

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
پایان نامه کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی

برنامه ریزی تولید بلندمدت و کوتاه مدت
در معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر

نگارنده: سعید رضائی کاخکی

اساتید راهنما
دکتر رامین رفیعی
دکتر رضا خالوکاکایی

بهمن ۱۳۹۹

شماره: ۹۴۰/۴۲۹۱
تاریخ: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خاتم / آقای سعید رضائی کاخکی با شماره دانشجویی ۹۷۰۷۹۵۴ رشته معدن گرایش استخراج تحت عنوان برنامه ریزی تولید بلندمدت و کوتاه مدت در معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر که در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ (ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۷ ☒
ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹ ☐ (د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹ ☐
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
نوع تحقیق: ☒ نظری ☐ عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر رامین رفیعی	استاد	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر رضا کاکایی	استاد	
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی نوروزی	استاد	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر محمد عطایی	استاد	
دکتر محمد عطایی			
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر فرهنگ سرشکی	استاد	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



کوهی استوار و حامی من،

که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بود و تکیه‌گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودش
مایه دلگرمی من می باشد.

تقدیم

به

برادرم

تشکر و قدردانی

سپاس بی‌کران خداوندی که دلها را به نور دانش منور ساخت. به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

در اینجا برخود لازم میدانم که از حمایت‌های بی‌دریغ برادرم مهندس محسن رضائی کاخکی که با راهنمایی‌ها و پیشنهادات خود راه گشای اینجانب بوده و بنده را در تکتک مراحل این پروژه راهنمایی نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. از جناب آقای دکتر کاکایی و دکتر رفیعی که بی‌شک، نقش بسزایی را در انجام این پروژه داشتند و از حمایت و راهنمایی‌های سازنده خود محروم ننمودند نیز تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از سایر کارکنان محترم شرکت سنگ آهن ورتاوه قمصر و تمام عزیزانی که به نحوی در انجام مراحل مختلف تحقیق با اینجانب همکاری داشته‌اند، صمیمانه تشکر نموده و توفیق روزافزون آنها را از خداوند متعال خواستارم.

سعید رضائی کاخکی

تعهد نامه

اینجانب سعید رضائی کاخکی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته استخراج مواد معدنی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه برنامه ریزی تولید بلندمدت و کوتاه مدت در معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر تحت راهنمایی دکتر رامین رفیعی و دکتر رضا خالوکا کایی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ:

امضا دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

امروزه با توجه به رو به اتمام بودن ذخایر سطحی و عمیق بودن بسیاری از ذخایر معدنی موضوع چگونگی استخراج آنها به گونه‌ای که بیشترین سود اقتصادی را داشته باشد و در عین حال ایمنی کار نیز تضمین شود، بسیار با اهمیت است. داشتن بیشترین سود اقتصادی با وجود بهیمنی در عین توجه به محدودیت‌های فنی معدنکاری نوعی برنامه‌ریزی تولید را می‌طلبد که با کمترین انحراف به اهداف تولیدی برسد. روش‌های گوناگونی به منظور تعیین برنامه‌ریزی تولید ارائه شده و نرم‌افزارهای مختلفی در این زمینه مطرح شده‌اند. نرم‌افزار NPVS از توانمندترین نرم‌افزارها در این زمینه است، که بر اساس الگوریتم لرچ و گروسمن قادر به تعیین محدوده نهایی بهینه و بر اساس الگوریتم‌های میلوا و برنامه‌ریزی پویا، قادر به تعیین برنامه‌ریزی تولید بهینه است. همچنین نرم‌افزار Minesched، نرم‌افزار قدرتمندی که بر اساس محدودیت‌های معدنکاری توانایی برنامه‌ریزی عملیات بهره‌برداری و استخراج از معادن سطحی و زیرسطحی به صورت منظم و متمرکز را دارد. در این پایان‌نامه به منظور برنامه‌ریزی تولید بلندمدت و برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر، پس از ساخت مدل بلوکی توسط نرم‌افزار Datamine و تعیین محدوده بهینه با نرم‌افزار NPVS، عملیات طراحی پیت به کمک نرم‌افزار Datamine انجام شد. در ادامه با کمک پیت بهینه نهایی برنامه‌ریزی تولید با نرم‌افزارهای Minesched و NPVS انجام شده و پس از مقایسه برنامه مطلوب‌تر به دست آمد. در پایان با بررسی نتایج به دست آمده از پیت بهینه نهایی و پیت‌های طراحی شده، برنامه‌ریزی تولید بلندمدت حاصل از نرم‌افزار NPVS با ۱/۰۷۵ میلیون تن کانسنگ، ۴/۲۹۹ میلیون تن باطله و در مجموع کلی ۵/۳۷۵ میلیون تن و نسبت باطله‌برداری ۳/۹۹ و عمر ۳ ساله و همچنین برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت ماهانه (سال اول) حاصل از نرم‌افزار Minesched با مجموع سالیانه ۰/۳۷۴ میلیون تن کانسنگ، ۱/۸۵۲ میلیون تن باطله و مجموع کلی ۲/۲۳۴ میلیون تن و نسبت باطله‌برداری ۴/۹۳ به دست آمد.

کلمات کلیدی : NPVS - Minesched - پیت بهینه - برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت - برنامه‌ریزی

تولید بلندمدت

فهرست مطالب

فصل اول – مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- بیان مسئله	۲
۳-۱- ضرورت انجام مسئله	۳
۴-۱- اهداف پایان نامه	۴
۵-۱- سازماندهی پایان نامه	۵
فصل دوم – برنامه ریزی تولید در معادن روباز	۷
۱-۲- مقدمه	۸
۲-۲- برنامه ریزی در معادن روباز	۸
۱-۲-۲- عوامل موثر برنامه ریزی در معادن روباز	۸
۲-۲-۲- اهداف اصلی برنامه ریزی معادن روباز	۹
۳-۲- تعیین محدوده نهایی پیت در معدن روباز	۹
۱-۳-۲- بهینه سازی و مفهوم آن	۱۰
۲-۳-۲- روش های تعیین محدوده نهایی معادن روباز	۱۰
۳-۳-۲- الگوریتم های بهینه سازی	۱۰
۴-۲- برنامه ریزی تولید در معادن روباز	۱۱
۱-۴-۲- برنامه ریزی تولید بلندمدت	۱۲
۱-۱-۴-۲- اهداف برنامه ریزی تولید بلندمدت	۱۳
۲-۱-۴-۲- محدودیت های برنامه ریزی تولید بلندمدت	۱۳
۲-۴-۲- برنامه ریزی تولید میان مدت	۱۴
۳-۴-۲- برنامه ریزی تولید کوتاه مدت	۱۵
۵-۲- برنامه ریزی کوتاه مدت در مقابل برنامه ریزی بلندمدت	۱۷
۶-۲- روش های برنامه ریزی تولید در معادن روباز	۱۸
۷-۲- مطالعات پیشین برنامه ریزی تولید بلندمدت	۲۳
۸-۲- مطالعات پیشین برنامه ریزی تولید کوتاه مدت	۲۷
۹-۲- مطالعات پیشین برنامه ریزی تولید بلندمدت و کوتاه مدت	۲۸
۱۰-۲- جمع بندی	۲۹

فصل سوم – آشنایی با معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر..... ۳۱

۳-۱- مقدمه ۳۲

۳-۲- معرفی شهر قمصر ۳۲

۳-۳- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی معدن ورتاوه ۳۲

۳-۴- وضعیت آب و هوایی و پوشش گیاهی ۳۳

۳-۵- زمین ریخت‌شناسی محدوده مورد مطالعه ۳۴

۳-۵-۱- زمین‌شناسی ناحیه‌ای ۳۵

۳-۵-۲- کانی‌سازی آهن ۳۷

۳-۵-۳- ژنز ماده معدنی ۳۷

۳-۵-۴- توده نفوذی ۳۷

۳-۵-۵- دایک‌ها ۳۸

۳-۵-۶- واحدهای ماسه‌سنگی و رسوبی ۳۸

۳-۶- عملیات حفاری اکتشافی ۳۸

۳-۷- جمع‌بندی ۴۰

فصل چهارم – فرآیند برنامه‌ریزی تولید با نرم‌افزار..... ۴۱

۴-۱- مقدمه ۴۲

۴-۲- ساختن مدل بلوکی زمین‌شناسی با استفاده از نرم‌افزار Datamine ۴۲

۴-۲-۱- آماده‌سازی اطلاعات ورودی ۴۳

۴-۲-۲- پردازش اطلاعات ۴۴

۴-۲-۳- تهیه مقاطع زمین‌شناسی ۴۵

۴-۲-۴- ساختن مدل هندسی کانسار ۴۵

۴-۲-۵- بلوک بندی مدل زمین‌شناسی ۴۶

۴-۲-۵-۱- چیدن بلوک‌ها در وایرفرم‌ها ۴۷

۴-۲-۵-۲- تخصیص عیار به بلوک‌ها ۴۸

۴-۲-۵-۳- ترکیب بلوک مدل‌های ساخته شده ۴۹

۴-۳- طراحی محدوده بهینه‌نمایی معدن با استفاده از نرم‌افزار NPVS ۵۰

۴-۳-۱- مراحل عملیات بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی تولید در نرم‌افزار NPVS ۵۳

۴-۳-۲- تحلیل نتایج ۵۴

۵۷	۴-۴ طراحی محدوده‌ی استخراجی معدن با استفاده از نرم‌افزار Datamine
۵۸	۵-۴ برنامه‌ریزی تولید با نرم‌افزار NPVS
۵۹	۴-۵-۱ پوشش‌بک‌ها
۶۱	۴-۵-۲ برنامه‌ریزی تولید بلندمدت تا پایان عمر معدن
۶۲	۴-۵-۲-۱ تحلیل نتایج برنامه‌ریزی بلندمدت حاصل از نرم‌افزار NPVS
۶۴	۴-۵-۳ برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت برای کل عمر معدن
۶۸	۴-۶ برنامه‌ریزی تولید با نرم‌افزار Minesched
۶۹	۴-۶-۱ پارامترهای ورودی به نرم‌افزار Minesched
۷۳	۴-۶-۲ نتایج حاصل از برنامه‌ریزی تولید نرم‌افزار Minesched
۷۹	۴-۷ مقایسه نتایج برنامه‌ریزی تولید بلندمدت
۸۱	۴-۸ مقایسه نتایج برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت (۱)
۸۲	۴-۹ مقایسه نتایج برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت (۲)
۸۲	۴-۱۰ بحث
۸۸	۴-۱۱ جمع‌بندی
۸۹	فصل پنجم - نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۹۰	۵-۱ نتایج
۹۲	۵-۲ پیشنهادات
۹۳	۶- منابع

فهرست شکل ها

شکل ۳-۱- راه‌های دسترسی به معدن قمصر	۳۳
شکل ۳-۲- برگرفته از نقشه تقسیم‌بندی ساختاری ایران توسط اشتوکلین	۳۶
شکل ۳-۳- موقعیت محدوده مورد نظر بر روی برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشان و نطنز	۳۶
شکل ۳-۴- نمای سه‌بعدی از چاه‌های حفر شده	۳۹
شکل ۳-۵- نمای دوبعدی از چاه‌های حفر شده	۳۹
شکل ۴-۱- نمای سه‌بعدی از چاه‌های حفر شده به همراه توپوگرافی	۴۵
شکل ۴-۲- مدل هندسی سه‌بعدی کانسار	۴۶
شکل ۴-۳- تصویر سه‌بعدی از مدل ماده معدنی به همراه توپوگرافی	۴۶
شکل ۴-۴- نمای سه‌بعدی از مدل بلوکی کانسار	۴۹
شکل ۴-۵- نمای دوبعدی از مدل بلوک زمین‌شناسی	۴۹
شکل ۴-۶- نمودار تجمعی فازهای تولید شده بر حسب NPV	۵۵
شکل ۴-۷- نمودار NPV برای پیت‌های ۱ تا ۶۱	۵۵
شکل ۴-۸- نمودار NPV برای پیت‌های ۳۸ تا ۵۰	۵۶
شکل ۴-۹- نمودار NPV/Rock برای پیت‌های ۳۸ تا ۵۰	۵۶
شکل ۴-۱۰- نمودار W/O برای پیت‌های ۳۸ تا ۵۰	۵۷
شکل ۴-۱۱- تصویر پیت بهینه نهایی طراحی شده	۵۸
شکل ۴-۱۲- تناژ کانسنگ تعریف شده پوشش یک انتخابی	۶۱
شکل ۴-۱۳- برنامه‌ریزی تولید سالانه محدوده نهایی بهینه	۶۴
شکل ۴-۱۴- نمودار برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال اول حاصل از نرم‌افزار NPVS	۶۵
شکل ۴-۱۵- چارت برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال دوم حاصل از نرم‌افزار NPVS	۶۶
شکل ۴-۱۶- چارت برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال سوم حاصل از نرم‌افزار NPVS	۶۷
شکل ۴-۱۷- تصویر ارتباطی بین مکان‌ها در نرم‌افزار Minesched	۷۰
شکل ۴-۱۸- تصویر ترتیب مراحل در نرم‌افزار Minesched	۷۰
شکل ۴-۱۹- نمای گرافیکی بعد از استخراج سال اول در نرم‌افزار Minesched	۷۳
شکل ۴-۲۰- تناژ کانسنگ برنامه‌ریزی بلندمدت سالیانه از پیت نهایی حاصل از نرم‌افزار Minesched	۷۴
شکل ۴-۲۱- نمای شرقی - غربی پیت برنامه‌ریزی تولید ماهانه نرم‌افزار Minesched	۷۵
شکل ۴-۲۲- نمودار تناژ کانسنگ برداشت شده ماهانه از پیت نهایی حاصل از نرم‌افزار Minesched	۷۵
شکل ۴-۲۳- نمودار تناژ سطح پیت سال اول نرم‌افزار Minesched	۷۸

- شکل ۴-۲۴- چارت تناژ کانسنگ برداشت شده ماهیانه از پیت سال اول حاصل از نرم افزار Minesched ۷۹
- شکل ۴-۲۵- مقایسه تناژ پیت طراحی شده نرم افزار Datamine با نرم افزار NPVS و Minesched ۸۶
- شکل ۴-۲۶- نمای سه بعدی از پیت نهایی طراحی شده ۸۶
- شکل ۴-۲۷- مقایسه مجموع تناژ پیت طراحی شده سال اول با نرم افزارها ۸۷
- شکل ۴-۲۸- نمای سه بعدی از پیت سال اول طراحی شده ۸۸

فهرست جداول

جدول ۳-۱- مختصات چهار گوش محدوده اکتشافی.....	۳۳
جدول ۳-۲- میزان حفاری مقدماتی انجام شده.....	۳۹
جدول ۴-۱- بخشی از فایل ورودی Collar برای معدن ورتاوه قمصر.....	۴۳
جدول ۴-۲- بخشی از فایل ورودی Geology برای معدن ورتاوه قمصر.....	۴۳
جدول ۴-۳- بخشی از فایل ورودی Assay برای معدن ورتاوه قمصر.....	۴۴
جدول ۴-۴- بخشی از فایل ورودی survey برای معدن ورتاوه قمصر.....	۴۴
جدول ۴-۵- اطلاعات ورودی لازم جهت ساخت مدل بلوکی.....	۴۸
جدول ۴-۶- پارامترهای فنی معدن ورتاوه.....	۵۱
جدول ۴-۷- هزینه‌های عملیاتی بخش معدن.....	۵۲
جدول ۴-۸- مشخصات پیت بهینه.....	۵۷
جدول ۴-۹- ارزش خالص فعلی سکانسهای ۲ تا ۴ پوشبک.....	۶۰
جدول ۴-۱۰- پوشبکهای انتخابی.....	۶۱
جدول ۴-۱۱- برنامه‌ریزی تولید بهینه بلندمدت نرمافزار NPVS.....	۶۳
جدول ۴-۱۲- برنامه‌ریزی تولید ماهانه در سال اول حاصل از نرمافزار NPVS.....	۶۵
جدول ۴-۱۳- برنامه‌ریزی تولید ماهانه در سال دوم حاصل از نرمافزار NPVS.....	۶۶
جدول ۴-۱۴- برنامه‌ریزی تولید ماهانه در سال سوم حاصل از نرمافزار NPVS.....	۶۷
جدول ۴-۱۵- مشخصات ورودی معدنکاری در نرمافزار Minesched.....	۷۱
جدول ۴-۱۶- تناژ پیت بهینه نهایی و تناژ روزانه ورودی به نرمافزار Minesched.....	۷۱
جدول ۴-۱۷- برنامه‌ریزی تولید سالیانه حاصل از نرمافزار Minesched.....	۷۳
جدول ۴-۱۸- برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال اول (۱) نرمافزار Minesched.....	۷۶
جدول ۴-۱۹- برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال دوم (۱) نرمافزار Minesched.....	۷۶
جدول ۴-۲۰- برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال سوم (۱) نرمافزار Minesched.....	۷۷
جدول ۴-۲۱- برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال اول (۲) نرمافزار Minesched.....	۷۸
جدول ۴-۲۲- مقایسه نرخ تولید کانسنگ، عیار و باطله سالیانه.....	۸۰
جدول ۴-۲۳- مقایسه نرخ تولید کانسنگ، عیار و باطله ماهانه در سال اول (۱).....	۸۱
جدول ۴-۲۴- مقایسه نرخ تولید کانسنگ، عیار و باطله ماهانه در سال اول (۲).....	۸۳
جدول ۴-۲۵- مقایسه تناژ پیت نهایی طراحی شده حاصل از نرمافزار Datamine با نرمافزار NPVS و Minesched.....	۸۶
جدول ۴-۲۶- مقایسه تناژ پیت طراحی شده سال اول با نرمافزارها.....	۸۷

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه با توجه به رو به اتمام بودن ذخایر سطحی و عمیق بودن بسیاری از ذخایر معدنی موضوع چگونگی استخراج آنها به گونه‌ای که بیشترین سود اقتصادی را داشته باشد و در عین حال ایمنی کار نیز تضمین شود، بسیار با اهمیت است. داشتن بیشترین سود اقتصادی در عین توجه به محدودیت‌های فنی معدنکاری نوعی بهینه‌سازی را طلب می‌کند. در گذشته طراحی محدوده نهایی با روش‌های دستی انجام می‌گرفت که دارای خطای بسیاری بود و به هیچ وجه تضمین کننده محدوده نهایی بهینه نبود. امروزه طراحی بهینه محدوده نهایی و برنامه‌ریزی تولید با استفاده از کامپیوتر و بر روی مدل بلوکی سه بعدی ذخیره انجام می‌شود [۱].

هدف از برنامه‌ریزی تولید معادن روباز تعیین ترتیب استخراج بلوک‌ها در داخل پیشروی‌ها^۱ است، که باید با دقت زیادی انجام شود. ترتیب استخراج بلوک‌ها باید به گونه‌ای انجام شود که ابتدا قسمت‌های پرعیار ماده معدنی و سپس قسمت‌های کم‌عیار استخراج شود، تا بیشترین ارزش خالص فعلی (NPV)^۲ ممکن حاصل شود. البته با توجه به این موضوع، باطله‌برداری را تا حد ممکن باید به تعویق انداخت [۲].

۱-۲- بیان مسئله

برنامه‌ریزی تولید معدن شامل یافتن یک سری بلوک‌هایی است که براساس انواع محدودیت‌های فنی و اقتصادی باید انتخاب و استخراج شود. برنامه‌ریزی تولید یک روند چند زمینه‌ای است که نیاز

^۱ pushbacks

^۲ Net Present Value

به جمع‌آوری داده در زمینه‌های مختلف را دارد. وظیفه اصلی برنامه‌ریزی تولید بیشینه کردن سود است. انواع برنامه‌ریزی تولید در معادن شامل: بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت است.

برنامه‌ریزی بلندمدت، ترسیم چارچوب فعالیت‌های معدنکاری است و طولانی‌ترین دیدگاه در مورد فعالیت‌های معدنی را دارد. برنامه‌ریزی میان‌مدت، ماهیت اختصاصی دارد مثلاً مربوط به بخش عیار، ماشین‌آلات و غیره است. برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت برای دوره‌های روزانه، هفتگی، ماهانه و حتی سالانه تهیه می‌شود و برنامه‌ای است که با زمان اجرا فاصله کمی دارد که با توجه به امکانات و موانع و محدودیت‌های در پیش رو تهیه می‌شود و به واقعیت نزدیک‌تر است. برنامه کوتاه‌مدت در راستای برنامه‌ریزی بلندمدت و میان‌مدت تهیه و اجرا می‌شود [۳]. بعد از طراحی محدوده نهایی معدن، نوبت به برنامه‌ریزی برای استخراج بلوک‌های موجود در محدوده پیت بهینه نهایی و تعیین ترتیب استخراج آنها است. برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت پایه‌هایی برای تولید عملیاتی در راستای برنامه‌های بلندمدت و هماهنگی با برنامه‌های عملیاتی آن در دو بخش اهداف تولید و اختلاط کانسنگ تمرکز دارد. به عبارتی برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت با هدف کنترل عملیات اجرایی و محدودیت‌ها، اما در راستای برنامه‌ریزی بلندمدت حرکت می‌کند تا در نهایت در پایان عمر معدن به بیشترین ارزش خالص فعلی دست پیدا کند.

۱-۳- ضرورت انجام مسئله

با توجه به اینکه برنامه‌ریزی تولید بلندمدت برای مدت زمان بیشتری تهیه می‌شود، فاصله زیادی با جزئیات معدنکاری دارد که باعث وجود اثرات منفی مانند افزایش خطا در محاسبات و اجرای پروژه، کاهش راندمان معدنکاری و درنهایت کاهش سود می‌شود. به عنوان مثال خوراک‌دهی به کارخانه‌ی فرآوری در برنامه‌ی بلندمدت کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. لذا برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت از نظر اجرایی مورد بحث بوده و هرچه نزدیک‌تر به زمان معدنکاری و شرایط و محدودیت‌های اجرایی باشد دارای خطای کمتر و راندمان بالاتر است [۴].

ترابری نیمی از هزینه‌های عملیاتی را به خود اختصاص می‌دهد و در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت یکی از مسائل پراهمیت به شمار می‌آید. مورد مطالعاتی این پروژه معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر-کاشان است. با توجه به محدودیت‌های موجود در معدن از جمله اختلاف ارتفاع زیاد ماده معدنی نسبت به کارخانه فرآوری، عرض معدنکاری کوچک و قدرت کم مانور ماشین‌آلات و همچنین با توجه به پیچیدگی ساختار زمین‌شناسی منطقه، ضرورت برنامه‌ریزی تولید را افزایش می‌دهد. به خصوص ساختار زمین‌شناسی باعث شده است تا در هر قسمت از پیت مورد استخراج، قسمتی به صورت توده‌ای، قسمتی به صورت رگه‌های بزرگ و یا وجود رگه‌های کوچک نفوذ یافته درون سنگ باطله (سیلیس دار) باشد. از این رو نبود پیوستگی در کانسنگ ماده معدنی و نزدیکی آن با باطله در کنار یکدیگر کار را دشوار و گاهی عیار کانسنگ ارسالی به کارخانه فرآوری را دچار مشکل می‌کند. لذا صرفاً با تکیه بر برنامه‌ریزی بلندمدت نمی‌توان به طور دقیق تناژ و عیار کانسنگ استخراج شده به کارخانه را در دوره‌های کوتاه‌تر تعیین کرد، لذا با توجه به وضعیت این معدن، برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت که زمان کمتری را با اجرای پروژه دارد تاثیر به‌سزایی در جانمایی ماشین‌آلات، میزان خوراک‌دهی به کارخانه، مسائل فنی و اقتصادی و شرایط آب و هوایی و سایر محدودیت‌ها را دارد. عواملی چون تغییر ارزش زمانی پول، پیشرفت تکنولوژی، انجام اکتشافات تکمیلی و غیره لازم است که محدوده نهایی و به تبع آن برنامه‌ریزی تولید مورد بازنگری و طراحی مجدد قرار گیرد. با توجه به وضعیت ناپایدار اقتصادی و فنی در معادن ایران، برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت مسیر هموارتری برای رسیدن به اهداف معادن است.

۴-۱- اهداف پایان‌نامه

اهداف اصلی برنامه‌ریزی تولید در این پایان‌نامه عبارتند از:

- برنامه‌ریزی تولید با توجه به نرخ تولید و عیار مورد درخواست کارفرما
- کنترل تناژ و عیار ورودی به سنگ‌شکن در راستای برنامه‌ریزی تولید
- به دست آوردن مجموع ظرفیت ماشین‌آلات با توجه به نرخ تولید

- تعیین جهت استخراج و قرار دادن ماشین آلات در مکان مناسب در برنامه کوتاه مدت
- رسیدن به برنامه ریزی تولید کوتاه مدت با کمترین انحراف از برنامه ریزی تولید بلند مدت
- مشخص شدن اهمیت ویژه برنامه ریزی تولید کوتاه مدت عملیاتی با توجه به راه های دسترسی و تاثیر آن بر تداوم اجرای درست استخراج

۱-۵- سازماندهی پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر پنج فصل است:

فصل اول: در این فصل مقدمه، بیان مسئله، ضرورت آن، اهداف و سازماندهی پروژه بیان شده است.

فصل دوم: در این فصل آشنایی با کلیات برنامه ریزی تولید و سابقه موضوع بیان شده است.

فصل سوم: در این فصل آشنایی با معدن ورتاوه قمصر پرداخته شده است .

فصل چهارم: در این فصل به فرآیند و مقایسه برنامه ریزی تولید بلند مدت و کوتاه مدت، توسط

نرم افزار NPVS و Minesched پرداخته شده است.

فصل پنجم: در این فصل نتیجه گیری و پیشنهادات مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل دوم

برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز

۲-۱- مقدمه

به طور کلی برنامه‌ریزی در معادن با توجه به طراحی محدوده بهینه نهایی و برنامه‌ریزی تولید انجام می‌شود. در این فصل مختصری از مفهوم بهینگی و روش‌های انتخاب محدوده بهینه و عوامل موثر در برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز، با بررسی انواع و روش‌های آن پرداخته شده است. اهداف اصلی برنامه‌ریزی بلندمدت، با هدف بیشینه کردن ارزش خالص فعلی پروژه و برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت، با رسیدن به زمان‌بندی مناسب استخراج بلوک‌ها است. در این فصل با توجه به اهمیت بسیار زیاد برنامه‌ریزی تولید در معادن، مطالعات انجام شده از گذشته تا به امروز در سه بخش برنامه‌ریزی تولید بلندمدت و کوتاه‌مدت و به طور مشترک با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲- برنامه‌ریزی در معادن روباز

برنامه‌ریزی برای دسترسی به هدف خاص انجام می‌پذیرد. بدین منظور باید با به کارگیری کلیه زمینه‌های علمی برنامه‌ای را ارائه داد که از میان برنامه‌های موجود مناسب‌ترین برنامه برای دسترسی به هدف باشد [۳].

۲-۲-۱- عوامل موثر برنامه‌ریزی در معادن روباز

به طور کلی عواملی که در برنامه‌ریزی تولید معادن روباز موثرند عبارتند از [۳] :

الف) عوامل زمین‌شناسی^۱

ب) عوامل اقتصادی^۲

¹ Geology

² Economic

ج) عوامل فنی^۱

الف) عوامل زمین‌شناسی عبارتند از: شرایط زمین‌شناسی، نوع کانسنگ، عیار، مختصات ذخیره، اندازه، تناژ، هیدرولوژی، توپوگرافی، شرایط جوی و خصوصیات زیست محیطی اطراف محدوده معدن.

ب) عوامل اقتصادی عبارتند از: نسبت باطله‌برداری، عیار حد، هزینه عملیاتی، هزینه سرمایه‌گذاری، سود مشخص، نرخ تولید، هزینه‌های فرآوری، ذوب و پالایش و شرایط بازار.

ج) عوامل فنی عبارتند از: ماشین‌آلات (تکنولوژی به کار گرفته شده و امکان دسترسی)، شیب معدن، ارتفاع پله، شیب جاده و محدوده نهایی معدن.

۲-۲-۲- اهداف اصلی برنامه‌ریزی معادن روباز

برنامه‌ریزی برای معادن روباز با توجه به دو هدف اصلی صورت می‌گیرد [۳]:

- تعیین محدوده بهینه نهایی پیت در معادن روباز
- برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز

۲-۳- تعیین محدوده نهایی پیت در معدن روباز

تعیین محدوده بهینه معادن روباز یکی از مهمترین بخش‌های طراحی در این معادن است. روش‌های فعلی، محدوده نهایی را با تعیین مرزی، که در آن مجموع سود تنزیل نشده بلوک‌ها بیشترین مقدار است، تعیین می‌کنند. با این وجود بهتر است که طراحی محدوده نهایی با حداکثرسازی ارزش خالص فعلی انجام گیرد [۵].

¹ Technical

۲-۳-۱- بهینه‌سازی^۱ و مفهوم آن

بهینه‌سازی را می‌توان به معنی انتخاب بهترین روش از میان راه‌حل‌های محتمل و موجود، تعریف نمود. به بیان دیگر عملکردی به منظور نائل شدن به مهم‌ترین نتیجه تحت شرایط موجود سیستم، با هدف حداکثر افزایش بازدهی آن سیستم است [۶].

