۲-۱مدلسازی هندسی

ساختن مدل هندسی سه‌بعدی از کانسار به نوعی بیان و برداشت زمین‌شناس و کارشناسان اکتشاف از شکل هندسی و زیرسطحی کانسار می‌باشد. با ساختن مدل هندسی در حقیقت یک ماکتی از کانسار تهیه شده که می‌توان از آن برای برآورد ذخیره، طراحی استخراج و سایر مطالعات استفاده نمود.

باید توجه داشت که ساختن مدل هندسی سه‌بعدی، به کمک حفاری‌های زیرسطحی (ترانشه، گمانه، چاهک، تونل‌های اکتشافی و ...)، شواهد زمین‌شناسی موجود درمنطقه، نحوه کانی‌سازی و ژنز کانسار صورت می‌گیرد. لذا برای ساختن مدل هندسی باید ابعاد مختلفی را مدنظر قرار داشت.

برای مدلسازی هندسی باید مراحل زیر را مدنظر قرار داد:

۱- برای ساختن مدل هندسی مهم‌ترین و اساسی‌ترین رکن، مطالعه‌ی سنگ‌شناسی مغزه‌ها و دیگر اطلاعات مربوط به مغزه‌های حفاری می‌باشد. این مرحله توسط زمین‌شناس گمانه‌ها صورت می‌گیرد. در فرآیند مدلسازی هندسی بهترین و ساده‌ترین راه برای تفسیر سنگ‌شناسی، جدا نمودن باطله از ماده‌ی معدنی می‌باشد.

۲- پس از اینکه برداشت گمانه‌ها انجام گردید، باید مقاطعی را ترسیم نمود که تا حد امکان بتواند تعداد بیشتری از گمانه‌ها را دربر گیرد. پس از ترسیم این مقاطع باید بین گمانه‌ها در هر مقطع ارتباط برقرار نمود و در نهایت از آنها مقاطع زمین‌شناسی عرضی و طولی به دست آورد. باید مدنظر داشت که تمام گمانه‌ها حداقل در یکی از مقاطع موجود باشند.

در نهایت می‌بایستی مقاطع ترسیم شده را به هم مرتبط کرد و با تلفیق این مقاطع مدل هندسی کانسار را تهیه نمود.

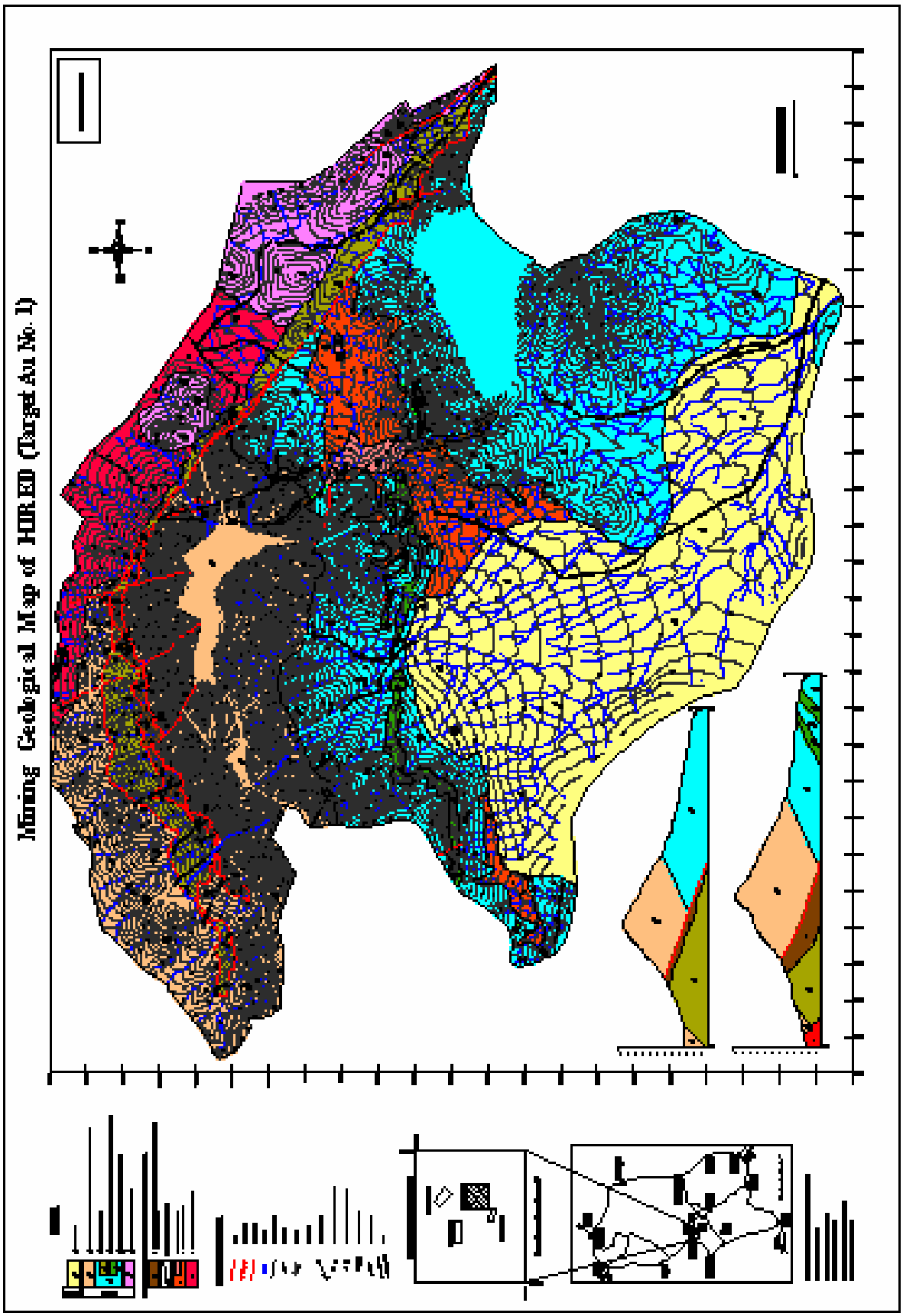
در محدوده تارگت شماره ۱ کانسار طلای هیرد تعداد ۳۶ ترانشه اکتشافی و ۱۴ حلقه گمانه اکتشافی حفاری شده است. تارگت یک بصورت رگه‌ای می‌باشد. تارگت دارای یک رگه اصلی می‌باشد و دارای ۸ رگه و رگچه‌های کوچکتر می‌باشد. مطالعات مدلسازی و برآورد ذخیره فقط بر روی رگه اصلی تارگت یک صورت گرفته است. تعدادی از ترانشه‌ها بر روی رگه‌ها و رگچه‌های کوچکتر حفر شده‌اند ولی با نظر زمین‌شناس و کارشناس اکتشاف پروژه هیچ گمانه‌ای بر روی آنها حفر نگردیده است.

بر روی رگه اصلی این تارگت تعداد ۹ ترانشه حفاری شده است که طبیعتاً در این گزارش از آنها استفاده گردیده است. از تعداد ۱۴ گمانه نیز تعداد ۷ گمانه فقط مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در ابتدای پروژه با تصور اینکه رگه با امتداد شرقی-غربی دارای شیب به سمت شمال می‌باشد تعدادی از گمانه‌ها در شمال رگه با شیب رو به جنوب حفر گردیده تا بتواند رگه را قطع نماید، ولی این گمانه‌ها رگه را قطع نمودند. لذا کارشناسان پروژه متوجه شدند که شیب رگه احتمالاً باید با امتداد شرقی-غربی به سمت جنوب باشد. با این اوصاف فقط تعداد ۷ گمانه رگه را قطع نموده‌اند. نهایتاً برای مدلسازی و مطالعات برآورد ذخیره از ۹ ترانشه و ۷ گمانه استفاده گردیده است.

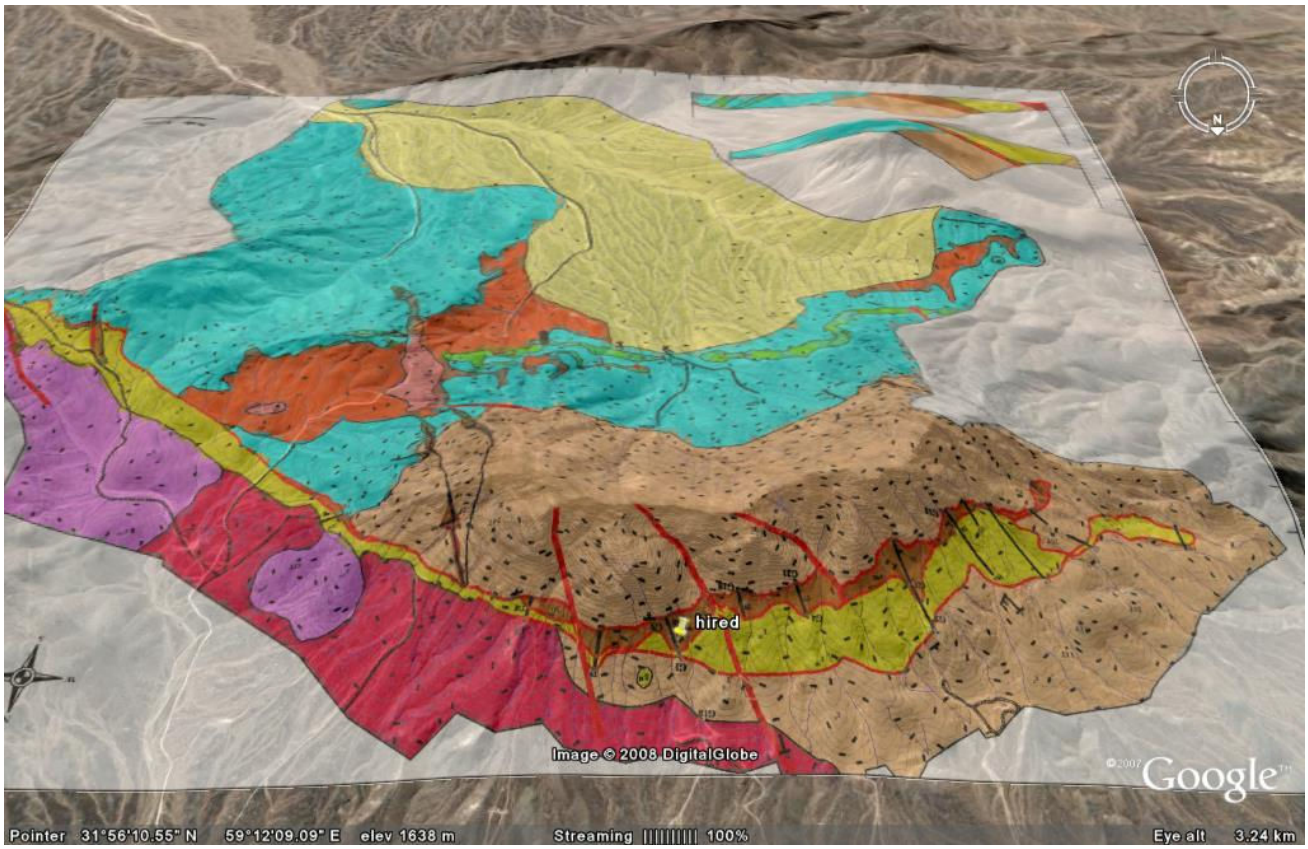
مجموعاً تعداد ۶۸۰ نمونه مورد آنالیز قرار گرفته است که از این تعداد فقط تعداد بسیار کمی دارای آنالیز ۱۰ عنصری می‌باشد. بهمین علت امکان تخمین برای ۱۰ عنصر فراهم نبود و فقط طلا مورد ارزیابی و تخمین قرار گرفته است.

برای ساخت مدل هندسی رگه، رخنمون رگه مذکور مهم‌ترین ملاک بوده است.

