# تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان با استفاده از روش هندسه فرکتال و روند سطحی ارتونرمال

رضا کاکائی[i]؛ فرامرز دولتی ارده جانی[ii]؛ حمید سرخیل[iii]

## چکیده

برای جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی، روش‌های متعددی هست که هر کدام مزایا و معایبی دارند. با توجه به ماهیت فرکتالی توزیع عناصر در طبیعت، امروزه استفاده از روش‌هایی که بر تکنیک‌های فرکتالی استوارند از اهمیت بسزایی برخوردار است؛ بنابراین در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان که در شمال شرقی استان فارس واقع شده است، از دو روش فرکتالی غلظت ـ مساحت (C-A) و روش روند سطحی ارتونرمال برای محاسبه حد آستانه‌ای و تعیین محل آنومالی‌های احتمالی ژئوشیمیایی استفاده شد. اساس روش دوم، عبور دادن سطوحی با روندهای مختلف بر داده‌ها، به عنوان حد آستانه‌ای و محاسبه مقادیر باقی مانده با کم کردن این سطوح از داده‌های برداشت شده در هر نقطه است. بدین ترتیب با تشخیص بهترین روند و ترسیم نقشه‌های باقی‌مانده و منطقه‌ای، محل آنومالی‌های احتمالی مشخص شد و با روش فرکتال مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که محدوده‌های آنومالی حاصل از هر دو روش برای عناصر مورد نظر، انطباق خوبی دارند.

## کلمات کلیدی

آنومالی، فرکتال، ژئوشیمی، روند سطحی ارتونرمال، سوریان

# *Fractal Method and Orthonormal Trend Surface Analysis Application for Separation of Geochemical Anomalies from background in 1:100000 Sorian sheet*

R. Kakaie; F. Doulati Ardejani; H. Sarkheil

***ABSTRACT***

There are several methods that may be applied to separate geochemical anomalies from background, each of them has advantages and disadvantages. In this paper, concentration-area model and orthonormal trend surface method are used to separate geochemical anomalies from background for the stream sediment samples in Sorian, which is located in the northern part of Fars province. The principal of the second method is the fitting of a polynomial function of geographic location to the measured geochemical data. This polynomial is considered as a regional effect representing background component of the measured data. The residual component is obtained by subtracting the regional component from the observed geochemical values. Several residual anomaly maps with different trend orders were plotted and the best trend was selected to determine anomaly zones for each element. The results of two methods are close in determining the anomaly zones for each element.

***KEYWORDS***

Anomaly, Fractal, Geochemistry, Trend surface analysis, Sorian

[i] استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، گروه استخراج معدن. R_kakaie@shahroodut.ac.ir

[ii] دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، گروه اکتشاف معدن.

[iii] کارشناس ارشد اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

## ۱- مقدمه

اکتشاف ناحیه‌ای در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰جزء عملیات اکتشافی اولیه و زیر بنایی به‌حساب می‌آید؛ به گونه‌ای که برای شناسایی مناطق مستعد و نابهنجاری ها حائز اهمیت است. یکی از روش‌های اکتشافی که در مقیاس کوچک تا متوسط کاربرد دارد، روش نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای است. این روش بر این اصل استوار است که یک نمونه ژئوشیمیایی همواره معرف بالا دست خود است؛ بنابراین وجود آنومالی در یک نمونه، از وجود یک منبع پرعیار در بالا دست آن حکایت می‌کند. برای کشف بهتر آنومالی در هاله‌های ثانویه می‌بایست با استفاده از روش‌هایی به جداسازی زمینه از آنومالی پرداخت و نابهنجاری‌ها را شدت بخشید. بدین منظور روش‌های متعددی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های آماری تک متغیره و چند متغیره فازی [۴]، [۹] و روش آنالیز فاکتوری و تحلیل فازی [۵]، [۱۰] اشاره کرد که هرکدام مزایا و معایب مختص به خود را دارند. هندسه فرکتال و روند سطحی نیز از جمله روش‌های دیگر برای جداسازی آنومالی های ژئوشیمیایی از زمینه اند که کمتر مورد استفاده قرار گرفته اند. در این مطالعه از دو روش هندسه فرکتال، براساس روش غلظت - مساحت و روش روند سطحی ارتونرمال، بر اساس متعامد سازی گرام اشمیت در جداسازی آنومالی ژئوشیمیایی از زمینه استفاده شده است. این دو روش در منطقه سوریان استان فارس برای تعداد ۸۶۹ نمونهٔ ژئوشیمیائی (جزء ۸۰- مش) که در آزمایشگاه نسبت به ۲۰ عنصر آنالیز شیمیائی شده‌اند، به کار رفته است. سپس نقشه موقعیت آنومالی‌ها برای عناصر مزبور رسم و نتایج دو روش مقایسه شده است.

## ۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در استان فارس و بخشی از چهارگوش زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ اقلید محسوب می‌شود و در محدوده‌ای با طول جغرافیایی ′۳۰ °۵۳ تا ′۰۰ °۵۴ و عرض جغرافیایی ′۰۰ °۳۰ تا ′۳۰ °۳۰ قرار گرفته است. این منطقه در شمال شرقی استان فارس واقع شده است و مساحتی نزدیک به ۲۶۴۰ کیلومتر مربع را دربر می‌گیرد.

