

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

دکتر کاظم اورعی، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس
آرش گودرزی، کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه تربیت مدرس

چکیده:

کانسار مس میدوک یکی از بزرگترین ذخائر مس کشور در شمال غربی استان کرمان واقع شده است. ذخیره این کانسار در حدود ۱۵۷ میلیون تن سنگ معدن با عیار متوسط ۰/۸۵ درصد بوده و جزو گروه کانسارهای مس پوررفیری نوع مونزونیتی می باشد. یکی از مهمترین مسائل در طراحی هر معدن روباز، تعیین محدوده نهایی معدن می باشد. روش شبیه سازی (مخروط شناور مثبت) 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 ساخته می شود. از آنجا که روش کریجینگ بر اساس منطق میانگین متحرک وزن دار عمل می کند، بهترین روش برای ساخت مدل عیار کانسار می باشد. قبل از بکارگیری روش کریجینگ، باید ساختار فضایی عیار کانسار مشخص شود. بدین جهت واریوگرام عیار کانسار با استفاده از برنامه VARIOC رسم گردید. با پیش بینی های انجام شده برای درآمد حاصل و هزینه های معدن و با استفاده از عیار هر بلوک، ارزشی به آن بلوک منصوب گردید 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 قسمتی از کانسار است که استخراج آن در طول دوره بهره برداری اقتصادی خواهد بود.

Determination of final pit limit at Miduk copper mine using CSMINE Software

Dr.Kazem Oraee & Arash Goodarzi

Synopsis:

Miduk is one of the largest copper ore reserves in Iran that is situated in the north west of Kerman province. It constitutes approximately 157 million tons of ore with an average grade of 0.85%. Ore of the most important element of open pit planning is the determined the final pit limits. The simulation method (positive floating cone) is a commonly used method for this purpose in which the users in first subjected to design by grade blocks. In this presentation, geostatistic methods have been described and their application in open pit mine planning discussed. The computer programs of CSMINE and VARIOC have then been explained and parameter required for the application of these software programs obtained. Finally, with two used of real data gathered and the computer programs explained the optimum design of the pit is determined. The pit recommended will produce appropriate ore for the ore dressing plant with maximum average and highest amount of economic gain in mind.

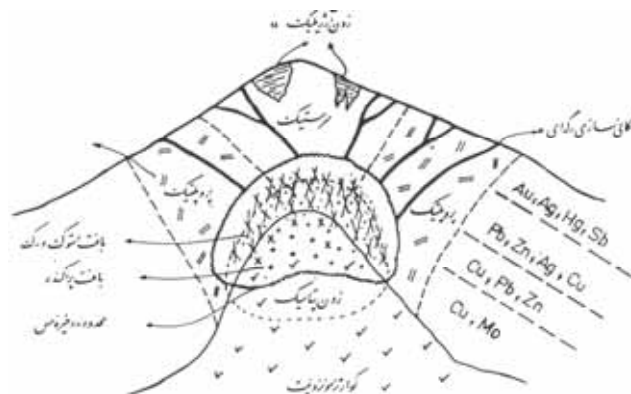
Key words: Miduk , Ultimate pit limit , Kriging , Positive moving cone

مقدمه

مس قدیمی‌ترین فلزی است که انسان بعد از عصر سنگ به آن دست یافت. این فلز در حدود ۸۰۰۰ سال پیش وارد زندگی انسان شد و اگر چه میزان ذخیره آهن در پوسته زمین ۷۰۰ بار بیشتر از مس است ولی مس و حتی آلیاژهای آن مانند مفرغ، بسیار زودتر از آهن (حدود ۴۰۰۰ سال) توسط انسان کشف شدند [۱]. ناحیه کرمان از نظر کانی‌زایی مس یکی از وسیع‌ترین و مهمترین مناطق ایران است که از دیر باز مورد توجه صنعت معدنکاری بوده است.

کانسار میدوک

کانسار مس میدوک از نظر موقعیت تکتونیکی و سنگ‌های همراه در گروه کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی کمر بند تکتونیکی زون فرو رانش حاشیه قاره‌ها قرار می‌گیرد. در این کانسارها، ماگمای کالک آلکالن ضمن بالا آمدن متبلور شده و همچنین تفریق ماگمایی در آن اتفاق افتاده است. محلول ماگمایی منجر به تغییرات شیمیایی در سنگ‌های منطقه شده و از طرف دیگر حرارت توده‌های نفوذی منجر به حرکت آب‌های زیر زمینی شده که این امر نیز باعث تغییرات شیمیایی و کانی‌شناختی در سنگ‌های منطقه گردیده است. مجموعه این تغییرات آلتراسیون است که ژنز و مینرالیزاسیون کانسارهای مس پورفیری مربوط به آلتراسیون می‌باشد. کانسارهای مس پورفیری بر اساس زون‌های آلتراسیون به زون‌های پتاسیک، سربیسیت، آرژیلیک و پروپلتیک تقسیم‌بندی می‌شوند که هر زون، دارای ژنز و کانی‌های اصلی و فرعی مربوط به خود می‌باشد. از آنجا که میزان تغییرات تکتونیکی در منطقه میدوک اندک است، لذا این زون‌ها کاملاً مشهود می‌باشند (شکل ۱).

