فصلنامه علمی- پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال هفتم، شماره ۲۲، بهار ۱۳۹۲

پردازش داده های اکتشافی زرشوران و طراحی شکل توده و تعیین ذخیره

آرش گورابجیری پور[۱]، بهرام ابوالقاسمی[۲]، علیرضا نجفی[۳]، مهناز طاهری[٤]

۱- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

۲- کارشناس ارشد اکتشاف، شرکت مشاوران انرژی تهران

۳- کارشناس ارشد اکتشاف، شرکت پارس کانی

٤- کارشناس ارشد پترولوژی، شرکت پارس کانی mahnaz_taheri@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله :۱۳۹۰/۵/۱٦ تاریخ تصویب :۱۳۹۱/۸/۱۲

چکیده

محدوده زرشوران در جنوب شرق استان آذربایجان غربی قرار دارد و از نظر زمین شناسی بخشی از زون البرز-آذربایجان است و پی سنگ پرکامبرین پسین رخنمون غالب ناحیه زرشوران را تشکیل داده و از کربنات ها و سنگ های آتشفشانی اسیدی تا متوسط تشکیل شده و با یک دگرشیبی مشخص توسط لایه های قرمز الیگومیوسن پوشیده می‌شوند. مهمترین ساختار زمین شناسی که در شکل کانسار نیز موثر است، طاقدیس بیضوی ایمان خان است. چهره های ساختاری دیگر در کانسار زرشوران، ساختمان های شکل پذیر و شکنا در راستای شکستگی اصلی با امتداد شمال غرب - جنوب شرق است که مرتبط با کانی زایی هستند. کانی‌سازی طلا در این کانسار از جهات مختلفی مشابه کانسار اپی‌ترمال پراکنده در سنگ‌های رسوبی و به خصوص کربناته (تیپ کارلین کانسار طلا) می‌باشد. دگرسانی از نوع سیلیسی، سیلیسی-آرژیلی، سریسیتی-آرژیلی و آلونیتی در محدوده قابل مشاهده است. در اجرای این تحقیق داده های مراحل مختلف در این محدوده جمع‌آوری شده و سپس در نرم‌افزار Datamine Studio3 مورد پردازش قرار گرفت. ابتدا نمونه‌های ژئوشیمی خاک شامل ۱٤۲۷ نمونه بررسی و بالاترین پتانسیل کانی‌سازی در محدوده مشخص و پاراژنزهای طلا مشخص گردید. سپس با تعیین مقاطع و فضای تخمین بر اساس گمانه‌های حفاری شده و بررسی آماری بر روی داده و تعیین بهترین روش تخمین که کریجینگ معمولی بود، ارزیابی ذخیره صورت گرفت. در نهایت بر اساس ضخامت ماده معدنی در بخش‌های مختلف و خطای تخمین بهترین نقاط حفاری جهت بررسی تکمیلی محدوده در شبکه‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری مشخص شد.

واژگان کلیدی: زرشوران، کانسار طلا، تیپ کارلین کانسار طلا، کریجینگ، پایگاه داده های جغرافیایی (GIS)

مقدمه

محدوده معدنی زرشوران تا قبل از سال ۱۳۷۰ به عنوان معدن زرنیخ مورد توجه بوده و مورد بهره برداری قرار داشته است. از سال ۱۳۷۰ این کانسار به عنوان یک پتانسیل طلا مورد توجه قرار گرفته است و مطالعات اکتشافی تا مرحله نیمه تفصیلی بر روی آن در چارچوب طرح اکتشاف سراسری طلا انجام گرفته است. نگاه شرکت انگلو آمریکن(AngloAmerican) در گزارش ارزیابی

زرشوران به صورت اولیه و در جهت تعیین راهبرد، در ادامه یا توقف اکتشاف و استخراج زرشوران می باشد[6 و11]. لذا راهنمای خوبی برای ادامه کار نیست. از سوی دیگر ارزیابی انگلوامریکن بر اساس شرایط فناوری آن زمان و قیمت های جهانی طلا در سال ۱۳۷۹ انجام شد و با توجه به حدود چند برابر شدن قیمت طلا در این مدت ضروری به نظر می‌رسد که بررسی مجدد و دقیق تری بر روی محدوده صورت گیرد. لذا با وجود داده های موجود، پیش از شروع کار استخراج، جهت تکمیل داده های اکتشافی نیاز به پردازش داده ها و برنامه حفاری تکمیلی دیده شده است.

موقعیت جغرافیایی

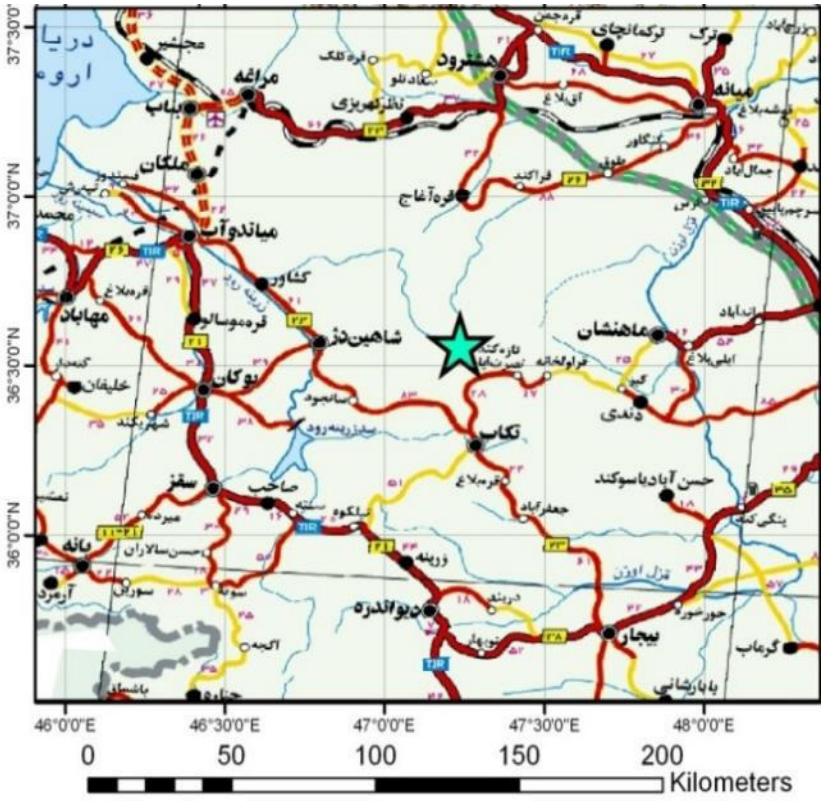
این کانسار در جنوب شرق محدوده جغرافیائی استان آذربایجان غربی و به فاصله ۵ کیلومتری شمال تا شمال شرقی روستای زرشوران و ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان تکاب واقع شده است. مختصات این کانسار ″۵۸ ،′۰۶ ،°۴۷ تا ″۱۶ ،′۱۰ ،°۴۷ طول شرقی و″۵۱ ،′۴۱ ،°۳۶ تا ″۳۵ ،′۴۶ ،°۳۶ عرض شمالی است. ارتفاع متوسط محدوده از سطح دریا ۲۳۵۰ متر می باشد. حداقل ارتفاع در محل تلاقی دو آبراهه معدن زرشوران و بخیربولاغی۲۲۰۰ متر می باشد و حداکثر ارتفاع در قله کوه چالداغ برابر ۲۷۹۶ متر است. بلندترین ارتفاع منطقه تکاب کوه بلقیس با ارتفاع ۳۳۳۲ متر و حدود ۱۸ کیلومتری شرق - جنوب شرق کانسار واقع شده است (شکل۱).

زمین شناسی عمومی کانسار طلای زرشوران

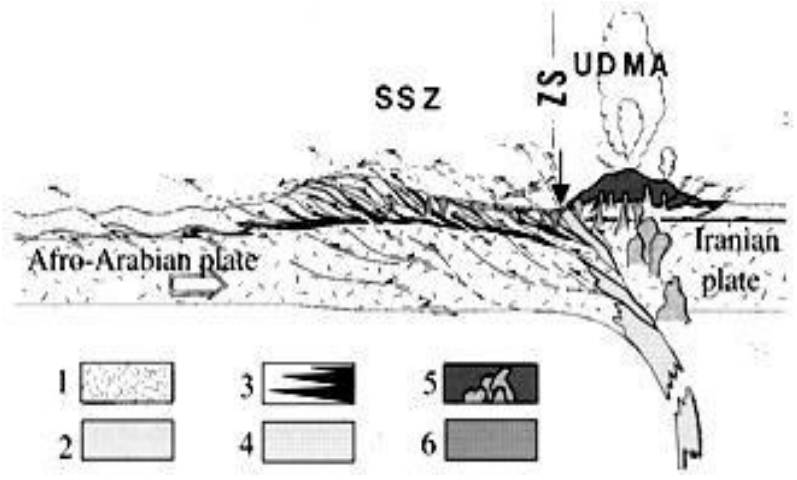
کانسار زرشوران درقسمت مرکزی برگه تکاب - شاهین دژ قرارداشته و بر اساس تقسیمات زمین شناسی - ساختاری ایران، بخشی از کمربند البرز - آذربایجان است [۱]. شکل۲ مقطع الگوواری از کمربند کوهزایی زاگرس را نشان می دهد که موقعیت کانسار زرشوران بر روی آن نشان داده شده است. پی سنگ پرکامبرین پسین، رخنمون غالب ناحیه زرشوران را تشکیل می‌دهد و از کربنات ها و سنگهای آتشفشانی اسیدی تا متوسط تشکیل شده که با یک دگرشیبی مشخص توسط لایه های قرمز الیگومیوسن پوشیده می شوند. در برخی نقاط توالی مذکور زیر تراورتن های کواترنر قرار گرفته است [۱].

