

الگوی توزیع ژئوشیمیایی عمقی عیار طلا با استفاده از روش های فرکتالی به منظور پهنه بندی اهداف اکتشافی ناحیه ای در کانسار طلای زرشوران، تکاب، شمال غرب ایران

نعمت اله رشید نژاد عمران

بخش زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

قدرت اله رستمی پایدار

گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز

احمد نظربور

گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز

علی محرابی نژاد

مدیر مطالعات دفتر آب های زیر زمینی سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۱

تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۲۸

Ahad.nazarpour@gmail.com

چکیده

الگوی توزیع عمقی عناصر ژئوشیمیایی در برنامه های اقتصادی معادن بسیار مهم و ضروری می باشد. در این پژوهش ۴۴ گمانه اکتشافی کانهزا و غیر کانهزا در کانسار زرشوران، واقع در شمال غرب ایران، برای تشخیص و توصیف الگوی توزیع عمقی عیار طلا مورد استفاده قرار گرفتند. در این رابطه از مدل های فرکتال شمارش مربعات، فراوانی توان - قانون و ضریب هورست استفاده شده است. نتایج بدست آمده از مدل شماره مربعات نشان دهنده خود- تشابهی در گمانه های کانهزا و غیر کانهزا با بُعد فرکتال (B_d) ۱/۰۱ تا ۱/۷ می باشد، و این مقدار در گمانه های همراه با کانهزایی بیشتر از گمانه های غیر کانهزا می باشد. نتایج مدل فراوانی توان - قانون نشان دادند که توزیع عمقی عیار طلا در گمانه های همراه با کانهزایی دارای خاصیت فرکتال دوگانه می باشد، در حالی که در گمانه های بدون کانهزا خاصیت مونوفرکتال دارند. توزیع عمقی همراه با فرکتال دوگانه نشان دهنده چندین مرحله کانهزایی در کانسار زرشوران می باشد. ضریب هورست عیار طلا با استفاده از مدل برنامه نویسی شده در محیط ویژال بیسیک (VBA) بازده به مقیاس برای تمامی گمانه ها محاسبه گردید. دامنه تغییرات مقادیر ضریب هورست از ۰/۶۳ تا ۰/۹۲ می باشد، که در همه گمانه ها، بالاتر از ۰/۵ بوده و نشان دهنده یکنواختی و پیوستگی کانهزایی در کانسار زرشوران می باشد. همچنین مقدار ضریب هورست برای گمانه های فاقد کانهزایی مانند A4 نیز بزرگتر از ۰/۵ است، که گواه بر توزیع یکنواخت طلا در سنگ های دیواره می باشد. نتایج بدست آمده در هر کدام از روش های فوق نشان دادند که مدل های فرکتالی مذکور مستقل از همدیگر بوده و بنابراین می توان از آنها در اهداف اکتشافی سطحی استفاده نمود. کاربرد مدل های فرکتالی ارائه شده در این مطالعه ساده و سریع بوده و پهنه بندی اهداف اکتشافی سطحی بدون پردازش داده های مختلف زمین شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک صورت می پذیرد.

کلمات کلیدی: زرشوران، فرکتال، شمارش مربعات، فراوانی توان - قانون، ضریب هورست

مقدمه

روشی ساده و به راحتی قابل استفاده است (Kenneth, 1997). در دو دهه اخیر، مدل های فرکتالی به طور گسترده ای در مباحث فیزیکی و شیمیایی علوم زمین مورد استفاده قرار گرفته اند، بخصوص در اکتشافات ژئوشیمیایی و زمین شناسی اقتصادی مطالعات بسیار گسترده ای در جهت جداسازی مقدار زمینه از آنومالی، شکل هندسی آنومالی ها، توزیع فضایی داده ها، ساختار کانهزایی در کانسار و ارزیابی ذخیره صورت گرفته است. در این فصل، ابعاد فرکتالی از قبیل روش شمارش مربعات، توان - قانون فراوانی و ضریب هورست به منظور بررسی توزیع ژئوشیمیایی عمودی عنصر طلا و ارزیابی پیوستگی (تلسل) کانهزایی، بر اساس داده های گمانه های اکتشافی کانسار طلا زرشوران مورد استفاده قرار گرفته اند. به عبارت دیگر، این روش ها برای جداسازی مناطق همراه با کانهزایی و عقیم بکار گرفته شده اند (دارابی و همکاران، ۱۳۹۲)

هدف از این مطالعه پهنه بندی اهداف اکتشافی ناحیه ای در کانسار طلای زرشوران با استفاده از توزیع ژئوشیمیایی عمقی عیار طلا با تلفیق روش های نوین فرکتالی روش شمارش مربعات، مدل توان - قانون فراوانی، و ضریب هورست می باشد. بدین منظور از ۴۴ گمانه اکتشافی کانهزا و غیر کانهزا، برای تشخیص و توصیف الگوی توزیع عمقی عیار طلا مورد استفاده قرار گرفتند.

الگوی توزیع ژئوشیمیایی عناصر در گمانه های اکتشافی، از جمله پارامترهای مهم در ارزیابی کمی و کیفی منابع معدنی می باشد. در چند دهه اخیر، طبیعت توزیع ژئوشیمیایی عناصر در سنگ ها، به منظور دستیابی به قوانین ژئوشیمیایی جهانی به شدت مورد توجه قرار گرفته است. Ahrens (1966) پیشنهاد کرد که توزیع فراوانی عناصر نادر در سنگ ها و نهشته های معدنی، دارای چولگی مثبت بوده و می بایستی بواسطه قوانین لوگ نرمال توصیف شوند، در حالی که این خاصیت در عناصر اصلی پیچیده تر می باشد. به عنوان مثال توزیع سیلیکا در سنگ های سطحی اسیدی و بازی توزیع چند مدلی نشان می دهند (Richardson, 1923).

توزیع ژئوشیمیایی عناصر در گمانه ها، به مانند ساختارهای ژئوشیمیایی، سطحی، الگوی توان - قانون را از خود نشان می دهند، که می تواند با مدل های فرکتال انطباق داشته باشد (Sanderson et al., 1994). به طور کلی هندسه فرکتال دارای ویژگی های زیر می باشد. ۱- دارای ساختارهای متفاوت در مقیاس متفاوت می باشد ۲- هندسه اقلیدسی توانایی بیان کننده کلیه پیچیدگی های طبیعت را ندارد ۳- دارای خاصیت خود- مشابهت (مانایی) هستند (خود مانا از قسمت هایی تشکیل شده که هر قسمت شبیه کل مجموعه است) ۴- دارای بُعد هوسدرف می باشند که بیشتر از بُعد توپولوژیکی است ۵-

