بهينه‌سازي برنامه توليد معدن اسفوردي به روش برنامه ريزي خطي عدد صحيح به منظور كاهش ميزان كلر

نادر فتحيان‌پور[۱]; امين اله موسوي[۲]

۱- استاديار دانشكده مهندسي معدن دانشگاه صنعتي اصفهان، fathian@cc.iut.ac.ir

۲- دانشجوي كارشناسي ارشد استخراج معدن- بررسي فني اقتصادي دانشگاه تربيت مدرس، a.mousavi@modares.ac.ir

چكيده

معدن فسفات اسفوردي واقع در شمال شرقي شهرستان بافق، تنها توليد كننده عمده فسفات معدني در كشور است. نوع كانه اين كانسار به طور عمده فلوئوروآپاتيت بوده كه در برخي مناطق كلر جانشين فلوئور شده و به كلروآپاتيت تغيير يافته است. از آنجا كه تكنولوژي فعلي فرآيند تهيه اسيد فسفريک از سنگ معدن فسفات نسبت به ميزان ناخالصي كلر موجود در كنسانتره بسيار حساس است، محدوديت حداكثر مجاز كلر در مواد اوليه به ميزان ppm ۵۰۰ اعمال مي‌گردد، بنابراين ضروري است تا امكان استخراج انتخابي از معدن به منظور كاهش كلر در سنگ معدن صورت پذيرد. به منظور بهينه سازي برنامه ريزي توليد با هدف كاهش ميزان كلر لازم است مدلي از چگونگي پراكندگي فسفات، كلر و آهن به طور هم زمان و هم مكان در اختيار باشد. بدين منظور تخمين سه بعدي زمين آماري كريجينگ با توجه به قابليت‌هاي اساسي آن يعني تأمين مقدار كمينه واريانس تخمين و نااريبي تخمين براي مقادير فسفات، كلر و آهن در منطقه صورت پذيرفت. پس از تهيه مدل بلوكي، ارزش اقتصادي بلوک‌ها با لحاظ كردن هزينه‌ها و نيز درآمد ناشي از فروش كنسانتره فسفات، مشخص و حد نهايي معدن با هدف بيشينه سازي ارزش خالص فعلي تعيين گرديد. در نهايت بهينه سازي توليد معدن در دوره هاي كوتاه مدت و ميان مدت از طريق به‌كارگيري برنامه‌ريزي خطي عدد صحيح و اعمال شروط مختلف از قبيل افزايش عيار فسفات در بلوک‌هاي استخراجي و به طور همزمان كاهش ميزان كلر در دوره-هاي استخراجي از طريق تعيين تعداد كارگاه‌هاي لازم جهت استخراج همزمان، انجام گرديد. نتايج نشان مي‌دهد كه بدين شيوه مي‌توان ميزان عيار متوسط را در محصول خروجي معدن در سال‌هاي اوليه بهره برداري به ميزان قابل ملاحظه‌اي (بهبودي تا بيش از۲۵ % حالت غير بهينه) كاهش داد و محصولي با كيفيت قابل عرضه به صنايع شيميايي توليد نمود.

كلمات كليدي: برنامه ريزي توليد، استخراج انتخابي، زمين آمار، برنامه ريزي عدد صحيح، كريجينگ سه‌بعدي

Optimization Of Esfordi Mine Production Plan By Integer Linear Programming In Order To Decrease Chlorine Amount

Dr. N. Fathiyanpour[1], A. Mousavi[2]

Abstract

Esfordi Phosphate Mine, the only active Phosphate mine in Iran, is located in the south-eastern of Bafgh city. Type of the Deposit is mainly Fluor-apatite but in some zones Chlorine is replaced instead of it and changed to Chloral-apatite. The fact that current technology of Phosphoric Acid manufacturing process from Phosphate deposits is very sensitive to amount of Chlorine impurities in concentrates, so the maximum allowable Chlorine is limited to amount of 500 ppm. Hence it's known to be essential providing the opportunity of selective-extraction in order to Chlorine-reduction. Improvement of production plan by the aim of Chlorine amount reduction requires having a model of Phosphate, Chlorine and Iron distribution simultaneously. So a 3D Kriging geostatistics estimation, regarding it's main capabilities involving variance minimum value supply estimation and unbiased estimation of Iron, Chlorine and Phosphate amount, has been done in the area around. Economic values of blocks including costs and also incomes from Phosphate concentrate marketing have been established and ultimate-pit-limit, considering NPV maximization, has been determined, eventually. We have supposed improvement of mine production in short and medium periods by the means of integer linear planning and considering special conditions such as Phosphate grade increment in blocks under extraction and simultaneously Chlorine reduction in extraction periods by determining necessary numbers of extraction stopes. Results demonstrate that by using this method we can decrease average grade of mine production considerably in early years of exploiting (enhancement up to 25% of non-optimum instance) and thus producing an appropriate product to chemical industries.

