مقایسه آمار کلاسیک و روش فرکتال در جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی- مطالعه موردی سرب و روی انگوران

سید مسعود شریفی‌فر[۱*]، بیژن ملکی[۲]، حمیدرضا همتی آهویی[۳]، سعیده سنماری[۴]

[۱*]دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی معدن (اکتشاف)، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، Engineermasoud27@gmail.com

[۲]استادیار مهندسی نفت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، maleki@eng.ikiu.ac.ir

[۳]استادیار نقشه برداری معدنی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، hemmati@ikiu.ac.ir

[۴]دانشیار زمین شناسی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین (ره)، senemari@eng.ikiu.ac.ir

چکیده: کانسار انگوران در ۱۳۵ کیلومتری غرب زنجان و در زون سنندج - سیرجان واقع شده است. این کانسار در سنگ‌های دگرگونی شیست و مرمر با سن پروتروزوئیک واقع شده است. این تحقیق به منظور بررسی و مقایسه آمار کلاسیک و روش فرکتال در جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی - مطالعه موردی سرب و روی انگوران انجام شده است. در این تحقیق به منظور مقایسه دو روش ۶۸ نمونه سنگی مورد بررسی قرار گرفت. برای جداسازی آنومالی‌ها از زمینه، از روش ساختاری فرکتالی عیار - مساحت استفاده شد و برای اینکه نتایج دقیق‌تر باشد، جداسازی انجام شده با روش‌های غیرساختاری نیز مقایسه و بررسی گردید. در نهایت برای منطقه مورد بررسی دو نوع نقشه اصلی رسم شد که شامل نقشه فرکتالی (غیرخطی) و نقشه نمادین با روش S + X ۲ است. نتایج این بررسی علاوه بر اینکه برتری روش فرکتال را در مقابل روش‌های غیرساختاری نشان می‌دهد، ادامه فعالیت‌های اکتشافی این ناحیه را نیز تأیید می‌کند. نتیجه حاصل از روش فرکتال از صحت بالایی برخوردار است و محدوده ای که شامل آنومالی عناصر سرب و روی معرفی می‌کند از مساحت بیشتری نسبت به روش آمار کلاسیک برخوردار است. همچنین مشخص شد دو فاز کانی‌سازی مربوط به سرب و روی در منطقه وجود دارند که این نتیجه احتمالاً می‌تواند منطبق بر مشاهدات زمین‌شناسی مبنی بر اکسیدی و سولفیدی بودن کانی‌های سرب و روی در منطقه انگوران باشد.

واژه‌های کلیدی: روش آمار کلاسیک، مدل فرکتال، سرب، روی، انگوران.