واحدها از قدیم به جدید در زیر آمده است. سنگ های منسوب به پرکامبرین در کانسار، آمیزه ای از متابازیک، اولترابازیک، سکانس های کربناته و متاپلیت هاست که در رخساره شیست سبز و تحت تأثیر دگرگونی ناحیه ای با فاز سیال CO_2 قرار گرفته اند و عبارتند از: سنگ های دگرگونی در رخساره شیست سبز (مجموعه ایمان خان)، واحد سنگ آهک کریستالین (مرمر) چالداغ ، واحد کربنات و شیست سیاه زرشوران، واحد قره داش. سنگ های مربوط به پالئوزوئیک بواسطه نبود چینه شناسی و دگرشیبی تقریباً واضح بر روی واحد قره داش قرار گرفته اند و متشکل از سازند های سلطانیه، باروت زاگون، لالون و میلا می‌باشند که سن آنها کامبرین - اردویسین است. در سنگ های مربوط به پالئوزوئیک کانی سازی مشاهده نشده است. سنگ های مربوط به ترشیری از نظر کانی سازی بجز برخی موارد اهمیت

چندانی ندارد [٤]. در شمال تکاب آتشفشان در طول کواترنر فعال بوده و سنگ های آتشفشانی جوان وسعت قابل توجهی از منطقه شمال تکاب را پوشانده اند. به علاوه چشمه های تراورتن ساز متعددی در منطقه فعالیت داشته و تراورتن سازی نیز در وسعت قابل توجهی انجام شده است [۱].



شکل۱- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به کانسار طلای زرشوران [2]



شکل ۲- مقطع الگووار از کمربند کوهزایی زاگرس جهت فلش موقعیت کانسار زرشوران را نشان می‌دهد.

۱-پوسته قاره‌ای۲- رسوبات فانروزوئیک ۳- رسوبات تبخیری ٤- پوسته اقیانوسی ٥- توده های نفوذی و ارومیه دختر

زمین شناسی اقتصادی

در میوسن پسین - پلیوسن شدید ترین فاز آتشفشانی و نفوذ توده های کوچک اسیدی از نوع گرانیت گرانیت پورفیری در قسمت میانی منطقه تکاب رخ داده است و آثار آن هنوز به صورت چشمه های آب گرم دیده می شود. همزمان با این فاز، متنوع ترین و با ارزش ترین فاز کانی سازی نیز رخ داده که اوج آن در پایان میوسن و ابتدای پلیوسن بوده است [۱]. کانسارهای طلا-آرسنیک زرشوران، آق دره، عربشاه در این زمان تشکیل شده اند. در این کانسارها منبع طلا در پی سنگ افیولیتی و شیست سبز قرار دارد ولی کانی سازی و تمرکز توسط فرآیندهای ماگمایی به ویژه آتشفشانی ترشیر - کواترنر و محلول های گرمابی وابسته به آنها در سنگ های جوان تر رخ داده است. به عبارت دیگر، منبع طلا در پی سنگ اولترامافیک - مافیک دگرگون شده شیست سبز قرار داشته ولی کانی سازی حاصل چرخه دوباره و بازیافت از پی سنگ به سنگ های جوان تر است[10]. کانی سازی طلا در کانسار زرشوران از جهات مختلفی مشابه کانسار اپی ترمال پراکنده در سنگ های رسوبی و به خصوص کربناته (تیپ کارلین) می باشد. طلا به صورت بسیار دانه ریز در کانسار پراکنده بوده و میزان آرسنیک و سولفید در کانسار بسیار بالا است. کانی سازی در این کانسار به سه شکل رگه ای (در زون سیلیسی)، لایه ای (در آهک کربن دار زرشوران و آهک با رگچه های زرنیخ چالداغ) و توده ای (در محدوده مرکزی معدن زرنیخ) دیده می شود [۱].

کانی های همراه طلا عبارتند از: اورپیمنت، رآلگار استیبنیت، اسفالریت، گالن، گچلیت، سینابر کانی های مس دار و گانگ کانسار عبارت است از کوارتز، فلورین، باریت و کلسیت [9].

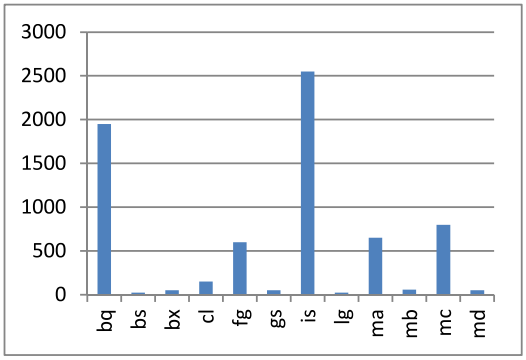
عمده ترین کانی سازی طلا و آرسنیک در ناحیه معدنی زرشوران متعلق به واحد چینه ای زرشوران می باشد. این واحد سنگی به لحاظ جنس، واحدی مناسب جهت کانی سازی طلا، آرسنیک و عناصر همراه به شمار می رود. روند این واحد مطابق با محور چین خوردگی تاقدیس ایمان خان (شمال غرب - جنوب شرق) بوده و افق کانه دار روی یال جنوبی طاقدیس قرار گرفته است [٤].

تهیه بانک اطلاعات داده ها و پردازش اولیه

پس از جمع آوری اطلاعات، کلیه داده ها در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد می شود و رقومی سازی و تبدیل مختصات اطلاعات انجام می شود. همچنین جهت ارزیابی کانسار نیز این اطلاعات باید در یک نرم افزار مدل سازی معدنی مناسب وارد شود. به این منظور از نرم افزار Arc GIS و نرم افزار مدل سازی Data Mine Studio3 استفاده شد. با استفاده از داده‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی مدل سازی سه بعدی اطلاعات گمانه و زمین شناسی در نرم افزارData Mine انجام شد. در مرحله بعد با استفاده از اطلاعات موجود، شکل توده معدنی به صورت اولیه مدل و ذخیره ماده معدنی در محدوده بررسی شد. مراحل مختلف پردازش داده در ارزیابی ذخیره کانسار طلای زرشوران به شرح زیر است:

۱- جایگزینی داده های خارج از ردیف : در مورد کانسار طلا با توجه به توزیع طلا و احتمال وجود عیارهای بسیار بالا و بیشترین عیار جهت فرآوری کانسنگ، میزان عیار۱ اونس در تن یا ۳۰ گرم در تن را برای مقادیر خارج از ردیف در نظر می گیرند.

۲- جایگزینی و ترکیب واحدهای زمین شناسی: با توجه به این که در لاگ گمانه ها ٤١٠ حالت مختلف وجود دارد، با ترکیب و تبدیل این واحدها ۱۵ واحد سنگ شناسی مختلف معرفی شد. ۵ واحد مرمر، ژاسپروئید، گوج سیاه، گوج سیاه گسلی و مرمر کربناتی واحدهایی هستند که از نظر آماری کانی سازی در آنها تائید می شود. شکل ۳ میانگین عیار طلا را نشان می دهد.



شکل ۳- میانگین عیار طلا در واحدهای سنگی

ژئوشیمی خاک

بر مبنای گزاشات قبلی و بر اساس اطلاعات ژئوشیمی رسوبات آبراهه ای منطقه پتانسیل دار زرشوران در محدوده ای به مساحت تقریبی ١٤/٥ کیلومتر مربع با شبکه ٤٠ × ٤٠ نمونه خاک برداشت شده است. در مجموع ١٤٢٧ نمونه برای ٤٧ عنصر مورد آنالیز قرار گرفته اند. براساس آنومالی های حاصل از مناطق طلادار محدوده، شبکه حفاری تعیین شده است. برای ارزیابی مجدد و تعیین محدوده کانی سازی و مشخص کردن مرز عملیات اکتشافات تکمیلی، نمونه های خاک برداشت شده مجدداً مورد تجزیه و تحلیل و ارزیابی های ژئوشیمی به شرح زیر قرار گرفت:

۱- تهیه نقشه توزیع پراکندگی عناصر Au و Ag و Cu و Sb و Zn و S در نمونه های خاک

۲- بررسی آماری چند متغیره (تبدیل به مؤلفه های اصلی) و تعیین فاکتور آماری پاراژنز طلا در نمونه های خاک وتهیه نقشه توزیع

۳- مقایسه نتایج فوق با محل طراحی گمانه ها.

شکل ٤ نقشه توزیع پراکندگی طلا در نمونه های خاک را نشان می دهد.

بررسی آماری چند متغیره نمونه های خاک

مهم ترین حسن برداشت نمونه های خاک نسبت به نمونه های سنگ، کم شدن اثر قطعه‌ای (Nugget Effect) است. در واقع فرسایشی که در تبدیل سنگ به خاک برجا صورت می‌گیرد، باعث همگنی در خاک می‌شود و سرشکن شدگی را ایجاد می کند. آنالیز نمونه های خاک همچنین می تواند تا حدودی پاراژنز احتمالی طلا و یا هر عنصر دیگر را مشخص کند.

معمولاً تعیین قطعی پاراژنز همراه کانی سازی با مطالعه مینرالوگرافی و پتروگرافی کانسار صورت می‌گیرد اما به طور مثال در کانسار زرشوران طلا همراه رالگار و پاراژنز با آرسینک می‌باشد. لذا هر جا که کانی سازی صورت گرفته است و یا هاله کانی سازی وجود دارد، آرسنیک نیز افزایش پیدا می‌کند چنانچه

همبستگی بین عناصر مختلف وجود داشته باشد. با بررسی آماری می توان به آن پی برد. استفاده از تبدیل به مولفه های اصلی (Principal Component analysis) معمولاً در جهت کاهش تعداد متغیرها استفاده می شود. در پردازش مولفه های اصلی ۹ فاکتور اول بیش از ۷۵ درصد تغییر پذیری کل ٤٧ عنصر آنالیز شده برای نمونه‌های خاک در کانسار طلای زرشوران را نشان می‌دهد. در بین این فاکتورها عامل پنجم همبستگی بالایی بین عناصر آرسنیک جیوه، طلا و آنتیموان نشان می دهد. بر این اساس عامل پنجم به عنوان عامل کانی سازی طلا در رسوبات خاک در نظر گرفته شده است. جهت افزایش کنتراست بین مقادیر زمینه و آنومالی از ضرایب دیگر عناصر در تشکیل عامل پنجم صرف نظر گردید و در واقع معادله تبدیل عامل پنجم بر حسب همبستگی های کانی ساز به صورت رابطه (۱) در نظر گرفته شد :

F5=0.307(Au+0.384As+O.374Hg+0.265Sb) (۱)