اختلاف ارتفاع بین پستی و بلندی‌ها در ورقه سوریان قابل ملاحظه بوده، از حدود ۳۳۶۲ متر در کوه ختایان تا ۱۷۵۰ متر در رودخانه بوانات متغیر است. ارتفاعاتی چون ختایان، کتابان، خاشیت، قندیله، آقاحسینی و سرسفید، حوضه آبریز رودخانه بوانات را تشکیل می‌دهند. این رودخانه به‌طرف شمال شرق جاری است. همچنین یال جنوبی ارتفاعات ختایان، کتابان و یال شمالی ارتفاعات کوه سفید، قاش رستم و خطاون حوضه آبریز سرمیدان را در غرب ورقه می‌سازند. این رودخانه به طرف غرب جریان دارد و پس از گذر از نزدیکی آبادی فنجان، به رودخانه گله دار می پیوندد و به‌طرف جنوب غرب ادامه می‌یابد [۱].

در شکل (۱) نقشه زمین شناسی منطقه سوریان نشان داده شده است. قدیمی ترین سنگ های نمایان در برگه سوریان، متعلق به اواخر پالئوزوئیک زیرین است. سنگ های پیش از دونین پسین شامل میکا شیست‌های سیاه رنگ است. سنگ‌های پالئوزوئیک پسین به صورت مجموعه ای از مرمر، شیست، آمفیبولیت وکوارتزیت است که در منتهی الیه غربی درهٔ سوریان و ناحیه بین آبادی‌های هنشک و گوشتی در پشته‌های جنوب شرقی گردنهٔ کولی‌کش دیده می‌شود. به طور کلی کمپلکس سوریان بیشتر از شیست، کوارتزیت شیست با میان لایه‌هایی از آهک و بازالت و توف‌های بازالتی تشکیل شده است. این کمپلکس از نظر موقعیت استراتیگرافی و لیتولوژی با سازند شیستو قابل مقایسه است [۱].

## ۳- مدل فرکتالی غلظت- مساحت

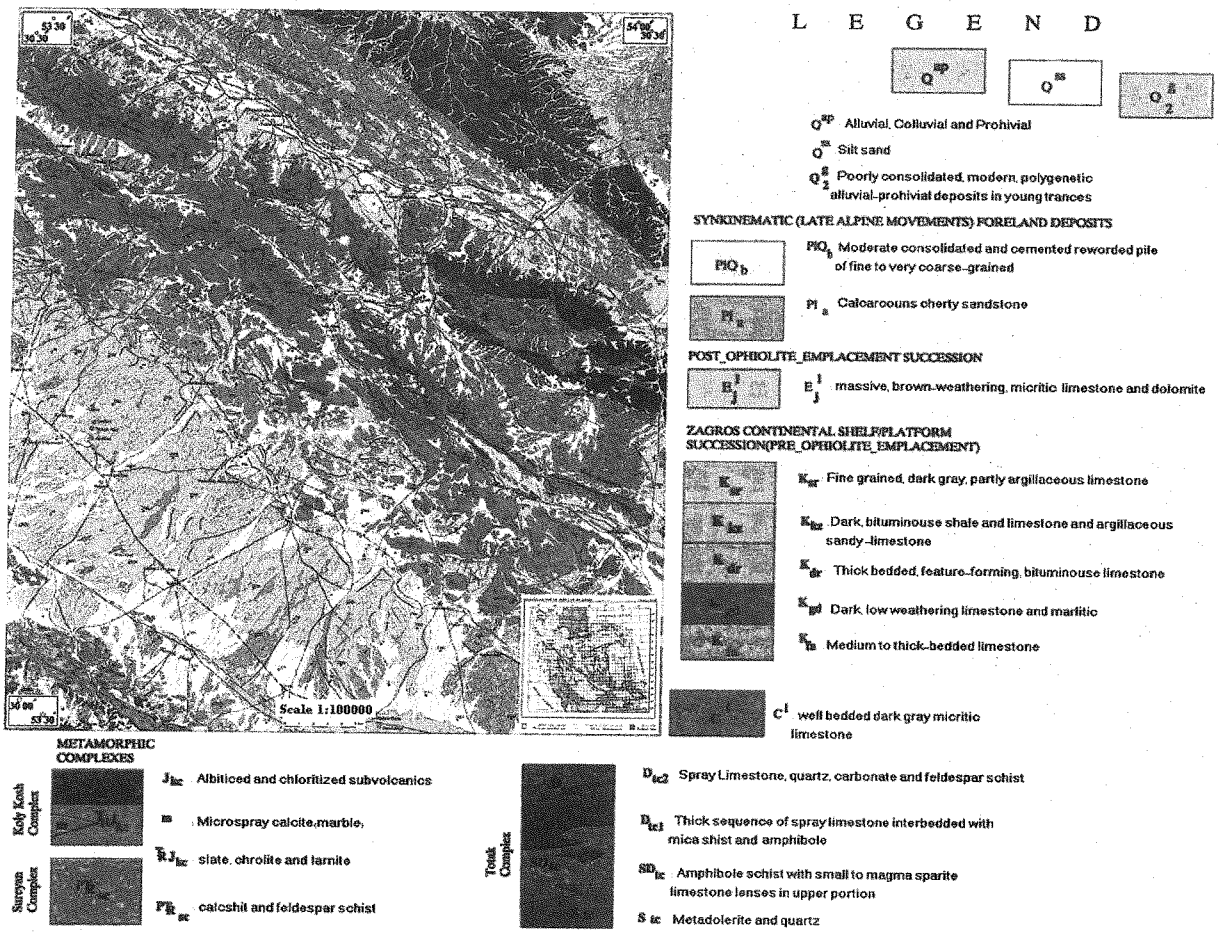
یکی از روش‌های متداول برای نشان دادن توزیع فضایی یک عنصر شیمیایی، کنتور کردن است. هر چه میزان عیار بیشتر شود، مقدار مساحتی که بین هر کنتور قرار می‌گیرد کاهش می‌یابد. در صورتی که مقدار هر کنتور $\rho$ در نظر گرفته شود، می‌توان یک معادله توانی برای تمرکز مواد با خواص فرکتالی و مولتی فرکتالی مطابق رابطه (۱) ارائه کرد:

$$A_{(>\rho)} \propto \rho^{-D} \qquad (۱)$$

میزان توان $D$ بسته به دامنه‌های متفاوت $\rho$ مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهد. در اکتشافات ژئوشیمیایی تمرکزهای همراه با فرآیندهای کانی سازی، توابع توانی متفاوتی را نسبت به مقدار زمینه منعکس می‌نمایند. به‌عبارت دیگر، بعد فرکتالی کانی سازی با مقدار بعد زمینه متفاوت خواهد بود. به طور کلی می‌توان از این روش برای جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه استفاده کرد [۷]، [۸].

با توجه به اینکه افزایش نوسان یک خط منجر به افزایش بعد آن از مقدار واحد خواهد شد، به طور مشابه نوسان صفحه و ایجاد قله و دره در آن، بعد آن را از ۲ به عددی بین ۲ و ۳ افزایش می‌دهد. هرچه تعداد قله‌ها و ارتفاع آن ها بیشتر شود، بعد صفحه به ۳ نزدیک تر می‌شود. از دید اکتشاف ژئوشیمیایی این قله‌ها را می‌توان معادل آنومالی‌های ژئوشیمیایی در نظر

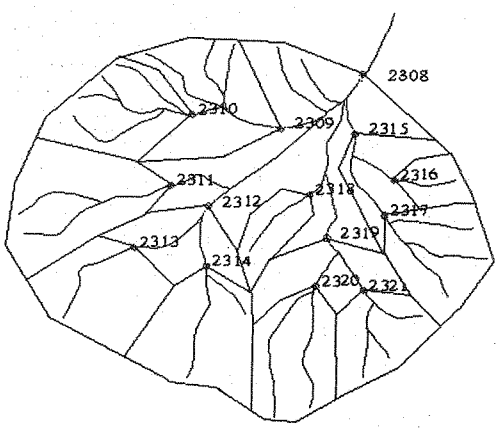
گرفت؛ بنابراین وجود آنومالی‌های ژئوشیمیایی باعث افزایش بعد فرکتال متغیرهای ژئوشیمیایی می‌شود. بر این اساس، می‌توان وجود یا عدم وجود آنومالی را در یک منطقه شناسایی کرد. از این رو یکی از کاربردهای هندسه فرکتال تخمین حد آستانه‌ای و در نتیجه جداسازی جامعه آنومالی از زمینه بر اساس اختلاف بعد فرکتال آن ها ست [۶].




شکل (۱): نقشه زمین شناسی منطقه سوریان [۱]

در صورتی که منطقه‌ای نسبت به متغیر ژئوشیمیایی مطلوب، فاقد آنومالی باشد و تنها جامعه زمینه در آن یافت شود، قله‌ها و دره‌های کم ارتفاعی در صفحه تغییر پذیری آن ظاهر می‌شود؛ لذا بعد فرکتالی آن کم و نزدیک به ۲ خواهد شد. به محض گذر از محدوده زمینه و ورود به محدوده آنومال، به دلیل پیدایش قله های مرتفع در تغییر پذیری متغیر ژئوشیمیایی، بعد فرکتالی به نسبت شدت آنومالی افزایش می یابد؛ از این رو می‌توان با استفاده از اختلاف بعد فرکتال دو جامعه زمینه و آنومالی آنها را از یکدیگر جدا نمود [۲].

برای تهیه مدل غلظت – مساحت (C-A) عناصرتجزیه شده در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان، ابتدا مطابق شکل (۲) برای اعمال تخمین شبکه توسعه یافته و تعیین ضرایب هر حوضه، که جهت تعیین مقدار هر سلول شبکه به‌کار می‌رود، با استفاده از چند ضلعی‌های غیر منتظم، به معرفی حوضه‌های آبریز هر نمونه به‌وسیله این چند ضلعی‌ها پرداخته، مساحت هر حوضه و در نتیجه پارامترهای محصور آن در هر شبکه با دقت بیشتری محاسبه شد.