Keywords: Production planning, Selective-extraction, Geostatistics, Integer linear programming, 3D Kriging

۱- مقدمه

طراحي و زمانبندي عمليات استخراج معادن، يک چالش هميشگي براي برنامه‌ريزي معدن بوده است. برنامه ريزي توليد معادن روباز توسعه مراحل استخراج بلوک‌هايي از ماده معدني و باطله است که از شرايط اوليه ذخيره به محدوده کاواک نهايي ختم مي‌شود. هدف اصلي برنامه‌ريزي برنامه توليد اين است که چه بخش‌هايي از ذخيره و باطله در چه دوره زماني معدنکاري شود، چنان که اهداف و محدوديت‌هاي مختلف همانند سود بيشينه و کنترل عيار، به طور همزمان ارضا شود. از مهمترين مشکلات فرآيند برنامه-ريزي توليد از يک سو تعدد عوامل مؤثري است که مي‌بايستي مد نظر قرار گيرد، و از سوي ديگر فراواني تعداد ترکيبات ممکن براي استخراج قسمت‌هاي مختلف يک کانسار مي‌باشد، که امکان استخراج در يک دوره برنامه‌ريزي توليد را دارند[۱]. برنامه‌ريزي خطي از جمله قويترين تکنيک‌هايي است که در مسائل مختلف برنامه‌ريزي و طراحي فرآيند توليد مي‌تواند بکار گرفته شود. برنامه‌ريزي خطي، مدلي رياضي براي جستجو و انتخاب بهترين برنامه (روش انجام کار) از ميان مجموعه راه‌هاي ممکن مي‌باشد. روش برنامه-ريزي خطي با بهينه کردن (حداکثر يا حداقل کردن) متغير وابسته‌اي که به صورت خطي با مجموعه‌اي از متغيرهاي مستقل مرتبط مي‌شود و با در نظر گرفتن تعدادي محدوديت خطي تشکيل يافته از متغيرهاي مستقل، درقالب تابع هدف، ابزار توانمندي در زمينه بهينه سازي توليد به شمار مي‌رود[۲].

در معدن فسفات اسفوردي که بعنوان مهمترين معدن توليد کننده فسفات در کشور شناخته مي‌شود، کانه عمدتاً از نوع فلوئوروآپاتيت بوده وليکن در برخي مناطق کلر جانشين فلوئور شده و به کلروآپاتيت تغيير يافته است. از آنجا که يکي از مصارف عمده کنسانتره فسفات در صنايع شيميايي و به طور خاص تهيه اسيد فسفريک است و اين فرآيند به ميزان ناخالصي کلر در کنسانتره بسيارحساس است (حداکثر مقدار مجاز کلر در محصول کنسانتره کمتر از ppm ۵۰۰)، لذا کنترل عيار کلر در کنسانتره حاصل ازکانسنگ معدن و بلوک بندي سه بعدي توزيع کلر و فسفات جهت تهيه طرح استخراج انتخابي يکي از چالش‌هاي مهم در بهره برداري اين معدن به حساب مي‌آيد[۳]. به سبب اثرات نامطلوب خطاي تخمين در افزايش ريسک سرمايه گذاري، لازم است دقيق‌ترين روش تخمين ذخيره که بتواند حداقل خطاي تخمين را تضمين کند، بکار گرفته شود. روش تخمين زمين آمار که در آن بستگي فضايي مقادير در نظر گرفته مي‌شود، روش قدرتمندي است که علاوه بر آنکه حداقل خطاي تخمين را فراهم مي‌کند، توزيع آماري خطاهاي تخمين را نيز بدست مي‌دهد[۴]. تخمين زمين آماري سه بعدي فسفات و کلر در معدن اسفوردي به دليل قابليت زمين آمار و کريجينگ که يک روش تخمين زمين آماري است که مي توان آنرا بهترين تخمينگر خطي نااريب دانست، انجام مي-پذيرد.

طرح استخراج انتخابي به منظور کاهش مقدار رقيق شدگي ماده معدني با ارزش بوسيله باطله با توجه به محدوديت‌هاي موجود معدن و پارامترهاي حساس استخراج مدنظر قرار مي‌گيرد که در اين راستا برنامه‌ريزي بهينه توليد در سايه تخمين معقول ميانگين عيار قطعه‌هاي کانسار، مشخص بودن نوسان‌هاي عيار محموله‌هاي ارسالي و توصيف کارگاه‌هاي استخراجي فعال با توجه به موقعيت آنها محقق مي‌شود. با دستيابي به بلوک بندي سه بعدي توزيع فسفات و کلردر محدوده پيت استخراجي معدن اسفوردي، طرح استخراج انتخابي و بهينه سازي برنامه توليد معدن به روش برنامه ريزي خطي انجام مي‌گيرد.