بهینه‌سازی محدوده‌نهایی معادن روباز بر پایه اجرای یک الگوریتم توسط کامپیوتر استوار است که برای یک مدل سه‌بعدی از ماده معدنی به کار گرفته می‌شود. با استفاده از کامپیوتر طراحی محدوده نهایی بهینه بسیار سریع، آسان و دقیق شده است در حالی که در گذشته برای طراحی جزئیات پیت حدود ۱۲ تا ۱۴ ماه وقت صرف می‌شد [۷].

استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی محدوده‌نهایی معادن روباز بطور متوسط، موجب افزایش ۵ درصدی جریان نقدینگی می‌شود. با انجام این کار، میلیون‌ها دلار سود اقتصادی بیشتر نصیب معدن می‌گردد و در مواردی پروژه‌های غیر اقتصادی را کاملاً توجیه‌پذیر می‌کند [۶].

۲-۳-۲- روش‌های تعیین محدوده‌نهایی معادن روباز

روش‌های تعیین محدوده‌نهایی معادن روباز را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم نمود [۸]:

❖ روش دستی

❖ روش دستی-کامپیوتری

❖ روش کامپیوتری

۲-۳-۳- الگوریتم‌های بهینه‌سازی

طراحی بهینه محدوده‌نهایی در معادن روباز موضوعی است پیچیده که مستلزم انجام محاسبات بسیاری است و از سال ۱۹۶۰ الگوریتم‌های مختلفی برای حل این مسأله معرفی و به کار رفته است.

¹ Optimization

این الگوریتم‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود؛ دسته اول شامل الگوریتم‌هایی است که دارای اثبات ریاضی^۱ هستند نظیر روش لرج و گروسمن^۲ دوبعدی و سه‌بعدی و دسته دوم شامل الگوریتم‌هایی است که دارای منطق جست‌وجوگر^۳ هستند. مثل روش‌های مختلف مخروط شناور که این الگوریتم‌ها در بعضی حالات قادر به تعیین جواب بهینه نهایی نیستند. مهم‌ترین الگوریتم‌های تعیین محدوده نهایی در معادن روباز عبارت‌اند از [۸]:

۱- روش لرج و گروسمن^۴

۲- روش شبکه و حداکثر جریان

۳- روش مخروط شناور

۴- روش مخروط شناور II

۵- الگوریتم کوروبوف^۵

۶- روش برنامه‌ریزی پویا^۶

۷- روش‌های پارامتری کردن

۸- سایر روش‌ها نظیر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم حمل و نقل

۲-۴- برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز

مسائل زیادی در برنامه‌ریزی تولید با روش‌های بهینه‌سازی حل می‌شود که از جمله مهم‌ترین آن می‌توان به بهینه‌سازی محدوده نهایی کاواک، طراحی پوش بک‌ها، تعیین برنامه استخراج در افق‌های زمانی مختلف، انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات و غیره اشاره کرد [۹].

¹ Rigorous

² Lerchs and Grossman

³ Heuristic

⁴ Lerchs and Grossmann

⁵ Corobov

⁶ Dynamic Programming

برنامه‌ریزی تولید یکی از مراحل مهم و اساسی در فرایند طراحی و برنامه‌ریزی یک معدن روباز به شمار می‌رود. این مرحله پس از تعیین پارامترهای تولید طراحی معدن و برآوردهای اقتصادی از هزینه‌ها و درآمدها و تعیین محدوده نهایی معدن انجام می‌شود [۱۰].

❖ انواع برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز

انواع برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز عبارتند از [۳]:

- برنامه‌ریزی تولید بلندمدت
- برنامه‌ریزی تولید میان‌مدت
- برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت

۲-۴-۱- برنامه‌ریزی تولید بلندمدت

یکی از ارکان‌های اصلی برنامه‌ریزی معدن، برنامه‌ریزی تولید بلندمدت است که یک امر بسیار مهم در تحقیقات نظری استخراج معادن روباز است و توزیع جریان نقدینگی را در سراسر عمر معدن مشخص می‌نماید [۹].

گام اول در طراحی معدن، برنامه‌ریزی تولید بلندمدت است که هدف آن بیشینه کردن سود خالص کلی پروژه معدنی با توجه به محدودیت‌های عملیاتی همچون شیب معدنکاری، عیار، تولید ماده معدنی و ظرفیت تولید است. بعد از تعیین مدل بلوکی زمین‌شناسی و اقتصادی، محدوده نهائی معدن باید تعیین شود. طراحی بهینه محدوده نهائی در معادن روباز موضوعی پیچیده است و مستلزم محاسبات بسیاری است [۲]. برنامه‌ریزی بلندمدت طولانی‌ترین برنامه تا پایان عمر معدن است که معمولاً عمر پروژه ۱۰ تا ۲۰ سال و هر ۵ تا ۱۰ سال قابل تجدید نظر است و دارای خطای ۲۵ درصد است. برنامه‌ریزی تولید بلندمدت اغلب برای مطالعات امکان‌سنجی یا بودجه‌ای بوده و کار طراحی پیت و تخمین ذخیره را تکمیل می‌کند و جزء مهمی در فرآیند تصمیم‌گیری به‌شمار می‌آید [۳].

۲-۴-۱-۱- اهداف برنامه‌ریزی تولید بلندمدت

اهداف برنامه‌ریزی تولید بلندمدت در معادن روباز عبارتند از [۳]:

❖ بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی پروژه

❖ کمینه‌سازی ریسک دستیابی به اهداف تولیدی

❖ بیشینه‌سازی عمر معدن

این اهداف تا حدودی با یکدیگر متناقض‌اند؛ مثلاً برنامه‌ای با حداکثر ارزش خالص فعلی، ممکن است با برنامه‌ای با حداقل ریسک، منطبق نباشد. در این حالت بسته به میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی طراح، برنامه‌ای که ریسک آن کم و سود آن حداکثر باشد برای تولید در نظر گرفته می‌شود.

۲-۴-۱-۲- محدودیت‌های برنامه‌ریزی تولید بلندمدت

محدودیت‌های برنامه‌ریزی تولید بلندمدت عبارتند از [۱۱]:

- حداقل و حداکثر تناژی از کانسنگ که در هر بازه زمانی باید تولید شود.
- حداقل و حداکثر کنسانتره‌ای که باید در هر بازه زمانی تولید شود.
- حداقل تناژ باطله‌ای که باید در هر دوره زمانی استخراج شود تا در دوره‌های زمانی بعد کانسنگ برای استخراج به مقدار کافی در دسترس باشد.
- حداکثر تعداد پله‌هایی که در هر بازه زمانی، استخراج از آنها صورت می‌گیرد.
- بالاترین و پایین‌ترین پله‌ای که در هر بازه زمانی، استخراج از آنها صورت می‌گیرد.
- حداقل و حداکثر پارامترهای کیفی مربوط به محصول نهایی تولیدی.
- حداقل تناژ کانسنگ باقیمانده در هر بازه زمانی.
- حداقل تناژ باطله باقی مانده در هر بازه زمانی.
- محدودیت زاویه شیب.

- محدودیت‌های مربوط به انباشتگاه کانسنگ.
- حداقل عرض کف پیت.
- وجود معادن زیرزمینی یا فضا‌های زیرزمینی بزرگ در اطراف معدن روباز که باعث تغییر در برنامه‌ریزی تولید بلندمدت می‌شود.
- وجود دمپ باطله یا ضایعات کارخانه فرآوری به خاطر فعالیت‌های معدنی.
- وجود خطوط انتقال برق و جاده‌های برون شهری در اطراف معدن.

۲-۴-۲- برنامه‌ریزی تولید میان‌مدت

طول افق برنامه‌ریزی تولید میان‌مدت ۱ تا ۱۰ سال است که این افق به تعدادی بازه یک تا شش ماهه تقسیم می‌شود، ماهیت اختصاصی دارد (مثلاً مربوط به بخش عیار، ماشین آلات و غیره است) و به ازای هر ۵ سال قابل تجدید نظر بوده و دارای خطای حدود ۱۵ درصد است [۳]. برنامه‌های میان‌مدت در واقع اساس و پایه برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت در معادن است. هدف از تهیه این برنامه، پیش‌بینی میزان تولید، هزینه و درآمد است. پارامترهای موثر برنامه‌ریزی تولید میان‌مدت عبارتند از [۱۱]:

- میزان تولید و کارکرد شاول و کامیون و تجهیزات حفاری در بازه‌های یک تا شش ماهه.
- عیارها، مقدار بازیابی و مشخصات بلوک‌ها به منظور برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت.
- پیش‌بینی کارهای ساخت و ساز و آماده‌سازی که نیاز است در سال‌های بعدی انجام گیرد.
(نظیر جاده‌ها، باز کردن ناحیه جدیدی از معدن، ساخت حوضچه آبکشی و غیره)
- دمپ‌های باطله‌ای که می‌بایست در آینده برای انباشت باطله مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به این موارد، حجم عملیات معدنی و تجهیزات لازم و همچنین لوازم یدکی مورد نیاز به طور دقیق قابل محاسبه است.

۲-۴-۳- برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت

برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت با توجه به نزدیک بودن آن به اجرای پروژه و درصد خطای کمتر، اهمیت بسیار زیادی در راستا و اهداف پروژه به طور صحیح خواهد داشت [۲].

برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت چگونگی ترتیب استخراج بلوک‌های کانسنگ و باطله را برای دوره‌های زمانی شیفته، روزانه، هفتگی یا ماهانه تعیین می‌کند. هدف از این برنامه‌ریزی تعیین زمان استخراج بلوک‌ها به گونه‌ای است که محدودیت‌هایی مانند حداقل و حداکثر عیار مواد ارسالی به کارخانه فرآوری، تناژ کانسنگ و باطله استخراجی از معدن، شیب معدن و غیره در هر دوره زمانی برآورده شوند [۱۲]. همان‌طور که بیان شد برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت برنامه‌ای است که با زمان اجرا فاصله کمی دارد و با توجه به شرایط و محدودیت‌های پیش رو تهیه می‌شود، بر همین اساس داده‌ها جزئی‌تر از برنامه بلندمدت و برنامه میان‌مدت بوده و به واقعیت نزدیک‌تر هستند. برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت در راستای برنامه‌ریزی بلندمدت و میان‌مدت تهیه و اجرا می‌شود و دارای خطای حدود ۵ درصد است [۳].

به عبارتی برنامه‌ریزی کوتاه مدت با هدف کنترل بر عملیات اجرایی و در نظر گرفتن محدودیت‌ها، اما در راستای برنامه‌ریزی بلندمدت حرکت می‌کند تا در نهایت در پایان عمر معدن به بیشترین ارزش خالص فعلی دست پیدا کند. اهداف برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت عبارتند از [۱۳]:

- تامین نیازهای اختلاط از نظر کیفیت مواد ارسالی به کارخانه در هر زمان.
- (هدف از اختلاط، فرستادن کانسنگ با کیفیت ثابت به کارخانه فرآوری است. کنترل عیار مشکل‌ترین و مهمترین مرحله برنامه‌ریزی تولید است، زیرا وقتی کارخانه فرآوری با بالاترین بازدهی کار می‌کند که تغییرات در خوراک ورودی به کارخانه به حداقل برسد).
- تامین نیازهای کمی سایت اختلاط و کارخانه فرآوری به منظور فراهم آوردن تناژ مورد نیاز کارخانه فرآوری.

- حداکثر استفاده از ظرفیت تجهیزات معدنی (این مهم با به حداقل رساندن زمان بیکاری ماشین‌آلات و جلوگیری از جابه‌جایی بیش از حد آنها امکان‌پذیر است).
- به حداقل رساندن انحراف از برنامه‌ریزی تولید بلندمدت.
- اطمینان یافتن از این که در سال‌ها یا ماه‌های بعد بتوان به اهداف فوق دست یافت.
- برنامه‌ریزی تولید باید به گونه‌ای انجام شود که علاوه بر قابلیت کاربری آن در شرایط معمولی کانسار، بتوان آن را به سرعت در موارد اضطراری پیش‌بینی نشده نیز به کار برد.
- برنامه‌ریزی باید از حداکثر قابلیت انعطاف برخوردار باشد، یعنی اینکه مهندس برنامه‌ریز امکان اعمال نظر در برنامه‌ریزی را از طریق حذف یکی از محدودیت‌های ذکر شده، داشته باشد.
- اطمینان یافتن از این که برای استخراج کانسنگ در هر زمان، باطله‌برداری مربوط به آن قبلاً انجام شده باشد.
- در نظر گرفتن زوایای شیب پایدار در نقاط مختلف معدن.
- فراهم آوردن جاده دسترسی به تمام پله‌های در حال کار معدن.
- اطمینان یافتن از اینکه حداقل عرض لازم برای مانور شاول، بیل و کامیون در پله وجود دارد.

اگر بتوان برنامه‌های کوتاه مدتی را برای تولید معدن تهیه کرد که به همه اهداف ذکر شده در فوق دست یافت، می‌توان ادعا کرد که سود عملیات نیز حداکثر خواهد شد. ذکر این نکته ضروری است که در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت، ممکن است ظرفیت کلی تجهیزات در دسترس مدنظر قرار گیرد، اما در این مرحله هیچ برنامه‌ای برای ماشین‌آلات تهیه نشود، یعنی به این مورد که کدام تجهیزات کی و کجا استفاده شوند، پرداخته نخواهد شد [۱۴].

برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت معدن روباز برای برنامه‌ریزان معادن، مهندسان معدن، زمین‌شناسان و مدیران فنی است که مسئول فعالیتهایی هستند که برای تولید و یا نظارت بر برنامه‌های تولید ماهانه و

هفتگی معادن طراحی شده‌اند. برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت معادن روباز در افق کمتر از یک یا دو سال با بازه زمانی روزها، هفته‌ها و یا ماه‌ها، جدیدترین تکنولوژی‌های رایج را مورد تحقیق و بررسی قرار می‌دهد. در ادبیات آموزشی، مشکلات برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت برای معادن روباز به اندازه برنامه ریزی‌های تولید میان‌مدت و بلندمدت مورد توجه قرار نگرفته است [۱۱].

یک سلسله از فعالیت‌های برنامه‌ریزی در طول دوره عمر معدن به وقوع می‌پیوندد از قبیل عملیاتی که ناشی از تصمیم‌گیری‌های روزانه روی موقعیت تجهیزات، مسیر تراک، کیفیت و خصوصیات خوراک سنگ‌شکن است؛ که در تصمیم‌گیری‌های بلندمدت و استراتژیک روی زمان توسعه یا ساخت بناها و زیربناها و باز کردن و بستن نواحی سایت‌های معدنی تاثیرگذار است. در هر افق (بصورت روزانه از عمر معدن) یک طراح، بلوک‌ها یا نواحی از کانسنگ را (از مدل بلوکی کانسار) انتخاب می‌کند تا بطور متناوب بتواند استخراج صورت پذیرد. محدوده مورد علاقه طراح برنامه‌ریز کوتاه‌مدت در تقابل با چندین هفته یا ماه است (اساساً بیشتر از یکی دو سال نمی‌باشد). طراح برنامه‌ریز، بلوک‌مدل را در محدوده مشخص به نواحی مختلف، تقسیم کرده که بطور کلی شامل بلوک‌های ماده معدنی و باطله است. بلوک‌های انفجار یافته برای فرآیند استخراج آماده شده و قبل از استخراج، یک زمین‌شناس بلوک‌ها را بر اساس محدوده عیاری به عنوان مثال، کم عیار و پرعیار با توجه به نمونه‌های آزمایش شده تقسیم می‌کند. در این سطح از برنامه‌ریزی‌های روزبه‌روز یا شیفت به شیفت، تصمیم‌گیری‌ها در محدوده محل استخراج و تغذیه سنگ‌شکن یا فرآوری گرفته شده و با دستیابی به تولید روزانه منظم، مراحل دیگر معدنکاری متناسب می‌گردد [۱۳].

۲-۵- برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت در مقابل برنامه‌ریزی بلندمدت

برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت با بلندمدت در برخی مسائل با یکدیگر متفاوت هستند. این تفاوت‌ها از قبیل نوع مدل بلوکی مورد استفاده شده در فرآیندهای برنامه‌ریزی؛ توزیع زمانی (از قبیل هفتگی یا زمان‌های کوتاه‌تر در مقابل برنامه‌ریزی‌های سه ماهه)، هدف‌ها و تعداد آن‌ها و موارد بهینه‌سازی

شده است. همچنین محدودیت‌هایی که در طول دوره بهینه‌سازی بیشتر باید مورد توجه قرار بگیرند و نیز سطح جزئیات که در عملیات معدنکاری مدل می‌شوند، را شامل شود. در سابقه برنامه‌ریزی بلندمدت، یک مدل بلوکی شامل مجموعه‌ای از میلیون‌ها بلوک یک اندازه است. اولییتی که بین بلوک‌ها در این مدل موجود است محدودیت‌ها را بر روی بلوک‌ها تعیین می‌کند که کدام بلوک باید زودتر استخراج شود. بطور نمونه، ۵ بلوک (یا ۹ بلوک) که مستقیماً بالای سر یک بلوک واقع است جز آن اولییت‌ها هستند و باید زودتر استخراج شوند تا بلوک مورد نظر قابل دستیابی باشد. این اولییت‌ها محدودیت‌هایی که برای پایداری شیب دیواره در معدنکاری مورد تقاضا است، را تضمین می‌کند. اما بلوک مدلی که توسط طراحان برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت، فراخوانی می‌شود بخش‌هایی از یک کانسنگ (ناحیه‌ایی که مرتبط با معدنکاری در آینده نزدیک است) که همراه با بلوک‌های ماده معدنی و باطله است، تقسیم می‌شود [۱۲].

برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت در بخشی از فعالیت‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که تصمیم‌گیری‌های روز به روز و شیفت به شیفت، مقدار مواد برای استخراج و حمل برای سنگ‌شکن را تعیین می‌کند. به این ترتیب روزانه با هدف‌های کمی و کیفی در عملیات مواجه هستیم. در مقابل، مدل‌های برنامه‌ریزی بلندمدت، بلوک‌های استخراجی را در طول بازه زمانی مشخص از عمر معدن با هدف حداکثر کردن نرخ ارزش فعلی انتخاب می‌کند. هر بلوک یک ارزش اقتصادی (مثبت یا منفی) وابسته به سال استخراج خود، بازدهی دارد [۱۴].

۲-۶- روش‌های برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز

روش‌های موجود برای برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز، زمان استخراج هر بلوک و مقصد نهایی ارسال آنها را مشخص می‌کنند. مشکلاتی از قبیل تعداد ورودی‌های مدل، ماهیت پارامترها (قطعی - غیرقطعی) و زمان حل آنها همواره محققین را بر یافتن الگوریتم‌های مناسب متمایل

ساخته است. به نحوی که از اواسط دهه 60 میلادی تاکنون الگوریتم‌های ابتکاری و ریاضی زیادی برای حل مسئله زمان‌بندی تولید در معادن روباز ارائه شده است.

جواب به دست آمده از تکنیک‌های ریاضی، اگرچه از نظر ریاضی بهینه است، اما ممکن است از نظر عملی قابل اجرا نباشد. در مقابل، با استفاده از روش‌های ابتکاری می‌توان به جواب خوب و عملی، اما نه لزوماً بهینه، دست یافت. با توجه به ماهیت پارامترهای ورودی، روش‌های ارائه شده برای برنامه‌ریزی تولید معادن روباز به روش‌های قطعی و مبتنی بر عدم قطعیت تقسیم می‌شوند. در روش‌های قطعی تمامی داده‌های ورودی به صورت قطعی فرض شده و در روش‌های مبتنی بر عدم قطعیت با توجه به منبع عدم قطعیت، توزیعی از مقادیر به جای یک مقدار واقعی استفاده می‌گردد [۱۵].

اولین بار مفهوم سرمایه‌گذاری و اهمیت تولید در معدن در سال ۱۹۰۹ میلادی را هوور^۱ بیان کرد که "سرمایه‌گذاران نیاز دارند، سطح سرمایه‌گذاریشان را با درآمدی که دریافت می‌کنند و همچنین، با نرخ بازگشت سرمایه، سازگاری داشته باشد." هر چه قدر سطح تولید پایین‌تر باشد نیاز به سرمایه‌گذاری را کمتر، زمان دریافت درآمد طولانی‌تر و ریسک سرمایه‌گذاری نیز کمتر خواهد بود [۱۶].

در سال ۱۹۵۵ کارلیسل^۲ و در سال ۱۹۶۰ تسارو^۳ بیان داشتند که برنامه‌ریزی برای تولید باید با هدف بیشینه‌کردن ارزش خالص فعلی بر اساس نرخ تنزیل داده شده صورت گیرد [۱۱].

در سال ۱۹۶۵ لرج وگروسمن بحث برنامه‌ریزی تولید بر اساس پارامترهای اقتصادی را مطرح کردند. آنها معتقد بودند که شناسایی محدوده نهایی پیت به تنهایی برای بهینه‌سازی معدن کافی نیست، بلکه باید توالی‌های استخراج مطلوب را نیز که منجر به استخراج پیت نهایی می‌شود را

¹ Hoover

² Carlisle

³ Tessaro

تعیین کرد. بنابراین آنها پیشنهاد کردند که مراحل مختلف استخراج پیت را می‌توان با استفاده از پیت‌های لانه‌ای مدل کرد. این پیت‌ها در اثر تغییر پارامترهای اقتصادی به دست می‌آیند. پارامتر مورد انتخاب آنها برای طراحی پیت‌های لانه‌ای در واقع عددی بود که از کسر ارزش اقتصادی بلوک به دست می‌آید. اگر این عدد صفر شود استخراج به همان پیت نهایی رسیده است. نتیجه این تغییرات ایجاد تعدادی پیت لانه‌ای است که نشانگر ترتیب استخراج می‌باشد. این الگوریتم را پیت‌های لانه‌ای^۱ می‌نامند [۶].

گرشان^۲ در سال ۱۹۸۷ الگوریتمی برای برنامه‌ریزی بلندمدت ارائه نمود که مدعی است در آن ملاحظات برنامه‌ریزی میان‌مدت و کوتاه‌مدت نیز لحاظ شده است. در این روش مخروط به گونه‌ای ایجاد می‌شود که در راس آن بلوک کلیدی^۳ قرار گیرد (بلوک کلیدی به بلوکی اطلاق می‌گردد که اگر استخراج شود تعدادی بلوک زیر آن که توجیه اقتصادی دارند نیز استخراج می‌شوند). سپس مخروط با توجه به محدودیت شیب تشکیل و با جمع جبری بلوک‌های داخل مخروط ارزش نهایی را برای بلوک کلیدی در نظر می‌گیرند. همین روش برای سایر بلوک‌ها نیز عمل می‌شود. نهایتاً هر بلوک کلیدی دارای ارزشی خواهد شد. سپس این بلوک‌های کلیدی را بر اساس ارزش اقتصادی طبقه‌بندی می‌کنند و طبیعتاً اولویت استخراج با بلوک کلیدی یا مخروطی است که بالاترین ارزش را دارا است [۱۷].

سال ۱۹۹۵ دنبای^۴ و شفیلد^۵ بر مبنای الگوریتم ژنتیک^۶ مدلی برای برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز ارائه نمودند که در آن ریسک زمین‌شناسی (عدم قطعیت زمین‌شناسی) نیز منظور گردیده

¹ Nested Algorithm

² Gershon

³ Key Block

⁴ Denby

⁵ Schofield

⁶ Genetic algorithm

بود. هدف از این مدل بیشینه کردن ارزش خالص فعلی و به حداقل رساندن ریسک با استفاده از یک تابع چند هدفه بود [۱۸].

در سال ۱۹۹۵ الولی^۱ با استفاده از روش‌های تحقیق در عملیات و هوش مصنوعی راه حلی برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید و تعیین محدوده نهایی پیت به طور همزمان ارائه داد. الگوریتم بر این اساس بود که بهترین ماده معدنی، ماده‌ای است که بالاترین عیار را داشته است [۱۹].

در سال ۱۹۹۶ تولوینسکی^۲ و آندروود^۳ الگوریتمی را ارائه نمودند که در نرم‌افزار NPVS مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس این الگوریتم برنامه‌ریز اهداف و محدودیت‌های مدل را بر اساس متغیرهای هدف تعریف کرده، به طوری که این متغیرها تابعی از خصوصیات بلوک^۴ مثل تناز کانسنگ و عیار است [۲۰].

آکایک^۵ و داگدلن^۶ در سال ۱۹۹۹ الگوریتمی به عنوان آزادسازی چهاربعدی شبکه‌ای ارائه نمودند که در آن علاوه بر در نظر گرفتن عیار حد دینامیکی، انباشتگاه کانسنگ^۷ نیز در مدل برنامه‌ریزی تولید در نظر گرفته شده است. در این روش با استفاده از ضرایب لاگرانژ^۸ مسئله برنامه‌ریزی تولید به یک مسئله تعیین محدوده نهایی پیت تبدیل می‌شود [۲۱].

در سال ۲۰۰۱ ونگ و سویم^۹ الگوریتمی ارائه نمودند که در آن برای برنامه‌ریزی تولید نیاز به شناسایی محدوده نهایی نیست و از تکنیک گرشان نیز استفاده می‌شود. الگوریتم آنها بر این اساس استوار است که حداکثر ارزش خالص فعلی مستلزم استخراج ماده معدنی پر عیار در سال‌های اولیه

¹ Elevli

² Tolwinski

³ Underwood

⁴ Block attributes

⁵ Akaike

⁶ Dagdelen

⁷ Stockpile

⁸ Lagrange

⁹ Wang and Sevim

است. سپس پیشروی‌هایی در اولویت خواهند بود که از پیشروی‌های مشابه از ارزش یا فلز بیشتری برخوردارند. لذا پیت‌هایی با تعداد M بلوک کانسنگ از میان $M+N$ بلوک کانسنگ که از مقدار فلز بیشتری برخوردارند انتخاب و N بلوک که از فلز کمتری برخوردارند به طور مقطعی حذف خواهند شد [۷].

در سال ۲۰۰۲ جانسون^۱، داگدن و رمضان^۲ بیان داشتند که تعریف بهترین ماده معدنی، ماده‌ای است که علاوه بر این که بالاترین عیار را داشته باشد بلکه برای استخراج آن به کمترین مقدار باطله‌برداری نیاز باشد. این بدان معنی است که این پیشروی‌ها در میان سایر پیشروی‌هایی با حجم یکسان، دارای کمترین نسبت باطله‌برداری است [۲۲].

رمضان و دیمیتراکوپولوس^۳ در سال ۲۰۰۴ مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را برای برنامه‌ریزی بلندمدت معادن ارائه دادند. این پژوهش تحت عنوان کاربردهای اخیر از تحقیق در عملیات و روابط MIP^۴ موثر در معدنکاری معادن روباز است. در ابتدا به نقش و اهمیت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح در برنامه‌ریزی بلندمدت معادن روباز پرداخته شده، سپس مدل‌های مخالف برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح MIP که دارای متغیرهای صفر و یک متفاوتی هستند، انتخاب شده و از نظر زمان اجرا با یکدیگر مقایسه شدند. در نهایت با در نظر گرفتن یک مورد مطالعاتی روابط MIP بررسی شد که مدلی که دارای کارایی بیشتر و زمان اجرای کمتری بوده برای برنامه‌ریزی تولید بلندمدت معدن انتخاب شده است [۲۳].

¹ Johnson

² Ramzan

³ Dimitrakopoulos

⁴ Mixed Integer Program

۷-۲- مطالعات پیشین برنامه‌ریزی تولید بلندمدت

محققان بسیاری موضوع برنامه‌ریزی تولید بلندمدت در معادن روباز را مورد بررسی قرار داده‌اند که به بیان برخی از آن‌ها پرداخته شده است. جانسون در سال ۱۹۶۹ برنامه‌ریزی معدن را با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی بهینه کرد و برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی ابتدا با استفاده از الگوریتم تجزیه Dantzig-Wolf مدل برنامه‌ریزی چندگانه را به تعدادی مسئله اصلی و چند مسئله کوچکتر تقسیم کرد و بعد از آن هر مسئله کوچک‌تر را به عنوان یک مسئله یک دوره‌ای در نظر گرفت [۲۴]. ویلیامز^۱ در سال ۱۹۷۴، ابتدا ترتیب استخراج بلوک‌ها را برای هر بازه زمانی به طور جداگانه تعیین کرد، سپس برنامه‌های تک دوره‌ای انفرادی، با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا با هم ترکیب می‌شوند [۲۵]. داگدلن^۲ و جانسون در سال ۱۹۸۶ برنامه‌ریزی تولید بلندمدت معدن را با استفاده از مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح فرموله کرد و از روش‌های لاگرانژین^۳ برای حل این مدل استفاده کرد [۲۶].

ستاروند در سال ۱۹۹۹، در رساله‌ای با عنوان برنامه‌ریزی تولید معدن مس سونگون، به ارائه یک برنامه‌ریزی بلندمدت توسط برنامه‌ریزی خطی، براساس استفاده از مقدار باطله‌برداری پرداخته است. نتیجه اصلی این رساله، دستیابی به اهداف مورد نظر از جمله: حداکثر کردن ارزش خالص فعلی برای سرمایه‌گذاری، حداقل کردن ریسک برای سرمایه‌گذار و حداقل کردن عمر معدن است [۲۷].