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار زرشوران در شمال باختری ایران و در ۴۹ کیلومتری شمال شهرستان تکاب و ۸ کیلومتری شمال خاوری روستای زرشوران قرار دارد (شکل ۱). این منطقه از نظر تقسیمات ساختمانی زمین شناسی در زون سندج سیرجان قرار می‌گیرد (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۸۰). پی سنگ منطقه شامل شامل دو مجموعه از سنگ‌های دگرگونی است، که مجموعه ایمان خان با ترکیب امفیبول - اپیدوت شیست، سرپانتینیت شیست، سرسیت کلریت شیست، کوارتز میکا شیستو کالک شیست در بخش زیرین و مجموعه چالداغ با ترکیب مرمر و کالک شیست در بخش فوقانی آن قرار دارد (قربانی، ۱۳۷۹: اجاقی، ۱۳۷۴). این مجموعه دگرگونی، ویژگی‌های رخساره شیست سبز را نشان می‌دهد (قربانی، ۱۳۷۹). واحد سنگی زرشوران به ته نشست‌های آهک نازک لایه، دولومیت، شیل و میکاشیست‌های سیاه رنگ روی واحدهای قدیمی قرار گرفته و سنگ میزبان اصلی کانسار را تشکیل می‌دهند. توف و ریولیت‌های اسیدی قره‌دانش که هم ارز خروجی گرانتیت دوران محسوب می‌شود، روی واحد زرشوران قرار می‌گیرند (کریمی، ۱۳۷۲). در بخش باختری منطقه واحدهای دولومیتی معادل با سلطانیه، شیل و دولومیت معادل با سازند باروت و زاگون و ماسه سنگ لالون به طور همشیب روی واحد ریولیتی قره‌دانش قرار گرفته‌اند. پس از نبود ته‌نشینی طولانی از اردوسین تا الیگوسن، پیشروی دریای الیگومیوسن موجب ته‌نشست کنگلومرای بنفش، شیل میکا دار و ماسه سنگ‌های آهکی الیگومیوسن (معادل سازند قم) روی واحدهای قدیمی‌تر شده است (Mehrabi, 1997). بخش آهکی واحد قم در تغییرات جانبی به آهک ریفی تبدیل می‌شود که حاوی قطعات خارتنان، مرجان‌ها و دوکفه‌ای فراوانی است. نهشته‌های آواری معادل با سازند سرخ فوقانی متشکل از تناوب‌های ماسه سنگ‌های آهکی سرخ، رس، مارن و میکروکنگلومرا، جدیدترین واحد رسوبی دریایی منطقه را تشکیل می‌دهد، و گدازه‌های آتشفشانی جوان از جنس آندزیت تا تراکی آندزیت با شیب ملایمی روی سازند سرخ فوقانی قرار می‌گیرند. نهشته‌های چشمه‌های آب گرم از نوع تراورتن در برخی از مناطق رخنمون‌هایی را تشکیل داده‌اند که نشانگر فعالیت گرمایی در منطقه است (علوی نائینی و عمیدی، ۱۳۶۱). در کانسنگ طلای زرشوران مجموع ذخایر طلا با در نظر گرفتن عیار حد حدود ۰/۳ گرم بر تن در کلاس‌های مختلف حدود ۲۳ میلیون تن با عیار متوسط ۴/۲۴ گرم بر تن می‌باشد که شامل ۹۸ تن طلا است. بر اساس مطالعات انجام شده کانی‌سازی طلا در کانسار زرشوران از جهاتی مشابه کانسار اپی‌ترمال پراکنده در سنگ‌های رسوبی و به ویژه در کربنات‌ها یعنی تیپ کارلین می‌باشد. چهار نوع کانسنگ اقتصادی در زرشوران شناسایی شده است که بر اساس موقعیت و نحوه قرارگیری به دو دسته کم شیب شامل برش‌ها و تکنونیت‌های کانه دار و آهک پودری چالداغ (مرمر ماسه‌ای) و پرشیب شامل گوژ سیاه گسلی حاوب اورپیمنت، ژاسپروئید، و رآلگار می‌باشند (Asadi et al., 2000)

مدل‌های فرکتالی
روش شمارش مربعات

روش شمارش مربعات، یکی از رایج‌ترین روش‌ها در محاسبه بُعد فرکتالی سیگنال‌ها، تصاویر، پروفیل‌ها و منحنی‌ها می‌باشد. این روش می‌تواند به منظور اندازه‌گیری پیوستگی توزیع فضایی مورد استفاده قرار گیرد که می‌توان آن را با استفاده از نرم افزار GIS و یا نرم افزار متلب Matlab انجام داد. در صورتی که توزیع فضایی از رفتار فرکتالی تبعیت کند، ارتباط بین تعداد مربعات و طول طلع مربعات دارای رابطه توان - قانون می‌باشند.

$$N(\delta) \propto \delta^{-B_d}$$

که می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$\log[N(\delta)] = C - B_d \log(\delta)$$

که δ تعداد مربعات و سلول‌های هر ضلع بوده، و حاوی مقدار عیار عنصر می‌باشد، C مقدار ثابت بوده و B_d بُعد فرکتال شمارش مربعات است. شبکه‌های جداگانه با اندازه‌های متفاوت، با استفاده از الحاقیه X-Tools در محیط GIS، برای پوشش کل لایه رستری عیار نمونه‌ها در نظر گرفته شد. پس از جدایش عیارهای احاطه شده، در جدول توصیفی، مشخص و در نهایت نمودار لگاریتمی و ترسیم خط رگرسیون نمودار حاصله، B_d قابل برآورد است. به دلیل پروفیل گمانه‌ها در فضای دو بعدی محدوده B_d از ۱ تا ۲ می‌باشد.

مدل توان - قانون فراوانی

پژوهش‌های بسیار زیادی نشان داده‌اند که توزیع ژئوشیمیایی عناصر از یک رابطه توان - قانون تبعیت می‌کند.

$$N(\delta) \propto \delta^{-P_d}$$

که می‌توان نوشت:

$$\log[N(\delta)] = C - P_d \log(\delta)$$

که $N(\geq C)$ - شماره نمونه‌های با مقادیر بیشتر از C

C - مقدار ثابت

D - بُعد فرکتال

ضریب هورست

ضریب هورست، اولین بار توسط هورست شناسایی شد، که در مقاله - ای تحت عنوان "ظرفیت مخازن در بلند مدت" (Hurst (1951) ارائه گردید و به طور مستقیم وابسته و مرتبط با بُعد فرکتال می‌باشد که در واقع درجه ناهمگنی یک فرآیند (طبیعت) دارای خاصیت فرکتالی را اندازه می‌گیرد. در ضریب هورست، H ، پارامتری مانا می‌باشد، که وابستگی بلند مدت در سری‌های زمانی را اندازه‌گیری می‌کند، در واقع همبستگی بین داده‌ها در سری‌های زمانی را بیان می‌کند. مطالعات آماری نشان داده‌اند که پدیده‌های طبیعی دارای ضریب هورست بالاتر از ۰/۵ می‌باشند و می‌توان گفت که با افزایش مقادیر ضریب هورست خصوصیات پدیده نرم‌تر و یکنواخت‌تر می‌شود. در حالی که با کاهش ضریب هورست جزئیات این ضریب پیچیده‌تر می‌شوند.

مقادیر مورد انتظار هورست، بین صفر تا ۱ می‌باشند:

۱- در حالی که ضریب هورست برابر ۰/۵ باشد، نشان دهنده تصادفی بودن داده‌های نقطه‌ای (نمونه‌های برداشت شده) است.

۲- در حالی که ضریب هورست بزرگتر از ۰/۵ باشد، پایداری داده‌ها را نشان می‌دهد.

۳- در حالی که ضریب هورست کوچکتر از ۰/۵ باشد، نشان دهنده ناپایداری داده‌ها می‌باشد.