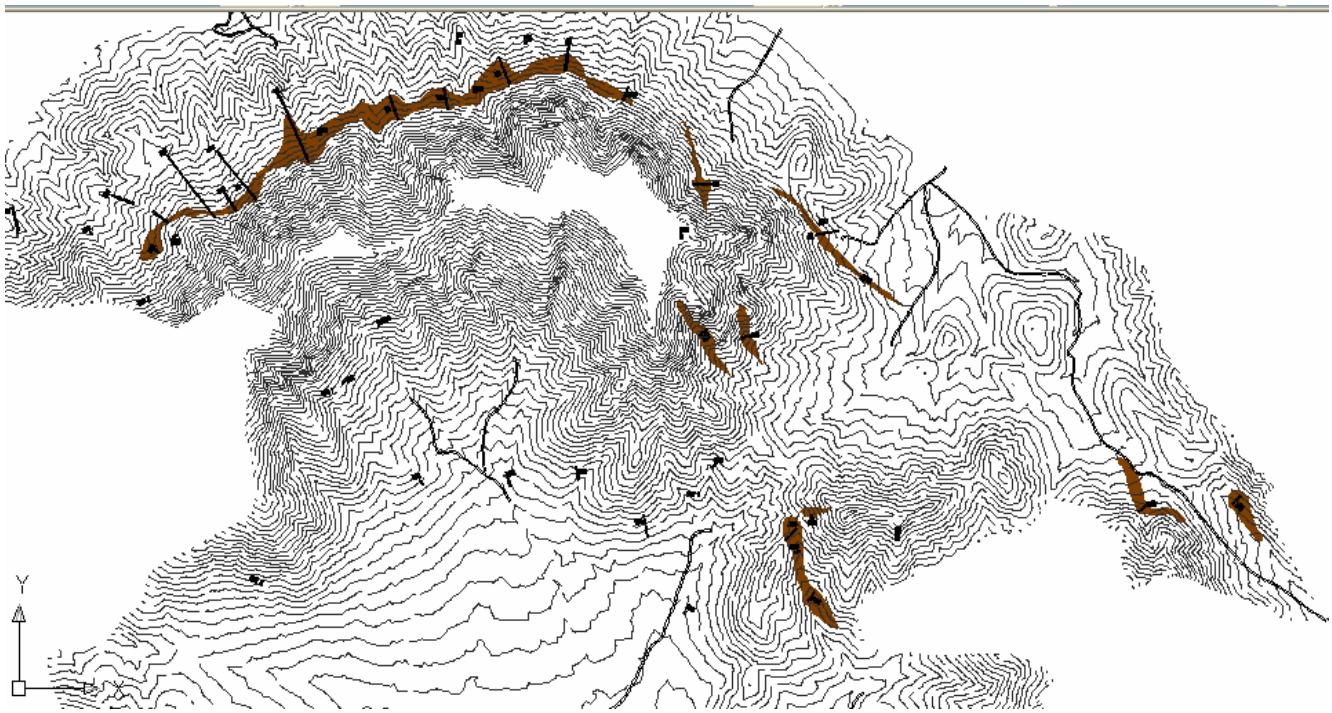
شکل ۲-۱ نقشه زمین‌شناسی-معدنی تارگت شماره یک را نشان می‌دهد. شکل ۲-۳ نقشه توپوگرافی تارگت شماره یک را همراه موقعیت رگه و رگچه‌ها مشخص می‌کند. شکل ۲-۴ مدل سه‌بعدی توپوگرافی محدوده را نشان می‌دهد. شکل ۲-۵ نیز مدل سه‌بعدی توپوگرافی را به همراه رگه و رگچه‌های موجود در تارگت یک نشان می‌دهد.



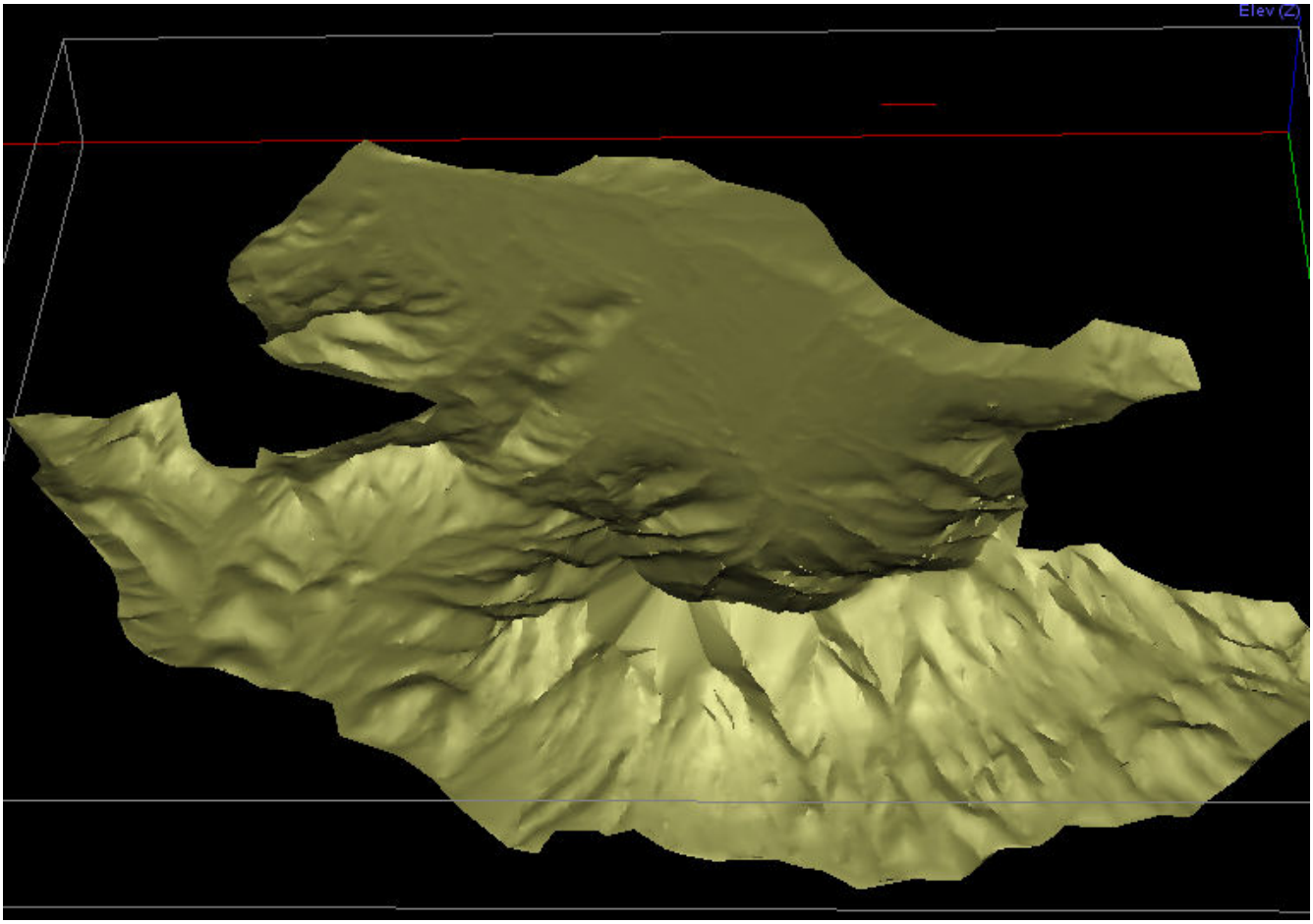
شکل ۲-۱ نقشه زمین‌شناسی-معدنی تارگت ۱ (به پیوست موجود می‌باشد)



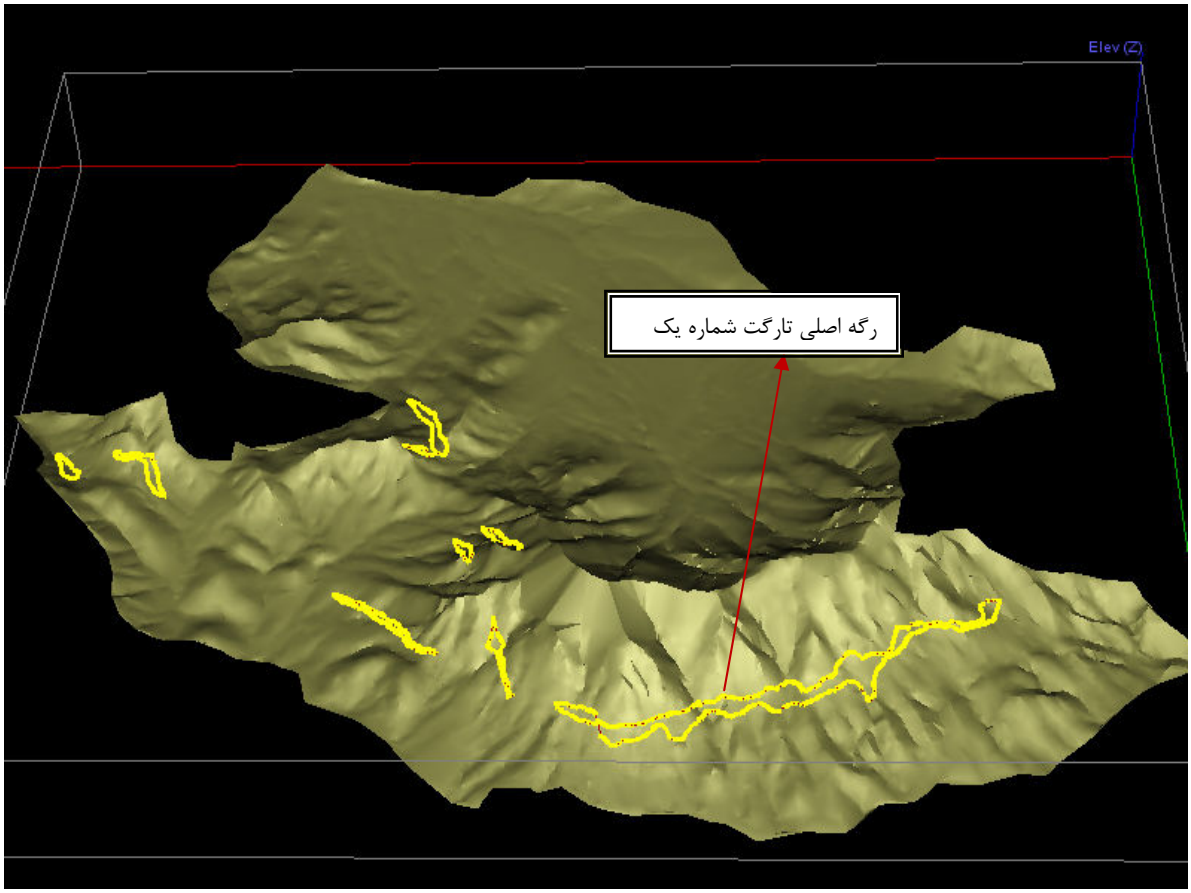
شکل ۲-۲نقشه زمین‌شناسی کانسار طلای هیرد که بر روی تصاویر Google Earth پیاده شده است