اورعی و همکاران در سال ۲۰۰۴ تحت عنوان برنامه‌ریزی تولید درمعدن سنگ تزئینی، مدلی با برنامه‌ریزی خطی برای تولید بهینه ارائه دادند. با توجه به محدودیت‌های تعریف شده در مدل و متناسب با شرایط واقعی معدن، هدف از این تحقیق حداکثر کردن سود حاصل از عملیات معدنکاری بود [۲۸].

¹ Williams

² Dagdelen

³ Lagrangian

داگدن در سال ۲۰۰۷ بیان کرد که در محاسبه ارزش اقتصادی بلوک‌ها ارزش زمانی پول منظور نمی‌شود. برای غلبه بر این مشکل محققان تعیین محدوده نهائی را پس از انجام برنامه‌ریزی تولید بهینه پیشنهاد دادند [۲۹]. اسد^۱ در سال ۲۰۰۷ با توجه به تحقیقی دریافت، تعیین عیار حد بهینه و محدوده نهائی، برای حداکثرسازی ارزش خالص فعلی، عملیات استخراج روباز تحت تاثیر پارامترهای اقتصادی مانند قیمت فلز، هزینه‌های عملیاتی و پارامترهای ظرفیت استخراج است [۳۰].

اسپینوزا^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۹ یک نمونه از برنامه‌ریزی بلندمدت برای دو مجموعه متغیر از یک مدل برای هر بلوک استخراجی تشریح کردند. مابقی مواد در هر بلوک با ۵ مجموعه محدودیت به هر مقصد موجود فرستاده می‌شود. این مدل برنامه‌ریزی بلندمدت اولویت‌های برنامه‌ریزی را به اجرا درمی‌آورد و محدودیت‌های اصلی روی هر دو مورد (مقدار کلی مواد استخراج شده و مقداری که به هر بخش فرآوری فرستاده شده)، را دربرمی‌گیرد [۳۱].

جی یو^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۰، با استفاده از برنامه‌ریزی پویا^۴ مدلی برای برنامه‌ریزی تولید ارائه دادند که باعث بهینه شدن ترتیب استخراج بلوک‌ها می‌شود [۳۲]. ابوذر حمزه‌نژادی و همکاران در سال ۲۰۱۱، با استفاده از نرم افزار NPVS محدوده نهایی بهینه و برنامه ریزی تولید بلندمدت معدن شماره (۱) گلگهر را تعیین کردند [۳۳].

لامهاری^۵ و دیمیتراکوپولوس در سال ۲۰۱۲، مسائل مربوط به برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز را با رویکرد استفاده از راهکارهای فراابتکاری مورد مطالعه قرار دادند. برای گسترش دامنه جستجو و تولید راهکارهای اولیه که با روش جستجوی ممنوع، بهینه شده‌اند؛ از دو استراتژی مختلف استفاده شده است. اولین استراتژی استفاده از حافظه بلندمدت از تاریخچه جستجو و دومی براساس روش جستجوی همسایگی متغیر است. نتایج عددی بر روی مدل‌های بزرگ مقیاس واقعی نشان دادند که این روش راهکاری موثر با رویکرد تولید راه‌حل‌های خوب در زمان محاسباتی نسبتاً کوتاه است. اما

¹ Asad

² Spinoza

³ Gu

⁴ Dynamic planning

⁵ Lamghari

مدل ارائه شده محدودیت‌های عملیاتی در معادن روباز را در نظر نگرفته است. در واقع، عدم لحاظ کردن محدودیت‌های عملیاتی در مدل‌های برنامه‌ریزی تولید، باعث عدم اجرایی بودن مدل خواهد شد [۳۴].

ستاروند^۱ و نیمان-دلیوس^۲ در سال ۲۰۱۳، الگوریتم فراابتکاری جدید بهینه‌سازی کلونی مورچگان^۳ را ارائه کردند. تجزیه و تحلیل‌ها نشان داده که الگوریتم مذکور قادر به بهبود ارزش برنامه زمان‌بندی استخراج اولیه تولیدی توسط الگوریتم لرچ و گروسمن تا حدود ۹۱ درصد در یک زمان محاسباتی معقول است. از مزایای قابل توجه مدل، امکان متغیر بودن زوایای شیب در مدل ارائه شده و نیز امکان حل مسائل بزرگ مقیاس است. مدل ارائه شده، پشتوانه ریاضی قابل قبول برای رسیدن به جواب نزدیک به بهینه را دارا نیست؛ چرا که بهینه بودن مذکور به شدت وابسته به پارامترهایی مانند تعداد مورچه‌ها، نرخ تبخیر و فرومون^۴ به جامانده در هر تکرار است [۱۰].

دیمیتراکوپولوس و جیوبالی^۵ در سال ۲۰۱۳، رویکرد جدیدی برای برنامه‌ریزی تولید تصادفی چند مرحله‌ای معادن روباز ارائه و در یک معدن طلا مورد آزمایش قرار دادند. مطابق با مشخصات مدل ارائه شده، مدل مذکور برای کانسارهای کوچک قابل پیاده‌سازی است و از پیچیدگی بالایی جهت مدل‌سازی استفاده شده است که این مهم زمان‌بر است [۳۵].

سلیمانی شیشوان و ستاروند ۲۰۱۴، یک روش تقریب فوق ابتکاری جدید بر اساس بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای حل مسائل برنامه‌ریزی تولید معدن روباز ارائه کردند. روش پیشنهادی یک روش بهینه‌سازی سه‌بعدی است که قابلیت در نظر گرفتن هر نوع تابع هدف، محدودیت غیر خطی و محدودیت‌های فنی موجود را داراست. از مزیت‌های مدل ارائه شده، بهینه‌سازی ارزش خالص فعلی و کاهش زمان محاسبات است، اما مدل به لحاظ حساسیت پارامترها که باعث عدم بهینگی می‌شود، رنج می‌برد [۳۶].

¹ Sattarvand

² Niemann-Delius

³ Ant Colony Optimization

⁴ Pheromone

⁵ jubilee

چوان^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بهینه‌سازی پیت نهائی و برنامه‌ریزی تولید معادن روباز فلزی با توجه به کاهش هزینه‌های زیست محیطی و بازسازی پرداختند. سپس هزینه‌های زیست محیطی، در یک الگوریتم بهینه‌سازی گنجانیده شد. تاثیر هزینه‌های زیست محیطی بر طراحی پیت بهینه نشان داد بهینه‌سازی پیت معدن تاثیر قابل توجهی در افزایش ایمنی و سودآوری معدن و کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های زیست محیطی را دارد [۳۷].

گودفیلو^۲ و دیمیتراکوپولوس در سال ۲۰۱۶، یک مدل بهینه‌سازی سراسری تصادفی دو مرحله‌ای جدید برای برنامه‌ریزی تولید معادن روباز ارائه کردند. سه ترکیب از الگوریتم‌های فراابتکاری، از جمله تبرید شبیه‌سازی شده، بهینه‌سازی ذرات تجمعی و تکاملی تفاضلی، برای ارزیابی عملکرد فرآیند حل، آزمایش شده است. کاهش ریسک و بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی از مزایای مدل نامبردگان به شمار می‌رود. از سویی، محدودیت‌های عملیاتی که کارایی، اجراء مدل و بهینگی جواب نهایی را زیر سؤال برده است، لحاظ نشده است [۳۸].

طاهرنژاد و همکاران (۲۰۱۶) با مدل‌سازی و تاثیر عدم قطعیت قیمت و عیار در برنامه‌ریزی تولید در معادن بیان کردند که با توجه به کوچک بودن حجم نمونه‌ها و نوسان قیمت در تهیه مدل عیاری کانسار همواره با عدم قطعیت در عیار و قیمت مواجه می‌شوند. در این خصوص برای عدم قطعیت عیار از روش شبیه‌سازی گوسی متوالی و برای عدم قطعیت قیمت از روش درخت دو جمله‌ای قیمت، مدل‌سازی انجام شد. در مقایسه با روش سنتی به خوبی عدم قطعیت عیار را کاهش و ارزش خالص فعلی را افزایش داد [۳۹].

موحدیان‌فر (۲۰۱۷) با برنامه‌ریزی تولید بلندمدت معدن سنگ آهن چادرملو با استفاده از نرم‌افزار NPVS و با استفاده از پارامترهای فنی و اقتصادی محدوده نهایی بهینه و برنامه‌ریزی بلندمدت را انجام داد که عمر معدن، ارزش خالص فعلی، میزان کانسنگ قابل استخراج و درآمد ناخالص و هزینه‌ها را به دست‌آورد [۴۰].

¹ Chuan

² Goodfellow

۸-۲- مطالعات پیشین برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت

موضوع برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت در معادن روباز با اهداف مختلف توسط محققین بررسی شده که به بیان برخی از آن‌ها پرداخته شده است. جلالی و همکاران در سال ۲۰۱۰ مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت معادن روباز با هدف کنترل عیار استخراجی را در معدن مس سونگون انجام دادند. هدف از این مدل‌سازی کمینه‌سازی مجموع واریانس^۱ انحراف عیار در دوره‌های برنامه‌ریزی قرار داده شد. نتایج به دست آمده از برنامه‌ریزی نشان می‌دهد که انحرافات عیار استخراجی در هر دوره به کمترین مقدار رسیده و تمام محدودیت‌های عملیاتی مسئله برآورده شده است. افزون بر ویژگی‌های گفته شده مدل پیشنهادی این قابلیت را دارد که تعداد سینه کارهای استخراجی را در دوره‌های برنامه‌ریزی کاهش دهد [۹].

غلام‌نژاد و همکاران در سال ۲۰۱۰ تحقیقی تحت عنوان، ارائه برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت در معدن چادرملو برای تنظیم عیار آهن و فسفر در کانسنگ ارسالی به کارخانه فرآوری را انجام دادند. در ابتدا اشاره‌ای به مفهوم برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت در معادن، که به معنای ارسال کانسنگ با کیفیت مناسب در بازه‌ی روزانه، هفتگی و ماهانه به کارخانه فرآوری شده است. سپس مدلی با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح برای تنظیم دوپارامتر عیار آهن و فسفر در خوراک ورودی به کارخانه فرآوری در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت ارائه شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داده است که امکان اختلاط مواد با کیفیت مناسب از داخل پیت و ارسال آن به کارخانه فرآوری وجود نداشته و باید سنگ از دیوهای کانسنگی که در کنار پیت وجود دارد با سنگ استخراجی از پیت مخلوط شده تا خوراک مناسب برای کارخانه فراهم شود. دلیل این امر بالا بودن عیار فسفر در بلوک‌های موجود در افق‌های برنامه‌ریزی معدن بوده است [۴۱].

بلام^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۷ توانستند انواع مختلف مواد استخراج شده (از قبیل باطله، کم عیار و پرعیار) را نسبت به فاصله مبدا تا مقصدی که این مواد فرستاده می‌شوند (انباشتگاه مواد، انباشتگاه

¹ Variance

² Blom

باطله و مسیر فرآوری) را، با برنامه‌ریزی دقیق انواع مختلف تعداد کامیون و شاول را در نظر بگیرند [۴۲].

معراجی‌پور در سال ۲۰۱۸ با بررسی برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت در معادن روباز با استفاده مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح با هدف کمینه‌سازی میزان انحرافات از عیار مواد ارسالی به کارخانه فرآوری را انجام داد [۱۴].

۹-۲- مطالعات پیشین برنامه‌ریزی تولید بلندمدت و کوتاه‌مدت

برخی از محققین موضوع برنامه‌ریزی تولید را به طور مشترک در هر دو موضوع برنامه‌ریزی تولید بلندمدت و کوتاه‌مدت با اهداف مختلفی بررسی کرده‌اند. نیومن^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۰ در خصوص تحقیق در مورد برنامه‌ریزی تولید بلندمدت و کوتاه‌مدت در معادن روباز با دامنه حداقل یک هفته و حداکثر یک تا دو سال را مطالعه کردند. این تحقیق مرتبط با برنامه‌ریزی‌های روزبه‌روز یا شیف‌به‌شیفت، انتخاب تجهیزات (اندازه و شکل آن‌ها) و مسیر کامیون‌ها است [۴۳].

خواج‌زاده و همکاران در سال ۲۰۱۶ با بررسی تعیین محدوده نهایی و برنامه‌ریزی تولید با اعمال محدودیت‌های فیزیکی موجود در معدن مس میدوک، عملیات بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی بلندمدت و کوتاه‌مدت را با اعمال تمام محدودیت‌های فیزیکی انجام دادند و در نهایت میزان گسترش معدن نسبت به وضعیت فعلی را به دست آوردند [۴۴].

احسان موسوی و رضا شیرین‌آبادی در سال ۲۰۱۸، کمینه‌سازی انحراف از عیارهای حد را در برنامه‌ریزی تولید بلندمدت معادن روباز با هدف توجه و کنترل انباشتگاه باطله بررسی کردند. با توجه به برنامه‌ریزی تولید بلندمدت، اتخاذ تدابیری برای اجرای عیارهای حد استخراجی و برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت انجام دادند [۴۵].

¹ Newman

مایکل بلوم^۱ و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تفاوت بین برنامه‌ریزی بلندمدت و کوتاه‌مدت معادن روباز با افق کمتر از یک یا دو سال به روش ریاضی و ابتکاری، تجزیه و تحلیل انجام دادند. تکنیک‌هایی برای بررسی تولید بهینه در برنامه‌ریزی تولید، قبل از رسیدن به زمان اجرایی به دست آوردند [۱۲].

۲-۱۰- جمع‌بندی

همانطور که در ابتدای فصل بیان شد، برنامه‌ریزی در معادن با دو هدف طراحی محدوده بهینه و برنامه‌ریزی تولید قابل بررسی است. سپس با خلاصه‌ای از محدوده بهینه، انواع برنامه‌ریزی تولید و عمده روش‌های آن به همراه تاریخچه موضوع توضیح داده شد. ملاحظه شد که یکی از ارکان‌های اصلی برنامه‌ریزی معدن، برنامه‌ریزی تولید بلندمدت است که جریان نقدینگی را در طول عمر معدن مشخص می‌کند. در برنامه‌ریزی میان‌مدت می‌توان هدف خاصی مانند عیار یا تولید را در نظر گرفت و با برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت با اجرای زمان‌بندی درست و استفاده صحیح از ظرفیت‌ها می‌توان در راستای برنامه بلندمدت که بیشترین ارزش خالص فعلی است، اقدام کرد. لازم به ذکر است هر چه برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت با انحراف کمتری در راستای برنامه‌ریزی بلندمدت انجام داده شود، حداکثر سود از پروژه معدنی نیز بیشتر خواهد بود.

¹ Michael Bloom

فصل سوم

آشنایی با معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر

۳-۱- مقدمه

در این فصل با اشاره به مشخصات معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر به معرفی شهر قمصر و موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه پرداخته شده است. با توجه به کانی‌سازی آهن، زمین‌شناسی و عملیات حفاری اکتشافی محدوده معدن ورتاوه، بررسی شد. پس از برداشت‌های نقشه‌برداری و ژئوفیزیک، عملیات حفاری اکتشافی با رسم موقعیت گمانه‌ها به صورت گرافیکی توضیح داده می‌شود. ویژگی‌های جغرافیایی دیگر، شرایط آب و هوایی، زمین‌شناسی منطقه، فعالیت‌های اکتشافی و موارد دیگر در ادامه این فصل مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۲- معرفی شهر قمصر

شهر قمصر یکی از بخش‌های تابع شهرستان کاشان در استان اصفهان است و بر اساس سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵، این شهر تعداد ۱۰۹۲۶ نفر جمعیت داشته است. شهر قمصر مساحتی در حدود ۶۲۷۵ هکتار (محدوده حریم شهری) داشته و از طریق آزادراه کاشان-اصفهان، ۱۸۰ کیلومتر با اصفهان فاصله دارد [۴۶].

۳-۳- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی معدن ورتاوه

معدن سنگ آهن ورتاوه در منطقه‌ای به وسعت ۲۰ کیلومتر مربع در استان اصفهان، شهرستان کاشان و در فاصله ۶ کیلومتری جنوب شرقی شهر قمصر واقع شده است. به منظور دسترسی به محدوده مورد مطالعه، باید مسیری آسفalte به طول ۳/۵ کیلومتر از قمصر به سمت شرق را طی نمود و پس از آن با انحراف به سمت جنوب و طی مسیر آسفalte-خاکی ۲/۵ کیلومتری، وارد محدوده مورد مطالعه شد. در شکل ۳-۱ موقعیت محدوده معدنی و راه‌های دسترسی آن بر روی نقشه راه‌های ایران نشان

داده شده است. محدوده اکتشافی، به شکل یک چهارضلعی با رئوس ABCD بوده که مختصات رئوس آن در جدول ۳-۱ آورده شده است [۴۶].

جدول ۳-۱- مختصات چهارگوش محدوده اکتشافی

WGS 84(UTM)		مختصات
عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	رئوس
۳۷۳۳۰۰۰	۵۴۲۴۰۰	A
۳۷۳۳۰۰۰	۵۴۷۴۰۰	B
۳۷۲۹۰۰۰	۵۴۷۴۰۰	C
۳۷۲۹۰۰۰	۵۴۲۴۰۰	D



شکل ۳-۱- راه‌های دسترسی به معدن قمصر (با علامت ستاره آبی رنگ مشخص شده است)

۳-۴- وضعیت آب و هوایی و پوشش گیاهی

میزان بارش منطقه مورد مطالعه ضمن اختلاف فاحش با بارندگی منطقه کاشان، حتی نسبت به سایر ایستگاه‌های کوهستانی، از میانگین بالایی برخوردار است. قمصر در مجموع در اثر رطوبت نسبی بالای هوا، زمستان‌های سرد ولی با سرمای آرام و ملایم و تابستان‌های معتدل، شرایط آب و هوایی مطلوب

و دلپذیری را در حاشیه کویر برای منطقه به ارمغان آورده که ممتازترین ویژگی این شهر محسوب می‌گردد، زیرا در تمام عرصه‌های تاریخی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی به عنوان عنصری مثبت در توسعه شهر مطرح بوده است؛ البته به علت اینکه منطقه اکتشافی مورد مطالعه در فاصله بسیار نزدیکی به قمصر قرار دارد، شرایط آب و هوایی آن از این شهر تبعیت می‌کند ولی به علت اینکه این منطقه دارای ارتفاعات بلندتری است، کمی دارای آب و هوای سردتری است.

محدوده مورد مطالعه از نظر پوشش گیاهی اغلب فاقد پوشش گیاهی بوده و در برخی بخش‌ها دارای بوته‌های کوچک است که این مسئله می‌تواند به دلیل نوع لیتولوژی و وضعیت مورفولوژیکی منطقه باشد [۴۶].

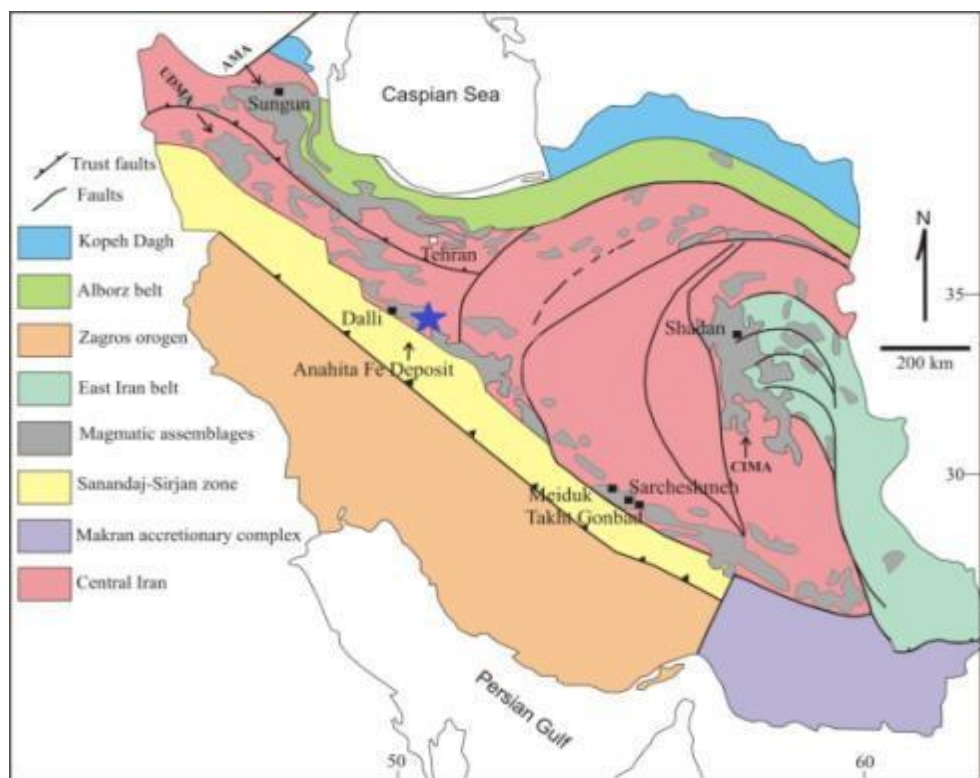
۳-۵- زمین ریخت‌شناسی محدوده مورد مطالعه

همان‌طور که بیان شد محدوده مورد مطالعه از لحاظ ریخت‌شناسی دارای توپوگرافی بسیار خشنی بوده به گونه‌ای که اختلاف بین بیشینه ارتفاع و کمینه ارتفاع محدوده مورد مطالعه، به بیش از ۴۰۰ متر می‌رسد و برخی از رگه‌های ماده معدنی نیز در ارتفاعات بسیار بلند رخنمون دارند که این مسئله باعث ایجاد مشکلات زیاد برای ادامه عملیات اکتشافی و همچنین باعث افزایش هزینه‌های معدنکاری می‌شود که باید حتماً مد نظر قرار گیرد. محدوده مورد مطالعه از یک طرف (جنوب) توسط ارتفاعات بلند احاطه شده است و از طرف دیگر (شمال) به حاشیه کویر نزدیک است. بخش جنوبی منطقه که از سنگ‌های رسوبی بسیار تکتونیزه تشکیل شده است، دارای ارتفاعات بسیار خشن و صخره‌ای بوده به طوری که پیمایش برخی از این بخش‌ها تقریباً غیر ممکن است؛ بخش شمالی که بیشتر از سنگ‌های نفوذی نیمه عمیق تشکیل شده است دارای توپوگرافی ملایمی است که این تفاوت توپوگرافی در بخش‌های شمالی و جنوبی متأثر از شرایط تکتونیکی و همچنین جنس سنگ‌های تشکیل دهنده این بخش‌ها بوده است [۴۶].

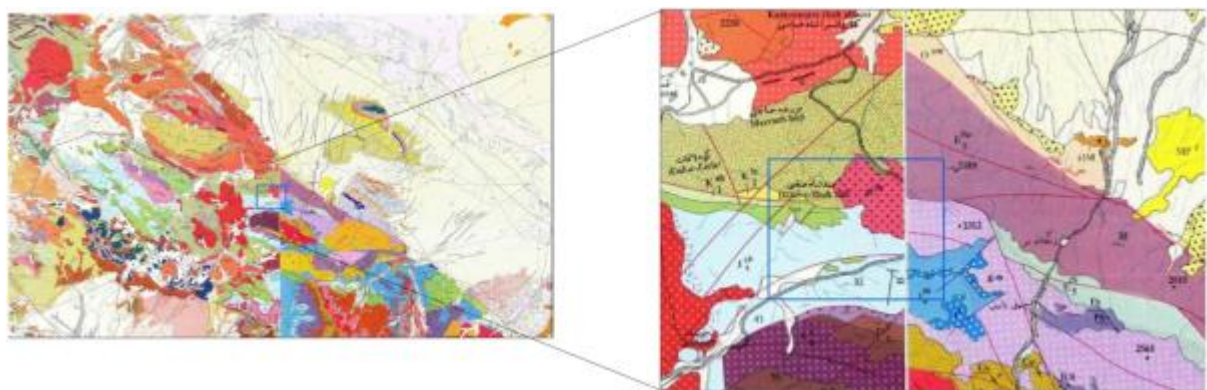
۳-۵-۱- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

براساس تقسیمات ساختمان زمین‌شناسی ایران، محدوده زمین‌ساختی مورد نظر بر روی کمر بند آتشفشانی-رسوبی، یعنی قسمت غربی ناحیه ایران مرکزی واقع شده است و در برخی از نوشته‌های جغرافیایی به عنوان رشته کوه‌های مرکزی ایران توصیف می‌شود و بخشی از برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشان و نطنز است، ولی محدوده‌ای که مورد برداشت زمین‌شناسی قرار گرفته است در منتهی الیه شرقی برگه کاشان قرار گرفته است [۴۶].

ویژگی اصلی این ارتفاعات حاکمیت سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دوره سنوزوئیک به ویژه ائوسن است که بر روی سنگ‌های چین خورده قدیمی تر قرار گرفته است و تعداد زیادی توده‌های نفوذی بزرگ و کوچک در دوران سوم این کوه‌ها را قطع نموده است. موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه تقسیم‌بندی ساختاری ایران توسط اشتوکلین، در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. در شکل ۳-۳ موقعیت محدوده مورد نظر بر روی برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشان و نطنز که با چهارضلعی مشخص شده است [۴۶].



شکل ۳-۲- برگرفته از نقشه تقسیم‌بندی ساختاری ایران توسط اشتوکلین (موقعیت محدوده مورد مطالعه با ستاره آبی رنگ مشخص شده است)



شکل ۳-۳- موقعیت محدوده مورد نظر بر روی برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشان و نطنز که با چهارضلعی مشخص شده است.

۳-۵-۲- کانی‌سازی آهن

از نظر پهنه‌بندی زمین‌شناسی و زمین‌ساختی، ورقه کاشان در کمربند ماگمایی ارومیه - دختر قرار دارد. از رایج‌ترین دگرسانی‌ها در منطقه، رنگ‌آمیزی به وسیله محلول‌های اکسید آهن دار در اثر دگرسانی نوع هماتیستی است که در آبراهه‌های آبدی فرفهان به وضوح یافت می‌شود. کانی‌زایی محدوده به صورت اندیس و کانسار در رابطه با ماگمای آذرین گرانودیوریت آمفیبول و بیوتیت دار است. محلول‌های کانی‌ساز مربوط به آخرین مراحل انجماد ماگمای گرانودیوریتی سبب کانی‌زایی آهن و مس و سرب و باریم و سایر فلزها و عناصر غیرفلزی در این منطقه گردیده است [۴۶].

۳-۵-۳- ژنز ماده معدنی

از آنجا که مسئله تعیین ژنز ماده معدنی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و همچنین با توجه به اینکه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از پیچیدگی بسیار بالایی برخوردار بوده است، بنابراین اقدام به نمونه‌برداری از هر نوع تغییرات در سنگ‌های دربرگیرنده ماده معدنی و همچنین تهیه مقاطع نازک و صیقلی از آنها گردید و در نهایت پس از مطالعه نمونه های برداشت شده و همچنین مطالعات صحرایی، مشخص شد که ماده معدنی مورد مطالعه از نوع کانسارهای آهن اسکارنی است [۴۶].

۳-۵-۴- توده نفوذی

توده نفوذی که در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد متشکل از سنگ‌هایی با ترکیب میکرودیوریت، مونزودیوریت پیروکسن‌دار، میکروکوارتز مونزونیت تا میکروگرانودیوریت است که در نیمه شمالی منطقه رخنمون دارد و واحدهای رسوبی موجود در این محدوده‌ها را قطع کرده است. نفوذ این واحد سنگی با گستره زیاد درون تشکیلات رسوبی باعث دگرگونی آنها شده و باعث تشکیل سنگ‌های اسکارنی و کانی‌زایی آهن به شکل مگنتیت و گاهاً هماتیت شده است. رنگ صحرایی این واحد، قهوه‌ای بوده و رنگ سطح تازه آنها سفید شیری تا کرم متمایل به سبز است [۴۶].

۳-۵-۵- دایک‌ها

با توجه به مطالعات صحرایی صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه، یک سری دایک‌های دیابازی در منطقه مشاهده شد که این دایک‌ها در دل توده نفوذی میکرودریتی رخنمون داشته و این استوک‌ها را قطع نموده‌اند. این دایک‌ها شیبی نزدیک به قائم داشته و روندی شمال شرقی - جنوب غربی دارند و در جای جای توده نفوذی مذکور مشاهده شده‌اند. رنگ هوازده آنها خاکستری متمایل به سیاه بوده و رنگ مقطع فرش آنها سبز تیره می‌باشد [۴۶].