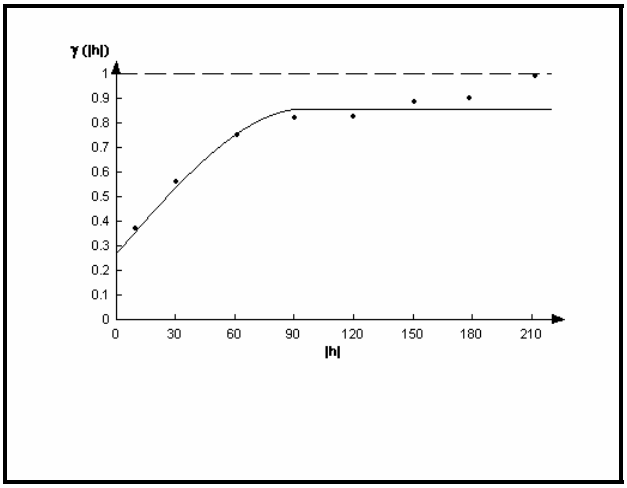
۲- پيشينه تحقيق

تلاش‌هاي مختلفي براي نشان دادن مسائل زمانبندي انجام شده است. يک روش ساده که براي ايجاد يک برنامه زمانبندي توليد وجود دارد، روش سعي و خطا با استفاده از گرافيک متقابل است[۵]. اگر چه اين روش ساده و به طور کلي مقبول است، اما در هر صورت ممکن نيست که همه ترکيب‌ها را در يک زمان کوتاه رسيدگي و آناليز کرد. بنابراين، اغلب آن‌ها به طور عملي بازنگري شدند تا با شرايط يک زمانبندي مطابقت کنند. در اين خصوص تکنيک تحقيق در عمليات (O.R) براي مسائل زمانبندي توليد براي انتخاب سکانس‌هاي استخراجي به کار برده شد. از بين تکنيک‌هاي مختلف O.R براي زمانبندي توليد معادن روباز، برنامه‌ريزي خطي، توجه تعداد زيادي از مهندسين معدن را به خود جلب کرده است. يک محدوديت اصلي استفاده از اين تکنيک‌ها اين است

که مي‌بايست تعداد محدوديت‌ها كم باشد[۶]. پيچيدگي استخراج معادن روباز مخصوصاً شرايط اولويت بندي ممكن است به يک مدل برنامه‌ريزي خطي خيلي بزرگ منتهي شود. برنامه ريزي هدف يكي ديگر از تكنيک‌هاي تحقيق در عمليات است كه براي جمع آوري معيارهاي هدف چند منظوره در زمانبندي توليد گسترش يافته است[۷]. از برنامه ريزي عدد صحيح نيز براي برنامه‌ريزي توليد استفاده شده است. با توجه به پيچيدگي الگوريتم اين روش، اين تكنيک كمتر در زمانبندي معادن روباز استفاده مي‌شود. يک شاخه از مدل برنامه‌ريزي عدد صحيح برنامه ريزي عدد صحيح ۱-۰ است كه در آن هر متغير فقط ارزش ۰ و يا ۱ دارد. زمان حل مدل برنامه‌ريزي عدد صحيح ۱-۰ با افزايش تعداد متغيرها به طور نمايي افزايش پيدا مي‌كند[۸]. تكنيک‌هاي تحقيق در عمليات اغلب براي برنامه‌ريزي توليد كوتاه مدت به كار برده مي‌شوند تا مسئله زمانبندي را در وجود محدوديت‌هاي استخراج مختلف نشان دهند. متعاقباً محققان مختلفي تلاش كرده‌اند تا الگوريتم‌هاي زمانبندي بهينه در زمانبندي توليد بلند مدت معدن را بر مبناي برنامه‌ريزي پويا[۹]، تئوري گراف و مفهوم وزن دهي موقعيت درخواست شده گسترش دهند[۱۰]. هر تلاش براي ايجاد زمانبندي توليد با استفاده از برنامه‌ريزي پويا به يک تحقيق جامع در مورد تعداد زيادي از گزينه‌ها نياز دارد. در تلاش براي غلبه بر اين مشكل، كوشش‌هايي براي كاهش اندازه مسئله با متراكم كردن بلوک‌ها در مدل بلوكي صورت گرفته است. براي اين كار هر چند بلوک را، در در يک بلوک بزرگ در نظر گرفته و پارامترهاي مختلف بلوک نظير عيار، وزن مخصوص، نسبت كانه موجود و غيره را توسط روش‌هاي آماري به بلوک‌هاي بزرگ نسبت مي‌دهند. اگر چه اين كار در عمل امكان‌پذير مي‌باشد اما مدل برنامه‌ريزي شده با استفاده از بلوک‌هاي بزرگ واقعيت مدلسازي را بد نشان مي‌دهند و به همين علت نمي‌توان يک مسئله برنامه‌ريزي را با دقت حل نمود[۱۱].

