین حد آستانه و حد آنومالی در هندسه فرکتال به روش های مختلفی انجام می شود که یکی از آنها روش عیار- مساحت می باشد. این روش تغییرات سطح محصور منحنی های هم شدت را نسبت به تغییرات غلظت (عیار) می سنجد که در نتیجه به یک تابع نمایی می رسیم که این تابع ساختار فرکتالی دارد. در این روش از توزیع فراوانی عناصر و شکل هندسی آنومالی به طور همزمان برای تشخیص حد آستانه ای و جدایش جامعه آنومالی و زمینه استفاده می گردد [۴].

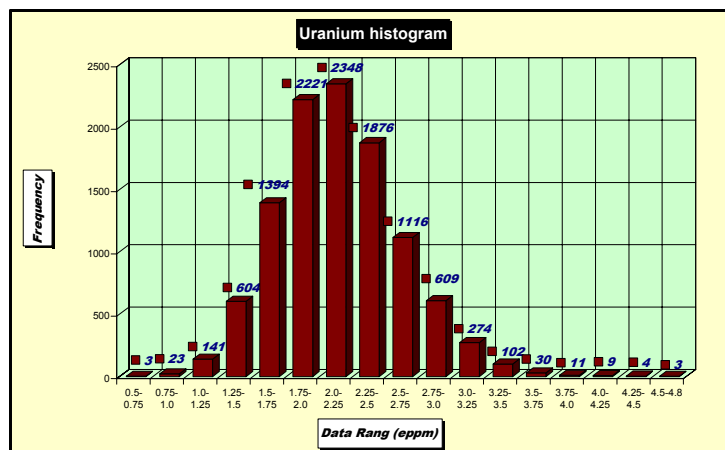
روش کار برای ساختن مدل عیار- مساحت مقادیر اندازه گرفته شده عنصر اورانیوم منطقه اونلیق بدین ترتیب بود که ابتدا داده های ژئوفیزیک هوایی منطقه که پس از برداشت هوایی بصورت اندازه گیری تشعشع گامای ساطع شده از عناصر اورانیوم توسط دستگاههای آشکارساز اندازه گیری شده است بر اساس مقادیر غلظت عنصر اورانیوم در منطقه اونلیق با واحد اندازه گیری قسمت در میلیون (ppm) که معادل گرم بر تن است، به دست آمد. این داده ها پس از برداشت هواپیما توسط نرم افزار Rticad به فرمت رقومی و بصورت سه ستون X، Y و Z، به ترتیب شامل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و عیار اندازه گیری تبدیل شد. تعداد داده های برداشت شده عنصر اورانیوم در منطقه اونلیق پس از تبدیل به داده های رقومی شامل ۱۰۷۶۸ برداشت رقومی است که هر کدام در برگیرنده مقادیر طول و عرض جغرافیایی به همراه غلظت اورانیوم با واحد معادل قسمت در میلیون یا گرم بر تن می باشد. حداقل داده برداشت شده عنصر اورانیوم در کل مقادیر اندازه گیری شده مقدار ۰/۶۲ معادل گرم بر تن و حداکثر داده اندازه گیری عنصر اورانیوم مقدار ۴/۸۱ معادل گرم بر تن است. با توجه به حجم بالای اطلاعات برداشت شده (تعداد ۱۰۷۶۸ داده ژئوفیزیک هوایی شامل سه مولفه طول و عرض جغرافیایی و غلظت عنصر) امکان آوردن جداول برداشت داده ها در این مقاله میسر نیست اما نمایی از حجم اطلاعات کلاس بندی داده ها و مقادیر فراوانی داده ها در هر کلاس در جدول ۳-۱ لیست شده است.

