

به کارگیری آنالیز تطبیقی و هندسه فراکتال جهت شناسایی عناصر ناهنجار (As, Cd, Pb) در خاک و تعیین محدوده آن در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوسف

فرشاد دارابی گلستان^{*}، اردشیر هزارخانی^۱، کیومرث سیف پناهی شعبانی^۲

۱- دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، تهران

۲- دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود، شاهرود

نویسنده مسئول: pooyan@aut.ac.ir

دریافت: ۹۲/۹/۱۶ پذیرش: ۹۳/۹/۲۹

چکیده

در این مقاله با تلفیق آنالیز تطبیقی و هندسه فراکتال نتایج آنالیز نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای منطقه خوسف مورد مطالعه قرار گرفته است. آنالیز تطبیقی که به بررسی همزمان متغیر و نمونه می‌پردازد بر روی داده‌های ۱۷۰ نمونه رسوب آبراهه‌ای که برای ۲۰ عنصر آنالیز گشته‌اند انجام شده است. بر اساس خاصیت آنالیز تطبیقی و اجرای آن جدا شدن یک یا چند عنصر از اجتماع دیگر عناصر، بر وجود مقادیر غیرعادی در منطقه مورد مطالعه دلالت دارد به کارگیری این روش نشان می‌دهد که بعضی مناطق نسبت به عناصر As, Pb, Cd دارای آنومالی احتمالی می‌باشد. پس از انجام آنالیز تطبیقی و شناسایی نوع آنومالی، یافتن موقعیت‌های آنومال با تخمین شبکه 1000×1000 m و به کارگیری هندسه فراکتالی بر روی داده‌های تخمین یافته صورت گرفته شد. در این راستا بهترین واریوگرام برای نمونه‌های برداشت شده در منطقه با استفاده از نرم افزار WinGslib محاسبه گردید. با استفاده از اطلاعات واریوگرام ترسیم شده، تخمین متناسب برای هر شبکه اعمال شد. به کارگیری روش فراکتال بر روی داده‌های تخمین یافته در شبکه جدید حاکی از وجود سه جامعه آماری در منطقه دارد که جامعه سوم تا حدودی برای عناصر As, Pb, Cd و مقادیر آنومالی را نشان می‌دهد. حد جدایش این جوامع برای Pb در حدود ۵۵ppm و برای As در حدود ۷/۲ppm و برای Cd دارای ۰/۸۸ppm ارزیابی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز تطبیقی، حد جدایش، روش فراکتال، منطقه خوسف، واریوگرام

مقدمه

رسوبات آبراهه‌ای ذرات کوچک‌تر از الک ۸۰ مش (معادل ۱۷۷ میکرون) می‌تواند در اکتشاف کوچک مقیاس ناحیه‌ای بسیار مفید واقع شود [۴ و ۱۱]. نتایج حاصله از این نمونه‌ها می‌تواند در تجزیه و تحلیل ایالات ژئوشیمیایی و شناخت الگوهای ژئوشیمیایی ناحیه‌ای و همچنین نواحی که در آن‌ها احتمال کشف توده‌های کانساری بیش‌تری می‌باشد، مفید واقع شود [۴ و ۱۸]. آنالیز تطبیقی یک روش تجزیه و تحلیل داده‌ها برای ارائه داده‌ها به صورت گرافیکی می‌باشد [۱۷]. این نمودار گرافیکی بیش‌ترین شباهت بین سطر و ستون‌ها (نمونه‌ها و متغیرها) را نشان می‌دهد طوری که متغیر آنومال با نمونه‌های معرف آنومالی خود را از بقیه جدا می‌کنند. به طور کلی این روش نوع آنومالی و نمونه‌های آنومال موجود در منطقه را معرفی می‌کند. در آنالیز تطبیقی رابطه همزمان متغیرها و نمونه‌ها با یکدیگر در یک دیاگرام مورد بررسی قرار می‌گیرد و در یک دستگاه مختصات سیستم

اکثر کارهای ژئوشیمیایی، آماری و زمین‌آماري در مباحث اکتشافی با این هدف صورت می‌گیرد که یک ناهنجاری را بهتر بتوان بر پایه مباحث علمی، مشخص نمود. اکتشافات ژئوشیمیایی کمک شایانی را در رسیدن به این هدف داشته‌اند و تحقیقات ژئوشیمیایی بر روی نمونه‌های برداشت شده از منطقه جهت تعیین حد آستانه‌ای و حداقل آنومالی بسیار مرسوم می‌باشد. این مطالعات بر روی داده‌های حاصل از ۱۷۰ نمونه‌ی رسوب آبراهه‌ای برای ۲۰ عنصر صورت گرفته است. با انجام مطالعات بر روی این نمونه‌ها از میزان آنومالی بودن غلظت‌های نشان داده شده توسط عناصر و تا حدودی کاذب یا واقعی بودن آنومالی اطمینان به عمل می‌آید [۹]. به طور تجربی ثابت شده است که تمرکزهای ناهنجار فلزات در رسوبات آبراهه‌ای در اجزای ریزدانه این رسوبات مشاهده می‌شود، نتایج به دست آمده از آزمایشات متعدد نشان می‌دهد که

محدوده های امیدوار کننده جدا و در آینده به صورت جزئی بررسی گردند.

