تعيين حد نهايي معدن مس ميدوك با استفاده از نرم افزار CSMINE

دكتر كاظم اورعي، عضو هيئت علمي دانشگاه تربيت مدرس
آرش گودرزي، كارشناس ارشد مهندسي معدن- دانشگاه تربيت مدرس

چكيده:
كانسار مس ميدوك يكي از بزرگترين ذخائر مس كشور در شمال غربي استان كرمان واقع شده است. ذخيره اين كانسار در حدود ۱۵۷ ميليون تن سنگ معدن با عيار متوسط ۰/۸۵ درصد بوده و جزو گروه كانسارهاي مس پوررفيري نوع مونزونيتي مي-باشد. يكي از مهمترين مسائل در طراحي هر معدن روباز، تعيين محدوده نهايي معدن مي‌باشد. روش شبيه سازي (مخروط شناور مثبت) يكي از روش‌هاي مرسوم طراحي محدوده نهايي معادن روباز است كه در آن ابتدا مدل بلوك بندي شده عيار معدن از روي داده‌هاي اكتشافي و با استفاده از روش زمين آماري كريجينگ ساخته مي‌شود. از آنجا كه روش كريجينگ بر اساس منطق ميانگين متحرك وزن‌دار عمل مي‌كند، بهترين روش براي ساخت مدل عيار كانسار مي‌باشد. قبل از بكارگيري روش كريجينگ، بايد ساختار فضايي عيار كانسار مشخص شود. بدين جهت واريوگرام عيار كانسار با استفاده از برنامه VARIOC رسم گرديد. با پيش بيني‌هاي انجام شده براي درآمد حاصل و هزينه هاي معدن و با استفاده از عيار هر بلوك، ارزشي به آن بلوك منصوب گرديد كه با اعمال الگوريتم مخروط شناور مثبت بر آن ارزش‌ها و با استفاده از نرم افزار CSMINE حد نهايي معدن تعيين شد. محدوده نهايي تعيين شده، نشان دهنده قسمتي از كانسار است كه استخراج آن در طول دوره بهره‌برداري اقتصادي 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.

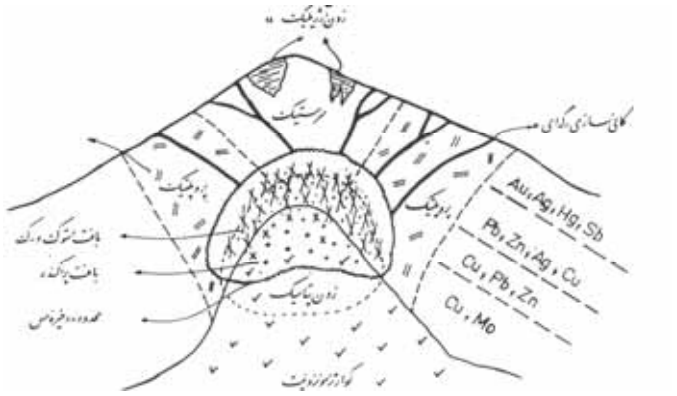
Key words: Miduk , Ultimate pit limit , Kriging , Positive moving cone

مقدمه

مس قديمي‌ترين فلزي است كه انسان بعد از عصر سنگ به آن دست يافت. اين فلز در حدود ۸۰۰۰ سال پيش وارد زندگي انسان شد و اگر چه ميزان ذخيره آهن در پوسته زمين ۷۰۰ بار بيشتر از مس است ولي مس و حتي آلياژ هاي آن مانند مفرغ، بسيار زودتر از آهن (حدود ٤۰۰۰ سال) توسط انسان كشف شدند[۱]. ناحيه كرمان از نظر كاني‌زايي مس يكي از وسيع ترين و مهمترين مناطق ايران است كه از دير باز مورد توجه صنعت معدنكاري بوده است.

كانسار ميدوك

كانسار مس ميدوك از نظر موقعيت تكتونيكي و سنگ‌هاي همراه در گروه كانسارهاي مس پورفيري نوع مونزونيتي كمربند تكتونيكي زون فرو رانش حاشيه قاره ها قرار مي-گيرد. در اين كانسارها، ماگماي كالك آلكالن ضمن بالا آمدن متبلور شده و همچنين تفريق ماگمايي در آن اتفاق افتاده است. محلول ماگمايي منجر به تغييرات شيميايي در سنگ‌هاي منطقه شده و از طرف ديگر حرارت توده‌هاي نفوذي منجر به حركت آب‌هاي زير زميني شده كه اين امر نيز باعث تغييرات شيميايي و كاني شناختي در سنگ‌هاي منطقه گرديده است. مجموعه اين تغييرات آلتراسيون است كه ژنز و مينرااليزاسيون كانسارهاي مس پورفيري مربوط به آلتراسيون مي‌باشد. كانسارهاي مس پورفيري بر اساس زون‌هاي آلتراسيون به زون‌هاي پتاسيك، سريسيت، آرژيليك و پروپلتيك تقسيم-بندي مي‌شوند كه هر زون، داراي ژنز و كاني‌هاي اصلي و فرعي مربوط به خود مي-باشد. از آنجا كه ميزان تغييرات تكتونيكي در منطقه ميدوك اندك است، لذا اين زون‌ها كاملا مشهود مي‌باشند (شكل ۱).