شکل ۲-۳ نقشه توپوگرافی تارگت شماره یک همراه رگه و رگچه‌های آن

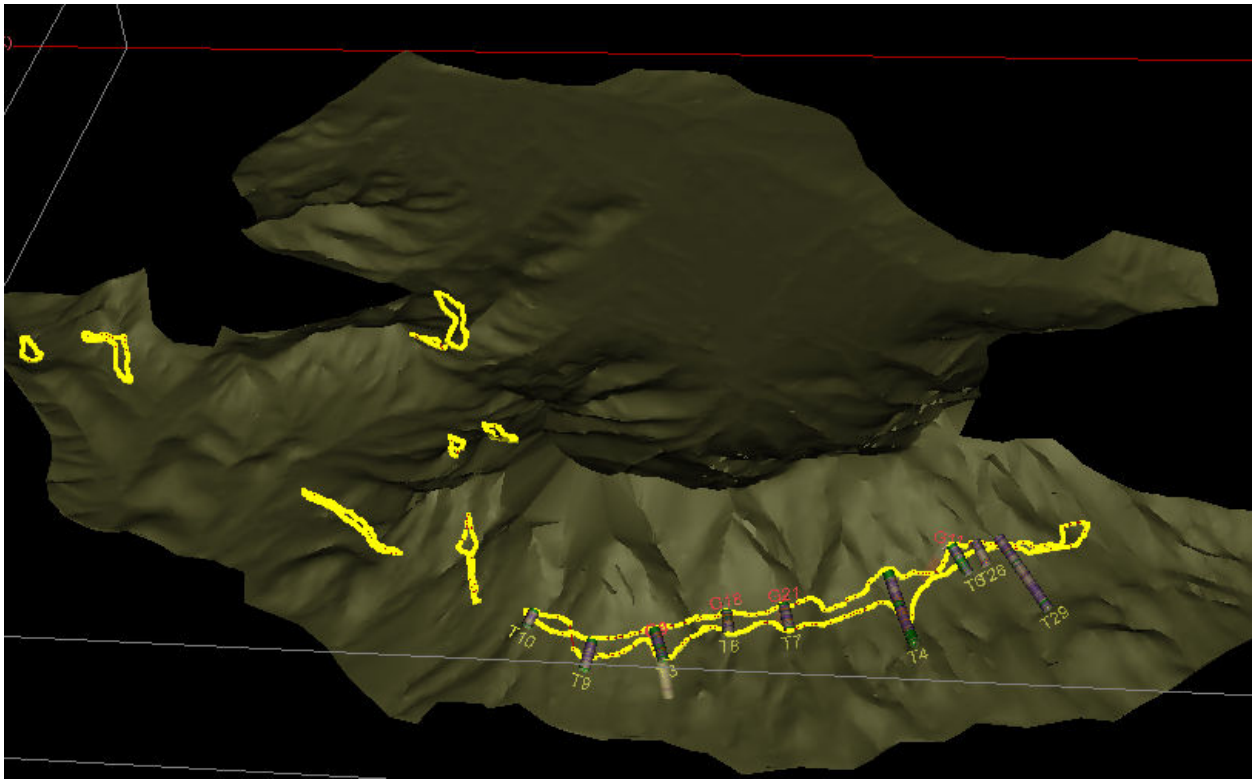


شکل ۲-۴ مدل هندسی سه‌بعدی توپوگرافی تارگت یک

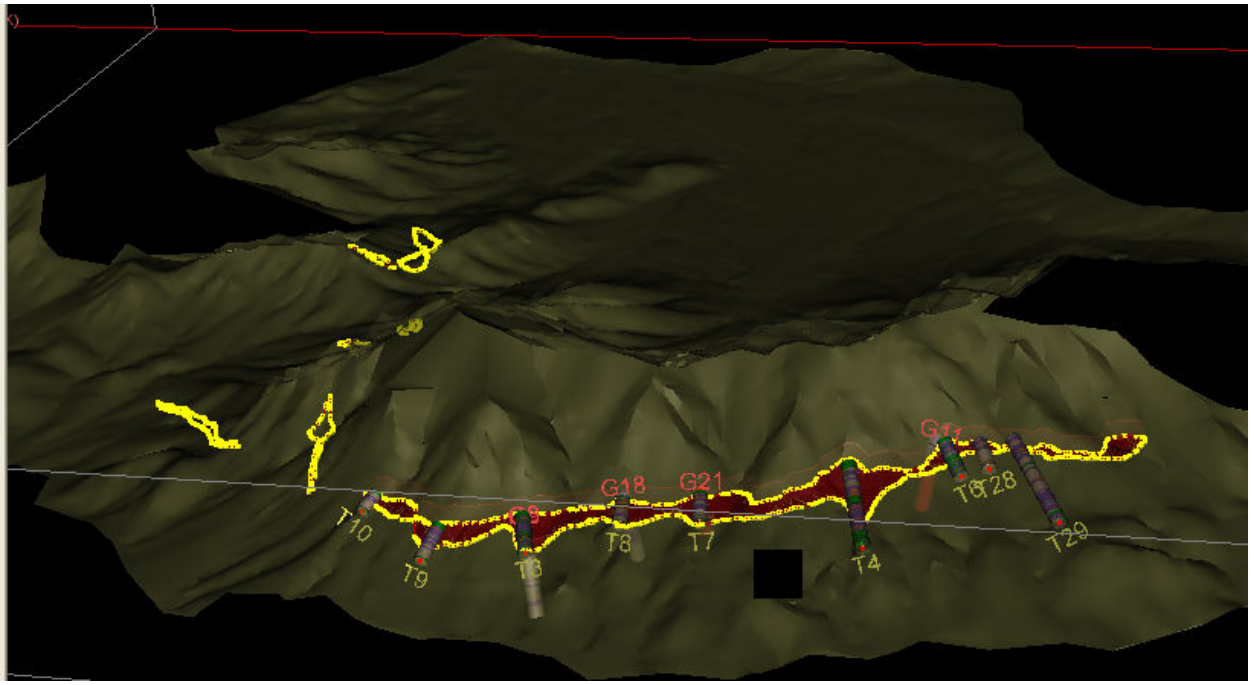


شکل ۲-۵ مدل هندسی سه‌بعدی توپوگرافی تارگت یک همراه رگه و رگچه‌های تارگت شماره یک

در شکل ۲-۶ نیز موقعیت گمانه‌ها و ترانشه‌ها در تارگت شماره یک نشان داده شده است. شکل ۲-۷ نیز محل رخنمون رگه اصلی در تارگت شماره یک را نشان می‌دهد.

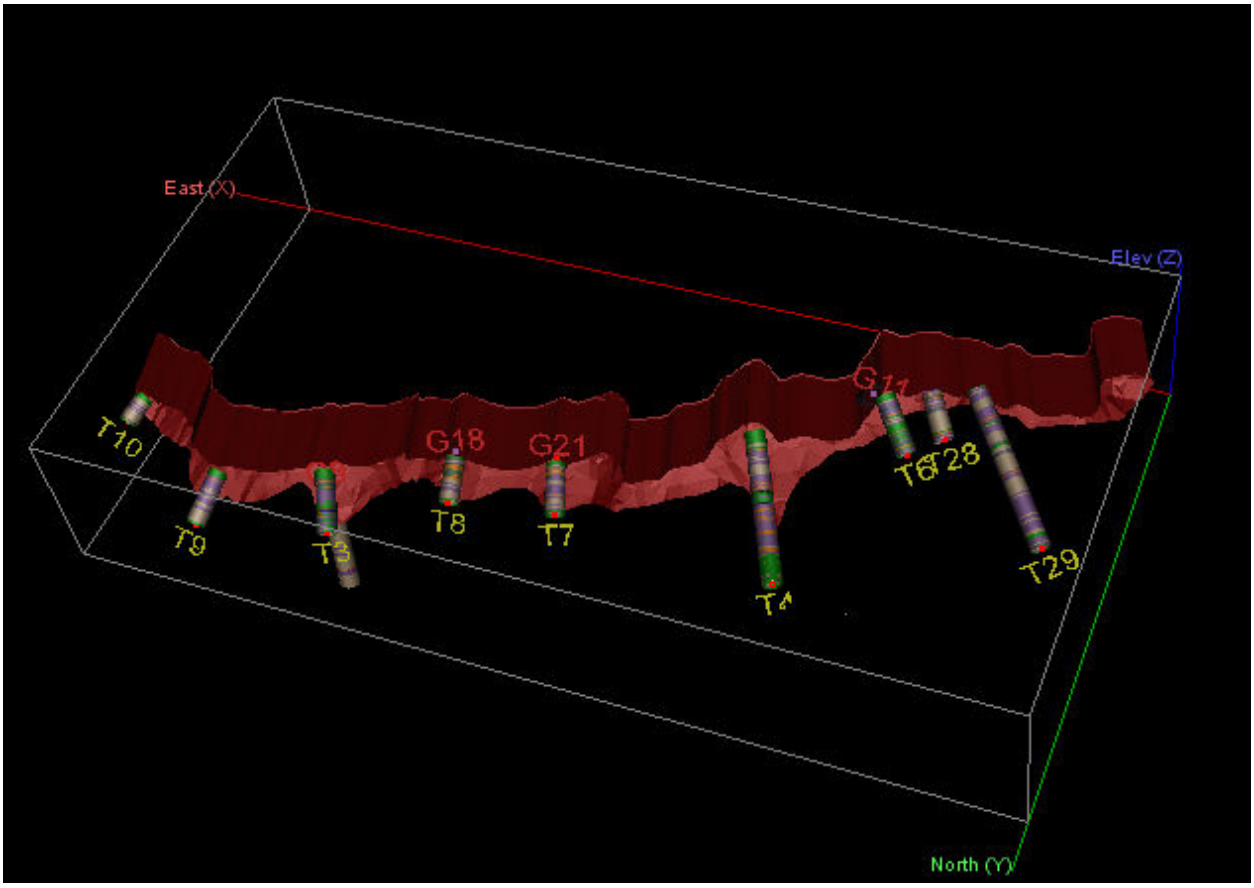


شکل ۲-۶ محل حفاری گمانه‌ها و ترانشه‌ها بر روی رگه اصلی در تارگت شماره یک

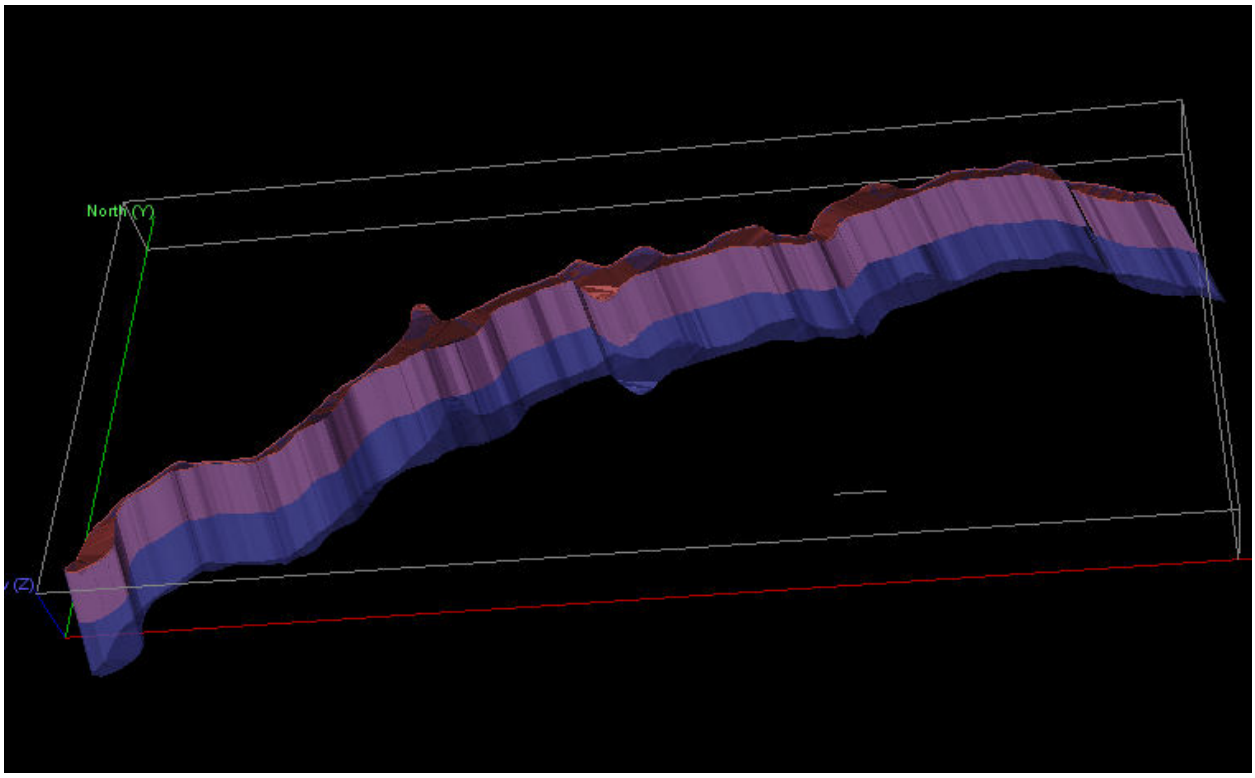


شکل ۲-۷ محل رخنمون ماده‌معدنی بر روی رگه اصلی در تارگت شماره یک

با توجه به نظر زمین‌شناس منطقه، شیب رگه ۶۰ درجه رو به سمت جنوب منظور گردیده و تا عمق ۵۰ متر ابتدایی رگه اکسیده و ۵۰ متر پایینی آن سولفوره می‌باشد. با این شرایط و با درنظر گرفتن وضعیت گمانه‌ها مدل هندسی کانسار تهیه گردید. شکل ۲-۸ مدل هندسی تهیه شده را نمایش می‌دهد که حفاری‌های صورت گرفته نیز بر روی مدل هندسی موجود می‌باشد. شکل ۲-۹ نیز مدل هندسی رگه اصلی تارگت شماره یک را بصورت تفکیک شده برای اکسیده و سولفوره نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸ مدل هندسی تهیه شده برای رگه اصلی تارگت شماره یک



شکل ۲-۹ مدل هندسی تهیه شده برای رگه اصلی تارگت شماره یک به تفکیک اکسیده و سولفوره

مدل هندسی سه‌بعدی می‌تواند اساس مراحل بعدی مطالعات از جمله مطالعات ارزیابی و تخمین ذخیره و همچنین طراحی معدن باشد. حجم رگه اصلی تارگت شماره یک کانسار طلای هیرد تقریباً **۱،۷۲۴،۳۰۰ مترمکعب** می‌باشد.