**شکل (۲): نمایش شماتیکی پلیگون بندی حوضه آبریز برای تخمین غلظت.**

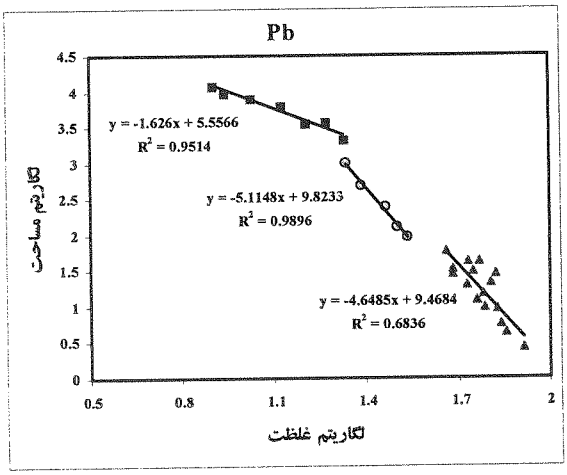
نکته مهم برای رسم این چند ضلعی‌ها، توجه به حوضه بالا

دست هر نمونه و شروع از محل قرار گرفتن نمونه است؛ به‌طوری که در نهایت، چند ضلعی رسم شده بر تمام حوضه متعلق به هر نمونه محاط شود و تداخلی هم با حوضه نمونه‌های دیگر نداشته باشد. پس از تخمین غلظت هر سلول، داده های حاصل به دسته‌های ۳۰ تایی طبقه بندی شد و لگاریتم تعداد این دسته‌ها در مقابل لگاریتم غلظت هر سلول برای تمامی عناصر رسم شد. سپس جوامع مختلف داده‌ای براساس تفاوت در بعد فرکتالی از یکدیگر تفکیک شدند. در جدول (۱) دسته بندی و تعداد سلول های تخمین زده شده برای تعیین مدل غلظت – مساحت برای عناصر سرب و مس نشان داده شده است.

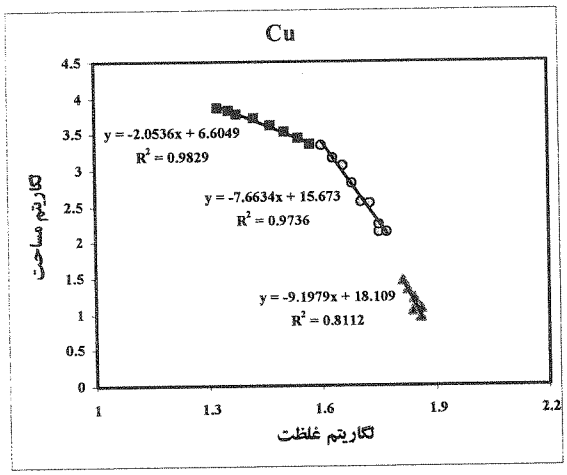
**جدول (۱): سلول‌های تخمینی دسته بندی شده جهت محاسبه رابطه غلظت ـ مساحت در هندسه فرکتال برای عناصر سرب و مس**