بحث و نتایج
توزیع فراوانی عیار طلا

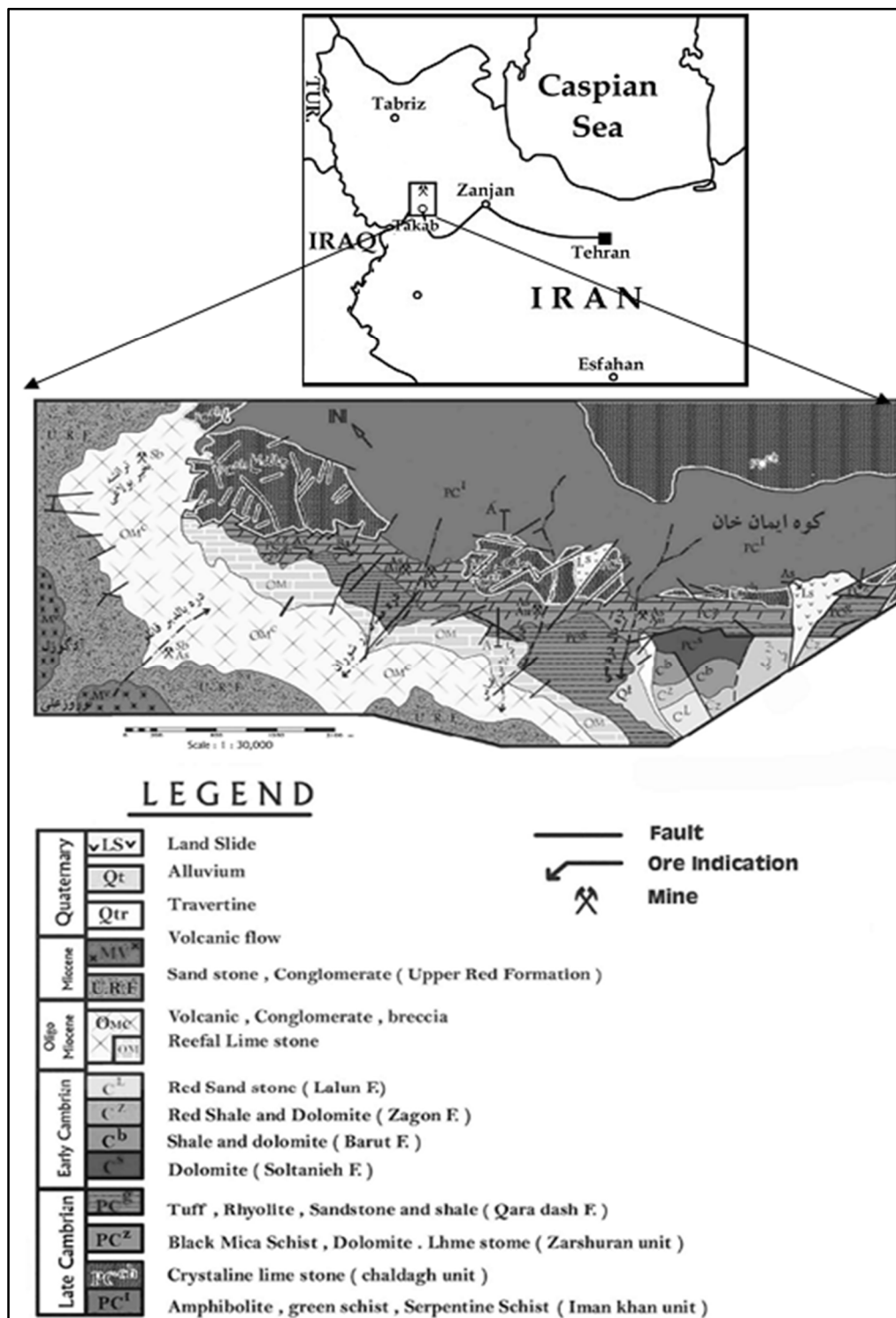
بر اساس مجموعه داده‌های مربوط به گمانه‌های اکتشافی کانسار طلا زرشوران، میانگین، انحراف استاندارد، ضریب واریانس عیار طلا بر حسب (ppm) در (جدول ۱) ارائه شده‌اند.

بُعد فرکتال شمارش - مربعات توزیع عیار طلا

روش‌های متنوعی برای محاسبه بُعد فرکتال مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر کدام از این روش‌ها بر پایه یک یا چند ویژگی وابسته به مقیاس فرکتالی استوار می‌باشند. در این پژوهش، مقادیر عیار طلا بر اساس عمق و عیار، به عنوان داده‌های بُرداری به محیط GIS وارد شده، و با استفاده از جعبه ابزار تبدیل در الحاقیه X-Tools، به فایل رستر تبدیل شدند.

مقادیر بُعد فرکتالی محاسبه شده، نشان دهنده ناهمگنی تقریبی توزیع عمقی عیار طلا در کانسار زرشوران می‌باشند. بعلاوه، گمانه‌هایی که نزدیک به فعالیت‌های قدیمی معدن هستند، آنهایی که دارای بیشترین ضخامت از شیل زرشوران و آهک چالداغ، و مقدار میانگین بالاتری از عیار طلا هستند، بُعد فرکتالی بیشتری از خود نشان می‌دهند.

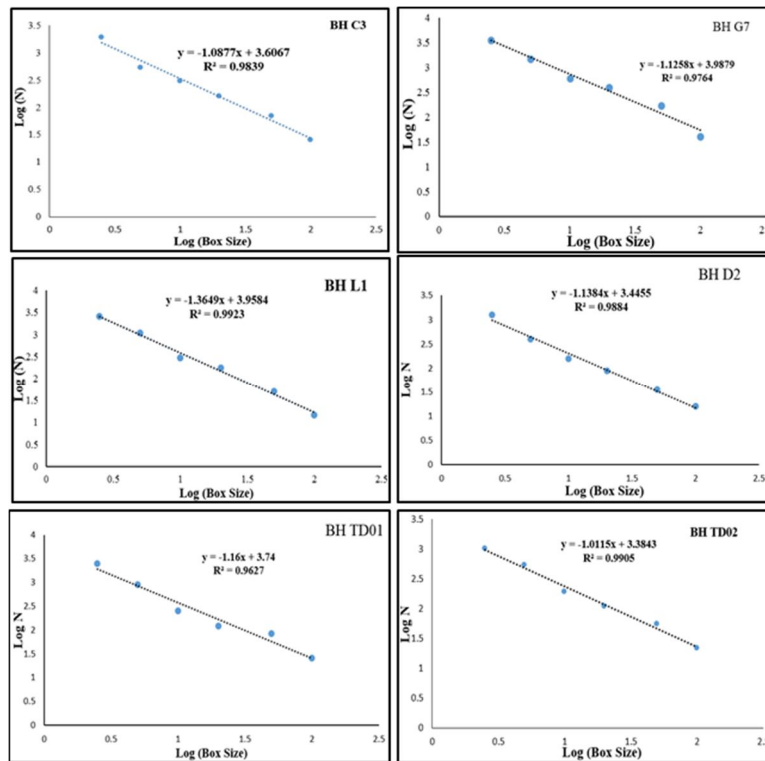
در نهایت نمودار لگاریتمی اندازه سلول‌ها، در مقابل تعداد سلول‌ها، در محیط اکسل تهیه گردید (شکل ۲). شیب خط برآزش شده از بین داده‌ها در نمودار بیانگر بُعد فرکتالی B_d می‌باشد. در این مطالعه محدوده B_d از ۱/۰۱ تا ۱/۷ به ترتیب مربوط در گمانه‌های TD02 و TD18، با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۶ می‌باشد (جدول ۲).



شکل ۱. نقشه زمین شناسی کانسار زرشوران (صمیمی، ۱۳۷۰)

جدول ۱. نتایج آمار توصیفی گمانه‌های اکتشافی در کانسار زرشوران.