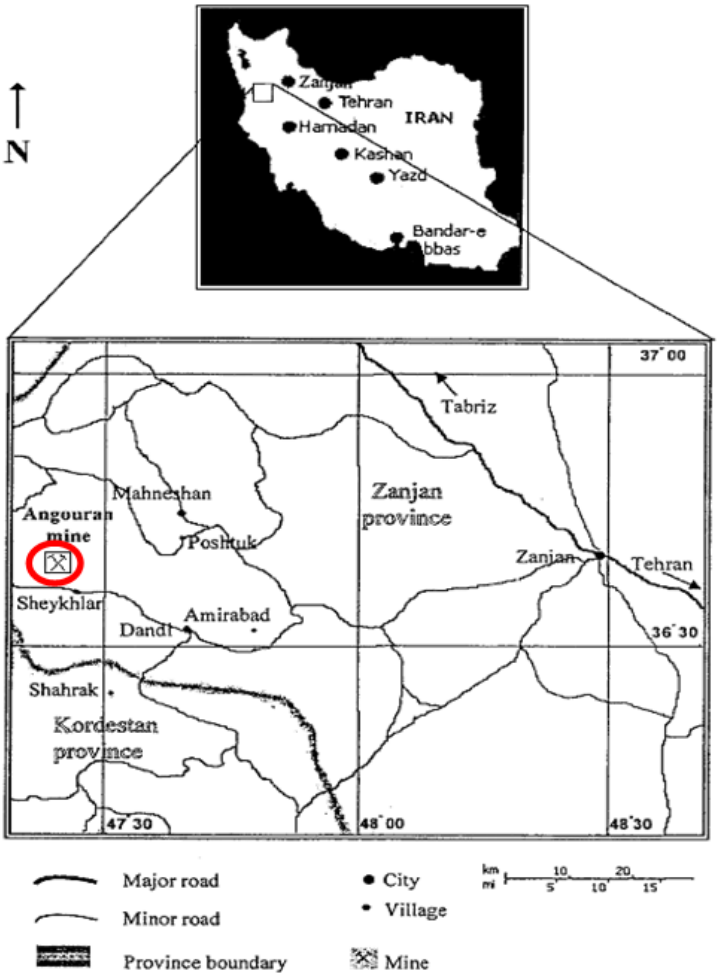
۱- مقدمه

معدن سرب و روی انگوران در شهرستان ماهنشان و در ۱۳۵ کیلومتری غرب شهر زنجان واقع شده است. این معدن در موقعیت ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و ۴۷ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی واقع است. راه اصلی دسترسی (زنجان، دندی، معدن) دارای مسافتی در حدود ۱۲۰ کیلومتر است (شکل ۱). معدن انگوران در ناحیه‌ای کوهستانی و در ارتفاع متوسط محلی ۲۹۵۰ متری قرار گرفته است. کانسار انگوران در بخش شمال‌غربی پهنه سنندج-سیرجان و به عبارت دقیق‌تر در پهنه ارومیه-دختر واقع شده است که دارای خصوصیات تکتونوماگمایی و زمین‌شناسی مشابه با آن پهنه است [۱].

از نظر چینه‌شناسی ناحیه معدن انگوران بر روی زون مابین سلسله جبال البرز و زون ارومیه-پل دختر واقع و از نظر سنگ‌شناسی توده معدنی مابین آهک کریستالین (کمر بالا) و شیست‌های سبز (کمر پایین) قرار گرفته است. از نظر ساختاری، کانسار انگوران در یک تاقدیس آهکی قرار گرفته است که کانسار معدن انگوران در زمان‌های اولیه زمین‌شناسی به صورت سولفوره بوده است که بعداً در اثر فرایند هوازدگی و اکسیداسیون بخش عمده‌ای از آن به ماده معدنی اکسیده (کربناته) تبدیل شده است به‌طور کلی توده معدنی به شکل عدسی با ضخامت بین ۳۰۰-۱۰۰ متر و شامل دو قسمت مجزای سولفوره در زیر و قسمت کربناته در بالا می‌باشد [۲].

هندسه فراکتالی روش جدیدی است که نسبت به هندسه اقلیدسی تفاوت‌های زیادی دارد. هندسه اقلیدسی بیشتر در مصنوعات بشر کاربرد دارد در حالی که کاربرد هندسه فراکتالی بیشتر در شبیه سازی مدل‌های طبیعی برگرفته از طبیعت است. مدل‌های فراکتالی ابزار قدرتمندی را برای توصیف کانه‌های ایجاد شده در طی فرآیند کانی‌سازی مهیا می‌کنند [۳] و روش‌های تحلیل فراکتالی برای توصیف و تشریح رابطه‌ای میان جامعه‌های کانی‌یابی، ژئوشیمیایی و زمین‌شناختی با داده‌های فضایی حاصل از تجزیه‌های کانسارها به کار می‌روند [۴]، [۵]، [۶].

مزیت بسیار مهم روش فراکتالی نسبت به روش‌های کلاسیک این است که بحثی با عنوان «منطقه انتقالی» بی‌معنی می‌شود چون در روش کلاسیک اصل جداسازی منطقه‌ها و دگرسانی‌ها با استفاده از کانه‌ها بود و اگر در نمونه‌ای دو یا چند کانه با هم دیده می‌شوند، امکان جداسازی دقیق منطقه در آن امکان پذیر نبود و آن منطقه به صورت انتقالی معرفی می‌شد؛ با روش‌های فراکتالی (مثل روش عیار-حجم)، این مسئله حذف می‌شود [۷]، [۸]. در این مطالعه سعی شده است روش‌های آماری کلاسیک و فرکتالی در بررسی مطالعه پیوستگی و گسترش کانی‌سازی سرب و روی انگوران مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی معدن انگوران

۲. روش مطالعه:

پایگاه اطلاعات مکانی کانسار اکتشافی انگورن با برداشت ۸ پروفیل اکتشافی با فواصل برداشت نامنظم پس از ثبت داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القای‌الکتریکی، نمونه‌برداری از واحدهای سنگی با تأکید بر رخنمون‌های دگرسانی منطقه انجام شده است. بدین‌ترتیب پایگاه منسجمی از داده‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی (حدود ۶۸ نمونه) به دست آمده که در اغلب موارد، مکان هندسی سنجش‌های الکتریکی منطبق بر نقاط نمونه‌برداری ژئوشیمیایی است. بررسی روش‌های موردنظر برای دستیابی به اولویت‌های اکتشافی ذخایر جدید سرب و روی انگوران، براساس سنجش همراه با آمارهای ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی (نرمال شده) و تحلیل آن‌ها به دو روش کلاسیک (خطی) و هندسه فرکتال (غیر خطی) است، انجام شده است. یافته‌های ژئوفیزیکی این ناحیه مطابق روش‌های آماری معمول و بر حسب متغیر استاندارد Z نرمالیزه شده و سازوکار توزیع آن‌ها با تابع توزیع نرمال استاندارد مقایسه شده است. درون‌یابی اطلاعات زمین مرجع و تولید فایل شبکه با هدف ایجاد پیوستگی فضایی در نقاط برداشت سطحی با کمک نرم افزار ArcMap انجام شد و همچنین اطلاعات آماری از نرم افزار SPSS اخذ تا امکان تفسیر اطلاعات آماری را فراهم کند.

۳. مقایسه روش‌های آماری و فرکتالی در کانسار انگوران با داده‌های ژئوالکتریک

وجه تمایز روش فرکتال با روش‌های معمول در آمار کلاسیک، شناسایی و تفکیک جوامع بی‌هنجاری براساس ظهور مؤلفه‌های متناظر با قابلیت تکرارپذیری بالاست. در آمار فرکتال، معیار خودتشابهی سامانه کانه‌زا بر معیار خودتمایلی آن غالب است. بنابراین احتمال کانه‌زایی سرب و روی با افزایش نقاط هم استقامت و تعدد قطاع فرکتالی افزایش می‌یابد [۹].

۱،۳. روش کلاسیک

شکل ۲(A و B) بیانگر الگوی توزیع سرب و شکل ۲(C و D) بیانگر الگوی توزیع روی در شرق کانسار انگوران هستند که بر حسب تغییرات پربندی مقاومت ویژه و قطبش القای الکتریکی ترسیم شده‌اند. چنانکه دیده می‌شود، توزیع عناصر در شرق کانسار انگوران از مطابقت مکانی معناداری با تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی (افزایش درجه رسانایی سازندها) برخوردار است. همچنین ارتباطی ضعیف، اما معنادار بین بی‌هنجاری سرب و روی با افزایش کمیت قطبش القایی دیده می‌شود (حدود آستانه ای تغییرات سرب و روی منطبق بر بیشینه قطبش القایی است). چنانچه مشاهده می‌شود، همبستگی عیار سرب با تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی از نوع وارونه است؛ درحالیکه همبستگی تغییرات روی با مقاومت ویژه الکتریکی از نوع مستقیم است. در مورد تغییرات قطبش القایی، مکان هندسی بیهنجاری سرب و روی مستقل از نقاط بیشینه بوده است که احتمال کانه‌زایی درون‌زاد را در عمق هاله‌های دگرسانی نفی می‌کند.

۲،۳. روش فرکتال

معادلات فرکتال، برگرفته از توابع خاصی هستند که در پی درون‌یابی داده‌ها و تولید فایل شبکه مورد نیاز، در قالب روابط نسبی نمایی (مانند تغییر عیار متناسب با تغییرات سطح محصور خطوط پربندی) افراز می‌شوند براساس تعریف بالا، تبدیل توابع نمایی به معادله خط فرکتال، نیازمند استفاده از دستگاه مختصات لگاریتمی است.

رابطه ۱، معادله عیار - مساحت را بر حسب تغییرات ضریب خط فرکتال (دیمانسیون) نشان داده است [۹].