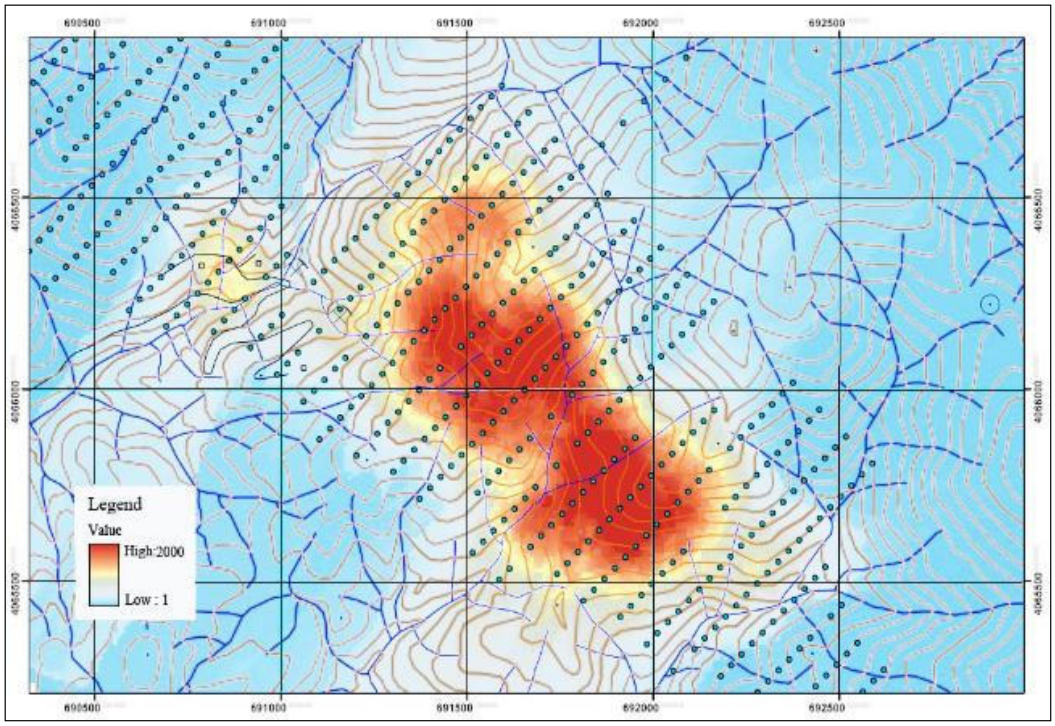
نقشه توزیع فاکتور فوق در شکل ۵ نشان داده شده است. انطباق این نقشه با نقشه توزیع طلا تاییدی بر توزیع مناطق آنومال طلا است. از بررسی این متغیر مناطقی که احتمال بیشتری برای کانی سازی طلا دارند با ضریب اطمینان بیشتری قابل بررسی هستند. مناطق با مقادیر فاکتور کانی سازی بالا بهترین نقاط جهت حفاری و تقریباً منطبق بر کارهای قبلی است.

ارزیابی اولیه کانسار

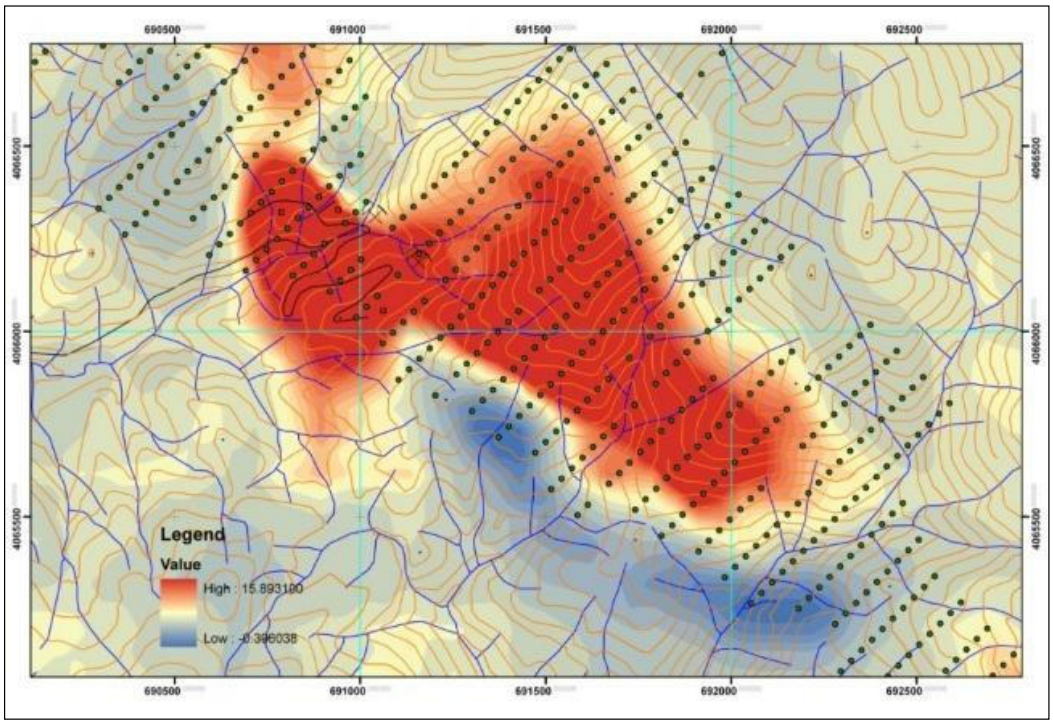
ارزیابی اولیه در کانسار زرشوران بر اساس اطلاعات حفاری های ٤٧ گمانه در محدوده ای به مساحت تقریبی ۷۰۰ ×۲۰۰۰ متر (تقریباً حدود km^2 ۱/۵) انجام شده است. مراحل کار به قرار زیر است:

۱-تعیین مقاطع : در این محدوده مقاطعی با امتداد شمال‌شرق جنوب غرب با در نظر گرفتن شیب کلی لایه های زمین شناسی و نحوه حفر گمانه ها تعیین شد. در این راستا تعداد ۱۳ پروفیل تعیین گردید. با بررسی عوامل موثر بر کانی سازی، مرزهای احتمالی کانی سازی با یک نگاه مضاعف (تا هیچ کانی سازی را از دست ندهیم) در هر مقطع کشیده شد. در تعیین عیار مرز کانی سازی و نهایتاً فضای تخمین دو استراتژی وجود دارد: ۱- با توجه به عیار حد، مرز فضای تخمین تعیین گردد، ۲- تعیین مرز کانی سازی بر اساس حد پائین جامعه کانی سازی انجام شود. تفاوت تعیین فضای تخمین در این دو روش به این شرح است:

- چنانچه عیار حد به عنوان مرز کانی سازی اختیار شود ضریب اطمینان بیشتری برای وجود کانی سازی در جایی که در تخمین به عنوان کانسنگ شناخته می شود، وجود دارد. ولی به احتمال زیاد مناطق زیادی که درآنها احتمال کانی سازی وجود دارد، از دست می رود.



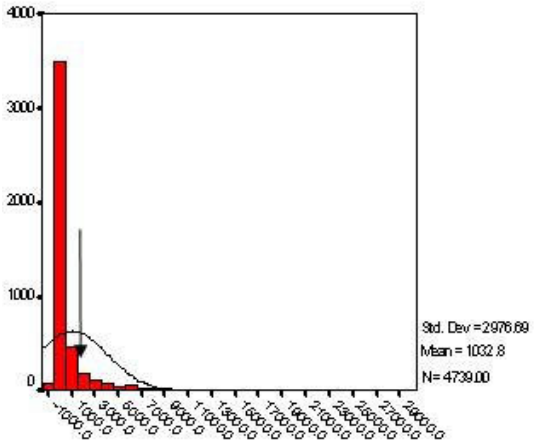
شکل٤- نقشه توزیع طلا در نمونه‌های خاک در کانسار طلای زرشوران



شکل ٥- نقشه توزیع عامل کانی سازی طلا در نمونه های خاک در کانسار طلای زرشوران

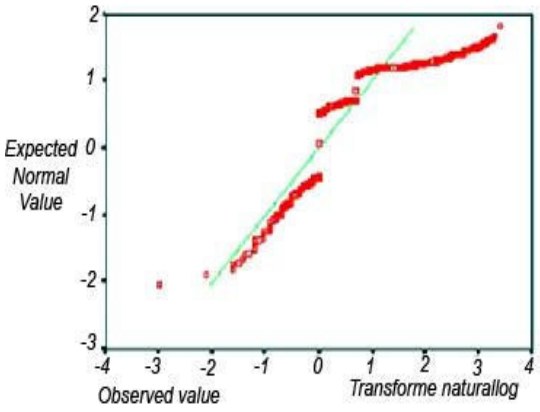
- چنانچه عیار حد به عنوان مرز کانی سازی تعیین شود، استفاده از نقاطی که عیار کمتری دارند ولی در معادله تغییرنمای(Variogram) کانی سازی شرکت می کنند، از دست می رود. به عبارت دیگر اعتبار بلوک های تخمینی پایین می آید.

- چنانچه عیار حد به عنوان مرز کانی سازی در نظر گرفته شود، در مجموع عیار متوسط کانسار بیشتر تخمین می خورد و میزان ذخیره نیز کمتر نشان داده می شود. در اینجا حد پایین کانی‌سازی به عنوان مرز کانی سازی در گمانه‌ها در نظر گرفته شد. برای تعیین مرز کانی سازی از هیستوگرام توزیع داده ها و عیار حد ۳۰ppb برای کانی سازی استفاده شد ولی بعد از تخمین بلوک هایی به عنوان کانسنگ شناخته می شوند که عیار آنها بیش از عیار حد است. شکل ٦ نمودار تجمعی توزیع طلا و شکل ۷، نمودار Q_Q لگاریتم داده ها در گمانه ها را نشان می دهد.



