

بررسی توزیع عیار آهن در گمانه‌های اکتشافی کانسار سنگ آهن زاغیای بافق، با استفاده از روش فرکتالی عیار-تعداد

بهنام صادقی*، پرویز معارفوند^۱، پیمان افضل^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

۲- استادیار دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- عضو هیات علمی گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

(*عهده دار مکاتبات - behnam.miner2009@gmail.com)

چکیده

در اکتشافات عمقی یکی از مهمترین اهداف جدایش زون‌های اصلی کانی‌سازی از یکدیگر می‌باشد. روش‌های سنتی مبتنی بر لاگینگ دستی مغزه‌های حفاری جواب مناسبی در این زمینه نمی‌دهند زیرا مبتنی بر شواهد زمین‌شناسی چون سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری هستند. امروزه روش‌های فرکتالی کاربرد بسیاری در جدایش آنومالی‌ها و زون‌های گوناگون کانی‌سازی در کانسارهای گوناگون دارند. در این مقاله سعی شده‌است با استفاده از روش فرکتالی عیار-تعداد توزیع عیار آهن در برخی گمانه‌های کانسار سنگ آهن زاغیای بافق در جهت عمودی مورد بررسی قرار گرفته و در مورد زون‌های کانه‌سازی پژوهش شود. این مطالعات بخوبی نشان داد که جدایش زون‌ها براساس داده‌های زمین‌شناسی در گمانه‌ها جواب صحیحی نداده و حتی در مواردی سنگ آهن بعنوان متاسوماتیت معرفی شده‌است. در بیشتر گمانه‌ها حالت مونوفرکتالی یعنی سنگ دیواره با عیار پایین و نیز کانی‌سازی آهن دیده شد و تنها در دو گمانه شماره ۷ و شماره ۲۳ حالت مولتی فرکتالی دیده شد که نشانگر زون‌بندی در این گمانه‌ها است.

واژگان کلیدی: زاغیا، فرکتال، عیار-تعداد، کانی‌سازی آهن، بافق.

۱- مقدمه

امروزه ریاضیات به عنوان ابزاری قدرتمند در اختیار طبیعی‌دانان، بخصوص زمین‌شناسان برای توصیف فرآیندهای موجود در طبیعت قرار دارد؛ لذا از آنجایی که هندسه اقلیدسی قادر به بیان پیچیدگیهای طبیعت نیست، در قرون ۱۶ و ۱۷ میلادی، لوباجفسکی و ریمان هندسه غیراقلیدسی را مطرح نمودند که بعدها پایه هندسه فرکتال گردید (افضل، ۱۳۸۹). در سال ۱۹۸۳ هندسه فرکتال توسط پروفیسور بنویت ماندلبروت بنیان نهاده شد (Mandelbrot, 1983). در سال ۱۹۸۶ Turcotte نشان داد که بین میزان ذخیره تجمعی در یک کانسار با عیارهای متوسط بخش‌های مختلف آن رابطه‌ای فرکتالی وجود دارد (Turcotte, 1997). در سال ۱۹۹۱ Meng و Zhao وجود ساختارهای فرکتالی در داده‌های زمین‌شناسی را بیان نمودند (Meng and Zhao, 1991). Agterberg و همکارانش در سال ۱۹۹۳ برای نخستین بار در مورد مدل‌های فرکتالی تیپ‌های گوناگون کانسارها مباحثی را مطرح کردند، لیکن نخستین کار بزرگ در این زمینه توسط Cheng و همکارانش در سال ۱۹۹۴ برای جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی و زمینه از یکدیگر به روش‌های عیار-مساحت و عیار-محیط بود، که بر روی کانسار مس-طلا پی‌ریزی Mitchel-Sulphurets در بریتیش کلمبیای کانادا انجام شد (Agterberg and et al., 1993 and Cheng and et al., 1994). بر اساس این روش‌ها، روش‌های جدیدتری همچون عیار-فاصله، عیار-محیط، Power-Law Frequency و Zhou و همکارانش در سال ۲۰۰۹ و روش‌های مبتنی بر طیف توان، توسط Ali و همکارانش

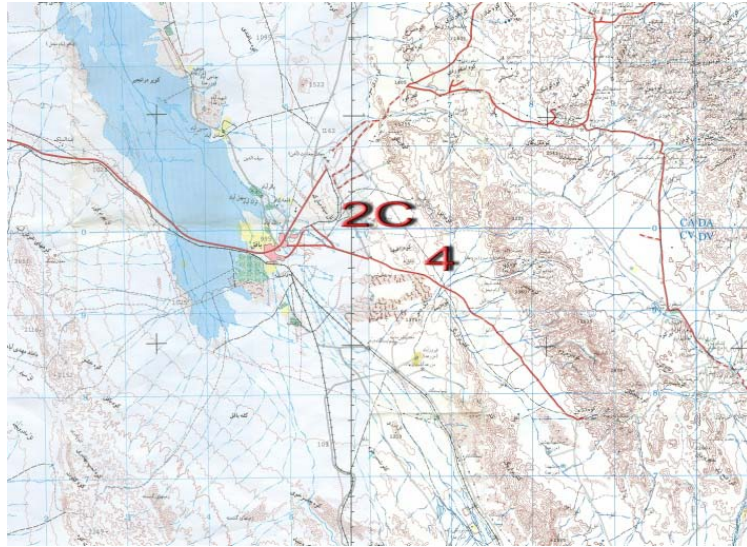
در سال ۲۰۰۷ ارائه شد (Li and et al., 2003; Zuo and et al., 2009; Khaled and et al., 2007; Mao and et al., 2004). در این میان، روش‌های عیار- مساحت، عیار- محیط، عیار- تعداد و طیف توان- مساحت در علوم زمین و در تحلیل اشکال پیچیده زمین‌شناسی بسیار کاربرد دارند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که روش‌های فرکتالی برای جدایش زون‌های ژئوشیمیایی و کانی زایی در اکتشاف معدن، زمین‌شناسی اقتصادی و ژئوفیزیک و ... کاربرد دارند.