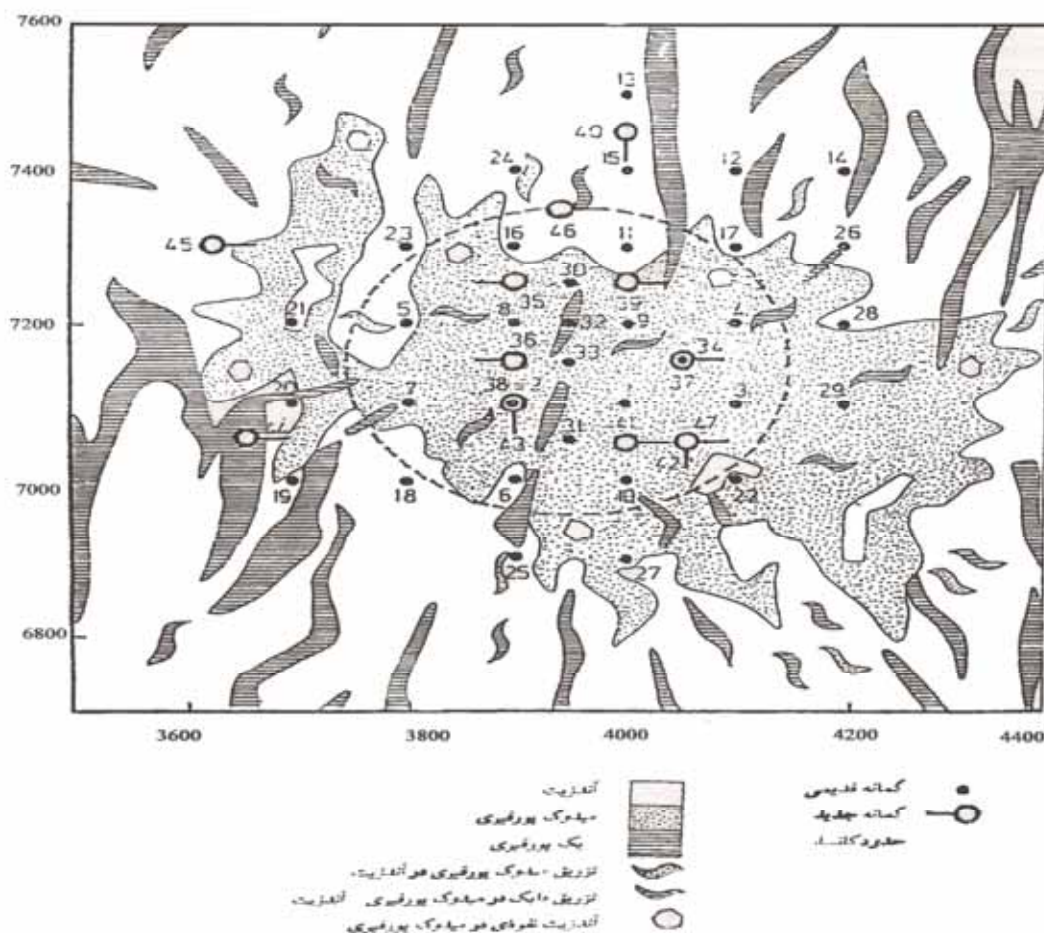


شکل ۱ : نمایش نیمرخ زون‌های آلتراسیون و ژئوشیمیایی کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی

شکل، بافت، عیار و میزان ذخایر پورفیری به تعداد توده‌های نفوذی ماگمایی، نحوه تداخل، حجم ماگما، عمق تبلور و جایگزینی، تخلخل و شکستگی سنگ‌های منطقه بستگی دارد.

زمین‌شناسی عمومی منطقه میدوک

- تاریخچه زمین‌شناسی عمومی منطقه میدوک را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:
- ولکانیسم وسیع آندزیتی در اوایل دوران سنوزوئیک.
- تزریق استوک گرانو دیوریتی در سنگ‌های ولکانیک در اواسط سنوزوئیک.
- شکستگی وسیع در استوک گرانودیوریتی به دلیل سرد شدن.
- آلتراسیون در منطقه.
- تخریب و فرسایش.