| غلظت سرب (ppm) | | | غلظت مس (ppm) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| از | تا | تعداد | از | تا | تعداد |
| ۲/۶۹۵۸۶ | ۵/۳۴۵۸۶ | ۴۰۸ | ۵ | ۷/۷ | ۱۳۷ |
| ۵/۳۴۵۸۶ | ۷/۹۹۵۸۶ | ۳۷۵۵ | ۷/۷ | ۱۰/۴ | ۷۱ |
| ۷/۹۹۵۸۶ | ۱۰/۶۴۵۸۶ | ۸۰۹۴ | ۱۰/۴ | ۱۳/۱ | ۶۷ |
| ۱۰/۶۴۵۸۶ | ۱۳/۲۹۵۸۶ | ۶۴۲۸ | ۱۳/۱ | ۱۵/۸ | ۲۴۹ |
| ۱۳/۲۹۵۸۶ | ۱۵/۹۴۵۸۶ | ۴۶۳۴ | ۱۵/۸ | ۱۸/۵ | ۹۴۶ |
| ۱۵/۹۴۵۸۶ | ۱۸/۵۹۵۸۶ | ۳۶۶۸ | ۱۸/۵ | ۲۱/۲ | ۱۵۹۰ |
| ۱۸/۵۹۵۸۶ | ۲۱/۲۴۵۸۶ | ۲۱۰۰ | ۲۱/۲ | ۲۳/۹ | ۳۵۴۰ |
| ۲۱/۲۴۵۸۶ | ۲۳/۸۹۵۸۶ | ۹۹۱ | ۲۳/۹ | ۲۶/۶ | ۵۲۱۸ |
| ۲۳/۸۹۵۸۶ | ۲۶/۵۴۵۸۶ | ۴۸۳ | ۲۶/۶ | ۲۹/۳ | ۴۱۳۸ |
| ۲۶/۵۴۵۸۶ | ۲۹/۱۹۵۸۶ | ۲۴۲ | ۲۹/۳ | ۳۲ | ۳۳۵۷ |
| ۲۹/۱۹۵۸۶ | ۳۱/۸۴۵۸۶ | ۱۲۴ | ۳۲ | ۳۴/۷ | ۳۷۷۳ |
| ۳۱/۸۴۵۸۶ | ۳۴/۴۹۵۸۶ | ۹۳ | ۳۴/۷ | ۳۷/۴ | ۲۲۲۳ |
| ۳۴/۴۹۵۸۶ | ۳۷/۱۴۵۸۶ | ۳۴ | ۳۷/۴ | ۴۰/۱ | ۲۱۱۲ |
| ۳۷/۱۴۵۸۶ | ۳۹/۷۹۵۸۶ | ۱۵ | ۴۰/۱ | ۴۲/۸ | ۱۱۷۸ |
| ۳۹/۷۹۵۸۶ | ۴۲/۴۴۵۸۶ | ۱۸ | ۴۲/۸ | ۴۵/۵ | ۱۱۴۴ |
| ۴۲/۴۴۵۸۶ | ۴۵/۰۹۵۸۶ | ۱۷ | ۴۵/۵ | ۴۸/۲ | ۶۴۸ |
| ۴۵/۰۹۵۸۶ | ۴۷/۷۴۵۸۶ | ۲۸ | ۴۸/۲ | ۵۰/۹ | ۳۴۹ |
| ۴۷/۷۴۵۸۶ | ۵۰/۳۹۵۸۶ | ۱۴ | ۵۰/۹ | ۵۳/۶ | ۳۳۴ |
| ۵۰/۳۹۵۸۶ | ۵۳/۰۴۵۸۶ | ۲۰ | ۵۳/۶ | ۵۶/۳ | ۱۳۶ |
| ۵۳/۰۴۵۸۶ | ۵۵/۶۹۵۸۶ | ۳۱ | ۵۶/۳ | ۵۹ | ۱۳۵ |
| ۵۵/۶۹۵۸۶ | ۵۸/۳۴۵۸۶ | ۴۳ | ۵۹ | ۶۱/۷ | ۱۳۶ |
| ۵۸/۳۴۵۸۶ | ۶۰/۹۹۵۸۶ | ۴۳ | ۶۱/۷ | ۶۴/۴ | ۲۹ |
| ۶۰/۹۹۵۸۶ | ۶۳/۶۴۵۸۶ | ۴۹ | ۶۴/۴ | ۶۷/۱ | ۱۱ |
| ۶۳/۶۴۵۸۶ | ۶۶/۲۹۵۸۶ | ۳۸ | ۶۷/۱ | ۶۹/۸ | ۱۳ |
| ۶۶/۲۹۵۸۶ | ۶۸/۹۴۵۸۶ | ۳۲ | ۶۹/۸ | ۷۲/۵ | ۱۲ |
| ۶۸/۹۴۵۸۶ | ۷۱/۵۹۵۸۶ | ۳۰ | ۷۲/۵ | ۷۵/۲ | ۰ |
| ۷۱/۵۹۵۸۶ | ۷۴/۲۴۵۸۶ | ۶۲ | ۷۵/۲ | ۷۷/۹ | ۰ |
| ۷۴/۲۴۵۸۶ | ۷۶/۸۹۵۸۶ | ۰ | ۷۷/۹ | ۸۰/۶ | ۳۰ |
| ۷۶/۸۹۵۸۶ | ۷۹/۵۴۵۸۶ | ۰ | ۸۰/۶ | ۸۳/۳ | ۰ |
| ۷۹/۵۴۵۸۶ | ۸۲/۱۹۵۸۶ | ۹۵ | ۸۳/۳ | ۸۶ | ۱۳ |

شکل های (۳) و (٤) به ترتیب نمودار غلظت – مساحت عناصر سرب و مس را نشان می‌دهد. با استفاده از این نمودارها می‌توان حد آستانه ای را برای تعیین مناطق آنومال به دست آورد. پس از مشخص نمودن حدود آستانه ای برای تمام عناصر، نقشه موقعیت آنومالی‌های احتمالی ژئوشیمیایی ترسیم شد. شکل های (٦) و (٧) به ترتیب نقشه موقعیت آنومالی‌های احتمالی عناصر سرب و مس را با استفاده از روش فرکتال نشان می‌دهد که در مقایسه با نقشه های حاصل از روش روند سطحی که در ادامه توضیح داده خواهد شد آورده شده است.




شکل(۳): نمودار غلظت ـ مساحت داده های خام عنصر سرب.



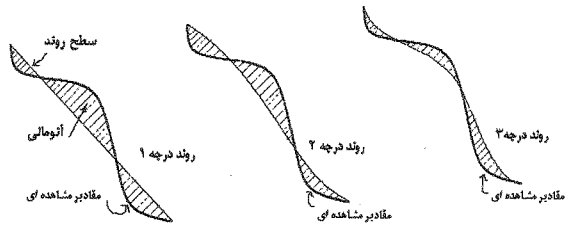

شکل(۴): نمودار غلظت ـ مساحت داده‌های خام عنصر مس.

## ٤- روش تحلیل روند سطحی

تحلیل سطح روند، نوع خاصی از رگرسیون چند گانه است که در آن متغیرهای مستقل، همان مختصات نقاط برداشت $x$ و $y$ هستند. دراین روش، سطح بهینه ای را که بتوان به کمک آن مقادیر متغیر $Z$ را در هر مختصات معلومی مانند $X_o$ و $Y_o$ تخمین زد، به داده‌ها برازش کرده ایم که آن را، سطح روند

نامند. این سطح می‌تواند از لحاظ هندسی به صورت صفحه‌ای مسطح یا سطوح دارای انحنا باشد. در این روش بر داده‌های برداشتی، سطوحی با روندهای مختلف عبور داده می‌شود. این سطح برای داده های برداشت شده به عنوان اثر ناحیه‌ای منظور می‌شود؛ در صورتی که این اثر از داده‌های برداشت شده کم شود، آنومالی باقی مانده حاصل می‌گردد.