۳- بلوک بندي، تخمين سه بعدي فسفات و تخمين ذخيره در كانسار اسفوردي

براي تخمين نهايي فسفات و كلر در محدوده فضاي تخمين بايد ابعاد بهينه بلوک‌ها تعيين شود. با توجه به شرايط استخراج، شكل ماده معدني، پيوستگي سه بعدي ماده معدني، محدوديت‌هاي استخراجي و طراحي پيت معدن ودر عين حال مقدار كمينه واريانس تخمين، ابعاد مناسب بلوک‌هاي مورد تخمين برابر ۵*۲۵*۲۵ متر انتخاب شده است. تخمين زمين آماري سه بعدي استفاده شده براي فسفات كانسار اسفوردي، از آنجا كه ميانگين تقريبي از توده كانسار براي كل منطقه در دست نمي‌باشد، كريجينگ معمولي است. با استفاده از نرم افزار Datamine عمليات تخمين كريجينگ معمولي بلوكي روي مقادير تبديل يافته فسفات در محدوده فضاي تخمين با در نظر گرفتن جهات حداكثر و حداقل و نسبت ناهمسانگردي صورت گرفته است. شكل ۱ نمايانگر واريوگرام غير جهتي فسفات مي‌باشد. همچنين مشخصات مدلهاي واريوگرام منطبق بر واريوگرام‌هاي امتدادهاي اصلي بيضوي ناهمسانگردي در جدول ۱ آورده شده است.

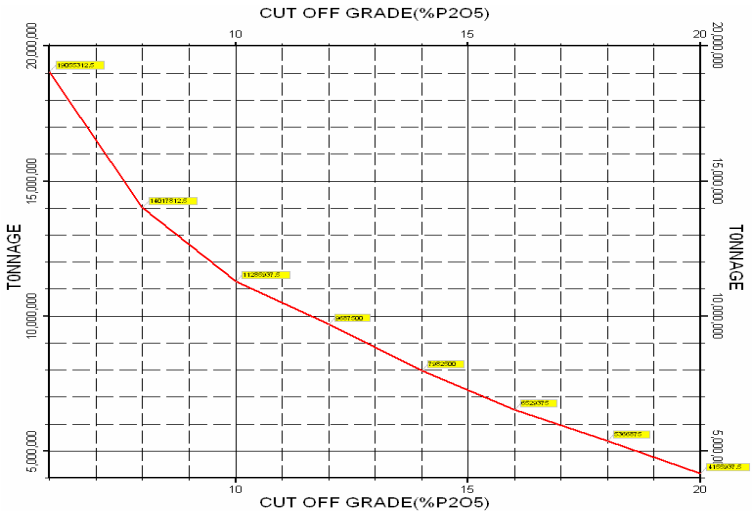


شكل۱- واريو گرام غير جهتي فسفات

جدول۱- مشخصات مدلهاي واريو گرام منطبق بر واريو گرامهاي امتدادهاي اصلي بيضوي نا همسانگردي

امتداد تغيير پذيري	نوع مدل	امتداد	شيب	تلرانس	اثر قطعه اي	شعاع تاثير	سقف
حداكثر	كروي	85.67	4.6	15	0.04	194.38	0.949
مياني	كروي	133.76	88.1	15	0.259	88.78	0.889
حداقل	كروي	135.9	85.81	15	0.249	77.98	0.869

متوسط وزن مخصوص ماده معدني ۳/۰۸ گرم بر سانتي متر مكعب در نظر گرفته شده است. با تغيير عيار حد معدن و محاسبه ذخيره معدن منحني عيار حد – تناژ به دست مي‌آيد. با توجه به طرح استخراج، ميزان كانسنگ معدن از افق ۱۷۴۵ تا ۱۶۳۵ محاسبه گرديده است كه نتايج حاصله در شكل۲ آورده شده است. ميزان دخيره با عيار حد ۶ درصد فسفات، حدود ۱۹ ميليون تن با متوسط عيار ۱۳/۸۸ درصد فسفات، حاصل گرديد.