شکل ٦- نمودار تجمعی توزیع طلا (بر حسب ppb)

۲- **تعیین محدوده فضای تخمین در مقاطع**: فضای تخمینی یک نوع محدودیت در استفاده از داده ها و تخمین بلوک ها ایجاد می کند تا با توجه به



شکل ۷- نمودار Q-Q لگاریتم داده های طلا در گمانه ها

۳- **بررسی روندهای احتمالی عیار**: در مورد کانسار زرشوران عیار طلا به عنوان تابعی از عمق درنظرگرفته شد تا درصورت مشاهده روند بارز درتغییرات عیار، به جای استفاده از کریجینگ معمولی از کریجینگ عام استفاده شود. نتایج بررسی نشان داد که متغیر مورد نظر نسبت به عمق، تغییرات سیستماتیک ندارد.

٤- **بررسی آماری توزیع طلا**: مدل توزیعی یا تابع توزیعی در واقع بیان می‌کند که احتمال رخداد یک عیار خاص در کانسار چقدر می تواند باشد. مدل توزیع عیار یک کانسار هنگامی شناخته می شود که آن کانسار کاملاً استخراج شده باشد به عبارتی بعد از تمام شدن معدن می‌توان مدل واقعی توزیع آنرا پیدا کرد. با نمونه برداری مدل توزیعی، نمونه ها به مدل توزیع کل جامعه تعمیم داده می شود. جدول ۱ اطلاعات آماری توزیع طلا را در داده‌های گمانه‌های زرشوران نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود توزیع طلا یک توزیع با چولگی مثبت دارد.

جدول ۱- مشخصات آماری توزیع طلا در گمانه ها

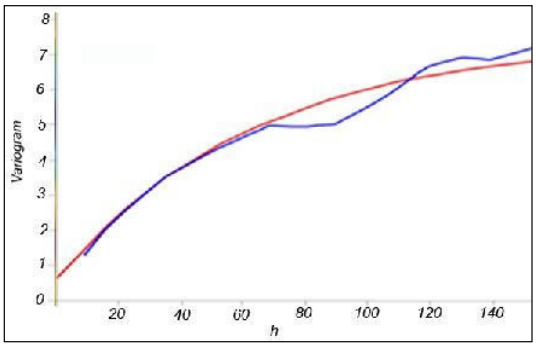
میانگین	حداکثر	حداقل	بازه	تعداد نمونه
۱۰٦۸	۳۰۰۰	۱/۵	۲۹۹۹	٤٦٥٦
کشیدگی	**چولگی**		**پراش**	**انحراف معیار**
۲۷/۸۲	٤/۷۸۵		۸۹٤۳	۲۹۹۰

۵-**همسنگ کردن داده‌ها**: در زمین آمار خصوصیات یک متغیر ناحیه ای تحت تاثیر بزرگی بخشی است که به طور فیزیکی تحت عنوان نمونه همگن شده مورد اندازه گیری قرار می گیرد. در همسنگ کردن داده‌های زرشوران نکات زیر مورد توجه بود :

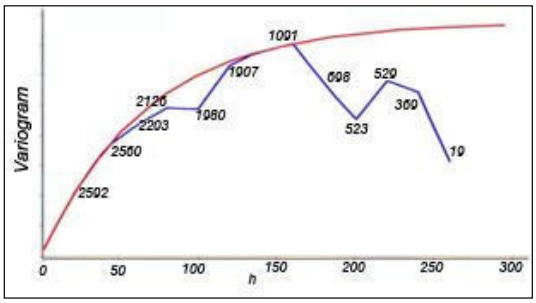
- بیشترین پیوستگی کانسنگ در طول مغزه ها: میانگین ضخامت پیوسته کانسنگ تقریباً ۲/۵ متر محاسبه شد.

- ابعاد بلوک های تخمینی: پارامترهای موثر در تعیین ابعاد بلوک عبارت است از: نحوه گسترش ماده معدنی، پیوستگی کانسنگ و باطله، ابعاد بلوک های استخراجی که معمولا ابعاد بلوک ها در حدود ۰/۳ تا ۰/۵ برابر فاصله گمانه ها در نظر گرفته می شود. با توجه به مطالب گفته شده وفاصله زیاد گمانه ها (حداقل فاصله ۱۰۰ متر) ابعاد بلوک ها ۱۰× ۲۵ × ۲۵ متر انتخاب شد. ابعاد بلوک تخمینی باید با نمونه ها متناظر باشد. برای بلوک هایی با ابعاد ۱۰×۲۵×۲۵ طول نمونه ها ۵ متر در نظر گرفته شد.

- تلاش در کم کردن هر چه بیشتر خطای تخمینی: هرچه حجم نمونه کمتر باشد، پراش (واریانس) بین آنها بیشتر است و بالعکس با افزایش حجم نمونه واریانس بین آنها کاهش می یابد. یعنی هر چه طول نمونه استفاده شده در تخمین بیشتر باشد، خطای تخمین پایین می‌آید. همچنین با بزرگ کردن ابعاد بلوک های تخمین نیز خطای تخمین کم می‌شود [۳] البته این کار با کاهش دقت تخمین همراه است. با افزایش طول نمونه، میزان اثر قطعه‌ای نیز به خاطر میانگین گیری که در نمونه‌ها رخ می دهد، پایین می‌آید و مسلماً با کم شدن اثر قطعه‌ای، میزان خطای تخمین کم می‌شود. شکل۸ و ۹ واریوگرام داده‌ها به ترتیب برای داده های همسنگ شده به طول ۰/۵ متر و ۵ متر را نشان می‌دهد. تفاوت و کم شدن میزان اثر قطعه ای و میزان پراش در نمونه های با طول ۵ متر کاملاً مشهود است.



شکل ۸- واریوگرام طلا برای نمونه ای با طول۰/۵ متر



شکل ۹- واریوگرام طلا برای نمونه‌های با طول ۵ متر در کانسار طلای زرشوران

- در استفاده از بیشترین داده‌ها باید توجه داشت که با افزایش طول نمونه‌ها در همسنگ کردن آنها، در واقع یک میانگین گیری در داده ها صورت می گیرد و تعداد داده ها نیز کم می‌شود. به عبارت دیگر تخمین

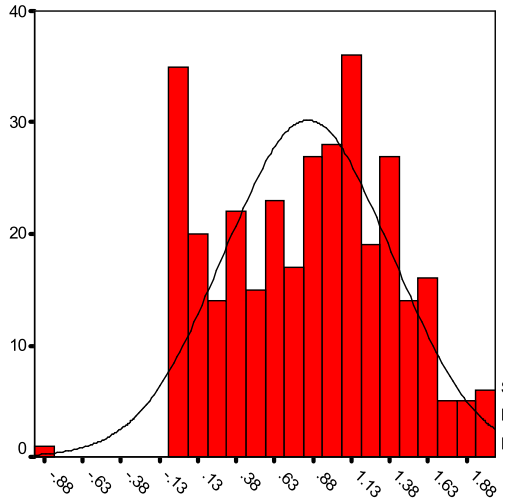
با تعداد کمتری داده صورت می‌گیرد و به طور ضمنی ضریب اطمینان تخمین پایین می‌آید. لذا باید تناسبی بین ابعاد بلوک ها، میزان خطای تخمین، تعداد داده ها و میزان پیوستگی کانسنگ برقرار کرد. با توجه به مطالب گفته شده در تخمین داده های زرشوران از نمونه‌های ۵ متری برای تخمین طلا استفاده شده است. ابعاد بلوکی تخمینی نیز با توجه به مطالب گفته شده۱۰×۲۵×۲۵ متر در نظر گرفته شد.

٦- پیدا کردن مدل توزیع طلا بر اساس داده های همسنگ شده: همانطور که ذکر شد اولین قدم در امر محاسبه ذخیره، آگاهی از مدل توزیع عیارهای موجود است زیرا محاسبه میزان فلز و کانسنگ قابل استحصال و عیار متوسط کانسار به شیوه توزیع بستگی دارد [٤]. بعد از اینکه داده های همسنگ شده ۵ متری ساخته شد، رفتار آماری عیار طلا مورد بررسی قرار گرفت. توزیع طلا در داده‌ها دارای چولگی مثبت است و توزیع آن طبیعی نیست. چون بسیاری از روابط و جداول براساس توزیع طبیعی محاسبه شده است، باید توزیع فوق را به توزیع طبیعی تبدیل کرد. برای تبدیل داده های فوق به توزیع طبیعی از تبدیل کاکس و باکس استفاده شد که تا حدودی می تواند داده‌ها را به توزیع طبیعی نزدیک کند. با توجه به اینکه چولگی اهمیت بیشتری دارد، در پیدا کردن مقدار λ در تبدیل داده های زرشوران سعی در کمینه کردن مقدار چولگی بوده است. شکل۱۰ هیستوگرام داده تبدیل شده برای داده‌های ۵ متری را نشان می دهد. جدول ۲ نیز پارامترهای آماری توزیع عیار را در داده های زرشوران برای مقادیر تبدیل یافته با تبدیل کاکس و باکس را نشان می دهد.

۷- تعیین رابطه وزن مخصوص کانسنگ و عیارطلا: برای محاسبه میزان ذخیره باید وزن مخصوص هر بلوک تخمینی مشخص شود. برای این منظور معمولاً بر اساس داده های برداشت شده از کانسار رابطه بین عیار و وزن مخصوص بدست می‌آید. متأسفانه در داده‌های حاصل از گمانه‌های زرشوران تنها در گمانه‌هایی که از سال ۱۳۷۷ به بعد توسط شرکت انگلوامریکن حفاری شده، وزن مخصوص نمونه ها محاسبه گردیده است. برای تعیین وزن مخصوص کانسنگ میانگین وزن دار بین نمونه های حاصل از گمانه ها با وزن طول نمونه محاسبه گردید. برای محاسبه میانگین از رابطه (۲) استفاده شد:

$$\bar{X} = \frac{\sum WiXi}{\sum Wi} \qquad (۲)$$

Wi طول نمونه ها و Xi وزن مخصوص آنها است. پس از محاسبات فوق وزن مخصوص کانسنگ $X=۲/۳٦٦\ gr/Cm^3$ محاسبه شد.