همچنین برای دستیابی به الگوی توزیع منطقه ای اورانیوم در منطقه اونلیق، بر اساس جدول ۳-۱ هیستوگرام توزیع داده های عنصر اورانیوم ترسیم شد. در نمودار هیستوگرام نمونه ها، فراوانی عنصر مورد نظر یا عامل اندازه گیری محدوده کلاس بندی جدول ۳-۱ در محور عمودی و مقادیر متناظر با هر فراوانی در محور افقی در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. این منحنی ها نشان دهنده چگونگی توزیع و پراکنندگی عنصر اورانیوم در منطقه اونلیق آذربایجان می باشد. هیستوگرام های توزیع فراوانی عناصر اورانیوم منطقه با استفاده از نرم افزار Excel به دست آمده است. برای به دست آوردن منحنی عیار- مساحت داده های اورانیوم منطقه اونلیق آذربایجان شرقی، ابتدا باید نقشه هم شدت توزیع عنصر اورانیوم را در محدوده برگه ۱/۵۰۰۰۰ اونلیق به دست آوریم تا از روی این

نقشه هم شدت مساحت محصور به هر عیار را به دست آوریم. برای محاسبه مساحت متناظر با هر عیار ابتدا داده های رقومی پرواز هوایی داده ها شبکه بندی می شوند.

کلاس داده ها	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی	فراوانی تجمعی
۰/۵-۰/۷۵	۳	۰/۰۳	۳
۰/۷۵-۱	۲۳	۰/۲۱	۲۶
۱-۱/۲۵	۱۴۱	۱/۳۱	۱۶۷
۱/۲۵-۱/۵	۶۰۴	۵/۶۱	۷۷۱
۱/۵-۱/۷۵	۱۳۹۴	۱۲/۹۵	۲۱۶۵
۱/۷۵-۲	۲۲۲۱	۲۰/۶۳	۴۳۸۶
۲-۲/۲۵	۲۳۴۸	۲۱/۸۱	۶۷۳۴
۲/۲۵-۲/۵	۱۸۷۶	۱۷/۴۲	۸۶۱۰
۲/۵-۲/۷۵	۱۱۱۶	۱۰/۳۶	۹۷۲۶
۲/۷۵-۳	۶۰۹	۵/۶۶	۱۰۳۳۵
۳-۳/۲۵	۲۷۴	۲/۵۴	۱۰۶۰۹
۳/۲۵-۳/۵	۱۰۲	۰/۹۵	۱۰۷۱۱
۳/۵-۳/۷۵	۳۰	۰/۲۸	۱۰۷۴۱
۳/۷۵-۴	۱۱	۰/۱۰	۱۰۷۵۲
۴-۴/۲۵	۹	۰/۰۸	۱۰۷۶۱
۴/۲۵-۴/۵	۴	۰/۰۴	۱۰۷۶۵
۴/۵-۴/۸	۳	۰/۰۳	۱۰۷۶۸

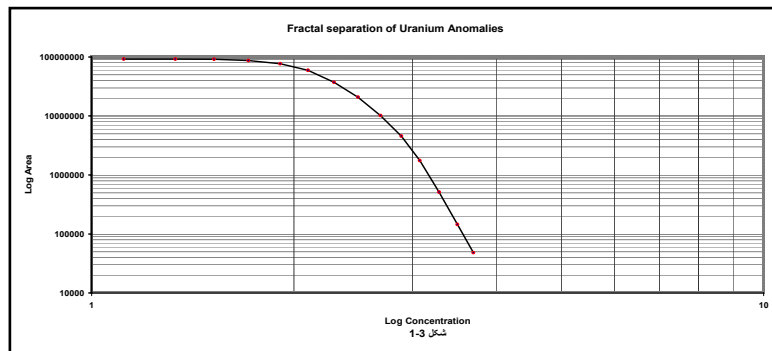
جدول ۳-۱: فهرست کلاس بندی شده داده های رقومی رادیومتری عنصر اورانیوم (U)