شكل ۲- منحني عيار حد – تناژ فسفات

۴- پارامترهاي اقتصادي مدل بلوكي

تهيه مدل بلوكي اقتصادي مناسب، نيازمند اطلاعات اقتصادي دقيق مي‌باشد. علاوه بر اطلاعات اقتصادي اطلاعات فني ديگري از جمله بازيابي، ترقيق و غيره نيز لازم است. پارامترهايي كه در اين پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است مربوط به سال ۱۳۸۵ است كه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۲- پارامترهاي اقتصادي مدل بلوكي

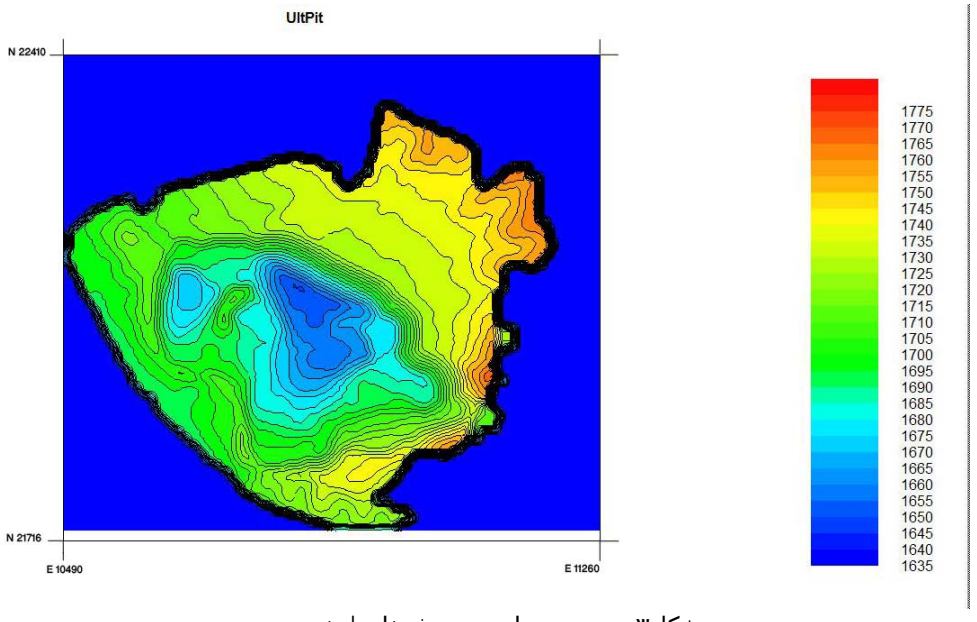
پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
قيمت فروش	325000 R/tc	هزينه هاي فروش	16250 R/tc
هزينه باطله برداري	12500 R/t	درصد اضافه هزينه به ازاي هر پله	5%
هزينه استخراج	14500 R/t	بازيابي كارخانه فراوري	60%
هزينه فراوري	25000 R/t	ترقيق	10%
بازيابي استخراج	90%	توليد ساليانه معدن	360000 t

۵- حریم نهایي معدن روباز

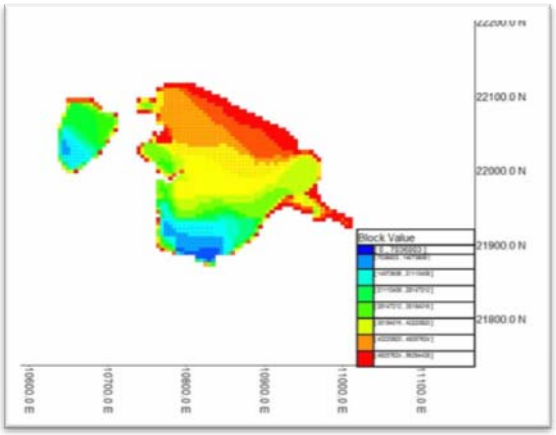
براي تعيين مرز نهايي كاواک بهينه به يک مدل بلوكي اقتصادي از كانسار نياز است. تهيه مدل بلوكي اقتصادي كانسار در نرم افزار NPVs+MFO انجام شده است. مدل بلوكي تهيه شده در نرم افزار Datamine به عنوان مدل مبناي كانسار، وارد نرم افزار NPVs+MFO گرديد. مدل بلوكي كانسار شامل بلوكي هايي با ابعاد ۵*۲۵*۲۵ متر است كه به همراه هر بلوک اطلاعات مربوط به تخمين عيار فسفات، كلر و آهن، وزن مخصوص، نوع سنگ در برگيرنده و مختصات هر بلوک آورده شده است. . نرم افزار NPVs+MFO كه از محصولات شركت Earthwork است، قادر است كاواک نهايي لرچ و گروسمن (LG) يک معدن روباز را بر اساس مجموعه‌اي از اطلاعات فني و اقتصادي بيابد. با در نظر گرفتن برخي ملاحظات فني از جمله شيب ديواره معدن به ميزان ۵۰ درجه كاواک بهينه معدن اسفوردي به دست آمده است. نتايج حاصل نشان مي‌دهد كه اين كاواک شامل۷۲۸۹۹۷۰ تن ماده معدني است. مرز نهايي بهينه در شكل ۳ آورده شده است.

