بیست و سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران
۲۰ و ۲۱ آبانماه ۱۳۹۹
The 23rd Symposium of Geological Society of Iran
10-11 November, 2020

مقایسه بین شبیه سازی متوالی گووسی و جدایش فرکتالی عیار – حجم زون های کانسار مس پورفیری مورد مطالعه : کانسار تخت گنبد

*سید هادی معنوی گیوی **پیمان افضل
*دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی معدن دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
** عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

چکیده

مدل فرکتالی عیار – حجم ابزاری توانمند جهت شناسایی و تفکیک جامعه های مختلف عیاری در یک کانسار بوده و قادر است با شناسایی یک یا چند آستانه، به تفکیک دو یا چند جامعه عیاری و کیفی بخصوص زون های گوناگون کانه زایی بپردازند. در این مطالعه بمنظور تفکیک زونهای مختلف عیاری در زون زمین شناسی هیپوژن کانسار مس تخت گنبد، ابتدا اقدام به شبیه سازی عیار با استفاده از الگوریتم متوالی گووسی شد است.
با استفاده از نتایج ۱۰ مرتبه شبیه سازی متوالی گووسی و ترسیم منحنی های فرکتالی عیار–حجم برای کلیه نتایج شبیه سازی و نیز نقشه میانگین شبیه سازی ها، مقادیر آستانه ای مختلفی حاصل گردید و بر اساس آن جوامع عیاری شناسایی شد. با نمایش مدل سه بعدی جوامع عیاری تفسیرهای زمین شناسی بر روی نتایج تفکیک فرکتالی صورت پذیرفت.

