

# مدل سازی و ارزیابی ذخیره کانسار سرب و روی فیض آباد با استفاده از روش های زمین آماری غیر خطی

رضا احمدی\*؛ عبدالرضا قره شیخ بیات<sup>۱</sup>

۱- گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران

(علمی - پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۶/۲۵ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱۷

## چکیده

در پژوهش حاضر مدل سازی زمین شناسی - اکتشافی کانسار سرب و روی فیض آباد واقع در استان اصفهان انجام شده و از نظر عیار و میزان ذخیره، مورد ارزیابی قرار گرفته است. محدوده کانسار مورد مطالعه براساس توپوگرافی منطقه، میزان و نوع اطلاعات اکتشافی موجود خود به دو منطقه مجزای تپه آقاحساب و کوه خارزن تقسیم شده و مدل سازی کانسار و ارزیابی ذخیره هر منطقه و نیز کل محدوده، به طور مجزا صورت گرفته است. برای آگاهی از نحوه توزیع داده های عیارسنجی مجموع سرب و روی و انتخاب درست روش تخمین، ابتدا پردازش آماری اولیه داده ها انجام شد. سپس به منظور شناخت کامل و طرح تصویری از وضعیت لیتولوژی کانسار، نگار لیتولوژی تمام گمانه های اکتشافی، مدل سه بعدی لیتولوژی کانسار و مقاطع عرضی لیتولوژی نظیر تعداد زیادی از پروفیل - های شاخص محدوده، ترسیم شد. براساس وضعیت ماده معدنی، میزان و نوع کارهای اکتشافی انجام شده و اطلاعات اکتشافی موجود، از میان روش های مختلف تخمین ذخیره، روش های زمین آماری دقیق غیرخطی لاگ کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص، مورد استفاده قرار گرفته و نمودارهای عیار - تناژ ذخیره به ازای عیار حدهای ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ درصد ترسیم شد. نتایج پژوهش نشان می دهد که اگرچه هر دو روش زمین آماری مورد استفاده، از دقیق ترین روش های تخمین ذخیره می باشند، اختلاف نتایج تخمین عیار و ذخیره کانسار با روش های مذکور نسبتاً زیاد است. فقدان اطلاعات اکتشافی کافی و ماهیت روش های مورد استفاده از مهم ترین دلایل این امر هستند ولی در مجموع نتایج روش کریجینگ شاخص قابل اعتمادتر است.

**واژه های کلیدی:** تخمین زمین آماری، کانسار سرب و روی فیض آباد، کریجینگ شاخص، لاگ کریجینگ، نرم افزار SGeMS.

## مقدمه

یکی از اهداف مهم عملیات اکتشاف، محاسبه ذخیره کانسار است و تنها پس از این مرحله است که می‌توان در مورد کانسار قضاوت نمود و امکان استخراج اقتصادی آن را بررسی کرد (مدنی، ۱۳۷۶). ذخیره معدنی آن قسمت از منابع کشف شده است که بتوان از آن، کانی و یا فلز با ارزش را به‌صورت اقتصادی و سودآور تحت شرایط اقتصادی، سیاسی، قانونی، محیطی و فناوری حاضر، بهره‌برداری نمود. از آنجایی که ذخایر معدنی بسیار متنوع بوده و به شکل‌های گوناگونی تشکیل می‌شوند (Annels, 1991)، ارزیابی ذخایر معدنی با روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد که تفاوت این روش‌ها در الگوریتم محاسبه، دقت، سرعت، وضعیت ماده معدنی و مشخصات کارهای اکتشافی است (مدنی، ۱۳۷۶؛ احمدی، ۱۳۸۸). به طور کلی آنچه که در ارزیابی ذخایر معدنی اهمیت ویژه‌ای دارد، استفاده از تمام اطلاعات اکتشافی موجود و به کارگیری دقیق‌ترین روش‌های تخمین است. به‌طور کلی روش‌های تخمین ذخایر معدنی به دو دسته روش‌های هندسی (کلاسیک) و روش‌های زمین‌آماری (وزن‌دهی آماری) تقسیم می‌شوند. روش‌های تخمین زمین‌آماري به علت نا اریب بودن و داشتن کمترین خطای تخمین (Goovaerts, 1997; Annels, 1991; Rendu, 1981) در میان تمام روش‌های تخمین ذخیره، از دقت بالاتری برخوردارند. در واقع در روش‌های زمین‌آماري برای هر یک از نمونه‌های درون و بیرون یک بلوک، وزن آماری مشخص به‌گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که واریانس تخمین مبتنی بر آنها کمترین باشد. روش‌های تخمین زمین‌آماري خود به دو دسته روش‌های خطی و غیرخطی تقسیم می‌شوند (Choudhury, 2015). روش کریجینگ معمولی از جمله روش‌های خطی و روش‌های لاگ کریجینگ<sup>۱</sup>، کریجینگ

شاخص<sup>۲</sup>، کریجینگ گسسته<sup>۳</sup> (Webster and Oliver, 2007) و شبیه‌سازی متوالی گوسی<sup>۴</sup> (Soares et al, 2008) از مهم‌ترین روش‌های غیرخطی زمین‌آماري می‌باشند. هر یک از این روش‌ها دارای پیچیدگی‌های خاص خود بوده و برای یک سری داده بسته به شرایط، یک یا چند تا از این روش‌ها به‌طور متناسب، قابل استفاده خواهند بود. به هر جهت در تمام این روش‌ها انتخاب بهینه پارامترهای تخمین، نقش مهمی در دقت محاسبات دارد. هدف از پژوهش حاضر، مدلسازی کامل کانسار سرب و روی فیض‌آباد از دیدگاه زمین‌شناسی-اکتشافی و ارزیابی ذخیره این کانسار است. محدوده کانسار مورد مطالعه براساس توپوگرافی منطقه، میزان و نوع فعالیت‌های اکتشافی، خود به دو منطقه مجزای تپه آقاحساب و کوه خارزن تقسیم شده و مدلسازی کانسار و ارزیابی ذخیره هر منطقه و نیز کل محدوده، به‌طور مجزا صورت گرفته است. هریک از مناطق مذکور خود به بلوک‌های مختلف تقسیم شده‌اند که نامگذاری این بلوک‌ها براساس موقعیت مکانی آنها می‌باشد. منطقه تپه آقاحساب به سه بلوک کوچک به نام‌های بلوک شمالی (بلوک ۱)، بلوک میانی (بلوک ۲) و بلوک جنوبی (بلوک ۳) تقسیم شده که حد و مرز این بلوک‌ها در محل جابه‌جایی‌های مهم گسلی و تغییرات ارتفاعی و ساختاری مهم قرار دارد (واحد اکتشافات شرکت گسترش صنایع، معادن و ذوب فلزات رنگین مرکزی، ۱۳۹۴). بلوک شمالی با عرض حدود ۱۲۰ متر و طول حدود ۲۳۰ متر به‌عنوان کوچک‌ترین بلوک تپه آقاحساب و بلوک میانی با عرض حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر و طول حدود ۳۰۰ متر، عریض‌ترین بلوک تپه آقاحساب است. این بلوک با داشتن بیشترین حجم و عیار استخراجی ماده معدنی، مهم‌ترین بلوک از نظر میزان ذخیره است. بلوک جنوبی، بکرترین بلوک تپه آقاحساب بوده و به علت

واقع شده است. این منطقه در پهنه ساختاری ایران مرکزی، در حاشیه کمربند ارومیه دختر، بر روی نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ نائین و برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کجان قرار دارد. واحدهای سنگی رخنمون‌دار منطقه با سن احتمالی پالئوزوئیک از پایین به بالا شامل کلریت شیست، مجموعه کربناتی و شیست‌های سبز می‌باشد (افروخته و همکاران، ۱۳۹۳). این مجموعه در نقشه‌های زمین‌شناسی نائین و کجان، تحت عنوان مجموعه دگرگونی منسوب به پالئوزوئیک معرفی شده است. محدوده مورد مطالعه از شمال‌باختر تا جنوب‌خاور امتداد داشته و به دو منطقه مجزا و مستقل تپه آقاحساب و کوه خارزن تقسیم‌بندی می‌شود. دو منطقه مذکور به صورت تپه‌ماهور و کوهستان نسبت به دشت مجاور دیده می‌شوند که تپه آقاحساب در شمال‌باختر و کوه خارزن در جنوب‌خاور قرار دارند. شکل ۱ موقعیت مناطق تپه آقاحساب و کوه خارزن را نسبت به فیض‌آباد و شهر نائین نشان می‌دهد.

انجام مطالعات و حفاری‌های کمتر نسبت به بلوک‌های دیگر، تاحدی ناشناخته باقی مانده است. کوه خارزن بزرگ‌ترین بخش کانسار فیض‌آباد و در واقع امیدبخش‌ترین قسمت کانسار است. این بخش در قسمت جنوب‌باختری تپه آقاحساب قرار دارد و از نظر مساحت در حدود ۱۰ برابر تپه آقاحساب است (واحد اکتشافات شرکت گسترش صنایع، معادن و ذوب فلزات رنگین مرکزی، ۱۳۹۴). با تجزیه و تحلیل فعالیت‌های اکتشافی انجام شده در منطقه مورد مطالعه، ترسیم نقشه‌ها و مقاطع زمین‌شناسی-اکتشافی مختلف و ارزیابی و مقایسه آنها، محدوده مورد مطالعه به‌طور کامل، ارزیابی شده و تخمین ذخیره محدوده با استفاده از روش‌های دقیق زمین‌آماری غیرخطی صورت گرفته است.

### منطقه مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

کانسار سرب و روی فیض‌آباد در ۱۳/۵ کیلومتری جنوب‌باختری شهرستان نائین در استان اصفهان



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه نسبت به فیض‌آباد و شهر نائین (برگرفته از Google Earth).

آذرآواری- توفی و توف‌آرنایت به سن پالئوژن و به احتمال زیاد پالئوسن- ائوسن. عمده‌ترین واحد زمین‌شناسی سازند تپه آقاحساب و کوه خارزن مجموعه‌ای کربناته متغیر از نظر رنگ، ریخت-شناسی، بافت و میزان دگرسانی می‌باشد که به دلیل شدت درهم‌شدگی ساختاری و گسله‌شدن، تفکیک چندان بارزی را نمی‌توان در آن انجام داد. در بررسی‌های میدانی ملاحظه می‌شود که پایه این واحد سنگی یک کنگلومرای پی با قطعات فرسایشی از پی‌سنگ دگرگونی<sup>۶</sup> (MRF) است (واحد اکتشافات شرکت گسترش صنایع، معادن و ذوب فلزات رنگین مرکزی، ۱۳۹۴). در شکل ۲ برشی از نقشه زمین‌شناسی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کجان نشان داده شده که محدوده کانسار سرب و روی فیض‌آباد به صورت یک بیضی قرمز رنگ بر روی آن قابل مشاهده است. در این نقشه واحدهای سنگی mb و mt معرف سنگ‌های دگرگونی است.