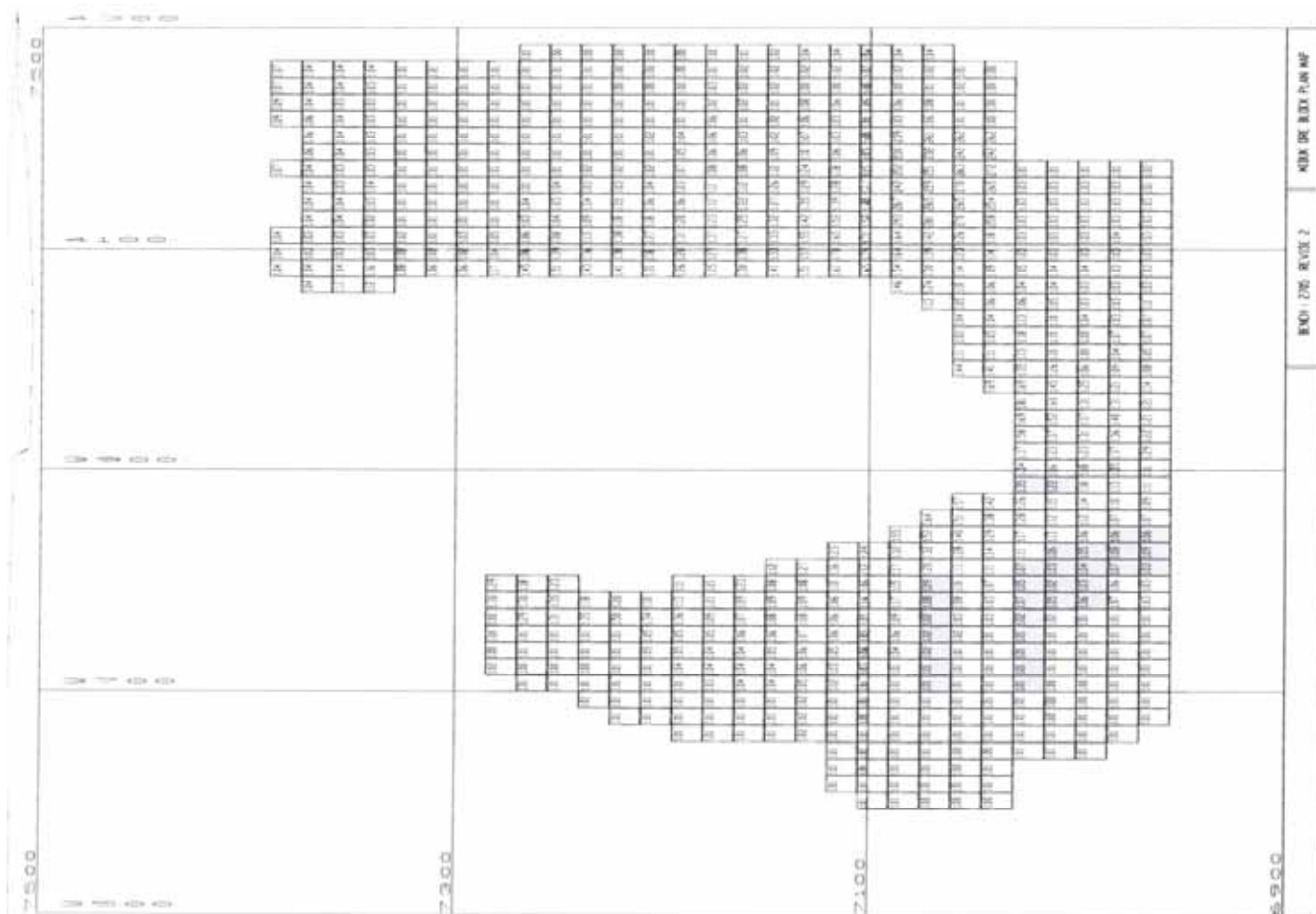


شکل ۲: پلان زمین شناسی کانسار میدوک

محدوده کانی سازی شده در کانسار میدوک

کانسار میدوک شبیه قارچی است با کلاهکی مانند بیضی ناقص که کلاهک این قارچ، زون سوپرژن و پایه آن، زون هایپوژن کانسار را تشکیل می‌دهد. از جمله کارهای اکتشافی انجام شده در منطقه، حفر ۱۶، ۴۷۱ متر گمانه، هفت تونل اکتشافی و تعدادی ترانشه می‌باشد [۲] که با استفاده از این اطلاعات و پیمایش لوگ‌های حفاری-های اکتشافی، نقشه‌های بلوک‌بندی عیار (شکل ۳ به عنوان نمونه) از تراز ۲۷۲۰ متری از سطح دریا تا ۲۳۰۰ متری از سطح دریا هر ۱۵ متر ترسیم، و فایل داده‌های اکتشافی برای ورود به برنامه‌ها از اطلاعات برداشت شده از نقشه‌های بلوک‌بندی عیار تهیه شده است در نتیجه مدل بلوکی ساخته شده از عیار به علت شبکه فشرده نمونه برداری و استفاده از زمین آمار، از تغییرات عیار کانسار در اعماق مختلف کاملاً تبعیت می‌کند.

شکستگی بزرگی در منطقه کانسار میدوک دیده نمی‌شود بلکه شکستگی‌های شعاعی مهم‌ترین شکستگی‌ها در همه محدوده معدن هستند که به شکل عمودی می‌باشند. تعدادی شکستگی‌های مخروطی نیز در مرزهای کانسار دیده می‌شوند که به شکل مایل بوده و مهم‌ترین نقش آنها در میزان پایداری دیوارهای معدن می‌باشد.