گمانه	تعداد نمونه	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات
A4	۴۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲	۰/۱	۰	۰
B3	۲۹	۰/۰۱۵	۸/۹۵	۱/۲۷	۱/۹۶	۴
BHZ-11	۹	۰/۰۱۵	۱۳/۵۶	۳/۰۴	۴/۳۷	۱۹/۱۱
C3	۹۴	۰/۰۰۱۵	۹/۰۵	۱/۰۲	۱/۸۸	۳/۵۴
D2	۷۶	۰/۰۰۱۵	۹/۵	۱/۲۸	۱/۹۸	۳/۹۲
G7	۶۷	۰/۰۰۱۵	۱۶۳۰	۱/۹	۳/۵۷	۱۲/۷۶
L1	۱۷۱	۰/۰۰۱۵	۴۵/۷۲	۱/۴۸	۴/۹۱	۲۴/۰۸
J3	۱۷۵	۰/۰۰۱۵	۱۳۴۸	۱/۸۳	۱/۷۷	۳/۱۶
J5	۱۳۵	۰/۰۱	۵۵/۱۸	۱/۸۱	۴۵۷	۲۹/۷
L4	۲۵۶	۰/۰۱۵	۱۱۰	۱/۸۷	۲/۳۱	۵/۳۴
TD01	۶۷	۰/۰۱	۹/۶۸	۱/۱۷	۲/۳۴	۵/۴۷
TD02	۱۳۴	۰/۰۰۵	۱۵/۸۸	۰/۳۷	۱/۴۳	۲/۰۴
TD03	۱۷۴	۰/۰۰۵	۳۳/۷۶	۲/۱۲	۴/۷	۲۲/۰۶
TD04	۱۸۹	۰/۰۰۵	۴۸/۶۴	۲/۹۸	۵/۱۵	۲۶/۴۹
TD05	۲۱۹	۰/۰۰۵	۳۱/۳۶	۱/۵۸	۴/۰۳	۱۶/۲۶
TD06	۱۶۶	۰/۰۰۵	۳۵/۳۲	۱/۸۹	۴/۷۵	۲۲/۵۳
TD07	۲۰۹	۰/۰۰۵	۸۵/۵	۰/۸۶	۶/۰۷	۳۷/۸۸
TD08	۱۴۵	۰/۰۰۵	۱۲/۸۸	۰/۶۸	۱/۴۳	۲/۰۳
TD09	۱۶۸	۰/۰۰۵	۷۳/۷۵	۲/۸۶	۷/۱۸	۵۱/۵۲
TD10	۹۲	۰/۰۰۵	۱۰۰	۳/۵۵	۱۰/۸۳	۱۱۷/۲۶
TD11	۸۳	۰/۰۰۵	۱۱۶/۲۵	۹/۴۲	۲۲/۹۲	۵۲/۵/۲
TD12	۷۲	۰/۰۰۵	۲۹/۶	۱/۲۳	۴/۹۹	۲۴/۹۴
TD13	۷۰	۰/۰۰۵	۳/۸۷	۰/۳۱	۰/۸۳	۰/۵۳
TD14	۶۴	۰/۰۰۵	۲۶	۲/۳	۵/۳۶	۲۶/۶۹
TD15	۱۷۵	۰/۰۰۵	۲۰/۴۹	۰/۳۴	۱/۷۵	۳/۰۵
TD16	۱۷۱	۰/۰۰۱۵	۴۱/۲۸	۰/۸۹	۴/۶۶	۲۱/۷
TD17	۱۹۴	۰/۰۰۱۵	۱/۸۴	۰/۴۲	۱/۴۷	۲/۱۷
TD18	۲۰۳	۰/۰۰۱۵	۱۲/۲۶	۰/۳۲	۰/۹۸	۰/۹۶
TD19	۲۰۵	۰/۰۰۱۵	۵۹/۲۹	۱/۰۴	۵/۳۶	۲۸/۷۷
TD20	۱۵۴	۰/۰۰۱۵	۲۷/۰۵	۰/۸۳	۲/۷۸	۷/۷۲
TD21	۲۰۵	۰/۰۰۱۵	۳۶/۹۴	۰/۴۳	۲/۷۲	۷/۴
TD22	۲۳۲	۰/۰۰۱۵	۴۲/۴۴	۱/۱	۳/۶۷	۱۳/۵
TD23	۹۲	۰/۰۰۱۵	۱۲/۰۸	۰/۵	۱/۹۳	۳/۷۲
TD24	۱۰۷	۰/۰۰۱۵	۰/۹	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۱
TR02	۶۸	۰/۰۰۵	۰/۲۹	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۰
TR03	۷۰	۰/۰۰۵	۲۲/۲۶	۴/۰۱	۴/۸۸	۲۳/۸
ZB-1	۱۱۵	۰/۰۰۵	۷۰/۳۰	۱/۳۷	۶/۸۶	۴۷/۰۴
ZB-2	۱۳۴	۰/۰۱	۷۰/۳۶	۵/۱۶	۷/۸۷	۶۱/۹
ZB-3	۷۸	۰/۰۱	۱۰/۱۳	۰/۹۳	۱/۷۲	۲/۹۶
ZB-4	۱۶۵	۰/۰۱	۳/۵۲	۰/۱۹	۰/۳۸	۰/۱۴
ZB-5	۹۴	۰/۰۱	۴/۳	۰/۵۱	۰/۷۸	۰/۶
ZB-6	۱۰۶	۰/۰۱	۲/۸۴	۰/۴۸	۲/۸۴	۸/۰۹
ZB-7	۱۲۳	۰/۰۱	۵۹/۶	۱/۰۱	۶/۰۶	۳۷/۳