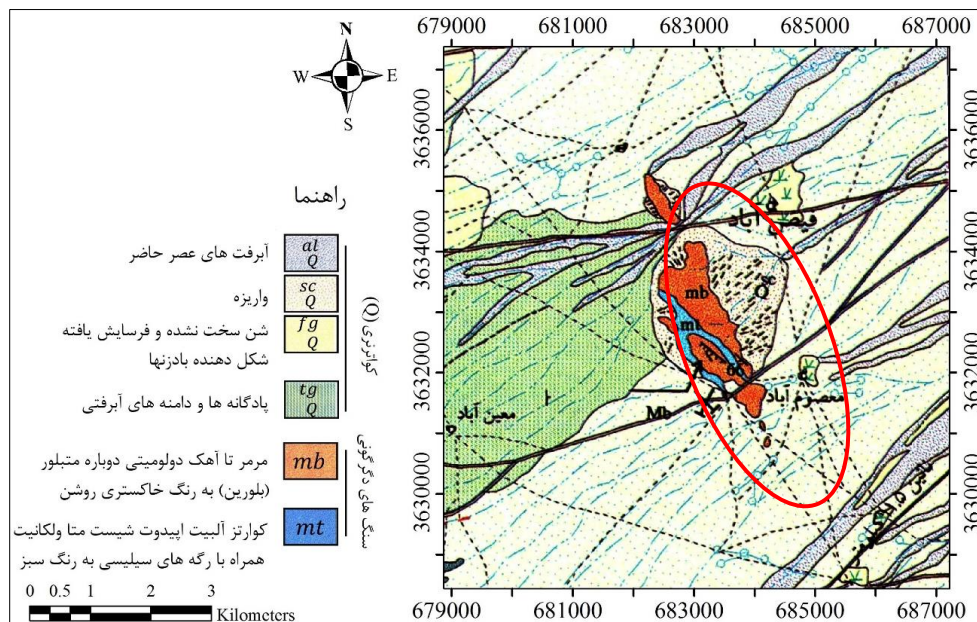
#### فعالیت‌های اکتشافی انجام شده در محدوده

مرحله اول اکتشاف شامل مطالعات لیتوژئوشیمیایی بوده و سپس ۶ پروفیل اکتشافی، طراحی و برداشت شده است. بر روی هر پروفیل یک حلقه گمانه مایل با زاویه شیب ۶۰ درجه حفاری شده و پس از بررسی و نگاربرداری<sup>۷</sup> نمونه‌های مغزه، برش مغزه و تجزیه شیمیایی برای عناصر سرب و روی انجام گرفته است. در مراحل بعد به‌طور کلی تعداد ۲۱۳ حلقه چال پودری با طول کلی ۴۶۴۱ متر با استفاده از دستگاه دریل‌واگن و تعداد ۱۷ حلقه گمانه مغزه-گیری (اغلب به صورت مایل و منشعب از یک نقطه با آزیموت‌های مختلف) با طول کلی ۸۱۵ متر حفاری شده است. کمینه، متوسط و بیشینه عمق چال‌های پودری به ترتیب برابر با ۴، ۲۲ و ۲۸ متر بوده درحالی‌که کمترین، متوسط و بیشترین عمق گمانه‌های مغزه‌گیری به ترتیب برابر با ۹/۴، ۴۸ و ۷۹ متر است. از این میزان حفاری، تعداد ۱۵ حلقه

در کوه خارزن ساختار تاقدیس گسله به هم ریخته و درهمی مشاهده می‌شود که به واسطه گسل-خوردگی شدید، زون‌های با لیتولوژی و دگرسانی متفاوت به‌عنوان سازندگان تاقدیس‌های چین‌خورده دیده می‌شوند و هسته آن را مجموعه دگرگونی- ماگمایی با واحد شیست‌های دگرگونی ضعیف می‌سازد (صانعی، ۱۳۹۲). این مجموعه شیستی احتمالاً به تریاس پسین- ژوراسیک زیرین تعلق دارد که در زمان پالئوژن دستخوش نفوذ ماگمای دیوریتی به‌صورت استوک و دایک شده و رخساره‌ای از بلورین کامل تا میکرودیوریت و دیاباز تیره رنگ دارد (واحد اکتشافات شرکت گسترش صنایع، معادن و ذوب فلزات رنگین مرکزی، ۱۳۹۴). رخداد کانه‌زایی روی-سرب با میزبان کربناته در یک توالی آتشفشانی رسوبی دگرگون شده از ویژگی‌های قابل توجه کانه‌زایی در این منطقه می‌باشد. پهنه کانه‌دار از پایین به بالا شامل دو بخش است: بخش سولفیدی و اولیه شامل کانی-های گالن، اسفالریت و پیریت و بخش اکسید کربناتی و ثانویه که عمدتاً از کانی‌های اسمیت-زونیت، سروزیت و همی‌مورفیت تشکیل شده است (افروخته و همکاران، ۱۳۹۳). سنگ‌های دربرگیرنده کانسار را سنگ‌های آهکی و دولومیتی که به مقدار کم دگرگون شده‌اند، تشکیل می‌دهند. کانی‌های کوارتز، کلسیت و دولومیت نیز به‌عنوان کانی‌های باطله این کانسار حضور دارند. براساس برداشت‌های میدانی و ویژگی‌های لیتولوژی-رخساره‌ای، به‌طور کلی سه مجموعه کاملاً متفاوت از یکدیگر قابل تفکیک است که عبارتند از مجموعه پی‌سنگ با رخساره شیستی- ماگمایی که در هسته تاقدیس و پیرامون بخش‌های مرتفع دیده می‌شود؛ مجموعه کربناتی و کربناتی-رسی دگرسان و دگرنهادی<sup>۵</sup> که اصلی‌ترین واحد سنگ چینه‌ای را می‌سازد و رخنمون بسیار کوچکی از سنگ‌های

چال‌های پودری هستند که به‌طور کلی تعداد ۱۲۹ حلقه چال پودری با مجموع طول ۲۸۶۳ متر و تنها دو گمانه مغزه‌گیری با مجموع طول ۸۸/۵ متر در این منطقه حفاری شده است.

گمانه مغزه‌گیری به‌طول ۷۲۶/۳ متر و ۸۴ حلقه چال پودری به‌طول ۱۷۷۸ متر در منطقه تپه آقاحساب حفاری شده است. اغلب حفاری‌های اکتشافی انجام شده در منطقه خارزن به صورت



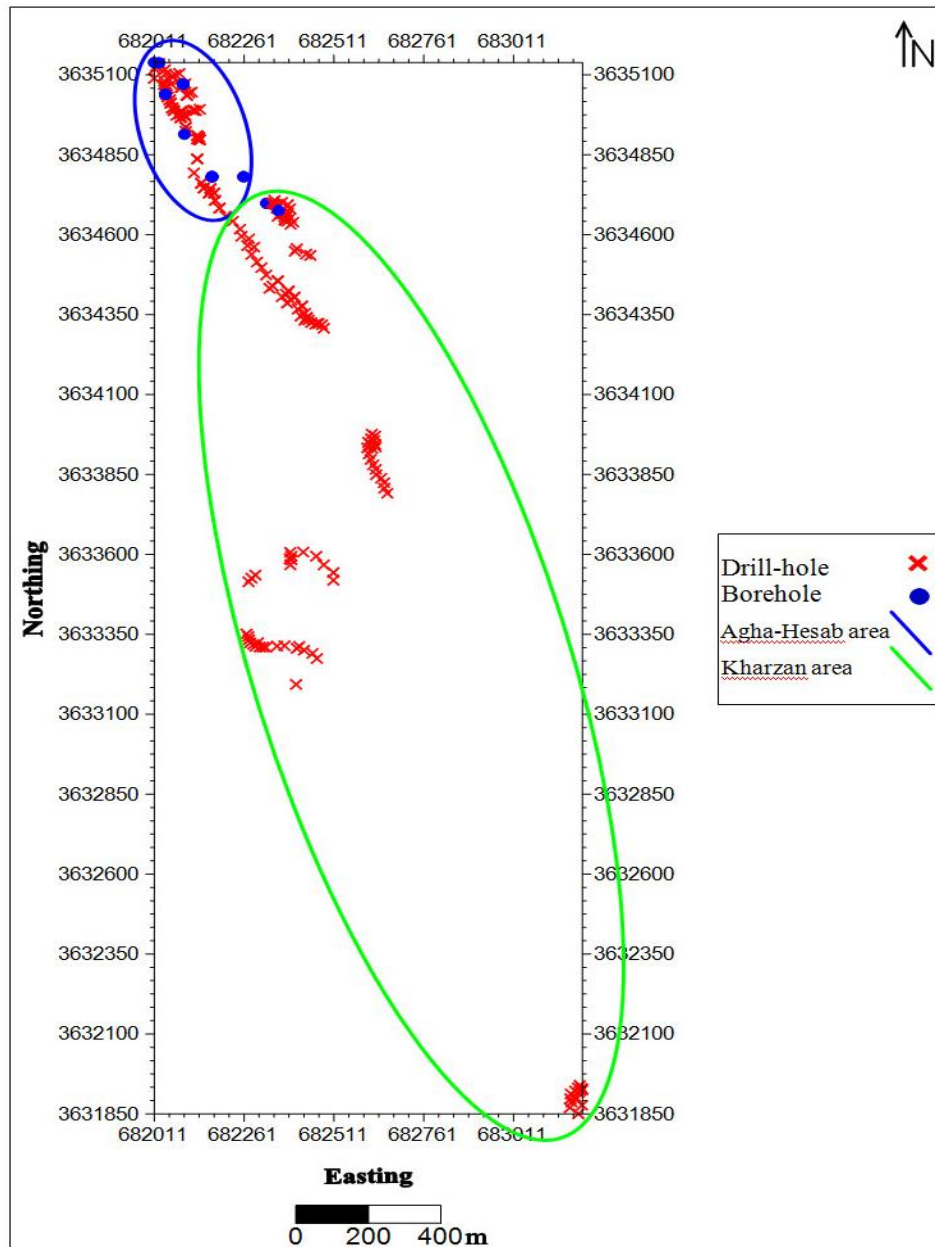
شکل ۲: برشی از نقشه زمین‌شناسی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کجان. بیضی قرمز رنگ نشان‌دهنده محدوده اکتشافی فیض‌آباد می‌باشد (امینی و همکاران، ۱۳۸۲).