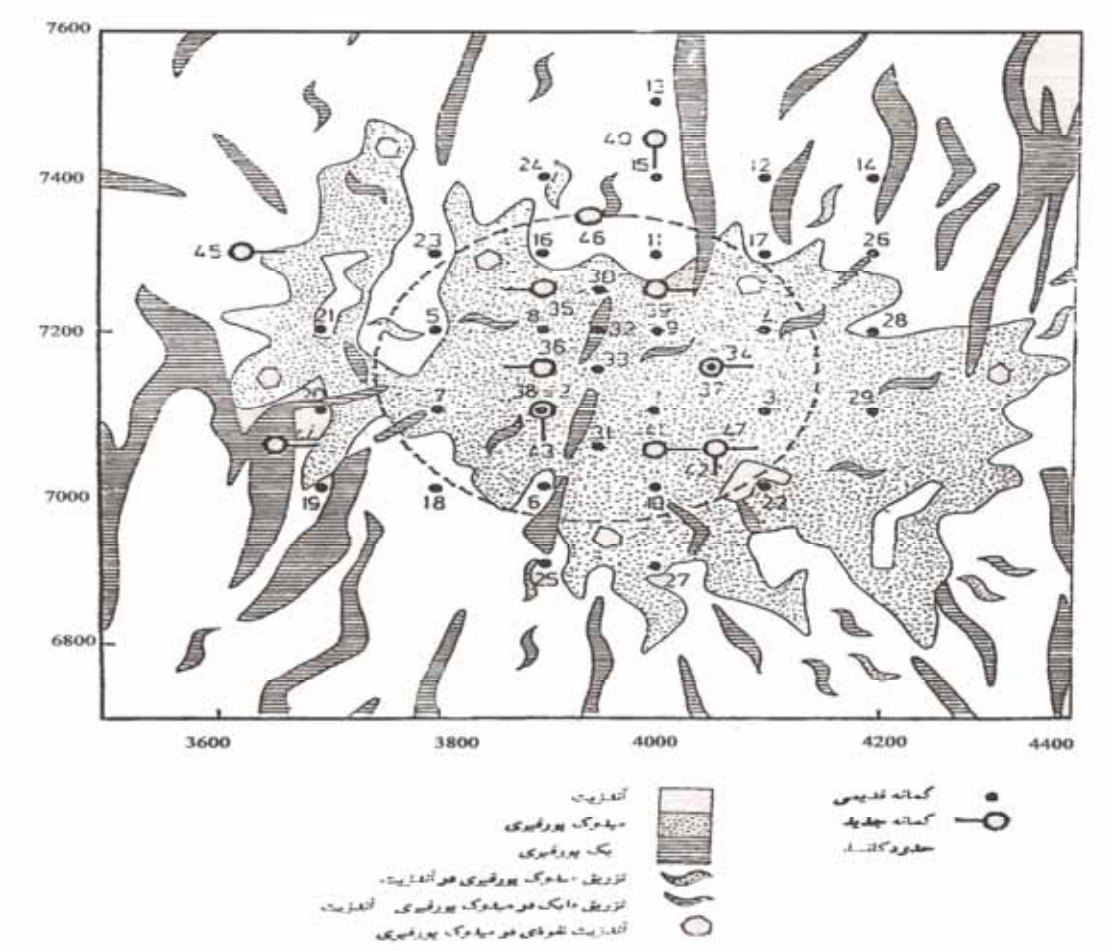
شكل۱ : نمايش نيمرخ زون هاي آلتراسيون و ژئو شيميائي كانسارهاي مس پورفيري نوع مونزونيتي

شكل، بافت، عيار و ميزان ذخاير پورفيري به تعداد توده‌هاي نفوذي ماگمايي، نحوه تداخل، حجم ماگما، عمق تبلور و جايگزيني، تخلخل و شكستگي سنگ‌هاي منطقه بستگي دارد .

زمين شناسي عمومي منطقه ميدوك

تاريخچه زمين شناسي عمومي منطقه ميدوك را مي‌توان به شرح زير خلاصه كرد:

-ولكانيسم وسيع آندزيتي در اوايل دوران سنوزوئيك.
-تزريق استوك گرانو ديوريتي در سنگ هاي ولكانيك در اواسط سنوزوئيك.
-شكستگي وسيع در استوك گرانوديوريتي به دليل سرد شدن.
-آلتراسيون در منطقه.
-تخريب و فرسايش.