شکل ۳ : نقشه بلوک‌بندی عیار در تراز ۲۷۰۵ متری از سطح دریا کانسار میدوک

اهمیت تعیین حد نهایی در معادن روباز

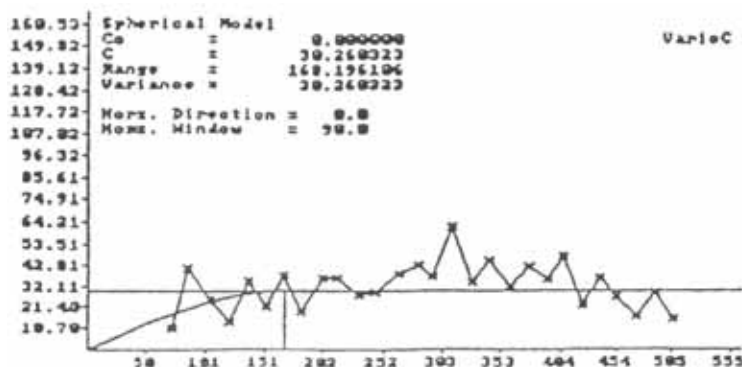
تعیین حد نهایی از مهم ترین مسائل طراحی هر معدن روبازي مي‌باشد. بدین معنی که از سال اول شروع استخراج، شکل نهایی معدن باید معلوم باشد تا در طول سال‌های بهره برداری از ساخت تاسیساتي از قبیل کارخانه فرآوری معدن، جاده‌های دسترسی و ساختمان‌های اداری، مسکونی و غیره در محل‌هایی که بعداً قرار است تخریب شوند جلوگیری بعمل آید. همچنین انباشتگاه‌های باطله نیز باید در خارج از این محدوده باشند تا با گسترش معدن لزومی به جا به جایی آنها نباشد. در طول دوره استخراج هم ارائه برنامه تولید و زمان‌بندی عملیات استخراجي معدن نیاز به داشتن شکل نهایی معدن و گستردگی آن در راستاهای افق و قائم و نیز عمق نهایی معدن دارد. از نظر اقتصادی مهمترین موضوع در مورد حد نهایی معدن روباز این است که در خارج محدوده مشخص شده، استخراج اقتصادی نبوده و هر گونه عملیات معدنکاری زیان‌آور خواهد بود.

بررسی زمین آماری کانسار میدوک

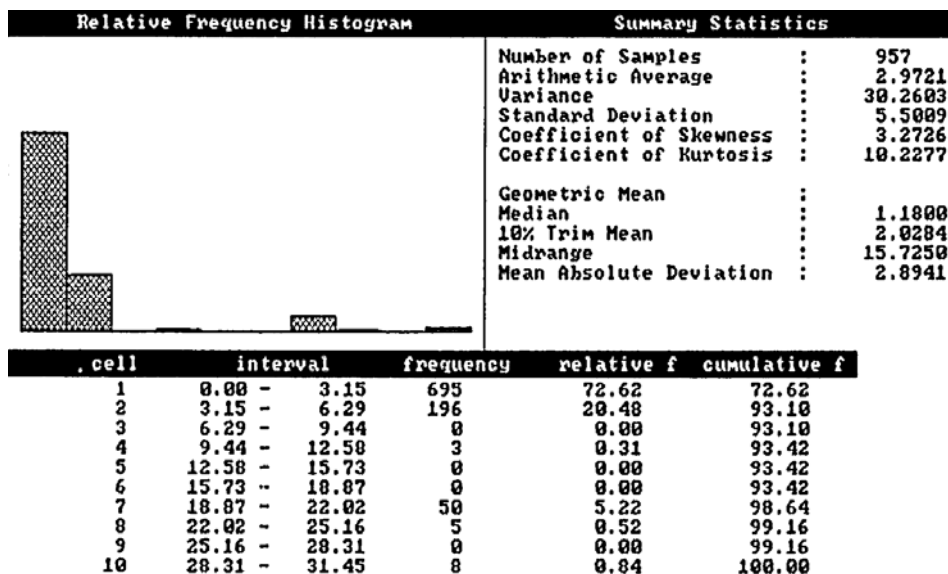
یکی از مشخصه‌های مهم عملیات اکتشافی عدم قطعیت است. این حقیقت باعث می‌شود که در علوم معدنی از علم آمار زیاد استفاده شود. اهمیت آمار در این زمینه تا حدی است که در علم آمار شاخه‌ای از علوم به نام زمین آمار بوجود آمده است. در زمین آمار بر خلاف آمار کلاسیک، بین مقادیر کمیت جامعه نمونه‌ها و فاصله و جهت آنها نسبت به هم، ارتباط وجود دارد که بیان ریاضی این امر ساختار فضایی نامیده می‌شود.