لیتولوژی تمام گمانه‌های اکتشافی، مدل سه‌بعدی لیتولوژی کانسار و مقاطع عرضی لیتولوژی نظیر تعداد زیادی از پروفیل‌های محدوده، با استفاده از نرم‌افزار Rockworks 16 برای دو منطقه تپه آقاحساب و بلوک خارزن به‌طور مجزا ترسیم شد. از آنجایی که نرم‌افزار Rockworks مجموعه کاملی از ابزارهای مورد نیاز برای تصویرسازی، مدل‌سازی و تحلیل داده‌های زمین‌شناسی و اکتشافی است و انجام مدل‌سازی‌های مختلف و نیز تهیه برش‌های مختلف از درون ساختارها را براساس نوع و میزان داده‌ها و اطلاعات اکتشافی در دسترس برای کاربران امکان‌پذیر می‌سازد، به همین دلیل برای این هدف انتخاب شده است.

در شکل ۳ نقشه موقعیت مکانی گمانه‌ها و چال‌های اکتشافی حفر شده در محدوده فیض‌آباد با نمایش مناطق تپه آقاحساب و بلوک خارزن نشان داده شده است. در این شکل ضربدرهای قرمز رنگ موقعیت چال‌های پودری و دواپر توپر آبی رنگ موقعیت گمانه‌های مغزه‌ای را نشان می‌دهند. گفتنی است که برخی از دواپر توپر آبی رنگ نشان‌دهنده موقعیت دهانه چند گمانه مغزه‌ای با آزمون‌ها و شیب‌های مختلف هستند.

### مواد و روش‌ها

به‌منظور شناخت کامل و طرح تصویری از وضعیت لیتولوژی کانسار سرب و روی فیض‌آباد، لاگ



شکل ۳: نقشه موقعیت پراکندگی چال‌های پودری و گمانه‌های مغزه‌ای در کل محدوده کانسار سرب و روی فیض‌آباد. منطقه تپه آقاحساب با بیضی آبی رنگ و منطقه کوه خارزن با بیضی سبزرنگ مشخص شده است.

مختلف همانند تکنولوژی استحصال، قیمت روز فلز، زمان و غیره، انتخاب شده است. برای محاسبه ذخیره محدوده مورد مطالعه نیز از روش‌های تخمین دقیق زمین‌آماري مبتنی بر کریجینگ به-کمک نسخه ۲ نرم‌افزار SGeMS (Remy et al., 2006, 2009; Bohling, 2007) استفاده شد. کریجینگ یک تخمینگر خطی نااریب با کمترین

برای تعیین و تشخیص مناطق پرتانسيل، نقشه-های هم‌عیار و هم‌ضخامت ماده معدنی منطقه به-ازای عیار‌های ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ درصد با استفاده از نرم‌افزار Surfer15 ترسیم شد. برای این منظور ابتدا عیار متوسط وزن‌دار هر یک از گمانه‌ها اعم از مغزه‌ای و پودری محاسبه شد. مقادیر عیار حد، براساس ارزش اقتصادی کانسار متناسب با شرایط



در نظر گرفته شود و متغیرهای شاخص از طریق تابع شاخص به دست آیند که مطابق رابطه ۱ تعریف می شود (حسنی پاک و شرفالدین، ۱۳۸۰):

رابطه ۱)

$$I(x; Z_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z(x) \leq Z_k \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad k = 1, \dots, k$$

که در آن  $I(x, Z_k)$  مقدار شاخص نمونه  $i$  ام،  $Z_k$  حد آستانه و  $k$  تعداد کل آستانه ها می باشد. بدین صورت که به مقادیر اصلی کوچک تر از حد آستانه منتخب، کد ۱ و به مقادیر بزرگ تر، کد صفر تعلق می گیرد. بدین ترتیب کلیه داده های موجود، به صفر (بزرگ تر از عیار حد) و یک (کوچک تر یا مساوی عیار حد) تبدیل شده و سپس براساس داده های تبدیل شده به صفر و یک، کلیه مراحل کریجینگ انجام می شود. مزیت تخمین گر کریجینگ شاخص آن است که نسبت به داده های خارج از ردیف حساس نمی باشد و با تقسیم تابع توزیع تجمعی به قسمت های کوچک تر، در آن قسمت ها تابع توزیع حالت نرمال به خود گرفته و نیازی به نرمال کردن ندارد.

#### مدل سازی کانسار مورد مطالعه

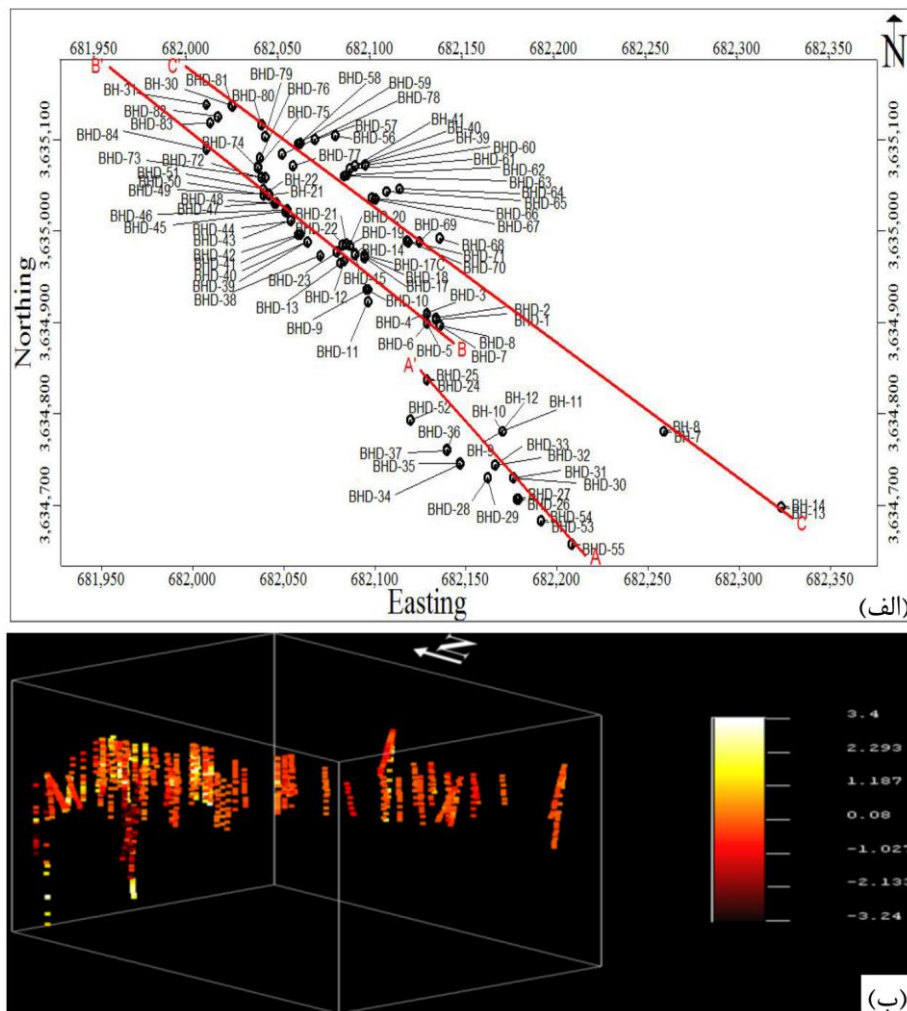
##### بررسی منطقه تپه آقاحساب

شکل ۴ الف نقشه موقعیت پراکندگی گمانه ها و چال های اکتشافی همراه با موقعیت سه پروفیل اکتشافی، به صورت خطوط قرمز رنگ را در منطقه تپه آقاحساب نشان می دهد. مبنای انتخاب پروفیل های اکتشافی (مقاطع عرضی)، شاخص بودن آنها و دربر داشتن تعداد زیادی گمانه عمیق و چال اکتشافی می باشد. در شکل ۴ ب نیز موقعیت فضایی گمانه ها و چال های اکتشافی در این منطقه همراه با نمایش تغییرات لگاریتم عیار مجموع سرب و روی مغزه های گمانه ها و نمونه های پودری چال ها به صورت سه بعدی نمایش داده شده است. در شکل ۵ به عنوان نمونه چاه نگار<sup>۱۱</sup> لیتولوژی تعدادی از

واریانس تخمین است، بنابراین به دلیل دقت بالای این روش تخمین (Journel, 1989)، در پژوهش حاضر برای محاسبه ذخیره انتخاب شده است. براساس نحوه توزیع داده های عیارسنجی در کل محدوده فیض آباد و مناطق تپه آقاحساب و بلوک خارزن، از روش کریجینگ شاخص (IK) نیز به عنوان یکی از روش های تخمین غیرخطی کریجینگ برای محاسبه ذخیره محدوده استفاده شد. کریجینگ شاخص یک تکنیک تخمین زمین آماری غیرخطی است که توسط جورنل<sup>۸</sup> (Journel, 1983) معرفی شده است. هدف اصلی جورنل براساس کار سویترز<sup>۹</sup> (Switzer, 1977) و دیگران، تخمین محلی توسط فرایند تابع توزیع تجمعی<sup>۱۰</sup> محلی (cdf) بود. ویژگی اصلی کریجینگ شاخص، غیرپارامتری بودن آن است و بر فرض مدل توزیع خاصی برای نتایج، استوار نمی باشد. دستگاه معادلات کریجینگ شاخص همانند دستگاه معادلات کریجینگ معمولی است با این تفاوت که در کریجینگ شاخص از مقادیر واریوگرام شاخص به جای واریوگرام معمولی استفاده می شود. برای محاسبه واریوگرام شاخص ابتدا باید داده های خام را به متغیرهای شاخص تبدیل نمود. از این روش می توان برای تعیین ذخیره کانسار با عیار بالاتر از حد مورد نظر همراه با احتمال رخداد آن استفاده کرد. همچنین می توان نقشه توزیع فضایی احتمال پیدایش بلوک هایی از کانسار با عیار بالاتر یا مساوی یک حد آستانه را به راحتی ترسیم کرد (حسنی پاک و خالصی، ۱۳۸۲). یکی از کاربردهای اصلی کریجینگ شاخص، تعیین مرز ماده معدنی و باطله در کانسار است (Gossage, 1998). در واقع کریجینگ شاخص در جدا کردن باطله از کانسار کارایی بالاتری دارد. برای انجام کریجینگ شاخص ابتدا لازم است داده های اولیه به مقادیر شاخص تبدیل شوند. برای این منظور لازم است عیار حدی