$$\mathrm{Log}\,(A) = \mathrm{FD}\,\mathrm{Log}\,(C)$$

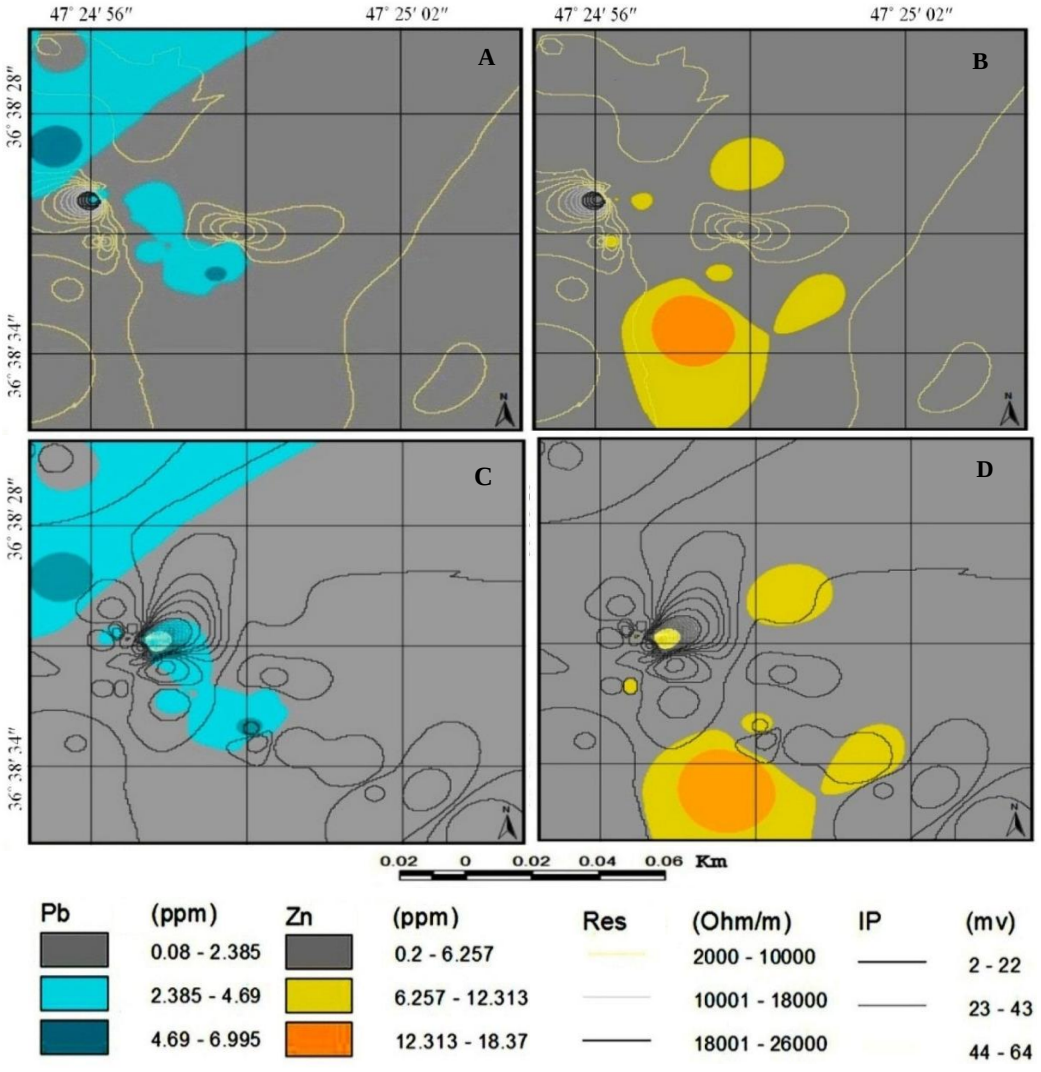
رابطه :۱

در این رابطه، منظور از کمیت‌های Log (A) و Log (C) به ترتیب، لگاریتم حاصل از سطوح پربندی و تغییر عیار متناسب با سطوح یادشده است که با استفاده از ضریب خط FD به صورت معادله درجه اول بیان شده است. این معادله امکان تفکیک جوامع بی‌هنجاری را براساس پیدایش اجزای متناظر و تغییر استقامت آن‌ها در نقطه عطف تابع فرکتال فراهم می‌کند. در این روش، پس از محاسبه فراوانی تجمعی سطوح پربندی، از مختصات لگاریتمی به‌منظور تبدیل معادله نمایی به رابطه خطی کمیت‌های C و A رابطه ۱ استفاده می‌شود. تغییرات ضریب خط معادله فرکتال، شاخص جداسازی کمیت‌های متناظر از یکدیگر است؛ به طوریکه به ازای میزان مختلف FD، تغییر محسوسی در روند نقاط هم استقامت به وجود می‌آید