یکی از روش‌های مهم در این میان روش فرکتالی عیار-تعداد ارایه‌شده توسط Mao و همکاران در سال ۲۰۰۴ است که کاربرد گسترده‌ای در جداسازی جوامع زمین‌شناسی یافته‌است (Mao and et al., 2004). باتوجه‌به اینکه توزیع فرکتالی عناصر در جهت گمانه‌ها برای جدایش زون‌های کانی‌سازی در آن‌ها در سال ۲۰۰۹ در کانسار مس پورفیری Qulong ثبت مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داد که استفاده از روش‌های فرکتالی کمک زیادی به بررسی وضعیت کانی‌سازی در امتداد گمانه‌ها می‌نماید، در این مقاله از این روش برای جدایش زون‌های کانه‌سازی از سنگ‌های عقیم در برخی از گمانه‌های حفاری در کانسار سنگ‌آهن زاغیای بافق استفاده شده‌است. براساس تعداد آنالیزهای انجام‌شده و لاگینگ زمین‌شناسی، گمانه‌های ۱ و ۴ و ۷ و ۱۳ و ۱۵ و ۱۹ و ۲۱ و ۲۳ جهت بررسی در نظر گرفته شدند.

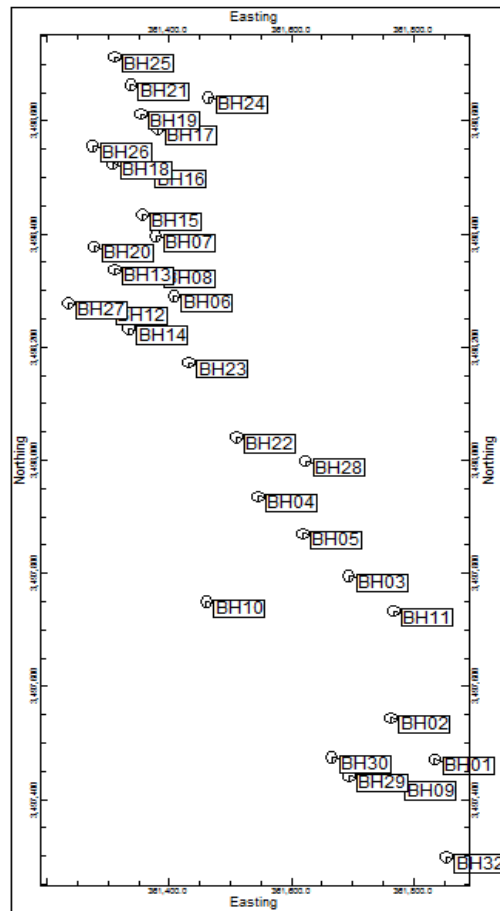
۲- مشخصات منطقه مورد مطالعه

آنومالی سنگ آهن 2C یا کانسار آهن زاغیا، در استان یزد در فاصله ۱۲۰ کیلومتری خاور شهرستان یزد و ۱۵ تا ۱۷ کیلومتری خاور شهرستان بافق قرار دارد؛ همچنین این آنومالی در فاصله ۱۲ کیلومتری جنوب خاوری معدن سنگ آهن چغارت قرار گرفته است (شکل ۱). مطالعات اکتشافی انجام شده در آنومالی زاغیا با کشف این آنومالی توسط عملیات مغناطیس سنجی هوایی در بلوک بافق- زرد آغاز گردید. عملیات اکتشافی سیستماتیک در سال‌های ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۷ با اجرای عملیات مغناطیس سنجی زمینی، گرانی سنجی و حفر گمانه انجام شد. در محدوده زاغیا یک نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ تهیه شده بود و عملیات مگنتومتری در همین مقیاس در منطقه انجام شده است [۲]. در سال‌های اخیر اکتشافات تفصیلی توسط شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران انجام شده و در منطقه تعداد ۳۲ گمانه اکتشافی و ۴ ترانشه حفر گردیده‌است (شکل ۲).

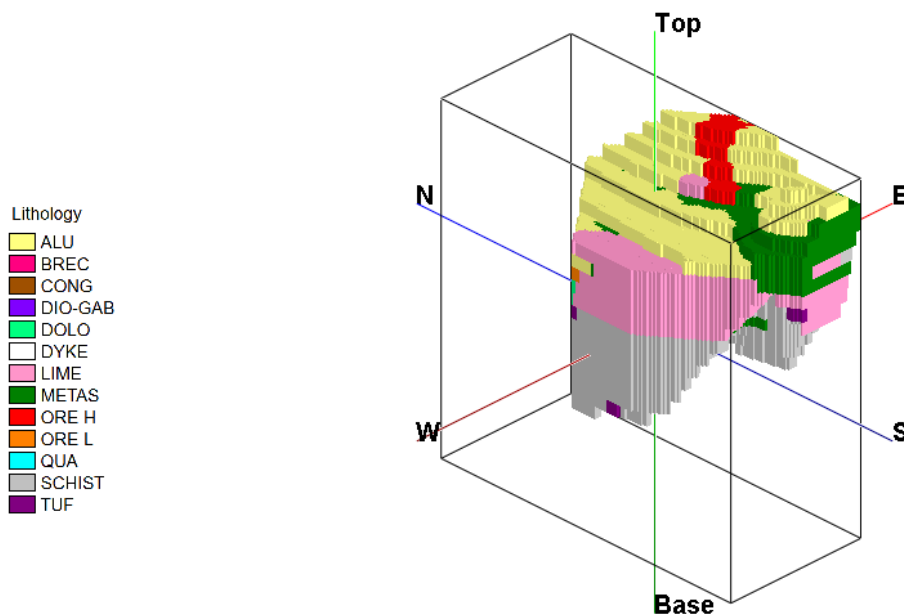
وضعیت ظاهری سنگ آهن 2C به دوشکل رخنمون‌های کوچک سطحی و ذخیره عمقی دیده می‌شود. بیشترین ذخیره این آنومالی در زیر پوششی از رسوبات آبرفتی قرار گرفته است. در این آنومالی تنها در محدوده خاوری، رخنمون کوچکی از سنگ آهن قابل مشاهده است. ارتفاع پست‌ترین نقطه ۱۱۱۴ متر و بلندترین نقطه ۱۲۴۹ متر از سطح دریای آزاد است. از دیدگاه ریخت‌شناسی این کانسار از دو بخش رسوبات آبرفتی و نیمه‌کوهستانی تشکیل شده‌است. بخش اصلی و عمده این کانسار از رسوبات آبرفتی دوران چهارم زمین‌شناسی تشکیل شده که کاملاً مسطح است. این رسوبات آبرفتی توسط آبراهه‌هایی با روند شمال باختری- جنوب خاوری و شمال خاوری- جنوب باختری قطع می‌شوند. آنومالی 2C از سمت شرق به ارتفاعات محدود می‌شود [۲]. براساس مدلسازی سنگ‌شناسی کانسار که با استفاده از نرم‌افزار RockWorks 15 صورت گرفته‌است، مشخص شده که کانی‌سازی پریکار سنگ‌آهن براساس مطالعات صرف زمین‌شناسی در مناطق سطحی و در محدوده مرکزی کانسار دیده می‌شود. براساس این مدل بخش بزرگی از سنگ‌های منطقه شیست و سنگ‌آهک است (شکل ۳).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ راور