۶- محدوديت‌هاي برنامه‌ريزي توليد

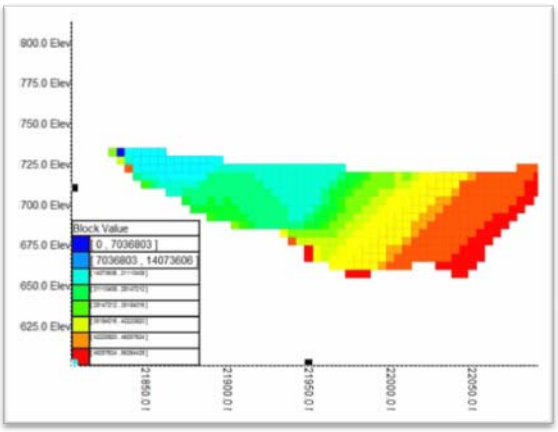
فرايند برنامه‌ريزي معدن همواره با چالش‌هاي متعددي در زمينه‌هاي مختلف روبرو بوده است. از مهمترين مشكلات فرآيند برنامه-ريزي توليد از يک سوتعدد عوامل مؤثري است كه مي‌بايستي مد نظر قرار گيرد و از سوي ديگر زيادي تعداد تركيبات ممكن براي استخراج قسمت‌هاي مختلف يک كانسار مي‌باشد، كه امكان استخراج در يک دوره برنامه‌ريزي توليد را دارند. علاوه بر محدوديت-هايي كه در اكثر معادن روباز وجود دارد و از آن جمله مي‌توان به ظرفيت استخراج و فرآوري، هندسه معدن و عيار كنسانتره اشاره نمود، معدن فسفات اسفوردي با محدوديت خاص ديگري روبرو است. از آنجا كه تكنولوژي فعلي فرآيند تهيه اسيد فسفريک از سنگ معدن فسفات به ميزان ناخالصي كلر موجود در كنسانتره بسيار حساس و آسيب پذير است محدوديت حداكثر مجاز كلر در مواد اوليه به ميزان ppm ۵۰۰ اعمال مي‌گردد، به منظور در نظر گرفتن محدوديت فوق و نيز افزايش عيار فسفات در بلوک‌ها طرح استخراج انتخابي فسفات ارائه گرديده است. از آنجا كه اكثر بسته‌هاي نرم افزاري همانند نرم افزار NPVs+MFO قادر به در نظر گرفتن محدوديت فوق نيستند، برنامه‌ريزي توليد با استفاده از روش برنامه‌ريزي خطي عدد صحيح ۰ و ۱ انجام گرفته است.