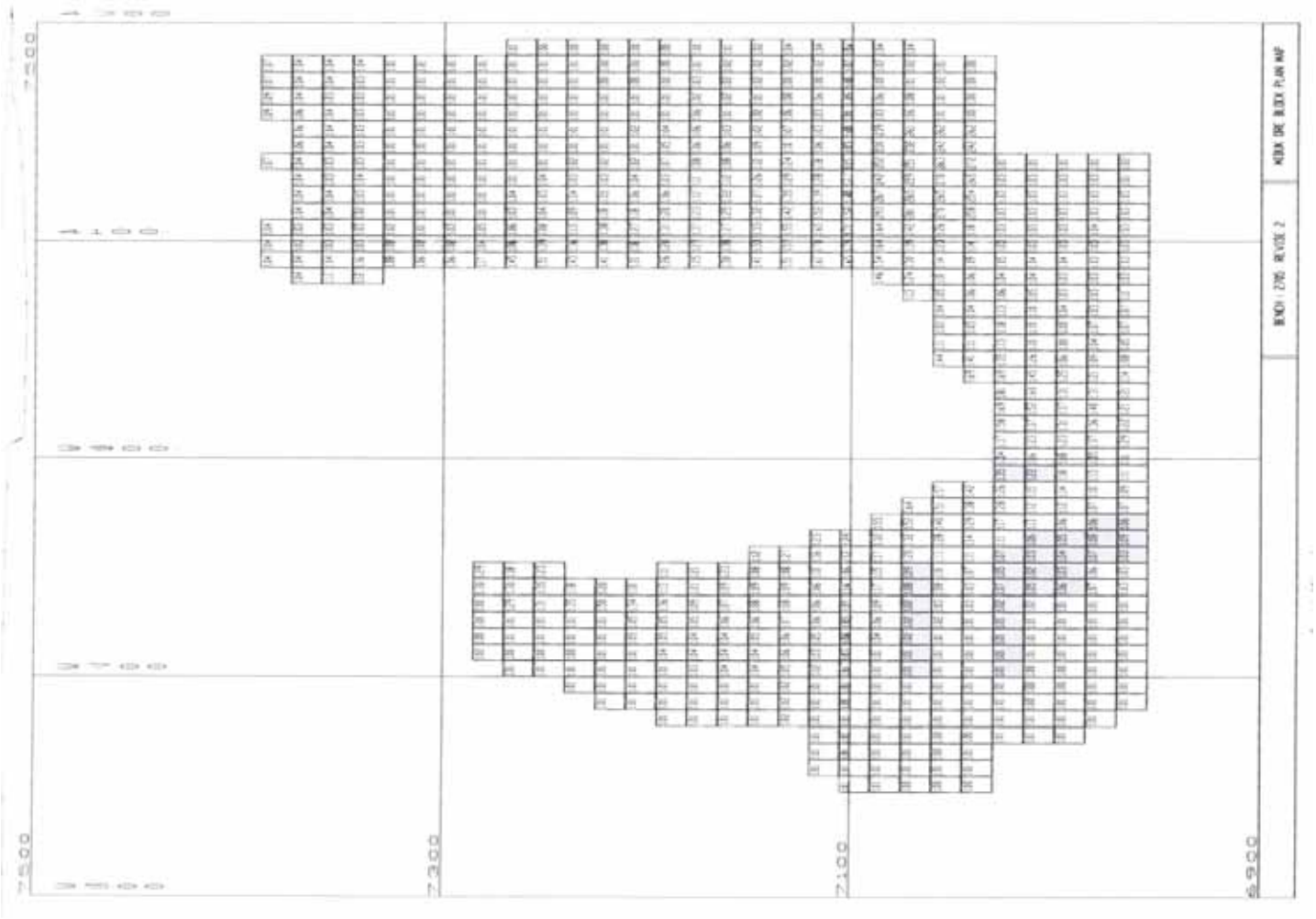


شكل ۲: پلان زمين شناسي كانسار ميدوك

محدوده كاني سازي شده در كانسار ميدوك

كانسار ميدوك شبيه قارچي است با كلاهكي مانند بيضي ناقص كه كلاهك اين قارچ، زون سوپرژن و پايه آن، زون هايپوژن كانسار را تشكيل مي‌دهد. از جمله كارهاي اكتشافي انجام شده در منطقه، حفر ٤٧١،١٦ متر گمانه، هفت تونل اكتشافي و تعدادي ترانشه مي‌باشد [۲] كه با استفاده از اين اطلاعات و پيمايش لوگ‌هاي حفاري-هاي اكتشافي، نقشه‌هاي بلوك‌بندي عيار (شكل ۳ به عنوان نمونه) از تراز ۲۷۲۰ متري از سطح دريا تا ۲۳۰۰ متري از سطح دريا هر ۱۵ متر ترسيم، و فايل داده‌هاي اكتشافي براي ورود به برنامه‌ها از اطلاعات برداشت شده از نقشه‌هاي بلوك بندي عيار تهيه شده است درنتيجه مدل بلوكي ساخته شده از عيار به علت شبكه فشرده نمونه برداري و استفاده از زمين آمار، از تغييرات عيار كانسار در اعماق مختلف كاملا تبعيت مي‌كند.

شكستگي بزرگي در منطقه كانسار ميدوك ديده نمي‌شود بلكه شكستگي‌هاي شعاعي مهمترين شكستگي‌ها در همه محدوده معدن هستند كه به شكل عمودي مي‌باشند. تعدادي شكستگي‌هاي مخروطي نيز در مرزهاي كانسار ديده مي‌شوند كه به شكل مايل بوده و مهمترين نقش آنها در ميزان پايداري ديوارههاي معدن مي‌باشد.



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

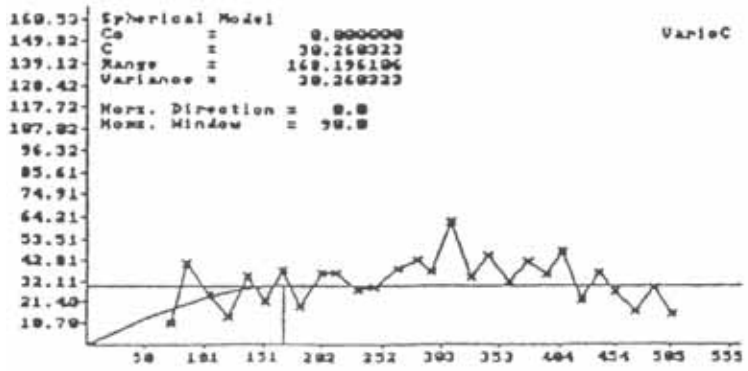
اهميت تعيين حد نهايي در معادن روباز

تعيين حد نهايي از مهم ترين مسائل طراحي هر معدن روبازي مي‌باشد. بدين معني كه از سال اول شروع استخراج، شكل نهايي معدن بايد معلوم باشد تا در طول سال-هاي بهره برداري از ساخت تاسيساتي ازقبيل كارخانه فرآوري معدن، جاده‌هاي دسترسي و ساختمان‌هاي اداري، مسكوني و غيره در محل‌هايي كه بعداً قرار است تخريب شوند جلوگيري بعمل آيد. همچنين انباشتگاه‌هاي باطله نيز بايد در خارج از اين محدوده باشند تا با گسترش معدن لزومي به جا به جائي آنها نباشد. در طول دوره استخراج هم ارائه برنامه توليد و زمان‌بندي عمليات استخراجي معدن نياز به داشتن شكل نهايي معدن و گستردگي آن در راستاهاي افق و قائم و نيز عمق نهايي معدن دارد. از نظر اقتصادي مهمترين موضوع در مورد حد نهايي معدن روباز اين است كه در خارج محدوده مشخص شده، استخراج اقتصادي نبوده و هر گونه عمليات معدنكاري زيان‌آور خواهد بود .