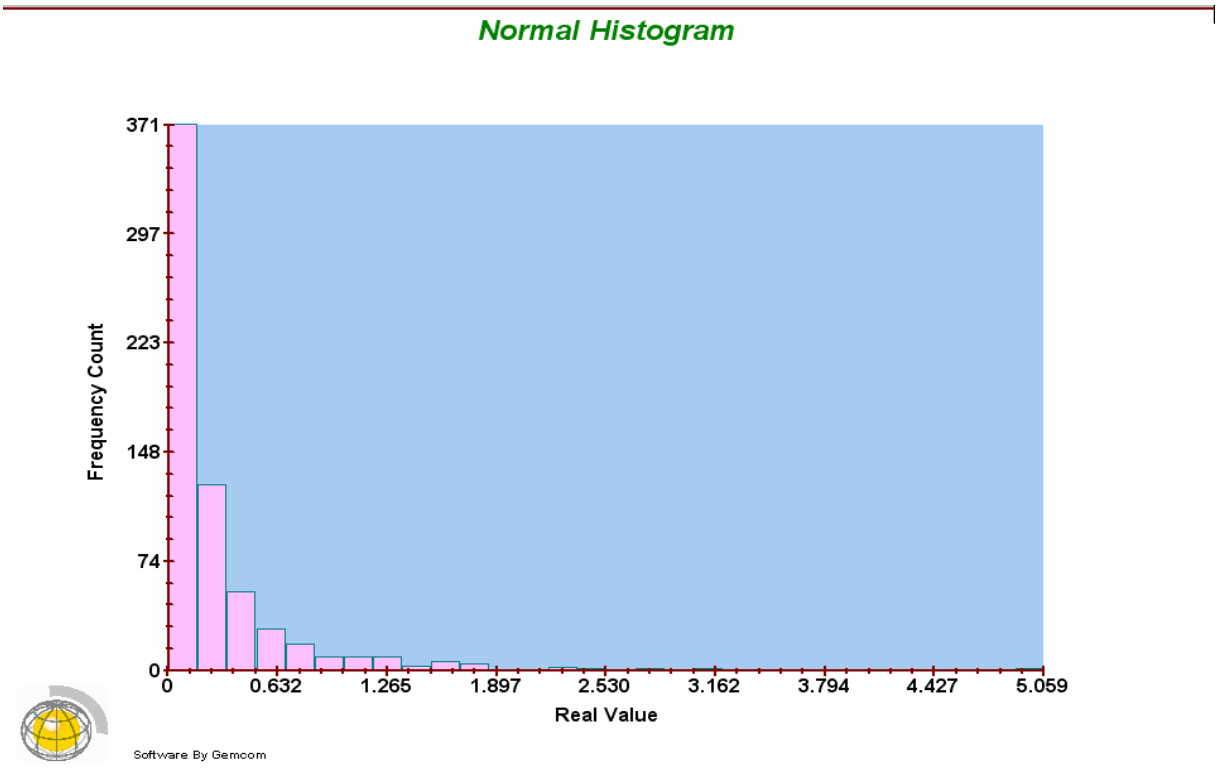
۲-۲بررسی‌های آماری

در تخمین و ارزیابی این رگه از نمونه‌های برداشت شده از ۹ ترانشه و ۷ گمانه‌ای که برای مدلسازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند استفاده گردیده است. مجموعاً تعداد ۶۸۰ نمونه از این ترانشه‌ها و گمانه‌ها برداشت شده است که تعداد ۳۷ نمونه فاقد نتیجه می‌باشند، لذا از تعداد ۶۴۳ نمونه جهت ارزیابی و تخمین استفاده شده است. جدول ۲-۱ پارامترهای آماری مربوط به این تعداد داده را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز نمونه‌ها برحسب گرم بر تن می‌باشد.

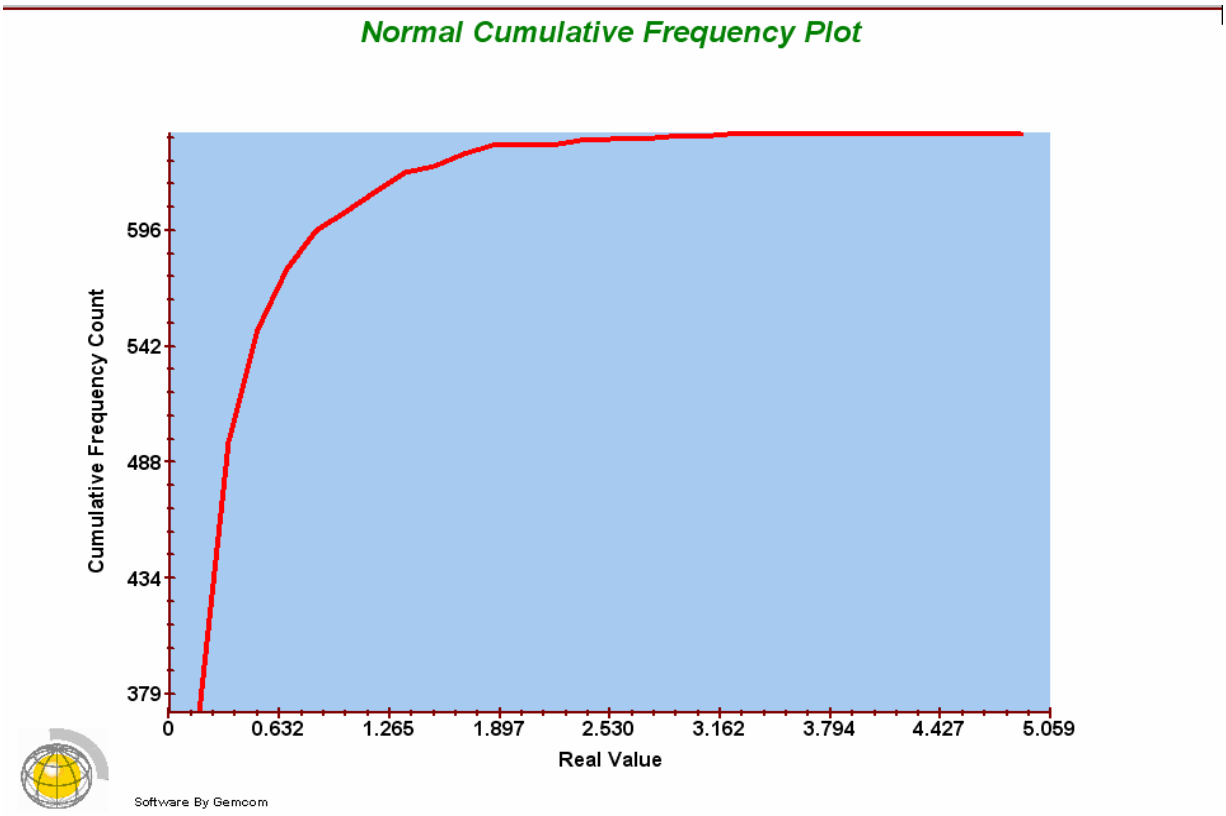
جدول ۲-۱ پارامترهای آماری مربوط به داده‌های استفاده شده جهت تخمین رگه اصلی تارگت شماره یک

عنصر	مقدار کمینه	مقدار بیشینه	میانگین	واریانس	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
Au	۰،۰۰۰۵۱	۵،۰۶	۰،۲۷	۰،۱۸	۰،۴۳	۱،۵۹	۴،۳۸	۳۳،۹۴

شکل ۲-۱۰ نمودار هیستوگرا فراوانی داده‌ها را برای طلا نشان می‌دهد. شکل ۲-۱۱ نیز نمودار فراوانی تجمعی داده‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۰ نمودار هیستوگرام فراوانی داده‌ها برای عنصر طلا