۳-۵-۶- واحدهای ماسه‌سنگی و رسوبی

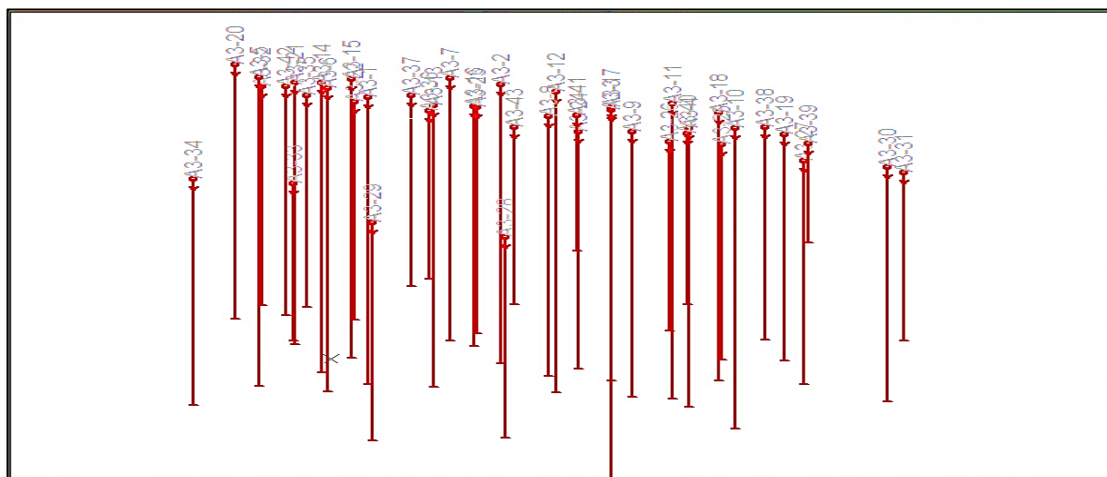
با توجه به مطالعاتی که در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت مشخص شد که سنگ‌های رسوبی منطقه که سنگ درونگیر ماده معدنی را تشکیل داده‌اند. اغلب ترکیب ماسه‌سنگی، ماسه‌سنگ آهکی، سنگ آهک و در بعضی جاها شیل‌های آهکی بوده که در اثر کنتاکت با توده نفوذی، ناحیه‌ها اسکارنی را تشکیل داده‌اند و با دور شدن از توده نفوذی، ترکیب سنگ اولیه آنها تقریباً بدون تغییر باقی مانده- اند [۴۶].

۳-۶- عملیات حفاری اکتشافی

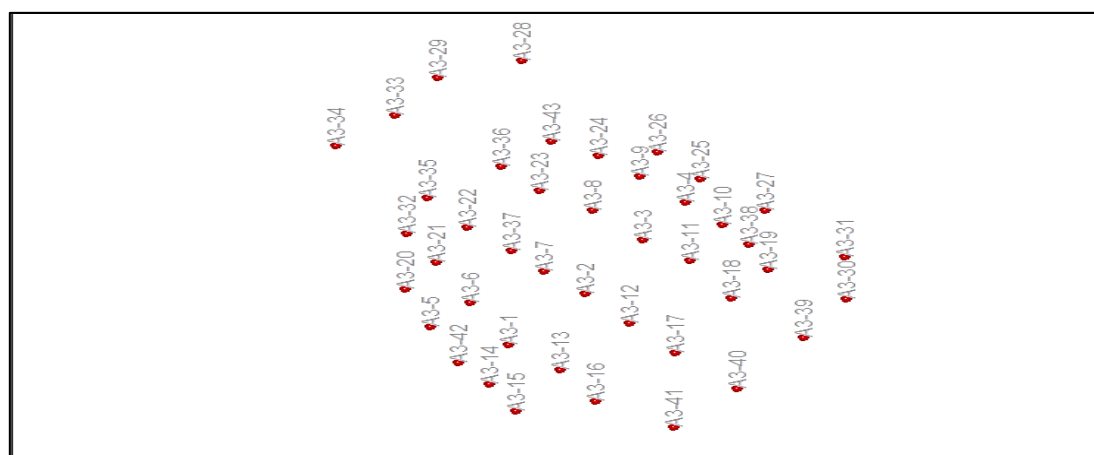
پس از برداشت نقشه‌های ژئوفیزیک به منظور تایید مناطق آنومالی، عملیات حفاری اکتشافی در محدوده مورد نظر انجام شد. بنابراین با بررسی بر روی طول و عرض منطقه یک شبکه با فواصل مورد نیاز جهت پوشش دادن آنومالی مورد نظر طراحی شد که بر همین اساس در محدوده نقاط حفاری ارائه و عملیات حفاری صورت گرفته است. با توجه به شبکه تعریف شده حفاری، تعداد ۴۳ گمانه که در جدول ۳-۲ آورده شده است، تعریف گردید و همچنین نمای سه بعدی و دوبعدی گمانه‌ها در شکل ۳-۴ و ۳-۵ نشان داده شده است [۴۶].

جدول ۳-۲- میزان حفاری مقدماتی انجام شده

تعداد کل چاه	متر اژکل حفاری (متر)	تعداد چاه مغزه گیری	متر اژ چاه مغزه گیری (متر)	تعداد چاه پودری	متر اژ چاه پودری (متر)
۴۳	۳۷۰۷	۱۵	۱۵۸۷	۲۸	۲۱۲۰



شکل ۳-۴- نمای سه بعدی از چاه های حفر شده



شکل ۳-۵- نمای دوبعدی از چاه های حفر شده

۳-۷- جمع‌بندی

با توجه به شرایط زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، مشاهده می‌شود که ماده معدنی در شرایط کوهستانی و در برخی بخش‌ها دارای توپوگرافی خشن است. لذا راه دسترسی و فرآیند معدنکاری به خصوص حفاری را با دشواری مواجه کرده است. همچنین وجود ماده معدنی در شرایط کوهستانی، آب و هوای نامساعد در فصل زمستان را در پی دارد که نیازمند برنامه‌ریزی متناسب با این شرایط است. موقعیت جغرافیایی معدن و راه‌های دسترسی آسفالت‌ه به آن، شرایط مناسبی را برای فراهم کردن امکانات و حمل و نقل را به خصوص در زمان بهره‌برداری نشان می‌دهد. همچنین فاصله نسبتاً مناسب معدن و رتانه تا مناطق مسکونی شهری و روستایی امکان بهره‌برداری را آسان‌تر کرده است. نهایتاً با توجه به فرآیند اکتشاف که شامل نقشه‌برداری، ژئوفیزیک و ۴۳ عدد گمانه اکتشافی است، اطلاعات به دست آمده برای ساخت مدل بلوکی زمین‌شناسی وارد نرم‌افزار گردید.

فصل چهارم

فرآیند برنامه‌ریزی تولید با نرم‌افزار

۴-۱- مقدمه

امروزه استفاده از کامپیوتر برای برنامه‌ریزی تولید در معادن عاملی ضروری است. با بررسی اطلاعات اکتشافی و داده‌های زمین‌شناسی در فصل قبل، اطلاعات کاملی برای ورود به نرم‌افزار فراهم شد. در این فصل از نرم‌افزارهای Datamine، NPVS و Minesched برای تهیه مدل بلوکی کانسار، تعیین پیت بهینه، طراحی پیت استخراجی و در نهایت برای به دست آوردن برنامه‌ریزی تولید بلند مدت و کوتاه‌مدت استفاده شد. در پایان نتایج برنامه‌ریزی تولید پیرامون وضعیت معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر توسط نرم‌افزارهای NPVS و Minesched با یکدیگر مقایسه شدند.

۴-۲- ساختن مدل بلوکی زمین‌شناسی با استفاده از نرم‌افزار Datamine

در حالت کلی روند ساخت یک مدل بلوکی زمین‌شناسی توسط نرم‌افزار Datamine شامل ۵ مرحله است که عبارتند از:

- آماده‌سازی اطلاعات ورودی
- پردازش اطلاعات
- تهیه مقاطع زمین‌شناسی
- ساختن مدل هندسی کانسار
- بلوک‌بندی مدل زمین‌شناسی

۴-۲-۱- آماده‌سازی اطلاعات ورودی

برای وارد کردن اطلاعات گمانه‌ها به نرم‌افزار Datamine در ابتدا لازم است که پایگاه اطلاعاتی متشکل از ۴ فایل جداگانه تهیه کنیم که با مشخصه‌های مشترک با یکدیگر در ارتباط هستند این فایل‌های اطلاعاتی عبارتند از :

- فایل اطلاعاتی مربوط به موقعیت جغرافیایی گمانه‌ها (Collar) که بخشی از آن در جدول ۱-۴ آورده شده است.

جدول ۱-۴- بخشی از فایل ورودی Collar برای معدن ورتاوه قمصر

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR
A3-1	544933.6	3731166	2071.5
A3-2	544958.8	3731194	2076.049
A3-3	544978.3	3731223	2066.666
A3-4	544992.3	3731244	2060.352
A3-5	544907.6	3731176	2078.632
A3-6	544920.8	3731189	2074.672

- فایل اطلاعاتی مربوط به جنس نمونه‌ها (Geology) که بخشی از آن در جدول ۲-۴ آورده شده است.

جدول ۲-۴- بخشی از فایل ورودی Geology برای معدن ورتاوه قمصر

BHID	FROM	TO	Rock
A3-1	0	0.5	4
A3-1	0.5	2.5	1
A3-1	2.5	4.5	1
A3-1	4.5	7.5	2
A3-1	7.5	9.5	1
A3-1	9.5	11.5	1

- فایل اطلاعاتی مربوط به عیار سنجی نمونه‌های برداشت شده (Assay) که بخشی از آن در جدول ۳-۴ آورده شده است.

جدول ۳-۴- بخشی از فایل ورودی Assay برای معدن ورتاوه قمصر

BHID	FROM	TO	FE
A3-1	0	0.5	5
A3-1	0.5	2.5	32.53
A3-1	2.5	4.5	35.86
A3-1	4.5	7.5	24.91
A3-1	7.5	9.5	35.06
A3-1	9.5	11.5	40.2
A3-1	11.5	13	39.84

- فایل اطلاعات مربوط به شیب و جهت‌های گمانه (suevey) است که بخشی از آن در جدول ۴-۴ آورده شده است.

جدول ۴-۴- بخشی از فایل ورودی survey برای معدن ورتاوه قمصر

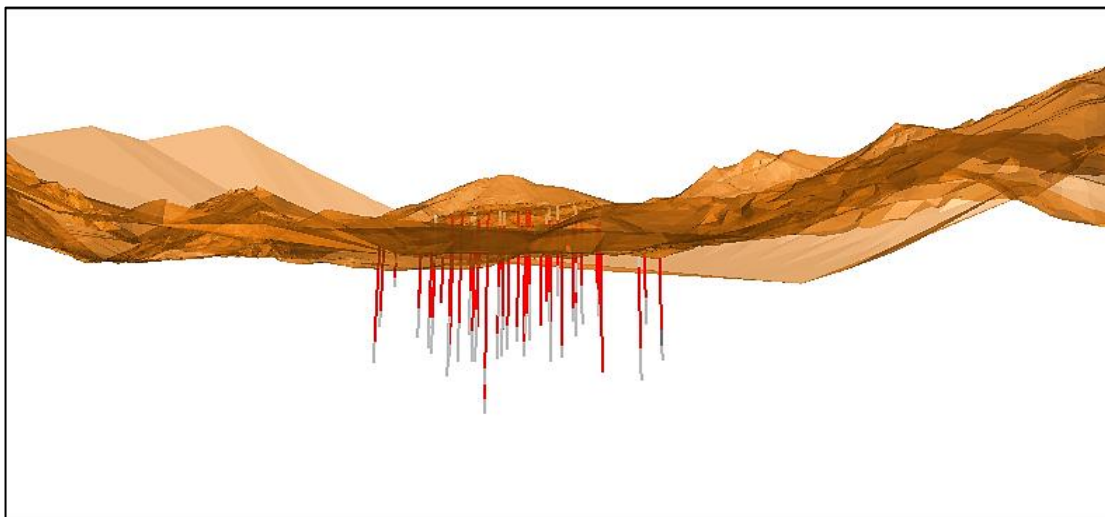
BHID	AT	BRG	DIP
A3-1	0	0	90
A3-2	0	0	90
A3-3	0	0	90
A3-4	0	0	90
A3-5	0	0	90
A3-6	0	0	90
A3-7	0	0	90

۴-۲-۲- پردازش اطلاعات

پس از تهیه اطلاعات به صورت متنی، این اطلاعات به نرم‌افزار Datamine منتقل می‌شوند. سپس همه اطلاعات با هم کامپوزیت^۱ شده (یک تکنیک استاندارد برای منظم کردن طول عمودی نمونه است) و فایلی بر اساس کلیه اطلاعات موجود ساخته می‌شود، که در آن گمانه‌ها با توجه به مختصات جغرافیایی آنها ترسیم می‌شود. لازم به ذکر است با توجه به این که طول کامپوزیت‌ها برابر

¹ Composite

ارتفاع پله به دست می‌آید، بازه طولی به میزان ۱۰ متر و حداقل ۰/۰۰۱ متر قرارداده شده است. در شکل ۱-۴ نمای سه‌بعدی گمانه‌ها با توپوگرافی با مقطع غربی - شرقی نشان داده شده است.



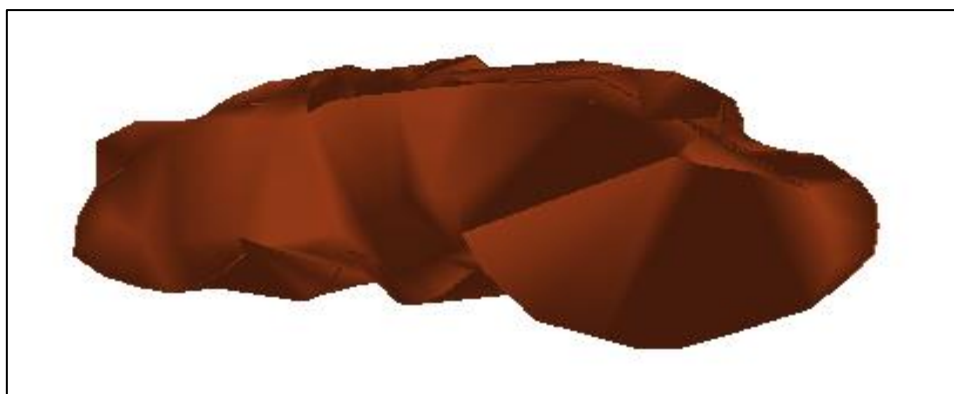
شکل ۱-۴- نمای سه‌بعدی از چاه‌های حفر شده به همراه توپوگرافی

۴-۲-۳- تهیه مقاطع زمین‌شناسی

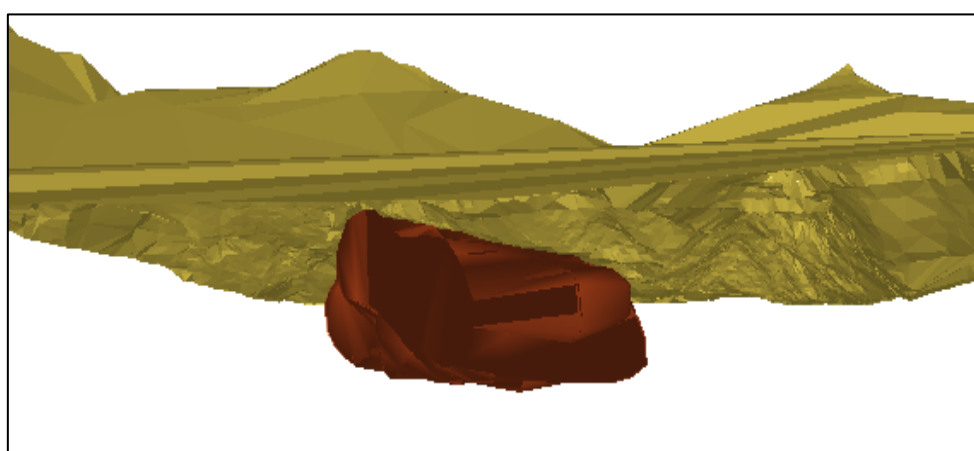
برای ساخت مدل بلوکی کانسار لازم است قبل از آن مدل هندسی کانسار (مدل اولیه سه‌بعدی که شکل و وضعیت کانسار را نشان می‌دهد) ساخته شود. برای ساخت مدل هندسی کانسار، نیاز به ترسیم مقاطع زمین‌شناسی است. پس از ترکیب گمانه‌ها و نمایش آن‌ها در صفحه طراحی نرم‌افزار Datamine ترسیم مقاطع زمین‌شناسی در فواصل مشخص ۲۰ متر که معمولاً نصف فاصله گمانه‌ها است (فاصله متوسط گمانه‌ها ۴۰ متر است) به تعداد ۸ مقطع ترسیم شد.

۴-۲-۴- ساختن مدل هندسی کانسار

پس از ترسیم مقاطع زمین‌شناسی، مدل هندسی کانسار با لینک شدن مقاطع قائم به یکدیگر متصل شدند. لازم به ذکر است هر چه تعداد رشته‌هایی که مقاطع را به هم وصل می‌کند بیشتر باشد دقت کار بیشتر می‌شود و مدل هندسی ساخته شده به واقعیت نزدیکتر می‌شود. در شکل ۴-۲ مدل هندسی سه‌بعدی کانسار و در شکل ۳-۴ مدل هندسی به همراه توپوگرافی نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- مدل هندسی سه بعدی کانسار



شکل ۴-۳- تصویر سه بعدی از مدل ماده معدنی به همراه توپوگرافی

۴-۲-۵- بلوک بندی مدل زمین شناسی

یک مدل زمین شناسی از یک سری بلوک های منظم یا غیر منظم تشکیل شده است که به هر کدام خصوصیتی از قبیل عیار، نوع سنگ و کدهای مشخصاتی دیگر نسبت داده شده است. این بلوک ها می توانند اشکال مختلفی از قبیل چند ضلعی، نامنظم و مثلثی داشته باشند. اما از ساده ترین و متداول ترین مدل هایی که به کار می رود، مدل دکارتی است، که معمولاً ارتفاع قائم هر یک از بلوک ها را برابر ارتفاع پله های معدن در نظر می گیرند و وجه افقی بلوک ها غالباً مربع یا مستطیل شکل هستند [۴۶]. در ادامه برای ساخت مدل بلوکی زمین شناسی در نرم افزار Datamine ۳ مرحله زیر انجام شد:

- چیدن بلوک‌ها در وایر فرم‌ها
- تخصیص عیار به بلوک‌ها
- ترکیب بلوک مدل‌های ساخته شده

۴-۲-۵-۱- چیدن بلوک‌ها در وایر فرم‌ها

ایجاد بلوک مدل در Datamine با تعریف چهارچوب مدل بلوکی شروع می‌شود این چهار چوب باید طوری تعریف شود که تمام کانسار را بپوشانند. برای تعریف این چهارچوب از اطلاعات آماری وایر فرم‌های ساخته شده و سطح توپوگرافی استفاده می‌شود.

مدل بلوکی معدن ورتاوه قمصر در Datamine بر اساس اطلاعات زیر ساخته شده است:

• مختصات مرجع مدل

مختصات مرجع بلوک‌بندی بر اساس اطلاعات آماری سطح توپوگرافی و وایر فرم ماده معدنی به دست می‌آید. مختصات نقطه مرجع در جهت محورهای X ، Y و Z به ترتیب برابر ۵۴۴۲۶۶، ۳۷۳۰۷۵۲ و ۱۹۵۰ است.

• ابعاد بلوک‌ها

اندازه بلوک‌ها بستگی به پارامترهای مختلفی از قبیل فواصل ترکیب گمانه‌ها، ویژگی‌های زمین‌شناسی کانسار، مکانیک سنگ، روش‌های معدنکاری، انتخاب تجهیزات و غیره دارد [۳۳]. با ملاحظه شرایط عنوان شده در معدن ورتاوه، ابعاد بلوک‌ها با توجه به ارتفاع پله در جهت Z ۱۰ متر و با توجه به یک چهارم فاصله گملنه‌ها برای هر کدام از جهت‌های X و Y نیز ۱۰ متر در نظر گرفته شد.

• تعداد بلوک ها در هر جهت

تعداد بلوک ها در هر جهت مختصاتی با استفاده از تفاضل مختصات مینیمم و ماکزیمم در چهار چوب مدل و ابعاد بلوک ها به دست می آید. با توجه به این عوامل، تعداد بلوک ها در جهت X ، Y و Z به ترتیب برابر ۸۳، ۱۰۶ و ۲۶ به دست آمد.

• تعریف ریز بلوک ها

به منظور بالا بردن دقت تعیین ذخیره در مناطق مرزی کانسار و مناطقی که فضای کافی برای ایجاد بلوک های مرجع وجود ندارند، بلوک های کوچک تری نیز به نام ریز بلوک تعریف شد که ابعاد آنها $2 \times 2 \times 2$ متر می باشد. در جدول ۴-۵ اطلاعات ورودی لازم برای ساخت مدل اولیه آورده شده است.

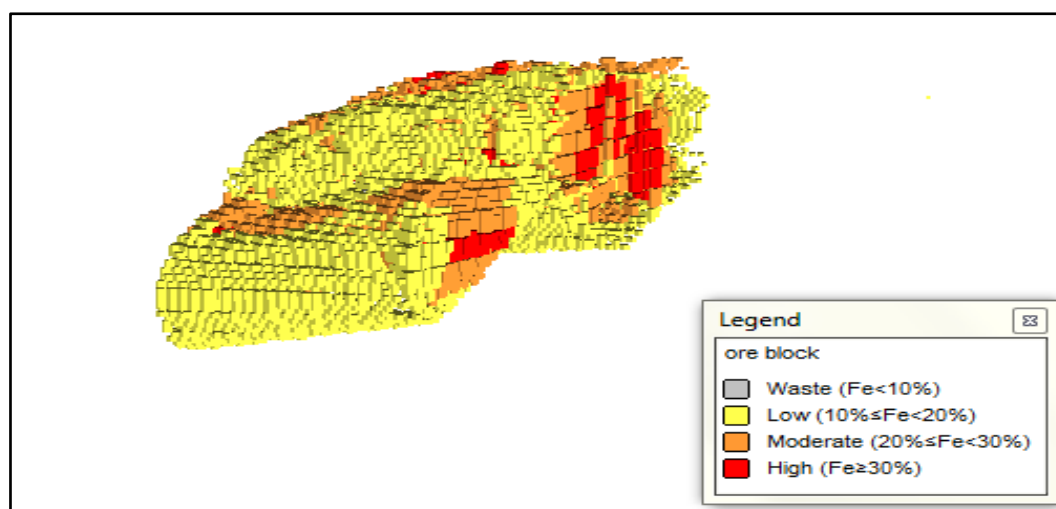
جدول ۴-۵- اطلاعات ورودی لازم جهت ساخت مدل بلوکی

تعداد بلوک در جهت Z	تعداد بلوک در جهت Y	تعداد بلوک در جهت X	ابعاد ریز بلوک ها	ابعاد بلوک مرجع	مختصات مرجع Z	مختصات مرجع Y	مختصات مرجع X
۲۶	۱۰۶	۸۳	$2 \times 2 \times 2$	$10 \times 10 \times 10$	۱۹۵۰	۳۷۳۰۷۵۲	۵۴۴۲۶۶

۴-۲-۵-۲- تخصیص عیار به بلوک ها

به منظور استخراج سنگ آهن و طراحی مناسب پله ها و جبهه کارهای استخراجی در معدن ورتاوه، نیاز به یک بلوک مدل عیاری در سرتاسر ذخیره سنگ آهن است. دراین راستا از عیار چاه های اکتشافی و همچنین لاگ زمین شناسی این چاه ها استفاده شد و نقشه مربوط به هر بخش تهیه گردید. پس از تهیه بخش های زمین شناسی با بلوک بندی کل ذخیره و استفاده از آنالیزهای شیمیایی عناصر و پارامترهای بهینه مدل سازی، وزن دهی به مرکز بلوک ها انجام شد. پس از این که مدل اولیه با مدل توده ماده معدنی (مدل تور سیمی) ادغام و بهینه سازی بلوک مدل انجام شد، با ترکیب فایل بلوک مدل و فایل کامپوزیت شده گمانه ها، فایل عیار دهی شده بلوک ها استخراج و عملیات عیاردهی به بلوک ها انجام شده است. لازم به ذکر است با توجه به مقدار ناچیز و نبود آنالیز

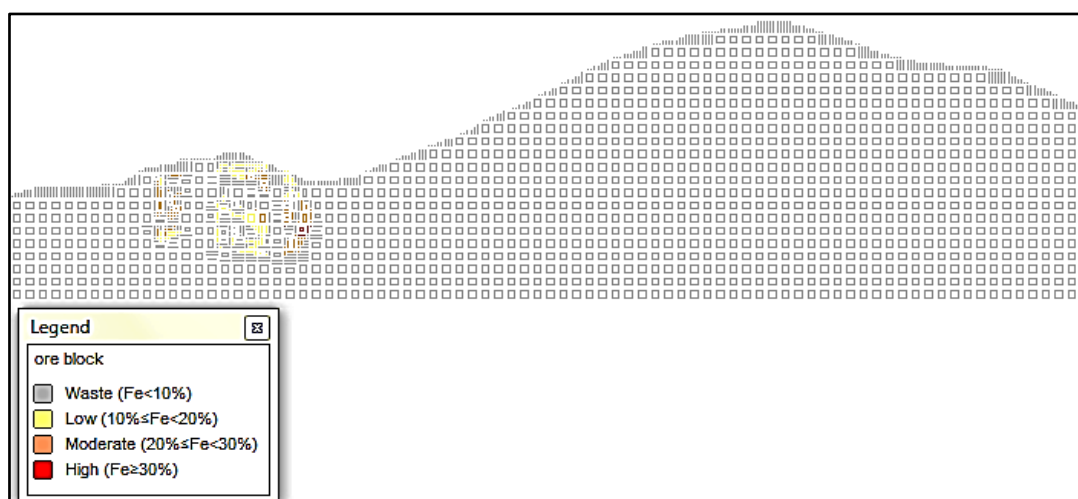
عنصر مزاحم، در این پایان نامه در نظر گرفته نشده است. شکل ۴-۴ نمای سه بعدی از مدل بلوک کانسار را نشان داده است.



شکل ۴-۴- نمای سه بعدی از مدل بلوکی کانسار

۴-۲-۵-۳- ترکیب بلوک مدل های ساخته شده

پس از ساخت بلوک مدل ماده معدنی، بلوک مدل سنگ باطله ساخته شد. پس از این مرحله برای ساخت فایل بلوک مدل نهایی، عملیات ترکیب کردن آنها با هم انجام شد. شکل ۴-۵ مقطع عرضی از بلوک مدل زمین شناسی نهایی را نشان داده است.



شکل ۴-۵- نمای دوبعدی از مدل بلوک زمین شناسی

در نهایت با ساخت مدل بلوکی زمین‌شناسی معدن ورتاوه در نرم‌افزار Datamine، یکی از مهمترین پارامترهای ورودی برای بهینه‌سازی پیت و برنامه‌ریزی تولید برای ورود به نرم‌افزار NPVS تهیه شد. میزان ذخیره زمین‌شناسی کانسار معدن ورتاوه نیز با استفاده از بلوک مدل ساخته شده تخمین زده شد و بالغ بر ۱/۸۳۴ میلیون تن با عیار متوسط ۲۲/۶ درصد برآورد شد.

۴-۳- طراحی محدوده بهینه نهایی معدن با استفاده از نرم‌افزار NPVS

برای طراحی محدوده نهایی و برنامه‌ریزی تولید، علاوه بر تهیه بلوک مدل کانسار به یک سری اطلاعات فنی اقتصادی نیز نیاز است. میزان دقت و صحت نتایج حاصل از طراحی کاملاً وابسته به درستی و صحت این اطلاعات ورودی است. در یک تقسیم‌بندی کلی اطلاعات مورد نیاز برای انجام کار طراحی که در واقع پارامترهای ورودی به نرم‌افزار NPVS نیز هستند را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود. دسته اول، پارامترهای فنی همچون، اطلاعات پایداری شیب، میزان تولید سالانه و ... می‌باشند. دسته دوم، پارامترهای اقتصادی مانند هزینه تمام شده تولید یک تن کانسنگ یا باطله، هزینه فراوری یک تن کانسنگ و ... است. پارامترهای فنی و به طور خلاصه در جدول ۴-۶ آورده شده است.

جدول ۴-۶- پارامترهای فنی معدن ورتاوه

ردیف	عنوان	میزان
۱	شیب کلی (درجه)	۴۵
۲	هندسی پله	ارتفاع پله (متر)
		۱۰
		شیب پله (درجه)
۳	مشخصات جاده های باربری	۶۵
		عرض پله
		ایمنی (متر)
۴	وزن مخصوص	۱۵
۵	ترقیق و بازیابی معدنکاری	عرض (متر)
		آهن (درصد)
		۳/۵ - ۴
۶	راندمان کارخانه فرآوری (درصد)	باطله (درصد)
		۲/۷
		ترقیق (درصد)
۷	نرخ تولید سالانه (تن)	۱۵
		بازیابی (درصد)
		۸۵
۸	برنامه کاری معدن	۳۵-۵۵
		۱۰ ساعت روزانه
		۳۳۰ روز کاری در سال
۹	برنامه کاری فرآوری	۱۰ ساعت روزانه
		۳۳۰ روز کاری در سال

پارامترهای اقتصادی در این معدن به ۴ گروه تقسیم شدند :

الف) هزینه های بخش معدن

ب) هزینه های بخش فرآوری

ج) هزینه های ثابت سالیانه

(د) فرضیات اقتصادی دیگر

الف) هزینه‌های بخش معدن

هزینه‌های این بخش به دو دسته هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌ای تقسیم می‌شود. هزینه‌های عملیاتی در بخش معدن هزینه‌هایی هستند که مستقیماً برای تولید یک تن کانسنگ و یا باطله صرف می‌شوند. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های چالزنی، آتشباری، بارگیری و باربری می‌باشند. در معدن ورتاوه قمصر که استخراج به صورت پیمانکاری است، این هزینه‌ها به ازای واحد حجم مواد استخراج شده و مطابق جدول ۴-۷ به پیمانکار پرداخته خواهد شد.