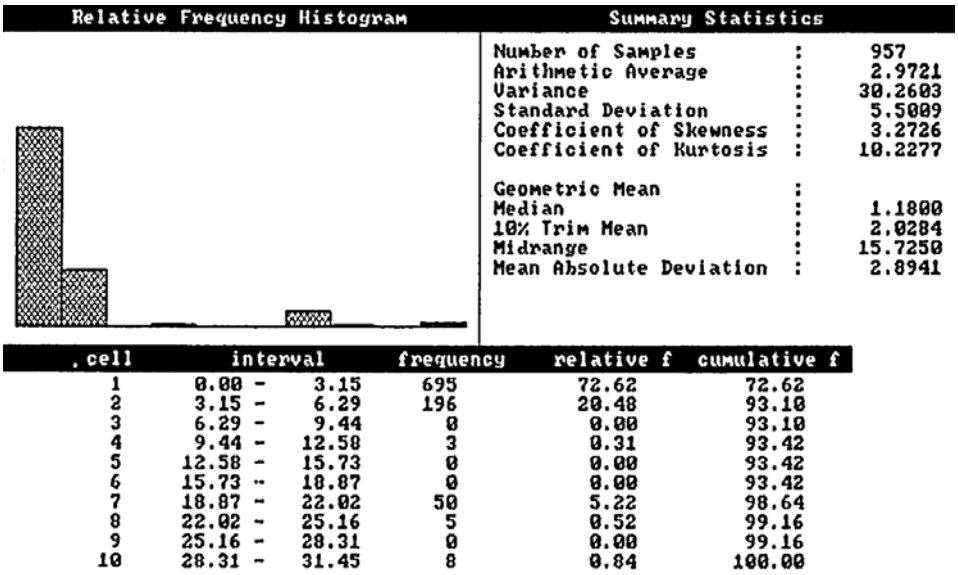
بررسي زمين آماري كانسار ميدوك

يكي از مشخصه‌هاي مهم عمليات اكتشافي عدم قطعيت است. اين حقيقت باعث مي‌شود كه در علوم معدني از علم آمار زياد استفاده شود. اهميت آمار در اين زمينه تا حدي است كه در علم آمار شاخه‌اي از علوم به نام زمين آمار بوجود آمده است. در زمين آمار بر خلاف آمار كلاسيك، بين مقادير كميت جامعه نمونه‌ها و فاصله و جهت آنها نسبت به هم، ارتباط وجود دارد كه بيان رياضي اين امر ساختار فضايي ناميده مي‌شود.

با در نظرگرفتن ساختار فضايي عيار كانسار و با داشتن مقدار عيار در نمونه‌ها و استفاده از تخمينگر زمين آماري كريجينگ، مدل بلوك‌بندي شده عيار كانسار ساخته مي‌شود. تخمينگر كريجينگ هر دو ويژگي يك تخمينگر ايده‌آل كه ناارياب بودن و داشتن حداقل واريانس است را دارا مي‌باشد.
ساختار فضايي عيار كانسار در واريوگرام شكل ٤ نشان داده شده است. واريوگرام فوق از روي داده‌هاي اكتشافي و با برازش مدل كروي بر منحني حاصل با استفاده از برنامه VARIOC ترسيم شده است. از روي واريوگرام فوق، پارامترهاي دامنه، اثر قطعه‌ايي و سقف تعيين مي‌شوند كه از پارامترهاي فوق در محاسبات كريجينگ استفاده مي‌شوند. هيستوگرام توزيع فراواني تجمعي عيار كانسار ميدوك در شكل ٥ آورده شده است.



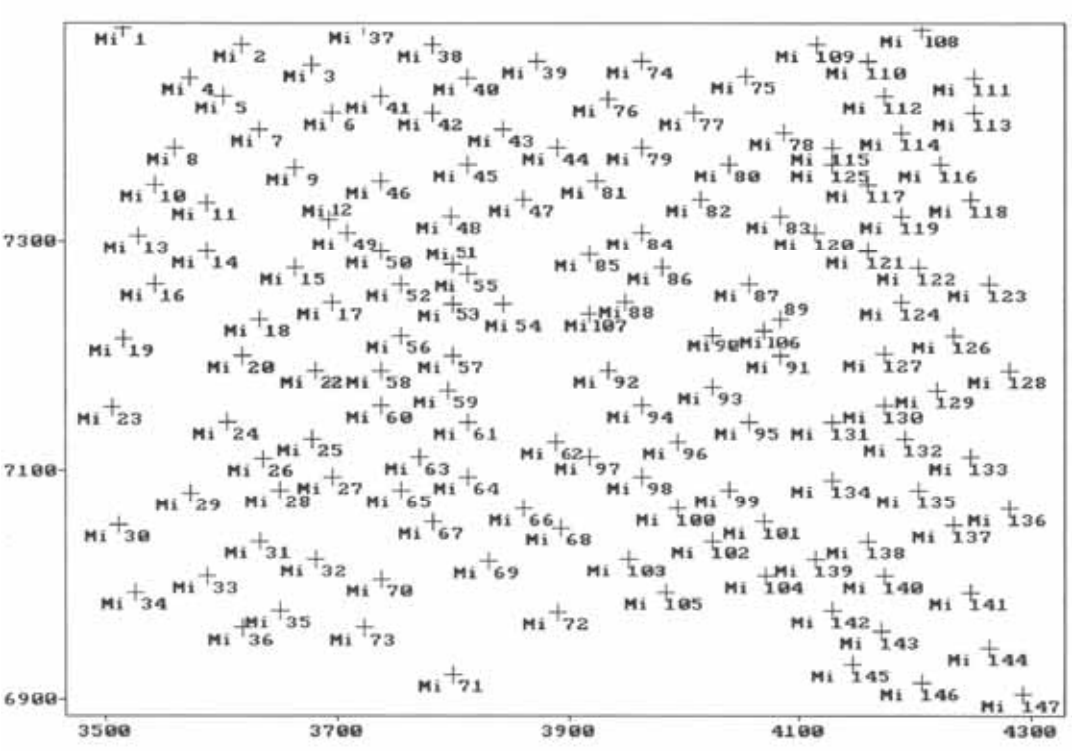
شكل ٤ : واريوگرام عيار براي كانسار مس ميدوك