مقدمه

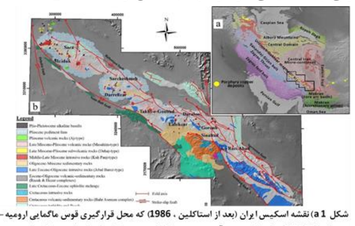
افزایش قیمت جهانی مس و همچنین رشد صنعت فرآوری و استخراج آن، این فلز پایه مورد توجه بسیاری قرار داده است از رویی ذخایر مس پورفیری در جایگاه ویژه ای در بین سایر تیپ های کانساری مس قرار گرفته اند. از سال ۱۹۰۴ ، ذخایر مس پورفیری مهمترین منبع مس در سراسر جهان بوده است. این نوع کانسار حاوی ذخایر بسیار خوبی از مس ، مولیبدن ، طلا و قلع است. یکی از راههای شناسایی و اکتشاف کانسارهای پروفیل دار مس ، شناسایی دقیق مناطق هیپوژن و سوپرژن است [۱]–[۳]. روش های متداول برای جداسازی ذخایر پورفیری ، اعم از کانی شناسی و سنگ نگاری بوده است ، اما از دهه ۱۹۵۰ ، از روش های آماری و ریاضی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است[۱]، [۴]، [۵].
هدف اصلی تجزیه و تحلیل آماری ، به ویژه تحلیل فاکتوری ، استخراج "فاکتور" متعدد برای افزایش توانایی تجسم داده های چند متغیره است[۶]–[۸]. تحلیل عاملی گام به گام یکی از تکنیک های آماری چند متغیره است، که می تواند متغیرها (عناصر) و تعریف اصلی عوامل پاراژنتیکی را در عوامل مختلف کاهش دهد[۸].
طی سه دهه گذشته ، از آمار زمین شناسی برای توصیف تنوع مکانی و پیش بینی عیاری استفاده شده است. کریجینگ معمولی (OK) مفیدترین روش تخمین آماری است که "بهترین برآوردگر بی طرفانه خطی" نیز نامیده می شود[۹]، [۱۰]. مهمترین مشخصات منفی برآوردگرهای میانگین متحرک مانند کریجینگ اثر روان سازی و کاهش دامنه تغییرات متغیرهاست. از شبیه سازی زمین آماری برای غلبه بر این مسئله و جلوگیری از اثر روان سازی چنین روشهای تخمینی به طور گسترده استفاده می شود[۱۱].
الگوریتم های شبیه سازی، هم تغییرات مکانی داده های واقعی را در مکان های نمونه برداری در نظر می گیرند و از طرف دیگر ، تغییرات تخمین ها را در مکان های نمونه برداری نشده [۱۲]. این به این معنی است که شبیه سازی تصادفی بازتولید آمار نمونه (هیستوگرام و نیمه واریوگرام) و داده های نمونه را در محل اصلی خود انجام می دهد. بنابراین ، یک نقشه شبیه سازی تصادفی توزیع فضایی یک ویژگی را واقعی تر از یک نقشه مختلط نشان می دهد[۱۳] .
الگوریتم های شبیه سازی تصادفی زیادی ارائه شده اند و در میان آنها شبیه سازی متوالی گاوسی (SGS) به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد ، زیرا در بازسازی عملکرد توزیع تجمعی مشروط سریع و ساده است[۱۴][۱۵]–[۱۸].
در بیشتر الگوریتم های درون یابی مانند OK، هدف ارائه "بهترین" تخمین محلی متغیرها بدون در نظر گرفتن شرایط مکانی است. هدف کلی از شبیه سازی زمین آماری تولید مجدد واریانس داده های ورودی است ، هم به معنای یک متغیره (هیستوگرام) و هم به معنای مکانی (واریوگرام). در نتیجه ، شبیه سازی ها بستر مناسبی را برای مطالعه هر مشکلی در رابطه با تغییرپذیری فراهم می کنند[۱۴] .
مدل سازی فراکتال / مالتی فراکتال ، که در اصل توسط Mandelbrot (1983)ایجاد شد ، به طور گسترده ای برای جداسازی فرایندهای مختلف زمین شناسی / کانی سازی استفاده شده است. تنوع فرآیندهای ژئوشیمیایی و کانی سازی را می توان بر اساس تفاوت در ابعاد فراکتال بدست آمده از تجزیه و تحلیل داده های ژئوشیمیایی مربوط توضیح داد[۱۹]–[۲۳]. با این حال ، شناخت خوب از کنترل های محیطی زمین شناختی در مورد معدنی سازی (به عنوان مثال ، مناطق دگرسان سازی) در شناسایی و طبقه بندی جمعیت های ژئوشیمیایی بر اساس مدل های فراکتال / چند فراکتالی مهم است [۱۹]، [۲۳]–[۳۰]. ابعاد فراکتال در فرآیندهای زمین شناسی و معدنی سازی با تغییرات در خصوصیات فیزیکی مانند نوع سنگ ، فاز سیال ، مناطق تغییر ، تراکم یا جهت گیری رگ ، و ویژگی ساختاری یا کانی شناسی غالب مطابقت دارد (به عنوان مثال ، Afzalو همکاران ، ۲۰۱۱ ؛ سیم و همکاران ، ۱۹۹۹) در سالهای اخیر ، از مدل فراکتال / چند فراکتالی برای ترسیم مناطق معدنی در انواع مختلف کانسارها مانند تعداد - اندازه (N – S: Mandelbrot ، (1983 ، S – G: Agterberg (1995)، غلظت - حجم (C – V:افضل و دیگران ، ۲۰۱۱) ، طیف قدرت - حجم اندازه درجه (P – V:افضل و همکاران ، ۲۰۱۲) و تعداد غلظت (C – N:حسن پور و افضل ، ۲۰۱۳).
فرآیندهای مختلف ژئوشیمیایی را می توان براساس تغییرات در ابعاد فراکتال حاصل از تجزیه و تحلیل داده های ژئوشیمیایی مربوط تعریف کرد. ابعاد فراکتال در فرآیندهای زمین شناسی و ژئوشیمیایی با تفاوت در خصوصیات فیزیکی مانند سنگ شناسی ، تراکم یا جهت گیری رگ ، فاز سیال ، پدیده های تغییر و ویژگی ساختاری یا کانی شناسی غالب مطابقت دارد[۱۹]، [۲۳]. مدل های متداول مبتنی بر مطالعات زمین شناسی و تجزیه و تحلیل هسته های گمانه ها با هدف تعیین مناطق معدنی ، کارایی بالایی در ذخایر سنگ معدن به ویژه در کانسارهای پورفیری ندارند. مدل فراکتال / مالتی فراکتال قدرت متمایزی برای تمایز جمعیتهای طبیعی مانند گریدهای مختلف سنگ معدن دارد[۲۳].
در این مقاله ، از شبیه سازی متوالی گاوسی (SGS) و مدل فراکتال C-Vبرای ترسیم مناطق مختلف دگرسانی (پتاسیک ، فیلیک و پروپلیتیک) بر اساس مقادیر مس در منطقه هیپوژن کانسار پورفیری مس تخت گنبد ، ایران مرکزی استفاده می کنیم.
برخلاف روش‌های آمار کلاسیک روش‌های زمین‌آماری ضمن در نظر گرفتن موقعیت مکانی نقاط و ارتباط بین آن‌ها از کارایی بیشتری برای تجزیه‌وتحلیل توزیع عناصر برخوردار می‌باشند. این روش‌ها قادر به مدل‌سازی مناسب زمانی و مکانی جهت توصیف متغیر ناحیه‌ای، با در نظر گرفتن مؤلفه‌های تغییرپذیری ساختاری و تصادفی هستند. اساس این روش‌ها تخمین مقدار نامعلوم متغیر مکانی Zبه‌عنوان عدد تصادفی با یک توزیع احتمالاتی مشخص در نقطه‌ای دلخواه از منطقه موردمطالعه است . در زمین‌آمار ، تجزیه‌وتحلیل ساختار تغییرات مکانی متغیرها با استفاده از تغییر نما صورت می‌گیرد. تغییر نما، تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییرپذیری یک متغیر خاص را نشان داده و از ابزارهای اساسی زمین‌آمار جهت بررسی تغییرات مکانی است. محاسبه تغییر نما به‌صورت معادله ۱ خواهد بود[۳۱].