شکل ۱۰- هیستوگرام داده‌های ۵ متری تبدیل یافته با تبدیل کاکس و باکس

جدول ۲- پارامتر های آماری داده‌های تبدیل یافته با تبدیل کاکس و باکس

میانگین	حداکثر	حداقل	بازه	تعداد نمونه
۰/۸۴۳	۱/۹۵۹	۰/۹۲۲	۲/۸۸۱	۳۳۰
کشیدگی	چولگی		پراش	انحراف معیار
۰/۷۰۵	۰/۰۷۳		۰/۲۹۶	۰/۵۴۴

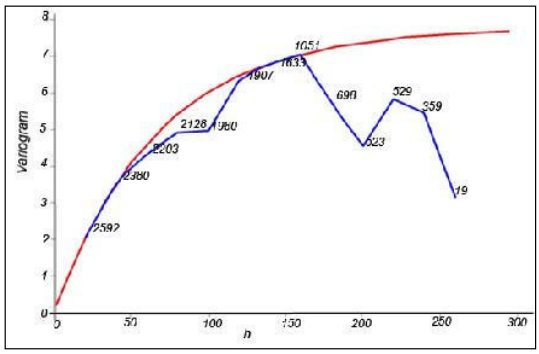
۸- واریوگرافی: در روش های تخمین زمین آماری همبستگی فضایی داده ها را در نظر می گیرند. از این رو اساس این گونه روش ها بر وجود ساختار فضایی داده ها است. تغییرنما مهم ترین ابزار بروز همبستگی های فضایی بین داده ها است. تغییرنما پایه بسیاری از محاسبات زمین آماری را تشکیل می دهد. مقدار تغییرنما از رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - X_{i+h})^2 \qquad (۳)$$

که در آن $\gamma(h)$ را سمیواریوگرام(Semivariogram) و $2\gamma(h)$ را تغییرنما (واریوگرام) می نامند. ولی چون در عمل بیشتر از $\gamma(h)$ استفاده می شود، لذا به عنوان یک قرارداد در اکثر مراجع از $\gamma(h)$ بعنوان تغییرنما نام برده می شود. در رابطه فوق n تعداد جفت نقاطی است که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند و در محاسبه تغییرنما شرکت می کنند. X_i عیار در نقطه i ام، X_{i+h} عیار در نقطه ای به فاصله h از نقطه i ام می باشد. با محاسبه مقدار و تغییرنما به ازای h های مختلف می توان نمودار $\gamma(h)$ بر حسب h را رسم کرد. به مقدار نمو h گام(Lag) گفته می شود [٤].

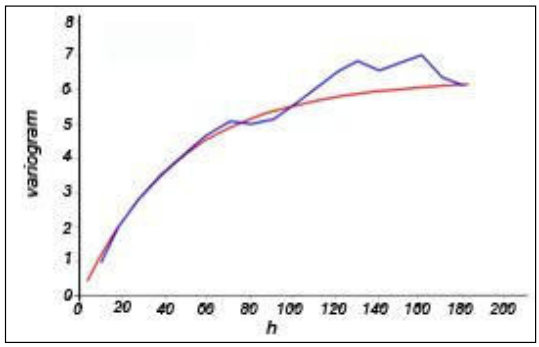
۹- مدل سازی تغییرنما: پس از محاسبه و رسم تغییرنمای تجربی باید به تغییرنما حاصل یک مدل تئوریک برازش شود. مدل دقیق تغییرنما برای هر ذخیره نامعلوم است و ما بر اساس تعدادی نمونه یک تغییرنما تجربی بدست می آوریم و سپس بر اساس آن پس از انتخاب مدل مناسب با بهترین برازش به آن پارامترهای سقف، اثرقطعه و دامنه تاثیر را تخمین می زنیم [۳].

۱۰- تغییرنما جهتی و غیر جهتی: معمولاً در کانسارهای همسانگرد و یا در آغاز واریوگرافی به منظور بررسی احتمال وجود و یا عدم وجود ساختار فضای مناسب از تغییرنما غیرجهتی استفاده می شود [۳]. در صورت استفاده از تغییرنمای جهتی در یک ذخیره همسانگرد تغییرنماهای رسم شده در تمام جهت مشابه هم هستند و با تغییرنمای غیر جهتی نیز مطابقت دارد ولی در ذخایر ناهمسانگرد تغییرنماهای رسم شده در جهات مختلف بسته به نوع ناهمسانگردی هندسی یا منطقه‌ای دارای دامنه تأثیر و سقف متفاوتی خواهند بود [12]. در بررسی داده های زرشوران برای داده های با طول ۵ متر واریوگرافی جهتی انجام گردید. برای این منظور ابتدا در جهت آزیموت صفر درجه با بازه تغییرات ۱۰ درجه در شیب های مختلف واریوگرافی انجام شد تا جهتی که بیشترین مقدار دامنه تاثیر را دارد، پیدا شود. تغییرنما در شیب ۸۰ درجه دارای بزرگترین دامنه تأثیر بوده است. سپس در این شیب در آزیموت های مختلف واریوگرافی انجام شد که تغییرات محسوس در دامنه تاثیر با تغییر آزیموت مشاهده نشد.



شکل ۱۱- تغییرنما در آزیموت°۱۲۰ و شیب°۸۰

تغییرنما در آزیموت°۱۲۰ و شیب°۸۰



شکل ۱۲- تغییرنما در آزیموت°۰ و شیب°۸۰

بر اساس نتایج حاصل از اعتبار سنجی تغییرنما(Variogram Cross validation) میزان عدم قطعیت و مقدار خطا در آن نمونه مشخص می‌شود.

در حالت ایده آل در نتایج حاصل از مقایسه داده های تخمینی و داده های اولیه باید شرایط زیر برقرار باشد:

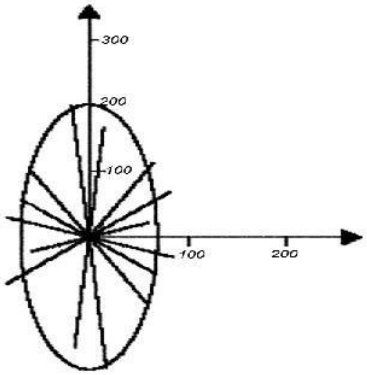
۱- میانگین خطا باید نزدیک به صفر باشد [13].

۲- پراش خطا باید نزدیک به میانگین خطای کریجینگ باشد [13].

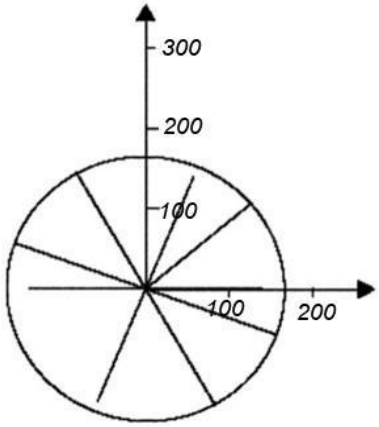
۳- هیستوگرام خطا باید دارای توزیع طبیعی باشد و تقریباً ۹۵ درصد خطا باید در بازه ۲- تا ۲ برابر پراش کریجینگ باشد [13].

٤- همبستگی بالایی بین مقادیر تخمینی و مقادیر واقعی وجود داشته باشد [12].

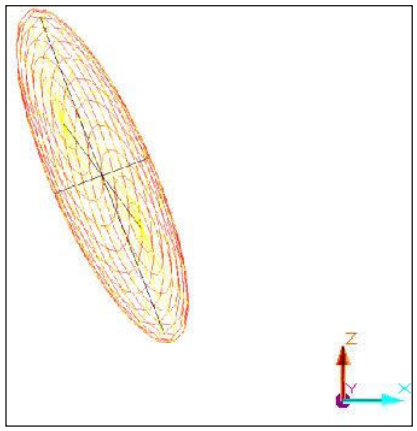
۵-همبستگی بین مقادیر تخمینی و خطا وجود نداشته باشد[12].



شکل۱۳- رسم بیضوی ناهمسانگردی در صفحه تغییرات شیب



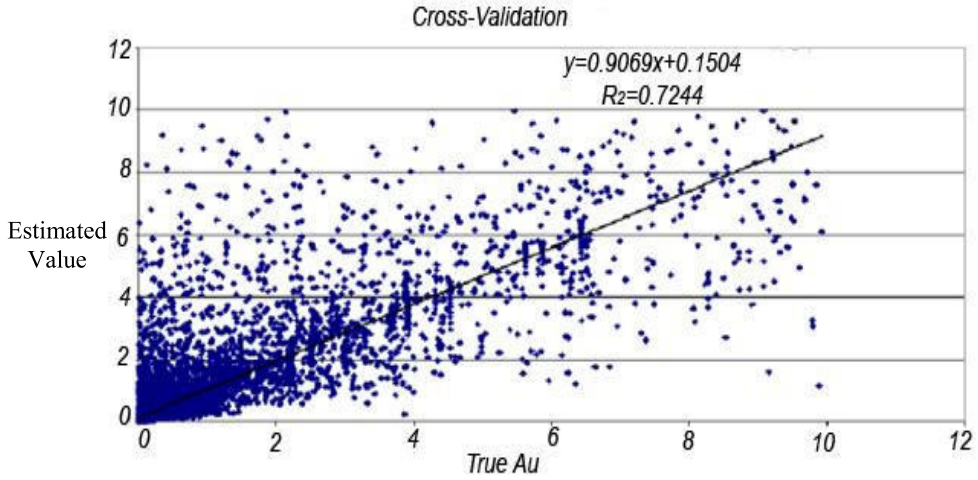
شکل۱٤-رسم بیضوی ناهمسانگردی در صفحه تغییرات آزیموت



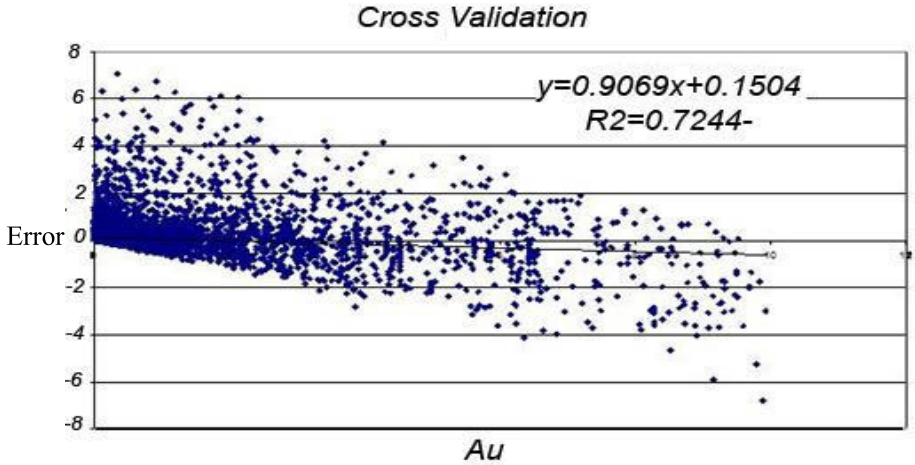
شکل۱۵-نمای سه بعدی از بیضوی ناهمسانگردی

شکل ١٦ مقایسه مقـادیر تخمینـی و مقـادیر واقعـی را نشان می دهد کـه دارای یـک رونـد مشخصـی اسـت و همبسـتگی بـالایی بـین مقـادیر تخمینـی و مقـادیر واقعی، نشان می‌دهد. شکل١٧ تغییرات خطای تخمـین نسبت به عیار را نشان می دهد، همانطور که گفته شـد هیچگونـه همبسـتگی و رونـدی بـین ایـن دو پـارامتر وجود ندارد و بیشتر خطاها نیز نزدیک بـه صفراسـت. شکل ١٨ هیستوگرام اختلاف یـا خطـای بـین مقـادیر تخمینی و مقادیر واقعی را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود میانگین خطا نزدیک صفر است.