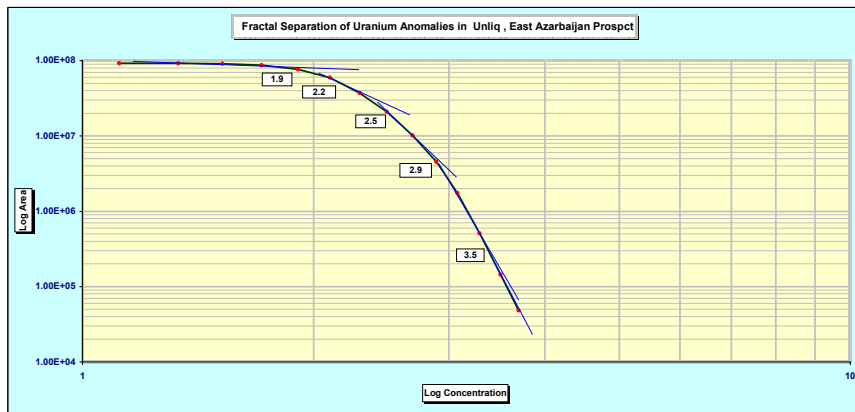
شکل ۳-۲: نمودار هیستوگرام توزیع فراوانی داده های رادیومتری عنصر اورانیوم (U) منطقه اونلیق

این روش از فضاها نامنظم، فاصله های منظم و مستطیلی شکلی که دارای عیارهای مشخص هستند به وجود می آورد. عبارت فضای نامنظم بدین معناست که بعضی نقاط از الگویی در سطح گستره توزیع خود پیروی نمی کنند، بنابراین تعداد زیادی حفره در جاهایی که داده ها مفقود هستند به وجود می آید. اعمال شبکه منظم با

قیاس کردن و میان‌یابی یا همان انتریپولاسیون مقادیر غلظت یا عیار را در حفره‌هایی که داده‌ای برای آن‌ها وجود ندارد می‌سازد. شبکه‌بندی توسط نرم‌افزارهای مختلف انجام می‌شود که برای داده‌های عنصر اورانیوم منطقه اونلیق این کار توسط نرم‌افزار Arc GIS انجام شد و درون‌یابی داده‌ها و ترسیم نقشه هم‌شدت صورت گرفت و عیار هر کنتور نیز به دست آمد. با توجه به مساحت‌های محاسبه شده برای هر عیار، منحنی عیار-مساحت به صورت تجمعی توسط نرم‌افزار اکسل ترسیم شد که در شکل ۳-۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۳: منحنی فرکتالی عیار-مساحت برای جدایش جوامع آنومالی و زمینه



شکل ۳-۴: خطوط برازش شده به منحنی فرکتالی عیار-مساحت برای جدایش جوامع آنومالی و زمینه

اکنون با توجه به منحنی عیار-مساحت فرکتالی خط‌های برازش شده به این منحنی را مشخص می‌کنیم (شکل ۳-۴).

از آنجا که مدل فرکتالی نوعی روابط نمایی بین پارامترهای عیار (مقدار پراکندگی عنصر اورانیوم بر مبنای گرم بر تن یا قسمت در میلیون) و مساحت (مساحت مربوط به عیار متناظر با آن) برقرار می‌کند، لذا نمودار آنها در دستگاه تمام لگاریتمی به صورت خط راست مشاهده می‌شود همانطور که در شکل‌های منحنی فرکتال

ملاحظه می کنید. در این صورت اگر نمودار عیار - مساحت که از اهمیت خاصی برخوردار است برای داده های اکتشافی رسم شود به صورت چند خط که در شکلهای بالانشان داده شده مشاهده می شود. ضریب زاویه معادله لگاریتمی عامل وجه تمایز فرکتالی در مختصات تمام لگاریتمی است که اصطلاحاً به آن دیمانسیون فرکتالی یا بعد فرکتالی گفته می شود، با به دست آوردن دیمانسیون فرکتالی، خط تفکیک معادله خط با درجه یک از هم به دست می آید.