شکل ۲: موقعیت گمانه‌های حفاری در کانسار زاغیا



شکل ۳: مدل سه بعدی سنگ شناسی کانسار زاغیا

۳- معرفی روش فرکتالی عیار- تعداد

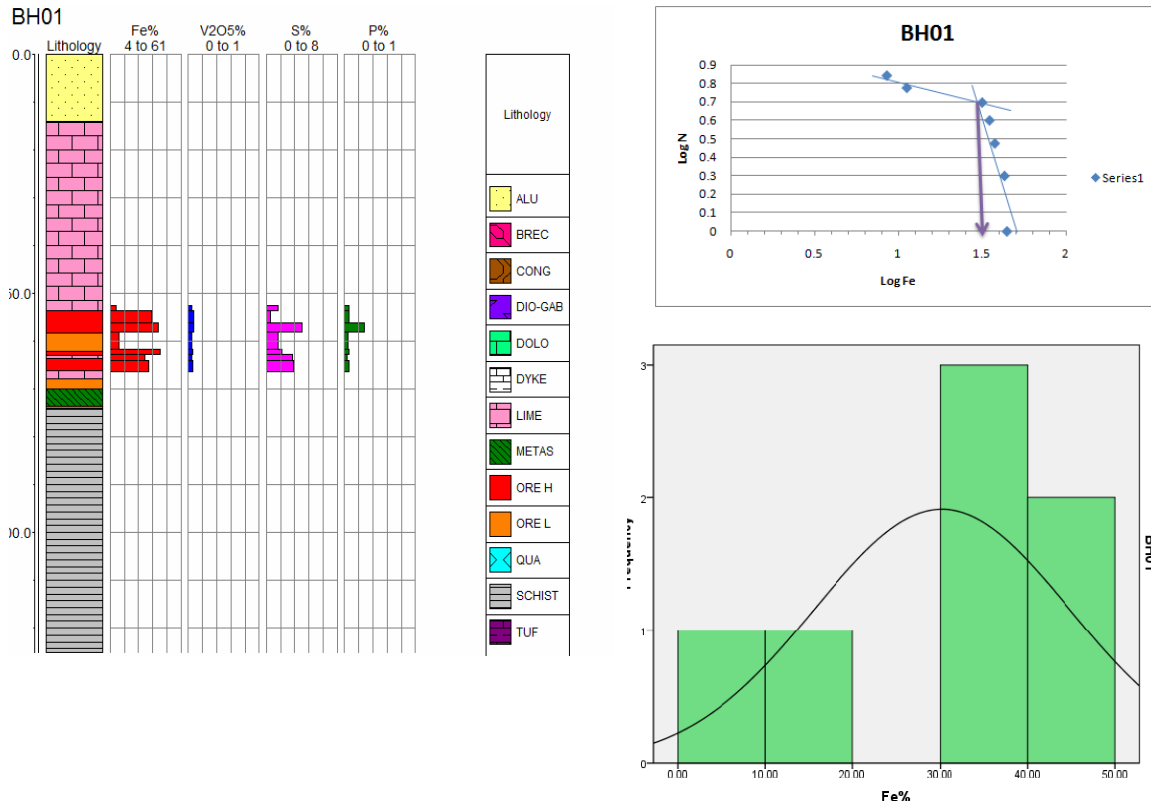
اساس این روش بر اساس رابطه معکوس بین عیار و فراوانی تجمعی هر عیار و عیارهای بالاتر از آن است. این روش براساس فرمول زیر معرفی می شود (Mao and et al., 2004):

$$N(\geq C) \propto \rho^{-\beta} \quad (1)$$

در رابطه بالا $N(\geq C)$ برابر تعداد نمونه‌هایی است که دارای عیار مساوی و بالاتر از C هستند. ρ برابر عیار و β برابر بعد فرکتال است. حسن مهم این روش در این است که قبل از تخمین و با داده‌های خام و اصیل اکتشافی محاسبات را انجام می‌دهد. در اینجا اساس کار، ترسیم مدل‌های ستون سنگ‌شناسی دوبعدی و ترسیم نمودارهای عیار تعداد Fe و حصول عیار حد Fe و مقایسه آن با مدل ستون سنگ شناسی و نهایتاً اصلاح قسمت‌هایی است که به اشتباه تعریف شده‌اند.