$$\gamma_i(h) = \frac{۱۲}{N(h)} \sum_{i=۱}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]'$$

شبیه‌سازی زمینی آماری در سال ۱۹۷۰ توسط ژورنل مطرح شد و ازآن‌پس در صنایع مختلفی چون معدن، محیط‌زیست، نفت و گاز به‌طور گسترده‌ای به‌منظور ارزیابی ریسک و عدم قطعیت مورداستفاده قرار گرفت. از میان روش‌ها، روش شبیه‌سازی گوسی متوالی به‌عنوان یکی از روش‌های معمول و انعطاف‌پذیری است که امروزه در بسیاری از شبیه‌سازی‌هایی که بر روی پارامترهایی چون عیار، تخلخل، تراوایی و . . . صورت می‌گیرد، فراوان استفاده می‌شود. در اینجا برای محاسبه تخمین عیار کانسار از الگوریتم متوالی گوسی (SGSاستفاده‌شده است. این الگوریتم نیاز به داده‌های استاندار نرمال جهت انجام شبیه‌سازی دارد. برای هر گره که در آن عمل شبیه‌سازی صورت می‌گیرد SGSیک هیستوگرام محلی تولید می‌کند که از آن‌یک مقدار (عدد) به‌طور تصادفی به‌عنوان مقدار شبیه‌سازی‌شده بیرون کشیده می‌شود.