در واقع فرکتال یک معادله درجه  $n$  را به معادلات خط درجه یک تبدیل می کند. در مناسبترین حالت ممکن دو خط حاصل می گردد. که مرز بین دو خط دارای عیاری است که معرف حد آستانه ای است. در واقع دو خط نماینده جوامع زمینه و آنومالی است که دو شیب مختلف دارند و نشان دهنده آن است که بُعد جامعه زمینه و آنومالی متفاوت خواهد بود. در نظر گرفتن دو خط حالت ایده آل است اما در بیشتر داده های اکتشافی مشاهده می شود که از یک روند توسعه اغتشاشی تبعیت نمی کنند بلکه چندین جامعه فرکتالی در یکدیگر تداخل دارند و معمولاً چند جامعه فرکتالی بجای دو جامعه استاندارد بررسی می شوند. در شکل های ۳-۳ و ۴-۳ مربوط به جوامع فرکتالی داده های ژئوفیزیک هوایی عنصر اورانیوم منطقه اونلیق آذربایجان شرقی نیز همین مطلب به وضوح مشاهده می شود. در واقع ظهور فقط دو جامعه فرکتالی استاندارد زمینه و آنومالی کمتر اتفاق می افتد و بیشتر جوامع مختلف فرکتالی به دست می آیند که ممکن است هر چند جامعه معرف یک جامعه کلی زمینه یا حد آستانه ای یا آنومالی باشند و تفکیک هر جامعه به راحتی از روی نقطه تقاطع دو خط قابل قرائت است. همانطوریکه در منحنی فرکتالی داده های عنصر اورانیوم منطقه اونلیق مشاهده می شود جامعه زمینه با دو خط جوامع کوچکتر زمینه ناحیه ای و محلی نشان داده شده است. جامعه حد آستانه داده های عنصر اورانیوم با یک خط و جامعه فرکتالی آنومالی داده های عنصر اورانیوم منطقه با دو جامعه کوچکتر آنومالی ممکن و آنومالی احتمالی مشخص شده است. این بدان معناست که در جوامع ابتدایی منحنی فرکتالی اختلاف تغییرات سطح محصور کم ولی اختلاف تغییرات غلظت به شدت زیاد است که بتدریج در انتهای منحنی فرکتالی اختلاف تغییرات سطح محصور زیاد می شود ولی اختلاف تغییرات غلظت خیلی کم می شود که نشانگر یک منحنی فرکتالی با الگوی سکویی خوب است و می توان ادعا کرد نتایج آن تقریباً صحت بالایی دارد زیرا ارزیابی الگوی سکویی این منحنی، ارزیابی خوبی بوده است. با توجه به خطوط مورد نظر، اولین و دومین خط برازش شده، جامعه زمینه را برای ما مشخص می کند و نقطه طلاقی آن با خط سوم مشخص کننده حد آستانه ای می باشد. خطوط بعدی نشان دهنده جوامع آنومالی می باشند. نتایج محاسبات در جدول ۳-۵ خلاصه شده است.

پارامتر	حد آستانه	آنومالی ممکن	آنومالی احتمالی
Uranium (ppm)	۲/۵	۲/۹	۳/۵

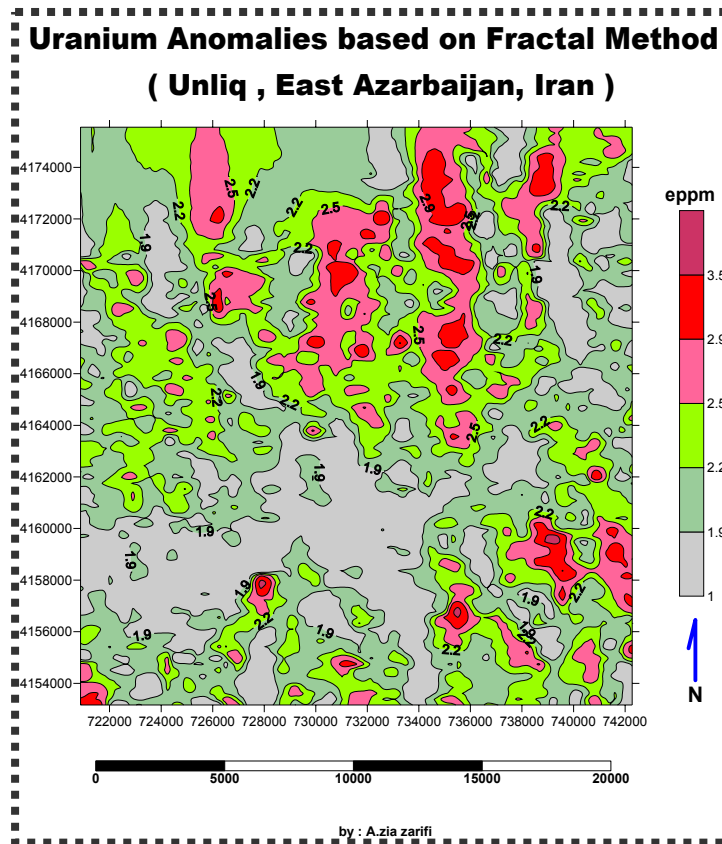
جدول ۳-۵: تخمین حد آستانه، آنومالی ممکن و آنومالی احتمالی برای عنصر اورانیوم با توجه به روش فرکتال