cell	interval	frequency	relative f	cumulative f
1	0.00 - 3.15	695	72.62	72.62
2	3.15 - 6.29	196	20.48	93.10
3	6.29 - 9.44	0	0.00	93.10
4	9.44 - 12.58	3	0.31	93.42
5	12.58 - 15.73	0	0.00	93.42
6	15.73 - 18.87	0	0.00	93.42
7	18.87 - 22.02	50	5.22	98.64
8	22.02 - 25.16	5	0.52	99.16
9	25.16 - 28.31	0	0.00	99.16
10	28.31 - 31.45	8	0.84	100.00

شكل ٥ : هيستوگرام توزيع فراواني تجمعي عيار كانسار ميدوك

پراكندگي نقاط برداشت داده‌هاي اكتشافي در پلان منطقه ميدوك در شكل ٦ آورده شده است. تعداد ١٤٧ نقطه برداشتي بين تراز هاي ٣٥٠٠ تا ٤٣٠٠ متري در راستاي محور Xها و ٦٩٠٠ تا ٧٥٠٠ متري در راستاي محور Y ها و افق ٢٧٠٥ متري تا ٢٣٠٠ متري انتخاب شدند.



شكل ٦ : توزيع نقاط برداشت بر روي پلان منطقه

هندسه پيت

مشخصات مربوط به هندسه پيت بوسيله مطالعات و عمليات اكتشافي بدست آمده كه در جدول١ گنجانده شده است.

جدول ١ : هندسه پيت [٢]

پارامتر	مقدار
زاويه شيب پله‌ها	٦٤ درجه
عرض هر پله	١٨ متر
شيب نهايي ديواره معدن	٢٧/٥ درجه
ارتفاع پله‌ها	١٥ متر

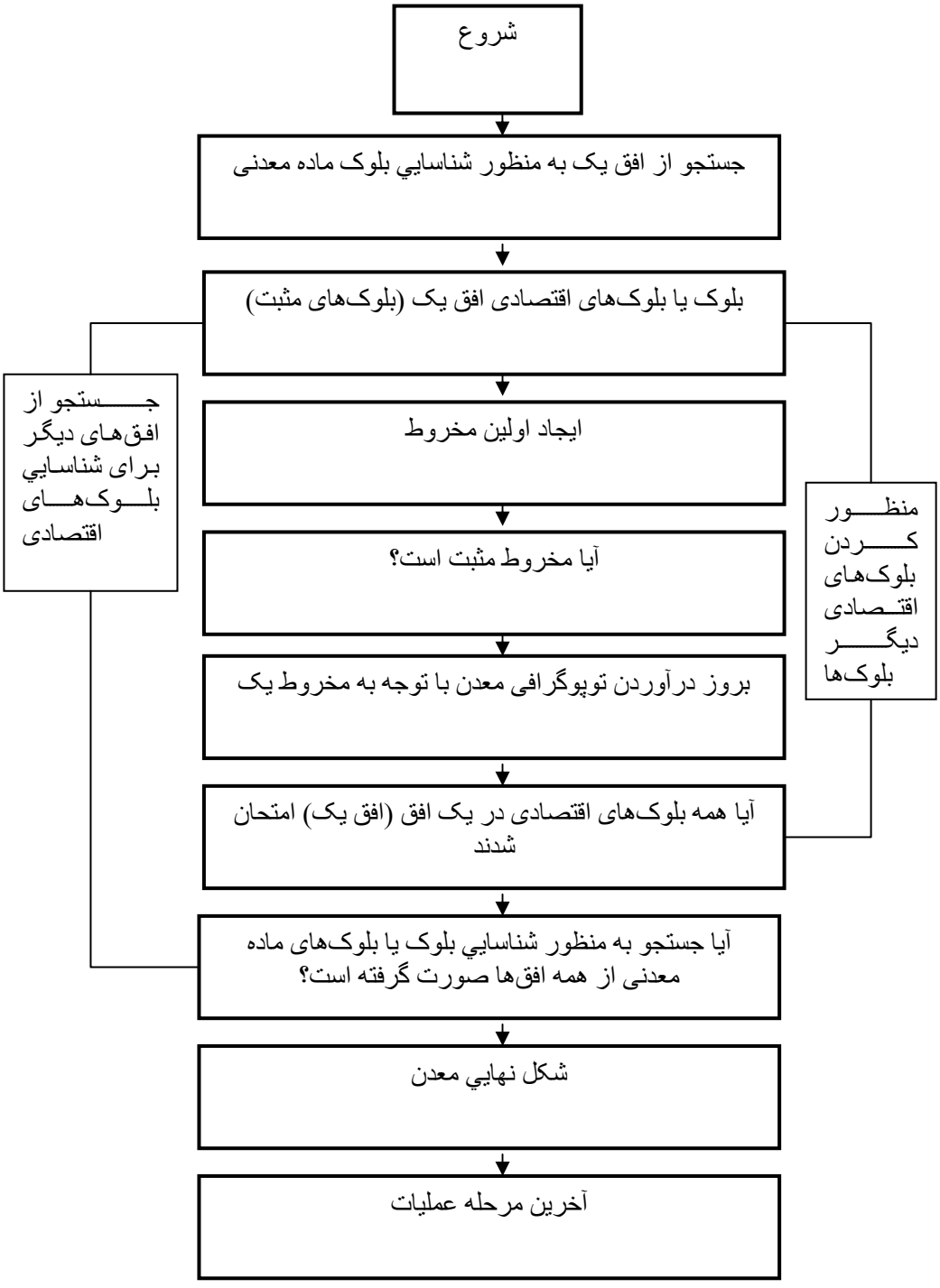
شيب نهايي ديواره معدن نشان دهنده بزرگترين پيت قابل معدنكاري است كه با ملاحظات ژئومكانيكي و با در نظر گرفتن پايداري ديواره ها تعيين مي‌شود. پيت نهايي تعيين شده، در داخل بزرگترين پيت قابل معدنكاري قرار دارد.