موقعیت جغرافیایی و مشخصات عمومی منطقه

منطقه مورد بررسی در این مقاله برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خوسف می‌باشد که جزئی از استان خراسان جنوبی است و در غرب شهرستان بیرجند واقع شده است. نقشه‌های زمین‌شناسی یکصد هزارم مجاور آن عبارتند از قائن، بیرجند، سرچاه شور و سه‌چنگی که به ترتیب در شمال، شرق، جنوب و غرب منطقه قرار دارند (شکل ۱). طول جغرافیایی منطقه از ۵۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۹ درجه و عرض جغرافیایی آن از ۳۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۳ درجه تغییر می‌کند. این منطقه به لحاظ قرارگیری در بخش شمالی کویر لوت، شرایط آب و هوایی خشک و کویری دارد. شهر خوسف در حدود ۳۵ کیلومتری غرب بیرجند واقع شده و راه وصول به آن از طریق بزرگراه‌های تهران - بیرجند و مشهد - بیرجند است. خشکی زیاد و تغییرات شدید درجه حرارت در شبانه روز و فصول مختلف سال از مشخصات آب و هوایی منطقه است. نواحی مرتفع و رشته کوه‌ها در بخش شمالی و شمال‌شرقی قرار گرفته است و در دیگر نقاط، تپه‌های نامنظم و دشت‌های آبرفتی محصور شده بین آن‌ها، پستی و بلندی‌های منطقه را تشکیل داده‌اند. ارتفاع منطقه بین ۲۲۳۵ متر (کوه کرونگ) تا ۱۰۴۲ متر (دشت‌های جنوب غربی) متغیر است [۷].

تجزیه و تحلیل تطبیقی

در منطقه خوسف ۱۷۵ نمونه رسوب آبراهه‌ای برداشت گردیده است که برای ۲۰ عنصر تجزیه صورت گرفته است. جهت بررسی همزمان نمونه‌ها و متغیرها به طوری که یک دید کلی از نمونه و آنومالی‌های موجود حاصل گردد از روش آنالیز تطبیقی استفاده گردید.

ماتریس داده‌ها که یک ماتریس ۱۷۵×۲۰ می‌باشد مجموع مقادیر هر سطر از این ماتریس، تشکیل‌برداری می‌دهد که با [F] و همچنین مجموع هر ستون از ماتریس مورد نظر نیز تشکیل‌بردار دیگری می‌دهد که با [c] نشان داده می‌شود این ماتریس‌ها در نرم‌افزار MATLAB محاسبه گشته‌اند و در ادامه داده‌های استخراج شده به نرم‌افزار SPSS-V18 انتقال و تصویر گرافیکی آن ترسیم شده

فاکتوری موقعیت متغیرهای اندازه‌گیری شده نسبت به هم و توام با موقعیت نمونه‌های برداشت شده نسبت به متغیرها اندازه‌گیری شده و نمایش داده می‌شود [۸]. با شناسایی عنصر آنومال مبنای بررسی مشخص شده و در ابتدا داده‌ها نرمال و تحلیل بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد [۶]. جهت جدایش آنومالی از زمینه (روش هندسه فراکتالی) نیازمند داده‌های با یک شبکه منظم می‌باشد. همچنین جهت تخمین منظم در ابتدا باید واریوگرافی‌های مختلف در منطقه اجرا و با شناخت راستای کانی‌سازی، با استفاده از خصوصیات آن واریوگرام تخمین مناسب در شبکه‌ی مطلوب اجرا گردد و در نهایت نتایج تخمین به حالت اولیه بازگردانی می‌گردند [۱۶]. داده‌های ایجاد شده در یک شبکه منظم را می‌توان با روش فراکتالی تحلیل و جوامع مختلف را از هم تفکیک نمود. جدایش آنومالی از زمینه یکی از مهم‌ترین و کلیدی‌ترین مراحل در اکتشافات ژئوشیمیایی می‌باشد [۲، ۱۱، ۱۳، ۱۸ و ۲۱]. با استفاده از روش عیار- مساحت نمودار فراکتالی تمام لگاریتمی ترسیم و مقدار حد آستانه تعیین و محدوده‌های آنومال مشخص می‌گردد. نقطه حاصل از تقاطع دو خط انتهایی در نمودار تمام لگاریتمی فراکتالی که شیب بیش‌تری نسبت به جوامع قبلی دارند به عنوان حد آستانه‌ای تفکیک جوامع آنومالی در نظر گرفته می‌شود [۱]. بخاطر توزیع فضایی تمرکزهای عنصری در سنگ‌ها و رسوبات و اغلب تمایل به نشان دادن روندهای فراکتالی، استفاده از این روش کارساز می‌باشد [۱۰].