١٢- **تخمین**: به دلیل اثرات نامطلوب خطـای تخمینـی در افـزایش ریسـک سـرمایه گـذاری، لازم اسـت دقیق تـرین روش تخمـین ذخیـره کـه بتـوان حـداقل خطـای تخمـین را تضـمین کنـد، در تعیـین ذخیـره به کارگرفته شود. در اینجـا منظـور از خطـای تخمـین میـانگین آن نیسـت بلکـه توزیـع خطـا مطـرح اسـت به عبارت دیگر خطای تخمین در هر نقطـه از کانسـار باید معلوم باشد [٢].

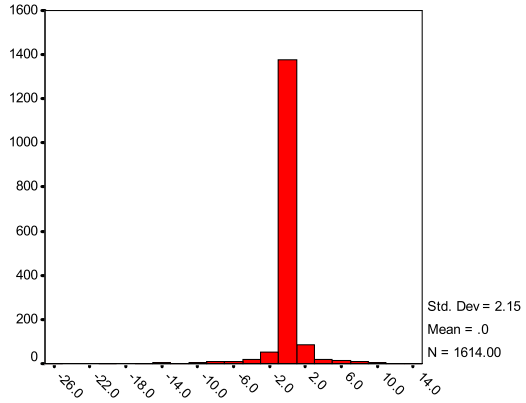


شکل ١٦- مقایسهٔ مقادیر تخمینی طلا و مقادیر واقعی در کانسار طلای زرشوران



شکل ١٧- مقایسهٔ تغییرات خطای تخمین نسبت به عیار در کانسار طلای زرشوران

مهم ترین قابلیت تخمین زمین آماری آن است که برای هر تخمینی (در مقیاس یک نقطه یا یک بلوک) میزان خطای وابسته به آن محاسبه می‌شود. از این رو می توان ملاکی برای اعتماد به تخمین های زمین آماری در دست داشت. چنین توانایی این امکان را می دهد تا ذخیره را بر اساس خطای وابسته به تخمین به رده A،B،C_1،C_2 طبقه بندی کرد(جدول ۳). به علاوه می توان حدود اطمینان به تناژ و عیار ذخیره را نیز برآورد کرد. ابعاد بلوک ها همانطور که قبلاً توضیح داده شد۱۰× ۵ × ۲۵ انتخاب گردید. ضریب زیر بلوکی(Discretization Factor) برای هر سه جهت ۵ در نظر گرفته شد. این فاکتور دلالت بر آن دارد که بلوک مورد نظر در هر یک از سه جهت X،Y، Z به ۵ بخش تقسیم می‌شود و در مجموع تخمین یک بلوک براساس تخمین چند زیربلوک درون آن و میانگین گیری عیار آنها صورت می‌گیرد. تخمین با استفاده از روش کریجینگ معمولی انجام شد. مشخصات تخمین با روش کریجینگ معمولی با استفاده از نمونه های ۵ متری درکانسار طلای زرشوران در جدول ٤ آمده است.



شکل ۱۸- هیستوگرام خطای حاصل از مقایسه مقادیر تخمینی و واقعی در اعتبارسنجی تغییرنما

جدول ۳ - مشخصات آماری تخمین و اختلاف مقادیر تخمینی در اعتبار سنجی تغییرنما درکانسار طلای زرشوران

متغیر	تعداد نمونه	بازه	حداقل	حداکثر
واریانس کریجینگ	١٦١٤	١/٨٢	٠/٦١٧	٢/٣٩٩
اختلاف	١٦١٤	٤١/١٤٥	-٢٦/٧٣٩	١٤/٤٠٦
	میانگین		چولگی	
واریانس کریجینگ	٠/٧٨٨		٦/٨٧٢	
اختلاف	٠/٠٠٢		-٣/٦٢٠	
	انحراف معیار	واریانس	کشیدگی	
واریانس کریجینگ	٠/٠٨١	٠/٠٠٧	١٠٠/٧٤٦	١٠٠/٧٤٦
اختلاف	٢/١٤٧	٤/٦٠٩	٤٧/٢٠٠	٤٧/٢٠٠

بیشترین میزان شعاع جستجو در جهت قطر بزرگ و کوچک بیضوی نا همسانگردی با اعمال ضریب اطمینان ۸۰ ٪ به خاطر خطاهای احتمالی در فواصل زیاد در نظر گرفته شده است. سپس مقادیر بلوک هایی که عیار آنها بیشتر از ppm ۱ (عیار حد) و بلوک هایی با خطای کمتر از ۱ ترسیم شدند. شکل ۱۹ نمای سه بعدی از فضای تخمینی بعد از تخمین را نشان می دهد.

۱۳- نتایج تخمین: مقادیر بلوک های تخمین زده شده در زرشوران با توجه به تمام اطلاعات موجود مانند کنترل کننده های زمین شناسی، توپوگرافی، عیار میزان خطا به صورت جدولی از نقاط X،Y،Z و عیار و مقادیر خطای تخمین برای هر نقطه (مرکز بلوکی به ابعاد۱۰× ۲۵×۲۵ متر) استخراج گردید و منحنی های تناژ- عیار بر اساس این نتایج ترسیم شدند. شکل۲۰ منحنی تناژ- عیار عیار حد ppm ۱ همراه با حدود اطمینان اطمینان بالا و پایین منحنی در سطح اعتماد ۹۰ درصد را نشان می‌دهد.

شکل ۲۱ منحنی تناژ- خطا را نشان می دهد. با استفاده از منحنی تناژ- خطا می توان نتیجه گیری کرد که بیشترین ذخیره کانسار زرشوران بر اساس

تقسیم بندی دایل و دیوید در رده C_2 و جزء ذخایر قابل استنتاج طبقه بندی می‌شود.

جدول ٤- مشخصات تخمین با روش کریجینگ معمولی با استفاده از نمونه های ۵ متری درکانسار طلای زرشوران

متغیرهای فضای تخمین- فضای تخمین بیضوی
زاویه چرخش محور اصلی
بیرینگ: ۰
زاویه شیب: ۸۰-
زاویه انحراف بیضوی: ۲۰
فاکتورهای ناهمسانگردی
محور اصلی: ۱
محور فرعی:۲/۹۳
سایر پارامترهای درون یابی
حداکثر شعاع کاوش محور اصلی:۱٦۰
حداکثر شعاع کاوش محور قائم:۵۵
حداکثر تعداد نمونه های مورد استفاده:۱۵
حداقل تعداد نمونه های مورد استفاده:۳
مدل تغییرنما(واریوگرام)
توانی
سقف تجمعی:۱۹/۳۳
اثر قطعه ای: ۰
مقدارC : ۱۹/۳۳
دامنه:۲۰۰/٦٤۸
واریانس بلوکی:۱۳/۲٦٦

علت آن نیز فاصله بیش از حد گمانه ها برای یک کانسار طلا می باشد. تقسیم بندی منابع/ذخایر یاماموتو در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- تقسیم بندی منابع/ذخایر یاماموتو

منابع	اندازه گیری شده		قطعی	استنتاجی
ذخایر	اصلاح شده	احتمالی		
خطا	±۲۰-۰%		±۲۰-٦۰%	>٦۰%
سطح اعتماد	>۹۰%		>۹۰%	>۹۰%

شکل ۲۲ رابطه بین خطای تخمین و متوسط فاصله نمونه ها را نشان می دهد. همانطور که از روی منحنی پیداست، چنانچه بخواهیم خطای تخمین را پایین آوریم یا کلاس ذخیره بالا رود، باید فاصله نمونه ها و یا به عبارتی فاصله گمانه ها را کم کنیم. شکل ۲۳ نیز منحنی تناژ- عیار متوسط بر اساس عیار حد را نشان می دهد. بر این اساس ذخیره ۱۱ میلیون تن با عیار متوسط ۵ ppm در محدوده محتمل است. با توجه به افزایش بی سابقه قیمت طلا به نظر می رسد که عیار حد ۱ ppm برای ارزیابی کانسار کمی بدبینانه است. مطالعه فنی اقتصادی تفصیلی جهت تعیین عیار حد قبل از ارزیابی مجدد کانسار الزامی است.