الگوريتم مخروط شناور مثبت

اين الگوريتم بر پايه عمل شبيه‌سازي تدوين شده و براي اولين بار در اوايل دهه ١٩٦٠ توسط پانا، سپس توسط كيم و بالاخره بوسيله ليزوت ارائه شد [٣]. بطور كلي اين الگوريتم، حد نهايي معدن را با استفاده از روش آزمون و خطا و اعمال آن بر مدل بلوكي كه توسط روش كريجينگ ساخته شده تعيين مي‌كند. مراحل كاري الگوريتم مخروط شناور مثبت از اين قرار است:

ـ جستجو از سطح به منظور شناسايي بلوك هاي ماده معدني كه استخراج آنها سودآور است.

ـ تعيين حداقل تعداد بلوك‌هاي داراي ارزش منفي كه به ازاي هر بلوك داراي ارزش مثبت بايد برداشت شود تا شكل مخروط حاصل شود.
ـ اگر جمع جبري ارزش بلوك‌هاي باطله و ماده معدني كه براي ايجاد مخروط بايد برداشته شود مثبت باشد استخراج اين مخروط اقتصادي است.
ـ اعمال رويه بالا براي همه بلوك‌هاي ماده معدني داخل مدل بلوك بندي شده.
فلوچارت عملياتي كه توسط اين الگوريتم انجام مي‌شود در شكل ۷ آورده شده است.



شكل ۷ : الگوريتم مخروط شناور [۳]

در صورت اعمال صحيح الگوريتم مخروط شناور مثبت بر مدل بلوكي معدن، پيتي تعيين مي‌شود كه استخراج آن سودآور خواهد بود.
اعمال اين الگوريتم بر روي مدل، كاري زمان بر است زيرا تمام عمليات الگوريتم بايد در مورد تك تك بلوك ها انجام شود. بنابراين استفاده از كامپيوتر براي انجام اين محاسبات ضروري است .
اگر چه هر چه تعداد بلوك‌هاي مدل بيشتر باشد زمان آناليز طولاني‌تر خواهد بود، اما با داشتن يك مدل بلوكي و تعداد زيادي بلوك، عمل مدل‌سازي رفتار عيار كانسار بهتر انجام مي‌شود. در اين تحقيق با انتخاب تعداد ۷۸۰۳ بلوك در مدل‌سازي كانسار، از تمام قابليت برنامه CSMINE استفاده شده است.
ابعاد و تعداد بلوك‌ها در راستاهاي مختلف در جدول شماره ۲ آورده شده است. براي مدل‌سازي بهتر ارتفاع بلوك‌ها بايد برابر با ارتفاع پله (۱۵ متر) در نظر گرفته شود.

جدول ۲ : ابعاد و تعداد بلوك‌ها در راستاهاي مختلف

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

تعيين ارزش اقتصادي بلوك‌ها

الگوريتم مخروط شناور مثبت در محاسبات خود ارزش اقتصادي هر بلوك را درنظر مي-گيرد. بنابراين با توجه به عيار هر بلوك، وزن كل آن (حجم × وزن مخصوص سنگ)، ميزان بازيابي، هزينه‌هاي معدنكاري هر بلوك (استخراج، فرآوري و ذوب) و قيمت فروش محصول، ارزش هر بلوك تعيين مي‌گردد.
بدين منظور هزينه‌هاي كل استخراج و حمل از قرار هر تن ٤٨٠٠ ريال، حقوق دولتي ۱۲۵۰ ريال و عوارض شهرداري به ميزان ٤% هزينه حقوقي در نظر گرفته شده است. نرخ برابري دلار آمريكا و ريال ايران نيز ۸۰۰۰ ريال به‌ازاي هر دلار تعيين شده است[۲].
هزينه‌هاي فرآوري و ذوب مس با استفاده از اطلاعات مجله Copper metal service تعيين شد و پيش‌بيني قيمت مس در سال‌هاي آينده با استفاده از اطلاعات بورس فلزات لندن بر اساس قيمت‌هاي فروش ۵ سال گذشته انجام شده است[۲].
از آنجا كه بر اساس پيش‌بيني‌هاي انجام شده، محصول ميدوك كنسانتره مس ۳۰% خواهد بود تنها ۳۰% هزينه فرآوري و ذوب مس كاتدي و همچنين ۳۰% قيمت فروش مس كاتدي به عنوان اقلام هزينه فرآوري و ذوب مس و قيمت فروش در نظر گرفته شده است[۲].
اطلاعات مربوط به هزينه‌ها و قيمت فروش بر حسب دلار آمريكا در جدول شماره ۳ آورده شده است.