مواد و روش کار

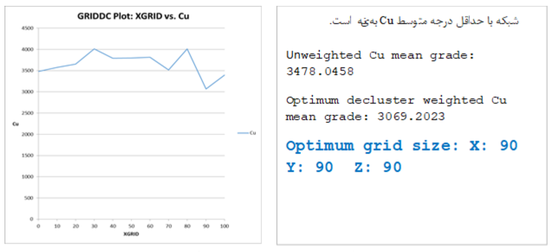
کانسار مس تخت گنبد ، در بخش جنوبی قوس ماگمایی سنوزوئیک ارومیه-دختر (UDMAایران واقع شده است(شکل ۱). بقایای حفاری ها و کارخانه های ذوب سنگ نشان می دهد قدمت استخراج مس در تخت گنبد به دوران های قدیمی باز می گردد. در زمان های اخیر ، وقوع اکسیدهای مس گسترده، تحت سلطه مالاکیت، در منطقه تخت ، اولین بار توسط بازین و همکاران ۱۹۶۸ مورد مطالعه قرار گرفت. قسمت های اکسیده کانسار مورد بررسی مطالعات ژئو فیزیک از قبیل IP / RS قرار گرفت[۳۴]. کارهای دقیق تر در منطقه و اطراف در اوایل دهه ۱۹۷۰ انجام شد که از طریق آن چندین کانسار مس نقشه برداری و حفاری شد ، از جمله تخت گنبد ، چهار گنبد ، تخت بانه و بولبولی[۳۵].
نقشه برداری زمین شناسی در مقیاس ۱: ۵۰۰۰ و حفاری پیمایشی (۶ گمانه ، در مجموع ۱۴۹۲ متر) در تخت کارگران را به معرفی کانسار به عنوان اشباع سنگ معدن مس در سنگ های پیروکلاستیک ائوسن دگرگونی [۳۵].
کانسار تخت اخیراً تحت اکتشاف دقیق قرار گرفته است ، از جمله نقشه برداری زمین شناسی در مقیاس ۱: ۱۰۰۰ ، بررسی های ژئوفیزیکی ، ترانشه ، حفاری ها ، و همچنین تجزیه و تحلیل سیستماتیک هسته های حفاری برای عناصر خاص (گزارش داخلی شرکت معدن تخت گنبد سیرجان ، ۲۰۱۱)) به نظر می رسد کانی سازی در تخت با دو نفوذ کم عمق پورفیریتی که به داخل سنگ های پیرو پلاستیک قدیمی تر نفوذ می کنند ، همراه باشد. کانی سازی به صورت رگ ، رگچه و انتشار در سنگ های پیروکلاستیک حرارتی دگرگون شده و پوسته پوسته شده و همچنین در نفوذهای پورفیریک و سنگ های پلاکلاستیک با تغییر در سیتیت رخ می دهد. هیچ تغییر معمولی پتاساسیکی در مواجهه با سطح و هسته های مته شناسایی نشده است[۳۶].



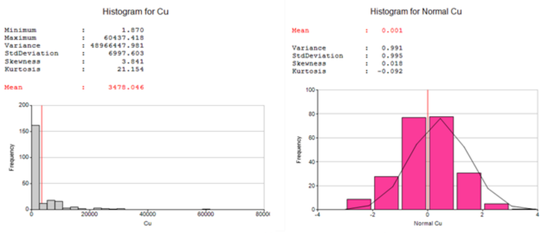
شکل a1) نقشه اسکیس ایران (بعد از استاکلین ، 1986) که محل قرارگیری قوس ماگمایی ارومیه – دختر (UDMA) و امتداد جنوبی آن ، مجموعه ماگمایی سنوزوئیک کرمان یا به سادگی کمربند کرمان را نشان می دهد ،

بحث

در این مطالعه داده ۳۴ گمانه حاوی داده های مختصات گمانه ها ، شیب و جهت آن ها ، لیتولوژی، دگرسانی و کانی شناسی آنها استفاده شد. مدل سازی گمانه به وسیله نرم افزار Studio RMگزارش ۱.۵.۶۲.۰ مورد مطالعه قرار گرفته است.
داده های مس کامپوزیت گردیده و همچنین به دلیل شبکه گمانه ها داده ها را دیکلاسرینگ انجام گردید(نمودار ۱). از آنجا که لزوم نرمال بودن داده ها شرط لازم جهت مطالعات زمین آماری است در ابتدا نرمال سازی توزیع داده ها ی اولیه انجام شده است. برای مشخص شدن نحوه توزیع داده ها از هیستوگرام، پارامتر های چولگی و کشیدگی در نرم افزار Studio RMاستفاده شده و داده ها به وسیله نرم مال ساز Nscoreنرم مال گردیده و هیستوگرام آن مطابق نمودار شماره ۲ bرسم گردیده است.