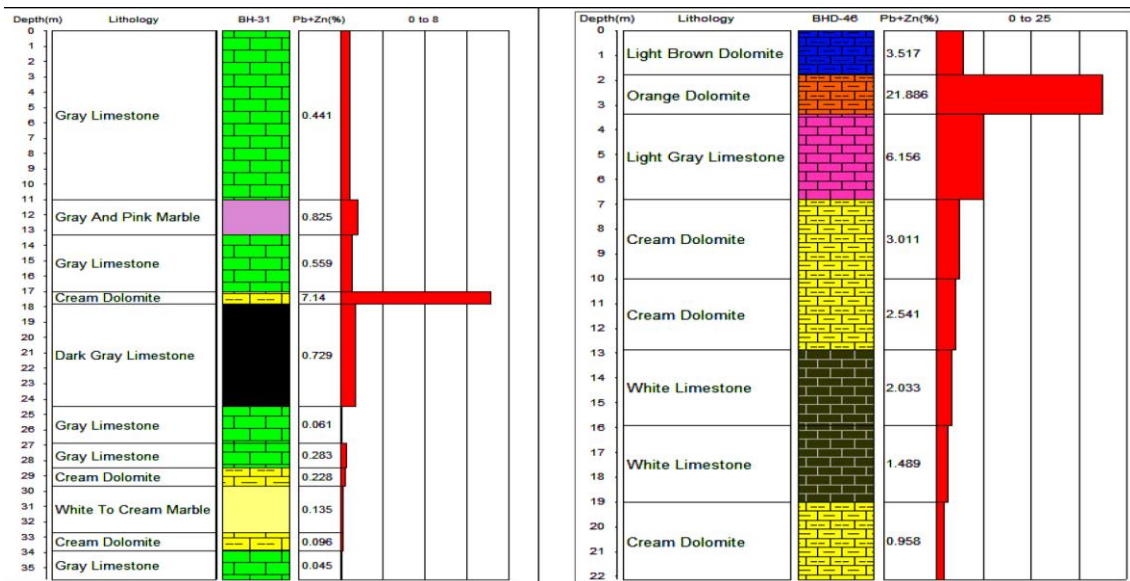
مطابق این شکل‌ها در محدوده کانسار، سنگ‌های کربناته بیشترین سطح رخنمون‌ها را به خود اختصاص داده‌اند و بخش بالایی محدوده نیز از سنگ‌های آهکی و دولومیتی، سنگ‌آهک خاکستری، دولومیت قهوه‌ای روشن و مرمر خاکستری و صورتی تشکیل شده است. اغلب کانه‌زائی نیز در داخل دولومیت‌های با رنگ‌های مختلف صورت گرفته است. بخش عمده سنگ‌های منطقه در اعماق را سنگ‌های کربناته تشکیل می‌دهد و سنگ کف کانسار هم در اغلب نقاط، دولومیت کم-کانه‌دار یا بدون کانه‌زائی است.

گمانه‌های منطقه تپه آقاحساب نشان داده شده که در این نگارها علاوه بر ستون لیتولوژی، هیستوگرام تغییرات عمقی عیارسنجی مجموع سرب و روی هم نمایش داده شده است. مطابق این شکل‌ها عیار ماده معدنی در بعضی فواصل عمقی گمانه‌هایی نظیر BHD-46 نسبتاً بالاست و به بیش از ۲۰ درصد می‌رسد. شکل ۶ نیز مدل سه‌بعدی لیتولوژی این کانسار را نشان می‌دهد که در این شکل به‌طور واضح می‌توان واحدهای سنگی را مشاهده نمود. در شکل ۷ هم مقطع عرضی لیتولوژی منطبق بر پروفیل CC' (در شکل ۴ الف) مشاهده می‌شود.

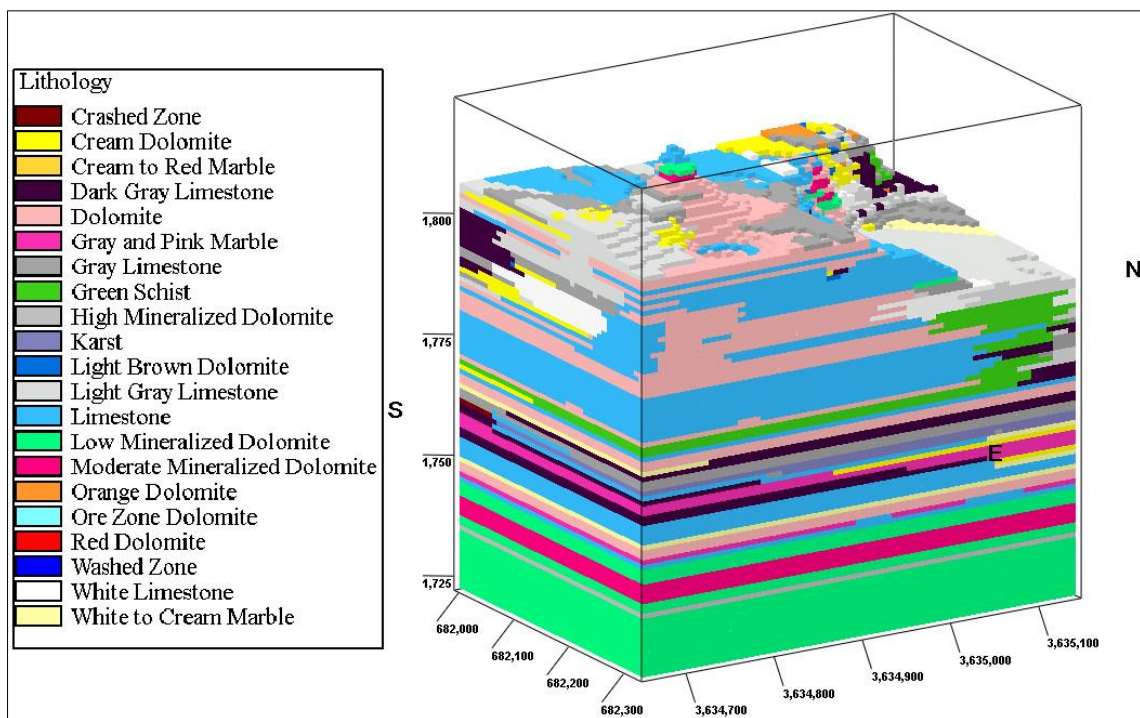


شکل ۴: الف) نقشه موقعیت پراکندگی گمانه‌ها و چال‌های اکتشافی همراه با نمایش پروفیل‌های اکتشافی، ب) نمایش موقعیت فضایی و تغییرات لگاریتم عیاری گمانه‌ها و چال‌های اکتشافی در منطقه تپه آقاحساب به صورت سه‌بعدی.





شکل ۵: چاهنگار گمانه‌های BHD46 و BH31 منطقه تپه آقاحساب



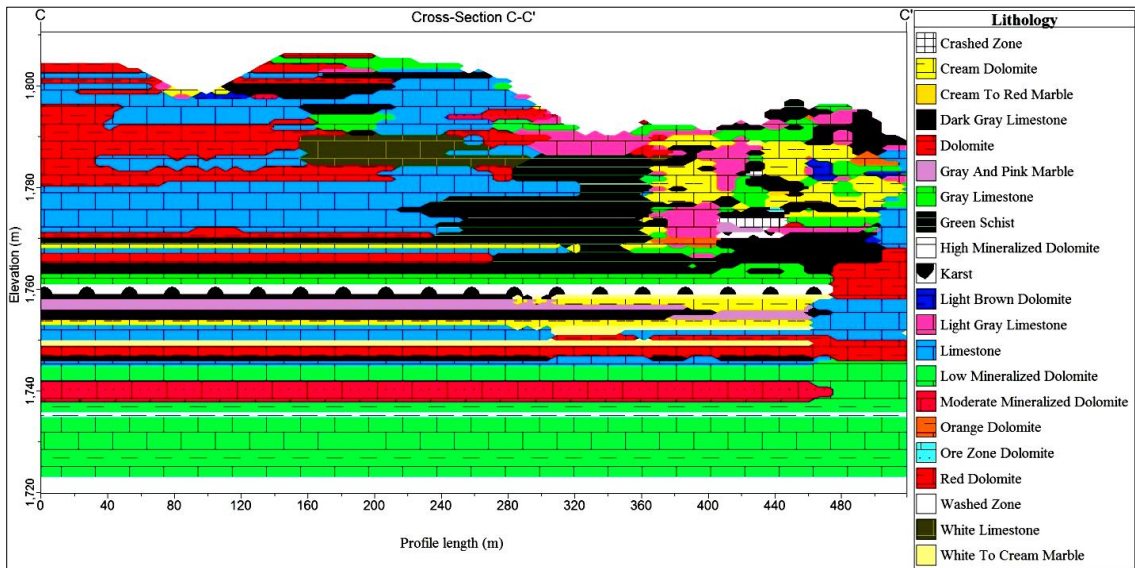
شکل ۶: مدل سه‌بعدی (جامد) لیتولوژی منطقه تپه آقاحساب

گمانه‌ها اعم از مغزه‌ای و پودری محاسبه شد. به عنوان نمونه در شکل ۸ نقشه هم‌عیار و هم‌ضخامت گمانه‌های حفر شده در قطعه (بلوک) شمالی منطقه تپه آقاحساب با اعمال عیار حد ۲ درصد نشان داده

به‌منظور تعیین و تشخیص مناطق پرپتانسیل، نقشه‌های هم‌عیار و هم‌ضخامت ماده معدنی منطقه به‌ازای عیار حدهای ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ درصد ترسیم شد. برای این منظور ابتدا عیار متوسط هر یک از

هم‌ضخامت شکل ب نیز ملاحظه می‌شود که محدوده حاوی ماده معدنی با ضخامت بیشتر قطعه شمالی منطقه تپه آقاحساب با عیار حد ۲ درصد، در دو محدوده تقریباً مجزا در یال خاور و باختر قسمت بالایی منطقه قرار دارد.