با توجه به مقادیر به دست آمده از روش فرکتالی در جدول ۳-۵، در آخرین مرحله باید نقشه معرفی ناهنجاری ها یا آنومالی ها عنصر اورانیوم در منطقه تهیه شود. برای این کار باید داده ها تحت یک شبکه شامل آرایشی از مستطیل های منظم قرار گیرند تا بتواند در روند تولید یک نقشه خطوط هم شدت یا هم تراز غلظت عنصر اورانیوم وارد شوند و سپس بر اساس مرزهای تفکیکی به دست آمده از روش فرکتالی عیارهای یا غلظت های ناهنجار یا داغ عنصر اورانیوم از غلظتها یا عیارهای بی اهمیت جدا گردد. جهت اعمال این فرآیند کاری برای داده های عنصر اورانیوم منطقه از نسخه ۸ نرم افزار Surfer استفاده شد. ابتدا تعداد ۱۰۷۶۸ داده رقومی شامل سه مولفه وارد نرم افزار Surfer8 شد در مرحله بعدی شبکه بندی داده های رقومی منطقه برای آماده سازی داده ها انجام گرفت. در مرحله ساخت فایل شبکه هر سه مولفه داده های رقومی شامل طول و عرض جغرافیایی و غلظت عنصر اورانیوم اندازه گیری شده مدنظر قرار گرفت روش بکار گرفته شده جهت درون یابی مقادیر عیار غلظت اورانیوم در نرم افزار Surfer8 روش معکوس فاصله<sup>۱</sup> (یک روش زمین آماری جهت شبکه بندی و درون یابی داده های رقومی می باشد) انتخاب شد. روش معکوس فاصله یک روش مناسب برای داده های اکتشافی می باشد که خطوط هم شدت آن مرتباً کنار هم بسته می شوند. این روش، یک روش پیش فرض برای شبکه بندی است و در اکثر موارد توسط نرم افزار پیشنهاد می شود زیرا از داده های ورودی نقشه های مناسب به وجود می آورد. بعد از ساخت فایل شبکه با رعایت نکات بالا از قسمت ترسیم نقشه جدید توسط نرم افزار Surfer8 اقدام به تهیه نقشه هم شدت غلظت اورانیوم شد و پس از ترسیم نقشه هم شدت مرزهای به دست آمده از روش فرکتال جهت ناهنجاری ها یا مناطق امید بخش عنصر اورانیوم با رنگ های متفاوت نمایش داده شد. در شکل ۳-۶ نقشه حاصل از تفکیک ناهنجاری های اورانیوم به روش فرکتالی مشاهده می گردد.