۴- گمانه‌های مورد بررسی

در گمانه شماره ۱ با استفاده از روش فرکتالی عیار- تعداد، مقدار عیار حد آهن در حدود $30/2$ درصد حاصل شد، لذا مقادیر کمتر از آن را آهن کم عیار و مقادیر بیشتر از آنرا آهن پر عیار به حساب آوردیم. در نتیجه قسمت‌هایی که در ستون سنگ‌شناسی دارای سنگ‌آهک (LIME) هستند، ولی عیار آهن در مقابل آن‌ها نمود دارد، آهن کم عیار (ORE L) هستند و نه LIME. نهایتاً این نتیجه حاصل گردید که از بالا به پایین، به ترتیب، میان لایه‌های آهن کم عیار، آهن پرعیار، آهن کم عیار، آهن پرعیار، آهن کم عیار و آهن پر عیار وجود دارد (شکل ۴).

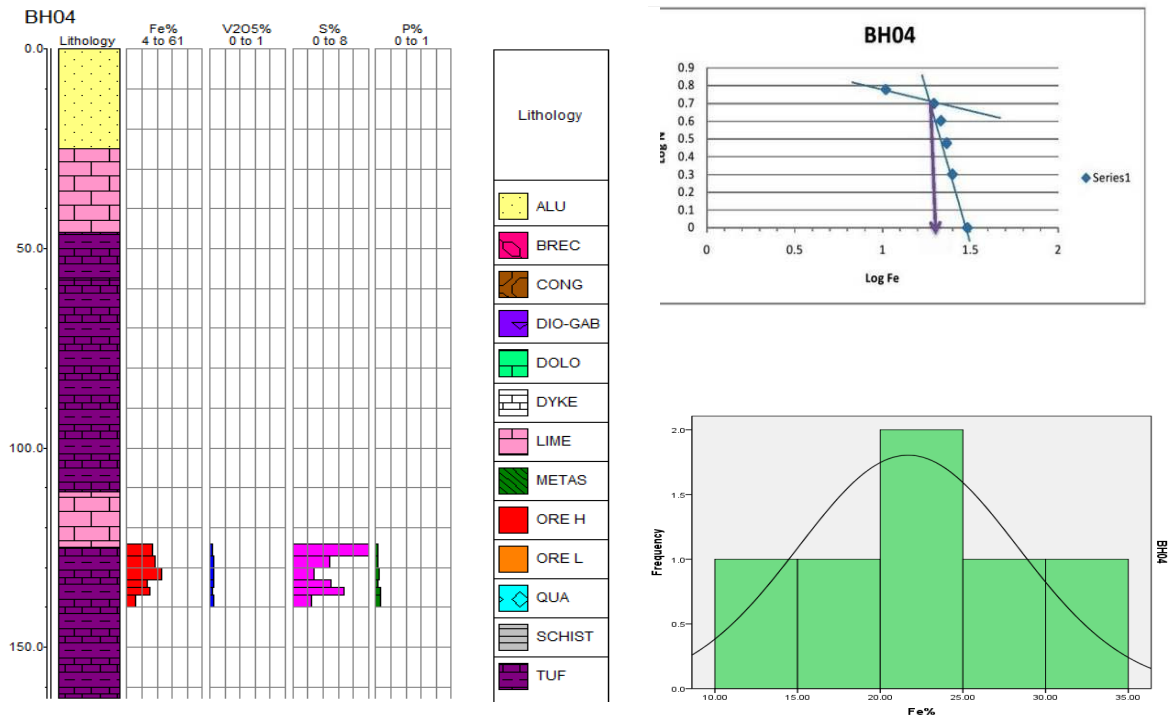


شکل ۴: نمودارهای ستون سنگ شناسی، عیار- تعداد و چولگی گمانه شماره ۱

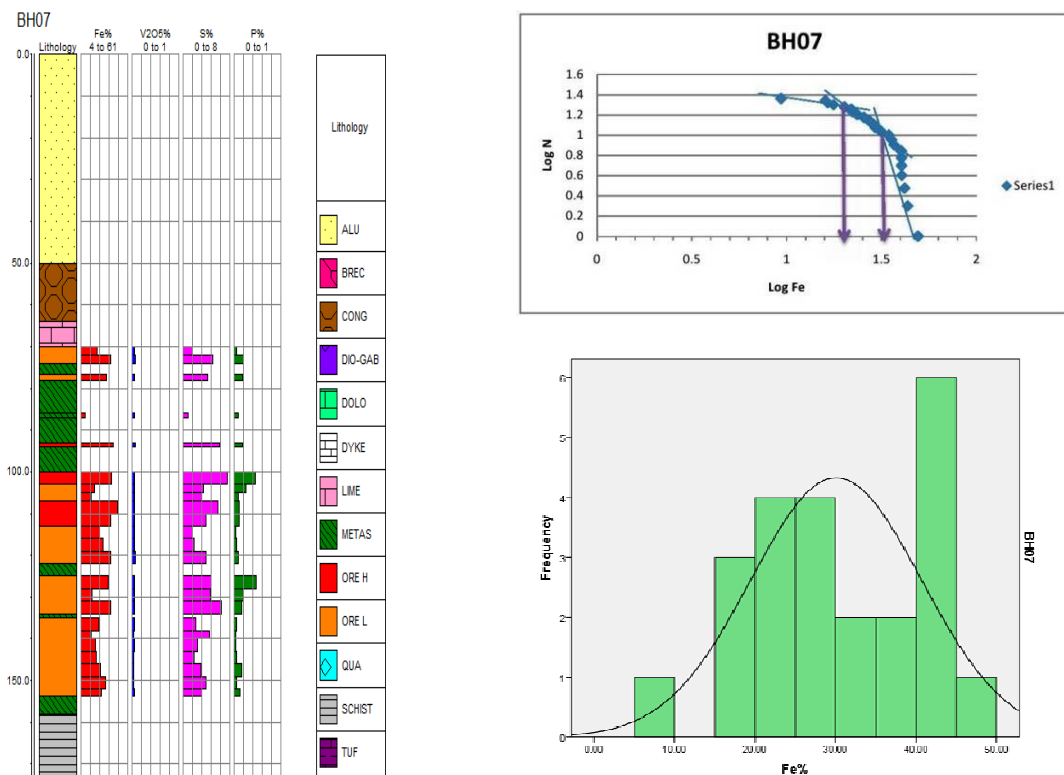
با استفاده از روش فرکتالی عیار- تعداد در گمانه شماره ۴، مقدار عیار حد آهن در حدود ۱۹/۹۵ درصد حاصل شد. این نتیجه حاصل شد که محدوده‌ای که عیارهای زیاد و کم آهن را نشان می‌دهد، به هیچ عنوان نمی‌تواند توف باشد. لذا مشاهده شد که زونی که در ستون سنگ شناسی تحت عنوان توف معرفی گردیده، در واقع به ترتیب دارای میان لایه های آهن متوسط عیار، پرعیار، خیلی پر عیار، کم عیار، کم عیار و خیلی کم عیار است (شکل ۵).