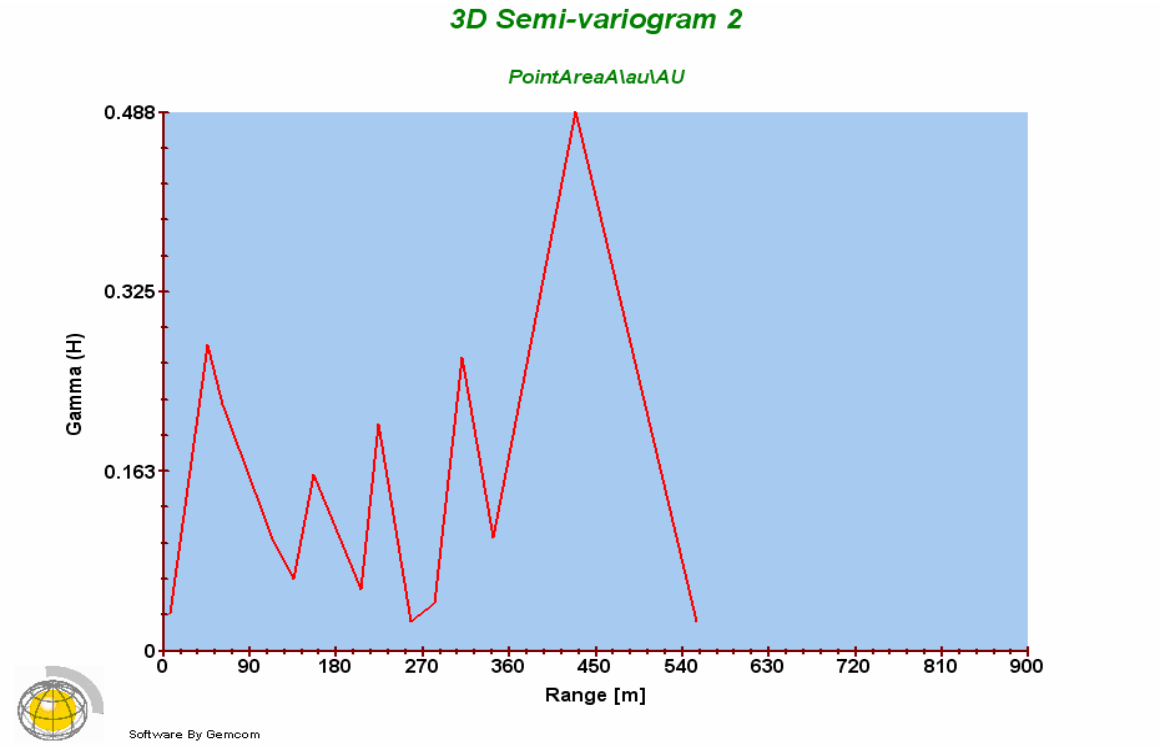


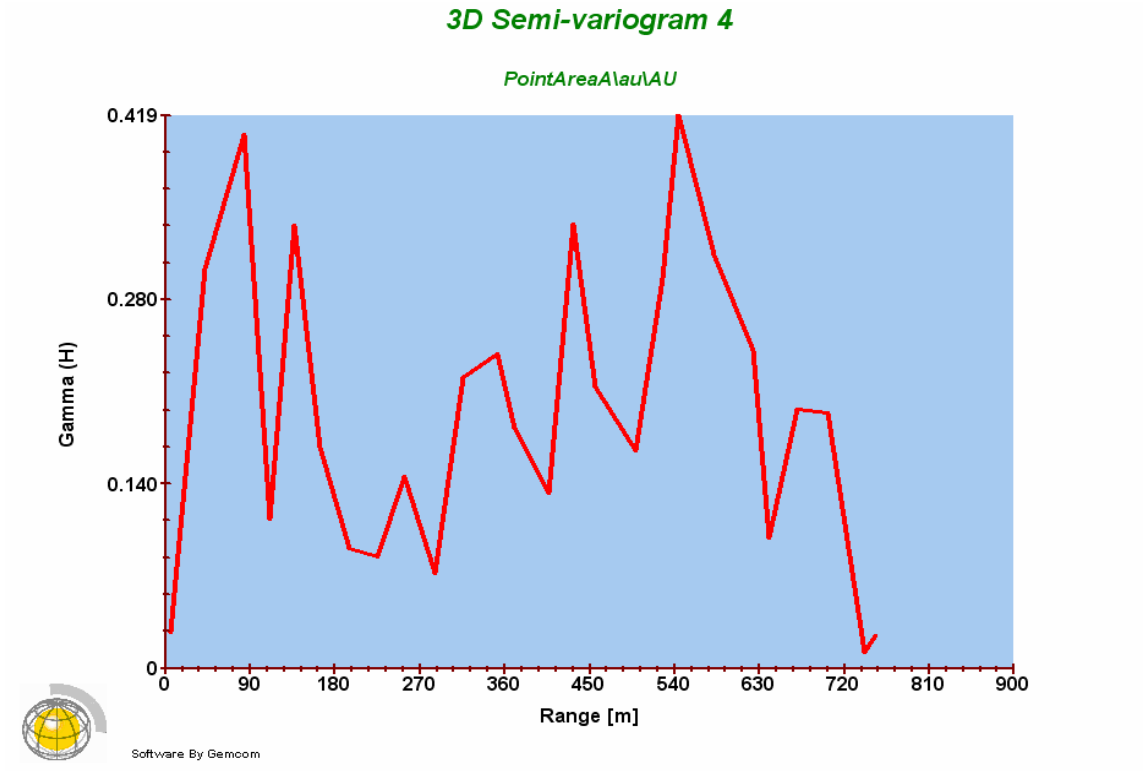
شکل ۲-۱۱ نمودار فراوانی تجمعی داده‌ها برای عنصر طلا

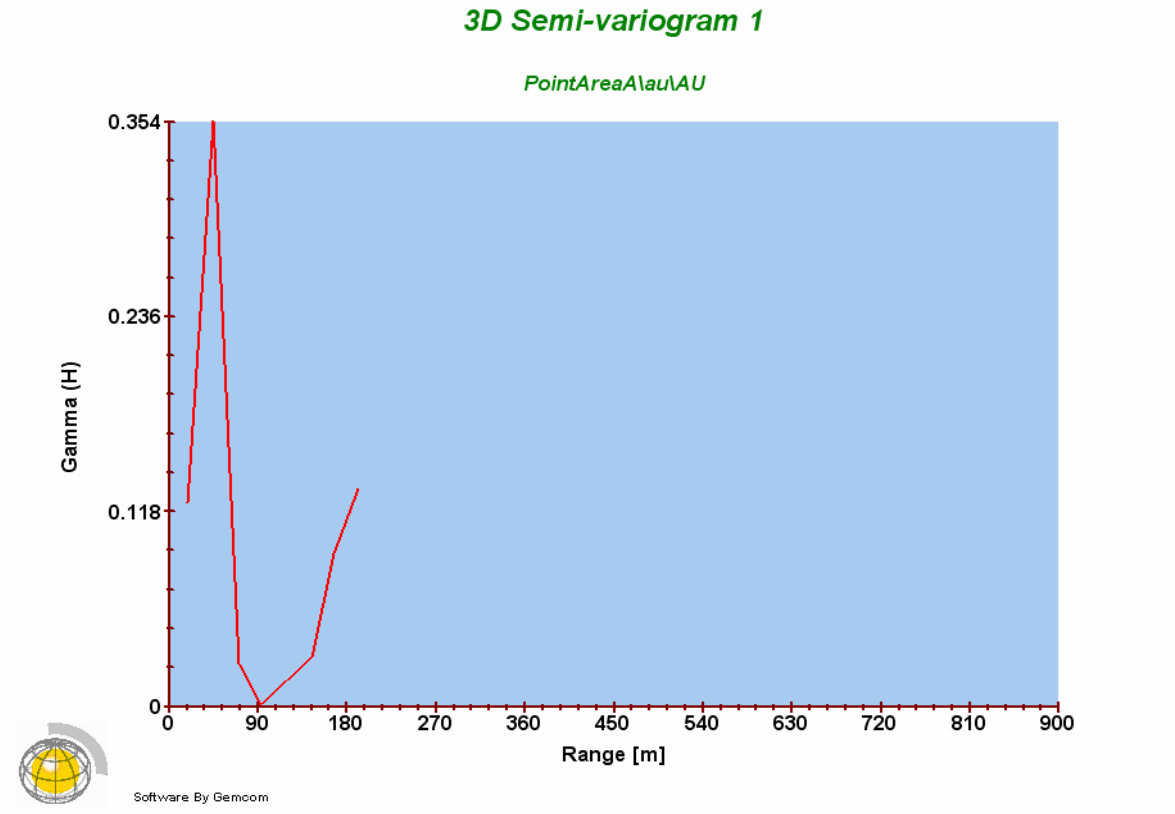
۲-۳ ارزیابی ذخیره

یکی از روش‌های رایج جهت ارزیابی ذخیره، روش‌های زمین‌آماری می‌باشند. در این پروژه نیز ابتدا روش‌های زمین‌آماری مدنظر قرار گرفتند. با توجه به اینکه روش‌های زمین‌آماری بر پایه ی ارتباط منطقی بین داده‌ها و بر اساس موقعیت جغرافیایی یا واریوگرافی آنها استوار است، لذا در ابتدا پس از بررسی پارامترهای آماری داده‌ها، سعی بر ترسیم واریوگرام داده‌ها گردید. ولی در نهایت نتیجه‌ی چندان مطلوبی از واریوگرافی داده‌ها حاصل نشد. در ذیل تعدادی از واریوگرام‌های ترسیم شده برای این کانسار مشاهده می‌شوند (شکل ۲-۱۲). چنانچه در این اشکال نیز مشهود است هیچ ارتباطی بین داده‌ها نمی‌توان برقرار نمود. با توجه به اینکه از روش‌های زمین‌آماری استفاده نگردید، لذا از روش عکس مجذور فاصله برای تخمین استفاده گردیده است.

برای برآورد ذخیره ابتدا کل محدوده به بلوک‌هایی با ابعاد ۱۰×۱۰×۵ متر تقسیم گردید. در شکل ۲-۱۳ فضای تخمین بلوک‌بندی شده ملاحظه می‌گردد. باید توجه داشت که بلوک‌های ایجاد شده در گوشه‌ها و حاشیه‌ها بطور کامل درون Solid قرار نمی‌گیرند، لذا بلوک‌هایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند که حداقل ۵۰ درصد آنها درون Solid قرار داشته باشند. بدین ترتیب در برخی نقاط قسمت‌هایی از Solid تحت پوشش بلوک‌ها قرار نمی‌گیرند و در برخی نقاط نیز بلوک‌هایی وجود دارند که بطور کامل درون Sold نمی‌باشند.



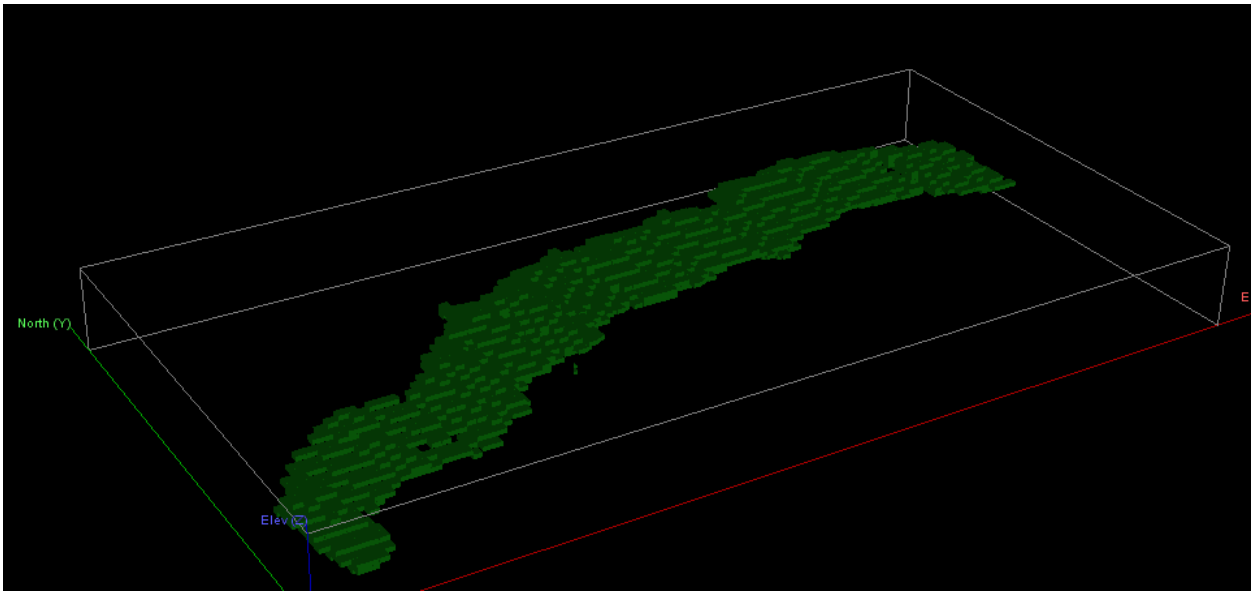




شکل ۲-۱۲ واریوگرام‌های ترسیم شده در جهات مختلف

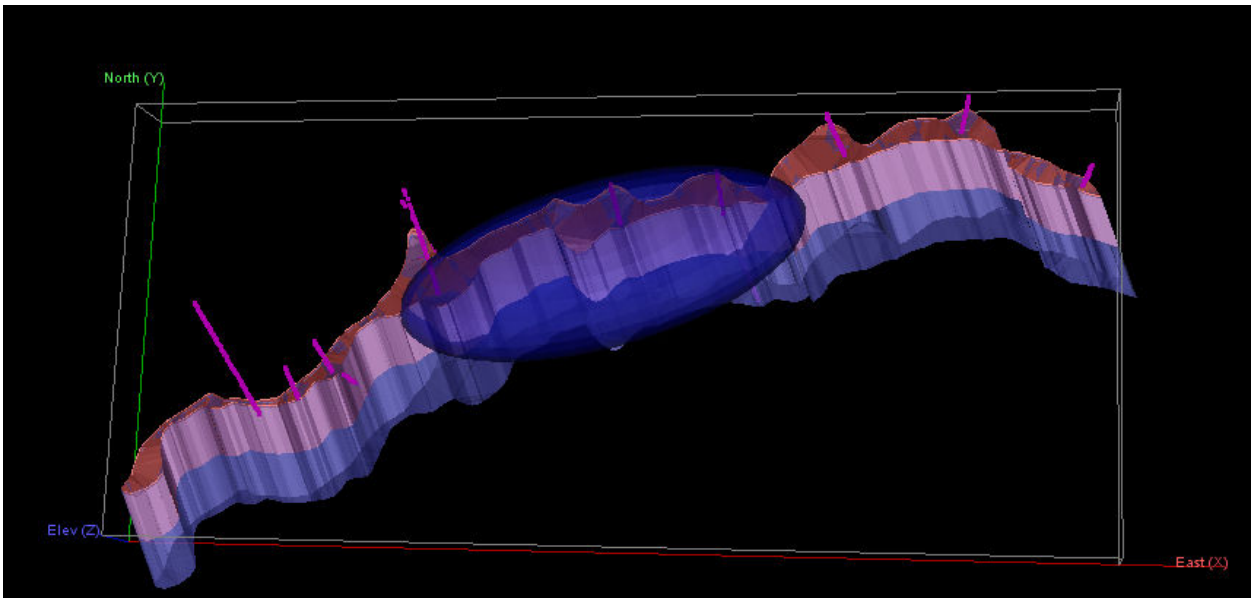
برای تخمین و ارزیابی ابتدا باید فضای تخمین را مشخص نمود. این محدوده باید فضایی باشد که بخش عمده آن را کانسنگ تشکیل دهد و در آن باطله به حداقل مقدار ممکن رسیده باشد. عمدتاً این فضا از طریق مرز کانسنگ و باطله مشخص می‌شود.