۱٤-تعیین بهترین نقاط حفاری برای ادامه کار:

با توجه به مطالب گفته شده در بخش های قبل و طبقه بندی ذخیره با عیار حد ۱ ppm و در نظر گرفتن اندازه شعاع جستجو در بیضوی همسانگردی حفاری با شبکه ۵۰×۵۰ متر می توان طبقه بندی ذخیره را به سمت رده های A و B نزدیک کند. با توجه به اینکه زمین‌آمار ابزار محاسبه خطای تخمین را در هر نقطه در اختیار قرار می‌دهد، می‌توان بهترین نقطه برای حفاری که بتواند بیشترین میزان خطای تخمین را کاهش دهد، مشخص کنیم. چنانچه بخواهیم با توجه به نتایج تخمین بهترین نقاط حفاری را انتخاب کنیم این نقطه جایی است که با حفاری در آن اولاً می‌توان بیشترین میزان کانسنگ را شناسایی کرد. ثانیاً با حفاری در آن نقطه بیشترین میزان خطای تخمین کاهش یابد. در واقع جایی که احتمال وجود ضخامت بالایی از کانسنگ همراه با یک نبود اطلاعاتی وجود داشته باشد، بهترین نقطه حفاری است. برای اینکار با فرض قائم بودن ادامه حفاری میزان ضخامت کانسنگ در هر نقطه در صفحه XY کانسار زرشوران همچنین عیار و خطای تخمین محاسبه گردید. برای این منظور در هر نقطه از صفحه XY از رابطه (٤) استفاده شد:

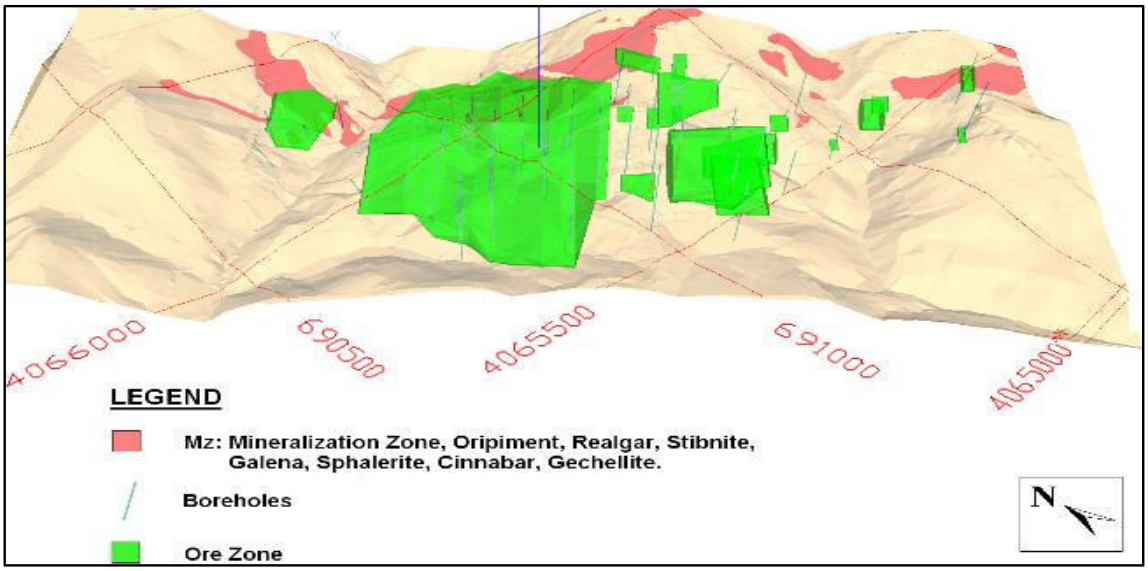
$$D = \sum C_i R_i \qquad (٤)$$

در این رابطه C عیار طلا در هر نقطه و R انحراف معیار تخمین و $\sum$ مجموع نقاطی با XY ثابت است و با استفاده از آن مقدار D (Drill Index) محاسبه شد. هرچه D بزرگتر باشد نشان دهنده آن است که عیار و ضخامت کانسنگ همچنین میزان خطای تخمین در آن نقطه زیاد است.

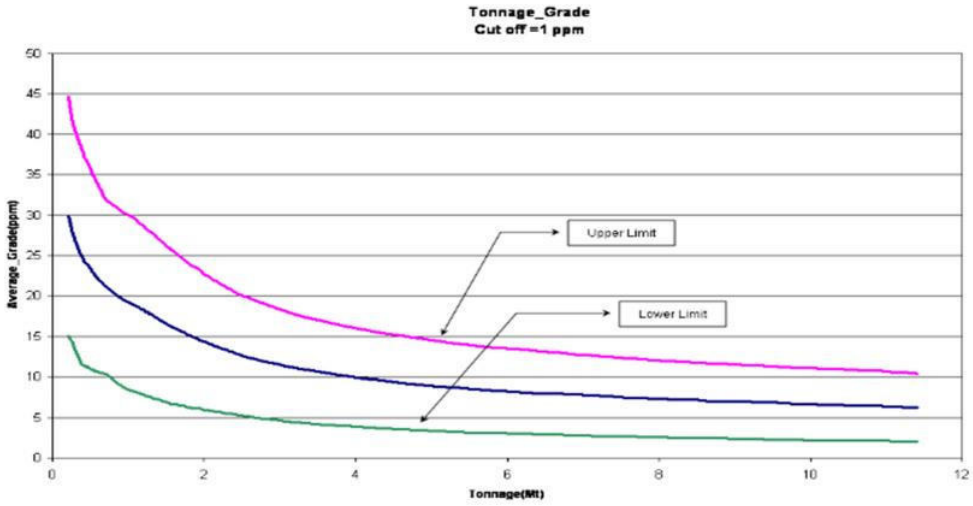
با توجه به برنامه اولیه جهت حفاری اکتشافی و همچنین نتایج این ارزیابی و میزان بازه واریوگرام طلا شبکه با ابعاد ۲۵ تا حداکثر ۵۰ متر جهت مناطق با اولویت ۱ و شبکه ای با فاصله ۵۰ تا حداکثر ۱۰۰ متر جهت مناطق با اولویت دوم و یک شبکه منظم ۲۰۰ متری برای سایر مناطق در محدوده کانسار مناسب به نظر می رسد. زاویه حفاری با توجه به شکل بی قاعده کانسار قائم در نظر گرفته شد. حفاری چند مرحله ای و تجزیه و تحلیل دینامیک داده‌ها حین حفاری می تواند با کمترین هزینه بیشترین حجم اطلاعات را تولید کند.

با توجه به اینکه آرسنیک، مس و آنتیموان به عنوان مهمترین مصرف کننده های سیانور شناخته شده اند بایستی میزان این عناصر در تقسیم بندی ذخیره همانند طلا برای هر بلوک، تخمین زده شود تا در مرحله استخراج و کلاس بندی ذخیره برای فرآوری از این داده ها استفاده شود.

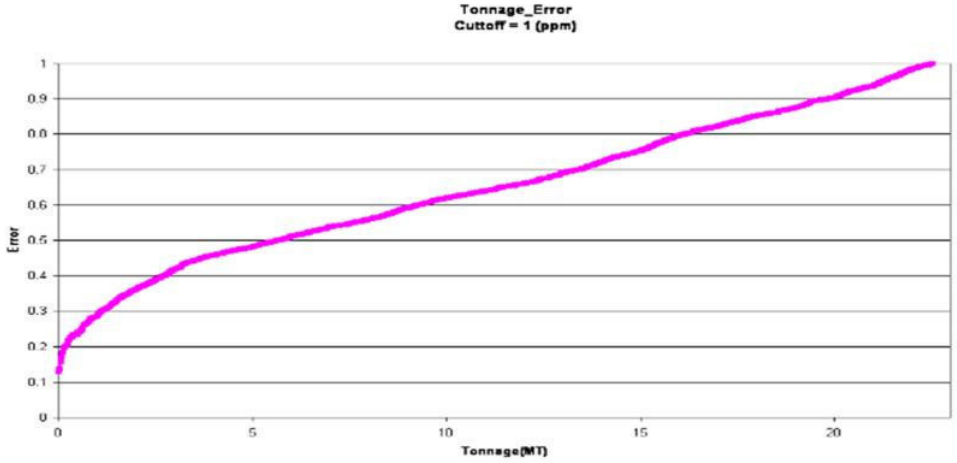
شکل ۲۴- نقشه پراکندگی مقدار Ore index را نشان می‌دهد. اولویت اول (نقاط منطقه ٤) مناطقی هستند که بیشترین میزان کانسنگ را دارد. مناطق ۱ تا ۳ در درجه اهمیت کمتری قرار دارند. در محدوده با اولویت یک در یک شبکه ۵۰×۵۰ نقاط حفاری پیشنهاد شده است. محل های حفاری قدیمی از داخل این شبکه با هاشور جدا شده است و نباید حفاری در این محدوده انجام گیرد. در بخش هایی از محدوده علیرغم این که به نظرمی رسد ضخامت کانسار کم شده است، ولی احتمالاً علت آن خلاء اطلاعاتی گمانه هاست. بنابراین در این محدوده نیز نقاط حفاری با اولویت یک پیشنهاد شده است. در دیگر مناطق برای بررسی احتمال وجود کانی سازی نقاطی با اولویت های ۲ و ۳ پیشنهاد شده است.



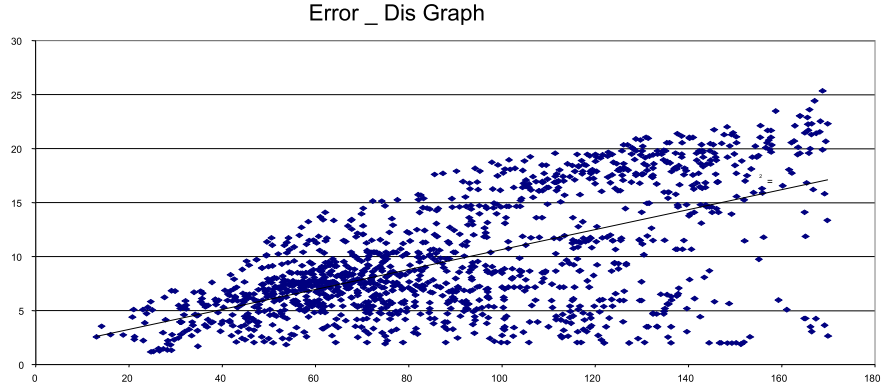
شکل ۱۹- نمای سه بعدی از فضای تخمینی بعد از تخمین