#### ۴ نتیجه گیری

در تعیین آنومالی ها و ارایه نقشه معرفی پتانسیل های معدنی اورانیوم، روش های مختلفی مورد استفاده قرار می گیرد که هر کدام بیانگر نتایج قابل توجهی هستند. اکثر روش های قدیمی که با استفاده از آمار کلاسیک حاصل می شوند، تفسیر و پردازش داده های عناصر را تنها بر اساس مقادیر غلظت و عیار داده های برداشت شده نشان می دهند. در واقع جدایش محدوده های آنومالی تنها بر اساس مقادیر حول میانگین داده ها محاسبه و اعمال شده است و فاقد اطلاعات موقعیتی در فضا هستند در نتیجه مقدار یک برداشت ژئوفیزیکی هوایی هیچگونه اطلاعاتی درباره مقدار همان برداشت در نقطه دیگری به فاصله معین در بر ندارد. احتمال می رود بعضی از محدوده های معرفی شده توسط این روش به صورت آنومالی کاذب باشند. در حالی که روش های جدید مبتنی بر هندسه فرکتالی به لحاظ در نظر گرفتن موقعیت فضایی داده ها و تهیه نقشه آنومالی بر اساس منحنی عیار- مساحت می توانند نتایج بهتری را مخصوصاً برای کانسارهای پراکنده ای که توزیع و پراکندگی آنها پیچیده می باشد (اورانیوم و طلا)، ارایه دهند.

۱- Inverse distance



شکل ۳-۶: معرفی نقشه آنومالیهای عنصر اورانیوم منطقه اونلیق آذربایجان شرقی با استفاده از روش هندسه فرکتال

همانطوری که در نقشه به دست آمده آنومالی از روش فرکتالی در شکل ۳-۶ مشاهده می‌شود، آنومالی‌های به دست آمده از روش فرکتالی محدوده‌های ناهنجاری‌های عناصر اورانیوم در منطقه را با دقت بیشتری نشان می‌دهد، بطوری که در آنومالی اولویت اول فرکتالی سه محدوده نقطه‌ای کوچک ارایه شده، در حالی که روش‌های قدیمی بدلیل استفاده از روش غیر ساختاری نتایج با دقت کمتری را ارایه می‌دهند که این حاکی از آن است که روش فرکتالی با در نظر گرفتن ساختار فضایی بصورت یک روش زمین آماری بر روی داده‌ها اعمال شده و نقشه‌های با دقت و صحت بیشتر را ارایه کرده است. اختلاف این محدوده‌ها و دقت بالای ارایه نتایج برای ادامه کار اکتشاف اورانیوم و معرفی اندیس‌های معدنی از اهمیت خاصی برخوردار است. در مرحله کنترل زمینی نیز با تجربه کسب شده، آنومالی‌های محدوده‌های مناطق امید بخش معرفی شده با استفاده از روش فرکتالی صحت بهتری را نسبت به روش آمار کلاسیک نشان می‌دهند.

## منابع

- [۱] حسنی پاک علی اصغر - شرف الدین محمد، ۱۳۸۰، تحلیل داده های اکتشافی (جدایش زمینه از آنومالی، آمار و احتمال مهندسی، تخمین ذخیره)، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۲] ضیاء ظریفی افشار، ۱۳۸۳، مقایسه روش های آمار کلاسیک و فرکتال در جدایش جامعه ناهنجاریهای رادیومتری با استفاده از داده های ژئوفیزیکی هوایی در منطقه چاه جوله (ایران مرکزی)، گزارش اکتشافی شماره ۰۶۵۷-۸۳ سازمان انرژی اتمی ایران - تهران.
- [۳] ضیاء ظریفی افشار، ۱۳۸۴، مقایسه روش های آمار کلاسیک و فرکتال در معرفی اندیسه های معدنی اورانیوم، با استفاده از داده های ژئوفیزیکی هوایی در فاز شناسایی منطقه برندق، مجموع مقالات دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران - دانشگاه تهران.
- [4] Bruce L. Dickson, 2004, "Recent advance in aerial gamma ray surveying" Journal of Environmental Radioactivity 76(2004) 225-236
- [5] Sami, H, Abd, N, 2001, "Evaluation of airborne gamma ray spectrometric data for the Missikat Uranium deposit, Eastern desert Egypt". Applied Radiation and Isotopes 54(2001) 497-507.

