

# تعیین حد نهایی معدن مس میدوک با استفاده از نرم افزار CSMINE

نوشته: دکتر کاظم اروعی\* و آرش گوادرزی\*

## Determination of Final Pit Limit at Miduk Copper Mine Using CSMINE Software

By: Dr. K. Oraee\* & A. Goodarzi\*

### چکیده

کانسار مس میدوک یکی از بزرگ ترین ذخایر مس کشور در شمال باختری استان کرمان واقع است. ذخیره این کانسار حدود ۱۵۷ میلیون تن سنگ معدن با عیار میانگین ۰/۸۵ در صد بوده و جزو گروه کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی است. یکی از مهم ترین مسائل در طراحی هر معدن روباز، تعیین محدوده نهایی می باشد. روش شبیه سازی (مخروط شناور مثبت Positive moving cone) یکی از روش های مرسوم طراحی محدوده نهایی معادن روباز است که در آن ابتدا مدل بلوک بندی شده عیار معدن از روی داده های اکتشافی و با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ (Kriging) ساخته می شود. از آنجا که روش کریجینگ بر اساس منطق میانگین متحرک وزنی عمل میکند، بهترین روش برای ساخت مدل عیار کانسار است. پیش از به کارگیری روش کریجینگ، باید ساختار فضایی عیار کانسار مشخص شود.

از این رو، واریوگرام (Variogram) عیار کانسار با استفاده از برنامه VARIOC رسم شد. با پیش بینی های انجام شده برای درآمد حاصل و هزینه های معدن و با استفاده از عیار هر بلوک، ارزشی به آن بلوک نسبت داده شد که با اعمال الگوریتم مخروط شناور مثبت بر آن ارزش ها و با استفاده از نرم افزار CSMINE حد نهایی معدن تعیین شد. محدوده نهایی تعیین شده، نشان دهنده بخشی از کانسار است که استخراج آن در دوره بهره برداری اقتصادی خواهد بود.

**واژه های کلیدی:** میدوک، تعیین حد نهایی پیت، کریجینگ، مخروط شناور مثبت.

### Abstract

Miduk in one of the largest copper ore reserves in Iran that is situated in the north west of Kerman province. It contains approximately 157 million tons of ore with an average grade of 85%. One of the most important elements of the open pit planning is the determination of the final pit limits. The simulation method (positive floating cone) is a commonly used method for this purpose in which the users design by grade blocks. In this presentation, geostatistic methods have been described and their application in open pit mine planning discussed. Furthermore, computer programs of CSMINE and VARIOC have then been explained and parameters required for the application of the software programs obtained. Finally, The optimum design of the pit is determined by using two sets of real data and applying the above computer programs. The recommended pit will produce appropriate ore for the ore dressing plant with maximum average and the highest amount of economic gain mind.

**Key words:** Miduk, Ultimate pit, limit, Kriging, Positive moving cone

### مقدمه

حتی آلیاژهای مانند مفرغ، بسیار زودتر از آهن (حدود ۴۰۰۰ سال) توسط انسان کشف شدند دوران (۱۳۶۵) ناحیه کرمان از نظر کانی سازی مس، یکی از گسترده ترین و مهم ترین منطق ایران است که

مس قدیمی ترین فلزی است که انسان پس از عصر سنگ به آن دست یافت. این فلز، حدود ۸۰۰۰ سال پیش وارد زندگی انسان شد و اگر چه میزان ذخیره آهن در پوسته زمین ۷۰۰ بار بیش از مس است، اما مس و

از دیرباز مورد توجه صنعت معدنکاری بوده است.

شکستگی عمده ای در منطقه کانسار میدوک دیده نمی شود، اما شکستگی های شعاعی قائم، مهم ترین شکستگی ها در کل محدوده معدن هستند. تعدادی شکستگی مخروطی نیز در مرزهای کانسار دیده می شود که مایل بوده و مهم ترین نقش آنها در میزان پایداری دیواره های معدن است.