جدول ۴-۷- هزینه‌های عملیاتی بخش معدن

نوع ماده	هزینه (تومان بر تن)
کانسنگ	۹۱۵۰
باطله	۸۰۵۰

بر اساس ارقام سرمایه‌گذاری در بخش معدن، هزینه کل سرمایه‌گذاری در بخش معدن معادل ۱/۱۶۰ میلیارد تومان برآورد شده است.

ب) هزینه‌های بخش فرآوری

هزینه عملیاتی بخش فرآوری در ازای مقدار کلوخه ورودی به پیمانکار پرداخت خواهد شد. این هزینه ۴۰۳۰ تومان بر تن کانسنگ برآورد شده است. دیگر هزینه‌های مربوط به این بخش که در سال مقدار ثابتی دارند، در قسمت هزینه‌های ثابت سالیانه خواهند آمد. هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه مرتبط با بخش فرآوری ۱/۵۲۹ میلیارد تومان برآورد شده است.

ج) هزینه‌های ثابت سالیانه

این هزینه‌ها شامل هزینه‌های از قبیل فروش، خدمات، مالیات، بیمه و.... می‌باشند و به جای وابستگی به میزان تولید به زمان وابسته‌اند. هزینه‌های ثابت سالیانه می‌توانند مربوط به بخش معدن،

بخش فرآوری و یا مشترک باشند. در این پروژه هزینه‌های ثابت سالیانه به بخش معدنکاری اضافه شدند. لذا پس از انجام محاسبات، هزینه‌های ثابت سالیانه ۱۰۱۷ تومان بر تن در نظر گرفته شد.

(د) فرضیات اقتصادی دیگر

دیگر پارامترهای اقتصادی شامل نرخ ارز، نرخ تنزیل سالیانه، قیمت محصول می‌باشند که به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند. لازم به ذکر است میزان افزایش هزینه معدنکاری و فرآوری به ازای پیشروی به عمق با توجه به شرایط متغیر اقتصادی بر مبنای قرارداد جدید با پیمانکار تغییر خواهند کرد.

✓ نرخ دلار معادل ۱۵۰۰۰ تومان در نظر گرفته شده است.

✓ نرخ تنزیل ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است.

✓ قیمت محصول در معدن تنی ۲۸۰.۰۰۰ تومان در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است به دلیل نوسانات قیمت و اجتناب از ریسک بالا، متوسط قیمت محصول در یک سال اخیر انتخاب شد.

۴-۳-۱- مراحل عملیات بهینه‌سازی و برنامه ریزی تولید در نرم‌افزار NPVS

مراحل عملیات بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی تولید در نرم‌افزار NPVS به طور خلاصه عبارتند از:

الف) مدل بلوکی زمین‌شناسی به عنوان داده اولیه برای محاسبه مدل اقتصادی وارد نرم‌افزار می‌گردد. مدل زمین‌شناسی حاوی اطلاعاتی نظیر عیار ماده معدنی عیار سایر مواد معدنی همراه وزن مخصوص هر بلوک نوع بلوک (باطله یا ماده معدنی) است.

ب) مدل بلوکی اقتصادی کانسار بر مبنای مدل زمین‌شناسی ساخته می‌شود. در این مرحله بایستی داده‌های مورد نیاز نظیر قیمت فروش هزینه‌های تولید و درصدهای بازیابی وارد نرم‌افزار شود.

ج) پس از تعیین مدل اقتصادی، نرم‌افزار داده‌های مربوط به شکل هندسی پیت مانند شیب نهایی و محدوده‌های پیت را دریافت کرده و بر مبنای اهدافی که باید بهینه شوند پیت نهایی را با استفاده از الگوریتم Lerchs-Grossmann تعیین می‌کند.

د) پوش بک‌های استخراجی با توجه به عرض قابل کار برای پله‌های استخراجی و حداقل تولید مورد نیاز در هر پوش بک مشخص می‌شوند.

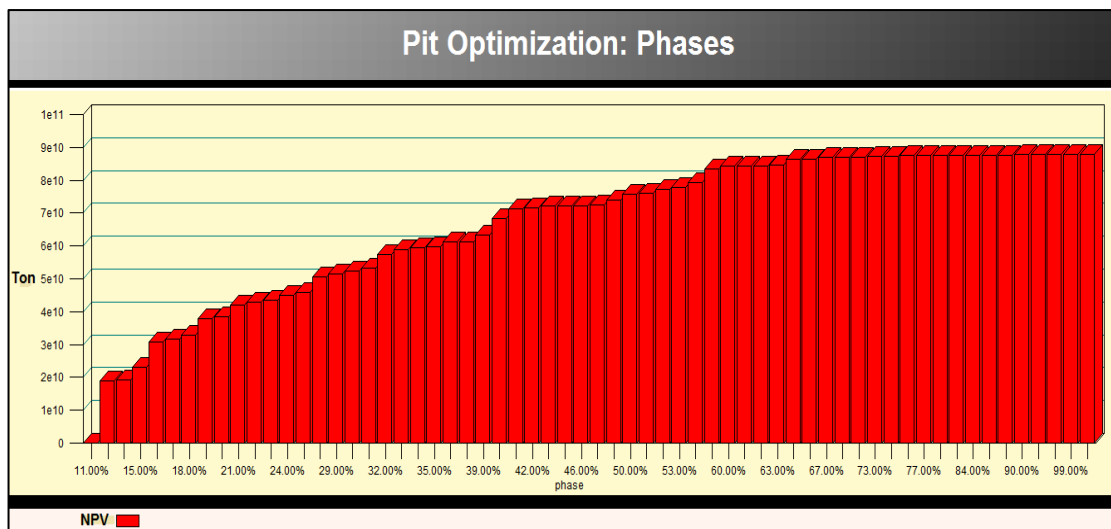
ه) برای برنامه‌ریزی تولید اهداف مورد انتظار به نرم‌افزار داده شده و نرم افزار با جستجو در حالت‌های ممکن برای برنامه‌ریزی تولید بهترین برنامه‌ای را که علاوه بر تامین اهداف داده شده بیشترین سودآوری را داشته باشد پیدا می‌کند [۲۲].

در این بخش مراحل مختلف نرم‌افزار برای کانسار ورتاوه قمصر تا تعیین پیت بهینه نهایی انجام شد و نتایج بررسی شد.

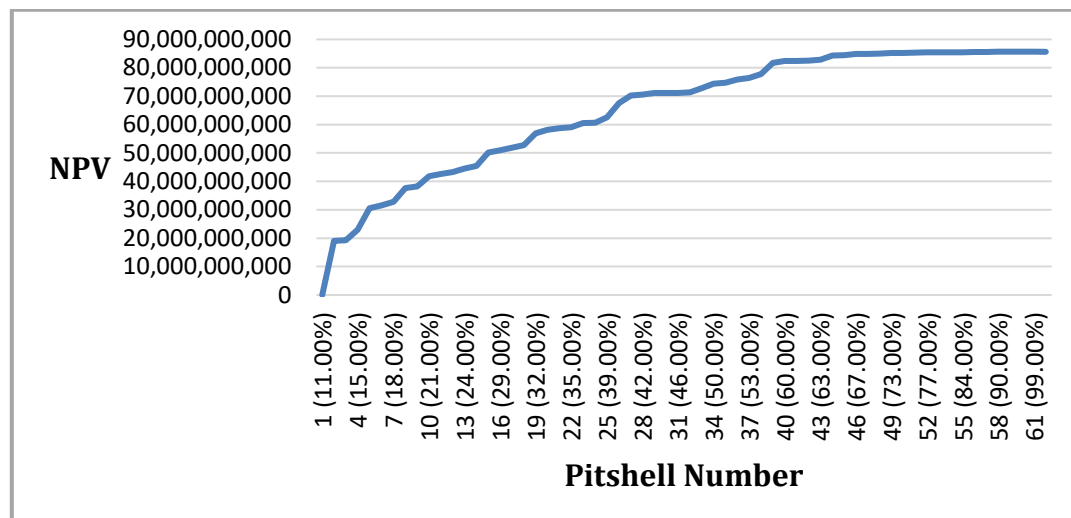
۴-۳-۲- تحلیل نتایج

پس از تنظیم اطلاعات ورودی، کاواک نهایی دارای بیشترین ذخیره و تعداد ۶۱ پیت لانه‌ای با تغییر فاکتور درآمد بین ۱۱٪ تا ۹۹٪ به وجود آمد. بزرگترین پیت با فاکتور درآمد ۹۹٪ است و بیشترین ذخیره ممکنه را دارد. برای انتخاب پیت بهینه، NPV به عنوان معیار اصلی مد نظر قرار گرفت و برای انتخاب دقیق و مطلوب‌تر از معیارهای نسبت باطله‌برداری (W/O) و نسبت NPV/Rock استفاده شده است.

با توجه به شکل (۴-۶) و (۴-۷)، پیت شماره ۶۱ دارای بیشترین NPV است. با توجه به یکنواختی و ثبات تقریبی از پیت ۵۰ تا ۶۱ و تا قبل از پیت شماره ۳۸ منحنی روند صعودی ثابتی دارد و از آن به بعد روندی با شیب کمتر پیدا می‌کند. بنابراین بازه‌ی پیت بهینه نهایی بین پیت‌های ۳۸ تا ۵۰ انتخاب شدند و نمودار آن‌ها به طور مجزا رسم و بررسی شد.



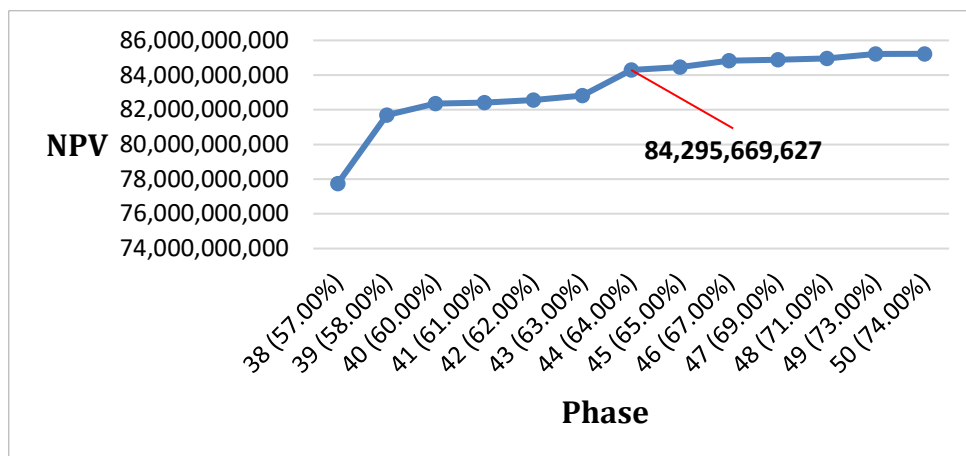
شکل ۴-۶- نمودار تجمعی فازهای تولید شده بر حسب NPV



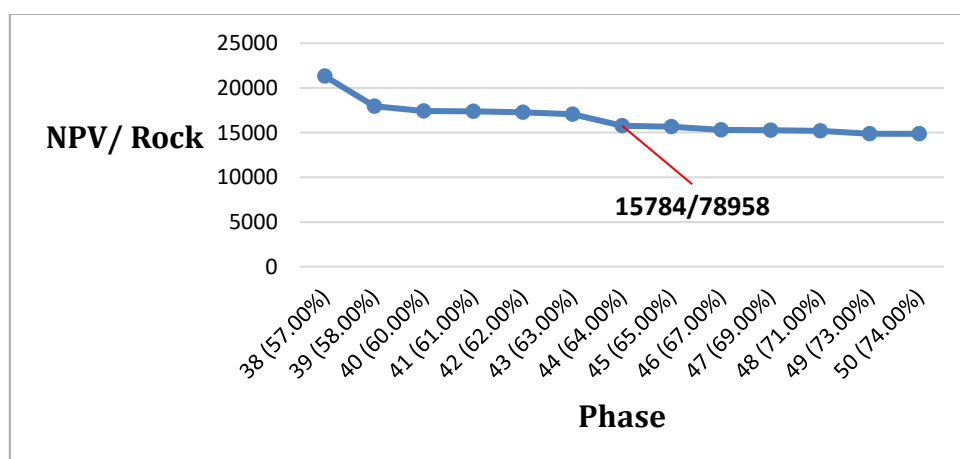
شکل ۴-۷- نمودار NPV برای پیت های ۱ تا ۶۱

با توجه به شکل های ۴-۸ تا ۴-۱۰، سه محدوده را می توان در نظر گرفت که عبارتند از: محدوده اول مربوط به پیت های ۳۸ تا ۳۹ است. محدوده دوم مربوط به پیت های ۴۰ تا ۴۴ بوده و پیت های ۴۵ تا ۵۰ در محدوده سوم واقع اند. پیت های واقع در محدوده اول به علت کوچکتر بودن پیت از لحاظ نسبت باطله برداری، نسبت NPV/Rock در وضعیت بهتری قرار دارند ولی از نظر NPV کمترین مقدار هستند. پیت های واقع در محدوده سوم به علت بزرگتر بودن پیت، وضعیتی عکس پیت های محدوده اول دارند، بدین معنی که دارای بیشترین NPV و بیشترین نسبت باطله برداری

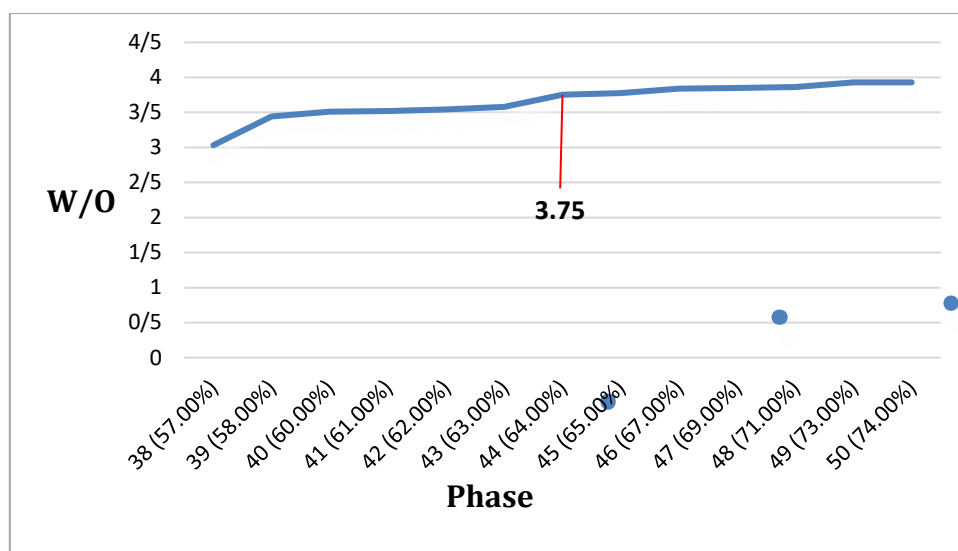
و کمترین نسبت NPV/Rock هستند. تنها پیت‌هایی که همه معیارهای مورد نظر را به نحو مطلوبی دارا هستند، محدوده دوم پیت‌های شماره ۴۰ تا ۴۴ می‌باشند.



شکل ۴-۸- نمودار NPV برای پیت‌های ۳۸ تا ۵۰



شکل ۴-۹- نمودار NPV/Rock برای پیت‌های ۳۸ تا ۵۰



شکل ۴-۱۰- نمودار W/O برای پیت‌های ۳۸ تا ۵۰

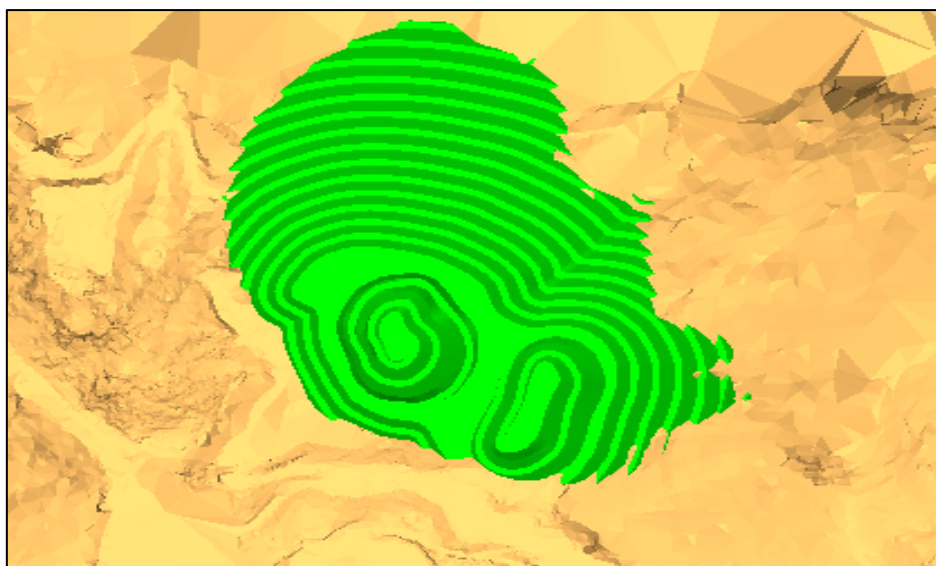
با بررسی محدوده دوم، پیت ۴۴ به دلیل میزان NPV بالاتر به عنوان پیت بهینه کاری انتخاب شد. خصوصیات پیت ۴۴ در جدول ۴-۸ آورده شده است.

جدول ۴-۸- مشخصات پیت بهینه

مشخصه	تناژ کانسنگ (میلیون تن)	تناژ باطله (میلیون تن)	نسبت باطله برداری	سود کل (میلیارد تومان)	NPV (میلیارد تومان)	عیار Fe (%)	فاکتور درآمد (%)
کاواک بهینه کاری	۱/۱۲۴	۴/۲۱۷	۳/۷۵	۹۵/۹۶۸	۸۴/۲۹۶	۲۶/۳	۶۴

۴-۴- طراحی محدوده‌ی استخراجی معدن با استفاده از نرم‌افزار Datamine

با توجه به انتخاب پیت بهینه نهایی که در نرم‌افزار NPVS شناسایی و انتخاب شد، سطح (پوسته) پیت بهینه نهایی برای طراحی در نرم‌افزار Datamine خروجی گرفته شد. همانطور که قبلاً اشاره شد طراحی انجام گرفته برای این پیت با ارتفاع پله ۱۰ متر و شیب ۶۵، عرض پله ایمنی ۶ و شیب معدن ۴۵ درجه انجام گرفت، که نتایج گرافیکی طراحی حاصل در تصویر ۴-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱- تصویر پیت بهینه نهایی طراحی شده

۴-۵- برنامه‌ریزی تولید با نرم‌افزار NPVS

برنامه‌ریزی تولید بایستی به گونه‌ای باشد که در عین داشتن صرفه اقتصادی بیشینه از لحاظ عملیاتی نیز قابل اجرا باشد [۱۷]. فازهای تولید شده در مرحله قبل راهنمای مناسبی برای تعیین ترتیب استخراج بخش‌های مختلف پیت است. اما از آنجا که فازها در عمل قابل پیاده‌سازی نیستند، طراحی پوش بک‌های عملیاتی در قسمت تولید پوش بک‌ها انجام می‌شود.

به منظور تضمین نمودن عملیاتی بودن برنامه‌ریزی تولید بایستی پوش بک‌ها به گونه‌ای انتخاب شوند، که NPV استخراج هر پوش بک تا حد امکان به NPV ایده آل آن (NPV که نتیجه استخراج ترتیبی پیت‌های کوچک‌تر است) نزدیک باشد. لازم به ذکر است که کم بودن تعداد پوش بک‌ها جنبه اجرایی بودن برنامه‌ریزی تولید را تقویت می‌کند و NPV را کاهش می‌دهد، درحالی‌که با افزایش تعداد پوش بک‌ها NPV نیز افزایش خواهد یافت ولی قابلیت اجرایی کار کاهش می‌یابد [۲۳]. بنابراین، بهینه‌سازی پوش بک‌ها و برنامه‌ریزی تولید، داشتن NPV بالا (جنبه اقتصادی کار) با انتخاب تعداد پوش بک کم (جنبه اجرایی کار) است. بدین منظور حالات مختلفی از انتخاب پوش بک‌ها با توجه به فاکتورهای اقتصادی و عملیاتی مختلف، مورد ارزیابی قرار گرفت.

۴-۵-۱- پوش‌بک‌ها

نرم‌افزار NPVS مجموعه‌ای از پوش‌بک‌های عملیاتی را که علاوه بر دارا بودن فضای لازم دارای حداقل ابعاد تعیین شده توسط کاربر نیز هستند تولید می‌کند. پوش‌بک‌ها با توجه به عوامل زیر توسط نرم‌افزار تعیین می‌گردند.

- حداقل فضای دسترسی لازم
- حداقل کانسنگ قابل استخراج در هر پوش‌بک
- حداکثر تعداد پوش‌بک‌های استخراجی

با توجه به اینکه نرم‌افزار NPVS محدوده بهینه را به صورت تعداد بلوک مشخص می‌کند، در قسمت تعریف تعداد پوش‌بک باید محدوده بهینه‌ای که در مرحله قبل به دست آمد را وارد نرم‌افزار NPVS کرد. این محدوده بهینه به صورت تعداد بلوک مشخص درون آن در مرحله تعیین محدوده بهینه به دست آمد که برابر با ۲۳۸۰ بلوک است. متغیر کنترلی پوش‌بک‌ها می‌تواند بر اساس تناژ مواد داخل پیت، تناژ کانسنگ، تناژ باطله و تناژ کنساتره تولیدی تعریف کرد. در این پروژه متغیر کنترلی تولید کلیه پوش‌بک‌ها، با توجه به درخواست کارفرما تناژ کانسنگ درون آنها تعریف شده است و به گونه ای انتخاب می‌شود که با برنامه‌های معدن همخوانی داشته باشد. به طور مثال پوش‌بک اول به گونه‌ای طراحی شده است که با دستیابی سریع به ماده معدنی به کاهش دوره بازگشت سرمایه و افزایش ارزش خالص فعلی پروژه کمک کند. به همین دلیل حداقل تناژ کانسنگ در پوش‌بک اول ۴۰۰ هزار تن انتخاب شد تا نرم‌افزار قسمت شرق به غرب کانسار را برای زدن پوش‌بک انتخاب نماید.

حداقل فضای دسترسی لازم ماشین‌آلات در معادن روباز بین ۳۰ تا ۹۰ متر متغیر است [۴]. در این معدن با توجه به نوع ماشین‌آلات برای دسترسی و میزان تولید معدن و عرض جاده‌ها این مقدار ۷۵ متر انتخاب شده است.

بر اساس اطلاعات ورودی، تعداد پوش‌بک‌ها با مقادیر متفاوت پارامتر کنترلی تناژ کانسنگ طراحی گردید. طراحی این تعداد یک کار تجربی است و باید تا زمان رسیدن به جواب رضایت‌بخش، ادامه یابد [۲۲]. در این پروژه به تعداد ۲ تا ۴ پوش‌بک تولید گردید. امکان تولید پوش‌بک‌های بیشتر به دلیل کوچک بودن کانسنگ و عدم رعایت حداقل فضای دسترسی لازم وجود نداشت. در جدول ۴-۹، ارزش خالص فعلی تعداد ۲ تا ۴ پوش‌بک آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود هر چه تعداد پوش‌بک‌ها بیشتر می‌شود ارزش خاص فعلی آنها بیشتر شده و از نظر معیار ارزش خالص فعلی، تعداد ۴ پوش‌بک، بیشترین مقدار است. اما برای انتخاب تعداد پوش‌بک بهینه، بایستی علاوه بر عوامل اقتصادی، عوامل دیگری از قبیل محدودیت عرض معدنکاری و نرخ تولید منظم را نیز مد نظر قرار داد. تناژ تعریف شده برای پوش‌بک‌ها در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است.

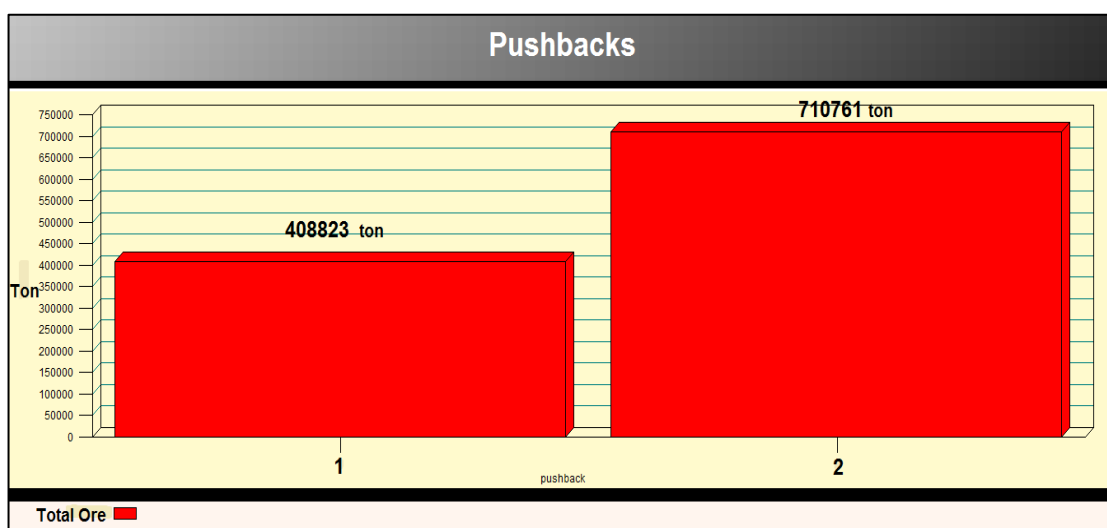
جدول ۴-۹- ارزش خالص فعلی سکانس‌های ۲ تا ۴ پوش‌بک

تعداد پوش‌بک	۲	۳	۴
ارزش خالص فعلی (میلیارد تومان)	۷۶/۵۷۴	۷۷/۶۹۲	۷۸/۴۵۷

با توجه به این که مرحله ایجاد تعداد پوش‌بک و برنامه‌ریزی تولید به یکدیگر وابسته هستند و در شرایطی تعداد پوش‌بک بهینه انتخاب می‌شود که در بخش برنامه‌ریزی تولید نیز نتایج مطلوب حاصل شود. بنابراین باید پس از انتخاب تعداد پوش‌بک، مرحله برنامه‌ریزی تولید نیز انجام شده تا نتایج به دست آمده بررسی شود. لذا صرفاً نمی‌توان در بالا بودن ارزش خالص فعلی با تعداد ۴ پوش‌بک را انتخاب کرد. در این پلایان‌نامه با توجه به بررسی و تکرار مداوم تعداد پوش‌بک انتخاب شده و همچنین لحاظ کردن شرایط معدنکاری، در پلایان مناسب‌ترین برنامه‌ریزی تولید با ۲ پوش‌بک استخراجی به دست آمد. مشخصات ۲ پوش‌بک بهینه انتخاب شده در جدول ۴-۱۰ آورده شده و نمای گرافیکی آن در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۰- پوشش‌های انتخابی

تعداد پوشش‌بک	زمان استخراج پوشش‌بک (تعداد روز)	ارزش خالص فعلی (میلیارد تومان)	کانسنگ (میلیون تن)	باطله (میلیون تن)	مجموع کانسنگ و باطله (میلیون تن)	عیار کانسنگ (%)
۱	۳۱۲	۳۸/۹۳۶	۰/۴۰۸	۱/۲۷۸	۱/۶۸۷	۲۹/۳
۲	۶۷۲	۳۷/۶۳۹	۰/۷۱۰	۲/۹۲۰	۳/۶۳۱	۲۵/۷
مجموع	۹۸۴	۷۶/۵۷۵	۱/۱۱۹	۴/۱۹۹	۵/۳۱۸	۲۷/۵



شکل ۴-۱۲- تناژ کانسنگ تعریف شده پوشش‌بک انتخابی

۴-۵-۲- برنامه‌ریزی تولید بلندمدت تا پایان عمر معدن

در این مرحله اهداف و شرایط مورد نظر برای برنامه‌ریزی تولید تعریف شده و برنامه‌ریزی تولید توسط نرم‌افزار به طور سالیانه انجام می‌شود. برای انتخاب بهترین برنامه‌ریزی استخراج که در آن اهداف تا حد امکان رعایت شده و از نظر پارامترهای اقتصادی و عملیاتی نیز در حد معقولی باشد، پوشش‌بک‌های مختلفی تعریف شده است. نحوه انتخاب و تعریف این پوشش‌بک‌ها در قسمت قبل آورده شده است. در واقع می‌توان گفت که برنامه‌ریزی تولید بهینه و انتخاب بهینه پوشش‌بک‌ها به هم وابسته هستند و با تکرار این دو مرحله بهترین تعداد پوشش‌بک و برنامه‌ریزی تولید حاصل می‌شود.