شده است. با مشاهده نقشه هم‌عیار شکل الف می‌توان نتیجه گرفت که محدوده پرعیار بلوک شمالی منطقه تپه آقاحساب با عیار حد ۲ درصد، در نیمه بالایی منطقه به‌صورت یک کشیدگی در راستای شمال‌باختری - جنوب‌خاوری است. با مشاهده نقشه

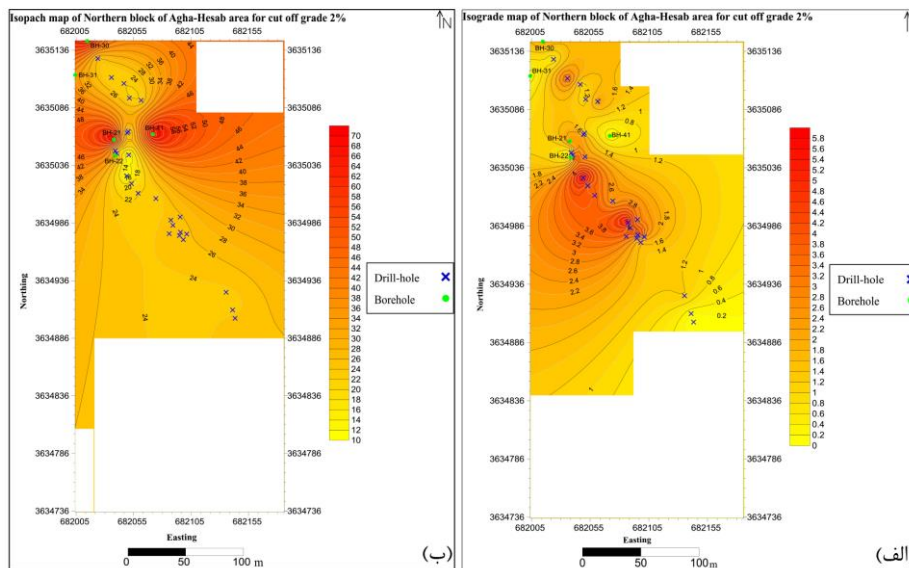


شکل ۷: مقطع عرضی لیتولوژی نظیر پروفیل CC' (در شکل ۴ الف) منطقه تپه آقاحساب

در این چاه‌نگار علاوه بر ستون لیتولوژی، هیستوگرام تغییرات عمقی عیارسنجی مجموع سرب و روی هم نمایش داده شده است. مطابق این شکل در اغلب گمانه‌ها کانی‌سازی از سطح تا عمق صورت گرفته ولی عیار ماده معدنی چندان زیاد نیست. در شکل ۱۱ نیز مقطع عرضی لیتولوژی منطبق بر پروفیل BB' (در شکل ۹ الف) مشاهده می‌شود. مطابق این شکل‌ها در محدوده کانسار بلوک خارزن نیز همانند منطقه تپه آقاحساب، سنگ‌های کربناته بیشترین حضور را از سطح تا عمق به خود اختصاص داده‌اند. همچنین در این منطقه علاوه بر سنگ‌های آهکی در بخش‌هایی، شیبست سبز نیز مشاهده می‌شود.

#### بررسی منطقه بلوک خارزن

شکل ۹ الف نقشه موقعیت پراکندگی چال‌های اکتشافی همراه با موقعیت سه پروفیل اکتشافی به صورت خطوط قرمز رنگ را در منطقه بلوک خارزن نشان می‌دهد. در این مورد نیز موقعیت پروفیل‌های اکتشافی (مقاطع عرضی) براساس شاخص بودن و دربرداشتن تعداد زیادی گمانه و چال اکتشافی انتخاب شده است. در شکل ۹ ب موقعیت فضایی گمانه‌ها و چال‌های اکتشافی در این منطقه همراه با نمایش تغییرات لگاریتم عیار مجموع سرب و روی نمونه‌های پودری چال‌ها و مغزه‌های گمانه‌ها به‌صورت سه‌بعدی نمایش داده شده است. در شکل ۱۰ به‌عنوان نمونه چاه‌نگار لیتولوژی چال BHD147 منطقه بلوک خارزن نشان داده شده که



شکل ۸: الف) نقشه هم‌عیار و ب) نقشه هم‌ضخامت گمانه‌های حفر شده در قطعه شمالی منطقه تپه آقاحساب با عیار حد ۲ درصد

انجام شد. بدین طریق وضعیت همسانگردی یا ناهمسانگردی کانسار تعیین شده و تخمین‌های کریجینگ انجام می‌گیرد. برای این منظور از آزیموت ۰ تا ۱۸۰ درجه هر پنج درجه یک واریوگرام و از شیب ۰ تا ۹۰ درجه هر پنج درجه یک واریوگرام با گام‌های مختلف ترسیم شد. به‌عنوان نمونه شکل ۱۳ تعدادی از واریوگرام‌های امتدادی ترسیم شده در راستاهای مختلف در کل محدوده را نشان می‌دهد که اغلب واریوگرام‌های تجربی با مدل تئوری از نوع کروی (Sarma, 2009) انطباق یافتند. براساس واریوگرام‌های امتدادی، کانسار تقریباً همسانگرد بوده، شعاع تجسس تخمین در این محدوده از مناطق تپه آقاحساب و بلوک خارزن قدری بزرگتر و در حدود ۴۰ متر است. افزودنی است که قبل از بررسی زمین‌آماري کل محدوده مورد مطالعه، ابتدا واریوگرافی برای مناطق تپه آقاحساب و بلوک خارزن به‌طور جداگانه انجام شده ولی به‌خاطر اجتناب از افزایش حجم مقاله، از آوردن آنها خودداری شده است.

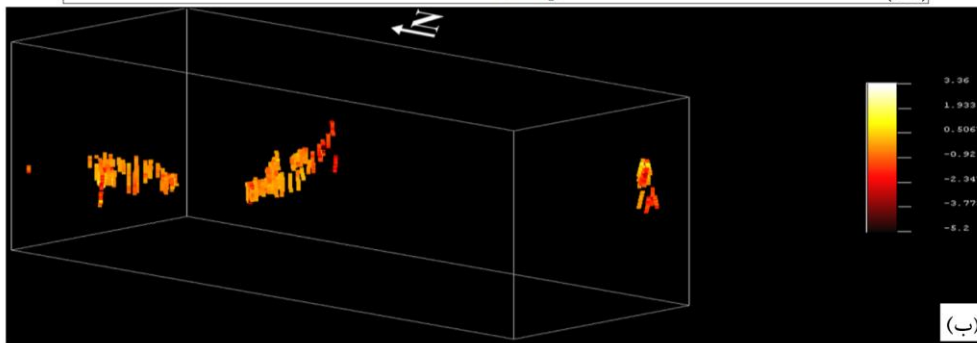
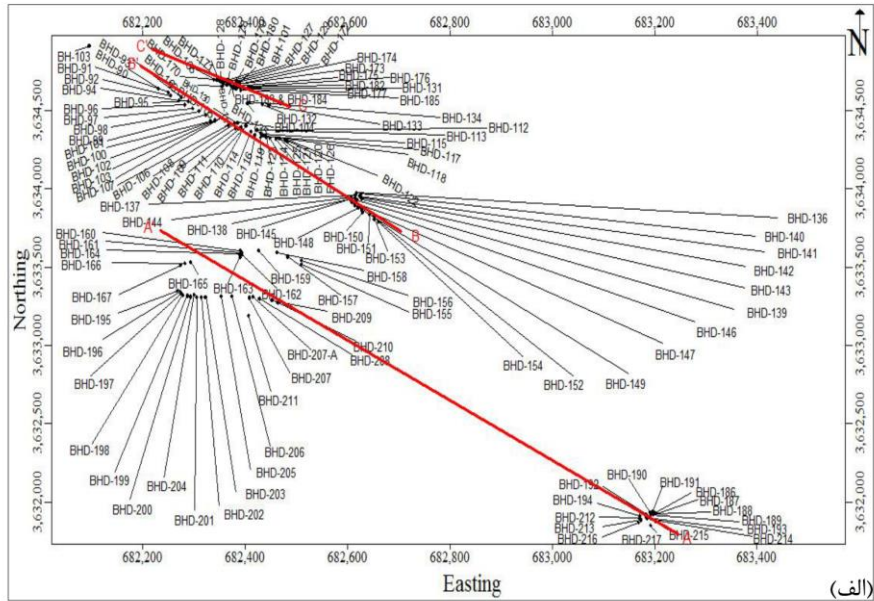
#### بررسی کل محدوده کانسار فیض‌آباد

- پردازش آماری اولیه داده‌ها

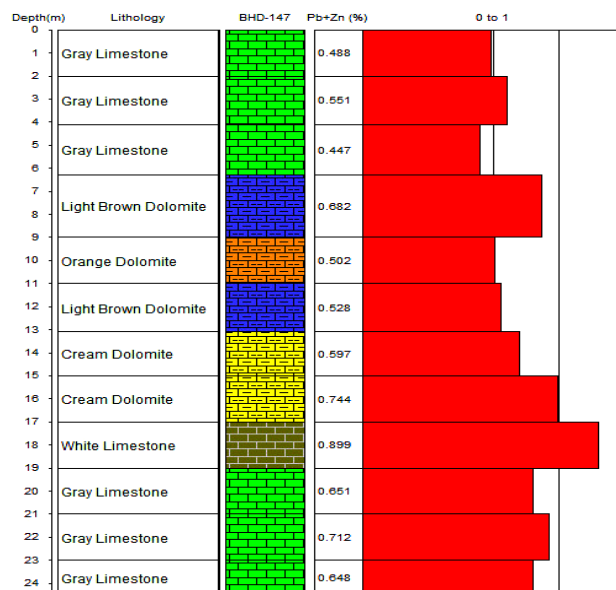
شکل ۱۲ (الف و ب) به ترتیب هیستوگرام و نمودار توزیع احتمال تجمعی داده‌های عیارسنجی مجموع سرب و روی و (ج و د) لگاریتم عیار مجموع سرب و روی را برای کل محدوده اکتشافی کانسار سرب و روی فیض‌آباد نشان می‌دهد. مطابق این شکل مشاهده می‌شود که توزیع داده‌های عیارسنجی کل محدوده فیض‌آباد از نوع لاگ نرمال بوده و با یک تبدیل لگاریتمی به حالت نرمال تبدیل شدند. افزودنی است که پردازش آماری اولیه داده‌ها برای مناطق تپه آقاحساب و بلوک خارزن نیز به‌طور جداگانه انجام شده ولی به‌منظور اجتناب از افزایش حجم مقاله، از آوردن آنها خودداری شده است.

#### واریوگرافی کانسار سرب و روی فیض‌آباد

به‌منظور تعیین ارتباط فضایی، فاصله‌ای و پیوستگی کانسار در مقیاس وسیع، واریوگرافی و تجزیه و تحلیل ساختار فضایی در کل محدوده مورد مطالعه در فضای سه‌بعدی از طریق ترسیم حدود ۳۰۰ واریوگرام امتدادی با استفاده از نرم‌افزار SGeMS

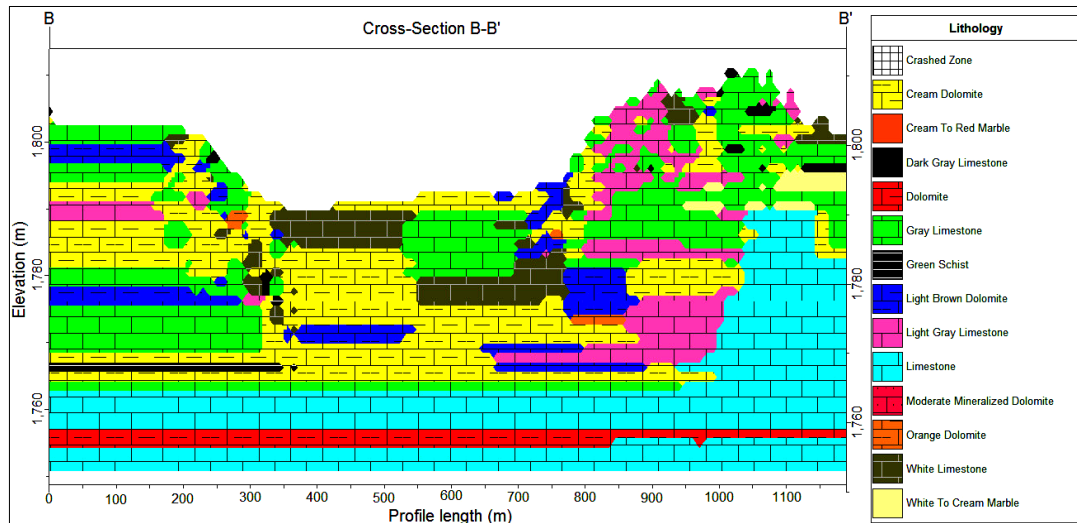


شکل ۹: الف) نقشه موقعیت پراکندگی چال‌ها همراه با نمایش پروفیل‌های اکتشافی، ب) نمایش موقعیت فضایی چال‌ها و گمانه‌های اکتشافی و تغییرات لگاریتم عیاری چال‌ها و گمانه‌ها در منطقه بلوک خارزن به صورت سه‌بعدی.