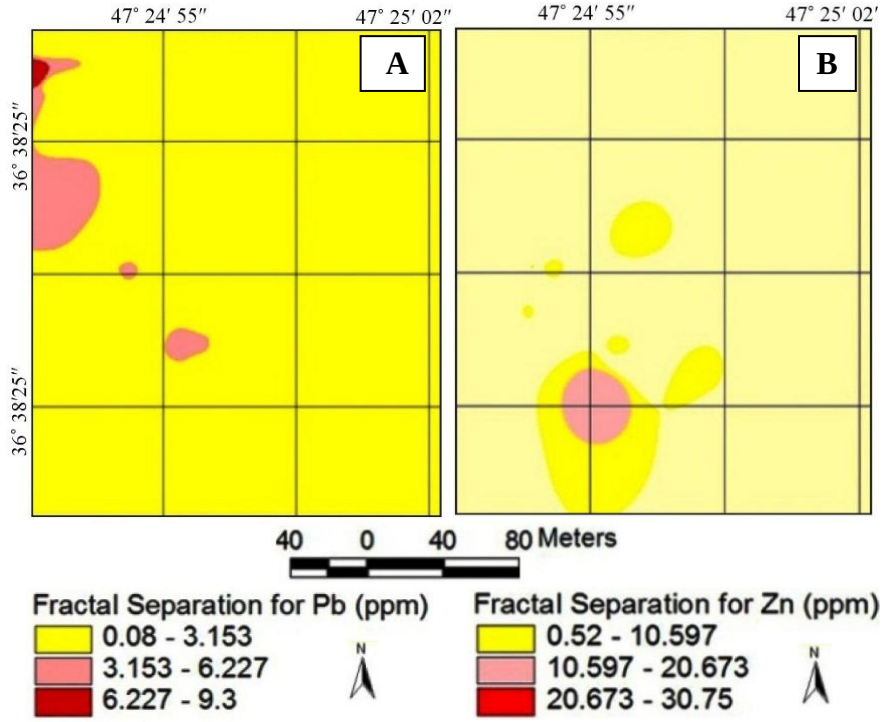
که با قطعه بندی داده‌ها در تابع چگالی فرکتال همراه است. هر قطعه به منزله معادله خط جداگانه ای است که دارای نقاط هم استقامت با الگوی توزیع خود سامانده است [۹].

شکل ۳، با نقشه پربندی سرب و روی انگوران با استفاده از روش کریگینگ و رعایت ابعاد سلولی ایزومتریک (۱۰۰ متر مربع) درون‌یابی شده‌اند و جوامع زمینه، آستانه و بی‌هنجاری را به روش فرکتال تفکیک شده نشان می‌دهند. نتایج تفکیک فرکتالی بی‌هنجاری‌ها، پس از درون یابی تغییرات عیار سرب و روی ارائه شده است. الگوی توزیع فرکتالی روی دارای قطعات نسبتاً مشابه است (اگرچه تفاوت‌هایی در شیب خط دو تابع دیده می‌شود)؛ اما الگوی توزیع فرکتالی سرب از تفاوت آشکاری برخوردار است که لزوم ناحیه بندی اکتشافی کانسار انگوران را توجیه می‌کند.

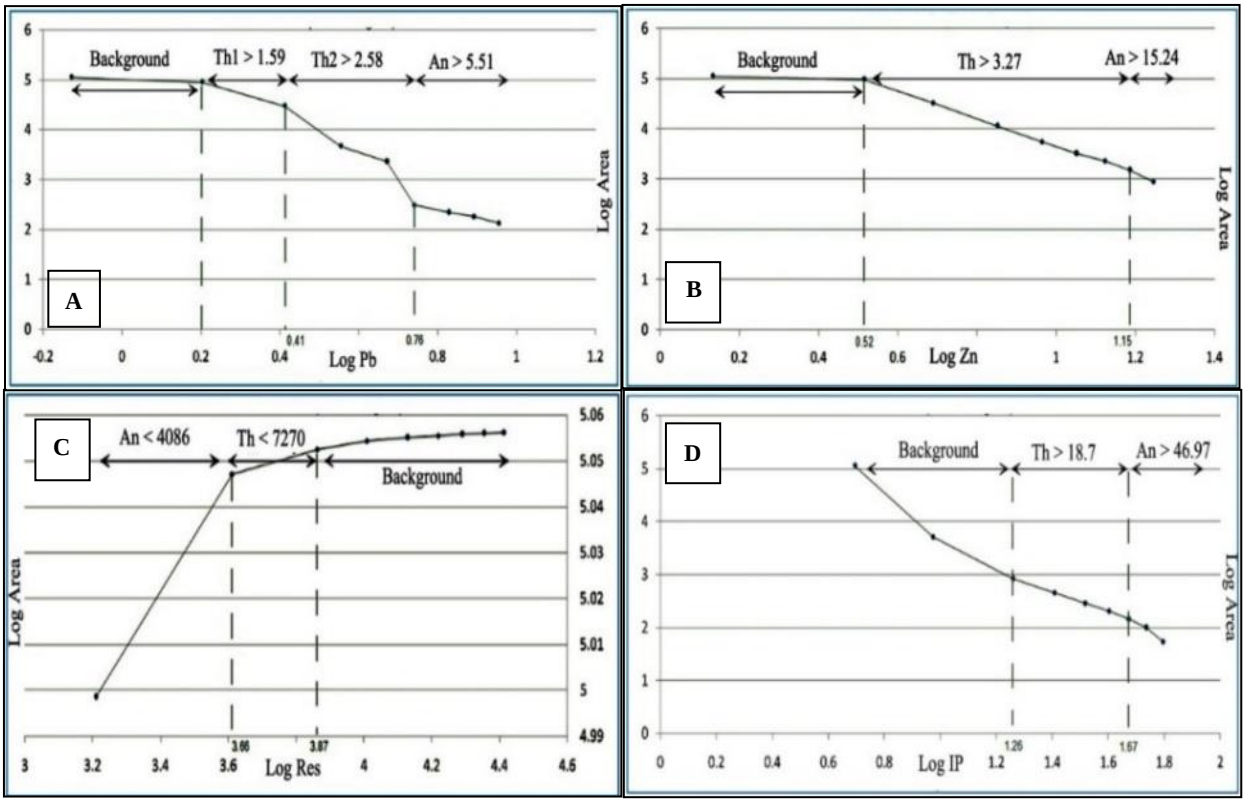
شکل (۴) تابع چگالی فرکتال را برای داده‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی سرب و روی نشان می‌دهند. در این شکل رهیافت جداسازی جوامع با استفاده از معادله عیار -مساحت و با تاکید بر نقاط هم استقامت است. حدود بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی در کانسار اکتشافی، با رعایت اصل مشابهت‌های زایشی و محاسبه تغییرات بعد فراکتال تفکیک شده‌اند. قطعه‌بندی عیار سرب در بیشتر از قطعه‌بندی عیار روی در شرق کانسار انگوران است. همانطوریکه مشاهده می شود قطعه‌بندی مقاومت ویژه القای الکتریکی در بخش‌های آنومالی اکتشافی به دلیل افزایش درجه رسانایی ترکیبات فلزی به روش وارونه انجام شده است. درحالی‌که قطعه‌بندی قطبش القایی برای شرق کانسار انگوران از روند عادی برخوردار بوده است و جوامع توزیع کمتری دارد.