جهت تفسیر داده‌ها ابتدا داده‌های خارج از رده جایگزین شده و سپس آنالیز تطبیقی بر روی داده‌ها انجام گرفته است و عناصر Pb، Cd، As و Bi از میان کل عناصر تغییرات قابل‌توجه نشان می‌دهند. در ابتدای عملیات اکتشافی هدف یافتن محل‌های امید بخش برای فلزات پایه در منطقه خوسف بوده لذا تنها نتایج مربوط به عناصر Pb، Cd و As در اینجا آورده شده است. در این مقاله هدف این است که با بررسی منطقه مورد مطالعه و بکارگیری آنالیز تطبیقی، نوع آنومالی در منطقه مشخص گردد سپس با تمرکز بر عناصر آنومال و واریوگرافی آن‌ها از توزیع و چگونگی پراکندگی آن‌ها اطلاعات کسب نمود و با توجه به شعاع تاثیر، اثر قطعه‌ای، نوع مدل و دیگر خصوصیات واریوگرام یک تخمین مناسب در شبکه‌ای منظم ایجاد شود. در ادامه با روش هندسه فراکتال

تشکیل می‌دهد و سپس دو ماتریس به صورت روابط ۱۰ و ۱۱ قابل محاسبه است:

$$[U] = [C]^{-\frac{1}{2}} [A] [\Lambda]^{-\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$[V] = [R]^{-\frac{1}{2}} [W] [A] \quad (11)$$

ماتریس $[U]$ یک ماتریس $m \times p$ بوده و روابط بین متغیرها را بیان می‌کند و ماتریس $[V]$ یک ماتریس $n \times p$ است که روابط بین نمونه‌ها را بیان می‌کند. ماتریس نهایی زیر بر اساس تجزیه و تحلیل تطبیقی و از ترکیب دو ماتریس بالا به وجود می‌آید. ماتریس حاصله (رابطه ۱۲) یک ماتریس $n+m$ سطری و p ستونی است [۱۹]:

$$[F] = \begin{bmatrix} [V] \\ [U] \end{bmatrix} \quad (12)$$

به منظور بررسی فاکتورهای تطبیقی دو به دوی ستون‌های ماتریس $[F]$ را که همان فاکتورها می‌باشند در یک نمودار پراکندگی رسم می‌گردد بنابراین تعداد $[p \times (p-1)]/2$ نمودار به دست خواهد آمد [۱۵]. شکل ۲ نمونه‌هایی از این نمودارها می‌باشند که در همه آن‌ها جدا شدن یک یا چند متغیر دلیل بر وجود مقادیر غیرعادی در آن دارد و جدا شدن یک یا چند نمونه به آن سمت نشان‌دهنده آن است که نمونه مورد نظر نسبت به آن عنصر آنومال است و این نمونه‌ها با توجه به کشیدگی خود به سمت متغیر شدیداً و کمتر نمونه‌های اطراف، امکان آنومال بودن آن متغیر را در منطقه بالا می‌برند [۳ و ۱۵]. با توجه به شکل ۲ که هر کدام از شکل‌ها حاصل ترسیم ۲ ستون از ستون‌های ماتریس F است مشخص گردید که عناصر Pb و As بیش‌ترین فاصله را از نقطه ثقل نمودار (نقطه ۰ و ۰) و تمرکز عناصر دیگر پیدا کرده‌اند بنابراین، این محدوده در بعضی مناطق نسبت به متغیرهای Pb و As دارای آنومالی احتمالی می‌باشد و نمونه‌های ۱۴۴ و ۱۳۵ و ۱۱۱ و ۱۱۳ و تا حدودی ۱۴۷ و ۱۷۵ دارای بیش‌ترین غلظت‌ها نسبت به متغیرهای مذکور می‌باشد و تعداد زیادی از نمونه‌ها کشش به سمت این آنومالی‌ها را دارند. چهار مورد از مجموع نمودارهای تطبیقی که در شکل ۲ آورده شده است گویای جدایش و آنومال بودن این عناصر در منطقه است.

است. بنابراین هر عضو این بردارها را می‌توان به صورت روابط ۱ و ۲ تعریف کرد (m تعداد سطر و n تعداد ستون است):

$$r_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{im} \quad (1)$$

$$c_j = x_{1j} + x_{2j} + \dots + x_{nj} \quad (2)$$

مجموع ۱۷۵ سطر (r_i ها) و مجموع ۲۰ ستون (c_j ها) را قطر اصلی دو ماتریس R و C قرار می‌دهیم. حال دو ماتریس قطری $[R]$ با بعد $n \times n$ و $[C]$ با بعد $m \times m$ به صورت روابط ۳ و ۴ تعریف می‌شوند:

$$[R] = \text{diag}(r_1, r_2, \dots, r_n) \quad (3)$$

$$[C] = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_m) \quad (4)$$

بنابراین $[R]$ و $[C]$ ماتریس‌های قطری هستند که عناصر روی قطر اصلی آن به ترتیب r_i و c_j ها می‌باشند. حال ماتریس $[W]$ به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$[W] = [R]^{-\left(\frac{1}{2}\right)} [X] [C]^{-\left(\frac{1}{2}\right)} \quad (5)$$