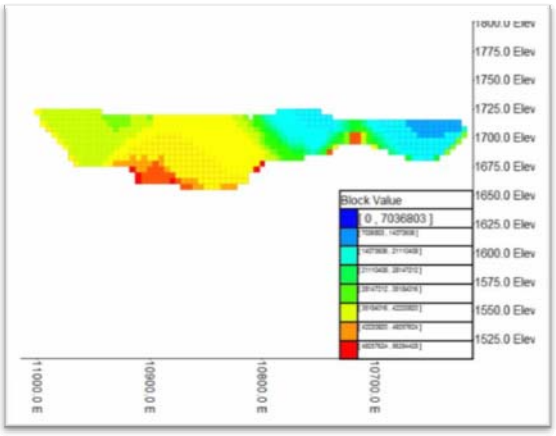
شكل۳- محدوده نهايي معدن فسفات اسفوردي



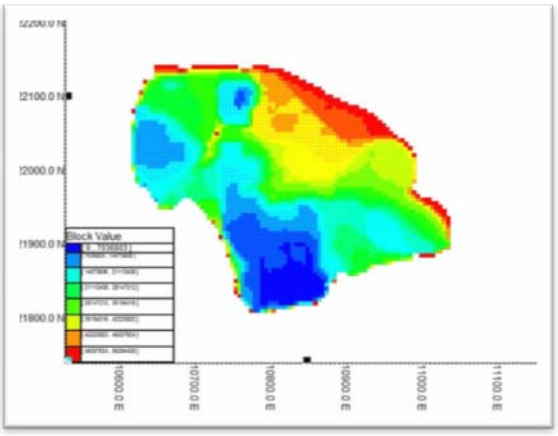
افق ۱۶۸۰ از محدوده نهایی معدن



مقطع ۱۰۹۳۱,۰۰ شمالی – جنوبی از محدوده نهایی معدن



شرقی – غربی از محدوده نهایی معدن



افق ۱۷۰۵ از محدوده نهایی معدن مقطع ۲۲۰۱۰,۰۰

شکل ۴- نمايي از افق‌ها و مقاطع محدوده نهايي معدن فسفات اسفوردي

۷- برنامه ريزي توليد بهينه معدن فسفات اسفوردي

براي انجام برنامه‌ريزي توليد معدن اسفوردي، مدلي خطي ارائه گرديد. تابع هدف مدل با رويكرد افزايش عيار فسفات، رعايت حداكثر مجاز كلر، تأمين خوراك مورد نياز كارخانه و حداقل سازي هزينه حمل و نقل به روش بهينه سازي خطي باينري عدد صحيح تهيه شد.

فرمولاسيون برنامه‌ريزي عدد صحيح استخراج انتخابي بلوک‌هاي ماده معدني در محدوده نهايي پيت روباز

تابع هدف:

$$Max: Z = \sum_{i=1}^{Nb} [\mu_1 (g_{bi}^{p2o5} - G_{c.o.g}^{p2o5}) - \mu_2 (\sqrt{\left| p_{bi} - p_{ore-pile} \right|} - \mu_3 (g_{bi}^{cl} - G_{permit}^{cl})^2 - \mu_4 . Elev_{bi}] . x_{bi}$$

كه در آن:

$_{bi}$: انديس موقعيت بلوك كانسنگ i ام

Nb : تعداد كل بلوك‌هاي كانسنگ با قابليت كانديدا شدن جهت استخراج

p_{bi} : موقعيت مكاني (سه بعدي) بلوك i

$p_{ore-pile}$: موقعيت مكاني (سه بعدي) دپوي كانسنگ

$G_{c.o.g}^{p2o5}$: عيار حد اقتصادي مرز كانسنگ و باطله

G_{permit}^{cl}: حداكثر عيار كلر مجاز در كانسنگ تركيبي

x_{bi} : متغير باينري عدد صحيح انتخابي در مدل برنامه ريزي عدد صحيح

محدوديت‌ها:

$$\sum_{i=1}^{Nb} x_{bi} = n$$

$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{Nb} g_{bi}^{p2o5}.x_{bi} \geq G_{c.o.g}^{p2o5}$$

$$\forall x_{bi} \in Nb \Rightarrow x_{bi} \geq 0 \,\&\, x_{bi} \leq 1 \,\&\, x_{bi} = Int.$$

n= تعداد بلوكهاي لازم جهت تأمين خوراك كارخانه در پريود مربوطه

فرمولاسيون استخراج انتخابي بلوكهاي باطله جهت آزادسازي بلوكهاي كانسنگ در محدوده نهائي پيت روباز

تابع هدف:

$$Max: Z = \sum_{i=1}^{Nwb} [\mu_1 pref.Fact_{bi} * (-\mu_2 \sqrt{\left| p_{bi} - p_{waste-pile} \right|} - \mu_3.Elev_{bi}).x_{bi}$$

كه در آن

Nwb : تعداد بلوك هاي باطله مستعد جهت باطله برداري

$pref.Fact_{bi}$: فاكتور اولويت باطله برداري بلوك باطله i ام

$p_{waste-pile}$: موقعيت مكاني (سه بعدي) دپوي باطله

p_{bi} : موقعيت مكاني (سه بعدي) بلوك باطله i ام

محدوديت‌ها:

$$\sum_{i=1}^{Nwb} x_{bi} = n_w$$

$$\forall x_{bi} \in Nwb \Rightarrow x_{bi} \geq 0 \,\&\, x_{bi} \leq 1 \,\&\, x_{bi} = Int.$$

n_w = تعداد بلوكهاي باطله لازم جهت باطله برداري و رسيدن به نسبت باطله برداري كلي معدن (SR= ۱/۲)

با افزودن ضرايب لاگرانژ به مدل خطي انتخاب بلوک‌هاي ماده معدني و باطله، برنامه‌ريزي استخراج انتخابي معدن فسفات اسفوردي با توجه به توپوگرافي فعلي معدن از افق ۱۷۴۵ تا افق ۱۶۳۵ متري، به صورت دوره‌هاي سه ماهه با مشخص بودن ميانگين عيار فسفات و كلر در هر دوره، تهيه گرديد. تخمين ميانگين عيار فسفر و كلر برداشت سه ماهه معدني در اين برنامه مشخص شده است، با انتخاب سيستم مناسب تركيب بلوک‌هايي كه در هر دوره برداشت مي‌شوند مي‌توان به خوراكي با كيفيت قابل قبول براي كارخانه فرآوري دست يافت.