با در نظر گرفتن ساختار فضایی عیار کانسار و با داشتن مقدار عیار در نمونه‌ها و استفاده از تخمینگر زمین آماری کریجینگ، مدل بلوک‌بندی شده عیار کانسار ساخته می‌شود. تخمینگر کریجینگ هر دو ویژگی یک تخمینگر ایده‌آل که ناریب بودن و داشتن حداقل واریانس است را دارا می‌باشد.

ساختار فضایی عیار کانسار در واریوگرام شکل ۴ نشان داده شده است. واریوگرام فوق از روی داده‌های اکتشافی و با برازش مدل کروی بر منحنی حاصل با استفاده از برنامه VARIOC ترسیم شده است. از روی واریوگرام فوق، پارامترهای دامنه، اثر قطعه‌ای و سقف تعیین می‌شوند که از پارامترهای فوق در محاسبات کریجینگ استفاده می‌شوند. هیستوگرام توزیع فراوانی تجمعی عیار کانسار میدوک در شکل ۵ آورده شده است.

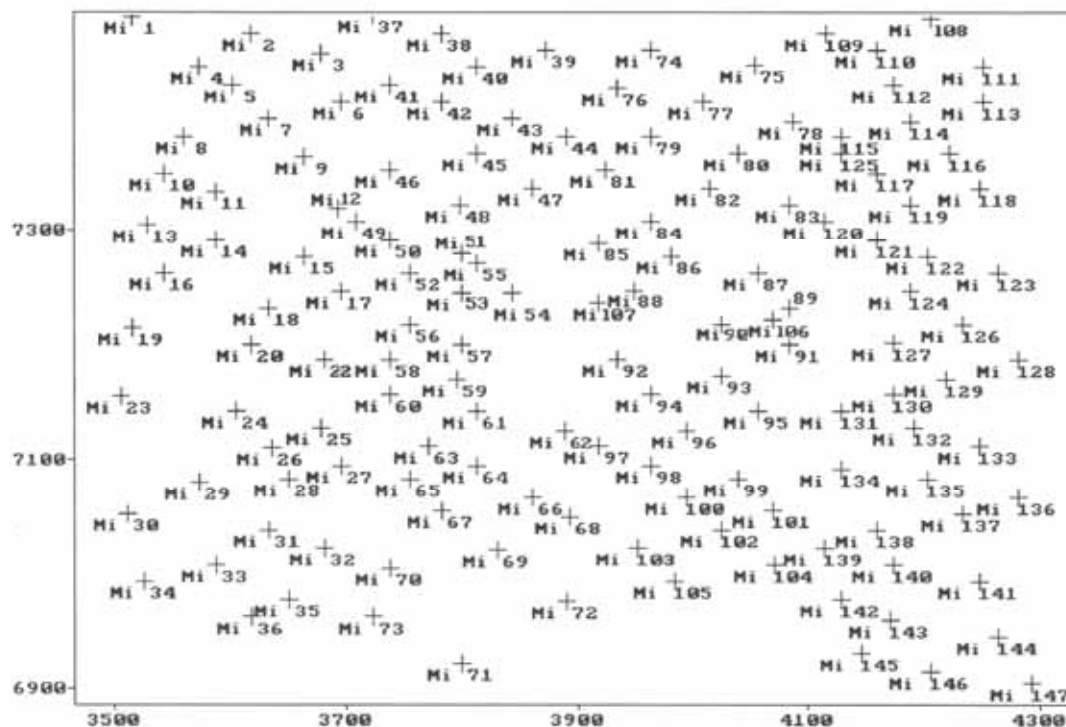


شکل ۴: واریوگرام عیار برای کانسار مس میدوک



شکل ۵: هیستوگرام توزیع فراوانی تجمعی عیار کانسار میدوک

پراکندگی نقاط برداشت داده‌های اکتشافی در پلان منطقه میدوک در شکل ۶ آورده شده است. تعداد ۱۴۷ نقطه برداشتی 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 شدند.



شکل ۶ : توزیع نقاط برداشت بر روی پلان منطقه

هندسۀ پیت

مشخصات مربوط به هندسه پیت بوسیله مطالعات و عملیات اکتشافی بدست آمده که در جدول ۱ گنجانده شده است.

جدول ۱ : هندسه پیت [۲]