در رابطه فوق توان $-\frac{1}{2}$ بدان معنی است که اولاً کل عناصر ماتریس به توان $\frac{1}{2}$ می‌رسند و سپس معکوس ماتریس محاسبه می‌شود. و بالاخره ماتریس $[H]$ به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$[H] = [W]^T [W] \quad (6)$$

پس از محاسبه ماتریس $[H]$ مقادیر ویژه و بردارهای ویژه آن قابل محاسبه است، ماتریس H یک ماتریس 20×20 است که مقادیرشان بین صفر تا یک انتخاب می‌شوند. P مقدار ویژه به دست می‌آید که همیشه $P < m$ می‌باشد (رابطه ۷):

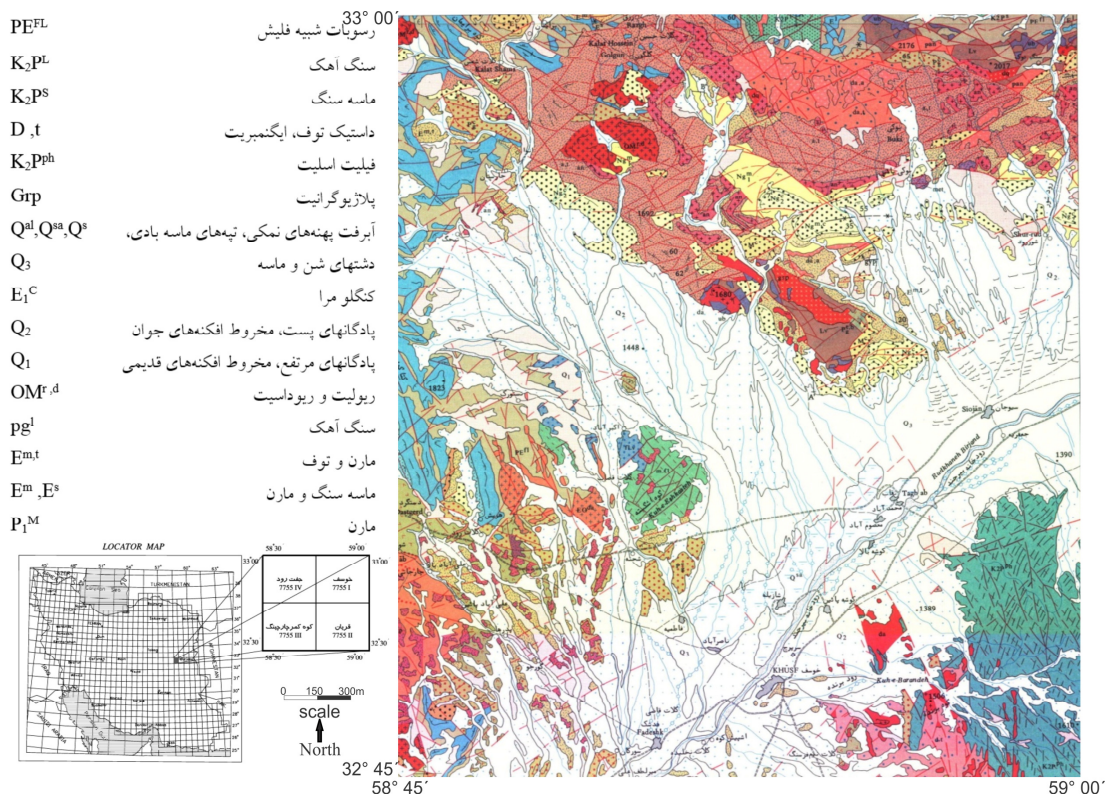
$$0 < \lambda_p \leq \dots \leq \lambda_2 \leq \lambda_1 < \lambda \quad (7)$$

بردارهای ویژه متناظر با هر مقدار ویژه، $[a_j]$ نیز محاسبه می‌شوند. سپس بر اساس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه دو ماتریس زیر را مطابق روابط ۸ و ۹ تشکیل داد:

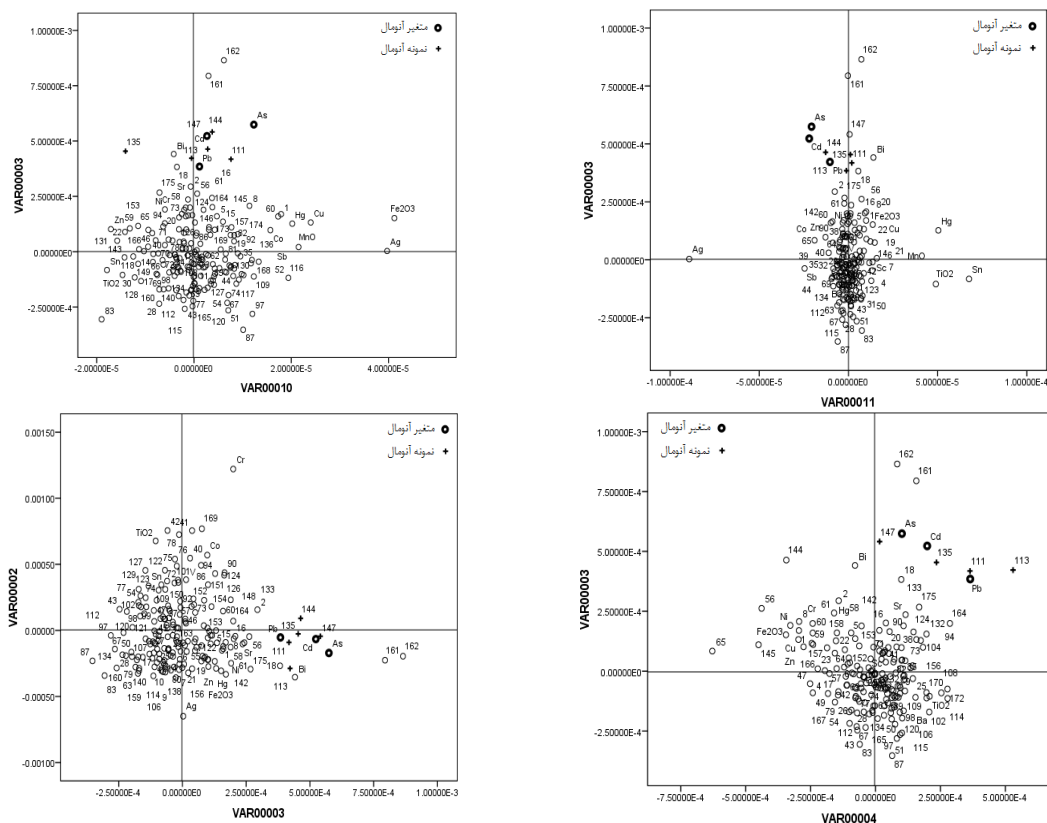
$$[\Lambda]_{(p \times p)} = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p) \quad (8)$$

$$[A]_{(m \times p)} = \begin{bmatrix} [a_1] & [a_2] & \dots & [a_p] \end{bmatrix} \quad (9)$$

که در آن $[\Lambda]$ یک ماتریس قطری است که عناصر روی قطر اصلی آن مقادیر ویژه فوق‌الذکر می‌باشند و $[A]$ ماتریسی است که هر ستون آن یکی از بردارهای ویژه را



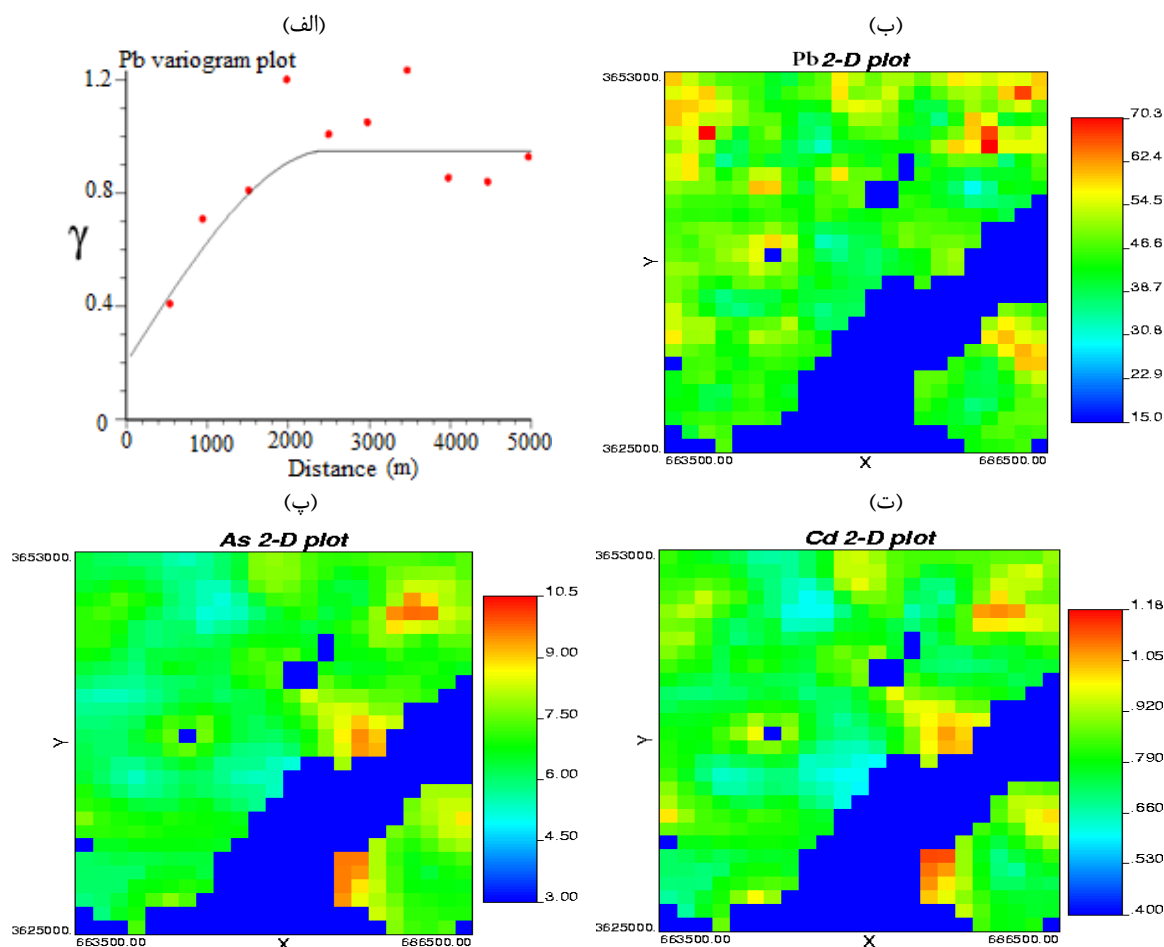
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوسف [برگرفته از ۷].