شکل (۵) به صورت شماتیک آنومالی‌های حاصل از عبور سطوح با درجات مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد (مناطق هاشورخورده)، همان گونه که در این شکل دیده می‌شود. با افزایش درجه سطح برازش بر داده‌های اندازه‌گیری مقادیر باقی مانده ها کوچک ترخواهد شد.




**شکل(۵): نمایش شماتیک سطوح روند درجه یک، دو و سه.**

مقدار آنومالی باقی مانده از روابط ۲ و ۳ زیر به دست می‌آید [۲]:

$$R_i = G_i - T_i \qquad (۲)$$

$$R(x,y) = G(x,y).T(x,y) \qquad (۳)$$

$R_i$، آنومالی باقی مانده، $G_i$، آنومالی ناحیه‌ای و $T_i$، داده‌های برداشتی را نشان می‌دهند.

تکنیک‌های حل معادلات روش روند سطحی متفاوت هستند که از میان آنها می‌توان به روش حداقل مربعات و روش ارتونرمال اشاره کرد. روش روند سطحی با بهره‌گیری از توابع ارتونرمال برای جداسازی داده‌های ژئوشیمیایی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه از این روش نیز برای تهیه نقشه آنومالی عناصر مختلف استفاده شده است که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

### ٤-١- تحلیل روند سطحی ارتونرمال

در این روش بر اطلاعات ژئوشیمیایی برداشت شده صفحه‌ای گذرانده می‌شود که این صفحه برای داده‌های اندازه‌گیری به عنوان اثرات ناحیه ای انتخاب شده و پس از گذراندن این سطح بر اطلاعات موجود، آنومالی‌های باقی‌مانده ژئوشیمیایی به‌دست می‌آیند.

هر چه درجه روند سطحی افزایش یابد، بیشترین همپوشانی مقادیر سطح مزبور و مقادیر مشاهده شده، حاصل می شود و باقی‌مانده به سمت صفر میل خواهد کرد، که در چنین حالتی تفکیک اطلاعات به دو مولفه باقی‌مانده و منطقه‌ای مفهومی نخواهد داشت وبدین صورت هدف اصلی نادیده گرفته می‌شود. افزایش درجه روند، تا حدی قابل قبول خواهد بود که این حد را می‌توان با بررسی نتایج حاصل از تحلیل روند به دست آورد [۳].

### ٤-٢- توابع ارتونرمال

یک مجموعه از چند جمله ای های $g_i(x,y)$ نسبت به هم ارتونرمال هستند در صورتی که [۱۱]:

$$\int_a^b\int_a^b g_i(x,y).g_j(x,y).dx.dy = S_{i,j}; \quad i=j \qquad (٤)$$

$$\int_a^b\int_a^b g_i(x,y).g_j(x,y).dx.dy = 0; \quad i\neq j \qquad (٥)$$

که در اینجا $S_{i,j}$ سمبل کرونکر نامیده می‌شود و مقدار آن اگر $i=j$ برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است. در حالت خاص:

$$\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} g_i(x,y).g_j(x,y).dx.dy = 1; \quad i=j \qquad (٦)$$

$$\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} g_i(x,y).g_j(x,y).dx.dy = 0; \quad i\neq j \qquad (٧)$$

به طور کلی مشکل حل یک سیستم معادلات خطی $\sum A_{i,j}.P_j = B_i$ برای $P_1$، $P_2$ ..... و $P_n$ موجود است؛

بنابراین برای حل ساده سیستم معادلات از ماتریس $[A_{ij}]$ که یک ماتریس یکه است، استفاده می‌شود؛ یعنی $A_{i,j} = S_{i,j}$ و این تساوی زمانی برقرار است که سیستم $g_1$، $g_2$، $g_3$ ..... و $g_n$ ارتونرمال باشد. در روش روند سطحی ابتدا به صوت پیش فرض صفحه معادله ۸ تعریف می‌شود:

$$A_0.g_0(x,y) + A_1.g_1(x,y) + \ldots + A_n.g_n(x,y) \qquad (٨)$$

با قرار دادن مقادیر معادل، رابطه ۹ که معادله صفحه است پدیدار خواهد شد.