شکل ۲- برازش پربندهای مقاومت ویژه الکتریکی با تغییرات عیار سرب (A) و روی (B) ؛ برازش پربندهای قطبش القای با تغییرات عیار سرب (C) و روی (D) شرق کانسار انگوران (IP = قطبش القایی و Res = مقاومت ویـژه الکتریکی)



شکل ۳- الگوی توزیع سرب (A) و روی (B) شرق کانسار انگوران با تفکیک جوامع زمینه، آستانه و بی‌هنجاری به روش فرکتال



شکل۴- تابع چگالی عیار- مساحت برای تفکیک بی‌هنجاری سرب (A)، روی (B)، مقاومت ویژه الکتریکی (C) و مقاومت قطبش القایی (D) در شرق کانسار انگوران (Background= زمینه، Th= آستانه، An= بی‌هنجاری، Res= مقاومت ویژه و IP= قطبش القایی)

۴. بحث و بررسی:

برازش بی‌هنجاری‌ها با نتایج به دست آمده از توزیع خطی سرب و روی (شکل‌های ۲) بیانگر وجود تفاوت‌های بارز در مکان و طبقه‌بندی عیار معدنی شرق کانسار انگوران است که راستی‌آزمایی آن با توجه به آثار کانه‌زایی شناخته شده در منطقه، وابسته به آزمون همبستگی جوامع فرکتالی و مقایسه آن با آماره‌های خطی است (جدول ۱). در این مقایسه، حد آستانه بی‌هنجاری‌ها پس از درج قطاع فرکتالی افزایش یافته و شناسایی مناطق امیدبخش را (دارای ناحیه‌بندی و توزیع عناصر کانساری مناسب) در فاصله اطمینان قابل قبول میسر می‌کند.

جدول ۱- همبستگی خطی و غیرخطی داده‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در شرق کانسار انگوران (IP=قطبش القایی، Res = مقاومت ویژه، CV = ضریب انطباق، Slope= شیب خط رگرسیون، Regression Coef. = ضریب همبستگی)