شکل ۲. نمودار تطبیقی پراکندگی متغیرها و نمونه‌ها در دستگاه مختصات فاکتوری.

نمونه‌برداری است [۲۲]. یک وریوگرام بر اساس مجموعه‌ای از ارتباطات تعریف می‌شود و یا به طور کلی‌تر سنجشی از تغییرات فضایی جهت مطالعات زمین‌آماري می‌باشد [۱۴ و ۲۲].

وریوگرام حاصل برای عنصر Pb که در امتداد بیش‌ترین پیوستگی ترسیم شده است در شکل ۳- الف دیده می‌شود. نتایج حاصل از این وریوگرام (شعاع تاثیر ۲۵۰۰ متر، اثر قطعه‌ای برابر ۰/۲ و سقف نمودار و مدل برازش کروی) به همراه یک شبکه طراحی شده برای منطقه جهت تخمین کریجینگ استفاده می‌گردد [۵]. نتایج حاصل از تخمین Pb و As و Cd در شکل ۳ (ب، پ، ت) ترسیم شده است که چندین منطقه با غلظت بیش‌تر برای هر عنصر دیده می‌شود.



شکل ۳. وریوگرام با بیش‌ترین پیوستگی برای عنصر Pb (الف)، نتایج تخمین برای عناصر Pb (ب)، As (پ) و Cd در شکل (ت).

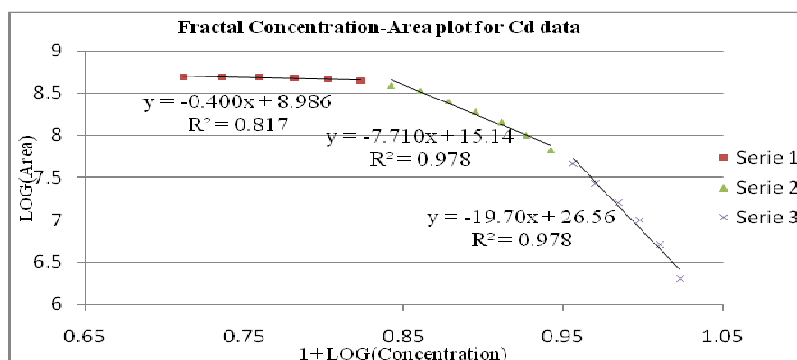
تخمین آنومالی با استفاده از هندسه فراکتال

جهت تخمین آنومالی باید نمونه‌های برداشت شده به صورت یک شبکه‌بندی منظم در آمده و برای این کار باید بر داده‌های منطقه وریوگرام‌ها مناسب ترسیم گردد و با توجه به آن توسط روش کریجینگ و در یک شبکه $1000m \times 1000m$ تخمین صورت می‌گیرد. وریوگرام $\gamma(h)$ جهت بیان کردن کمیت وابستگی فضایی نمونه‌ها بیان می‌شود (رابطه ۱۳):