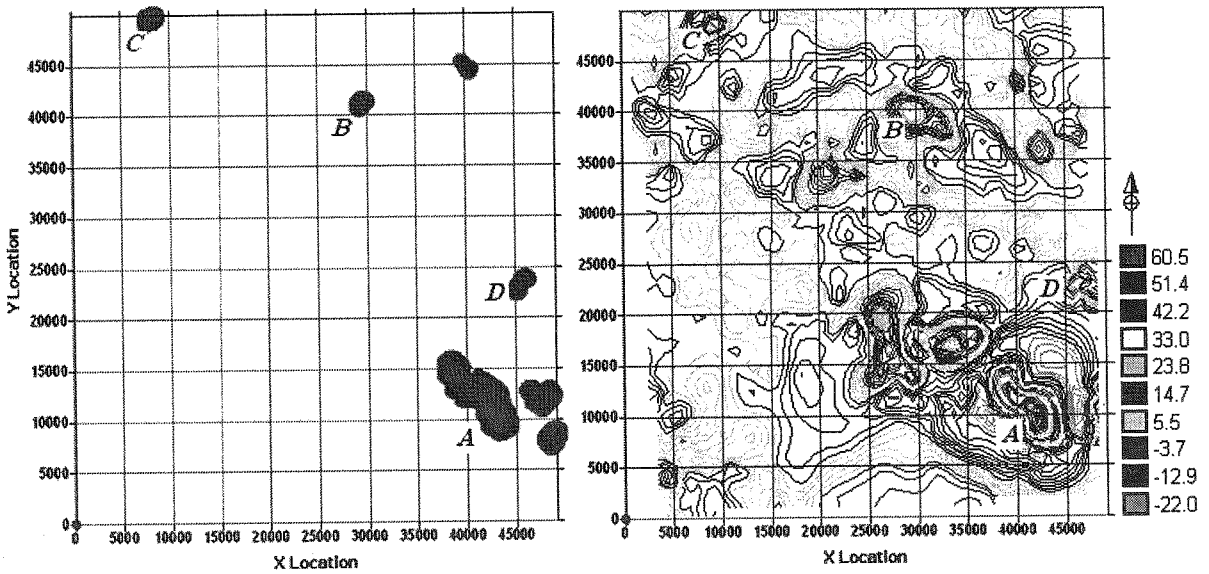
$$g_0(x,y)=1,\quad g_1(x,y)=x,\quad g_2(x,y)=y,$$
$$g_3(x,y)=x^2,\quad g_4(x,y)=xy,\quad g_5(x,y)=y^2, \qquad (٩)$$
$$\ldots\quad g_k(x,y)=y^k$$

$$A_0 + A_1X + A_2Y + A_3X^2 + A_4XY + \ldots + A_nY^n$$

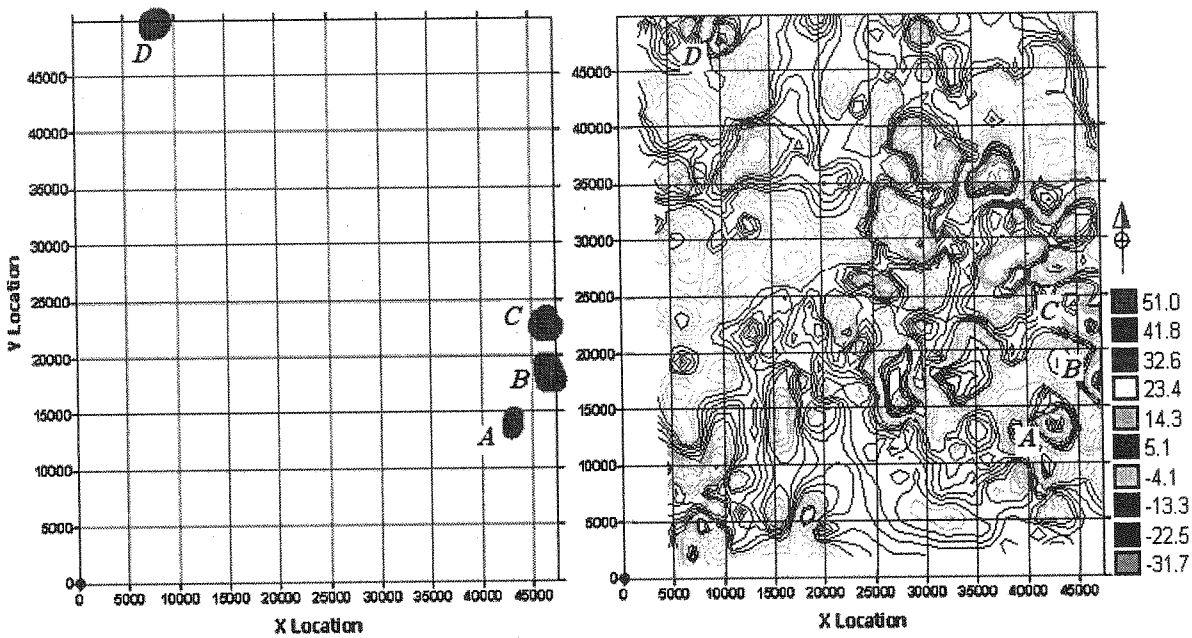
که در آن، $A_i$ ها ضرایب صفحه مورد بحث هستند. برای ارتونرمال کردن سیستم از روش گرام-اشمیت استفاده می‌شود. فرایند متعامد سازی گرام- اشمیت نیازمند آنست که بردارهای نسبی $g_1$، $g_2$، $g_3$ ..... و $g_n$ به طور خطی مستقل

باشند. پس از بررسی مستقل بودن بردارهـا، آنهـا را بـه روش گـرام- اشـمیت ارتونرمـال کـرده، آنگـاه توابـع ارتونرمـال را محاسبه و معادله سطح حاصل می‌گردد [۱۱].