### کانسار میدوک

کانسار مس میدوک از نظر موقعیت زمین ساختی و سنگ شناختی، در گروه کانسارهای مس پورفیری نوع مونزویتیک کمر بند زمین ساختی زون فرورانش حاشیه قاره ها قرار می گیرد. در این کانسارها، ماگمای کلسیمی - قلیایی ضمن بالا آمدن متبلور شده و همچنین تفریق ماگمایی در آن رخ داده است. محلول ماگمایی منجر به تغییرات شیمیایی در سنگهای منطقه شده و از سوی دیگر گرمای توده های نفوذی، منجر به حرکت آبهای زیر زمینی شده که این امر نیز باعث تغییرات شیمیایی و کانی شناختی در سنگهای منطقه گردیده است. مجموعه این تغییرات گرسانی، تشکیل و کانی سازی کانسارهای مس پورفیری را باعث می شود. کانسارهای مس پورفیری براساس زون های دگرسانی به زونهای پتاسیک، سریست، آرژیلیک و پروپلتیک تقسیم بندی می شوند که هر زون، دارای خاستگاه و کانیهای اصلی و فرعی خاص خود است. از آنجا که میزان تغییرات زمین ساختی در منطقه میدوک اندک است، لذا این زونها کاملاً آشکار هستند (شکل ۱).

شکل، بافت، عیار و میزان ذخایر پورفیری به تعداد توده های نفوذی ماگمایی، شیوه و تداخل، حجم ماگما، ژرفای تبلور و جایگزینی، تخلخل و شکستگی سنگهای منطقه بستگی دارد.

### اهمیت تعیین حد نهایی در معادن روباز

تعیین حد نهایی از مهم ترین مسائل طراحی هر معدن روباز است. بدین معنی که از سال اول شروع استخراج، شکل نهایی معدن باید مشخص باشد تا در سالهای بهره برداری، از ساخت تاسیساتی مانند کارخانه فرآوری، جاده های دسترسی و ساختمان های اداری، مسکونی و غیره در محل هایی که بعداً قرار است تخریب شوند، جلوگیری شود. همچنین انباشتگاه های باطله نیز باید خارج از این محدوده باشد تا با گسترش معدن لزومی به جا به جایی آنها نباشد. در طول دوره استخراج هم ارائه برنامه تولید و زمان بندی عملیات استخراجی معدن نیاز به داشتن شکل نهایی معدن و گستردگی آن در راستاهای افقی و قائم و نیز ژرفای نهایی معدن دارد. از نظر اقتصادی، مهم ترین موضوع در مورد حد نهایی معدن روباز این است که در خارج محدوده مشخص شده، استخراج اقتصادی نبوده و هر گونه عملیات معدنکاری زیان آور خواهد بود.

### بررسی زمین آماری کانسار میدوک

یکی از ویژگی های مهم عملیات اکتشافی، عدم قطعیت است. این حقیقت باعث می شود که در علوم معدنی از علم آمار زیاد استفاده شود. اهمیت آمار در این زمینه تاحدی است که میان رشته ای از علوم به نام زمین آمار به وجود آمده است. در زمین آمار، برخلاف آمار کلاسیک، بین مقادیر کمیت جامعه نمونه ها و فاصله و جهت آنها نسبت به هم، ارتباطی وجود دارد که بیان ریاضی این امر ساختار فضایی نامیده می شود.

با در نظر گرفتن ساختار فضایی عیار کانسار و با داشتن مقدار عیار در نمونه ها و استفاده از تخمین گر زمین آماری کریجینگ، مدل بلوک بندی شده عیار کانسار ساخته می شود. تخمین گر کریجینگ هر دو ویژگی یک تخمین گر آرمانی که نا اریب بودن و داشتن کمترین واریانس است را داراست.

ساختار فضایی عیار کانسار در واریوگرام شکل ۳ نشان داده شده است. این واریوگرام از روی داده های اکتشافی و با برازش مدل کروی بر منحنی حاصل با استفاده از برنامه VARIOC رسم شده است. از روی این واریوگرام، پارامترهای دامنه، اثر قطعه ای و سقف تعیین می شود که این پارامترها، در محاسبات کریجینگ به کار گرفته می شوند. هیستوگرام

### زمین شناسی عمومی منطقه میدوک

تاریخچه زمین شناسی عمومی منطقه میدوک را می توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- آتشفشانی گسترده آندزیتی در اوایل سنوزویک
- تزریق استوک گرانودیوریتی در سنگهای آتشفشانی در میانه سنوزویک
- شکستگی گسترده در استوک گرانودیوریتی به دلیل سرد شدن
- دگرسانی در منطقه
- تخریب و فرسایش