اما در گمانه شماره ۷ خصوصیت مولتی فرکتالی با استفاده از روش فرکتالی عیار- تعداد مشاهده شد و دو عیار حد برای آهن حاصل شد، که حدوداً عبارت از ۱۹/۹۵ و ۳۳/۸۸ می‌باشند. مقادیر کمتر از ۱۹/۹۵ جزو سنگ دیواره و مقادیر بیش از ۳۳/۸۸ درصد آهن پرعیار فرض شد. مقادیر مابین هم آهن کم عیار فرض گردید. لذا این نتیجه حاصل شد که سه زون بالایی که تحت عنوان آهن کم عیار مشخص شده‌اند، در واقع آهن پرعیار هستند و میان لایه متاسوماتیتی ای هم که مقادیر اندکی آهن را نشان می‌دهد، در واقع آهن کم عیار است، نه متاسوماتیت (شکل ۶).

اما استفاده از این روش در گمانه ۱۳، مقدار عیار حد آهن در حدود ۳۰/۲ نشان داد؛ لذا این نتیجه حاصل شد که بخش‌هایی از زون‌های متاسوماتیت که مقادیری آهن را نشان می‌دهد، متاسوماتیت نبوده و در واقع تنوعی از آهن کم عیار تا پر عیار است. زونی که با نماد LIME مشخص شده نیز، مقادیری آهن را نشان می‌دهد؛ لذا این زون در واقع آهن کم عیار است، نه LIME. لذا می‌توان میان لایه‌ها را به این ترتیب نام‌گذاری نمود: آهن پر عیار، کم عیار، کم عیار، پر عیار، کم عیار، کم عیار، پر عیار، پر عیار، پر عیار، پر عیار، چهار مورد زون آهن دار تحتانی هم، همگی آهن کم عیارند (شکل ۷).