شکل ۲-۱۳ فضای تخمین رگه اصلی تارگت یک کانسار طلا هیرد را نشان می‌دهد. درحقیقت باید تک‌تک این بلوک‌ها را تخمین زد.



شکل ۲-۱۳ فضای تخمین رگه اصلی تارگت یک کانسار طلای هیرد

شکل ۲-۱۴ نیز نحوه تخمین بلوک‌ها را نشان می‌دهد. درحقیقت با جابجا شدن این بیضی‌گون مرکز هر بلوکی ارزیابی می‌شود. پس از اینکه این بیضی‌گون در مرکز بلوک قرار گرفت، با استفاده از داده‌هایی که درون آن قرار می‌گیرد مرکز بلوک را تخمین می‌زند. براساس افزایش فاصله داده‌ها از مرکز بلوک، تاثیر داده‌ها در تخمین مرکز بلوک کمتر می‌شود.



شکل ۲-۱۴ ارزیابی کانسار به کمک بیضی‌گون جستجو

پس از تخمین رگه اصلی تارگت یک کانسار طلای هیرد، نتایج ذیل حاصل گردید. جدول ۲-۲ نتایج خاصل از تخمین را برای قسمت اکیده رگه اصلی نشان می‌دهد. جدول ۲-۳ نیز نتایج حاصل از تخمین را برای قسمت سولفوره نشان می‌دهد. باید توجه داشت که وزن مخصوص قسمت اکسیده ۲/۳۵ تن بر مترمکعب و قسمت سولفوره ۳/۳ تن بر مترمکعب می‌باشد. با توجه به اینکه تعداد بلوک‌هایی درون Solid قرار گرفته‌اند ۳۴۴۸ می‌باشد و حجم هر بلوکی ۵۰۰ مترمکعب می‌باشد لذا حجم و تناژ بلوک‌هایی که درون Solid قرار دارند بشرح ذیل قابل محاسبه می‌باشد.

حجم کل Solid : ۳۴۴۸ × ۵۰۰ = ۱،۷۲۴،۰۰۰ مترمکعب

حجم قسمت اکسیده : ۱۷۲۴ × ۵۰۰ = ۹۶۲،۰۰۰ مترمکعب

حجم قسمت سولفوره : ۱۷۲۴ × ۵۰۰ = ۹۶۲،۰۰۰ مترمکعب

تن کانسنگ زون اکسیده ۹۶۲،۰۰۰ × ۲/۳۵ = ۲،۲۶۰،۷۰۰

تن کانسنگ زون سولفوره ۹۶۲،۰۰۰ × ۳/۳ = ۳،۱۷۴،۶۰۰

جدول ۲-۲ نتایج حاصل از ارزیابی قسمت اکسیده رگه اصلی تارگت شماره یک کانسار طلای هیرد

محتوای فلزی (کیلوگرم)	عیار متوسط (گرم برتن)	تناژ (تن کانسنگ)	حجم (مترمکعب)	تعداد بلوک‌ها	عیار حد (گرم برتن)
۶۴۷	۰,۳۵۹۷۸	۱۷۹۷۷۵۰	۷۶۵۰۰۰	۱۵۳۰	۰,۰۳۵
۶۴۶	۰,۳۶۱۴۴۳	۱۷۸۸۳۵۰	۷۶۱۰۰۰	۱۵۲۲	۰,۰۵
۶۳۶	۰,۳۸۴۹۹۳	۱۶۵۰۸۷۵	۷۰۲۵۰۰	۱۴۰۵	۰,۱
۶۱۸	۰,۴۱۲۰۱۱	۱۵۰۰۴۷۵	۶۳۸۵۰۰	۱۲۷۷	۰,۱۵
۶۰۰	۰,۴۲۹۰۳۴	۱۳۹۹۴۲۵	۵۹۵۵۰۰	۱۱۹۱	۰,۲
۵۶۴	۰,۴۵۴۵۵۵	۱۲۴۰۸۰۰	۵۲۸۰۰۰	۱۰۵۶	۰,۲۵
۴۳۷	۰,۵۶۱۹۳۲	۷۷۷۸۵۰	۳۳۱۰۰۰	۶۶۲	۰,۳
۴۱۲	۰,۵۸۸۳۶۱	۷۰۰۳۰۰	۲۹۸۰۰۰	۵۹۶	۰,۳۵
۲۴۶	۰,۸۳۲۶۷۳	۲۹۴۹۲۵	۱۲۵۵۰۰	۲۵۱	۰,۵
۱۵۴	۰,۹۷۹۱۵۹	۱۵۷۴۵۰	۶۷۰۰۰	۱۳۴	۰,۷۵
۱۱۰	۱,۱۵۳۰۸۶	۹۵۱۷۵	۴۰۵۰۰	۸۱	۱

جدول ۲-۳ نتایج حاصل از ارزیابی قسمت سولفوره رگه اصلی تارگت شماره یک کانسار طلای هیرد

محتوای فلزی (کیلوگرم)	عیار متوسط (گرم برتن)	تناژ (تن کانسنگ)	حجم (مترمکعب)	تعداد بلوک‌ها	عیار حد (گرم برتن)
۷۱۳	۰,۲۷۱۲	۲۶۳۰۱۰۰	۷۹۷۰۰۰	۱۵۹۴	۰,۰۳۵
۷۱۱	۰,۲۷۵۵۵۷	۲۵۸۰۶۰۰	۷۸۲۰۰۰	۱۵۶۴	۰,۰۵
۶۸۷	۰,۳۱۰۱۸۵	۲۲۱۵۹۵۰	۶۷۱۵۰۰	۱۳۴۳	۰,۱
۶۶۸	۰,۳۲۵۶۱۱	۲۰۵۰۹۵۰	۶۲۱۵۰۰	۱۲۴۳	۰,۱۵
۶۴۳	۰,۳۳۶۵۰۳	۱۹۱۰۷۰۰	۵۷۹۰۰۰	۱۱۵۸	۰,۲
۵۳۶	۰,۳۷۳۴۱۳	۱۴۳۵۵۰۰	۴۳۵۰۰۰	۸۷۰	۰,۲۵
۴۰۹	۰,۴۱۹۶۴۳	۹۷۵۱۵۰	۲۹۵۵۰۰	۵۹۱	۰,۳
۳۶۵	۰,۴۳۷۶۲۲	۸۳۳۲۵۰	۲۵۲۵۰۰	۵۰۵	۰,۳۵
۸۷	۰,۷۴۰۱۵۵	۱۱۷۱۵۰	۳۵۵۰۰	۷۱	۰,۵
۴۵	۰,۹۸۳۸۵۷	۴۶۲۰۰	۱۴۰۰۰	۲۸	۰,۷۵
۱۷	۱,۱۱۵	۱۴۸۵۰	۴۵۰۰	۹	۱

در جدول ۲-۴ پارامترهای آماری زون اکسیده رگه اصلی تارگت یک و در جدول ۲-۵ نیز پارامترهای آماری مربوط به زون سولفوره رگه اصلی تارگت یک مشاهده می‌گردد.

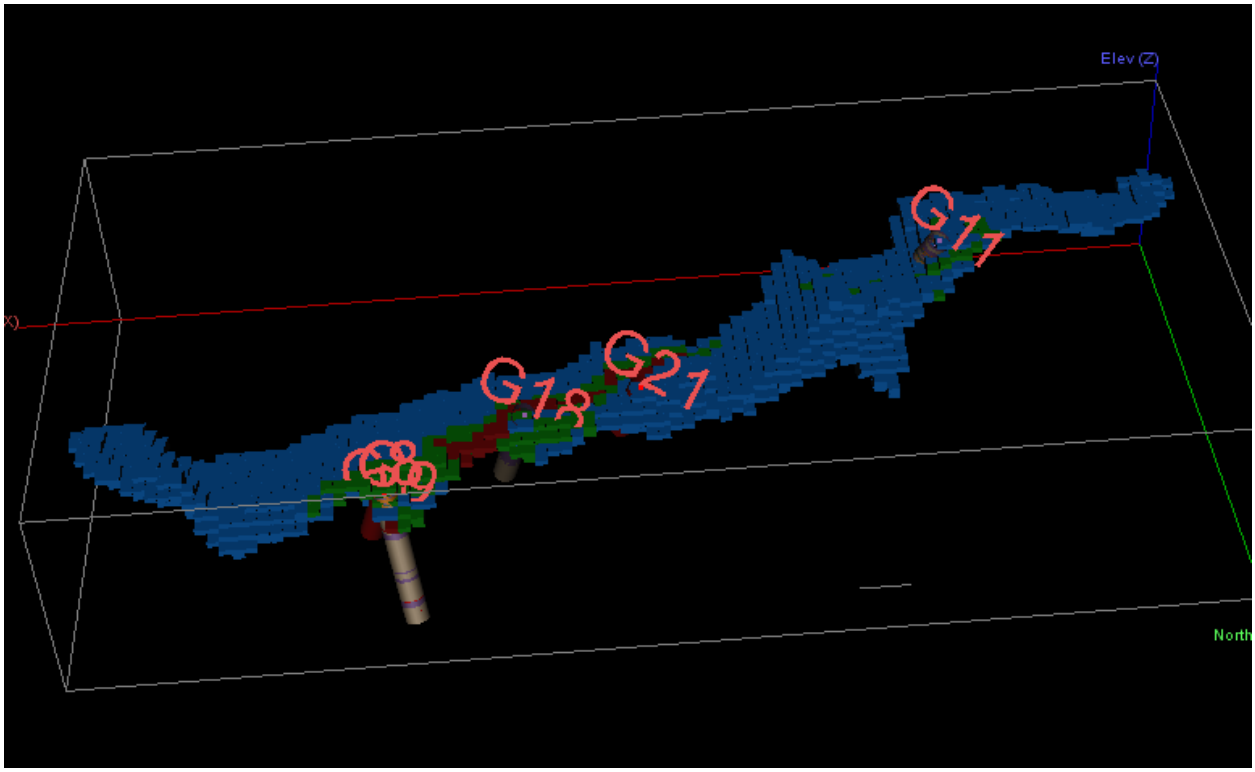
جدول ۲-۴ پارامترهای آماری مربوط به زون اکسیده رگه اصلی تارگت شماره یک

عنصر	مقدار کمینه	مقدار بیشینه	میانگین	واریانس	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
Au	۰،۰۳۹	۱،۳۲۵	۰،۳۶	۰،۰۶۵	۰،۲۵۶	۰،۷۱	۱،۷۶	۶،۰۷