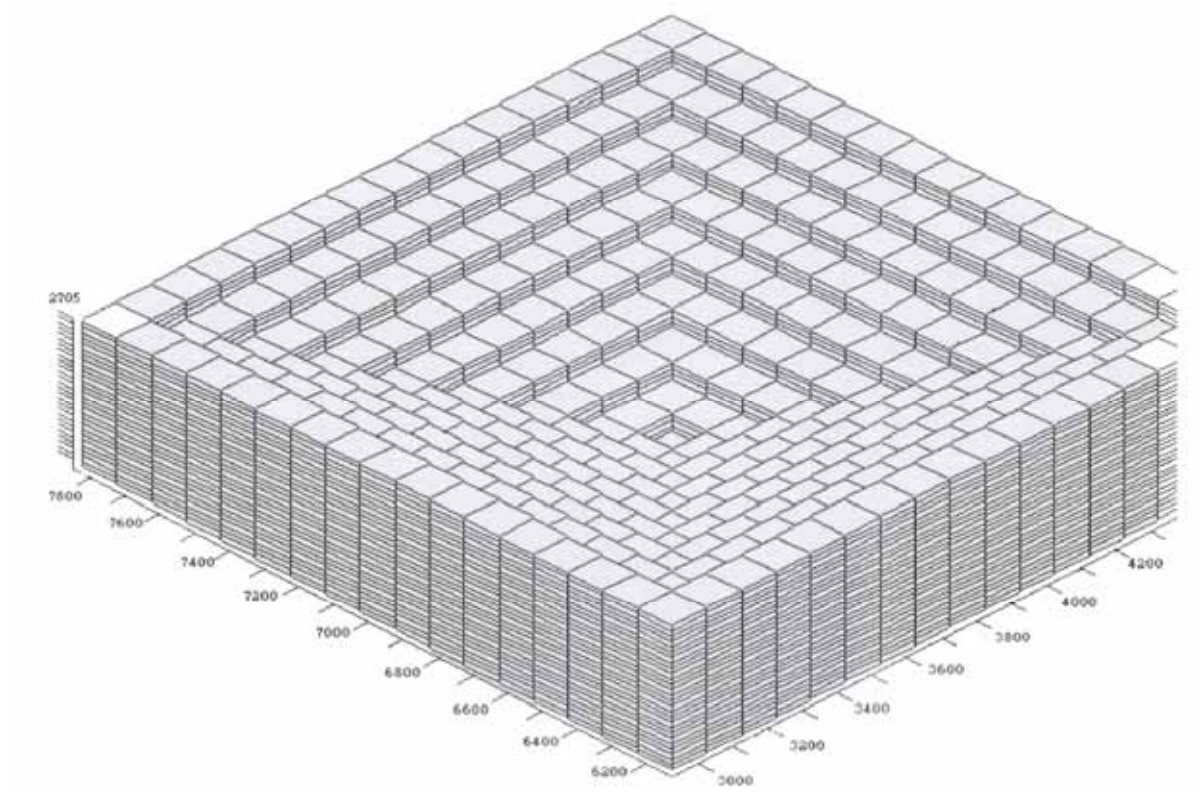
جدول ۳ : هزينه كل و مبلغ فروش هر بلوك [۲]

هزينه معدنكاري و حمل	مقدار
	۰/۸۱ دلار بر تن
افزايش هزينه باربري به ازاي هر افق پائين‌تر رفتن	۱/ ۰دلار براي هر افق
هزينه فرآوري و تصفيه	۸۸ دلار بر تن
قيمت فروش محصول	٦٤٣ دلار بر تن