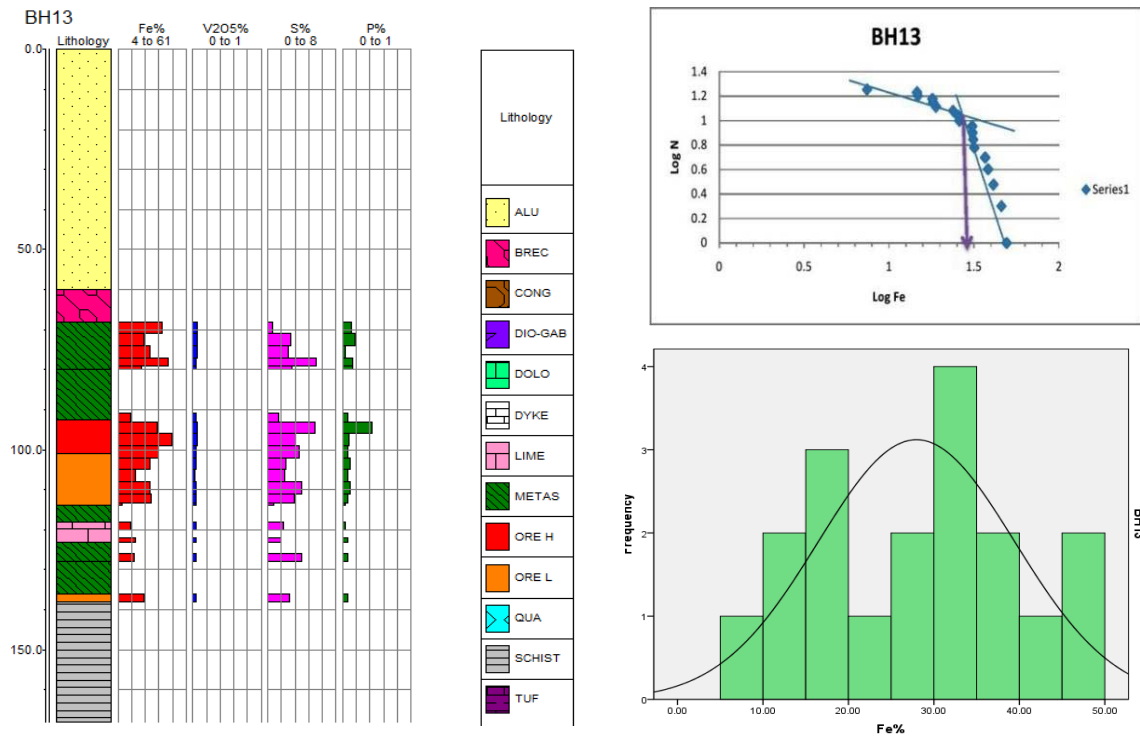


شکل ۵: نمودارهای ستون سنگ شناسی، عیار- تعداد و چولگی گمانه شماره ۴



شکل ۶: نمودارهای ستون سنگ شناسی، عیار- تعداد و چولگی گمانه شماره ۷

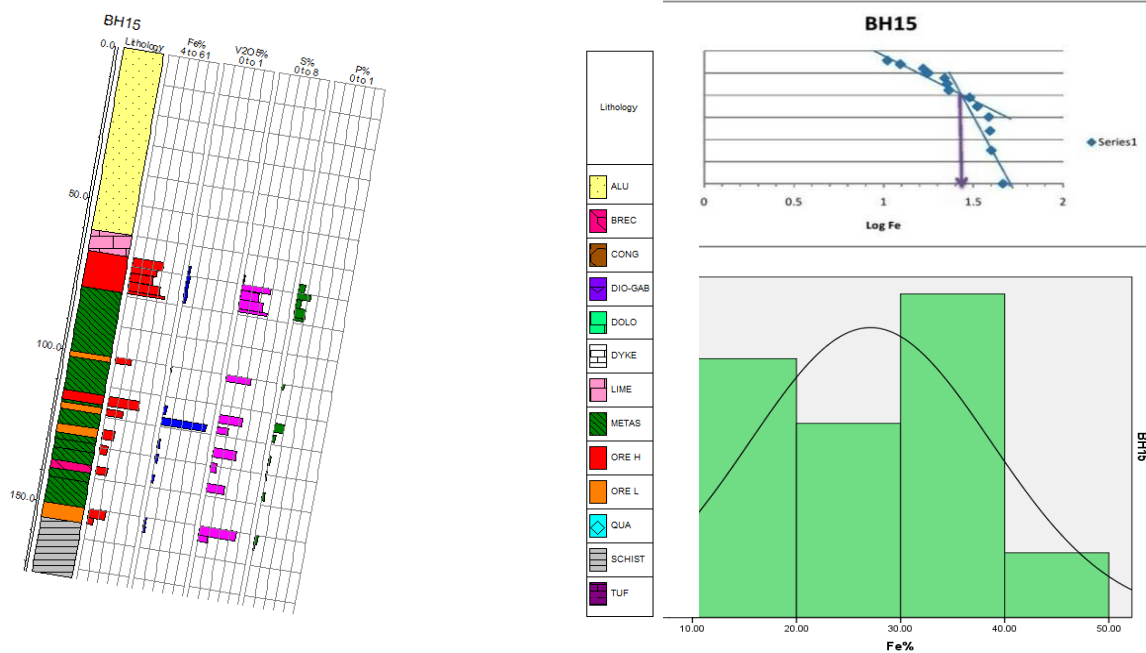
با استفاده از روش فرکتالی عیار- تعداد در گمانه شماره ۱۵، مقدار عیار حد آهن در حدود ۲۸.۱۸ بدست آمد، لذا این نتیجه حاصل شد که در بخش آهن پرعیار فوقانی، یک میان لایه کم عیار هم وجود دارد. در زون متاسوماتیت تحتانی نیز، مقادیری آهن کم عیار مشاهده می‌شود. لذا زون مذکور، آهن کم عیار بوده و متاسوماتیت نمی‌باشد. همینطور میان لایه‌ای با نام برش هم در تصویر مشاهده می‌شود، ولی دارای مقادیری آهن کم عیار است؛ لذا آن زون هم، آهن کم عیار است، نه برش (شکل ۸).



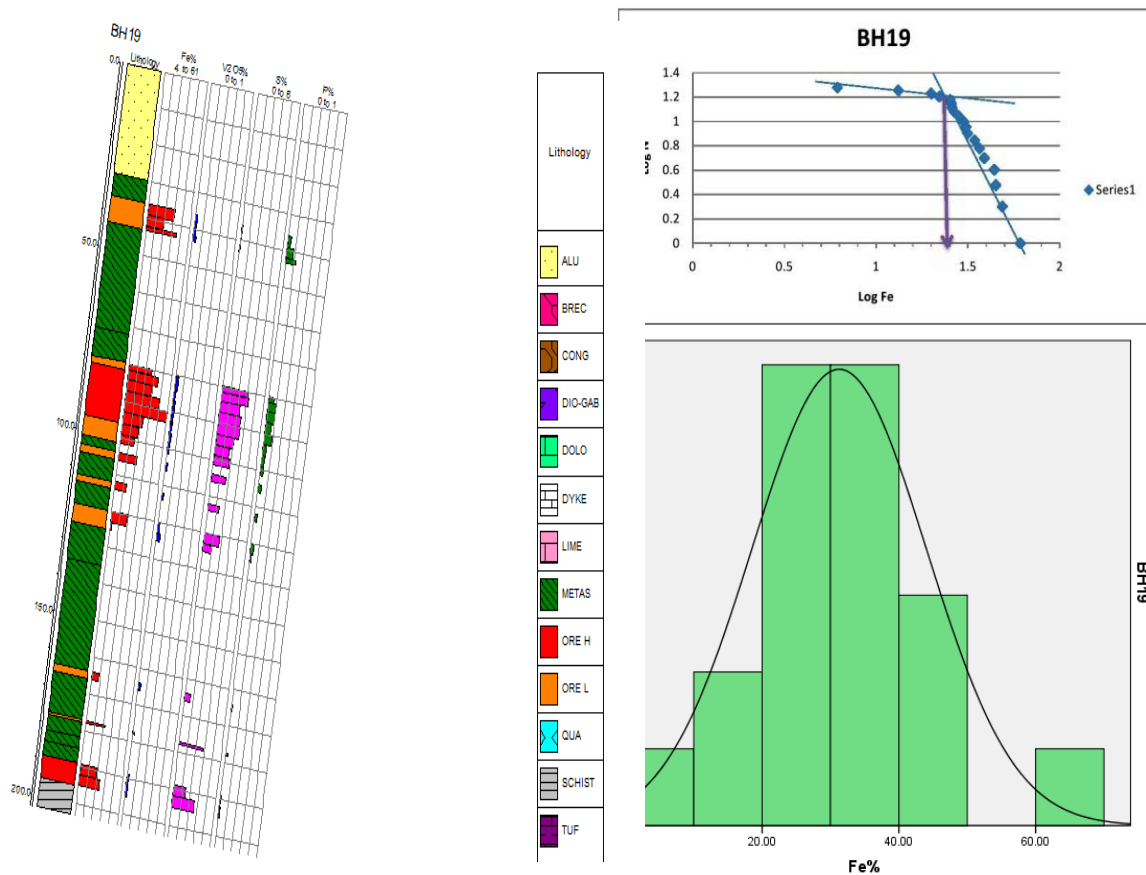
شکل ۷: نمودارهای ستون سنگ شناسی، عیار- تعداد و چولگی گمانه شماره ۱۳