شکل ۲. نمودار لگاریتمی تعداد مربعات در مقابل اندازه مربعات در برخی گمانه ها

جدول ۲. بعد فرکتال گمانه‌ها در روش شمارش مربعات، توان-قانون فراوانی و ضرب هورست

بعد شمارش مربعات			توان- قانون فراوانی					ضرب هورست		
BH	بعد	R ²	بعد ۱	R ²	نقطه شکست	بعد ۲	R ²	Hurst	D	R ²
A4	۱/۱۱	۱								
B3	۱/۱۵	۱	۰/۳	۰/۹۳	۱/۲۵	۱/۱	۱	۰/۸۶	۱/۱۴	۰/۹۵
BHZ-11	۱/۳۲	۱						۰/۹۳	۱/۰۷	۰/۹۶
C3	۱/۰۸	۱	۰/۲	۰/۹۵	۲/۵	۲/۰۷	۱	۰/۶۷	۱/۳۳	۰/۹۸
D2	۱/۱۳	۱	۰/۴۹	۰/۹۸	۵/۰۱	۳/۴	۰/۹	۰/۷۲	۱/۳۸	۰/۹۶
G7	۱/۱۲	۱	۰/۱۷	۰/۹۶	۱/۱۴	۰/۹۹	۰/۹	۰/۹۴	۱/۰۶	۰/۹۴
L1	۱/۳۶	۱	۰/۲۷	۰/۹۳	۱/۳۱	۱/۰۹	۱	۰/۸۹	۱/۱۱	۰/۹۶
J3	۱/۱۳	۱	۰/۲	۰/۹۷	۱/۱۵	۱/۰۴	۱	۰/۹۳	۱/۰۳	۰/۹۹
J5	۱/۳۴	۱	۰/۱	۰/۹۸	۱/۱۳	۱/۳۲	۱	۰/۹۲	۱/۰۸	۰/۹۹
L4	۱/۳۲	۱	۰/۳۱	۰/۹۴	۱/۲۵	۱/۰۱	۱	۰/۹	۱/۱	۰/۹۸
TD01	۱/۱۶	۱	۰/۱۸	۰/۹۶	۰/۱۱	۰/۸	۱	۰/۹۳	۱/۰۷	۰/۹۹
TD02	۱/۰۱	۱	۰/۲۳	۰/۹۷	۰/۱۲	۰/۹۹	۱	۰/۶۹	۱/۳۱	۰/۹۸
TD03	۱/۳۴	۱	۰/۲	۰/۹۸	۱/۲۵	۱/۰۳	۰/۹	۰/۹۶	۱/۰۴	۰/۹۹
TD04	۱/۳۲	۱	۰/۱۷	۰/۹۷	۲/۵	۱/۷	۰/۹	۰/۹۷	۱/۰۳	۰/۹۷
TD05	۱/۱۲	۱	۰/۳۵	۰/۹۵	۱/۳	۱/۷۲	۰/۹	۰/۷۵	۱/۲۵	۰/۹۶
TD06	۱/۱۴	۱	۰/۳	۰/۹۶	۲/۵	۱/۰۹	۰/۹	۰/۶۴	۱/۳۶	۰/۹۶
TD07	۱/۰۹	۱	۰/۴۷	۰/۹۶	۱/۲۵	۰/۸۸	۱	۰/۶۹	۱/۳۱	۰/۹۴
TD08	۱/۰۳	۱	۰/۵۹	۰/۹۸	۲/۱۲	۱/۲۶	۱	۰/۹۲	۱/۰۸	۰/۹۸
TD09	۱/۳۵	۱	۰/۱۹	۰/۹۵	۱/۴۱	۱/۱۱	۱	۰/۹۷	۱/۰۳	۰/۹۴
TD10	۱/۳۶	۱	۰/۱۳	۰/۸۸	۱/۲۵	۱/۰۶	۱	۰/۹۳	۱/۰۷	۰/۹۶
TD11	۱/۴۱	۱	۰/۱۸	۰/۸۹	۱۲/۵	۱/۲۷	۰/۹	۰/۹۱	۱/۰۹	۰/۹۶
TD12	۱/۱۶	۱						۰/۷۶	۱/۲۴	۰/۹۶
TD13	۱/۰۱	۱	۰/۲۲	۰/۹	۰/۱۵	۰/۸۸	۰/۹	۰/۷۳	۱/۲۷	۰/۹۸
TD14	۱/۲۶	۱	۰/۳۷	۰/۹۲	۶/۳	۱/۴۲	۰/۹	۰/۸۴	۱/۱۶	۰/۹۸
TD15	۱/۰۳	۱						۰/۸۵	۱/۱۵	۰/۹۷
TD16	۱/۱۶	۱						۰/۸۲	۱/۱۸	۰/۹۸
TD17	۱/۰۶	۱	۰/۳	۰/۹	۱/۲۵	۱/۲۳	۰/۸	۰/۶۵	۱/۳۵	۰/۹۹
TD18	۱/۰۳	۱	۰/۲۷	۰/۹	۰/۳۱	۱/۱۸	۱	۰/۷۲	۱/۲۸	۰/۹۶
TD19	۱/۱۴	۱						۰/۸۷	۱/۳۳	۰/۹۹
TD20	۱/۱	۱/۹۸	۰/۲	۰/۹۵	۵/۰۱	۰/۹۷	۱	۰/۸۹	۱/۱۱	۰/۹۹
TD21	۱/۱۲	۱	۰/۳۲	۰/۹۷	۰/۳۹	۰/۸۹	۰/۹	۰/۸۱	۱/۱۹	۰/۹۸
TD22	۱/۲۶	۱	۰/۲۲	۰/۹۱	۰/۴۵	۰/۹۱	۱	۰/۹۱	۱/۰۹	۰/۹۴
TD23	۱/۰۳	۱						۰/۶۳	۱/۳۷	۰/۹۹
TD24	۱/۰۳	۱	۰/۶	۰/۹۶	۰/۱	۱/۵۲	۱	۰/۶۸	۱/۳۲	۰/۹۸
TR02	۱/۴۵	۱						۰/۹۷	۱/۰۳	۰/۹۵
TR03	۱/۳۴	۱	۰/۱	۰/۹	۵/۰۱	۱/۹۷	۱	۰/۹۳	۱/۰۷	۰/۹۵
ZB-1	۱/۲۶	۱	۰/۱۴	۰/۹۲	۰/۲	۰/۷۲	۱	۰/۹۴	۱/۰۶	۰/۹۶
ZB-2	۱/۴۶	۱	۰/۱۶	۰/۹۵	۶/۳	۱/۸۱	۱	۰/۹۲	۱/۰۸	۰/۹۸
ZB-3	۱/۰۳	۱	۰/۱۷	۰/۹۵	۰/۲۵	۰/۸۸	۱	۰/۷۶	۱/۲۴	۰/۹۸
ZB-4	۱/۱۲	۱	۰/۳	۰/۹۷	۰/۵	۱/۴۸	۱	۰/۹۵	۱/۰۵	۰/۹۵
ZB-5	۱/۱۹	۱	۰/۱۸	۰/۹۳	۰/۴	۰/۶	۱	۰/۹۴	۱/۰۶	۰/۹۶
ZB-6	۱/۰۸	۱	۰/۲۵	۰/۹۸	۰/۶۴	۰/۸۹	۱	۰/۷۲	۱/۲۸	۰/۹۸
ZB-7	۱/۳	۱	۰/۱۸	۰/۹۹	۰/۴	۰/۷۹	۱	۰/۷۱	۱/۲۹	۰/۹۶

توزیع توان - قانون فراوانی عیار طلا

نتایج بدست آمده از مدل توان - قانون فراوانی، برای کلیه گمانه‌های اکتشافی، در (جدول ۱) و (شکل ۳) ارائه شده است. نمودارهای لگاریتمی مقدار فراوانی تجمعی تعداد داده‌ها، در مقابل عیار طلا، نشان دهنده رفتار فرکتال دوگانه توزیع طلا در اکثر گمانه‌ها و همچنین رفتار مونو فرکتال در برخی از گمانه‌ها می‌باشد (جدول ۲). لازم به ذکر است، برخی گمانه‌ها که دارای مقدار میانگین عیار پایینی هستند، مانند TD13 و TD18، رفتار فرکتالی دوگانه از خود نشان می‌دهند. از طرف دیگر، گمانه‌هایی مانند BHZ-11 و TD12، دارای میانگین عیار میانگین عیار قابل ملاحظه‌ای بوده، و رفتار مونوفرکتال از خود نشان می‌دهند. بنابراین خاصیت فرکتال دوگانه اکثر گمانه‌های کانسار زرشوران نشان از چندین مرحله کانه‌زایی در این کانسار می‌باشد.

بعد فرکتال بزرگتر، نشان دهنده همگن بودن کانه زایی است. این موضوع را می‌توان چنین بیان نمود، بعد فرکتال از فراوانی عیار طلا قابل تخمین بوده، و می‌تواند بیان کننده نسبت عیار طلا باشد. به عبارت دیگر، بعد فرکتالی بزرگتر، نشان دهنده این است که تعداد کمتری از عیارهای طلا از مقادیر ویژه از طلا در نقطه شکست بزرگتر هستند. بدین معنی که مقدار عیار طلا در طول گمانه به آرامی تغییر کرده، و نشان دهنده همگن بودن کانه‌زایی می‌باشد (Zuo et al., 2009). ضریب تغییرات (CV) که حاصل انحراف استاندارد تقسیم بر مقدار میانگین است، نشان دهنده درجه تغییرات عیار طلا می‌باشد. همچنین در مواردی که ضریب تغییرات و ضریب واریانس به یکدیگر نزدیک باشند، نشان دهنده تغییرات اندک و آرام عیار طلا در طول گمانه می‌باشد (Wang et al., 2008). بنابراین بعد فرکتال کانه‌زایی دارای رابطه معکوس با مقدار ضریب تغییرات می‌باشد. (شکل ۴) نشان دهنده خط رگرسیون رابطه بین بعد فرکتال و ضریب تغییرات در گمانه‌ها می‌باشد.

ضرایب هورست

در این پژوهش، به منظور محاسبه ضرایب هورست توزیع عیار طلا در ۴۴ گمانه اکتشافی کانسار زرشوران از روش R/S استفاده شده است (جدول ۲ و شکل ۵). دامنه تغییرات مقادیر ضریب هورست از ۰/۶۳ تا ۰/۹۲ می‌باشد، که در همه گمانه‌ها، بالاتر از ۰/۵ بوده و نشان دهنده یکنواختی و پیوستگی کانه‌زایی می‌باشد (جدول ۲). مقدار ضریب هورست برای گمانه‌های فاقد کانه‌زایی مانند A4 نیز بزرگتر از ۰/۵ است، که گواهِ بر توزیع یکنواخت طلا در سنگ‌های دیواره می‌باشد. ضریب هورست گمانه‌ها دارای همبستگی پیرسون ۰/۰۹، ۰/۰۵، ۰/۱۷ و ۰/۹۹- در مقابل مقدار میانگین عیار طلا، ضریب تغییرات،

B_H و D دارند که نشان دهنده مستقل بودن هر یک از پارامترهای موجود می‌باشد. لازم به است B_H و D متغیرهای مقادیر تک بعدی بوده و در محدوده ۱ تا ۱/۵ متغییر بوده، و دارای تفاسیر و مفاهیم زمین‌شناختی متفاوت و منحصر به فرد می‌باشند. به طور کلی مدل فرکتالی فراوانی - اندازه بیشتر بر روی توزیع فراوانی داده‌ها تمرکز دارد و بعد فرکتال این توزیع در ارتباط با نسبت مقادیر بالاتر می‌باشند. بعد فرکتال شمارش مربعات وضعیت پراکنش فضایی عیار Au را در طول گمانه اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین D وابسته به توزیع ناپیوسته متغییر می‌باشد، در پژوهش حاضر مقادیر بالای D نشان دهنده عدم پیوستگی عیار Au بوده، در حالی که مقادیر پایین D نشان دهنده پیوسته بودن عیار طلا در گمانه‌ها می‌باشند. مقادیر B_H وابسته به شدت توزیع عیار عناصر بوده و در مطالعه حاضر مقادیر بالای B_H نشان دهنده تمرکز

Au می‌باشند در حالی که مقادیر پایین B_H نشان دهنده پراکنندگی توزیع عیار طلا می‌باشد.