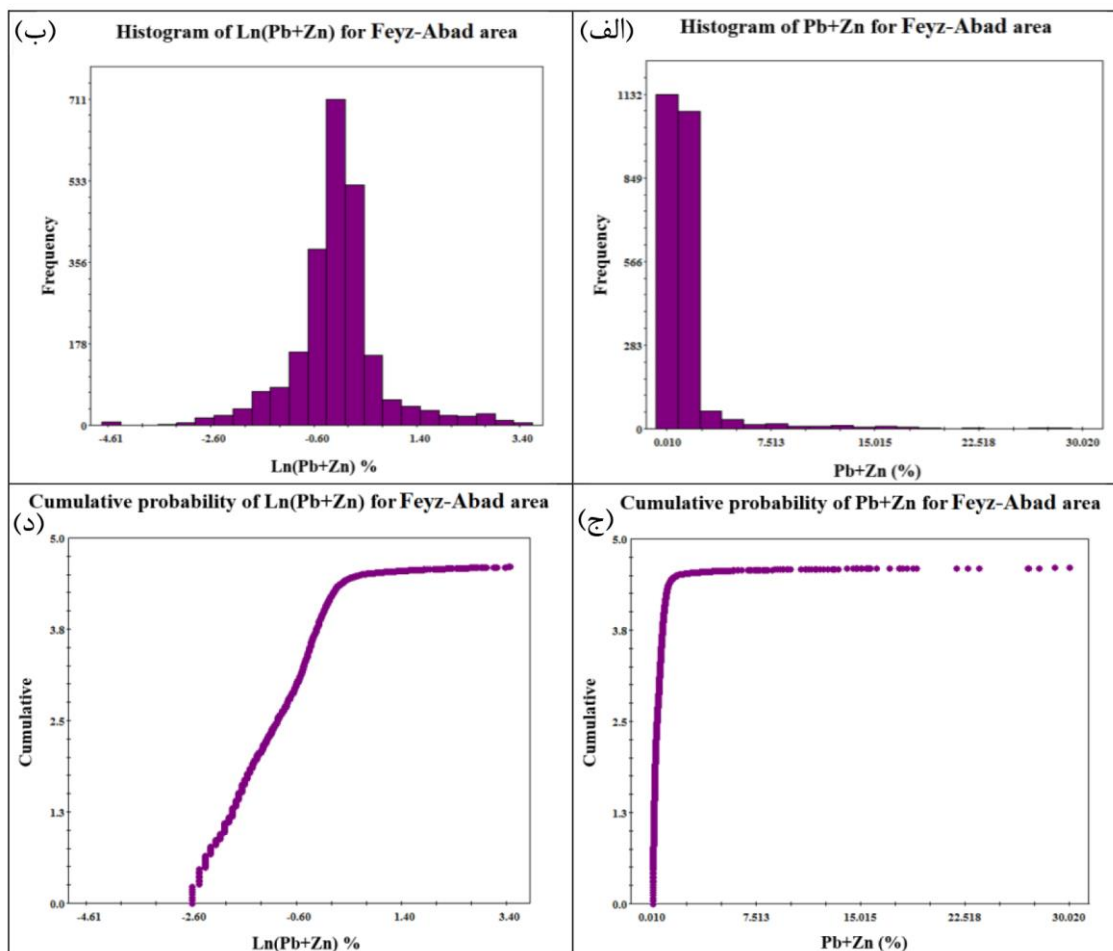


شکل ۱۰: چاه‌نگار چال BHD147 منطقه بلوک خارزن

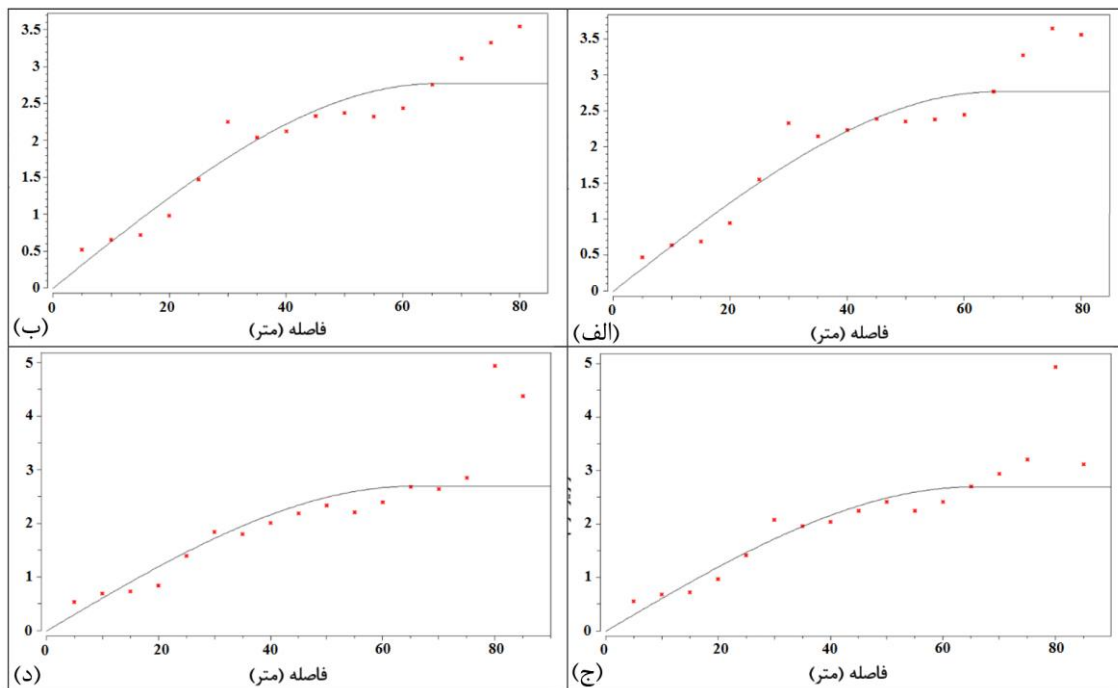




شکل ۱۱: مقطع عرضی لیتولوژی نظیر پروفیل BB' منطقه بلوک خارزن



شکل ۱۲: الف و ب) هیستوگرام و ج و د) نمودار توزیع احتمال تجمعی داده‌های عیارسنجی مجموع سرب و روی و لگاریتم مجموع سرب و روی کل محدوده اکتشافی فیض‌آباد.



شکل ۱۳: واریوگرام‌های امتدادی کل محدوده اکتشافی فیض‌آباد در راستای آزیموت‌های الف) ۱۳۰ درجه، ب) ۱۳۵ درجه، ج) ۱۴۰ درجه و د) ۱۵۰ درجه با شیب ۶۰ درجه.

عدد در راستای خاوری-باختری و ۱۱ بلوک در راستای قائم) در منطقه تپه آقاحساب، تعداد ۹۹۰۰۰۰ بلوک (تعداد ۳۳۰ بلوک در راستای شمالی-جنوبی، ۱۲۰ عدد در راستای خاوری-باختری و ۲۵ بلوک در راستای قائم) در منطقه بلوک خارزن و تعداد ۱۱۲۱۲۵۰ بلوک (تعداد ۳۴۵ بلوک در راستای شمالی-جنوبی، ۱۳۰ عدد در راستای خاوری-باختری و ۲۵ بلوک در راستای قائم) در کل محدوده به کار برده شد. به‌عنوان نمونه در شکل ۱۴ سه نیم‌رخ عمود برهم از مدل بلوکی تخمین زده شده لاگ کریجینگ در محل سلول شماره ۵ محور خاوری، ۳۰ محور شمالی و ۲ محور قائم همراه با موقعیت گمانه‌های منطقه تپه آقاحساب نشان داده شده است. پس از انجام تخمین لاگ کریجینگ، مقادیر تخمین زده شده با یک تبدیل معکوس به مقادیر واقعی تبدیل شده و با در نظر گرفتن عیار حد‌های ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ در صد (با در نظر گرفتن شرایط مختلف اقتصادی

- بررسی وجود روند در داده‌های کانسار فیض‌آباد به‌منظور بررسی وجود یا عدم وجود روند<sup>۱۲</sup> در داده‌های مناطق تپه آقاحساب و بلوک خارزن و همچنین کل محدوده کانسار سرب و روی فیض‌آباد، نمودار پراکندگی مقادیر عیارسنجی در راستاهای افقی خاوری-باختری و شمالی-جنوبی و نیز در راستای قائم عمقی، ترسیم شد. بررسی نمودارها نشان داد که روند خاصی در داده‌های محدوده در این راستاها وجود ندارد.

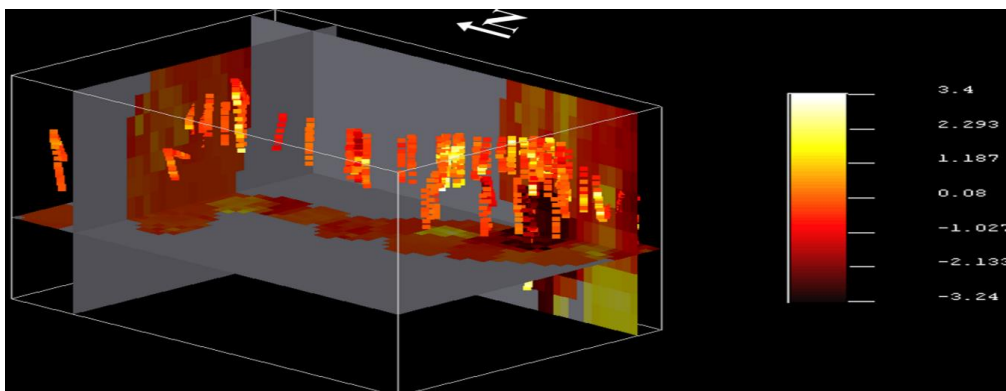
#### ارزیابی ذخیره کانسار مورد مطالعه

- تخمین به روش لاگ کریجینگ معمولی از آنجایی که توزیع داده‌های عیار مجموع سرب و روی در مناطق تپه آقاحساب، بلوک خارزن و نیز کل محدوده کانسار سرب و روی فیض‌آباد، از نوع لاگ‌نرمال می‌باشد، بنابراین برای تخمین ذخیره، روش لاگ کریجینگ معمولی بلوکی با اندازه بلوک‌های ۱۰×۱۰×۱۰ متر و تعداد ۱۸۷۰۰ بلوک (تعداد ۵۰ بلوک در راستای شمالی-جنوبی، ۳۴



تخمینی نیز  $2/14(\%)^2$  به دست آمده است. نمودار عیار- تناژ مناطق تپه آقاحساب، بلوک خارزن و کل محدوده کانسار سرب و روی فیض آباد با روش لاگ کریجینگ معمولی بلوکی در شکل ۱۵ ترسیم شده است. در این شکل محور افقی مقدار عیار حد، محور عمودی سمت چپ، میزان تناژ و محور عمودی سمت راست، مقدار عیار متوسط می باشد.