در گمانه شماره ۱۹ براساس این روش مقدار عیار حد آهن در حدود ۲۵/۱۲ محاسبه شد، پس این نتیجه حاصل شد که در زون آهن کم عیار فوقانی، دو میان لایه بالایی و پایینی در واقع آهن پر عیارند، نه کم عیار. میان لایه ما بین زون متاسوماتیت و پر عیار هم آهن کم عیار نیست، بلکه آهن پرعیار است. زون فوقانی بخش شیستی نیز دارای دو میان لایه است، که میان لایه بالایی، آهن کم عیار است، نه پرعیار. سایر میان لایه ها به درستی نام گذاری شده‌اند (شکل ۹).

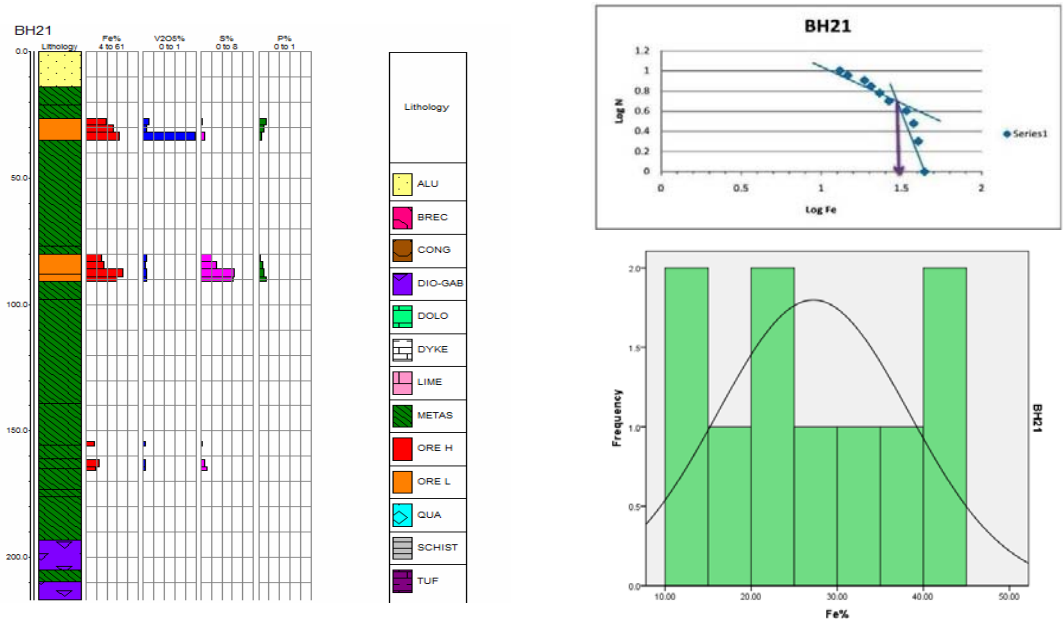
در گمانه شماره ۲۱ با استفاده از روش فرکتالی عیار- تعداد نیز یک خصوصیت مونوفرکتالی دیده شد و مقدار عیار حد آهن در حدود ۳۱/۶۲ حاصل شد. این نشانگر این موضوع است که تحتانی‌ترین میان لایه زون آهن دار فوقانی، آهن پرعیار است، نه کم عیار. همچنین، میان لایه سوم و چهارم زون آهن دار دوم نیز آهن پرعیار است، نه کم عیار. بخشی که بصورت متاسوماتیت رخنمایی نموده است، ولی مقادیری آهن در آن به چشم می‌خورد نیز، در واقع آهن کم عیار است، و نه متاسوماتیت. سایر میان لایه‌ها درستی نام گذاری شده‌اند (شکل ۱۰).