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

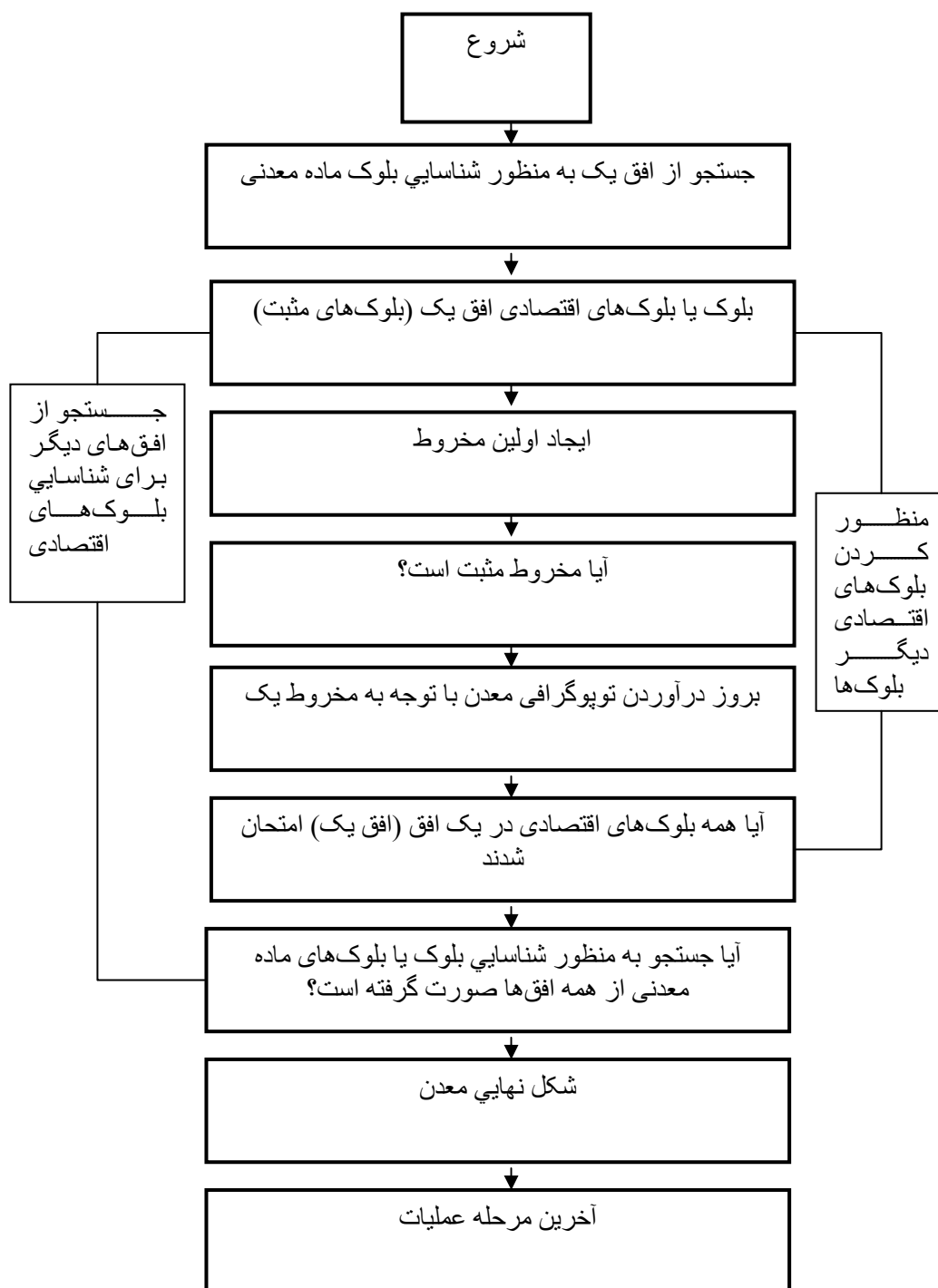
شیب نهایی دیواره معدن نشان دهنده بزرگترین پیت قابل معدنکاری است که با ملاحظات ژئومکانیکی و با در نظر گرفتن پایداری دیواره ها تعیین می‌شود. پیت نهایی تعیین شده، در داخل بزرگترین پیت قابل معدنکاری قرار دارد.

الگوریتم مخروط شناور مثبت

این الگوریتم بر پایه عمل شبیه‌سازی تدوین شده و برای اولین بار در اوایل دهه ۱۹۶۰ توسط پانا، سپس توسط کیم و بالاخره بوسیله لیزوت ارائه شد [۳]. بطور 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 از این قرار است:

- جستجو از سطح به منظور شناسایی بلوک های ماده معدنی که استخراج آنها سودآور است.

- تعیین حداقل 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 شده.
- فلوچارت عملیاتی که توسط این الگوریتم انجام می‌شود در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷ : الگوریتم مخروط شناساوری [۳]

در صورت اعمال صحیح الگوریتم مخروط شناور مثبت بر مدل بلوکی معدن، پیتی تعیین می‌شود که استخراج آن سودآور خواهد بود.

اعمال این الگوریتم بر روی مدل، کاری زمان بر است زیرا تمام عملیات الگوریتم باید در مورد تک تک بلوک‌ها انجام شود. بنابراین استفاده از کامپیوتر برای انجام این محاسبات ضروری است.

اگر چه هر چه تعداد بلوک‌های مدل بیشتر باشد زمان آنالیز طولانی‌تر خواهد بود، اما با داشتن یک مدل بلوکی و تعداد زیادی بلوک، عمل مدل‌سازی رفتار عیار کانسار بهتر انجام می‌شود. در این تحقیق با انتخاب تعداد ۷۸۰۳ بلوک در مدل‌سازی کانسار، از تمام قابلیت برنامه CSMINE استفاده شده است.