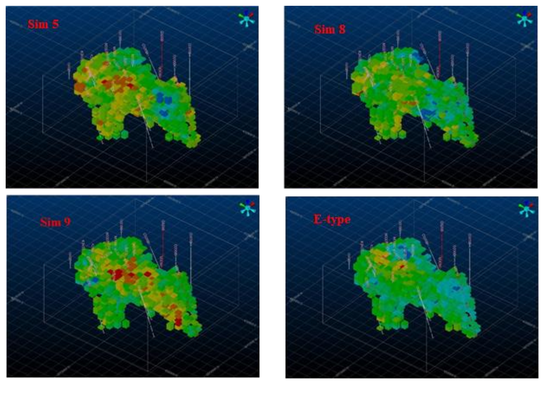


نمودار 1 بهینه سازی گمانه ها دیکلاسر



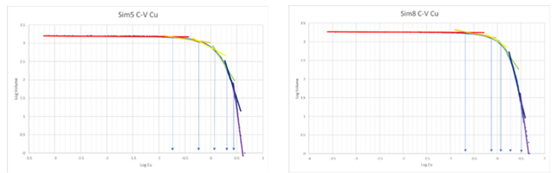
نمودار 1 : (a هیستوگرام داد های خام ، (b هیستوگرام داده های نرمال شده

با توجه به نرمال سازی داده های مس، شبیه سازی متوالی گووسی در ۱۰ مرتبه به وسیله نرم افزار Studio Rmانجام و مشخصات آماری ده حالت شبیه سازی شده در جدول ۴ آورده شده است.
همچنین جدولی نظیر داده های نرمال و غیر نرمال در مراحل شبیه سازی استخراج گردیده است.



نتیجه گیری

پس از ترسیم منحنی های عیار–حجم برای نتایج ۱۰ مرتبه شبیه سازی، منحنی های تعدادی از شبیه سازی ها (شماره های ۵، ۸ و ۹) دارای ۶ شکست و در نتیجه دارای ۵ ریز جامعه و ۳ جامعه اصلی می باشند. همچنین جدول شماره ۵ حد آستانه تمامی جوامع از شبیه سازی ها را می‌توان مشاهده نمود.



شکل 1 نمودارهای Log - Log حجم- عیار مس و تفکیک زون در شبیه سازی مرتبه 5 و 8

	First (%)	Second (%)	Third (%)	Fourth (%)	Fifth (%)
Etype	-1.10	-0.75	-0.35	-0.05	0.15
Sim 1	-1.00	-0.35	-0.05	0.15	-0.35
Sim 2	-0.90	-0.30	0.00	0.25	0.45
Sim 3	-0.30	-0.25	0.35	0.50	-
Sim 4	-1.00	-0.15	0.00	0.19	0.30
Sim 5	-0.75	-0.25	0.05	0.30	0.45
Sim 6	-0.90	-0.25	0.15	0.40	-
Sim 7	-0.85	-0.10	0.05	0.15	0.25
Sim 8	-0.70	-0.15	0.05	0.25	0.50
Sim 9	-0.65	-0.15	0.10	0.25	0.45
Sim 10	-0.75	-0.35	-0.05	0.20	0.40