روز و آینده) و حجم ۱۰۰۰ متر مکعبی هر بلوک، نتایج محاسبه عیار متوسط کانسار و ذخیره ماده معدنی با استفاده از روش تخمین لاگ کریجینگ معمولی در جدول ۱ خلاصه شده است. میزان چگالی کانسار نیز به طور متوسط  $2/9$  گرم بر سانتی متر مکعب منظور شده است. واریانس لگاریتم داده های اولیه  $6/4(\%)^2$  و واریانس داده های



شکل ۱۴: نمایش سه بعدی بلوک بندی شده تخمین لاگ کریجینگ معمولی در منطقه تپه آقاحساب توسط سه نیمرخ عمودبرهم.

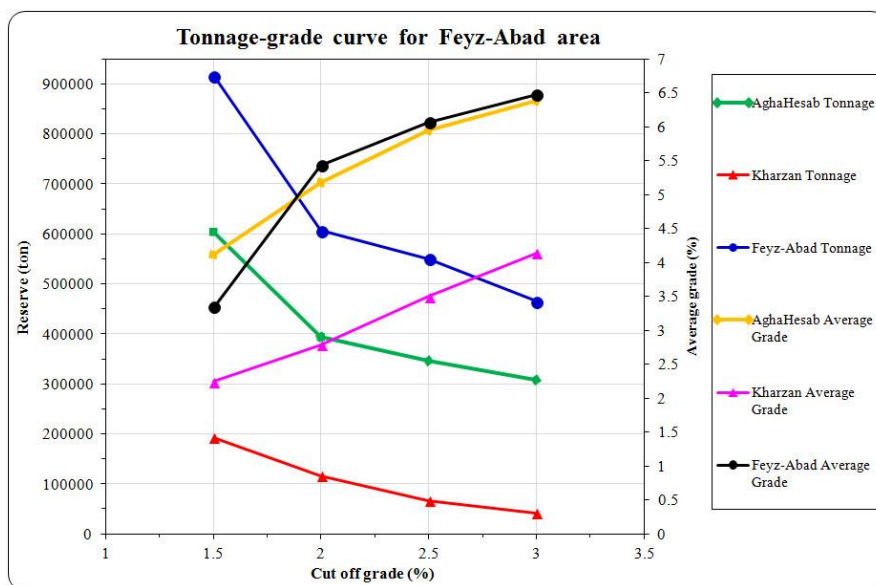
تخمین کریجینگ شاخص، مقادیر تخمین زده شده با رابطه مربوط به کریجینگ شاخص ناپیوسته با یکدیگر تلفیق شدند و با اعمال عیار حدهای  $1/5$ ،  $2/5$  و  $3$  درصد و حجم  $1000$  متر مکعبی هر بلوک، ذخیره محدوده به ازای عیار حدهای مختلف به دست آمد. نتایج محاسبه عیار متوسط و میزان ذخیره محدوده به ازای عیار حدهای مختلف، در جدول ۲ خلاصه شده است. نمودار عیار- تناژ مناطق تپه آقاحساب، بلوک خارزن و کل کانسار سرب و روی فیض آباد با روش کریجینگ شاخص نیز در شکل ۱۶ ترسیم شده است. در این شکل محور افقی، مقدار عیار حد، محور عمودی سمت چپ، میزان تناژ و محور عمودی سمت راست، مقدار عیار متوسط است. میزان چگالی کانسار نیز همانند قبل به طور متوسط  $2/9$  گرم بر سانتی متر مکعب منظور شده است.

- تخمین به روش کریجینگ شاخص

برای تخمین ذخیره کانسار سرب و روی فیض آباد با استفاده از روش کریجینگ شاخص، ابتدا بر روی داده های خام عیارسنجی منطقه، عیار حدهای  $1/5$ ،  $2/5$  و  $3$  درصد اعمال شد. با توجه به تابع شاخص، داده های کوچک تر یا مساوی با عیار حدها برابر با مقدار  $1$  و داده های بیشتر از عیار حدها برابر با مقدار صفر منظور شد و ابتدا با استفاده از نرم افزار SGeMS واریوگرافی و سپس تخمین ذخیره با روش تخمین کریجینگ شاخص با اندازه بلوک های  $10 \times 10 \times 10$  متر صورت گرفت. براساس واریوگرافی شاخص، اغلب واریوگرام های شاخص تجربی با مدل تئوری از نوع کروری انطباق یافته و کانسار دارای ناهمسانگردی از نوع ناحیه ای است که با قدری ساده سازی، به صورت همسانگرد با شعاع تجسس در حدود  $36$  متر در نظر گرفته شد. بعد از انجام

جدول ۱: نتایج محاسبه ذخیره و متوسط عیار مجموع سرب و روی کانسار مورد مطالعه با روش لاگ کریجینگ معمولی بلوکی.

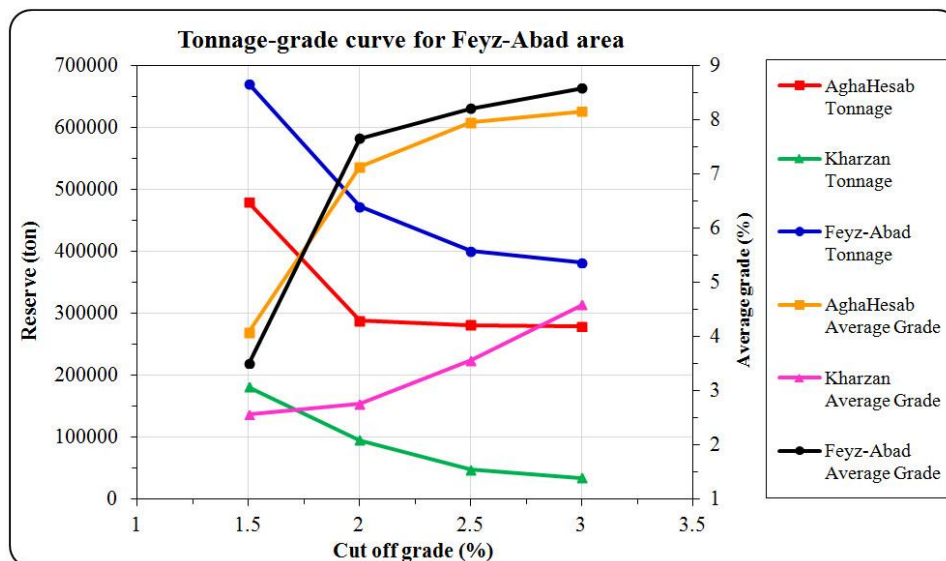
محدوده	منطقه تپه آقاحساب	منطقه بلوک خارزن	کل کانسار سرب و روی فیض‌آباد
پارامتر عیارحد (%)	عیار متوسط (%)	ذخیره خالص ماده معدنی (تن)	عیار متوسط (%)
ذخیره خالص ماده معدنی (تن)	عیار متوسط (%)	ذخیره خالص ماده معدنی (تن)	عیار متوسط (%)
۱/۵	۴/۱۱	۱۹۲۴۹۰/۸	۳/۳۴
۲	۵/۱۷	۱۱۶۲۸۶/۷	۵/۴۳
۲/۵	۵/۹۶	۶۶۹۰۱/۳	۶/۰۶
۳	۶/۳۹	۴۱۹۹۴/۴	۶/۴۷



شکل ۱۵: نمودار عیار- تناژ مناطق تپه آقاحساب، بلوک خارزن و کل محدوده کانسار سرب و روی فیض‌آباد با روش لاگ کریجینگ معمولی بلوکی.

جدول ۲: نتایج تخمین متوسط عیار و میزان ذخیره کانسار سرب و روی فیض‌آباد با روش کریجینگ شاخص.

محدوده	منطقه تپه آقاحساب	منطقه بلوک خارزن	کل کانسار سرب و روی فیض‌آباد
پارامتر عیارحد (%)	عیار متوسط (%)	ذخیره خالص ماده معدنی (تن)	عیار متوسط (%)
ذخیره خالص ماده معدنی (تن)	عیار متوسط (%)	ذخیره خالص ماده معدنی (تن)	عیار متوسط (%)
۱/۵	۴/۰۷	۴۷۸۹۶۴/۴۲	۳/۵۰
۲	۷/۱۳	۲۸۸۱۰۴/۳۰	۷/۶۴
۲/۵	۷/۹۵	۲۸۰۹۱۱/۰۸	۸/۲۰
۳	۸/۱۵	۲۷۸۷۵۵/۲۶	۸/۵۷



شکل ۱۶: نمودار عیار- تناژ مناطق تپه آقاحساب، بلوک خارزن و کل محدوده کانسار سرب و روی فیض‌آباد با روش کریجینگ شاخص.