### محدوده کانی سازی شده در کانسار مس میدوک

کانسار میدوک شیبه قارچی است با کلاهی با شکل بیضی ناقص که کلاهی این قارچ، زون سوپر ژن و پایه آن زون هیپوژن کانسار را تشکیل می دهد. از جمله کارهای اکتشافی انجام شده در منطقه حضر ۴۷۱،۱۶ متر گمانه، هفت تونل اکتشافی و تعدادی ترانشه است گزارش مطالعات فنی - اقتصادی (۱۳۷۸). که با استفاده از این اطلاعات، نقشه های بلوک بندی عیار رسم و پرورنده داده های اکتشافی تهیه شده است.

هر چه تعداد بلوک‌های مدل بیشتر باشد، زمان آنالیز طولانی‌تر خواهد بود، اما با داشتن در این تحقیق با انتخاب ۷۸۰۳ بلوک در مدل سازی کانسار، از تمام توانمندی برنامه CSMINE استفاده شده است. ابعاد و تعداد بلوک‌ها در راستاهای مختلف در جدول شماره ۲ آورده شده است. برای مدل سازی بهتر، ارتفاع بلوک‌ها باید برابر با ارتفاع پله (۱۵ متر) در نظر گرفته شود.

### تعیین ارزش اقتصادی بلوک‌ها

در محاسبات، الگوریتم مخروط شناور مثبت ارزش اقتصادی هر بلوک در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، با توجه به عیار هر بلوک، وزن کل آن (حجم X وزن مخصوص سنگ)، میزان بازیابی، هزینه‌های معدنکاری هر بلوک (استخراج، فرآوری و ذوب) و قیمت فروش محصول، ارزش هر بلوک تعیین می‌شود.

بدین منظور، هزینه‌های کل استخراج و حمل از قرار هر تن ۴۸۰۰ ریال، حقوق دولتی ۱۲۵۰ ریال و عوارض شهرداری، ۴ درصد هزینه حقوقی در نظر گرفته شده است نرخ برابری دلار آمریکا و ریال ایران نیز ۸۰۰۰ ریال به ازای هر دلار تعیین شده است گزارش مطالعات فنی - اقتصادی (۱۳۷۸).

هزینه‌های فرآوری و ذوب مس با استفاده از اطلاعات مجله Copper metal service تعیین شده و پیش بینی قیمت مس در سال‌های آینده با استفاده از اطلاعات بورس فلزات لندن براساس قیمت‌های فروش ۵ سال گذشته انجام شده است گزارش مطالعات فنی - اقتصادی (۱۳۷۸).

از آنجا که براساس پیش بینی‌های انجام شده، محصول میدوک کنستانتره مس ۳۰٪ خواهد بود، تنها ۳۰٪ هزینه فرآوری و ذوب مس کاتدی و همچنین ۳۰٪ قیمت فروش مس کاتدی به عنوان اقلام هزینه فرآوری و ذوب مس و قیمت فروش در نظر گرفته شده است گزارش مطالعات فنی - اقتصادی (۱۳۷۸).

اطلاعات مربوط به هزینه‌ها و قیمت فروش بر حسب دلار آمریکا در جدول شماره ۳ آورده شده است.

### محدوده نهایی

نمای سه بعدی تهیه شده برای محدوده نهایی معدن روباز میدوک با نرم‌افزار CSMINE، در شکل ۷ آورده شده است. این شکل بلوک‌هایی از مدل بلوکی کانسار که در زمان بهره برداری استخراج می‌شوند و بلوک‌هایی از آن که باقی گذاشته می‌شوند را نشان می‌دهد.

شکل ۸ نیز پلان محدوده نهایی معدن را نشان می‌دهد. خط پررنگ بیرونی نشانه دهنده حد نهایی معدن بوده که با محاسبات زمین آمار، اعمال

توزیع فراوانی تجمعی عیار کانسار مس میدوک در شکل ۴ آورده شده است.

پراکنندگی نقاط برداشت داده‌های اکتشافی در منطقه میدوک در شکل ۵ آورده شده است. ۱۴۷ نقطه برداشت بین ترازهای ۳۵۰۰ تا ۴۳۰۰ متری در راستای محور X و ۶۹۰۰ تا ۷۵۰۰ متری در راستای محور Y و افق ۲۷۰۵ متری تا ۲۳۰۰ متری انتخاب شد.