منابع

1. B. R. Berger, R. A. Ayuso, J. C. Wynn, and R. R. Seal, “Preliminary model of porphyry copper deposits,” US Geol. Surv. open-file Rep., vol. 1321, p. 55.
2. F. Pirajno, Hydrothermal processes and mineral systems. Springer Science & Business Media TS - RIS M4 - Citavi, 2008.
3. L. J. Robb, Introduction to ore-forming processes. Malden, MA; Oxford: Blackwell Science, 2005.
4. J. D. Lowell and J. M. Guilbert, “Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits,” Econ. Geol., vol. 65, no. 4, pp. 373–408, 1970, doi: 10.2113/gsecongeo.65.4.373 M4 - Citavi.
5. D. P. Cox and D. A. Singer, Mineral deposit models, vol. 1693 TS-RIS M4-Citavi. US Government Printing Office Bulletin, 1986.
6. H. Treiblmaier and P. Filzmoser, “Exploratory factor analysis revisited: How robust methods support the detection of hidden multivariate data structures in IS research,” Inf. Manag., vol. 47, no. 4, pp. 197–207, 2010, doi: 10.1016/j.im.2010.02.002 M4 - Citavi.
7. M. Yousefi, A. Kamkar-Rouhani, and E. J. M. Carranza, “Geochemical mineralization probability index (GMPI): A new approach to generate enhanced stream sediment geochemical evidential map for increasing probability of success in mineral potential mapping,” J. Geochemical Explor., vol. 115, pp. 24–35, 2012, doi: 10.1016/j.gexplo.2012.02.002 M4 - Citavi.
8. M. Yousefi, A. Kamkar-Rouhani, and E. J. M. Carranza, “Application of staged factor analysis and logistic function to create a fuzzy stream sediment geochemical evidence layer for mineral prospectivity mapping,” Geochemistry Explor. Environ. Anal., vol. 14, no. 1, pp. 45–58, 2014, doi: 10.1144/geochem2012-144 M4 - Citavi.
9. E. Isaaks, The application of Monte Carlo methods to the analysis of spatially correlated data, vol. null. 1990.
10. A. G. Journel and E. H. Isaaks, “Conditional Indicator Simulation: Application to a Saskatchewan uranium deposit,” J. Int. Assoc. Math. Geol., vol. 16, no. 7, pp. 685–718, Oct. 1984, doi: 10.1007/BF01033030.
11. J. Chilès, “P., D., 1999. Geostatistics. Modeling spatial uncertainty.” Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, New-York.
12. M. Delbari, P. Afrasiab, and W. Loiskandl, “Using sequential Gaussian simulation to assess the field-scale spatial uncertainty of soil water content,” CATENA, vol. 79, no. 2, pp. 163–169, Nov. 2009, doi: 10.1016/j.catena.2009.08.001.
13. O. Asghari and N. M. Esfahani, “Erratum to: A new approach for the geological risk evaluation of coal resources through a geostatistical simulation,” Arab. J. Geosci., vol. 7, no. 2, pp. 839–839, Feb. 2014, doi: 10.1007/s12517-013-1262-1.
14. S. H. Manavi Givi and -P Afzal, “Separation of Zn mineralized zones in Mehdiabad deposit (Central Iran) by geostatistical simulation and fractal modeling.”
15. F. Chen, S. Chen, and G. Peng, “Using Sequential Gaussian Simulation to Assess Geochemical Anomaly Areas of Lead Element,” 2013, pp. 69–76.
16. N. J. Geboy, R. A. Olea, M. A. Engle, and J. A. Martín-Fernández, “Using simulated maps to interpret the geochemistry, formation and quality of the Blue Gem coal bed, Kentucky, USA,” Int. J. Coal Geol., vol. 112, pp. 26–35, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.coal.2012.10.010.
17. J. G. Manchuk and C. V. Deutsch, “A flexible sequential Gaussian simulation program: USGSIM,” Comput. Geosci., vol. 41, pp. 208–216, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.cageo.2011.08.013.
18. S. A. Hosseini, O. Asghari, X. Emery, and M. Maleki, “Forecasting the grade-tonnage curves and their uncertainty at the Mehdiabad deposit-Yazd, central Iran,” Boll. di Geofis. Teor. ed Appl., 2017, doi: 10.4430/bgta0206.
19. P. Afzal, Y. F. Alghalandis, A. Khakzad, P. Moarefvand, and N. R. Omran, “Delineation of mineralization zones in porphyry Cu deposits by fractal concentration–volume modeling,” J. Geochemical Explor., vol. 108, no. 3, pp. 220–232, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.gexplo.2011.03.005.