متغییرها		داده‌های آماری (روش خطی)			داده‌های آماری (روش غیرخطی)		
مستقل	وابسته	Regression Coef (ضریب همبستگی)	Slope (شیب خط رگرسیون)	CV ضریب انطباق	Regression Coef (ضریب همبستگی)	Slope (شیب خط رگرسیون)	CV ضریب انطباق
Pb	IP	۰/۰۰۹	۰/۳۲۲	۰/۰۹۵	۰/۹۹	۰/۵۹	۰/۹۹
Pb	Res	-۰/۰۱۸	-۲۶۱/۴۱۱	-۰/۱۳۶	-۰/۸۲	-۶۷/۸	-۰/۹۱
Pb	Zn	۰/۰۰۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	-۰/۹۳	-۰/۲	-۰/۹۶
Zn	IP	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۹۲	۰	۰	۰/۰۱۱
Zn	Res	۰/۰۷۸	۱۹۰/۰۸۱	۰/۲۸۱	۰/۶۹	-۵۹/۷۷	-۰/۸۳۲
Zn	Pb	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	-۰/۸۶	-۰/۰۶۲	-۰/۹۲۵

براساس مقایسه کمیت‌های جدول ۱، نکات زیر بدست می‌آید:

مقدار و نوع همبستگی متغییرها پس از درج ملاحظات فرکتال، تغییر می‌کند، به طوری که در بیشتر موارد با افزایش کمی ضرایب آماری مواجه هستیم.

تغییر علامت ضریب همبستگی در برخی موارد دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به تغییر علامت ضریب یاد شده در جفت‌های متغیرهای Pb/Zn، Pb/Res، Zn/Pb اشاره کرد.

در توزیع خطی عناصر کانساری (تیپومورفیک)، تغییرات نسبی Zn/Pb یا Pb/Zn مستقل از یکدیگرند (ضریب همبستگی سرب و روی نزدیک به صفر است). چنین تحلیل آماری با الگوی توزیع مکانی رگه‌های معدنی درهاله دگرسانی شرق کانسار انگوران مغایرت دارد (عدم مطابقت مشاهدات با محاسبات آماری).

الگوی توزیع غیرخطی Pb و Zb مؤید افزایش ضریب همبستگی در نسبت‌های Pb/Zn، Zn/Pb با علامت منفی است. در ذخایر اگزالاتیو (هم‌زاد با فعالیت‌های آتشفشانی)، احتمال کانه‌زایی سرب (در شرایط روی کانساری) و روی (در شرایط زیر کانساری) وجود دارد. بنابراین عیار کانه‌زایی سولفیدی با افزایش عمق‌هاله‌های دگرسانی نسبت مستقیم دارد و شاخص نسبی Pb/Zn با عمق کاهش می‌یابد. برتری این روش (فرکتال) آن است که از ویژگی کمیت‌های متناظر برای جداسازی جوامع بی‌هنجاری استفاده می‌کند. بنابراین احتمال افزایش ضرایب همبستگی و معنی‌دار شدن رابطه کمیت‌های ژئوفیزیکی با ژئوشیمیایی وجود دارد.

در شرق کانسار انگوران، تغییرات خطی و غیر خطی Zn/IP ثابت و نزدیک به صفر است. بنابراین براساس نتایج آماری، الگوی توزیع بی‌هنجاری روی، مستقل از تغییرات قطبش القایی است و امکان تفسیر آن‌ها وجود ندارد.

تغییرات خطی و غیرخطی Pb/Res بیانگر رابطه وارونه سرب با شاخص مقاومت ویژه الکتریکی است. در حالت همبستگی مستقیم سرب با مقاومت ویژه الکتریکی با افزایش عیار سرب، درجه رسانایی الکتریکی واحدهای مینرالیزه افزایش می‌یابد که از دیدگاه ژئوفیزیکی با احتمال پیدایش ذخایر

سرب با بافت متراکم و رگه‌ای مطابقت دارد و در حالت وارون و براساس شواهد عینی از شرق کانسار انگوران کانی‌سازی افشان و پراکنده در آن محتمل‌تر است.

عیار فرکتالی سرب و روی در شرق کانسار انگوران، متناسب با تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی است. روند ضریب همبستگی در این کانسار، با احتمال کانه‌زایی سرب (درون‌زاد-احیایی) در عمق رخساره‌های دگرسانی ارتباط دارد.

۵. نتایج:

بطورکلی روش فرکتالی دارای مزایای بیشتری نسبت به روش آمار کلاسیک است. همان طور که مشاهده شد نتیجه تفکیک جوامع آنومالی برای عناصر مختلف، مقادیر و محدوده های مختلفی را از دو روش نشان می دهد. در روش فرکتال عددهای بزرگتر و محدوده های کوچکتری نسبت به روش آماری مشاهده می شود؛ به دلیل اینکه در روش فرکتال ساختار فضایی داده‌ها نیز مورد توجه قرار می گیرد، در حالیکه در روش آماری اینگونه نیست. با توجه به محدوده های ناهنجاری به دست آمده برای عناصر سرب و روی انگوران به روش های آماری و فرکتالی مشخص شد که روش فرکتالی از قطعیت بیشتری نسبت به روش آماری برخوردار است. در روش آماری محدوده های بیشتری برای ناهنجاری های عناصر سرب و روی مشخص شده است در حالیکه روش فرکتالی با اعمال فرآیندی متفاوت محدوده های با صحت و دقت بیشتری را مشخص کرده است. با توجه به شواهد موجود، روش فرکتالی محدوده های ناهنجاری عناصر سرب و روی را بهتر از روش آماری مشخص می کند.