### هندس معدن روباز

مشخصات مربوط به هندسه معدن روباز از راه مطالعات و عملیات اکتشافی به دست آمده که در جدول ۱ گنجانده شده است. شیب نهایی دیواره معدن نشان دهنده بزرگ‌ترین گودال قابل معدنکاری است که با ملاحظات ژئومکانیکی و با در نظر گرفتن پایداری دیواره‌ها تعیین می‌شود. گودال نهایی تعیین شده، در درون بزرگ‌ترین گودال قابل معدنکاری قرار دارد.

### الگوریتم مخروط شناور مثبت

این الگوریتم بر پایه عمل شبیه سازی تدوین شده و برای نخستین بار در اوایل دهه ۱۹۶۰ توسط پانا (Pana)، سپس توسط کیم (Kim) و لیزوت (Lizott) ارائه شد زهره بخش (۱۳۶۱) به طور کلی این الگوریتم، حد نهایی معدن را با استفاده از روش آزمون و خطا و اعمال آن بر مدل بلوکی که توسط روش کریجینگ ساخته شده، تعیین می‌کند. مراحل کاری الگوریتم مخروط شناور مثبت به شرح زیر است:

- جستجو از سطح به منظور شناسایی بلوک‌های ماده معدنی که استخراج آنها سود آور است.
- تعیین کمترین تعداد بلوک‌های دارای ارزش منفی، که به ازای هر بلوک دارای ارزش مثبت باید برداشت شود تا شکل مخروط حاصل شود.
- اگر جمع جبری ارزش بلوک‌های باطله و ماده معدنی که برای ایجاد مخروط باید برداشته شود مثبت باشد، استخراج این مخروط اقتصادی است.
- اعمال رویه بالا برای همه بلوک‌های ماده معدنی داخل مدل بلوک بندی شد.
- طرح عملیاتی که توسط این الگوریتم انجام می‌شود، در شکل ۶ آورده شده است.

در صورت اعمال صحیح الگوریتم مخروط شناور مثبت بر مدل بلوکی معدن، طراحی برای معدن روباز تعیین می‌شود که استخراج آن سود آور خواهد بود. اعمال این الگوریتم بر روی مدل، کاری زمان بر است، چرا که کل عملیات الگوریتم باید مورد تک تک بلوک‌ها انجام شود. بنا براین استفاده از رایانه برای انجام این محاسبات ضروری است.

براساس طرح مشاور طرح، معدن طراحی شده روباز، ۱۲۰۰ متر در راستای محور X ها و ۱۱۵۰ متر در راستای محور Y ها گسترش دارد. به عبارت دیگر، این گودال بین ترازهای ۳۳۸۵ تا ۴۵۸۵ متری در راستای محور X ها و ۶۵۸۵ تا ۷۷۳۵ متری در راستای محور Y ها واقع است دورانت (۱۳۶۵).

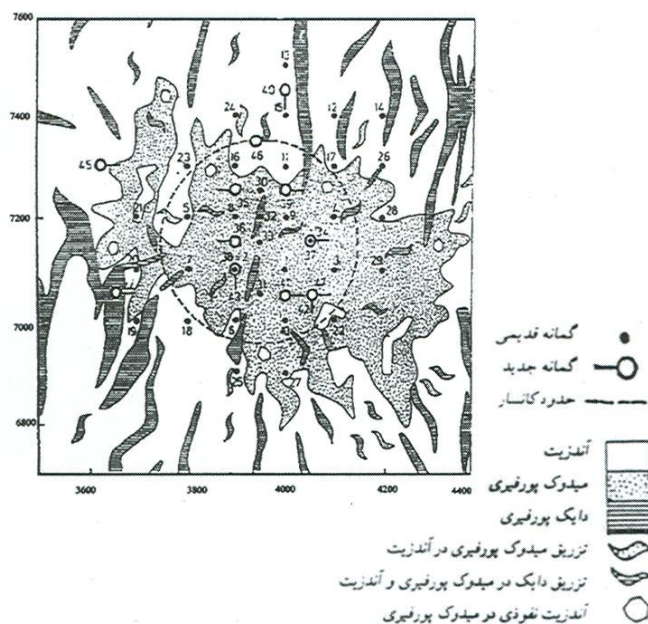
معدن روباز طراحی شده در این پژوهش، بزرگتر و بنابر این اقتصادی‌تر از معدن طراحی شده توسط مهندسين مشاور معدن خواهد بود. همچنین در صورت اجرای طرح مشاور، انباشتگاه‌های باطله در محدوده نهایی معدن قرار گرفته و این کار مشکلات زیادی را در آینده به وجود خواهد آورد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که مصرف جهانی مس در دهه آینده به ازای هر ۲ درصد افزایش خواهد داشت که این مقدار، معادل ۶۰۰ هزار تن مس در سال است گزارش مطالعات فنی - اقتصادی (۱۳۷۸).