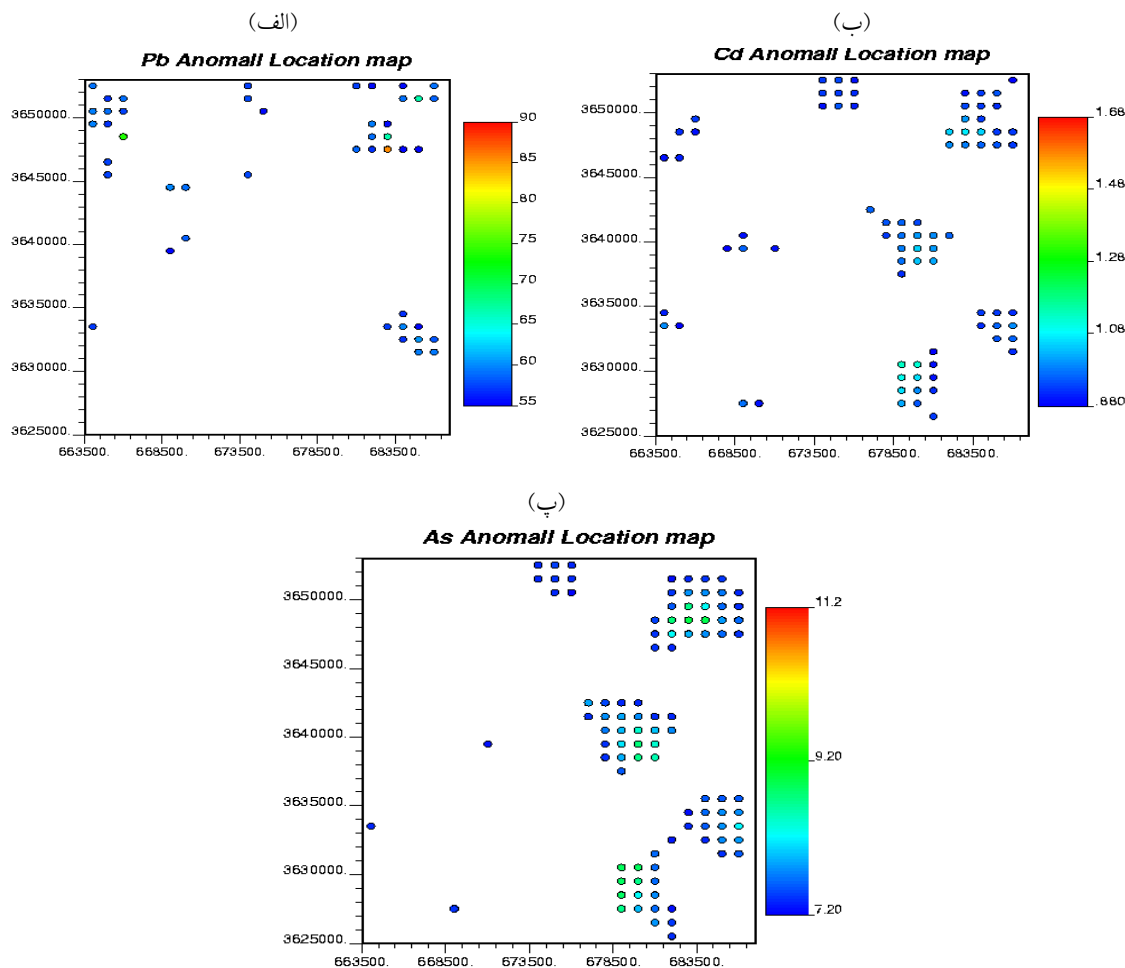
$$\gamma(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (13)$$

$m(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبات به ازای فاصله معین h و z مقدار عیار کمیت مورد اندازه‌گیری و m تعداد نمونه‌های برداشت شده در محیط

شکل ۵. نمودار غلظت - مساحت عنصر As بر حسب ppm (مقدار حداقل آنومالی یا حد آستانه جامعه سوم برابر ۷/۲ ppm می باشد)



شکل ۶. نمودار غلظت - مساحت عنصر Cd برحسب ppm (مقدار حداقل آنومالی یا حد آستانه جامعه سوم برابر ۸۸ ppm/۰ می باشد)



شکل ۷. مناطق آنومال نشان داده شده توسط روش هندسه فراکتالی برای عناصر Pb (الف)، Cd (ب) و As (پ).

نتیجه‌گیری

چون در ابتدای عملیات اکتشاف هدف یافتن محل‌های امید بخش در منطقه خوسف برای فلزات پایه بوده است روندی در پیش گرفته شده است که از داده‌های خام بتوان عناصر آنومال را در منطقه شناسایی و محدوده‌های امید بخش تعیین گردند. در این راستا ترکیب روش‌های

تجزیه و تحلیل تطبیقی، واریوگرافی منطقه، تخمین شبکه سطحی و هندسه فراکتالی بسیار کارآمد بوده است. در روش آنالیز تطبیقی مشخص گردیده است که عناصر Pb، Cd، As و تا حدی Bi خود را از دیگر عناصر جدا نموده و در منطقه روند عادی نشان نمی‌دهند و نمونه‌های ۱۴۴ و ۱۳۵ و ۱۱۱ و ۱۱۳ و تا حدودی ۱۴۷ و ۱۷۵ دارای بیش‌ترین غلظت‌ها نسبت به متغیرهای بالا هستند

[۶] کهرآزه، م. گ.، جعفری، م. ر. و باقری‌فر، ع (۱۳۸۹) اکتشافات سیستماتیک ژئوشیمی رسوبات آبراه‌های منطقه‌ی شورچاه (جنوب‌شرق زاهدان)، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی سال ۶ شماره ۱: ۵۰-۴۲.

[۷] نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی شیت ۷۷۵۵.