۸- نتايج

- ابعاد بهينه بلوک‌هاي استخراجي با توجه به طراحي پيت معدن و محدوديت‌هاي استخراجي موجود و در عين حال مقدار كمينه واريانس تخمين ۵*۲۵*۲۵ متر در نظر گرفته شد.

- از تخمين كريجينگ معمولي جهت تخمين سه بعدي مقادير فسفات در محدوده معدن استفاده گرديد و نتايج حاصل براي حفظ شرط حداقل بودن واريانس تخمين با استفاده از روش كلارک به مقياس داده‌هاي خام باز گردانده شد. مقدارميانگين واريانس تخمين براي ابعاد بلوک استخراجي، ۰/۱۰۱ حاصل شد.

- ميزان ذخيره معدن با احتساب وزن مخصوص ۳/۰۸ تن بر متر مكعب براي ماده معدني، با عيار حد ۶ درصد فسفات، حدود ۱۹ ميليون تن با ميانگين عيار ۱۳/۸۸ درصد فسفات تخمين زده شد.

- با استفاده از نرم افزار NPVs+MFO و بر اساس پارامترهاي اقتصادي كاواک بهينه معدن اسفوردي به دست آمده است. نتايج حاصل نشان مي دهد كه اين كاواک شامل ۷۲۸۹۹۷۰ تن ماده معدني است.

- برنامه ريزي توليد معدن با استفاده از تكنيک برنامه ريزي خطي به صورت جداگانه براي كانه و باطله انجام گرفت. براي اين منظور حداقل نمودن انحراف متوسط عيارهاي كانه استخراجي از مقادير عيار از پيش تعيين شده به عنوان هدف در نظر گرفته شد و ميزان كلر موجود در كانه استخراجي، ظرفيت تجهيزات معدني و كارخانه فرآوري وتناژ مد نظر در طراحي، محدوديت‌هاي هندسي استخراج به خصوص رعايت حد مجاز پله‌هاي ايمني و حداقل مسافت حمل ماده معدني بهينه گرديدند.

- برنامه ريزي استخراج انتخابي معدن تا افق ۱۶۳۵ متر، يعني افق مورد نظر در طراحي به صورت برنامه‌اي چهل ساله تهيه گرديد و براي هر سال نيز برنامه استخراج ماده معدني و باطله در دوره زماني سه ماهه ارائه شد. نقشه‌هاي توپوگرافي و كنتوري محدوده معدن نيز پس از هر دوره برداشت براي بررسي چگونگي پيشرفت عمليات استخراج ارائه شد.

- نتايج نشان مي‌دهد كه بدين شيوه مي‌توان ميزان عيار متوسط را در محصول خروجي معدن در سال‌هاي اوليه بهره برداري به ميزان قابل ملاحظه‌اي (بهبودي تا بيش از۲۵ % حالت غير بهينه) كاهش داد و محصولي با كيفيت قابل عرضه به صنايع شيميايي توليد نمود.

۹- مراجع

[۲]- مهرگان، م، پژوهش عملياتي؛ برنامه‌ريزي خطي و كاربردهاي آن، نشر صالحان، ۱۳۷۸.

[۳] - فتحيان پور، ن،گزارش فاز ۲ طرح امكان سنجي استخراج انتخابي در مجتمع فسفات، مطالعه و شناسائي روند تغييرات كلر در محدوده معدن اسفوردي،۱۳۸٤.

[۴]- حسني پاک، ع، زمين آمار، دانشگاه تهران،۱۳۷۷.

[11]- اسماعيل پور، سيدحسن، برنامه ريزي توليد معدن چادرملو، پايان نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه صنعتي امير كبير، ۱۳۷۸

[1]- Schuzhang Huang,"Computer based optimization of open pit Mining sequences", Journal of Industry Mining, pp. 125-133, May 1996.

[۵]- Franklin, P.J. 1985. Computer aided short termmine planning. CIM Bulletin 78(879): 49–52

[6]- Samanta.B,Bhattacherjee.A,2005,A genetic algorithms approach for grade control planning in bauxite deposit,application of computer and operation research in the mineral industry.

[7]- Chanda, E.C.K. 1990. An application of goal programming to production planning in the crushed stone industry. International Journal of Surface Mining, Reclamation and EnvIronment 4: 125–129

[8]- Fytas, K., Pelley, C. & Calder, P. 1987. Optimization of short and long range production scheduling. CIM Bulletin 80(904): 55–61.

[9]- Elbrond, J., Dubois, J. & Daoust, G. 1977. Rate of production and cutoff Grade-a program for teaching and experimentation. Proceedings of 15th International Symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, Brisbane, Australia: 13–19.

[10]- Gershon, M. 1987. Heuristic approaches for mine planning and production scheduling. International journal of Mining and Geological Engineering 5: 1–13.