ابعاد و تعداد بلوک‌ها در راستاهای مختلف در جدول شماره ۲ آورده شده است. برای مدل‌سازی بهتر ارتفاع بلوک‌ها باید برابر با ارتفاع پله (۱۵ متر) در نظر گرفته شود.

جدول ۲ : ابعاد و تعداد بلوک‌ها در راستاهای مختلف

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

تعیین ارزش اقتصادی بلوک‌ها

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

بدین منظور هزینه‌های کل استخراج و حمل از قرار هر تن ۴۸۰۰ ریال، حقوق دولتی ۱۲۵۰ ریال و عوارض شهرداری به میزان ۴٪ هزینه حقوقی در نظر گرفته شده است. نرخ برابری دلار آمریکا و ریال ایران نیز ۸۰۰۰ ریال به ازای هر دلار تعیین شده است [۲].

هزینه‌های فرآوری و ذوب مس با استفاده از اطلاعات مجله Copper metal service تعیین شد و پیش‌بینی قیمت مس در سال‌های آینده با استفاده از اطلاعات بورس فلزات لندن بر اساس قیمت‌های فروش ۵ سال گذشته انجام شده است [۲].

از آنجا که بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده، محصول میدوک کنسانتره 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 [۲].

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

جدول ۳ : هزینه کل و مبلغ فروش هر بلوک [۲]

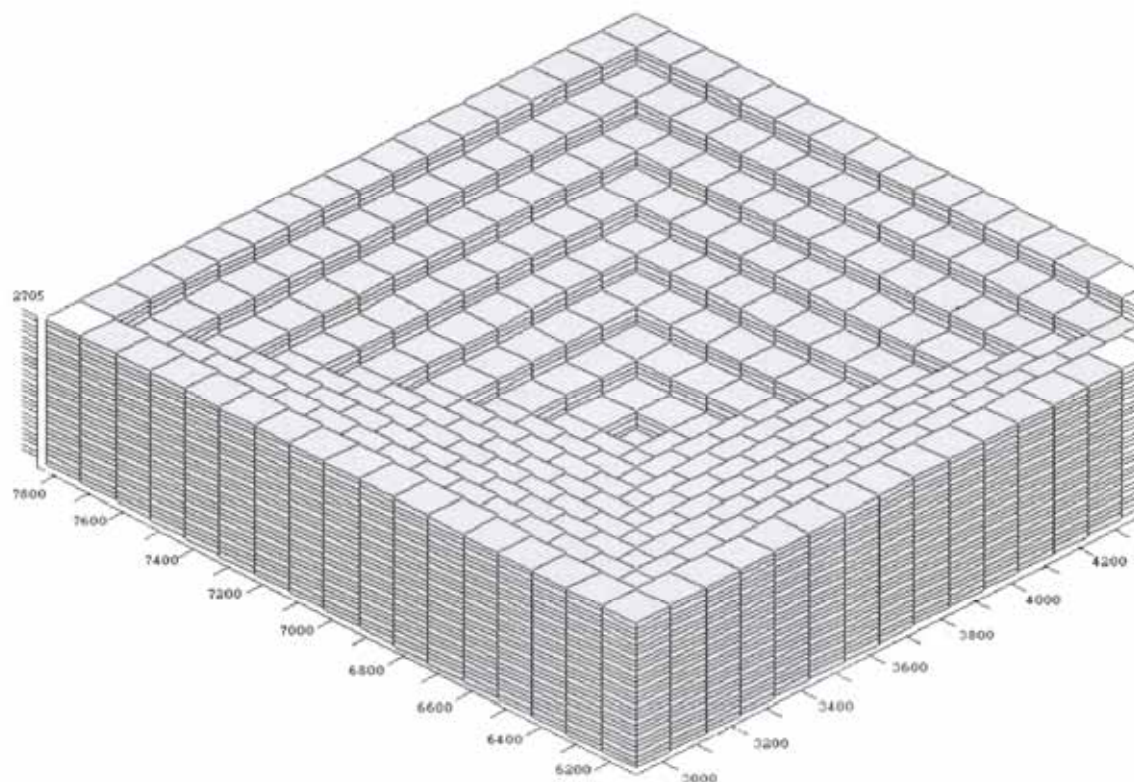
مقدار	هزینه معدنکاری و حمل
۰/۸۱ دلار بر تن	
۱ / ۰ دلار برای هر افق	افزایش هزینه باربری به ازای هر افق پائین‌تر رفتن
۸۸ دلار بر تن	هزینه فرآوری و تصفیه
۶۴۳ دلار بر تن	قیمت فروش محصول

محدوده نهایی

پرسپکتیو تهیه شده برای محدوده نهایی معدن رویاز میدوک با نرم افزار CSMINE در شکل ۸ آورده شده است. این شکل بلوک‌هایی از مدل بلوکی کانسار که در زمان بهره-

برداري استخراج مي‌شوند و بلوك‌هايي از آن كه باقي گذاشته مي‌شوند را نشان مي‌دهد.