- [8] Abdi, H (2007c) Discriminant correspondence analysis, In N.J. Salkind (Ed.): Encyclopedia of measurement and statistics. Thousand Oaks (CA).
- [9] Changjiang, Li (2003) Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background, Journal of Geochemical Exploration, Vol. 77: 167-175.
- [10] Changjiang, Li., Tuhua, Ma. & Junfa, Shi (2002) Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background, Journal of Geochemical Exploration, Vol. 76: 127-135.
- [11] Cheng, Q (1999) Spatial and scaling modeling for geochemical anomaly separation, Journal of Geochemical Exploration, Vol. 65: 175-194.
- [12] Cheng, Q., Agterberg, F.P. & Bonham-Carter G.F (1996) A spatial analysis method for geochemical anomaly separation, Journal of Geochemical Exploration, Vol. 56: 183- 195.
- [13] Cheng, Q., Li, Q (2002) A fractal concentration-area method for assigning a color palette for image representation, Computers & Geosciences 28, 567-575.
- [14] Clayton, V. Deutsch. & Andre, G. Journal (1998) GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide, New York- Oxford, Oxford University Press.
- [15] Edward, H., Isaaks, & R., Mohan Srivastava (1989) Applied Geostatistics, New York- Oxford, Oxford University Press, 362. pp.
- [16] Goovaerts, P (2008) AUTO-IK: A2Dindicator kriging program for the automated non-parametric modeling of local uncertainty in earth sciences, Computers & Geosciences, Vol. 35: 1255-1270.
- [17] Greenacre. M.J (2007) Correspondence analysis in practice (2nd Edition), Boca Raton (FL): Chapman & Hall/CRC, 283. pp.
- [18] Hassani, H., Daya, A.A. & Alinia, F (2009) Application of a Fractal Method Relating Power Spectrum and Area for Separation of Geochemical Anomalies from Background, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 3 (No. 4): 3307-3320.
- [19] Mandelbrot, B.B (1983) The Fractal Geometry of Nature (updated and augmented

و تعداد زیادی از نمونه‌ها کشتش به سمت این آنومالی‌ها را دارند. واریوگرافی نشان می‌دهد که هر نمونه تا شعاع ۲۵۰۰ متر بر روی نمونه‌های مجاور خود تاثیرگذار است و پیوستگی آنومالی‌ها بیش‌تر در جهت شمال شرقی- جنوب غربی است. تخمین هر شبکه در ابعاد $1000m \times 1000m$ با توجه به نمونه‌های تا شعاع ۲۵۰۰ متر خود و با کمک خصوصیات واریوگرام بر روی داده‌های نرمال شده صورت گرفته و در ادامه داده‌ها در دامنه واقعی خود برگردانده شده‌اند. روش فراکتال سه جامعه آماری را مشخص نموده است که جامعه سوم (جامعه با شیب زیاد در نمودار شکل‌های ۴، ۵ و ۶) تا حدودی برای هر سه عنصر آنومالی نشان می‌دهد. این مقادیر برای Pb در حدود ۵۵ppm و برای As در حدود ۷/۲ppm و برای Cd دارای ۰/۸۸ppm ارزیابی گردید. با توجه به اینکه فاصله نمونه‌برداری‌ها از هم زیاد می‌باشد و صرفاً این عملیات جهت بررسی‌های مقدماتی و در مقیاس بزرگ صورت گرفته است نیاز به بررسی‌های بیش‌تر مخصوصاً در مناطق امیدبخش مشخص شده برای عناصر Pb، As و Cd می‌باشد. در قسمت شمال شرقی و جنوب شرقی منطقه خوسف نیازمند نمونه‌برداری در مقیاس محلی و هم‌چنین بررسی‌های ژئوفیزیکی ممکن است بسیار مفید واقع شود.

منابع

- [۱] جوزانی‌کهن، گ (۱۳۸۵) به‌کارگیری روش فراکتالی عیار- محیط در جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۲] حسنی‌پاک، ع.، شرف‌الدین، م (۱۳۸۲) تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران. م ۸۰-۲۲۸۴۵.
- [۳] دارابی گلستان ف.، قوامی ر.، خالوکاکایی ر (۱۳۸۹) تعیین نوع آنومالی منطقه‌ای توسط آنالیز تطبیقی با تائید آنالیز ویژگی، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین.
- [۴] شهاب‌پور، جمشید (۱۳۸۲) زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص. ۵۰۹.
- [۵] قوامی ریایی ر.، دارابی گلستان ف.، خالوکاکایی ر. و اسدی هارونی ه (۱۳۹۰) ارزیابی هاله‌های لیتوژئوشیمیایی اولیه و ثانویه کانی‌سازی دالی شمالی و تلفیق آن‌ها با سایر اطلاعات اکتشافی به منظور هدایت عملیات اکتشافی، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی سال ۷ شماره ۴: ۳۱۸-۳۱۱.

edition), W.H. Freeman, San Francisco, CA, 468 pp.

- [20] Sinclair, A. J (1974) Selection of Threshold Values in Geochemical Data Using Probability Graphs. Journal of Geochemical Exploration, Volume 3, pp. 129-149.
- [21] Sumfleth, K. & Duttman, R (2008) Prediction of soil property distribution in paddy soil landscapes using terrain data and satellite information as indicators, ecological indicators, Vol. 8: 485 – 501.