بنابراین به نظر می‌رسد که سرمایه‌گذاری و فعال کردن معدن مس میدوک، اقتصادی است و از این راه می‌توان ضمن ایجاد اشتغال در سطح کشور و تامین مواد اولیه مورد نیاز صنایع کشور، با صدور محصولات آن، بخشی از نیازهای ارزی کشور را تامین کرد.

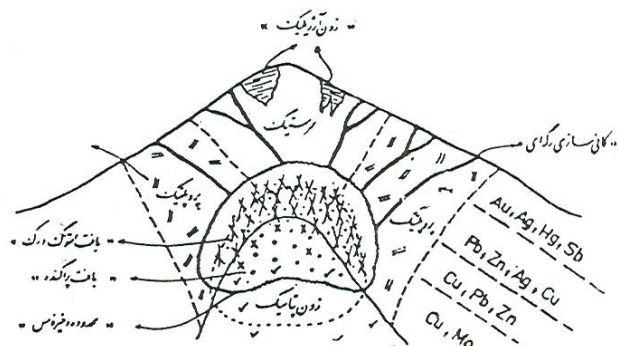
الگوریتم مخروط شناور مثبت و با توجه به هندسه معدن روباز تعیین شده است. اعداد نوشته شده در هر مربع در این نقشه، تعداد پله‌هایی را نشان می‌دهد که پایین‌تر از سطح ۲۷۰۵ متری ایجاد می‌شوند.