## نتایج

دو روش نسبتاً زیاد است. علت این امر آن است که در روش لاگ کریجینگ معمولی، بلوک‌های حاوی ماده معدنی همواره با مقداری باطله همراه می‌باشند، به عبارت دیگر در روش لاگ کریجینگ معمولی، اختلاط کانسنگ و باطله زیاد است ولی در روش کریجینگ شاخص، جداسازی بلوک‌های کانسنگ و باطله صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر این روش از اختلاط کانسنگ و باطله جلوگیری می‌نماید و در نتیجه درجه خلوص بلوک‌های ماده معدنی در این روش از روش‌های دیگر همانند لاگ کریجینگ معمولی بیشتر است. به همین دلیل به طور کلی متوسط عیار به ازای عیار حدهای مختلف در روش کریجینگ شاخص نسبت به روش لاگ کریجینگ معمولی بیشتر است. متوسط عیار کانسار در منطقه بلوک خارزن از منطقه تپه آقاحساب و نیز کل محدوده کانسار سرب و روی فیض‌آباد، کمتر محاسبه شده است. به عبارت دیگر به طور کلی عیار ماده معدنی در منطقه بلوک خارزن نسبت به منطقه تپه آقاحساب پایین‌تر است. شاید یکی از دلایل این موضوع، عمق کمتر حفاری‌های انجام

برای ارزیابی نتایج حاصل از تخمین و دستیابی به نوعی دقت تخمینی، لازم است که نتایج تخمین ذخیره به روش‌های زمین‌آماري غیرخطی لاگ کریجینگ معمولی بلوکی و کریجینگ شاخص، با یکدیگر مقایسه شوند. هر یک از روش‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر نسبت به دیگری دارای یک سری مزایا و معایب می‌باشند. به عنوان مثال سادگی روش تخمین لاگ کریجینگ معمولی از مزیت‌های این روش است و در مقابل عدم امکان بازیابی درست واریانس واقعی داده‌ها بعد از تخمین، از معایب آن است. جداسازی باطله از کانسنگ از مزایای روش تخمین کریجینگ شاخص است و پیچیدگی نسبی آن، از معایب این روش می‌باشد. با توجه به داده‌های جدول‌های ۱ و ۲ و نمودار شکل-های ۱۵ و ۱۶ ملاحظه می‌شود که میزان ذخیره محاسبه شده به ازای عیار حدهای مختلف در مناطق مورد مطالعه با روش لاگ کریجینگ معمولی از روش کریجینگ شاخص، بیشتر است و اختلاف میزان ذخیره محاسبه شده با استفاده از این

دو روش برای کل محدوده کانسار سرب و روی فیض‌آباد به‌ازای عیار حدهای ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ درصد به‌ترتیب برابر با ۲۶/۹، ۲۲، ۲۷ و ۱۷/۸ درصد است. البته یکی از دلایل این میزان اختلاف، فقدان اطلاعات اکتشافی کافی می‌باشد و دلیل دیگر به ماهیت روش‌های مورد استفاده ارتباط دارد، ولی در مجموع نتایج روش کریجینگ شاخص قابل اعتمادتر است. به‌طور کلی برای دستیابی به بهترین پاسخ و مطلوب‌ترین نتیجه، بهتر است که برای محاسبه ذخیره یک کانسار از چند روش مختلف به‌ویژه از روش‌های نوین و دقیق زمین‌آماری استفاده نمود. چرا که تکیه بر نتایج تنها یک روش، از ریسک بالایی برخوردار است و احتمال خطاهای نظام‌دار وجود دارد. در مورد کانسارهایی که پراکندگی داده‌های عیارسنجی آنها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند، یکی از روش‌های معمول تخمین، روش لاگ کریجینگ معمولی است ولی از آنجایی - که در این روش بازگرداندن واریانس واقعی داده‌ها بعد از تبدیل لگاریتمی داده‌های خام و عملیات تخمین، تقریباً امکان‌پذیر نیست، بنابراین استفاده از روش‌های تخمین زمین‌آماري غیرخطی همانند کریجینگ شاخص گریزناپذیر است. اگرچه روش - های تخمین زمین‌آماري غیرخطی از پیچیدگی‌های خاص خود برخوردارند، به‌هرجهت در صورت فهم درست مفاهیم نظری این روش‌ها و انتخاب درست پارامترهای آنها به‌هنگام تخمین، منجر به نتایج بسیار دقیق، سودمند و مطلوبی می‌شوند. معقولانه‌ترین تصمیم، استفاده از چند روش مختلف و متوسط‌گیری از نتایج روش‌های آنها می‌باشد. پیشنهاد می‌شود به‌منظور افزایش دقت تخمین ذخیره محدوده مورد مطالعه، وزن مخصوص ماده معدنی در نقاط مختلف کانسار به‌روش آزمایشگاهی و با دقت زیاد تعیین شود؛ سپس با روش شبیه - سازی شاخصی و تعیین جنس، به هر بلوک، وزن

شده در منطقه بلوک خارزن باشد، درحالی که ممکن است کانه‌زائی در اعماق بیشتر صورت گرفته باشد. شاید هم به‌لحاظ شرایط زمین‌شناسی، واقعاً کانه‌زائی در این منطقه کلاً ضعیف‌تر از منطقه تپه آقاحساب باشد. میزان ذخیره محاسبه شده برای کل کانسار سرب و روی فیض‌آباد به‌ویژه با روش تخمین لاگ کریجینگ معمولی نسبتاً زیاد و قدری بالاتر از مقدار واقعی به‌نظر می‌رسد؛ چرا که قاعدتاً باید میزان ذخیره این محدوده برابر با مجموع ذخیره محاسبه شده برای دو منطقه تپه آقاحساب و بلوک خارزن باشد، حال آنکه از این مقدار هم قدری بیشتر است و دلیل این امر آن است که در نتیجه واریوگرافی و عملیات تخمین کل محدوده، به‌طور ناخواسته بخش‌هایی از محدوده فاقد اطلاعات اکتشافی در مابین مناطق تپه آقاحساب و بلوک خارزن به‌عنوان ماده معدنی در محاسبات وارد می‌شوند که شاید فاقد کانه‌زائی و در نتیجه غیرواقعی باشند.

### نتیجه‌گیری

از آنجایی که توزیع داده‌های عیار مجموع سرب و روی مناطق تپه آقاحساب و کوه خارزن و نیز کل محدوده کانسار مورد مطالعه از نوع لاگ‌نرمال است، متوسط عیار و میزان ذخیره کانسار با روش‌های تخمین غیرخطی لاگ کریجینگ معمولی بلوکی و کریجینگ شاخص به‌کمک نرم‌افزار SGeMS - به - ازای عیار حدهای ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ درصد محاسبه شده و نمودارهای عیار - تناژ ذخیره ترسیم شده است. اگرچه هر دو روش زمین‌آماري لاگ کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص از دقیق - ترین روش‌های تخمین ذخیره می‌باشند، به هرجهت اختلاف نتایج تخمین عیار و میزان ذخیره کانسار با روش‌های مذکور نسبتاً زیاد است. به‌عنوان مثال اختلاف میزان ذخیره محاسبه شده توسط این

که همواره با موضوع تخمین دقیق ذخایر معدنی درگیر می‌باشند، قابل استفاده است.

مخصوص دقیق آن نسبت داده شود. نتایج این پژوهش برای کلیه کاربران علوم زمین به‌ویژه مهندسیین اکتشاف معدن و زمین‌شناسان اقتصادی

## پانوشت

1-Log-kriging  
2-Indicator kriging  
3-Disjunctive kriging  
4-Sequential Gaussian Simulation  
5-Metasomatic  
6-Metamorphic Rock Fragments

7-Logging  
8-Journal  
9-Switzer  
10-Cumulative distribution function  
11-Strip-log  
12-Trend

## منابع

دانشگاه تهران، ۳۸۲ ص.

-حسینی‌پاک، ع.ا. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰. تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ ص.

-صانعی، ص.، ۱۳۹۲. گزارش کلی اکتشافات سال ۱۳۹۲ معدن سرب و روی فیض آباد، شرکت گسترش صنایع، معادن و ذوب فلزات رنگین مرکزی، ۵۴ ص.

-مدنی، ح.، ۱۳۷۶. اصول پی‌جویی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی، انتشارات خانه فرهنگ، ۸۱۶ ص.

-واحد اکتشافات شرکت گسترش صنایع، معادن و ذوب فلزات رنگین مرکزی، ۱۳۹۴. گزارش کلی اکتشافات سال ۱۳۹۳ معدن سرب و روی فیض آباد، شرکت گسترش صنایع، معادن و ذوب فلزات رنگین مرکزی.

-احمدی، ر.، ۱۳۸۸. کاربرد الگوهای آماری در ارزیابی ذخایر معدنی با نگرشی بر معدن مس علی آباد یزد، گزارش طرح پژوهشی طرف قرارداد با دانشگاه علم و صنعت اراک، ۱۰۲ ص.

-افروخته، ا.، موسیوند، ف. و طاهری، ع.، ۱۳۹۳. ساخت و بافت و کانی‌شناسی در کانه‌زایی روی-سرب در توالی دگرگون شده پالئوزوئیک در جنوب غرب نائین، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

-امینی، ب.، امینی چهرق، م.ر. و امامی، ه.، ۱۳۸۲. نقشه زمین‌شناسی ایران، سری ۱:۱۰۰۰۰۰ برگه شماره ۶۵۵۵ کجان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-حسینی‌پاک، ع.ا. و خالصی، م.ر.، ۱۳۸۲. مدیریت خطا و ریسک در اکتشاف، موسسه چاپ و انتشارات

-Annels, A.E., 2012. Mineral deposit evaluation: a practical approach, Springer Science & Business Media.

-Annels, A.E., 1991. Mineral Deposit Evaluation: A Practical Approach, Chapman & Hall, London, XV, 436 p.

-Bohling, G., 2007. SGeMS Tutorial Notes.

-Choudhury, S., 2015. Comparative

study on linear and non-linear geostatistical estimation methods: A case study on iron deposit, Procedia earth and planetary science 11, p. 131-139.

-Goovaerts, P., 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation; Oxford University Press, Applied Geostatistics Series; 483 p.

- Gossage, B., 1998. The application of indicator kriging in the modeling of geological data.  
<http://www.goldensoftware.com/Surfer15>,  
[Http://www.rockware.com/Rockworks16](http://www.rockware.com/Rockworks16).
- Journel, A.G., 1983. Nonparametric estimation of spatial distributions: *Mathematical Geology*, v. 15, p. 445-468.
- Journel, A.G., 1989. *Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons, Short Course in Geology: Volume 8*, American Geophysical Union, 57 p.
- Remy, N., Boucher, A. and Wu, J., 2006. *SGeMS User's Guide*, 129 p.
- Remy, N., Boucher, A. and Wu, J., 2009. *Applied Geostatistics with SGeMS: A User's Guide*.
- Rendu, J.M., 1981. *An introduction to geostatistical methods of mineral evaluation*, South African Institute of Mining and Metallurgy monograph series, Johannesburg, 84 p.
- Sarma, D.D., 2009. *Geostatistics with Applications in Earth Sciences*, Springer Netherlands, 206 p.
- Sharif, A.J. and karim-zadeh, V., 2015. Variography of exploration data of Korkora2 iron ore deposit for determination of required parameters in order to reserve estimation. 33rd National Geosciences Symposium, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Soares, A., Pereira, M.J. and Dimitrakopoulos, R., 2008. *geoENV VI- Geostatistics for environmental applications*, Springer, 500 p.
- Switzer, P., 1977. Estimation of spatial distributions from point sources with application to air pollution measurement: *Bulletin of the International Statistical Institute.*, v. 47, p. 123-137.
- Webster, R. and Oliver, M.A., 2007. *Geostatistics for Environmental Scientists*, John Wiley & Sons Ltd., 333 p.