برای استفاده از روش یاد شده، ابتدا آماده سازی داده ها برای ورود به نرم افزار تهیه شده توسط سارما و سلواراج[1] و اصلاح شده توسط دولتی ارده جانی انجام شد [۳]، [۱۱] و بر روی داده های هر عنصر، صفحاتی با روندهای مختلف اعمال شد. سپس با تشخیص بهترین روند، داده‌های حاصل از اعمال روند مناسب، بر اساس فرمت نرم افزار مدل ویژن[2] آماده‌سازی و با استفاده از آن نقشه های آنومالی احتمالی ترسیم شد.




شکل(۶): مقایسه نقشه های آنومالی باقی‌مانده تهیه شده با روش هندسه فرکتال (سمت چپ) و روند سطحی درجه۴ (سمت راست) برای عنصر سرب در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان.




شکل(۷): مقایسه نقشه‌های آنومالی باقی‌مانده تهیه شده با روش هندسه فرکتال (سمت چپ) و روند سطحی درجه۴ (سمت راست) برای عنصر مس در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان.

پس از تعیین آنومالی های ژئوشیمیایی با استفاده از هر دو روش فرکتال و روند سطحی، نقشه های مربوطه برای تمامی عناصر ترسیم شد. شکل های (٦) و (٧) به ترتیب نقشه موقعیت آنومالی‌های احتمالی عناصر سرب و مس را با هر دو روش نشان می‌دهد که در آن مناطق A، B، C و D به عنوان آنومالی های احتمالی ژئوشیمیایی برای عناصر مذکور مشخص شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، محل و موقعیت قرارگیری آنومالی های احتمالی حاصل از روش فرکتال و روند سطحی برای هر کدام از دو عنصر یکسان است و مناطق مساعد، بیشتر در شرق و جنوب شرقی برگه قرار دارند. در نهایت تعدادی منطقهٔ امید بخش برای انجام مطالعات بیشتر معرفی گردید.

## ۵- نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن ماهیت فرکتالی توزیع عناصر در پوسته زمین و با توجه به عدم وابستگی آنومالی های ژئوشیمیایی به الگوی پراکندگی مجموعه داده ها، می‌توان با استفاده از روش فرکتالی غلظت - مساحت به سادگی حدود زمینه و آنومالی را برای عناصر مشخص کرد. همچنین با بهره گیری از روش روند سطحی، می‌توان زمینه را از آنومالی جدا و مناطق مساعد را با اعمال روندهای مختلف تعیین نمود. در نهایت، با مقایسه بین دو روش، مناطقی به عنوان مناطق با احتمال آنومالی ژئوشیمیایی مشخص می‌شوند، از آن جمله می‌توان به گوشه جنوب شرقی تا شرق برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان اشاره نمود که پتانسیل بالاتری را برای حضور آنومالی های احتمالی ژئوشیمیایی نشان می‌دهد. این مناطق برای هر گونه مطالعات بعدی از جمله برداشت کانی سنگین، نمونه‌برداری ژئوشیمیایی با تراکم بیشتر و برداشت نمونه‌ها در مناطق کانی‌سازی شده، معرفی شد.

## ۶- مراجع


[۱] سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی؛ **نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان**، ۱۳۸۲.

[۲] حسنی پاک، علی؛ شرف الدین، محمد؛ **تحلیل داده های اکتشافی**، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ ص، ۱۳۸۰.

[۳] دولتی ارده جانی، فرامرز؛ **"تفکیک آنومالی های گرانی منطقه بابلسر به روش روند سطحی ارتونرمال"**، نهمین سمینار ژئوفیزیک ایران، دانشگاه تهران، ص ۷۸ تا ۸۰، ۱۳۷۵.

[۴] Hawarth, R.J.; Earle, S.A.; "Application of a generalized power transformation to geochemical data", Mathematical Geology, Vol.2, No. 1, p.p. 45-58, 1979.

[۵] Karmar, U.; "Application of Limited fuzzy clusters to anomaly recognition in complex geological environmentt" Journal of Geochemical Exploration, No. 55, p.p. 81-92, 1995.

[۶] Li, C.; Zho, N.; Ma, T.; "Fractal reconstruction with unorganized geochemical data", Mathematical Geology, vol. 34, p.p. 809-829, 2002.

[۷] Changjiang, Li; Tuhua, Ma; Junfa, Shi; "Application of a fractal method for relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background". Journal of Geochemical Exploration, No.77, p.p. 167-175, 2003.

[۸] Quiming, Ch.; "The primeter-area fractal model and it's application to geology", Mathematical Geology, No. 27, p.p. 62-68, 1995.

[۹] Richard, F.S.; Charles, T.P.; Report A.C.; "An objective replacement method for cencord geochemical data", Mathematical Geology, Vol. 25, No.10, p.p. 59-8, 1993.

[۱۰] Saager, R.; Sinclair, A. J.; "Factor analysis of stream sediment geochemical data from the Mount Nanse area". Yakon territory Canada mineral deposit, p.p. 243-252, 1974.

[۱۱] Sarma, D.D.; Selvaraj, J.B.; "Two-dimentional orthonormal trend surfaces for prospecting", Computers and Geosciences, No. 7, 897-909, 1990.


## ۷- زیر نویس ها

[۱] Sarma and Selvaraj

[۲] Modelvision Pro