### نتیجه‌گیری

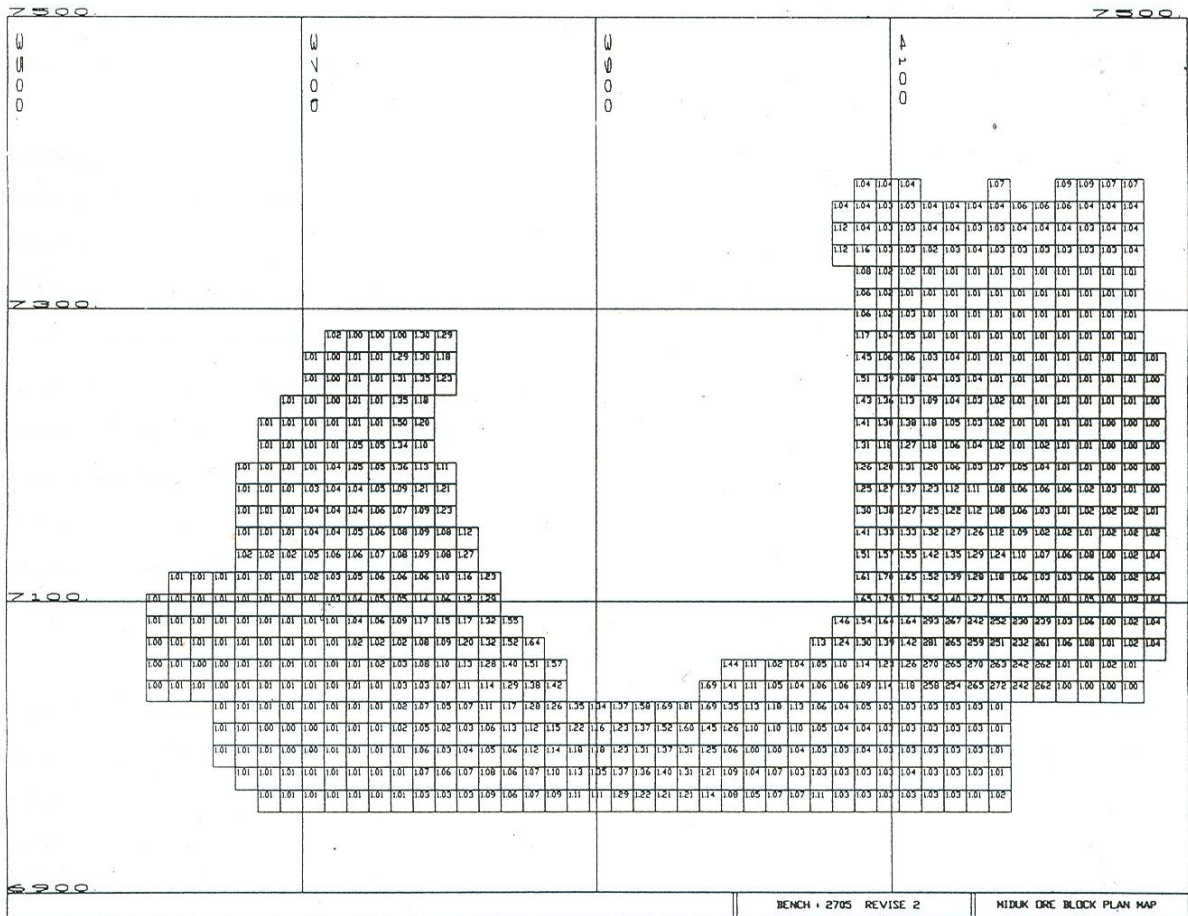
محدوده نهایی محاسبه شده، نشان دهنده معدن روبازی است که ۱۵۰۹ متر در راستای محور X ها و ۱۴۹۰ متر در راستای محور Y ها گسترش دارد. به عبارت دیگر، این معدن بین ترازهای ۳۰۵۵ تا ۴۵۶۴ متری در راستای محور X ها و ۶۲۵۵ تا ۷۷۴۵ متری در راستای محور Y ها واقع است. ژرفای نهایی آن تقریباً ۴۰۰ متر، یعنی از افق ۲۷۰۰ متری تا ۲۳۰۰ متری خواهد بود. مطالعات اکتشافی نشان می‌دهد که حتی در ژرفای ۹۵۰ متری، عیار کانسنگ سه برابر عیار حد (۰/۲۵ درصد) است. بنابراین، پس از پایان عمر ۳۰ ساله معدن روباز میدوک که پس از انجام مطالعات اقتصادی در آن زمان، معدنی زیر زمینی برای استخراج ذخیره باقی مانده زون هیپوژن باید احداث شود.



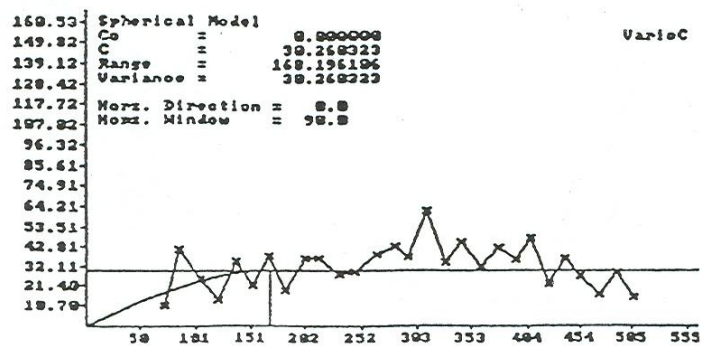
شکل ۲- نقشه زمین شناسی کانسار میدوک



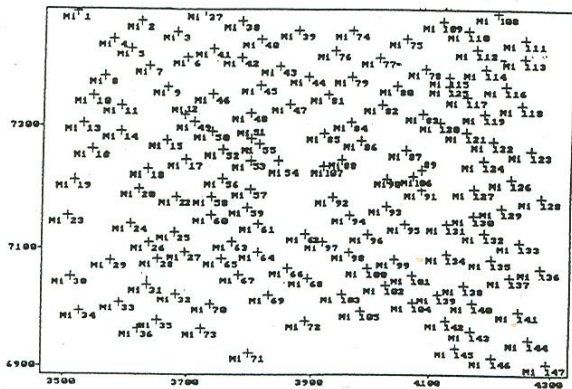
شکل ۱- نمایش نیم رخ زون‌های دگرسانی و زمین شیمیایی کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی



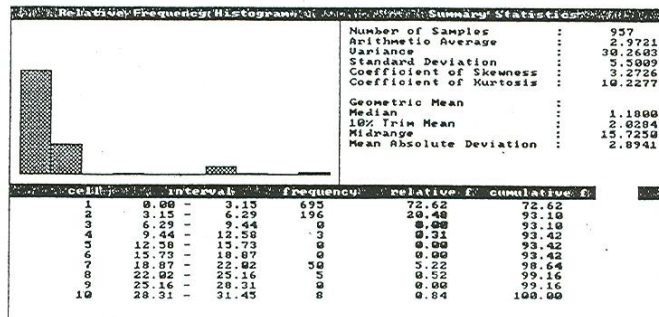
شکل ۳- نقشه بلوک بندی عیار در تراز ۲۷۰۵ متری از سطح دریا کانسار میدوک



شکل ۴- واریوگرام عیار برای کانسار مس میدوک



شکل ۶- توزیع نقاط برداشت بر روی نقشه منطقه



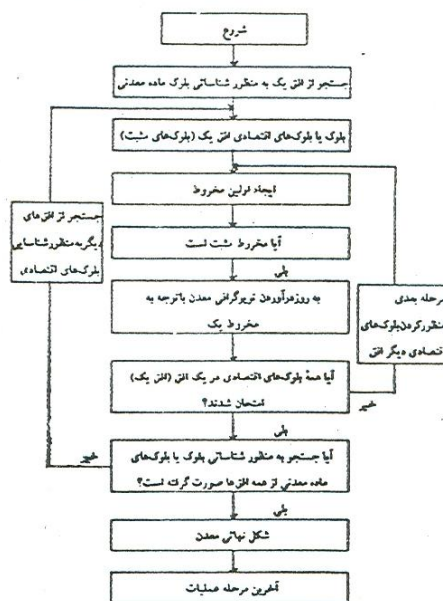
شکل ۵- هیستوگرام توزیع فراوانی جمعیتی عیار کانسار میدوک

پارامتر	مقدار
شیب نهایی دیواره معدن	۲۷/۵ درجه
زاویه شیب پله ها	۶۴ درجه
ارتفاع پله ها	۱۵ متر
عرض هر پله	۱۸ متر

جدول ۱- هندسه پیت (شرکت ملی صنایع مس ایران)

پارامتر	X	Y	Z
ابعاد بلوک	۱۰۰ متر	۱۰۰ متر	۱۵ متر
تعداد بلوک	۱۷	۱۷	۲۷

جدول ۲- ابعاد و تعداد بلوک ها در راستاهای مختلف



شکل ۷- الگوریتم مخروط شناور [۳]

مقدار	هزینه معدنکاری
۰/۸۱ دلار بر تن	
افزایش هزینه باربری به ازای رفتن به یک افق پایین تر	
۸۸ دلار بر تن	هزینه فرآوری و تصفیه
۶۴۳ دلار بر تن	قیمت فروش محصول

جدول ۳- هزینه کل و مبلغ فروش هر بلوک (شرکت صنایع مس ایران)





### کتابنگاری

- اصانلو، م. ۱۳۷۴- طراحی ، برنامه ریزی و روش های استخراج معادن سطحی (جلد اول، دوم و سوم)، انتشارات لادن.  
حسینی پاک، ع.ا. ۱۳۷۷- زمین آماری ، انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.  
دورانت، و. ۱۳۶۵- تاریخ تمدن - جلد اول (مشرق زمین گاهواره تمدن، سازمان انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی.  
رایت ، ا. ۱۳۷۲- طراحی معادن رو باز، دانشگاه بین المللی امام خمینی.  
کریم پور. م. ح. ۱۳۷۴- زمین شناسی اقتصادی کاربردی، انتشارات صالح، نشر رشد مشهد.  
گزارش مطالعات فنی - اقتصادی مجتمع معدن مس میدوک ، شرکت ملی صنایع مس ایران ، ۱۳۷۸.

### Referances

- Dohrm, G. C. 1992- Open pit feasibility stud, SME.  
Fourie G. A. 1992- Open pit planing and design basic concept, SME Mining Engineering hand book .  
Hustrolid, W. & Kuchta, M. 1995- Open pit mine planing and design (Vol 1,2) Balkema.

\* دانشگاه تربیت مدرس، بخش مهندسی معدن ، ایران ، تهران

\* Department of Mining Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran , Iran