در ادامه پارامترهای ورودی برای اجرای برنامه‌ریزی تولید در نرم‌افزار NPVS آورده شده است که عبارتند از:

الف) متغیرهای هدف

در این نرم‌افزار اهداف و محدودیت‌های تولید از طریق توابع ریاضی (متغیر هدف) که تابع صفات بلوک بوده و دارای الگوی نرخ یا نسبت هستند تعریف می‌شوند. هدف برنامه‌ریزی در این پروژه، نرخ تولید کانسنگ و توجه به عیار مورد درخواست کارفرما و کمترین نرخ باطله‌برداری در طول عمر معدن است. همچنین با توجه به تجهیزات برای مقادیر مختلف باطله‌برداری سالیانه نیز، به عنوان اولویت بعدی برنامه‌ریزی تولید در نظر گرفته شد. توجه به تناژ تولیدی و عیار محصول در یک محدوده معین از جمله محدودیت‌هایی است که توسط مشتریان به شرکت‌های معدنی تحمیل می‌شود.

ب) پارامتر نرخ تولید و عیار متوسط

با توجه به عیار پایین کانسنگ در این معدن برای تعیین نرخ تولید سالانه، براساس درخواست کارفرما ۳۷۵۰۰۰ تن کانسنگ با حداقل عیار ۱۰ درصد تا حداکثر عیار ۴۵ درصد و میانگین عیار ۲۷/۵ درصد در نظر گرفته شد.

ج) پارامتر تعیین زمان

نرخ تولید سالیانه استخراج کانسنگ، به عنوان یک عامل محدود کننده در بازه زمانی یک سال قابل تعریف است. لذا در این پروژه میزان استخراج کانسنگ و ظرفیت ورودی سنگ شکن ۳۷۵۰۰۰ تن سالیانه، در مدت ۳۳۰ روز کاری سالانه است.

۴-۵-۲-۱- تحلیل نتایج برنامه‌ریزی بلندمدت حاصل از نرم‌افزار NPVS

برای تنظیم مراحل استخراج و به دست آوردن اهداف تناژ و عیار سالیانه، گزینه‌های متعددی برای برنامه‌ریزی تولید در نرم‌افزار تعریف شد. از مهمترین این گزینه‌ها دو عامل نرخ تولید کانسنگ و تعداد پوش‌بک‌ها تغییر داده شد و نتایج حاصل از این تغییرات در امر برنامه‌ریزی مورد تحلیل و

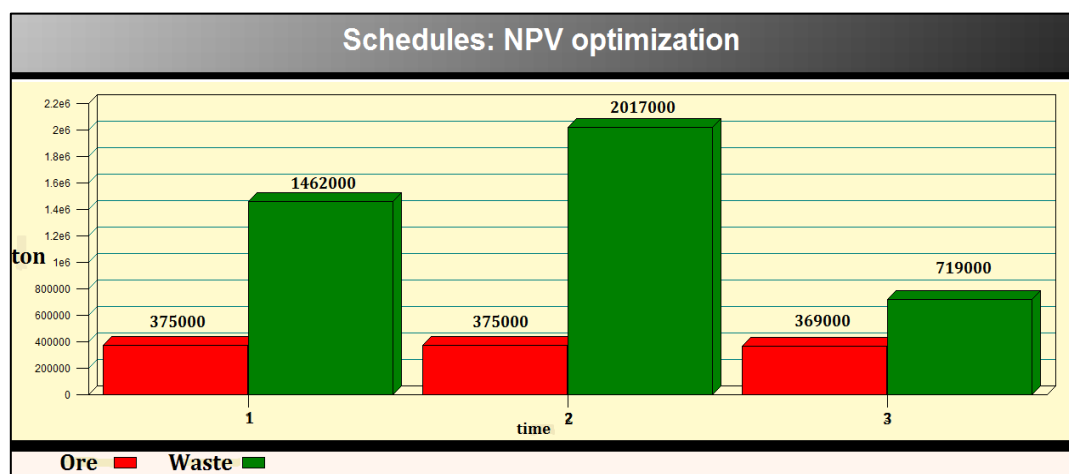
بررسی قرار گرفت. در این گزینه‌ها تعداد پوش بک‌ها بین ۲ تا ۴ (مقایسه ارزش خالص فعلی آنها در قسمت پوش بک‌ها آورده شده است) و نرخ تولید کانسنگ تغییر داده شد. سپس اثر این تغییرات بر روی عوامل اقتصادی، محدودیت‌های عملیاتی، منحنی نرخ تولید (نرخ تولید منظم و تا حد امکان ثابت در همه سال‌ها) و رعایت اهداف تعریف شده بررسی شد و در نهایت گزینه‌ای با ۲ پوش بک انتخاب گردید. با توجه به پارامتر نرخ تولید مورد نیاز کارفرما، با مجموع استخراج کانسنگ به ۱/۱۱۹ میلیون تن و مجموع استخراج باطله به میزان ۴/۱۱۹ میلیون تن با نسبت کلی باطله‌برداری ۳/۷ و عمر معدن ۳ سال حاصل گردید. در جدول ۴-۱۱ نتایج این برنامه‌ریزی تولید نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۱- برنامه‌ریزی تولید بهینه بلندمدت نرم‌افزار NPVS

سال	ارزش خالص فعلی (میلیارد تومان)	تناژ کانسنگ (میلیون تن)	تناژ باطله (میلیون تن)	مجموع کانسنگ و باطله (میلیون تن)	عیار (%)
1	30/99۸	۰/۳۷۵	۱/۴۶۲	۱/۸۳۷	29/2
2	19/56۳	۰/۳۷۵	۲/۰۱۷	۲/۳۹۲	26/2
3	22/76۴	۰/۳۶۹	۰/۷۱۹	۱/۰۸۹	25/4
مجموع	73/32۵	۱/۱۱۹	۴/۱۱۹	۵/۳۱۸	27

با توجه به جدول ۴-۱۱ در سال دوم میزان نسبت باطله‌برداری ۵ است که نشان دهنده باطله‌برداری زیاد و همچنین ارزش خالص فعلی با مقدار کمتر نسبت به سال اول و سوم است. لذا با توجه به این که نرم‌افزار نتوانسته محدودیت میزان باطله در سال دوم را رعایت کند، این مشکل به دلیل شرایط زمین‌شناسی و موقعیت ماده معدنی و در نهایت گسترش پیت به طور عرضی در سال دوم است. لازم به ذکر است که این نتایج ۳ ساله در بهترین حالت و با در نظر گرفتن تعداد پوش بک و برنامه‌ریزی تولید مناسب انتخاب شده است. البته با توجه به نسبت مناسب تولید و بالاترین ارزش خالص فعلی در سال اول و وجود نقدینگی مناسب قبل از سال دوم، مورد تایید

کارفرما بابت فراهم کردن ماشین آلات است. در شکل ۴-۱۳ نمودار مربوط به برنامه ریزی تولید سالانه بر اساس محدوده نهایی بهینه نشان داده شده است.



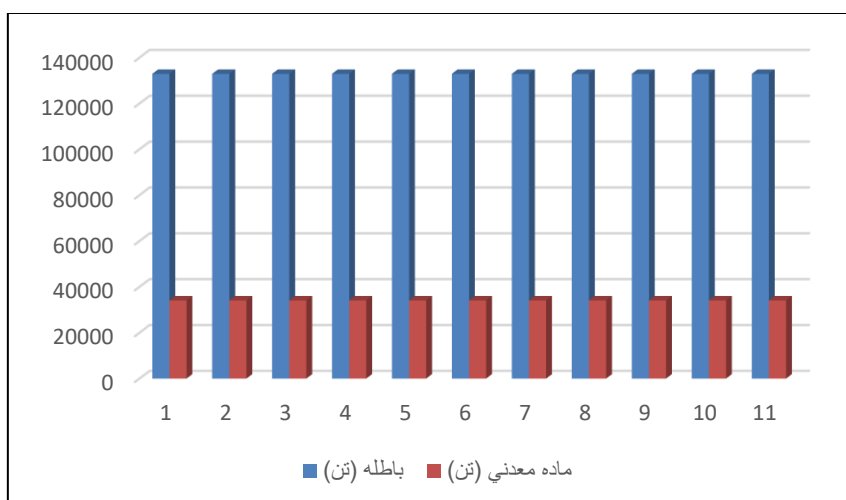
شکل ۴-۱۳ - برنامه ریزی تولید سالانه محدوده نهایی بهینه

۴-۵-۳ - برنامه ریزی تولید کوتاه مدت برای کل عمر معدن

برنامه ریزی تولید کوتاه مدت ماهیانه حاصل از نرم افزار NPVS به برنامه ریزی تولید بلندمدت سالیانه آن وابسته است. بدین صورت که نرم افزار در برنامه ی بلندمدت با توجه ویژه به ارزش خالص فعلی و محدودیت های مهم مانند نرخ تولید سالیانه عمل کرده و آنچه حاصل می شود را در قالب برنامه ریزی کلی سالیانه به دست می آورد. در این بخش برای به دست آوردن برنامه ریزی تولید کوتاه مدت ماهیانه، از تقسیم نرخ تولید سالیانه بر تعداد ۱۱ ماه کاری در سال با مقدار تناژ یکنواخت حاصل شد. دلیل یکنواخت بودن تناژ برنامه ریزی تولید ماهانه حاصل از نرم افزار NPVS به این علت است که شرایطی برای تعریف محدودیت های ماهانه در نرم افزار وجود ندارد و به همین دلیل برای به دست آوردن تناژ تولیدی استخراج ماهانه از تقسیم سالانه حاصل از نرم افزار NPVS بر تعداد ماه کاری (با توجه به ۳۳۰ روز کاری ۱۱ ماه در نظر گرفته شد) به دست آمده است. در جداول ۴-۱۲ تا ۴-۱۴ نتایج برنامه ریزی تولید ماهانه تا پایان عمر معدن با استفاده از نرم افزار NPVS آورده شده و همچنین در شکل های ۴-۱۴ تا ۴-۱۶ نمودار ستونی این نتایج نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۲- برنامه‌ریزی تولید ماهانه در سال اول حاصل از نرم‌افزار NPVS

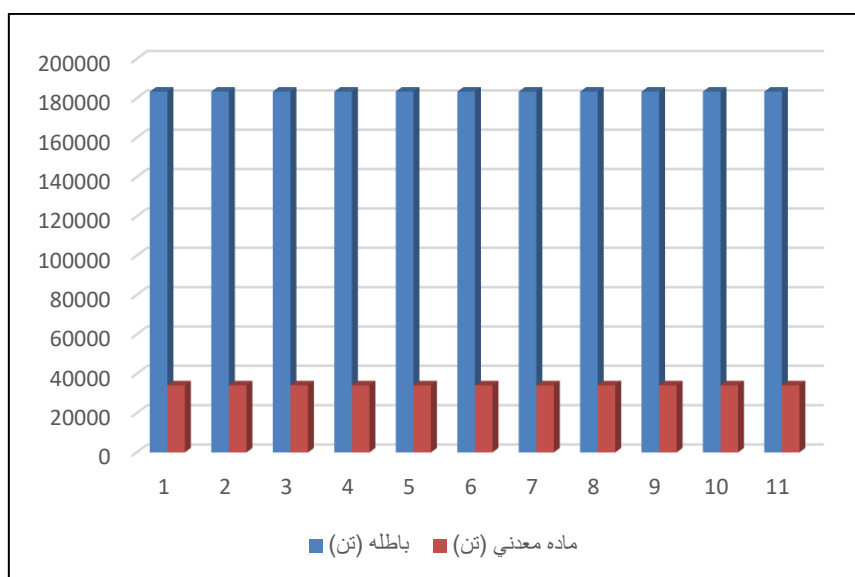
ماه	مجموع کانسنگ و باطله (هزار تن)	تناژ کانسنگ (هزار تن)	تناژ باطله (هزار تن)	عیار (%)
۱	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
۲	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
۳	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
۴	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
۵	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
۶	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
۷	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
۸	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
۹	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
۱۰	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
۱۱	۱۶۷	۳۴	۱۳۳	۲۹/۲
مجموع	۱۸۳۷	۳۷۵	۱۴۶۲	۲۹/۲



شکل ۴-۱۴- نمودار برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال اول حاصل از نرم‌افزار NPVS

جدول ۴-۱۳- برنامه‌ریزی تولید ماهانه در سال دوم حاصل از نرم‌افزار NPVS

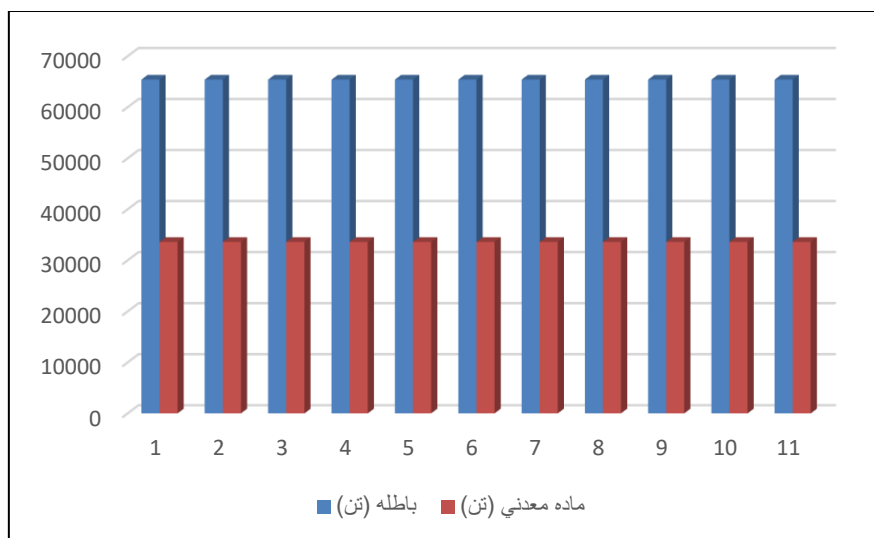
ماه	مجموع کانسنگ و باطله (هزار تن)	تناژ کانسنگ (هزار تن)	تناژ باطله (هزار تن)	عیار (%)
۱	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
۲	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
۳	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
۴	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
۵	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
۶	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
۷	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
۸	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
۹	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
۱۰	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
۱۱	۲۱۷	۳۴	۱۸۳	۲۶/۲
مجموع	۲۳۹۲	۳۷۵	۲۰۱۷	۲۶/۲



شکل ۴-۱۵- چارت برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال دوم حاصل از نرم‌افزار NPVS

جدول ۴-۱۴ - برنامه‌ریزی تولید ماهانه در سال سوم حاصل از نرم‌افزار NPVS

ماه	مجموع کانسنگ و باطله (هزار تن)	تناژ کانسنگ (هزار تن)	تناژ باطله (هزار تن)	عیار (%)
۱	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
۲	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
۳	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
۴	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
۵	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
۶	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
۷	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
۸	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
۹	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
۱۰	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
۱۱	۹۹	۳۳/۵	۶۵	۲۵/۴
مجموع	۱۰۸۵	۳۶۹/۵	۷۱۹	۲۵/۴



شکل ۴-۱۶ - چارت برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال سوم حاصل از نرم‌افزار NPVS

همانطور که از جداول (۱۲-۴ تا ۱۴-۴) مشاهده شده است، نتایج برنامه‌ریزی تولید ماهانه از تقسیم سالانه برنامه‌ریزی تولید بر تعداد ماه کاری در سال در طول مدت ۳ سال به دست آمده است.

۴-۶- برنامه‌ریزی تولید با نرم‌افزار Minesched

در این پایان‌نامه برای بخش دوم برنامه‌ریزی تولید بلندمدت و کوتاه‌مدت از نرم‌افزار Minesched استفاده شده است. مراحل اجرایی برنامه‌ریزی تولید در این نرم‌افزار با ورود مدل بلوکی زمین‌شناسی که در نرم‌افزار Datamine تهیه شده، در ادامه با تنظیمات برنامه‌ریزی تولید از جمله تعریف کردن محدوده بهینه حاصل از نرم‌افزار NPVS به صورت سطح سه‌بعدی (پوسته) و سایر شرایط و محدودیت‌ها انجام شده است. در پایان پس از تعریف زمان‌بندی برنامه‌ریزی تولید به صورت بلندمدت یا کوتاه‌مدت نتایج بررسی شده است. در ابتدا مختصری از نرم‌افزار Minesched بیان شده است.

❖ نرم‌افزار Minesched

MineSched نرم‌افزار قدرتمندی برای برنامه‌ریزی عملیات بهره‌برداری و استخراج از معادن سطحی و زیرسطحی است. برای برنامه‌ریزی تولید بلندمدت و کوتاه‌مدت یک معدن به طور سالانه، ماهانه، هفتگی یا روزانه بر اساس شرایط و محدودیت‌های معدنکاری، می‌توان از نرم‌افزار Minesched استفاده کرد. نرم‌افزار Minesched، قابلیت اجرایی معادن به صورت منظم و متمرکز را دارد. این نرم‌افزار در سال ۱۹۹۸ توسط شرکت GEOVIA ارائه شد. MineSched برنامه‌های بلندمدت و کوتاه‌مدتی تولید می‌کند که اهداف و ظرفیت‌ها و کیفیت مواد را برآورده می‌کند. این محصول با فراهم کردن انبوهی از قابلیت‌ها به ما کمک می‌کند تا پراکندگی امور و پیچیدگی مسائل مرتبط با برنامه‌ریزی عملیات استخراج از معادن را کاهش دهیم و به صورت متمرکز بتوانیم در یک محیط یکپارچه تصمیم‌گیری‌های سطح بالا و دقیقی داشته باشیم. این برنامه راه‌حلی جامع و آزمایش شده برای برنامه‌ریزی معادن سطحی و زیر سطحی با هر ابعاد و اندازه‌ای از برنامه‌ریزی‌های کوچک گرفته تا پیچیده‌ترین عملیات بهره‌برداری از معادن است. این محصول با سایر نرم‌افزارهای هم‌خانواده‌اش مانند:

GeoviaGEM, GeoviaSurpac, GeoviaMinex و بسیاری از نرم‌افزارهای ژئولوژی و برنامه‌ریزی استخراج معادن سازگار است.

این نرم‌افزار تمام مراحل مورد نیاز را در راستای یک برنامه‌ریزی بلندمدت در معادن روباز و زیرزمینی را طراحی کرده و با توجه به محدودیت‌ها، ظرفیت معدن و پردازش ساعت‌های کامیون، حفاری و انفجار، مخلوط کردن و محدودیت‌های مدیریت ذخایر برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت را انجام می‌دهد. می‌توان از مدل‌سازی و مدیریت ذخایر معدنی، بلوک‌های تخریب شده و مدل شده با برنامه‌های پر کردن خودکار و زمان‌بندی مناسب در کانسنگ و باطله استفاده کرد. یکی از مزیت‌های مهم استفاده از این برنامه گزارشات خروجی و گرافیکی آن به صورت جداول و چارت‌های گرافیکی است. گزارش‌گیری و تصاویر سه‌بعدی داده‌ها از مواد در تخلیه کانسنگ و باطله راجه صورت فیلم گرافیکی نیز نشان می‌دهد که برای میزان تولید منظم، مدیریت و بازسازی باطله‌های بلندمدت ضروری است.

۴-۶-۱- پارامترهای ورودی به نرم‌افزار Minesched

پارامترهای ورودی به نرم‌افزار Minesched برای به دست آوردن برنامه‌ریزی تولید بلندمدت و کوتاه‌مدت یکسان هستند و فقط در بخش تعریف زمان‌بندی تولید تفاوت دارند. پارامترهای ورودی به نرم‌افزار Minesched عبارتند از:

الف) متغیر هدف

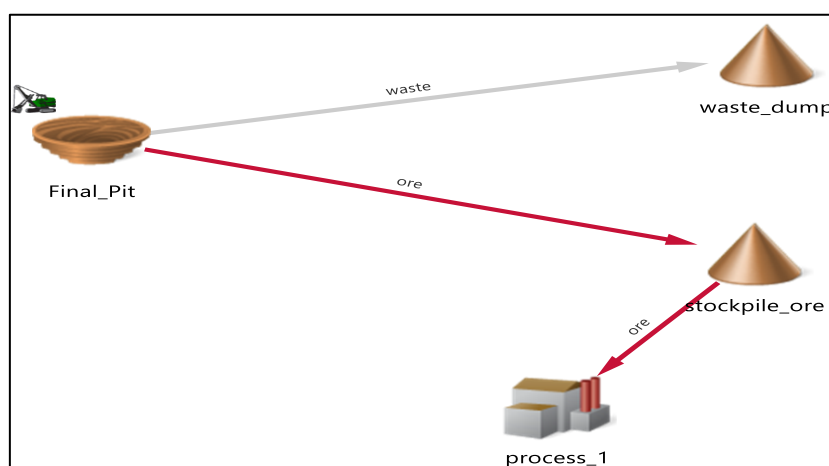
پس از ورود مدل بلوکی زمین‌شناسی و سطح پیت بهینه نهایی که در مراحل قبل تهیه شدند، هدف برنامه‌ریزی تولید با توجه به نرخ تولید و عیار مورد درخواست کارفرما تعریف شد. همچنین به عنوان اولویت بعدی کمترین نرخ باطله‌برداری در طول عمر معدن و با توجه به ظرفیت تجهیزات محدودیت‌های اجرایی تعریف شد.

ب) تطبیق پارامتر کیفی مواد

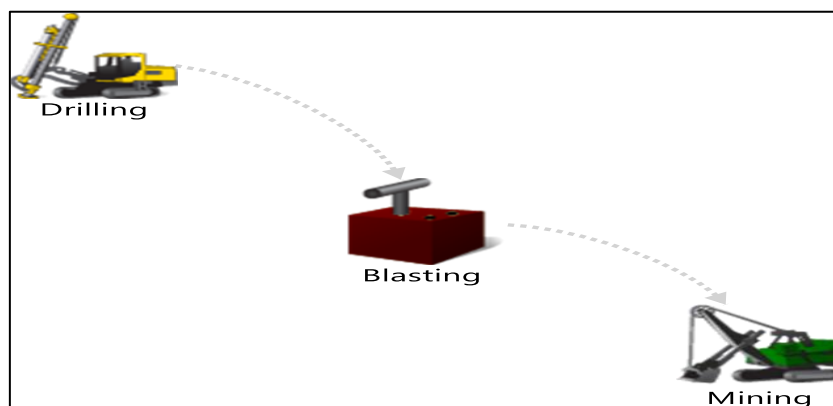
با توجه به خصوصیات تعریف شده بلوک‌ها در مرحله مدل‌سازی، در ابتدا نیاز به هماهنگی و تطبیق این خصوصیات در نرم افزار Minesched وجود دارد و با تعریف و یکسان سازی آن مشخصات، از جمله تقسیم‌بندی عیاری و مشخص کردن عیار حد تطبیق انجام شد.

ج) ترتیب مراحل معدنکاری و تعیین مکان‌ها

ترتیب انجام فرآیند مراحل معدن کاری و ارتباط بین مکان‌ها و ترتیب اولویت مسیرهای بین مکان‌ها در معدن از اهمیت بالایی در این بخش برخوردار است که با تعیین این مورد به صورت زیر انجام می‌شود (شکل ۴-۱۷ و ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۷- تصویر ارتباطی بین مکان‌ها در نرم افزار Minesched



شکل ۴-۱۸- تصویر ترتیب مراحل در نرم‌افزار Minesched

د) مشخصات معدنکاری

در بخش ورود مشخصات معدنکاری نرم افزار Minesched، ابتدا محدوده پیت بهینه نهایی به صورت سطح سه بعدی (پوسته) وارد نرم افزار Minesched شده است. همچنین سایر مشخصات تعریف شده معدنکاری در جدول ۴-۱۵ آورده شده است. با توجه به مشخصات ورودی، تناژ موجود در پیت بهینه به میزان ۱/۰۷۴ میلیون تن کانسنگ و ۴/۲۹۱ میلیون تن باطله با نسبت باطله برداری ۳/۹۹ حاصل شد.

جدول ۴-۱۵- مشخصات ورودی معدنکاری در نرم افزار Minesched

عنوان	نوع معدنکاری	ارتفاع پیت (متر)	ارتفاع پله (متر)	جهت پیشروی استخراج (باتوجه دسترسی)	ابعاد بلوک
میزان	پله ای	۱۹۸۰-۲۱۶۰	۱۰	غربی	۱۰

پ) نرخ تولید و عیار متوسط

با توجه به اینکه در این نرم افزار تعیین نرخ تولید به صورت روزانه است، این تناژ بر اساس نرخ تولید مورد درخواست کارفرما و شرایط اجرایی استخراج در طول عمر سه ساله معدن مانند نرم افزار NPVS به دست آمده است. بدین ترتیب از تقسیم کل تناژ پیت نهایی در طول ۳ سال و تقسیم به تعداد ۳۳۰ روز کاری در سال، عدد ثابت استخراج روزانه با عیار متوسط ۲۷/۵ درصد محاسبه شده است. در جدول ۴-۱۶ تناژ پیت بهینه نهایی و تناژ به دست آمده روزانه نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۶- تناژ پیت بهینه نهایی و تناژ روزانه ورودی به نرم افزار Minesched

تناژ پیت بهینه نهایی		تناژ روزانه استخراج	
کانسنگ (میلیون تن)	باطله (میلیون تن)	کانسنگ (تن)	باطله (تن)
۱/۰۷۴	۴/۲۹۱	۱۰۸۵	۴۳۳۵

ت) تعیین ظرفیت ماشین آلات استخراج

در نرم افزار Minesched بخش بسیار مهم در برنامه ریزی تولید تعیین ظرفیت ماشین آلات است که با تغییر مقدار آن می توان نرخ تولید را تغییر داد. ظرفیت ماشین آلات برای این نرم افزار به صورت مجموع کل ظرفیت ماشین آلات وارد می شود. این ظرفیت بر اساس مقدار نرخ تولید به دست می آید که با یکدیگر رابطه ای مستقیم دارند. بدین ترتیب که با تکرار زیاد در وارد کردن مقدار ظرفیت ماشین آلات، نرخ تولید مورد هدف حاصل و ظرفیت وارد شده به عنوان ظرفیت نهایی ماشین آلات انتخاب می شود. سپس با این مقدار ظرفیت می توان برنامه ریزی برای تامین و تعداد ماشین آلات اقدام کرد. در بخش برنامه ریزی تولید سالانه این نرم افزار ظرفیت ماشین آلات با سعی و خطا بسیار زیاد، بهترین مقدار با توجه به نرخ تولید انتخاب شد و برابر با ۱۵۰۰ تن کانسنگ و ۴۹۰۰ تن باطله روزانه به دست آمد.

ث) تعیین زمان بندی

عامل محدود کننده تولید با تعیین ۳۵ روز تعطیلی در سال (با توجه به ۳۳۰ روز کاری) تعریف شده و با مشخص کردن تقویم، نرم افزار این محدودیت را به صورت متوالی برای هر سال در نظر می گیرد.

ر) نرخ تولید و اولویت در مقصدهای خارج از پیت

با توجه به میزان نرخ تولید روزانه در محدوده استخراج پیت که در فوق به آن اشاره شد، لذا با توجه به اهمیت ترتیب خروج بار از محدوده استخراجی به مقاصد تعیین شده برای کانسنگ و باطله، همان میزان نرخ به همراه ترتیب اولویت آنها در مقصدها تعریف شده است.

۴-۶-۲- نتایج حاصل از برنامه‌ریزی تولید نرم‌افزار Minesched

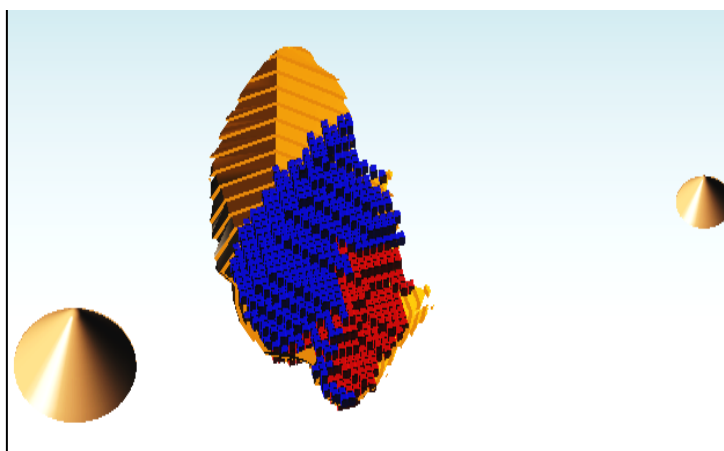
فرآیند اعمال محدودیت‌ها تا قبل از دریافت نتایج برای برنامه‌ریزی تولید بلندمدت و کوتاه‌مدت حاصل از پیت بهینه نهایی، یکسان است و تنها در بخش نتایج با تفکیک و تعیین زمان می‌توان به هدف مورد نظر دست یافت. با توجه به این که این نرم‌افزار برنامه‌ریزی تولید سالانه، ماهانه، هفتگی و روزانه را تا پایان عمر معدن ارائه می‌کند، در این بخش نتایج برنامه‌ریزی تولید بلندمدت سالانه و همچنین با توجه به امر ضروری این تحقیق برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت ماهانه محاسبه شده است.

الف) نتایج برنامه‌ریزی تولید بلندمدت سالانه

با تعیین زمان شروع و پایان پروژه و ۳۳۰ روز کاری در سال و اعمال محدودیت‌ها، پس از اجرا شدن نرم‌افزار نتایج زیر حاصل شد که در جدول ۴-۱۷ آورده شده است. در شکل ۴-۱۹ نمای گرافیکی بعد از استخراج سال اول را نشان داده شده است.