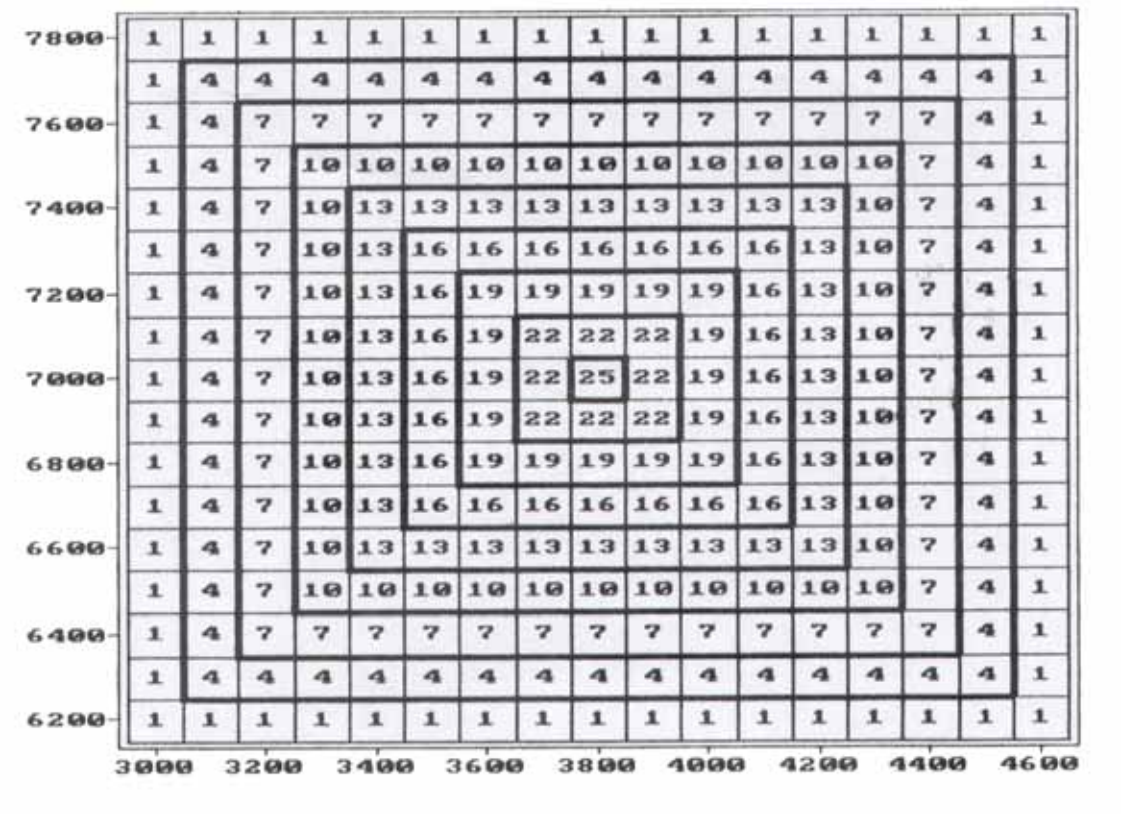
محدوده نهايي

پرسپكتيو تهيه شده براي محدوده نهايي معدن روباز ميدوك با نرم افزار CSMINE در شكل ۸ آورده شده است. اين شكل بلوك‌هايي از مدل بلوكي كانسار كه در زمان بهره-

برداري استخراج مي‌شوند و بلوك‌هايي از آن كه باقي گذاشته مي‌شوند را نشان مي-دهد.
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



شكل ۹ : پلان محدوده نهايي معدن مس ميدوك

نتيجه

محدوده نهايي محاسبه شده، نشان دهنده پيتي است كه ۱۵۰۹ متر در راستاي محور X ها و ۱٤۹۰ متر در راستاي محور Y ها گسترش دارد. به عبارت ديگر اين پيت بين تراز هاي ۳۰۵۵ تا ٤٥٦٤ متري در راستاي محور X ها و ٦۲٥٥ تا ۷۷٤٥ متري در راستاي محور Y ها واقع شده است. عمق نهايي پيت تقريبا ٤۰۰ متر يعني از افق ۲۷۰۰ متري تا ۲۳۰۰ متري خواهد بود. مطالعات اكتشافي نشان مي‌دهد كه حتي در عمق ۹٥۰ متري عيار كانسنگ سه برابر عيار حد (۰/۲٥ درصد) است. بنابراين بعد از پايان عمر ۳۰ ساله معدن روباز ميدوك، پس از انجام مطالعات اقتصادي در آن زمان، معدني زير زميني براي استخراج ذخيره باقي مانده زون هايپوژن بايد احداث شود. براساس طرح مشاور پروژه، پيت طراحي شده نشان دهنده پيتي است كه ۱۲۰۰ متر در راستاي محور X ها و ۱۱٥۰ متر در راستاي محور Y ها گسترش دارد. به عبارت ديگر اين پيت بين ترازهاي ۳۳۸٥ تا ٤٥۸٥ متري در راستاي محور X ها و ٦٥۸٥ تا ۷۷۳٥ متري در راستاي محور Y ها واقع شده است [۱]. پيت طراحي شده در اين تحقيق بزرگتر و بنابراين اقتصادي‌تر از پيت طراحي شده توسط مهندسين مشاور معدن خواهد بود. همچنين در صورت اجراي طرح مشاور، دمپ‌هاي باطله در محدوده نهايي پيت قرار گرفته و اين كار مشكلات زيادي را در آينده بوجود خواهد آورد. پيش بيني‌هاي انجام شده نشان مي‌دهد كه مصرف جهاني مس در دهه آينده به ازاي هر سال ۲% افزايش خواهد داشت كه اين مقدار در سال معادل ٦۰۰ هزار تن مس در سال مي‌باشد [۲]. بنابراين به نظر مي‌رسد كه سرمايه‌گذاري و فعال كردن معدن مس ميدوك، اقتصادي است و از اين طريق مي-توان ضمن ايجاد اشتغال در سطح كشور و تامين مواد اوليه مورد نياز صنايع كشور، با صدور محصولات آن، بخشي از نيازهاي ارزي كشور را تامين كرد .

منابع

۱- دورانت، ویل، تاریخ تمدن- جلد اول (مشرق زمین گاهواره تمدن، سازمان انتشارات و آموزش انتقلاب اسلامي، ١٣٦٥
۲- گزارش مطالعات فني-اقتصادي مجتمع معادن مس ميدوك، شركت ملي صنايع مس ايران، ١٣٧٨
۳- اصانلو، مرتضي، طراحي، برنامه‌ريزي و روش‌هاي استخراج معادن سطحي(جلد اول، دوم و سوم)، انتشارات لادن، ١٣٧٤
۴- حسني پاك، علي اصغر، زمين آمار، انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ١٣٧٧
۵- رايت، الفيا، طراحي معادن روباز، دانشگاه بين المللي امام خميني،١٣٧٢
۶- كريم‌پور، محمد حسن، زمين شناسي اقتصادي كاربردي، انتشارات صالح، نشر رشد مشهد، ١٣٧٤
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