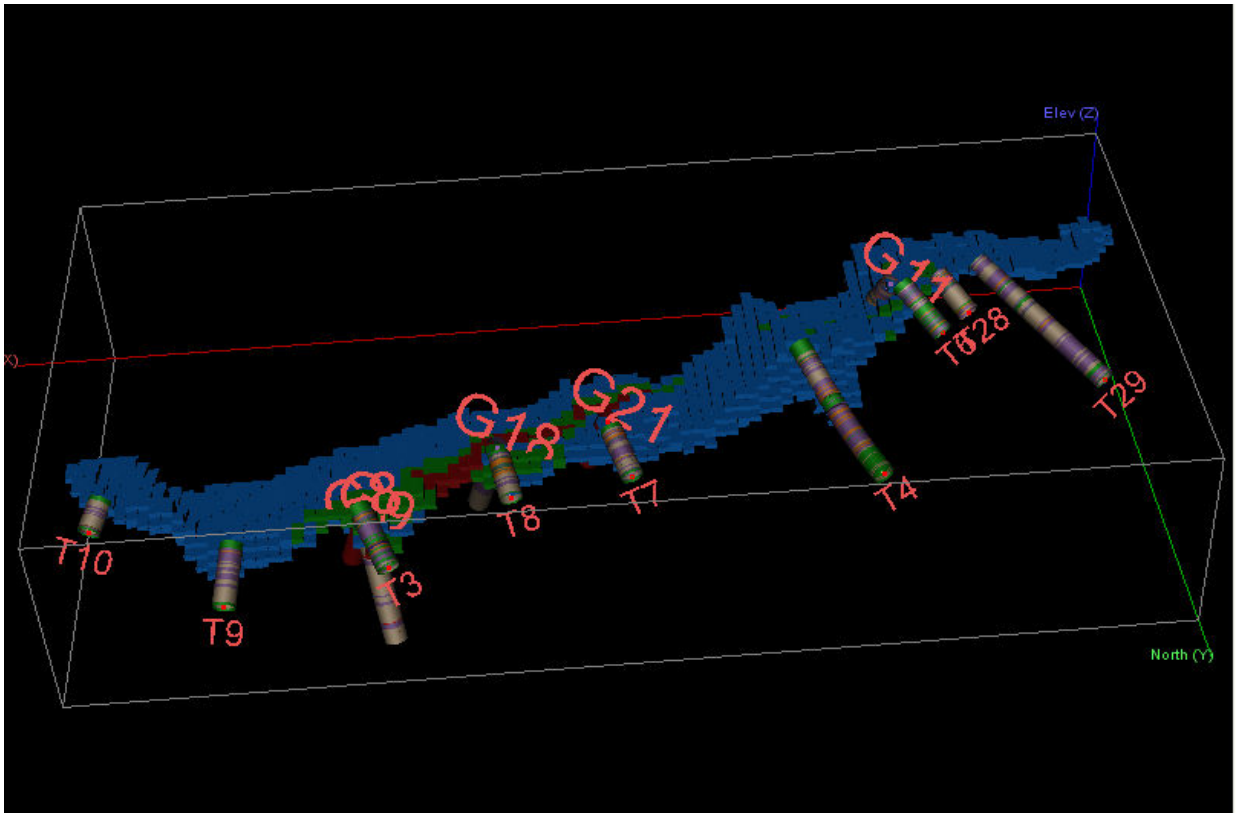
جدول ۲-۵ پارامترهای آماری مربوط به زون سولفوره رگه اصلی تارگت شماره یک

عنصر	مقدار کمینه	مقدار بیشینه	میانگین	واریانس	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
Au	۰،۰۲	۱،۷۱	۰،۲۷	۰،۰،۲۵۳	۰،۱۵۹	۰،۵۸	۱،۶۳	۹،۴۴

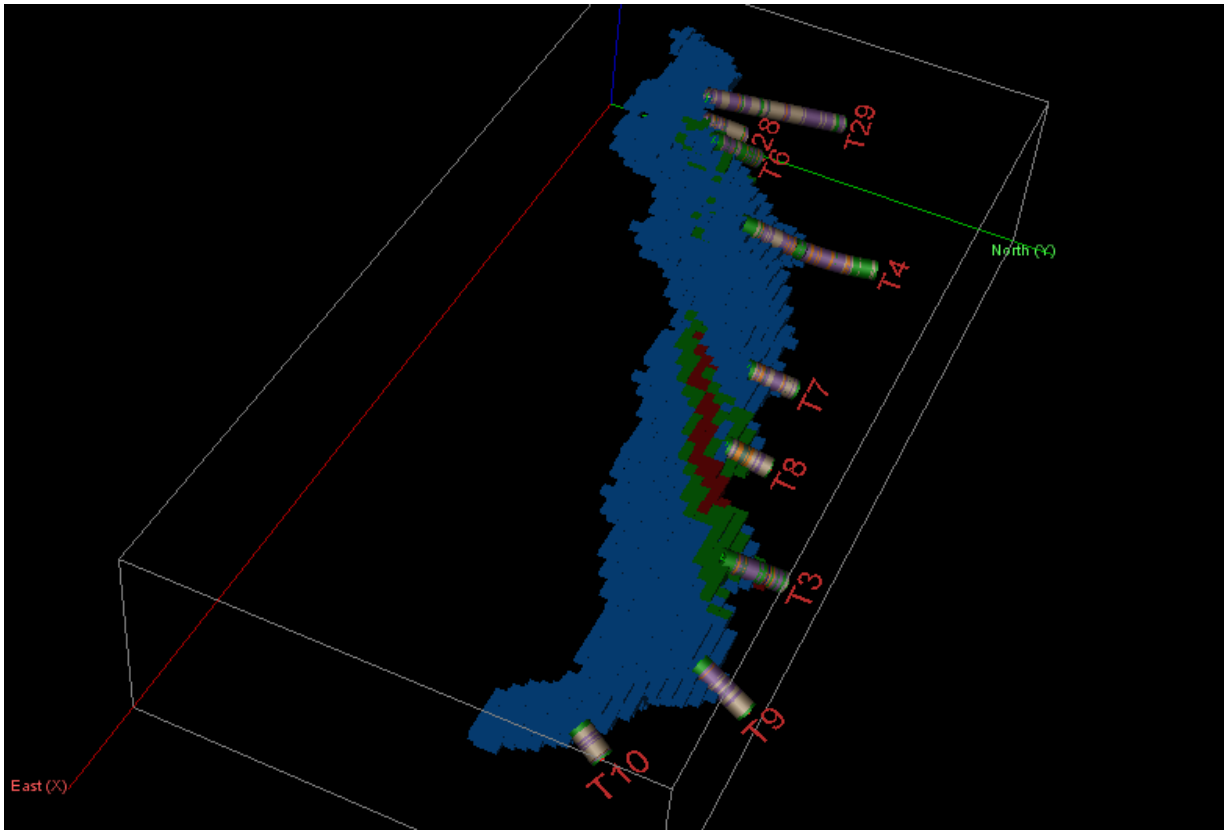
شکل‌های ۲-۱۵، ۲-۱۶، ۲-۱۷،۲-۱۸ و ۲-۱۹ رگه اصلی تارگت یک را پس از تخمین نشان می‌دهند. شکل ۲-۲۰ نیز راهنمای این اشکال می‌باشد.



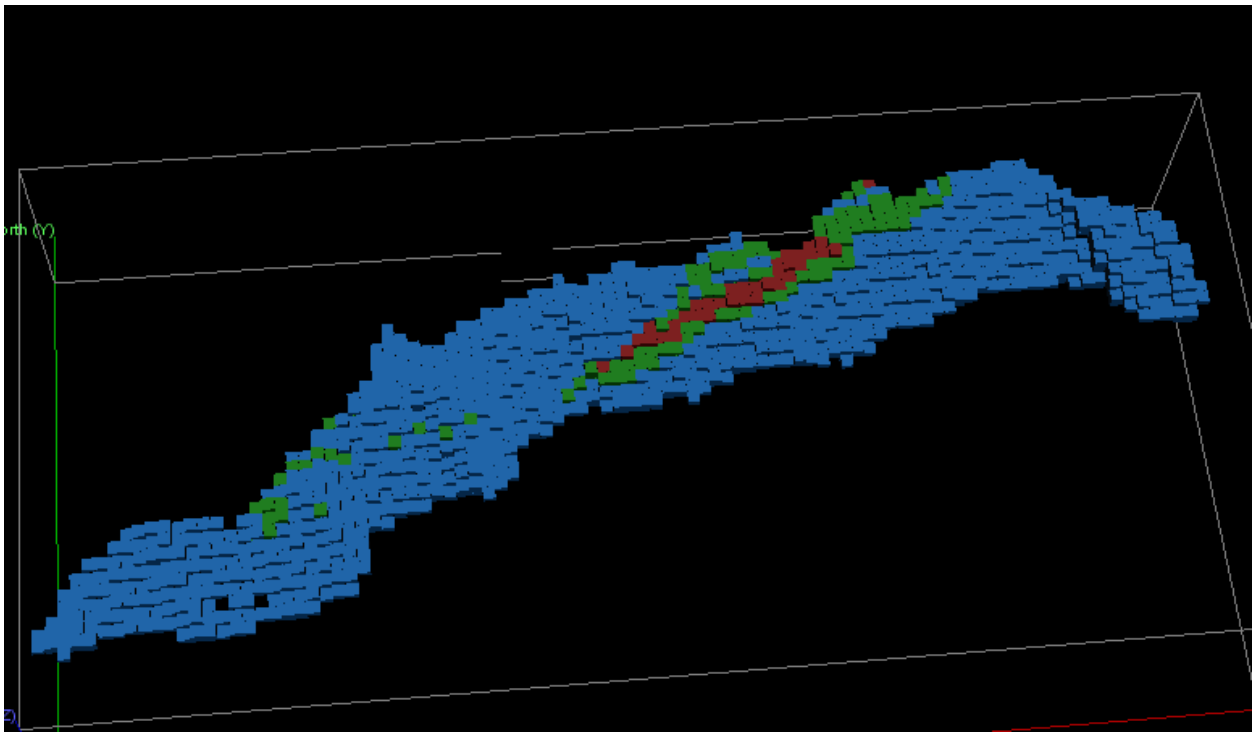
شکل ۲-۱۵ کانسار بلوک‌بندی شده پس از تخمین



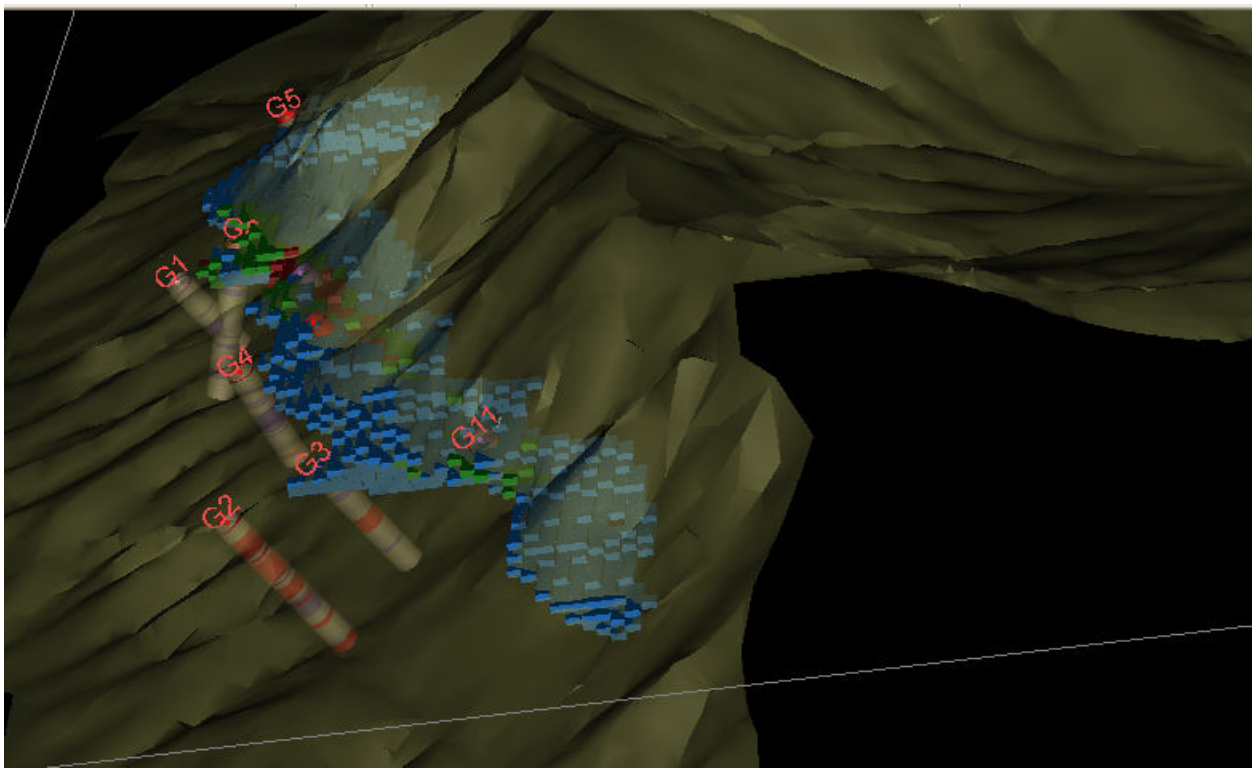
شکل ۲-۱۶ کانسار بلوک‌بندی شده پس از تخمین