شکل ۸: نمودارهای ستون سنگ شناسی، عیار- تعداد و چولگی گمانه شماره ۱۵

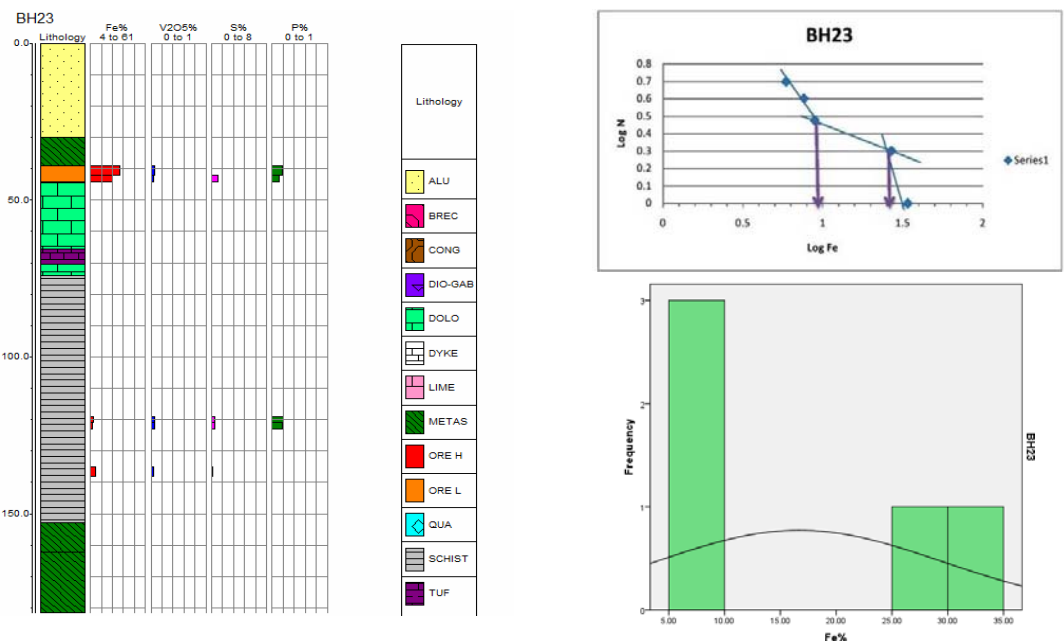


شکل ۹: نمودارهای ستون سنگ شناسی، عیار- تعداد و چولگی گمانه شماره ۱۹



شکل ۱۰: نمودارهای ستون سنگ شناسی، عیار- تعداد و چولگی گمانه شماره ۲۱

استفاده از روش فرکتالی عیار- تعداد در گمانه شماره ۲۳ دو مقدار عیار حد آهن معادل ۱۰ و ۲۵/۷ درصد حاصل شد، که نشانگر یک حالت مولتی فرکتالی است. مقادیر کمتر از ۱۰ را جزو سنگ دیواره، و مقادیر بیشتر از ۲۵/۷ را آهن پرعیار و مقادیر مابینشان را هم آهن کم‌عیار در نظر می‌توان گرفت. لذا این نتیجه حاصل شد که اولین میان لایه آهن‌دار، در واقع آهن پر عیار است، نه کم عیار. همچنین نواحی‌ای که بصورت شیست خودنمایی کرده‌اند، ولی مقادیری آهن در آنها به چشم می‌خورد، در واقع آهن کم عیار بوده و شیست نمی‌باشند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: نمودارهای ستون سنگ شناسی، عیار- تعداد و چولگی گمانه شماره ۲۳

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس نتایجی که حاصل شد، می‌توان گفت که تکیه صرف به لاگینگ دستی مغزه‌ها، نمی‌تواند خیلی جواب مطمئن و قاطعانه‌ای در جدایش و تعیین زون‌ها بدهد و با خطا همراه خواهد بود که می‌تواند تخمین‌ها و مدل‌سازی‌ها را با مشکلاتی همراه سازد که در نهایت منجر به وارد آمدن هزینه‌های کلان برای جبران اشتباهات می‌گردد. لیکن، از آنجا که روش‌های فرکتالی از عیار بهره می‌برند، می‌توانند در شناسایی بهتر زون‌ها و جدایش آن‌ها مفید باشند. مهمتر از همه اینکه با استفاده از روش فرکتالی عیار-تعداد، زون‌های کانی‌سازی بدون انجام تخمین زمین‌آماری از یکدیگر جدا شدند. همچنین مشخص شد بخش‌هایی که به نام متاسوماتیت معرفی شدند، جزو کانی‌سازی آهن در بعضی از گمانه‌ها هستند که به اشتباه جزو کانی‌سازی در نظر گرفته نشده‌اند.

با توجه به خطاهای مشاهده شده در لاگ‌های مورد بررسی، پیشنهاد می‌شود که لاگینگ کانسار آهن زاغیا مورد تجدید نظر قرار گیرد و همچنین مقادیر عیار را جهت جدایش زون‌ها مورد نظر قرار دهند. همچنین نیاز به گمانه زنی بیشتر و نمونه برداری از آن‌ها نیز احساس می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از لطف و همکاری مسوولان محترم شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران بخصوص جناب آقای مهندس هاشمی سپاسگزاری نمایند.

منابع

۱. افضل، پ.، ۱۳۸۹، رایبه روش‌های فرکتالی سه‌بعدی برای جدایش زون‌ها در کانسارهای پورفیری، رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
۲. شرکت بین‌المللی مشاور مواد معدنی، گزارش اکتشاف تفصیلی کانسار سنگ‌آهن زاغیای بافق، گزارش منتشر نشده شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران.
3. Mandelbrot, B.B., 1983. The Fractal Geometry of Nature: W. H. Freeman. San Fransisco, 468 pp.
4. Turcotte, D.L., 1997. Fractals and Chaos in Geology and Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge.
5. Meng, X. and Zhao, P., 1991. Fractal method for statistical analysis of geological data, Chinese Journal of Geosciences, vol. 2, pp. 207-211.
6. Agterberg, F.P.; Cheng, Q. and Wright, D.F., 1993. Fractal modeling of mineral deposits, In: J. Elbrond and X. Tang (Editors). 24th APCOM symposium proceeding, Montreal, Canada, pp. 43-53.
7. Cheng, Q.; Agterberg, F. P. and Ballantyne, S.B., 1994. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods, Journal of Geochemical Exploration, vol. 51, p.p. 109-130.
8. Li, C.; Ma, T. and Shi, J., 2003. Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background, Journal of Geochemical Exploration, vol. 77, p.p. 167-175.
9. Zuo, Renguang, Cheng, Qiuming, Xia, Qinglin, 2009. Application of fractal models to characterization of vertical distribution of geochemical element concentration, Journal of Geochemical Exploration 102(1), 37-43.
10. Khaled, A.; Qiuming, C. and Chen, Z., 2007. Multifractal power spectrum and singularity analysis for modelling stream sediment geochemical distribution patterns to identify anomalies related to gold mineralization in Yunnan Province, South China. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis 7 (4), 293-301.
11. Mao, Z.; Peng, S.; Lai, J.; Shao, Y. and Yang, B., 2004. Fractal study of geochemical prospecting data in south area of Fenghuanshan copper deposit, Tongling Anhui. Journal of Earth Sciences and Environment 26 (4), 11-14.