20. P. Afzal, Y. F. Alghalandis, P. Moarefvand, N. R. Omran, and H. A. Haroni, “Application of power-spectrum–volume fractal method for detecting hypogene, supergene enrichment, leached and barren zones in Kahang Cu porphyry deposit, Central Iran,” J. Geochemical Explor., vol. 112, pp. 131–138, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.gexplo.2011.08.002.
21. Q. Cheng, F. P. Agterberg, and S. B. Ballantyne, “The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods,” J. Geochemical Explor., vol. 51, no. 2, pp. 109–130, 1994, doi: 10.1016/0375-6742(94)90013-2.
22. M. A. Gonçalves, A. Mateus, and V. Oliveira, “Geochemical anomaly separation by multifractal modelling,” J. Geochemical Explor., vol. 72, no. 2, pp. 91–114, May 2001, doi: 10.1016/S0375-6742(01)00156-X.
23. A. B. Yasrebi et al., “Application of a density-volume fractal model for rock characterisation of the Kahang porphyry deposit,” Int. J. Rock Mech. Min. Sci., vol. 66, pp. 188–193, 2014, doi: 10.1016/j.ijrmms.2013.12.022.
24. P. Afzal, H. D. Ahari, N. R. Omran, and F. Aliyari, “Delineation of gold mineralized zones using concentration-volume fractal model in Qolqoleh gold deposit, NW Iran,” Ore Geol. Rev., vol. 55, no. C, pp. 125–133, 2013, doi: 10.1016/j.oregeorev.2013.05.005.
25. M. Arias, P. Gumiel, and A. Martín-Izard, “Multifractal analysis of geochemical anomalies: A tool for assessing prospectivity at the SE border of the Ossa Morena Zone, Variscan Massif (Spain),” J. Geochemical Explor., vol. 122, pp. 101–112, 2012, doi: 10.1016/j.gexplo.2012.08.007.
26. E. J. M. Carranza and M. Sadeghi, “Predictive mapping of prospectivity and quantitative estimation of undiscovered VMS deposits in Skellefte district (Sweden),” Ore Geol. Rev., vol. 38, no. 3, pp. 219–241, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.oregeorev.2010.02.003.
27. Q. Cheng, “Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation,” J. Geochemical Explor., vol. 65, no. 3, pp. 175–194, May 1999, doi: 10.1016/S0375-6742(99)00028-X.
28. S. T. Delavar, P. Afzal, G. Borg, I. Rasa, M. Lotfi, and N. Rashidnejad Omran, “Delineation of mineralization zones using concentration–volume fractal method in Pb–Zn carbonate hosted deposits,” J. Geochemical Explor., vol. 118, pp. 98–110, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.gexplo.2012.05.003.
29. C. Li, T. Ma., and J. Shi, “Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background,” J. Geochemical Explor., vol. 77, no. 2–3, pp. 167–175, 2003, doi: 10.1016/S0375-6742(02)00276-5.
30. B. Sadeghi, P. Moarefvand, P. Afzal, A. B. Yasrebi, and L. D. Saein, “Application of fractal models to outline mineralized zones in the Zaghia iron ore deposit, Central Iran,” J. Geochemical Explor., vol. 122, pp. 9–19, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.gexplo.2012.04.011.
31. ع . حسنی پاک، زمین آمار. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۹.
32. ح. پاک،علی. تجزیه و تحلیل داده های اکتشافی. دانشگاه تهران، ۱۳۸۰.
33. F. Soltani, P. Afzal, and O. Asghari, “Delineation of alteration zones based on Sequential Gaussian Simulation and concentration-volume fractal modeling in the hypogene zone of Sungun copper deposit, NW Iran,” J. Geochemical Explor., vol. 140, pp. 64–76, 2014, doi: 10.1016/j.gexplo.2014.02.007.
34. M. Babaei, M. Abedi, G. H. Norouzi, and S. Kazem Alilou, “Geostatistical Modeling of Electrical Resistivity Tomography for Imaging Porphyry Cu Mineralization in Takht-e-Gonbad Deposit, Iran,” J. Min. Environ., vol. 11, no. 1, pp. 143–159, 2020, doi: 10.22044/jme.2019.8709.1756.
35. R. Nedimovic, “Exploration for ore deposits in Kerman region,” Geol. Surv. Iran Rep. 53, p. 247.
36. P. Afzal, N. Madani, S. Shahbeik, and A. B. Yasrebi, “Multi-Gaussian kriging: A practice to enhance delineation of mineralized zones by Concentration-Volume fractal model in Dardevey iron ore deposit, SE Iran,” J. Geochemical Explor., vol. 158, pp. 10–21, 2015, doi: 10.1016/j.gexplo.2015.06.011.