شكل ۹ نيز پلان محدوده نهايي معدن را نشان مي‌دهد. خط پر رنگ خارجي نشان دهنده حد نهايي معدن بوده كه با محاسبات زمين آمار، اعمال الگوريتم مخروط شناور مثبت و با توجه به هندسه پيت تعيين شده است. اعداد نوشته شده در هر مربع در اين پلان تعداد تعداد پله‌هايي كه پائين تر از سطح ۲۷۰۵ متري احداث مي‌شوند را نشان مي‌دهد.



شكل ۸ : پرسپكتيو محدوده نهايي معدن مس ميدوك

7800	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1
7600	1	4	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	1
	1	4	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	7	4
7400	1	4	7	10	13	13	13	13	13	13	13	13	13	10	7	4
	1	4	7	10	13	16	16	16	16	16	16	16	16	13	10	7
7200	1	4	7	10	13	16	19	19	19	19	19	16	13	10	7	4
	1	4	7	10	13	16	19	22	22	22	19	16	13	10	7	4
7000	1	4	7	10	13	16	19	22	25	22	19	16	13	10	7	4
	1	4	7	10	13	16	19	22	22	22	19	16	13	10	7	4
6800	1	4	7	10	13	16	19	19	19	19	19	16	13	10	7	4
	1	4	7	10	13	16	16	16	16	16	16	16	13	10	7	4
6600	1	4	7	10	13	13	13	13	13	13	13	13	13	10	7	4
	1	4	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	7	4
6400	1	4	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	1
	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1
6200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600							

شکل ۹ : پلان محدوده نهایی معدن مس میدوک

نتیجه

محدوده نهایی محاسبه شده، نشان دهنده پیتی است که ۱۵۰۹ متر در راستای محور X ها و ۱۴۹۰ متر در راستای محور Y ها گسترش دارد. به عبارت دیگر این پیت بین تراز های ۳۰۵۵ تا ۴۵۶۴ متری در راستای محور X ها و ۶۲۵۵ تا ۷۷۴۵ متری در راستای محور Y ها واقع شده است. عمق نهایی پیت تقریباً ۴۰۰ متر یعنی از افق ۲۷۰۰ متری تا ۲۳۰۰ متری خواهد بود. مطالعات اکتشافی نشان می‌دهد که حتی در عمق ۹۵۰ متری عیار کانسنگ سه برابر عیار حد (۲۵/۰ درصد) است. بنابراین بعد از پایان عمر ۳۰ ساله معدن روباز میدوک، پس از انجام مطالعات اقتصادی در آن زمان، معدنی زیر زمینی برای استخراج ذخیره باقی مانده زون هایپوژن باید احداث شود. براساس طرح مشاور پروژه، پیت طراحی شده نشان دهنده پیتی است که ۱۲۰۰ متر در راستای محور X ها و ۱۱۵۰ متر در راستای محور Y ها گسترش دارد. به عبارت دیگر این پیت بین ترازهای ۳۲۸۵ تا ۴۵۸۵ متری در راستای محور X ها و ۶۵۸۵ تا ۷۷۳۵ متری در راستای محور Y ها واقع شده است [۱]. پیت طراحی شده در این تحقیق بزرگتر و بنابراین اقتصادی‌تر از پیت طراحی شده توسط مهندسین مشاور معدن خواهد بود. همچنین در صورت اجرای طرح مشاور، دمپ‌های باطله در محدوده نهایی پیت قرار گرفته و این کار مشکلات زیادی را در آینده بوجود خواهد آورد. پیش بینی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مصرف جهانی مس در دهه آینده به ازای هر سال ۲٪ افزایش خواهد داشت که این مقدار در سال معادل ۶۰۰ هزار تن مس در سال می‌باشد [۲]. بنابراین به نظر می‌رسد که سرمایه‌گذاری و فعال کردن معدن مس میدوک، اقتصادی است و از این طریق 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.

منابع

- ۱- دورانت، ویل، تاریخ تمدن- جلد اول (مشرق زمین گاهواره تمدن، سازمان انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی، ۱۳۶۵)
- ۲- گزارش مطالعات فنی-اقتصادی مجتمع معادن مس میدوک، شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۷۸
- ۳- اصائلو، مرتضی، طراحی، برنامه‌ریزی و روش‌های استخراج معادن سطحی(جلد اول، دوم و سوم)، انتشارات لادن، ۱۳۷۴
- ۴- حسینی پاک، علی اصغر، زمین آمار، انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۱۳۷۷
- ۵- رایت، الفیا، طراحی معادن روباز، دانشگاه بین المللی امام خمینی، ۱۳۷۲
- ۶- کریمپور، محمد حسن، زمین شناسی اقتصادی کاربردی، انتشارات صالح، نشر رشد مشهد، ۱۳۷۴
- 7- Hustrolid, William, Kuchta, Mark, Open pit mine planing and design (Vol 1,2), Balkema, 1995
- 8- Dohrm, G.C, Open pit feasibility study, SME, 1992
- 9- Fourie, G. A., Open pit planning and design basic concept, SME Mining Engineering hand book, 1992