پهنه‌بندی اهداف اکتشافی

به منظور تفسیر پارامترهای مختلف از جمله میانگین عیار طلا، ضریب تغییرات، B_H، D، ضرایب هورست و رفتار فرکتال دوگانه و چند گانه، همراه با کانه‌زایی طلا، همه پارامترها، برای هر گمانه در امتداد خطوط اکتشافی که در برگیرنده زون‌های کانه‌زایی، سنگ‌های دیواره می‌باشند در محدوده کانسار زرشوران انجام شده است. ضرایب هورست بالا (معادل مقدار پایین D)، میانگین عیار بالا و مقادیر پایین B_H نشان دهنده توزیع عمقی عیار طلا در گمانه‌های همراه با کانه‌زایی می‌باشند. در طرف مقابل، ضرایب هورست پایین (معادل با D بالا)، ضریب تغییرات بالای عیار طلا نشان دهنده سنگ‌های دیواره می‌باشند. بنابراین، مقدار میانگین، ضریب تغییرات، B_H، D و ضریب هورست عیار طلا دارای رابطه مستقیم با کانه‌زایی طلا بوده و راهنمای خوبی برای جدایش زون‌های پتانسیل دار می‌باشند. ضریب هورست و B_H دارای همبستگی مثبت با زون‌های همراه با کانه‌زایی در کانسار طلا زرشوران می‌باشند. بنابراین مقادیر B_D > ۱/۲ و ضریب هورست بالاتر از ۰/۸۵ برای پیش بینی اهداف اکتشافی مناسب هستند. به منظور اثبات و نشان دادن فرضیه بالا که می‌توان از مدل‌های فرکتالی برای شناسایی اهداف اکتشافی استفاده نمود و پارامترهای آماری و رفتارهای فرکتالی توزیع طلا در هر یک از گمانه‌ها محاسبه شده است. مقادیر بدست آمده به منظور درون‌یابی مکان‌های مجهول مورد استفاده قرار گرفتند همه نقشه‌های دورن‌یابی شده با استفاده از روش کریجینگ در محیط GIS انجام شدند (شکل ۶). نتایج بدست آمده نشان دادند که محل معدن قدیمی معدن و همچنین دره مال درسی بهترین محدوده‌های اهداف اکتشافی می‌باشند. این نتایج دارای انطباق خوبی با نتایج ارائه شده از مدل سازی ژئوفیزیکی - ژئوشیمیایی انجام شده می‌باشد (Asadi et al., 2000).

نتایج

در این بخش سه مدل فرکتالی شامل بعد روش شمارش مربعات، توان - قانون فراوانی و ضریب هورست، به منظور بررسی ناهمگنی یا پیوستگی کانه‌زایی طلا در محدوده کانسار زرشوران مورد استفاده قرار گرفتند. الگوی توزیع عیار طلا در ۴۴ گمانه اکتشافی مورد بررسی قرار گرفتند. روش‌های آماری مرسوم و زمین‌آمار بر روی داده‌های گمانه‌ها می‌توانند در ساختارهای کانه‌سازی و متالورژیکی مورد استفاده قرار بگیرند. از طرف دیگر مدل‌های فرکتالی ساده ارائه شده در این بخش روش‌های کاربردی و ساده‌ای هستند که در جهت پهنه‌بندی و پیش بینی اهداف اکتشافی با استفاده از کمترین گمانه‌های اکتشافی قابل استفاده هستند. نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر را می‌توان به صورت موارد زیر خلاصه نمود:

۱- روش شمارش مربعات نشان داد که توزیع عمقی طلا در گمانه‌های همراه با کانه‌زایی و انواع فاقد کانه‌زایی (سنگ‌های دیواره) خاصیت خود مانایی داشته که دامنه تغییرات B_D، ۱/۰۱ تا ۱/۴۵ می‌باشد. بعد فرکتال روش شمارش مربعات بیان کننده این است که، گمانه‌های با مقدار میانگین عیار بالاتر، دارای بعد فرکتال بیشتری بوده و نشان دهنده نقش فرآیندهای کانه‌زایی متعددی است که باعث ناهمگنی در توزیع عمقی طلا شده‌اند.

۲- مدل سازی توان - قانون فراوانی نشان داد که پراکنش عمقی طلا در گمانه‌ها ساختار فرکتال دوگانه و مونوفرکتال از خود نشان می‌دهند.

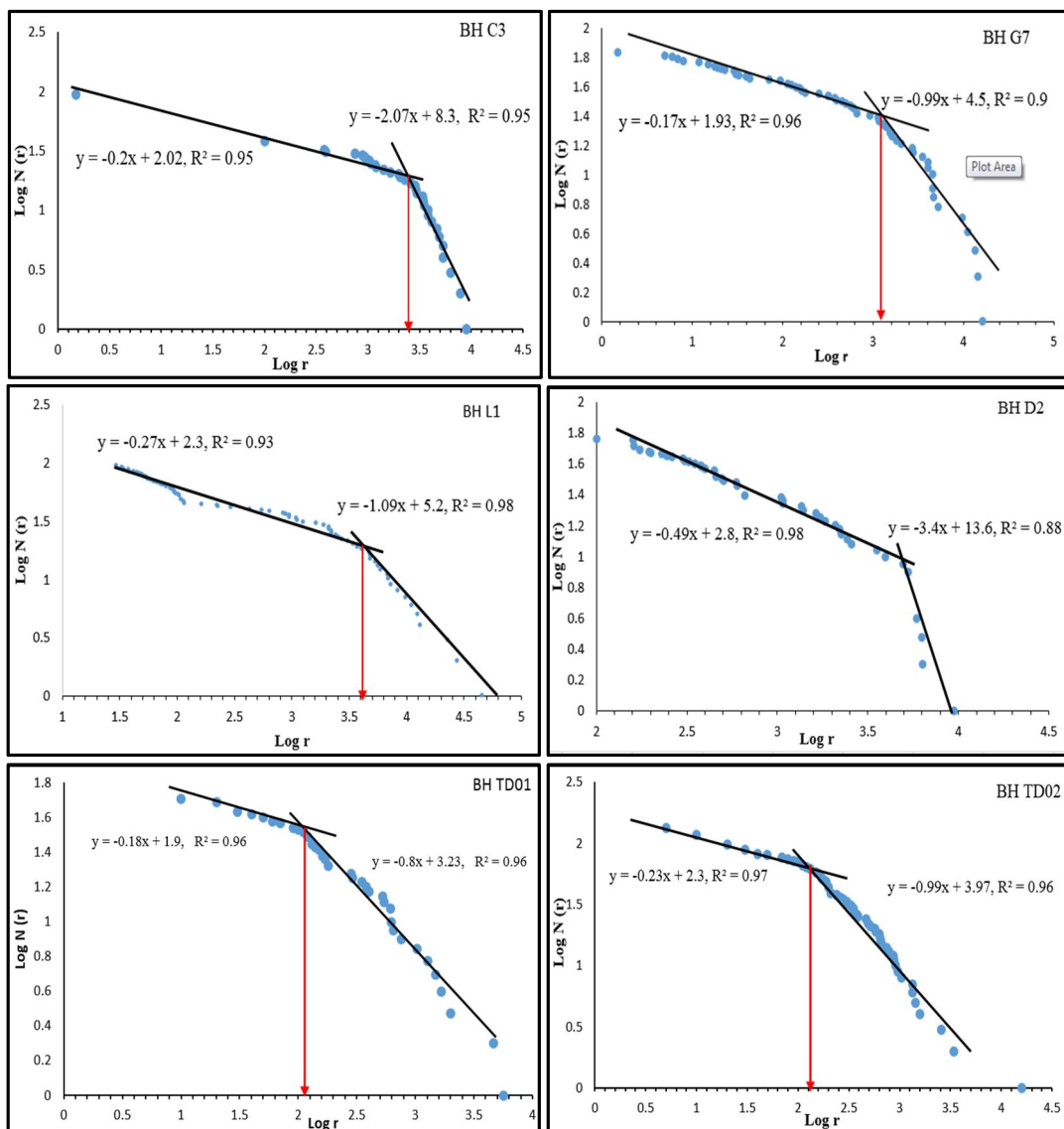
اهداف اکتشافی دقیق‌تر در محدوده زرشوران مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که مقدار میانگین و ضریب تغییرات عیار طلا برای پیش بینی اهداف اکتشافی سطحی کاربرد دارند، در صورتی که مقادیر بالا $Bd (>1/25)$ و ضریب هورست $(>0/85)$ برای اهداف اکتشافی عمقی مفید می‌باشند.