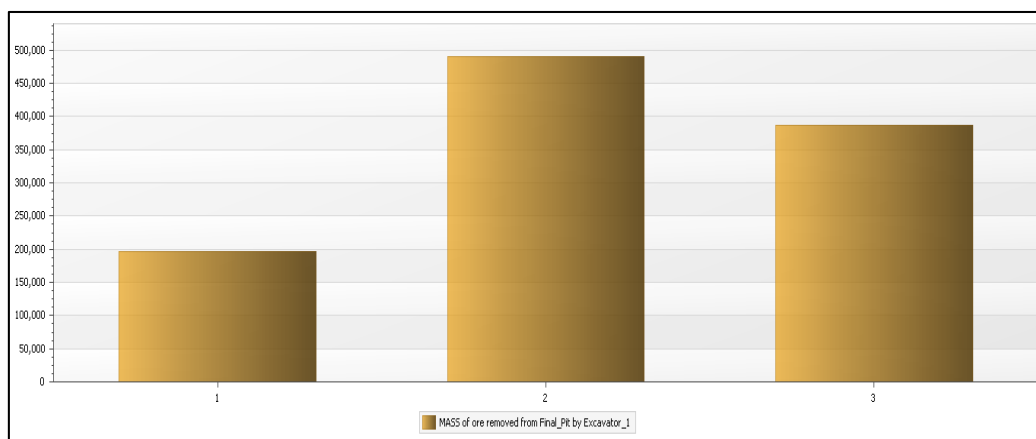
جدول ۴-۱۷- برنامه‌ریزی تولید سالیانه حاصل از نرم‌افزار Minesched

سال	کانسنگ (میلیون تن)	باطله (میلیون تن)	مجموع کانسنگ و باطله (میلیون تن)	عیار (%)
۱	۰/۱۹۶	۱/۶۲۱	۱/۸۱۸	۳۰/۶
۲	۰/۴۹	۱/۶۱۷	۲/۱۰۷	۲۵/۹
۳	۰/۳۸۷	۱/۰۵۲	۱/۴۴	۳۰/۴
مجموع	۱/۰۷۴	۴/۲۹۱	۵/۳۶۶	۲۹/۱



شکل ۴-۱۹- نمای گرافیکی بعد از استخراج سال اول در نرم‌افزار Minesched

برای رسیدن به برنامه‌ریزی تولید بلندمدت سالیانه حاصل از نرم‌افزار Minesched، نرم‌افزار چندین بار مورد آزمایش و تحلیل قرار گرفت. با توجه به نتایج جدول ۴-۱۷ تناژ سالیانه استخراج کانسنگ و باطله و عیار، میزان باطله سالیانه در طول ۳ سال متناسب و یکنواخت است، اما تناژ کانسنگ ماده معدنی در طول ۳ سال نامتناسب و دور از اهداف تعیین شده به دست آمده است. این نتایج به دلیل وجود شرایط اعمال شده محدودیت‌ها و همچنین شرایط عملیاتی است، زیرا شرایط اعمال شده در طول دوره کل عمر معدن نمی‌تواند یکسان و ثابت باشد. لذا بهترین راه حل برای اعمال محدودیت‌ها بهتر است در فاصله زمانی کوتاه‌مدت باشد تا با تنظیم برنامه اجرایی در بخش ماشین‌آلات و سایر شرایط تغییرپذیر، در راستای برنامه‌ریزی بلندمدت حرکت کرد. در شکل ۴-۲۰ تناژ کانسنگ برنامه‌ریزی بلندمدت سالیانه از پیت نهایی حاصل از نرم‌افزار Minesched نشان داده شده است.

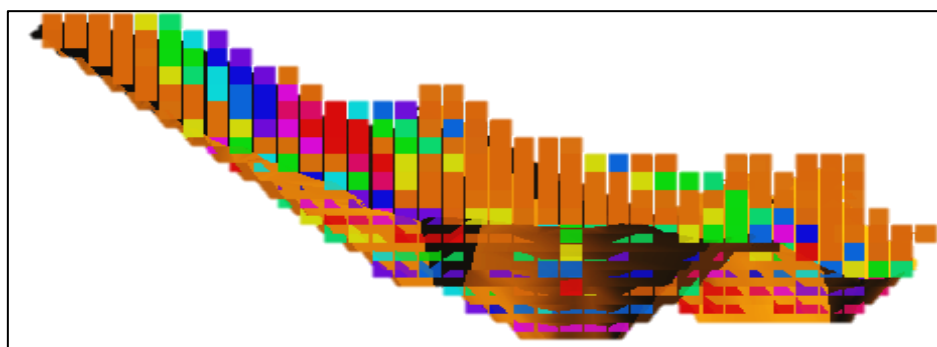


شکل ۴-۲۰- تناژ کانسنگ برنامه‌ریزی بلند مدت سالیانه از پیت نهایی حاصل از نرم‌افزار Minesched

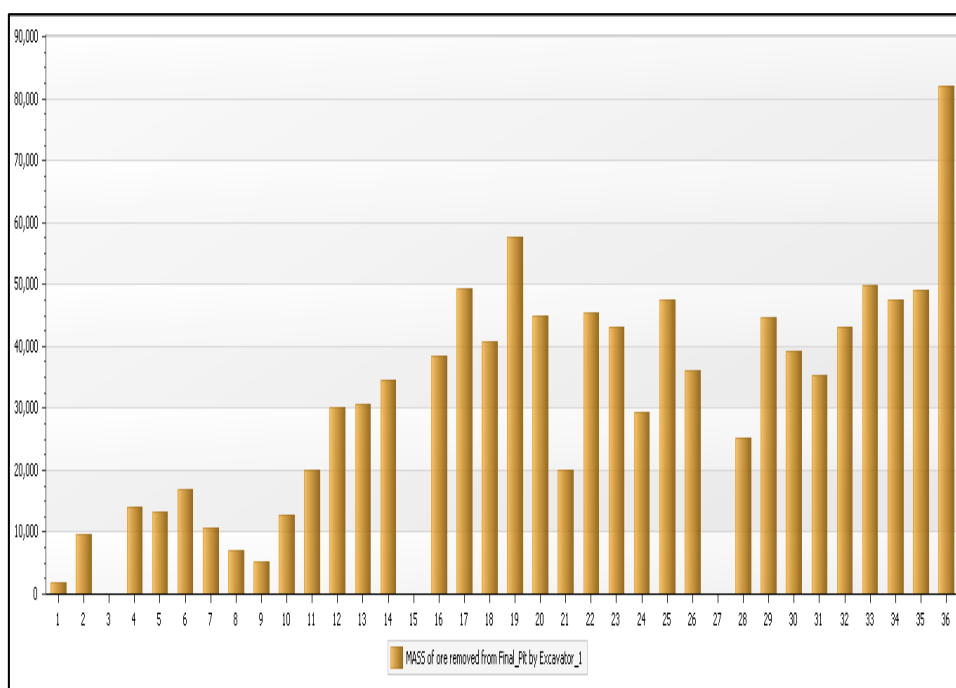
(ب) نتایج برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت ماهانه (بخش اول)

با تعیین زمان شروع و پایان پروژه و ۱۱ ماه کاری در سال (۳۳۰ روز کاری در سال) و اعمال شرایط محدودیت تعطیلات، پس از اجرا شدن نرم‌افزار نتایج آن مطابق با جداول ۱۸-۴ تا ۲۰-۴ حاصل شد. این برنامه‌ریزی ماهانه بر اساس پیت نهایی انجام گرفته و تا پایان عمر معدن و نزدیک به ۳۶ ماه محاسبه شده است. (لازم به ذکر است ۳۶ ماه کل عمر معدن بوده اما با وارد کردن ۳ ماه به

عنوان تعطیلات مجموعاً ۳۳ ماه در کل عمر معدن ثبت می‌شود) در شکل ۴-۲۱ نمای گرافیکی شرقی-غربی پیت برای برنامه‌ریزی تولید ماهانه آورده شده است. همچنین در شکل ۴-۲۲ نمودار تناژ کانسنگ برداشت شده ماهانه از پیت نهایی حاصل از نرم‌افزار Minesched نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۱- نمای شرقی-غربی پیت برنامه‌ریزی تولید ماهانه نرم‌افزار Minesched



شکل ۴-۲۲- نمودار تناژ کانسنگ برداشت شده ماهانه از پیت نهایی حاصل از نرم‌افزار Minesched

جدول ۴-۱۸- برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال اول (۱) نرم‌افزار Minesched

ماه	کانسنگ (هزار تن)	باطله (هزار تن)	مجموع کانسنگ و باطله (هزار تن)	عیار (%)
۱	۱/۸	۱۳۴/۴	۱۳۶/۲	28/9
۲	۹/۶	۱۲۵/۷	۱۳۵/۳	31/4
۳	۰	۰	۰	۰
۴	۱۳/۹	۱۱۲/۷	۱۲۶/۷	27/5
۵	۱۳/۳	۱۳۴/۴	۱۴۷/۷	29/8
۶	۱۶/۹	۱۳۰	۱۴۷	27/5
۷	۱۰/۶	۱۳۴/۴	۱۴۵/۱	29/9
۸	۷	۱۳۴/۴	۱۴۱/۴	30/7
۹	۵/۳	130	۱۳۵/۴	35/1
۱۰	۱۲/۷	۱۳۴/۴	۱۴۷	32
۱۱	۱۹/۹	۱۳۰	۱۴۹/۹	29/8
۱۲	۳۰/۲	۱۳۴/۴	۱۶۴/۵	34/1
مجموع	۱۴۱/۵	۱۴۳۴/۹	۱۵۷۶/۴	30/6

جدول ۴-۱۹- برنامه‌ریزی تولید ماهانه سال دوم (۱) نرم‌افزار Minesched

ماه	کانسنگ (هزار تن)	باطله (هزار تن)	مجموع کانسنگ و باطله (هزار تن)	عیار (%)
۱۳	۳۰/۷	134/4	165	19/6
۱۴	۳۴/۶	121/4	155/9	26/1
۱۵	۰	۰	۰	۰
۱۶	۳۸/۳	112/7	151	24/7
۱۷	49/2	134/4	183/5	25/1
۱۸	40/8	130	170/8	23/1
۱۹	57/5	134/4	191/9	24/1
۲۰	44/9	134/4	179/4	27/5
۲۱	19/9	130	150	29/4
۲۲	45/4	134/4	179/8	28/9
۲۳	43	130	173/2	26/4
۲۴	29/4	134/4	163/8	30/4
مجموع	433/9	1430/5	1864/5	25/9

جدول ۴-۲۰- برنامه ریزی تولید ماهانه سال سوم (۱) نرم افزار Minesched

ماه	کانسنگ (هزار تن)	باطله (هزار تن)	مجموع کانسنگ و باطله (هزار تن)	عیار (%)
۲۵	47/4	134/4	181/8	27/5
۲۶	36	121/4	157/4	28/4
۲۷	۰	۰	۰	۰
۲۸	25/2	112/7	137/9	31/7
۲۹	44/7	134/4	179	26/5
۳۰	39/3	130	169/3	28/9
۳۱	35/2	134/4	169/5	31/4
۳۲	43	134/4	177/4	27/7
۳۳	49/9	130	179/9	35/1
۳۴	47/4	134/4	181/8	33/4
۳۵	48,9	130	178/9	29/8
۳۶	82/065	130/2	212/2	33/6
مجموع	499/058	1426/3	1925/4	30/4

همانطور که مشاهده می شود با توجه به اعمال محدودیت ها از جمله تعیین زمان بندی استخراج و در نهایت با اجرا شدن نرم افزار، نتایج فوق به دست آمد. همانند برنامه ریزی تولید بلندمدت سالیانه، نرم افزار چندین بار مورد آزمایش و تحلیل قرار گرفت تا بهترین نتیجه حاصل شده است. نتایج برنامه ریزی تولید ماهانه به همراه میزان تناژ کانسنگ و باطله و عیار برای هر سال است. از نتایج خروجی از نرم افزار مشاهده می شود با توجه به اعمال تعطیلی ماهانه در سال، ماه ۳، ۱۵ و ۲۷ بدون استخراج بوده و توسط نرم افزار حذف شده است. همچنین میزان باطله و کانسنگ ماهانه به طور کاملاً متفاوت حاصل گردیده و این امر به دلیل اعمال محدودیت ها در فاصله زمانی کوتاه تر است.

ج) نتایج برنامه ریزی تولید کوتاه مدت ماهانه (بخش دوم)

با تعیین زمان شروع و پایان پروژه و ۱۱ ماه کاری در سال (۳۳۰ روز کاری در سال) و اعمال شرایط محدودیت تعطیلات، پس از اجرا شدن نرم افزار نتایج جدول ۴-۲۱ حاصل شده است. همانطور که بیان شد، این برنامه ریزی تولید ماهانه بر اساس سطح پیت (پوسته) سال اول انجام گرفته و تا پایان

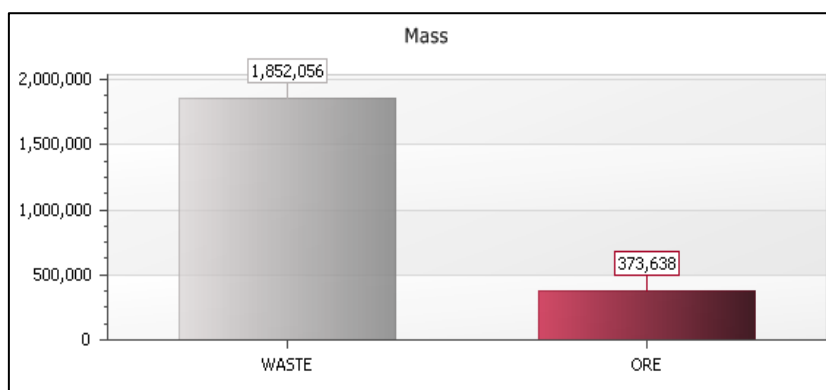
۱۲ ماه محاسبه شده است. در شکل ۴-۲۳ نمودار تناژ سطح پیت سال اول نشان داده شده است.

همچنین در شکل ۴-۲۴ نمودار تناژ کانسنگ برداشت شده ماهیانه از پیت سال اول حاصل از

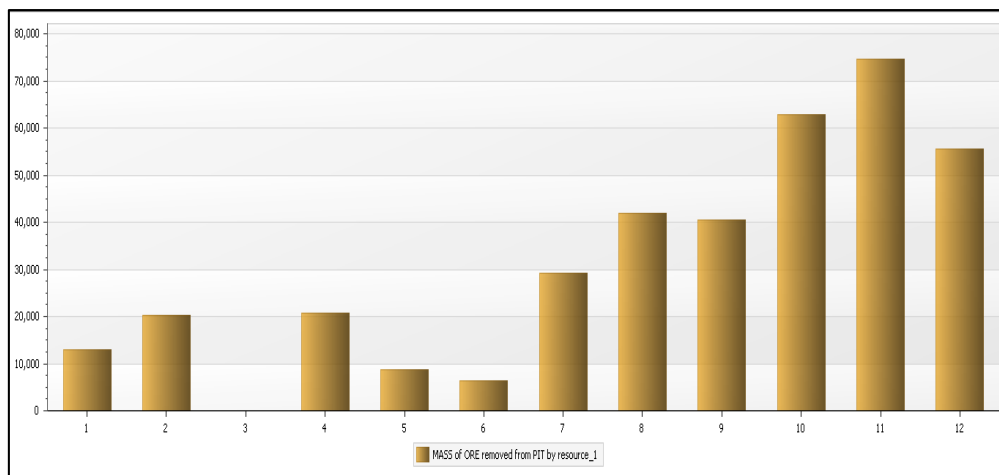
نرم افزار Minesched نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۱- برنامه ریزی تولید ماهانه سال اول (۲) نرم افزار Minesched

ماه	کانسنگ (هزار تن)	باطله (هزار تن)	مجموع کانسنگ و باطله (هزار تن)	عیار (%)
۱	12/8	173/9	186/8	21/9
۲	20/3	162/8	183	23/7
۳	۰	۰	۰	۰
۴	20/8	145/9	166/7	26/3
۵	8/8	173/9	182/8	27/4
۶	6/4	168/4	174/7	25/3
۷	29/2	173/9	203/2	28/1
۸	41/9	173/9	215/8	30/7
۹	40/6	168/4	208/9	26/7
۱۰	62/9	173/9	236/8	31/8
۱۱	74/7	168/4	243	29/8
۱۲	55/5	168/5	223/9	32/1
مجموع	373/7	1852	2225/7	27/6



شکل ۴-۲۳- نمودار تناژ سطح پیت سال اول نرم افزار Minesched



شکل ۴-۲۴- چارت تناژ کانسنگ برداشت شده ماهیانه از پیت سال اول حاصل از نرم افزار Minesched

همانطور که در جدول ۴-۲۱ مشاهده می شود با توجه به اعمال محدودیت ها از جمله استفاده از سطح پیت سال اول و تعیین زمان بندی استخراج و در نهایت با اجرا شدن نرم افزار، نتایج فوق به دست آمد. همانند مراحل قبلی، نرم افزار چندین بار مورد آزمایش و تحلیل قرار گرفت تا بهترین نتیجه حاصل شد. نتایج برنامه ریزی تولید ماهانه به همراه میزان تناژ استخراجی کانسنگ و باطله و عیار مشخص شده برای سال اول به دست آمده است. از نتایج خروجی از نرم افزار مشاهده می شود با توجه به نزدیکی مجموع تناژ باطله، کانسنگ و عیار و نزدیک بودن به برنامه ریزی تولید بلندمدت سالانه حاصل از نرم افزار NPVS، نشان از تاثیر پیت خروجی سال اول است. با کوچک تر شدن محدوده استخراجی با سطح پیت سال اول و مشخص شدن فضای کار اجرایی، شرایط و محدودیت های عملیاتی با انحراف کمتری برای برنامه ریزی تولید کوتاه مدت اجرا می شوند. لذا با اجرای درست و رسیدن به برنامه ریزی تولید کوتاه مدت، اهداف تعیین شده به درستی در راستای برنامه بلندمدت به دست می آیند.

۴-۷- مقایسه نتایج برنامه ریزی تولید بلندمدت

نتایج برنامه ریزی تولید بلندمدت سالیانه کانسنگ ماده معدنی، عیار و باطله حاصل از نرم افزار NPVS و Minesched با یکدیگر مقایسه شدند (جدول ۴-۲۲). در برنامه ریزی تولید بلندمدت، نرخ تولید سالیانه بر اساس پیت نهایی معدن از ابتدا تا پایان عمر معدن به دست آمده است.

جدول ۴-۲۲- مقایسه نرخ تولید کانسنگ، عیار و باطله سالیانه

NPVS			Minesched			سال برنامه ریزی
باطله (میلیون تن)	کانسنگ (میلیون تن)	عیار %	باطله (میلیون تن)	کانسنگ (میلیون تن)	عیار %	
1/462	0/375	29/2	1/621	0/196	30/6	سال اول
2/017	0/375	26/2	1/617	0/490	25/9	سال دوم
0/719	0/369	25/4	1/052	0/387	30/4	سال سوم
4/199	1/119	27	4/291	1/074	29	مجموع

همانطور که از نتایج به دست آمده ملاحظه می‌شود، با توجه به شرایط تعریف شده و تکرار آن‌ها در هر دو نرم‌افزار، این نتایج در بهترین حالت به دست آمده است. مشاهده می‌شود که مجموع نرخ تولید کانسنگ حاصل از نرم‌افزار NPVS از Minesched براساس پیت نهایی با کمی اختلاف بیشتر و تناژ باطله آن کمتر است. نرخ تولید کانسنگ سالیانه حاصل از نرم‌افزار NPVS با توجه به تعیین آن به عنوان هدف با عیار مشخص در بخش فرآیند برنامه‌ریزی تولید نزدیک به همان میزان بوده، اما با همین شرایط در نرم‌افزار Minesched در طول ۳ سال، نرخ تولید متفاوت کانسنگ ماده معدنی و باطله به دست آمده است. نرخ تولیدی که در سال اول توسط نرم‌افزار Minesched با کانسنگ کمتر و باطله بیشتر و در نرم‌افزار NPVS در سال سوم با کانسنگ باطله کمتر نسبت به سال‌های بعد است.

با توجه به اهداف تعریف شده در برنامه‌ریزی تولید بلندمدت که براساس نرخ تولید کانسنگ سالیانه مورد درخواست کارفرما اجرا شده، مشاهده می‌شود که نرم‌افزار NPVS به درستی این هدف را در نرخ تولید سالیانه انجام داده است. با توجه به هدف اصلی برنامه‌ریزی تولید بلندمدت که بیشترین ارزش خالص فعلی است، نرخ تولید سالیانه حاصل از نرم‌افزار NPVS در مقایسه با نرم‌افزار Minesched، به خصوص در سال اول مناسب با این هدف است. بنابراین برنامه‌ریزی تولید بلندمدت حاصل از نرم‌افزار NPVS به عنوان برنامه‌ریزی تولید بلندمدت بهینه انتخاب شد.

۴-۸- مقایسه نتایج برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت (۱)

نتایج برنامه‌ریزی تولید ماهانه کانسنگ ماده معدنی، عیار و باطله سال اول حاصل از نرم‌افزار NPVS و Minesched با یکدیگر مقایسه شدند (جدول ۴-۲۳). در برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت، نرخ تولید ماهانه بر اساس پیت بهینه نهایی از ابتدا تا پایان عمر معدن به دست آمده است.

جدول ۴-۲۳- مقایسه نرخ تولید کانسنگ، عیار و باطله ماهانه در سال اول (۱)

NPVS			Minesched			سال برنامه‌ریزی
باطله (هزارتن)	کانسنگ (هزارتن)	عیار %	باطله (هزارتن)	کانسنگ (هزارتن)	عیار %	
132/9	34	29/2	134/4	1/8	28/9	ماه اول
132/9	34	29/2	125/8	9/7	31/5	ماه دوم
132/9	34	29/2	112/7	13/9	27/5	ماه سوم
132/9	34	29/2	134/4	13/4	29/8	ماه چهارم
132/9	34	29/2	130	16/9	27/5	ماه پنجم
132/9	34	29/2	134/4	10/6	29/9	ماه ششم
132/9	34	29/2	134/4	7	30/7	ماه هفتم
132/9	34	29/2	130	5/2	33/2	ماه هشتم
132/9	34	29/2	134/4	12/7	32	ماه نهم
132/9	34	29/2	130	19/9	29/8	ماه دهم
132/9	34	29/2	134/4	30/2	32/2	ماه یازدهم
1462/5	375	29/2	1434/9	141/5	30/6	مجموع

با توجه به جدول ۴-۲۳ نتایج ماهانه سال اول براساس پیت بهینه نهایی به دست آمده است. مشاهده می‌شود که مجموع نرخ باطله ماهانه هر دو نرم‌افزار نزدیک به یکدیگر بوده، اما در مجموع نرخ کانسنگ با یکدیگر متفاوت هستند. نرخ تولید ثابت ماهانه حاصل از نرم‌افزار NPVS از تقسیم نرخ تولید سالیانه به ۱۱ ماه کاری (۳۳۰ روز کاری) به دست آمده است. اما نرخ تولید ماهانه حاصل از نرم‌افزار Minesched بر اساس محدودیت‌ها و شرایط تعریف شده و مهمترین آن بر اساس پیت

بهینه نهایی به دست آمده است. مشاهده می‌شود که مجموع میزان کانسنگ ماهانه نرم‌افزار Minesched از نرخ تولید سالیانه آن کمتر است. این نتیجه به دلیل استفاده از پیت بهینه نهایی برای برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت است. بنابراین نرخ برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت ماهانه حاصل از نرم‌افزار Minesched با توجه به انحراف از برنامه‌ریزی بلندمدت سالانه مناسب نبوده و در این بخش برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت حاصل از NPVS انتخاب شد.

۴-۹- مقایسه نتایج برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت (۲)

نتایج برنامه‌ریزی تولید ماهانه کانسنگ ماده معدنی، عیار و باطله سال اول حاصل از نرم‌افزار NPVS و Minesched با یکدیگر مقایسه شدند (جدول ۴-۲۴). لازم به ذکر است در برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت با نرم‌افزار Minesched، نرخ تولید ماهانه در این بخش با استفاده از پیت خروجی سال اول حاصل از نرم‌افزار NPVS به دست آمده است.

جدول ۴-۲۴- مقایسه نرخ تولید کانسنگ، عیار و باطله ماهانه در سال اول (۲)

NPVS			Minesched			سال
باطله (هزارتن)	کانسنگ (هزارتن)	عیار %	باطله (هزارتن)	کانسنگ (هزارتن)	عیار %	برنامه ریزی
132/9	34	29/2	173/9	12/8	21/9	ماه اول
132/9	34	29/2	162/7	20/3	23/8	ماه دوم
132/9	34	29/2	145/9	20/7	26/3	ماه سوم
132/9	34	29/2	173/9	8/8	27/4	ماه چهارم
132/9	34	29/2	168/3	6/4	25/4	ماه پنجم
132/9	34	29/2	173/9	29/2	28/2	ماه ششم
132/9	34	29/2	173/9	41/8	30/8	ماه هفتم
132/9	34	29/2	168/3	40/5	26/7	ماه هشتم
132/9	34	29/2	173/9	62/8	31/9	ماه نهم
132/9	34	29/2	168/3	74/6	29/9	ماه دهم
132/9	34	29/2	168/3	55/5	32/2	ماه یازدهم
1462/5	375	29/2	1851/9	373/6	27/7	مجموع

با توجه به جدول ۴-۲۴ نتایج ماهانه سال اول براساس پیت خروجی سال اول به دست آمده است. ملاحظه می شود که مجموع کانسنگ و باطله ماهانه هر دو نرم افزار نزدیک به یکدیگر است. همانطور که اشاره شد نرخ تولید حاصل از نرم افزار NPVS از تقسیم سال اول به ۱۱ ماه کاری به دست آمده و نرخ تولید نرم افزار Minesched بر اساس پیت بهینه سال اول با توجه به شرایط و اعمال محدودیت ها حاصل شده است.

مجموع نرخ تولید ماهانه سال اول حاصل از نرم افزار Minesched به نرخ تولید سال اول نرم افزار NPVS بسیار نزدیک است. علت این نزدیک بودن و وجود کمترین اختلاف برنامه ریزی تولید کوتاه مدت ماهانه حاصل از نرم افزار Minesched نسبت به برنامه ریزی تولید بلند مدت سالانه حاصل از نرم افزار NPVS، به دلیل استفاده از سطح پیت سال اول در نرم افزار Minesched و اعمال

محدودیت‌ها در محدوده‌ای مشخص با فاصله زمانی کوتاه است. لذا محدودیت‌ها و شرایط اعمال شده در فاصله زمانی کوتاه‌تر با انحراف کمتری اجرا می‌شوند. با توجه به نتایج به دست آمده در این بخش به خصوص نرخ تولید کوتاه‌مدت ماهانه در راستای نرخ تولید بلندمدت سالانه که هدف آن بیشترین ارزش خالص فعلی است، برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت حاصل از نرم‌افزار Minesched به عنوان برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت ماهانه نهایی با کمترین انحراف نسبت به برنامه‌ریزی تولید بلندمدت انتخاب شد.

۴-۱۰- بحث

همانطور که بیان شد طراحی پیت بهینه نهایی توسط نرم‌افزار NPVS انجام گرفت و برنامه‌ریزی تولید سالیانه با عمر ۳ سال با استفاده از این نرم‌افزار محاسبه شده است. پیت بهینه نهایی پس از مشخص شدن برای طراحی وارد نرم‌افزار Datamine و سپس برای برنامه‌ریزی تولید به نرم‌افزار Minesched وارد شد. برنامه‌ریزی تولید بلندمدت سالانه و کوتاه‌مدت ماهانه تا پایان عمر معدن صورت گرفت و نتایج با یکدیگر مقایسه شدند. از نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که برنامه‌ریزی تولید بلندمدت بر اساس پیت بهینه نهایی حاصل از نرم‌افزار NPVS با توجه به ارزش خالص فعلی و تعیین شرایط پوش‌بک و نرخ تولید مورد درخواست، با انحراف کم‌تر نسب به اهداف تعیین شده حاصل و انتخاب شد. هم چنین با توجه به پیت بهینه نهایی، برنامه‌ریزی تولید بلندمدت سالانه و کوتاه‌مدت ماهانه در نرم‌افزار Minesched صورت گرفت که نتایج هر دو برنامه‌ریزی تولید، نزدیک به برنامه‌ریزی تولید بلندمدت حاصل از نرم‌افزار NPVS به دست نیامد. همانطور که بیان شد در این معدن به دلیل پیچیدگی عیاری زیاد و نزدیکی رگه‌های آهن به باطله و همچنین اختلاف ارتفاع محل استخراج با کارخانه فرآوری، نمی‌توان صرفاً با برنامه‌ریزی تولید بلند مدت براساس پیت بهینه نهایی عملیات استخراج را انجام داد. از این رو با توجه به شرایط بیان شده و ضرورت اجرای درست برنامه‌ریزی تولید در این معدن برای رسیدن به نتیجه مناسب عملیاتی در راستای

برنامه‌ریزی تولید بلندمدت حاصل از نرم‌افزار NPVS، برای برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت ماهانه از سطح پیت سال اول به عنوان پارامتر ورودی به نرم‌افزار Minesched استفاده شد که نتایج قابل قبولی با توجه به اهداف برنامه‌ریزی تولید بلندمدت، به دست آمد.