روش فرکتال با شناسایی دقیق مکان بی‌هنجاری بیشینه و مطابقت آن با سایر کمیت‌ها، موجب معنی‌دار شدن ضرایب همبستگی شده است و توالی کانه‌ها (سرب و روی) را بر اساس الگوی توزیع ژئوشیمیایی استنتاج می‌کند. بدین ترتیب از معادله لگاریتمی عیار - مساحت با هدف شناسایی جوامع متناظر ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی شرق کانسار انگوران استفاده شده که با مقایسه و تجمیع نقاط هم استقامت، تفسیری از تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی، قطبش القای الکتریکی و گرادیان‌های سرب و روی انجام شده است. بر اساس الگوی توزیع غیر خطی داده‌ها، نظم کانیایی حاکم بر شرق کانسار انگوران توسط یافته‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی قابل استنتاج است. در نتیجه کانه‌زایی سرب ودر پی آن غنی شدگی روی در ناحیه، اثر هاله‌های دگرسانی کانسار اکتشافی دور از انتظار نیست. در این ناحیه، بی‌هنجاری‌های سرب و روی هم‌پوشانی مکانی ندارند اما براساس نتایج فراکتال، گسترش هاله سرب، محدود به سطح تا اعماق کم کانسار بوده و با بیشتر شدن عمق ذخیره، احتمال کانه‌زایی روی (با بافت پراکنده) افزایش می‌یابد. هم‌یافتی گالن و اسفالریت در زمینه سرشار از کانی‌های اکسیدی-کربناتی (مطالعات اکتشافی معدن سرب و روی انگوران) بیانگر درستی معادله فرکتال در تفسیر یافته‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در گستره این اکتشاف است.

منابع:

[۱] Hirayama. K., ‘‘Geological study on the Anguran Mine, northwestern part of Iran’’, Geological Survey of Japan Report, Vol: 36, No: 226, pp. 1–26, 1968.

[۲] غضنفری ف.، ولیزاده م.، پیدایش و تکوین کانسار روی و سرب انگوران و سایر اندیس‌های شرق تکاب. دهمین گردهمایی علوم زمین، ص ۵، ۱۳۷۰.

[۳] Wang QF, Deng J, Wan L, Zhao J, Gong QJ, Yang LQ, Zhou L, Zhang ZJ (2008) Multifractal analysis of the element distribution in skarn-type deposits in Shizishan Orefield in Tongling area, Anhui province, China. Acta Geol Sin 82:896 – 905.

[۴] Hassanpour, S. and Afzal, P., ‘‘Application of concentration-number (CN) multifractal modelling for geochemical anomaly separation in Haftcheshmeh porphyry system, NW Iran’’, Arab J Geosci 6, doi:10.1007/s12517-011-0396-2, pp. 957–970, 2013.

[۵] Heidari, S.M. Ghaderi, M. and Afzal, P., ‘‘Delineating mineralized phases based on lithogeochemical data using multifractal model in Touzlar epithermal Au-Ag (Cu) deposit, NW Iran., Appl Geochem, 31,pp. 119–132, 2013.

[۶] Afzal, P., FadakarAlghalandis, Y., Khakzad, A., Moarefvand, P. and Rashidnejad-Omran N., ‘‘Delineation of mineralization zones in porphyry Cu deposits by fractal concentration–volume modeling’’, Journal of Geochemical Exploration, 108, pp. 220-232, 2011.

[۸] Nazarpour, A., Omran, N.R. and Paydar, G.R., ‘‘Application of multifractal models to identify geochemical anomalies in Zarshuran Au deposit, NW Iran’’, Arab J Geosci, doi: 10.1007/s12517-013-1183, pp. 1–13, 2013.

[۷] Afzal, P., ‘‘Dimensional fractal methods for the separation zones of porphyry deposits’’, Science and Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Tehran, Iran, 2010.

[۹] Mandelbrot, B., “Fractal Geometry of Nature”, W. H Freeman & Company, New York, 468 p., 2005.