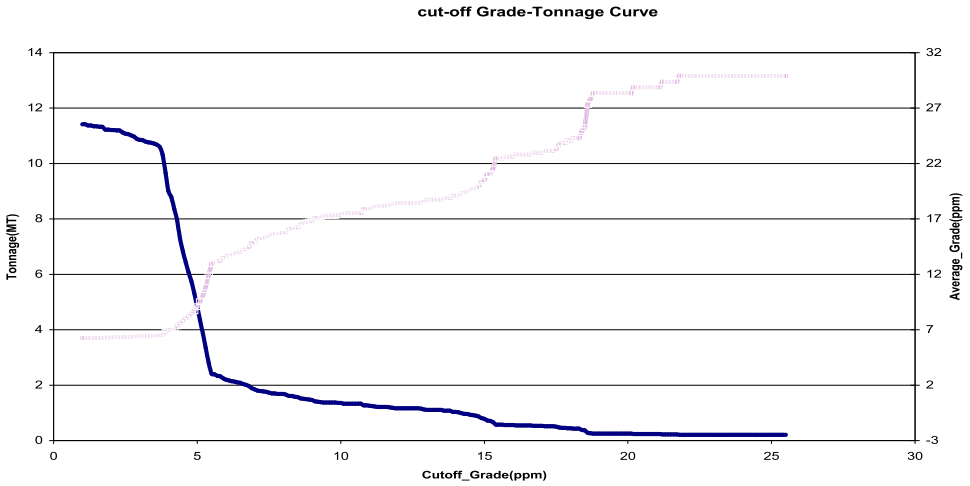
شکل۲۰- منحنی تناژ عیار برای عیار حد ppm ۱ همراه با حدود اطمینان بالا و پایین منحنی در سطح اعتماد ۹۰ درصد



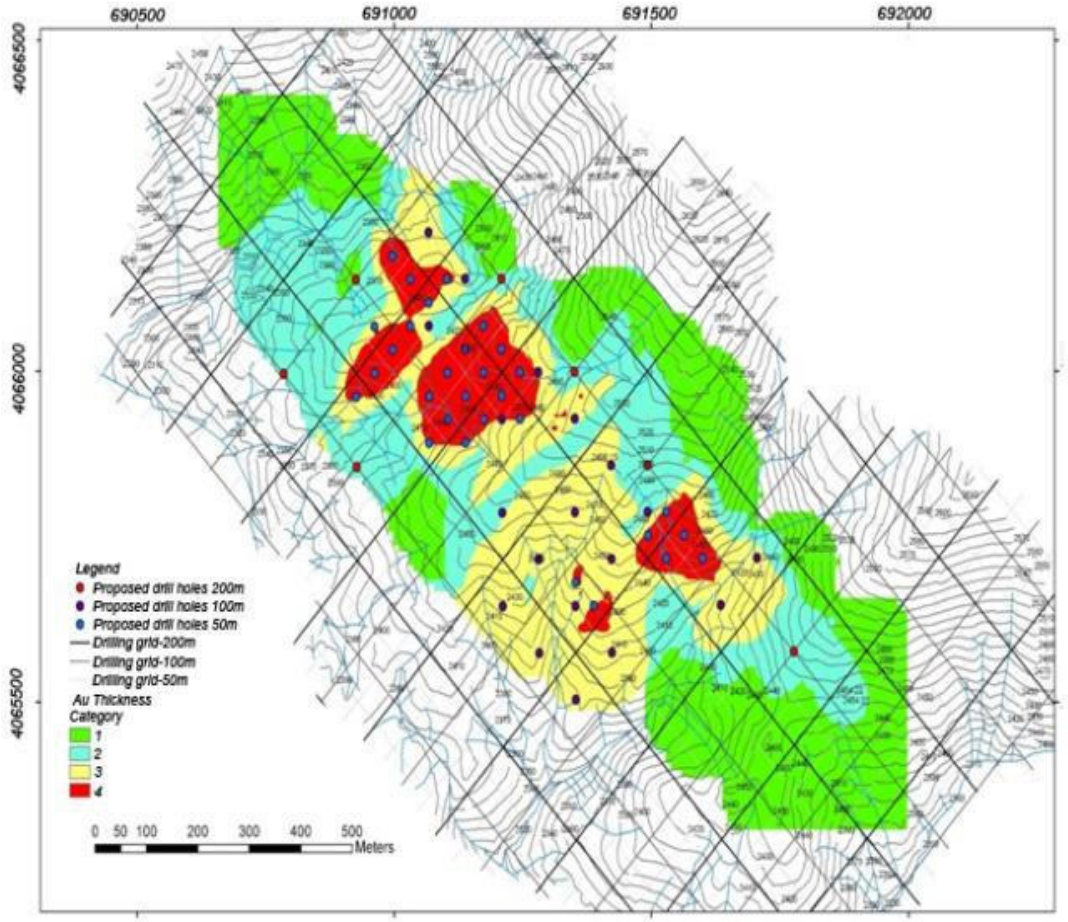
شکل ۲۱- منحنی تناژ- خطا برای عیار حد ppm ۱



شکل۲۲- رابطه بین خطای تخمین و متوسط فاصله نمونه ها در حد ppm ۱



شکل ۲۳- منحنی تناژ- عیار متوسط بر اساس عیار حد طلا



شکل۲٤- نقشه Ore Index محل نقاط پیشنهادی برای ادامه حفاری- محدوده ٤ مناطقی با بیشترین میزان کانسنگ، محدوده ۳، ۲ و ۱ با درجه اهمیت کمتر

نتیجه گیری

پس از پردازش صورت گرفته بر روی داده های موجود در محدوده زرشوران، نتایجی به قرار زیر حاصل گردید:

۱- عمده ترین کانی سازی طلا و آرسنیک در ناحیه معدنی زرشوران متعلق به واحد چینه ای زرشوران می باشد و از لحاظ جنس، این واحد جهت کانی سازی طلا، آرسنیک و عناصر همراه مناسب است.

۲- کانی سازی طلا در کانسار زرشوران از نوع اپی ترمال پراکنده در سنگ های رسوبی و به خصوص کربناته (تیپ کارلین) و به سه شکل رگه ای (در زون های سیلیسی)، لایه ای (در آهک کربن دار زرشوران و آهک با رگچه های زرنیخ چالداغ) و توده ای (در محدوده مرکزی معدن زرنیخ) است.

۳- بر اساس عیار حد، احتمالا کانسار زرشوران ذخیره ۱۱ میلیون تن با عیار متوسط ppm ۵ دارد.

٤- با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق خطای تخمین در بخش های زیادی از محدوده بالا است و تقریباً کل ذخیره در محدوده استنتاجی قرار می گیرد. در این راستا با بررسی نمونه‌های برداشت شده ژئوشیمی خاک، موقعیت گمانه‌های حفر شده در محدوده مورد بررسی قرار گرفت. بی تردید فضایی که توسط گمانه‌های پیشین پوشش داده شده، دارای بالاترین پتانسیل کانی سازی در محدوده می باشد. با بررسی داده‌های ثبت شده در گمانه‌های قدیمی که بالغ بر ۸۳۱۰ متر در ٤۷ گمانه می‌باشد، ذخیره به روش زمین‌آماری در محدوده تعیین شد. براساس پارامترهای ضخامت ماده معدنی، عیار و خطای بدست آمده از روش کریجینگ، تصمیم گیری در این مورد صورت گرفت. برای این منظور با تهیه نقشه Ore Index نقاط با اولویت حفاری مشخص شد. با توجه به نتایج این ارزیابی و میزان بازه واریوگرام طلا محاسبه شده برای داده‌های گمانه ها، شبکه با ابعاد ۵۰ متر جهت مناطق با اولویت ۱، برای مناطق با اولویت دوم شبکه ۱۰۰ متر و شبکه ۲۰۰ متر برای سایر مناطق در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه سطح زیرین کانی‌سازی در گمانه‌ها شیست سبز تعیین شده است، با داده‌های موجود عمق گمانه‌های طراحی شده تخمین زده شد و گمانه‌ها معرفی گردید.

منابع

۱-اجاقی، ب.، (۱۳۷۵)، زمین شناسی اقتصادی و بررسی شکل توده کانسار طلای زرشوران (شمال تکاب)، پایان نامه دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۸۰ ص.

۲-حسنی پاک، ع.، (۱۳۸۹)، زمین آمار (ژئواستاتیستیک) انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱٤ ص.

۳-حسنی پاک، ع.، شرف الدین، م.،(۱۳۹۰)، تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۹۱ ص.

٤-کریمی، م.، (۱۳۷۲)، مطالعه سنگ شناسی، کانی شناسی و نحوه تشکیل کانسار طلا و آرسنیک زرشوران (تکاب) پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۲٦٤ص.

۵-نخبه الفقهایی،ع.، بهزادی، م.، یزدی، م.، بیاتانی، ع.، (۱۳۸۷) پردازش داده های ماهواره ای در تعیین نواحی زون های کانه زایی و دگرسانی کانسار آنتیموان چوپان، خراسان جنوبی فصلنامه علمی- پژوهشی زمین شناسی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، سال دوم، شماره اول تابستان، ص ۳۷-۵۵.

6-Andrew Daniels, H., (2001). Final Technical Report- Zarshuran Gold Project.Anglo Exploration GmbH Co. 113p

7- Asadi Haroni, H., (2000). The Zarshuran gold deposit model applied in a mineral exploration. GIS in Iran. Delft University of Technology and ITC, Netherland, 191 p.

8- Asadi, Haroni, H., Voncken, J.H.L. and Hale, M., (2001) Sulphosalts at Zarshuran Carlin - like gold deposit, northwest Iran: implications for gold mineralization. In Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section B: Applied earth science, pp.24-32.

9- Asadi Haroni, H., Voncken,J. H. L., Kühnel,R. A., Hale, M., (2000). Petrography, mineralogy and geochemistry of the Zarshuran Carlin-like gold deposit, North West Iran. Mineralium Deposita, Volume 35, Issue 7, pp 656-671

10-Asadi Haroni, H., and Hale, M. (2001) A predictive GIS model for mapping potential gold and base metal mineralization in Takab area, Iran. In: Computers and geosciences, 27 (2001)8 pp. 901-912

11- Daniels, H. A., (1999). Zarshuran Core Logging -Notes & Methods, Zarshurn drilling project. Anglo Exploration GmbH Co. 113 p.

12- Simon W. Houlding P.Eng. Vancouver (2000). Practical Geostatistics, Modelling and Spatial Analysis, Springer-Verlag Berlin, 159 Pp.

13-Surpac Online Help, (2004), www.surpac.com