۵- روش‌های ارائه شده ساده بوده و بدون استفاده از داده‌های زمین شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی می‌توانند به طور مستقیم در پیش بینی اهداف اکتشافی مفید واقع شوند. داده‌های حاصل از ابعاد فرکتالی روش شماره مربعات و ضریب هورست داده‌های تک مقداری می‌باشند که می‌توانند با همدیگر در پیش بینی اهداف اکتشافی با داده‌های کافی مفید می‌باشند، در حالی که مدل‌های چندفرکتالی/فرکتال دوگانه زمانی که داده‌ها و تعداد گمانه‌ها کم پشت هم باشند می‌توانند مفید و قابل اعتماد باشند.

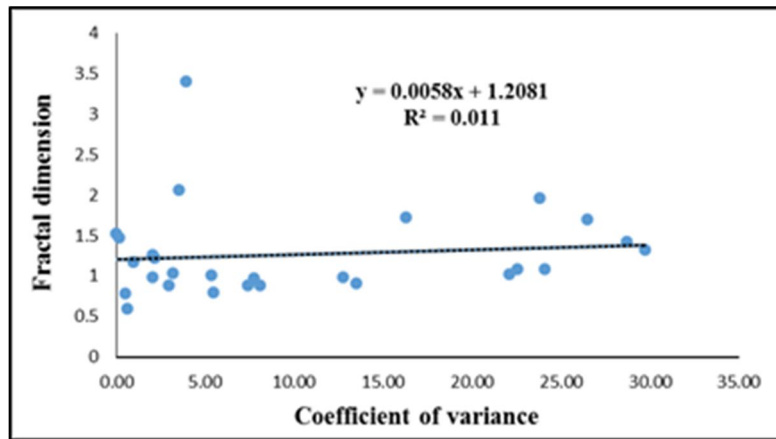
ساختار مونو فرکتال معمولاً در گمانه‌هایی دیده می‌شود که به طور کامل فاقد کانه‌زایی هستند و یا اینکه ساختار پیوسته‌ای از لحاظ کانه‌زایی از خود نشان می‌دهند. بنابراین، تحلیل توان- قانون فراوانی می‌تواند به طور مستقیم برای تشخیص وجود کانه‌زایی در مناطقی با کمترین میزان گمانه اکتشافی می‌تواند بسیار مفید واقع شود.

۳- در این پژوهش، ضریب هورست توزیع ژئوشیمیایی طلا، در گمانه‌های همراه با کانه‌زایی بالاتر از $0/85$ بوده که نشان دهنده پیوستگی خوب کانه‌زایی در عمق کانساز زرشوران می‌باشد. بنابراین در این مطالعه مقادیر بالاتر از $0/8$ می‌تواند برای اهداف اکتشافی مورد استفاده قرار گیرد.

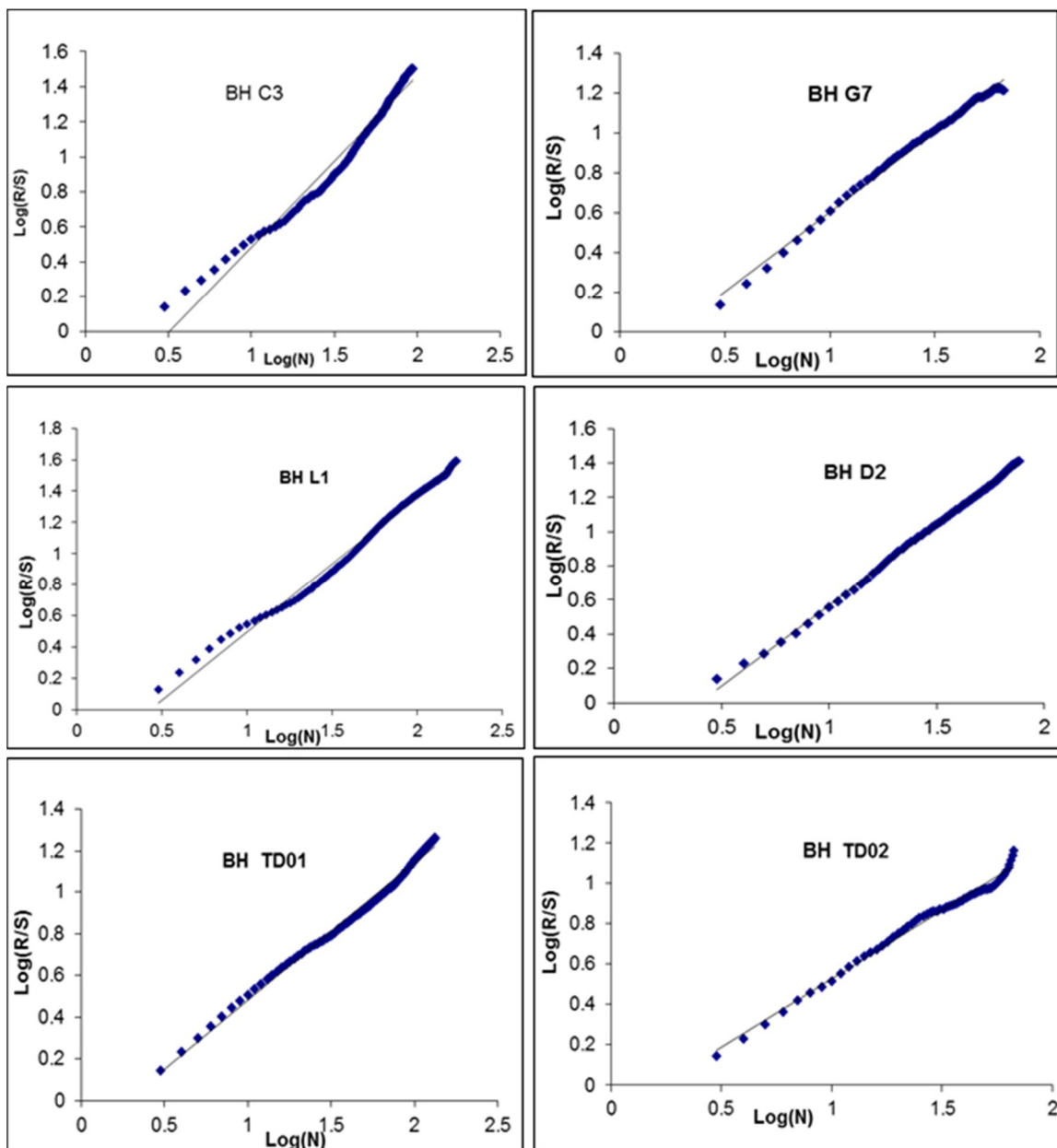
۴- ضریب هورست، مقدار میانگین، ضریب تغییرات، Bd متغیرهای مستقل می‌باشند. نقشه‌های درون‌یابی شده از مقدار میانگین عیار طلا، ضریب تغییرات، Bd ، ضریب هورست و متغییر $(H+Bd)$ برای