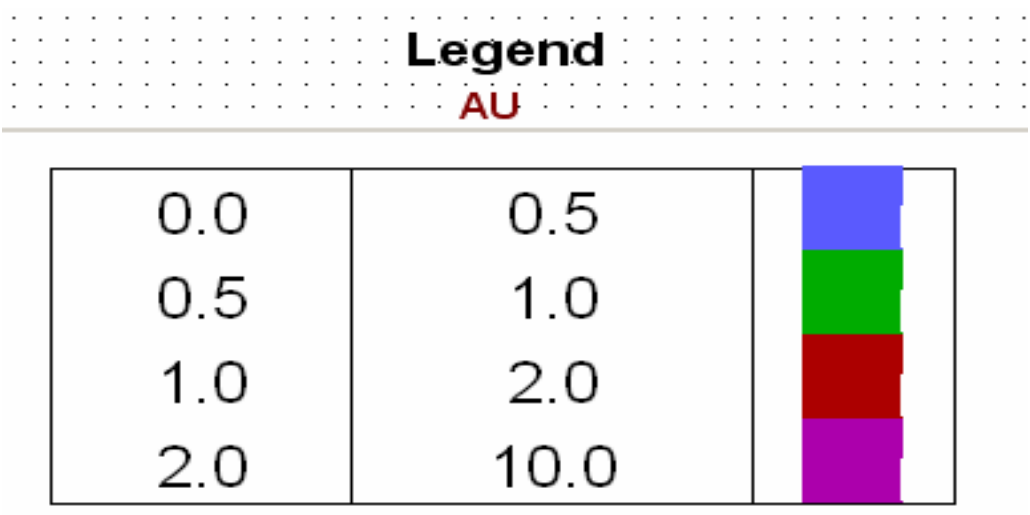
شکل ۲-۱۷ کانسار بلوک‌بندی شده پس از تخمین



شکل ۲-۱۸ کانسار بلوک‌بندی شده پس از تخمین

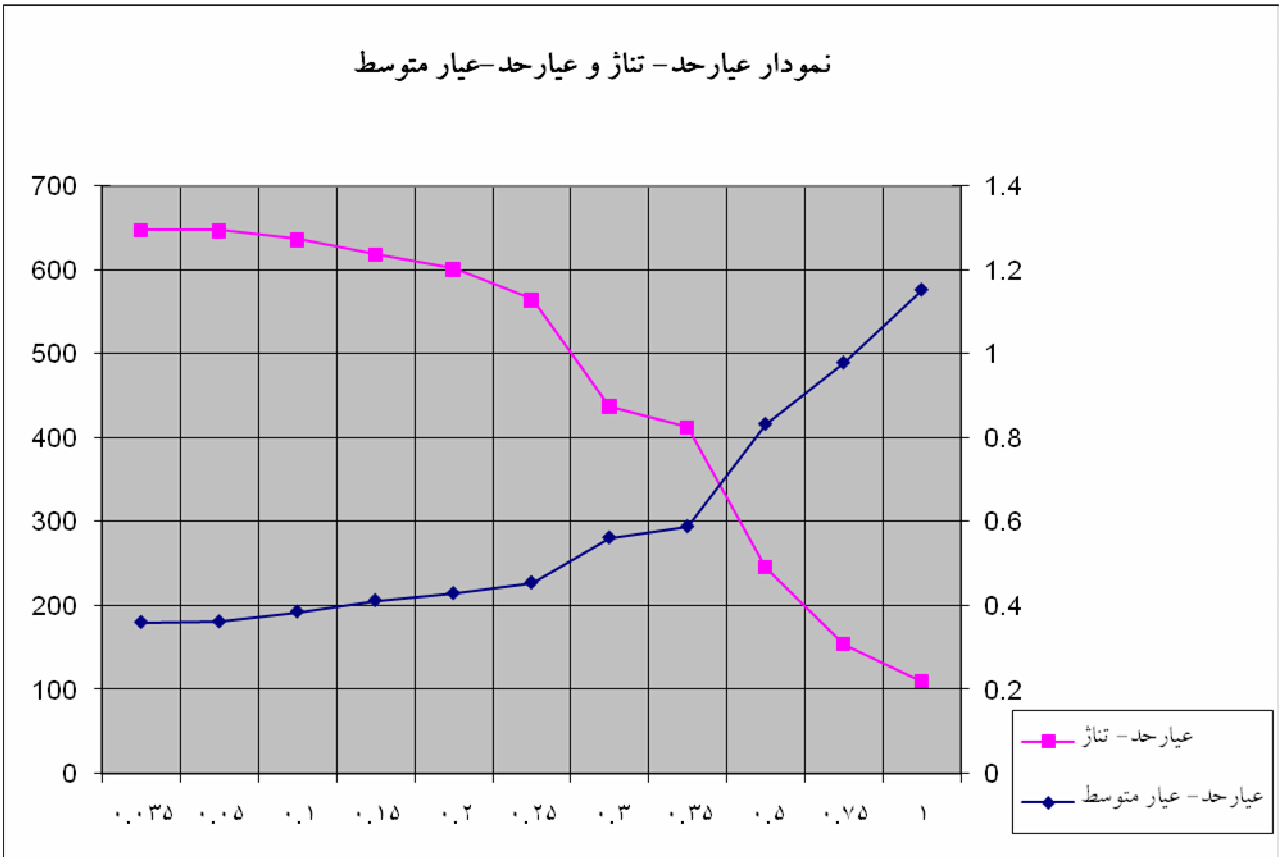


شکل ۲-۱۹ کانسار بلوک‌بندی شده پس از تخمین

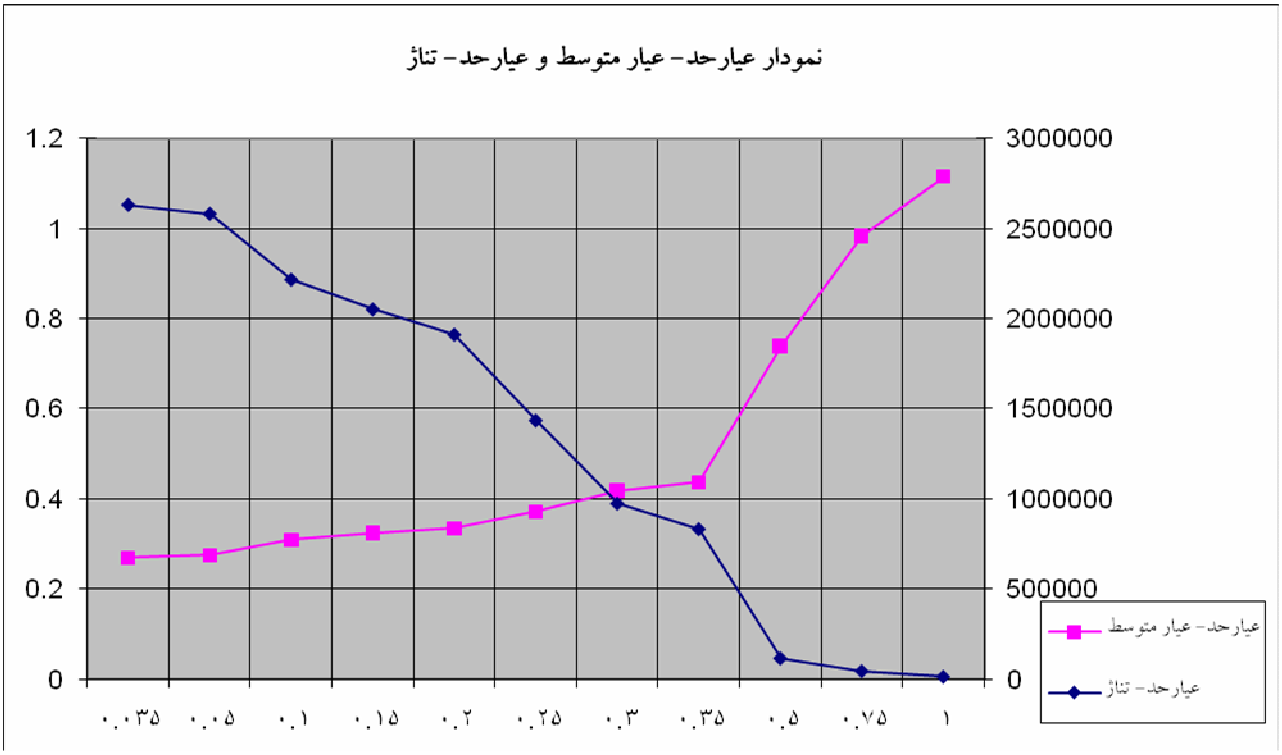


شکل ۲-۲۰ راهنمای بلوک‌بندی

شکل ۲-۲۱ نمودار عیارحد- عیار متوسط و عیارحد- تناژ را برای زون اکسیده رگه اصلی تارگت یک کانسار طلای هیرد نشان می‌دهد. شکل ۲-۲۲ نیز نمودار عیارحد- عیار متوسط و عیارحد- تناژ را برای زون سولفوره رگه اصلی تارگت یک کانسار طلای هیرد نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۱- نمودار عیارحد- عیار متوسط و عیارحد- تناژ برای زون اکسیده رگه اصلی تارگت یک



شکل ۲-۲۲- نمودار عیارحد- عیار متوسط و عیارحد- تناژ برای زون سولفوره رگه اصلی تارگت یک

۲-۴نتیجه گیری

براساس مطالعات صورت گرفته برای تخمین، ذخیره کانسار شرایط زیر را دارا می‌باشد:

با توجه به اینکه کانی‌سازی بصورت زون‌های اکسیده و سولفوره صورت گرفته است ولی علیرغم مطالعات نیمه‌تفضیلی که انجام شده مرز اکسید و سولفور طور دقیق مشخص نمی‌باشد. عمق پیشنهادی برای کانسار ۱۰۰ متر می‌باشد که حدود ۵۰ متر آن، زون اکسیده منظور گردیده است. با توجه به اینکه کانی‌سازی زون اصلی با روند تقریبی شرقی- غربی (آزیموت حدود ۷۰ درجه) بطول تقریبی یک کیلومتر می‌باشد، لذا این زون توسط حفاری‌های اکتشافی اعم از ترانشه و گمانه تحت پوشش قرار گرفته است که اساس مدلسازی هندسی می‌باشد.

ذخیره برآورد شده در زون کانی‌سازی اصلی با عیار حد ۰/۱ گرم بر تن برابر با ۱/۶۵۱ تن کانسنگ طلا با عیار متوسط ۰/۳۸ گرم بر تن می‌باشد که بر اساس محاسبه خطای انجام شده، سطح اعتماد ارزیابی شده حدود ۸۵ درصد می‌باشد.

با توجه به نوسانات قیمت جهانی طلا و همچنین دلایل زیر نمی‌توان آنومالی شماره یک هیرد را به تنهایی در زمره ذخایر مطلوب ارزیابی نمود:

- پایین بودن عیار ذخیره (عیار متوسط ذخیره با عیار حد ۰/۱ گرم بر تن برابر با ۰/۳۸ گرم بر تن، عیار متوسط ذخیره با عیار حد ۱ گرم بر تن ۱/۱۵ گرم بر تن) است.
- با توجه به توپوگرافی منطقه دسترسی و عمق نسبتاً زیاد استخراج کانسار مشکل بنظر می‌رسد.

۲-۵ پیشنهادات

پیشنهاد می‌گردد که اطلاعات اکتشافی مربوط به تارگت‌های ۱، ۲ و ۳ این آنومالی بطور کامل و همسطح مورد مطالعات مدلسازی و برآورد ذخیره قرار گیرد و درنهایت مطالعات امکان‌سنجی کانسار صورت گیرد و در مورد اقتصادی بودن و یا نبودن کانسار اظهار نظر گردد.

با توجه به گستردگی زیاد کانسار و همچنین نتایج نسبتاً خوبی که در تارگت شماره ۳ بدست آمده است، بنظر می‌رسد که پس از انجام مطالعات اکتشافی و عملیات حفاری در سطح محدوده، احتمالاً با افزایش میزان ذخیره کانسنگ بتوان نسبت به اقتصادی بودن کانسار امیدوارتر بود.

پیشنهاد می‌گردد که جهت جلوگیری از اتلاف وقت، تمامی داده‌های مربوط به این آنومالی با دقت بالا و بصورت رقومی تهیه گردد که در فاز بعدی مطالعات مدلسازی و برآورد ذخیره مورد استفاده بهینه قرار گیرد.