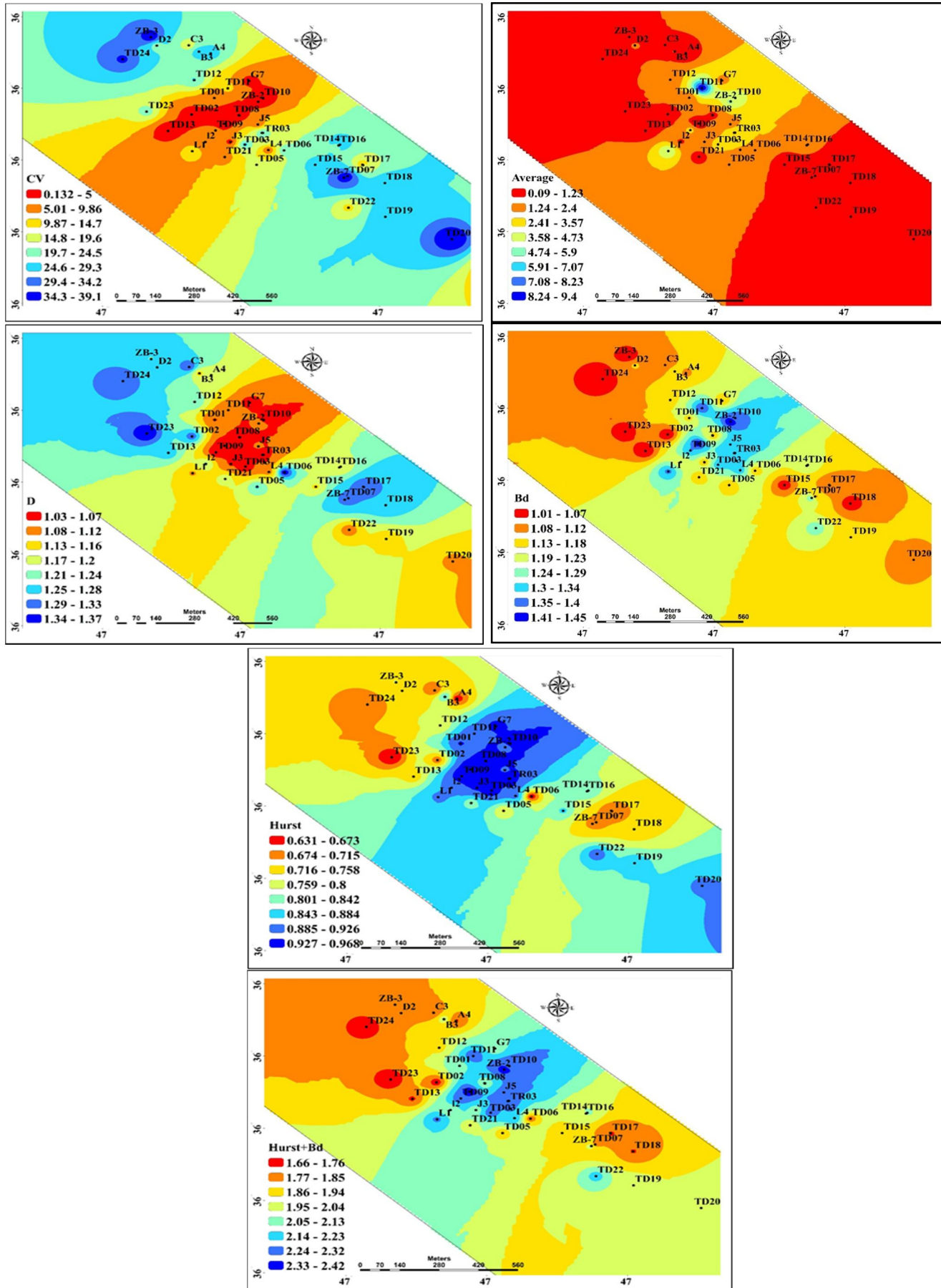
شکل ۳. نمودار لگاریتمی فراوانی تجمعی در مقابل طلا در برخی از گمانه‌ها



شکل ۴. نمودار بُعد فرکتال در مقابل ضریب تغییرات همراه با خط رگرسیون



شکل ۵. نمودار لگاریتمی R/S در مقابل تعداد نمونه‌ها در برخی از گمانه‌ها



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی اهداف اکتشافی عیار طلا بر اساس تحلیل آماری (میانگین، ضریب تغییرات) و مدل‌سازی فرکتالی (بعد فرکتال شمارش مربعات، ضریب هورست، D، و مجموع H+Bd در گمانه‌های اکتشافی)

منابع

- اباصلت، ف.، هزارخانی، الف.، ۱۳۹۲، جدایش آنومالی زمین شیمیایی از زمینه به روش فرکتال عیار-مساحت (منطقه انگوران، شمال غربی ایران، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۹، ص ۴۳-۵۳.
- اجاقی، ب.، ۱۳۷۵، زمین شناسی اقتصادی و بررسی شکل توده کانسار طلای زرشوران (شمال تکاب)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- باباخانی، ع. ر.، قلمقاش، ج.، ۱۳۸۰، گزارش زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش تخت سلیمان، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- دارابی، ف.، هزارخانی، الف.، زارع، م. ر.، ۱۳۹۲، شناسایی محدوده آنومالی U-235 با روش هندسه فرکتال بر روی شبکه تخمین یافته از روش کریجینگ در محدوده تالاب انزلی، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۰، ص ۶۴-۷۲.
- کریمی، م.، ۱۳۷۲، مطالعات سنگ شناسی، کانی شناسی و نحوه تشکیل کانسار طلا و آرسنیک زرشوران (تکاب)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- قربانی، م.، ۱۳۷۹، ماگماتیسیم و متالوزنی منطقه تکاب، پایان نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- صمیمی، م.، ۱۳۷۰، گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ ناحیه معدنی زرشوران، مهندسین مشاور معدنکاو، گزارش داخلی
- علوی نائینی، م.، عمیدی، م.، ۱۳۶۱، گزارش زمین شناسی ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش تکاب-صائین قلعه، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- Asadi, Harooni, H., 2000. The Zarshuran gold deposit model applied in a mineral exploration GIS in Iran. PH.D. Thesis, Delft university, The Netherlands
- Ahrens, L.H., 1954. The lognormal distribution of the elements (a fundamental law of geochemistry and its subsidiary). *Geochim. Cosmochim. Acta* 5, 49-73.
- Hurst, H. E. 1951, Long-term storage capacity of reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineering*, 116, 770-808.
- Kenneth, F., 1997. *Techniques in Fractal Geometry*. John Willey and Sons.
- Li, C., Xu, Y., Xu, Y., Jiang, X., 1994. The fractal model of mineral deposits. *Geol. Zhejiang* 10 (25), 25-32 (In Chinese with English Abstract).
- Mehrabi, B., 1997. Genesis of Zarshuran gold deposit, NW Iran. Unpublished PhD thesis, University of Leeds, Leeds, UK
- Richardson, W.A., 1923. The frequency distribution of igneous rocks. Part II: the laws of distribution in relation to petrogenetic theories. *Mineral. Mag.* 20, 1-4.
- Sanderson, D.J., Roberts, S., Gumiel, P., 1994. A Fractal relationship between vein thickness and gold grade in drill core from La Codosera, Spain. *Economic Geology* 89:168-173.
- Wang, Z., Cheng, Q., Xu, D., Dong, Y., 2008. Fractal Modeling of Sphalerite Banding in Jinding Pb-Zn Deposit, Yunnan, Southwestern China. *J. China Univ. Geoscience Journal*. 19, 77-84.
- Zuo, R., Cheng, Q., Xia, Q., 2009. Application of fractal models to characterization of vertical distribution of geochemical element concentration. *Journal of Geochemical Exploration* 102, 37-43.