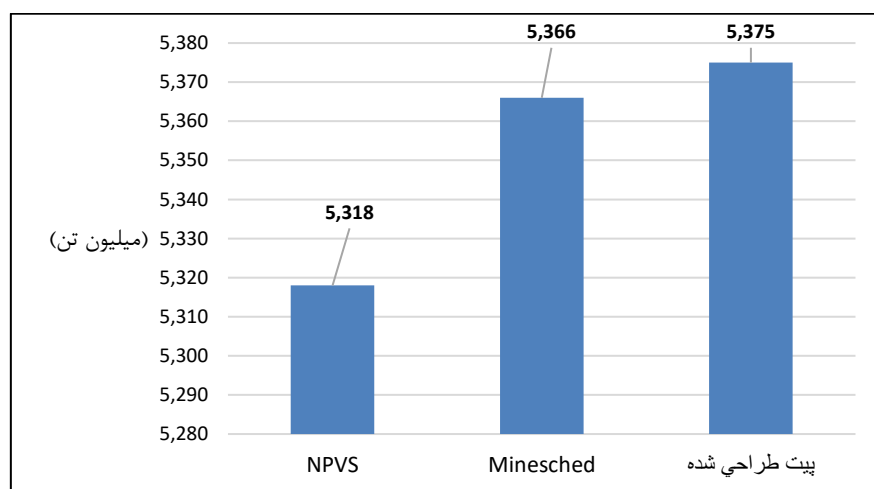
علت نتایج حاصل از برنامه‌ریزی تولید بلندمدت و کوتاه‌مدت نامناسب نرم‌افزار Minesched براساس پیت بهینه نهایی، این است که نرم‌افزار محدودیت‌های اجرایی را در زمان طولانی یکسان در نظر گرفته و با پیشروی در عمق این شرایط به صورت عملیاتی قابل اجرا نبوده و باعث ایجاد اختلاف می‌شود. از طرفی دیگر دلیل متناسب بودن نتایج حاصل از برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت نرم‌افزار Minesched براساس سطح پیت سال اول، این است که در یک محدوده عملیاتی کوچک‌تر و بازه زمانی کوتاه‌تر با تعریف شرایط و محدودیت‌های عملیاتی با قابلیت اجرا را بیشتر کرده و انحراف از تولید را کاهش می‌دهد.

لازم به ذکر است با توجه به این که نرم‌افزار Datamine در محاسبات تناژ داخل پیت نسبت به نرم‌افزار NPVS دقیق‌تر عمل می‌کند، این محاسبات توسط نرم‌افزار Datamine نیز انجام شد. یکی از دلایل وجود اختلاف بین نتایج این دو نرم‌افزار، وجود شرایطی چون جانمایی رمپ و جاده‌های دسترسی در پیت طراحی شده در نرم‌افزار Datamine است که نرم‌افزار NPVS این شرایط را لحاظ نمی‌کند. زیرا نرم‌افزار NPVS مانند نرم‌افزار Datamine از سطح پیت (پوسته) استفاده نمی‌کند و برای محاسبه تناژ براساس شمارش تعداد بلوک عمل کرده که این فرآیند باعث محدود شدن بلوک‌ها و ایجاد خطا در محاسبات می‌شود.

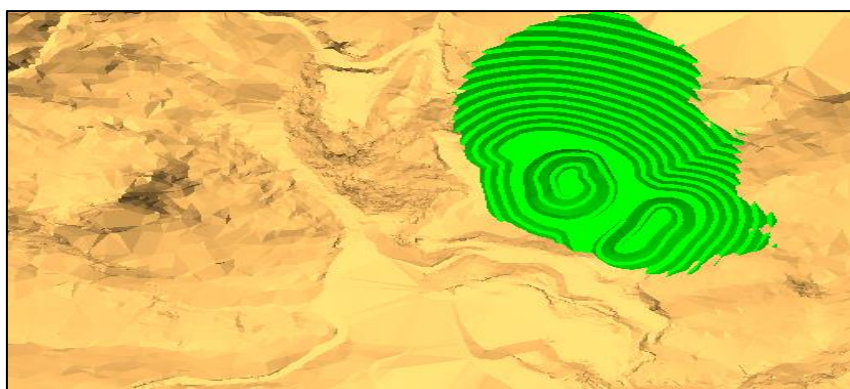
همچنین دقت نرم‌افزار Minesched به دلیل استفاده از سطح پیت (پوسته)، همانند نرم‌افزار Datamine است. با توجه به این موضوع نتایج این دو نرم‌افزار نزدیک به یکدیگر است. در پایان نتایج محاسبه برنامه‌ریزی تولید نهایی معدن در جدول ۴-۲۵ آورده شده و مقایسه تناژ پیت نهایی طراحی شده توسط نرم‌افزار Datamine با سایر نرم‌افزارها در شکل ۴-۲۵ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۴-۲۶ نمایی سه‌بعدی از پیت نهایی طراحی شده نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۵- مقایسه تناژ پیت نهایی طراحی شده حاصل از نرم افزار Datamine با نرم افزار NPVS و Minesched

پیت طراحی شده	Minesched	NPVS	مشخصه
1/075	1/074	۱/۱۱۹	ماده معدنی (میلیون تن)
4/299	4/291	4/199	باطله (میلیون تن)
5/375	5/366	5/318	مجموع (میلیون تن)
3/99	3/99	3/75	نسبت باطله برداری



شکل ۴-۲۵- چارت مقایسه تناژ پیت طراحی شده حاصل از نرم افزار Datamine با نرم افزار NPVS و Minesched



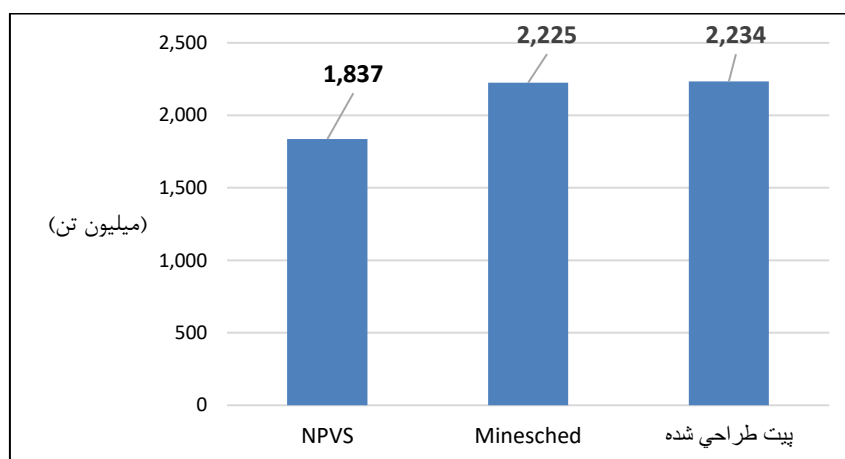
شکل ۴-۲۶- نمای سه بعدی از پیت نهایی طراحی شده

در جدول ۴-۲۵ مشاهده شد که نتایج حاصل از نرم افزار Minesched با پیت طراحی شده نزدیک به یکدیگر است. لذا همانطور که بیان شد در برنامه ریزی تولید کوتاه مدت هر چه به زمان اجرای عملیات معدنکاری نزدیک تر باشیم، خطای کمتری در برنامه ریزی تولید داریم. با توجه به ماهیت

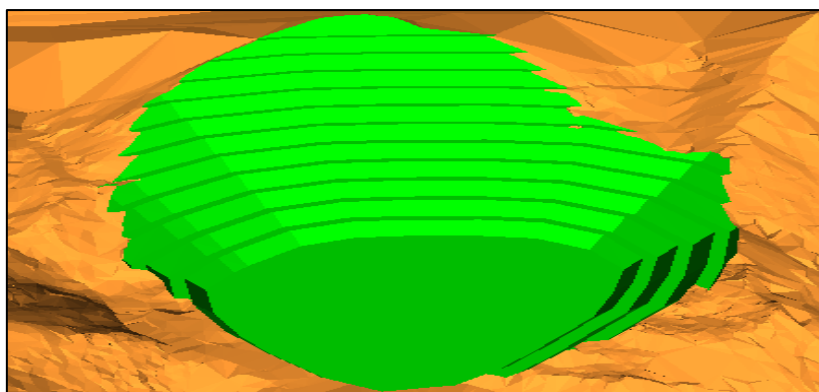
اجرایی نرم افزار Miinesched، پیت سال اول بر اساس برنامه ریزی تولید نهایی معدن و نرخ تولید مورد نظر از نرم افزار NPVS به دست آمد و برای برنامه ریزی تولید وارد نرم افزار Minesched گردید. نتیجه محاسبه برنامه ریزی تولید یک ساله و مقایسه تناژ پیت طراحی شده توسط نرم افزار Datamine با سایر نرم افزارها در جدول ۴-۲۶ آورده شده است. در شکل ۴-۲۷ نمودار مقایسه مجموع تناژ پیت طراحی شده سال اول با نرم افزار Datamine و همچنین در شکل ۴-۲۸ نمایی سه بعدی از پیت طراحی شده سال اول نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۶- مقایسه تناژ پیت طراحی شده سال اول با نرم افزارها

پیت طراحی شده	Minesched	NPVS	مشخصه
0/376	0/374	۰/۳۷۵	ماده معدنی (میلیون تن)
1/857	1/851	1/462	باطله (میلیون تن)
2/234	2/225	1/837	مجموع (میلیون تن)
4/93	4/95	3/91	نسبت باطله برداری



شکل ۴-۲۷- مقایسه مجموع تناژ پیت طراحی شده سال اول با نرم افزارها



شکل ۴-۲۸- نمای سه بعدی از پیت سال اول طراحی شده

۴-۱۱- جمع بندی

همانطور که در این فصل ملاحظه شد، با ورود اطلاعات اکتشافی و داده های زمین شناسی به نرم افزار Datamine مدل بلوکی زمین شناسی معدن و رتائوه قمصر تخمین زده شد. سپس با استفاده از نرم افزار NPVS و شرایط فنی و اقتصادی طراحی محدوده نهایی بهینه انجام شد که پیرو آن پیت شماره ۴۴ به عنوان پیت بهینه نهایی به دست آمد. در ادامه بعد از طراحی پیت استخراجی توسط نرم افزار Datamine، برنامه ریزی تولید بلندمدت و کوتاه مدت توسط نرم افزارهای NPVS و Minesched انجام شد که با مقایسه نتایج هر دو نرم افزار، برنامه ریزی تولید بلندمدت حاصل از نرم افزار NPVS و همچنین برنامه ریزی تولید کوتاه مدت حاصل از نرم افزار Minesched به عنوان برنامه ریزی تولید بهینه انتخاب شدند.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتایج

همانطور که بیان شد برنامه‌ریزی تولید بلندمدت، ترسیم چارچوب فعالیت‌های معدنکاری است و برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت با هدف کنترل عملیات اجرایی و محدودیت‌ها، اما در راستای برنامه‌ریزی بلندمدت حرکت می‌کند تا در نهایت در پایان عمر معدن به بیشترین ارزش خالص فعلی دست پیدا کند. با توجه به محدودیت‌های موجود در معدن ورتاوه قمصر از جمله اختلاف ارتفاع زیاد ماده معدنی نسبت به کارخانه فرآوری، عرض معدنکاری کوچک و قدرت کم مانور ماشین‌آلات و همچنین با توجه به پیچیدگی ساختار زمین‌شناسی منطقه، ضرورت برنامه‌ریزی تولید را افزایش می‌دهد. همچنین نبود پیوستگی در کانسنگ ماده معدنی و نزدیکی آن با باطله در کنار یکدیگر کار را دشوار و گاهی عیار کانسنگ ارسالی به کارخانه فرآوری را دچار مشکل می‌کند. لذا با توجه به وضعیت معدن ورتاوه قمصر، برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت که زمان کمتری را با اجرای پروژه دارد تاثیر به‌سزایی در جانمایی ماشین‌آلات، میزان خوراک‌دهی به کارخانه، مسائل فنی و اقتصادی و شرایط آب و هوایی و سایر محدودیت‌ها را دارد.

در این پایان‌نامه از نرم‌افزارهای NPVS، Datamine و Minesched برای تهیه مدل بلوکی کانسار، تعیین پیت بهینه، طراحی پیت استخراجی و در نهایت برای به دست آوردن برنامه‌ریزی تولید بلند مدت و کوتاه‌مدت معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر استفاده شد که نتایج آن به شرح زیر آورده شده است:

❖ میزان ذخیره زمین‌شناسی معدن ورتاوه قمصر با توجه به فرآیند اکتشاف که شامل نقشه‌برداری، ژئوفیزیک و ۴۳ عدد گمانه اکتشافی است، با استفاده از نرم‌افزار Datamine و بلوک مدل ساخته شده تخمین زده شد و بالغ بر ۱/۸۳۴ میلیون تن کانسنگ با عیار متوسط ۲۲/۶ درصد برآورد شد.

❖ در بخش بهینه‌سازی با نرم‌افزار NPVS پیت شماره ۴۴ با ۱/۱۲۴ میلیون تن کانسنگ ماده معدنی با عیار متوسط ۲۶/۳ درصد و ۴/۲۱۷ میلیون تن باطله و با ۸۴/۲۹۶ میلیارد تومان ارزش خالص فعلی به عنوان پیت بهینه انتخاب شد.

❖ برنامه‌ریزی تولید بلندمدت انجام شده توسط نرم‌افزار NPVS، بر اساس پیت نهایی و در نهایت با ۲ پوش‌بک به میزان کانسنگ ماده معدنی ۱/۱۱۹ میلیون تن با عیار ۲۷ درصد و ۴/۱۱۹ میلیون تن باطله ۷۳/۳۲۵ میلیارد تومان ارزش خالص فعلی به دست آمد.

❖ با توجه به محاسبات دقیق‌تر نرم‌افزار Datamine، برنامه‌ریزی تولید بلندمدت بر اساس پیت بهینه نهایی با ۱/۰۷۵ میلیون تن کانسنگ ماده معدنی، ۴/۲۹۹ میلیون تن باطله و در مجموع ۵/۳۷۵ میلیون تن و نسبت باطله‌برداری ۳/۹۹ و عمر ۳ ساله انتخاب شد.

❖ برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت توسط نرم‌افزار Minesched، بر اساس پیت طراحی شده سال اول، شرایط اجرایی، محدودیت‌ها و توجه به برنامه‌ریزی تولید بلندمدت با بیشترین ارزش خالص فعلی انتخاب شد. براین اساس نتایج برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت ماهانه سال اول با مجموع سالیانه ۰/۳۷۴ میلیون تن کانسنگ ماده معدنی، ۱/۸۵۲ میلیون تن باطله و با مجموع کلی ۲/۲۳۴ میلیون تن و نسبت باطله‌برداری ۴/۹۳ به دست آمد.

در پایان لازم به ذکر است که با توجه به پیت بهینه نهایی و پیت سال اول حاصل از نرم‌افزار NPVS و پیت‌های طراحی شده نشان می‌دهد، با کوچک‌تر شدن محدوده استخراجی و ایجاد برنامه‌ای در فاصله زمانی کوتاه‌تر می‌توان در راستای اهداف بلندمدت با انحراف کمتری اقدام کرد.

۵-۲-پیشنهادات

بر اساس اطلاعات موجود، شکل و عمق کانسار، پیشنهادات ذیل ارائه می‌گردد :

- پیشنهاد می‌شود از شیوه‌های برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت عملیاتی، که از نظر زمانی نزدیک به پروژه هست با مطالعات علمی و آزمایشات روزانه عیار کانسنگ، استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط به کمک کارشناسان خبره، برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت هفتگی یا ماهانه انجام گیرد.
- مواردی چون پایداری شیب، ذخیره قطعی و پارامترهای اقتصادی اطلاعات لازم برای تعیین محدوده نهایی و برنامه‌ریزی تولید هستند. از این‌رو، بایستی با حفر گمانه‌هایی به منظور انجام مطالعات ژئوتکنیکی، شیب پایدار در بخش‌های مختلف کانسار بطور دقیق مشخص گردد.
- با حفر و مغزه‌گیری از گمانه‌های تکمیلی در مناطقی که اطلاعات کافی وجود ندارد، تعیین ذخیره جامع‌تر، دقیق‌تر و قابل اعتمادتری انجام پذیرد. در زمینه پارامترهای اقتصادی، که شالوده تعیین محدوده نهایی و برنامه‌ریزی تولید است، بایستی مطالعات جامعی جهت تعیین هزینه‌ها برای نرخ تولید فعلی و با استفاده از جزئی‌ترین اطلاعات موجود در معدن ورتاوه قمصر صورت پذیرد.
- با توجه به درگیری آهن و باطله در مرز مشترک آنها و تاثیر در عیار و تناژ کانسنگ، برای حل این مشکل در هنگام اجرای پروژه، بایستی عیار خوراک ورودی به کارخانه کنترل شود که این کار باید از طریق همگن‌سازی مواد دارای خصوصیات عیاری و کیفی مختلف در جایگاه انباشت و برداشت انجام شود.
- یکی از پارامترهای مهم جهت ورود به نرم‌افزارهای NPVS، نرخ تولید کانسنگ است. در این پایان نامه این پارامتر با توجه به درخواست کارفرما تعیین شده است. پیشنهاد می‌شود در پروژه‌های بعدی، مطالعات منظمی جهت تعیین این پارامتر انجام شود.

۶- منابع

- [۱]- رضائی کاخکی، محسن، (۱۳۸۶)، "بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی تولید معدن آهن ۲ گل‌گهر با استفاده از نرم افزارهای NPV و Whittle"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۲]- هوسترولید، ویلیام و کوچتا، مارک. (۱۹۸۷). "طراحی و برنامه‌ریزی معادن روباز". ترجمه: علی اصغر خدایاری و مهدی یآوری (۱۳۸۳). انتشارات دانشگاه صنایع و معادن ایران.
- [۳]- اصالو، مرتضی (۱۳۸۴). "روش‌های استخراج معادن سطحی". انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، جلد اول.
- [۴]- کرخی، مسلم، (۱۳۸۶)، "تعیین محدوده نهایی و برنامه ریزی تولید بهینه معدن شماره ۳ گل‌گهر با استفاده از نرم افزار Whittle"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه باهنر کرمان.
- [۵]- سالکی، میثم، (۱۳۹۷)، "ارایه مدل ریاضی برای بهینه سازی محدوده نهایی معادن روباز همزمان با تعیین ترتیب استخراج بلوک‌ها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [6]- Lerchs, H., Grossmann, I. (1965). Optimum design of open-pit mines. Trans CIM, 68, 17-24.
- [7]- Wang, Q., & Sun, H. (2001). A theorem on open-pit planning optimization and its application. H. Xie, Y. Wang, Y. Jiang, eds. Proc. 29th Sympos. APCOM. AA Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands, 295-298.
- [۸]- کاکایی، رضا، (۱۳۸۴). "بررسی روش‌های مختلف طراحی محدوده بهینه نهایی در معادن روباز"، مجله علوم و فنون دانشگاه صنعتی شاهرود، شماره‌های ششم و هفتم، ۱۹-۳۱.
- [۹]- یاورزاده، سعید، عبدالمهی شریف، جعفر، جلالی، سید محمد اسماعیل، یونسین، محمدرضا، نیشابوری، آرش، (۱۳۸۹). "مدل‌سازی برنامه کوتاه مدت معادن روباز با هدف کنترل عیارسنجی". در مجموعه مقالات همایش کنگره بین‌المللی معدن، خانه معدن ایران.

[۱۰]- Sattarvand, J., Niemann-Delius, C., (2013), "A new metaheuristic algorithm for long term open-pit production planning", Archives of Mining Sciences, 58(1), pp 107-118.

[۱۱]- اصانلو، مرتضی (۱۳۸۴)، "اهمیت برنامه ریزی تولید بلند مدت در معادن روباز"، در مجموعه مقالات دومین کنفرانس معادن روباز ایران، مجتمع مس سرچشمه.

[۱۲]- Blom, M., Pearce, A. R., & Stuckey, P. J. (2019). Short-term planning for open pit mines: a review. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 33(5), 318-339.

[۱۳]- نورعلی، حمید رضا، (۱۳۹۳)، "زمان بندی استخراج معادن چند عنصری با در نظر گرفتن اختلاط بهینه و معرفی نرم افزار NPVS"، ماهنامه علمی تخصصی فن آوری سیمان، تهران.

[۱۴]- معراجی پور، فرشاد، (۱۳۹۷)، "برنامه ریزی تولید کوتاه مدت در معادن روباز معدن طلای کاشمر"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.

[۱۵]- نبوی، سیده زهره، (۱۳۹۸). "بررسی روش های برنامه ریزی تولید معادن روباز مبتنی بر عدم قطعیت"، سومین کنفرانس ملی مهندسی مواد، متالوژی و معدن، اهواز.

[۱۶] Hoover, H (1909). Principles of mining: valuation, organization and administration; copper, gold, lead, silver, tin and zinc. Best Books, ۱۴ , ۱۶۸-۱۸۷.

[۱۷]- Gershon, M. (1987). Heuristic approaches for mine planning and production scheduling. International Journal of Mining and Geological Engineering, 5(1), 1-13.

[۱۸]- Denby, B., & Schofield, D. (1995). Inclusion of risk assessment in open-pit design and scheduling. In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts (Vol. 5, No. 32, p. 230A).

[۱۹]- Elevli, B., (1995), "Open pit mine design and extraction sequencing by use of OR and AI concept", International Journal of Surface Mining, reclamation and environmental, 9, pp 149-153.

[۲۰]- TOLWTNSKI, B., & Underwood, R. (1996). A scheduling algorithm for open pit mines. IMA Journal of Management Mathematics, 7(3), 247-270.

[۲۱]- Akaike, A., Dagdelen, K., (1999), "A strategic production scheduling method for an open pit mine", Proceeding of the 28th Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, pp 729-738.

[۲۲]- Johnson, T. B., Dagdelen, K., Ramazan, S., (2002), "Open pit mine scheduling based on fundamental tree algorithm", Proceeding of the 30th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, (SME: Littleton), pp 147-159.

[۲۳]- Ramazan, S., Dimitrakopoulos, R., (2004), "Recent application of operations researches in open pit mining", SME Transactions, 316, pp 73-78.

[۲۴]- Johnson, T.B., (1969), "Optimum Production Scheduling", 8th proceeding international symposium on computers and operations research, Salt Lake City, Utah, pp 539-562.

[۲۵]- Williams, C.E., (1974), "Computerized year- by- year open pit mine scheduling", Society of Mining Engineers, AIME, Transactions, pp 256.

[۲۶]- Dagdelen, K., Johnson, T.B., (1986), "Optimum Open Pit Mine Production Scheduling by Lagrangian Parametrization", proceeding of the 19th international symposium on the application of computers and operations research in the mineral industry, Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, April, Chapter 13, pp 127-142.

[۲۷]- ستاروند، جواد، یآوری، مهدی، سکاکی، سید حمید، (۱۳۹۵) " برنامه ریزی تولید معدن سونگون"، اولین کنفرانس معادن روباز ایران، کرمان.

[۲۸]- اورعی، کاظم، سیدی، سید مسعود، (۱۳۸۳)، "برنامه ریزی تولید در معادن سنگ تزئینی در معدن سنگ اتابکی"، در مجموعه مقالات کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران.

[۲۹]- Dagdelen, K.; (۲۰۰۷), "Open pit optimization - strategies for improving economics of mining projects through mine planning". Ore body Modeling and Strategic Mine Planning, ۱۴, ۱۴۸-۱۴۵.

[۳۰]- Asad, M. W. A. (2007). Optimum cut-off grade policy for open pit mining operations through net present value algorithm considering metal price and cost escalation. Engineering Computations.

[۳۱]- Chicoisne, R., Espinoza, D., Goycoolea, M., Moreno, E., Rubio, E., (2009), "A new algorithm for the open-pit mine scheduling problem", Working paper, Universidad Adolfo Ibañez and Universidad de Chile, Santiago, pp 1-21.

[۳۲]- Gu, X-W., Wang, Q., Ge, S., (2010), "Dynamic phase-mining optimization in open-pit metal mines", Transactions of Nonferrous Metal Society of China, 20, pp 1974-1980.

[۳۳]- حمزه نژادی، ابوذر، منصوری، حمید، ابراهیمی، محمد علی، (۱۳۹۰)، "تعیین محدوده نهایی بهینه و برنامه ریزی تولید بلند مدت معدن شماره یک گل گهر با استفاده از نرم افزار NPVS +MFO"، پنجمین کنفرانس دانشجویی معدن، اصفهان.

[۳۴]- Lamghari, A., Dimitrakopoulos, R., (2012), "A diversified Tabu search approach for the open pit mine production scheduling problem with metal uncertainty", European Journal of Operational Research, 222(3), pp 642-652.

[۳۵]- Dimitrakopoulos, R., Jewbali, A., (2013), "Joint stochastic optimization of short- and long-term mine production planning: Method and application in a large operating goldmine", IMM Transactions, Mining Technology, 122(2), pp 110–123.

[۳۶]- Soleymani Shishvan, M., Sattarvand, J., (2014), "Long term production planning of open pit mines by ant colony optimization", European Journal of Operational Research, 240 (3), pp 825- 836.

[۳۷]- Qing-hua, G.U., Chun-ni, B., Fa-ben, L., Abrand, J., (2014), "The optimization and application of cut-off grades of multiple metal open-pit mines based on equivalent grade", Metallurgical and Mining Industry, 6 (6), pp 83-91.

[۳۸]- Goodfellow, R., Dimitrakopoulos, R., (2016), "Global optimization of open pit mining complexes with uncertainty", Applied Soft Computing 40, pp 292-304.

[۳۹]- طاهرزاد، مهدی، عطایی، محمد، خالوکاکایی، رضا، (۱۳۹۵)، "مدل سازی و بررسی عدم قطعیت قیمت و عیار در برنامه ریزی تولید در معادن"، همایش بین المللی افق های نوین در علوم پایه فنی و مهندسی، اسلامشهر.

[۴۰]- موحدیان فر، علی محمد، (۱۳۹۶) "برنامه ریزی تولید بلندمدت معدن سنگ آهن چادرملو با استفاده از نرم افزار NPV scheduler"، نخستین کنفرانس سراسری تحقیقات در معدن و ژئوفیزیک، جیرفت.

[۴۱]- همتی، محسن، غلام نژاد، جواد، (۱۳۸۹). "ارایه مدل برنامه ریزی تولید کوتاه مدت در معدن چادرملو جهت تنظیم عیار آهن و فسفر در کانسنگ ارسالی به کارخانه فرآوری"، سمپوزیوم فولاد، اصفهان.

[۴۲]- Blom, M., Pearce, A. R., & Stuckey, P. J. (2017). Short-term scheduling of an open-pit mine with multiple objectives. *Engineering Optimization*, 49(5), 777-795.

[۴۳]- Newman, A. M., E. Rubio, R. Caro, A. Weintraub, and K. Eurek (2010). A Review of Operations Research in Mine Planning. *Interfaces* 40, 222-245.

[۴۴]- خواجه زاده، اسدالله، دهقانی جوزم، مجتبی، حضرتقلی، حامد، (۱۳۹۵) "تعیین محدوده نهایی و برنامه ریزی تولید با اعمال محدودیت های فیزیکی موجود در معدن مس میدوک"، مجموعه مقالات دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ایران.

[۴۵]- موسوی، احسان، شیرین آبادی، رضا، (۱۳۹۷)، "کمینه سازی انحراف از عیارهای حد در برنامه ریزی تولید بلند مدت معادن روباز با هدف کنترل انباشتگاه باطله"، فصلنامه علمی و پژوهشی زمین-شناسی محیط زیست، سال دوازدهم، شماره ۴۳.

[۴۶]- مهندسین مشاور کاویان معدن آریا، ۱۳۹۸، دفتر طراحی و زمین شناسی، گزارش اکتشافی معدن سنگ آهن ورتاوه قمصر.

Abstract

Nowadays due to being completed Surface reserves and depth of many mineral reserves, the subject of how to extract them In such a way that it has the most economic benefit and at the same time ensuring safety is very important. Having the most economic benefit despite the optimism while paying attention to the technical limitations of mining requires some kind of production planning to achieve production goals with the least deviation. Various methods have been proposed to determine production planning and various softwares have been proposed in this field. NPVS software is one of the most powerful software in this field, which is based on Lerch and Grossman algorithm able to determine the final ultimate limit and based on Milava algorithms and dynamic programming, able to determine optimal production planning. Also software Minesched, Powerful software based on mining constraints Ability to planning exploitation and extraction operations has surface and subsurface mines in a regular and concentrated manner. In this dissertation in order to Long-term production planning and short-term production planning Vertaveh Qamsar iron ore mine, after making a block model by Datamine software determining the ultimate limit with NPVS software, pit design operation was performed using Datamine software. Then with the help of the final ultimate pit production planning is done with Minesched and NPVS softwares and after comparison a more favorable program was obtained. Finally, by reviewing the results from the final ultimate limit and designed pit, long-term production planning produced from NPVS software with 1.075 million tons of ore 4.299 million tons of waste and a total of 5.375 million tons and waste disposal ratio of 3.99 and life of 3 years as well as monthly short-term production planning (first year) produced from Minesched software with an annual total of 0.374 million tons of ore, 1.852 million tons of waste and a total of 2.234 million tons and a waste disposal ratio of 4.93.

Keywords: Minesched - NPVS - Ultimate pit - Short-term production planning - Long-term production planning



Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering
M.Sc. Thesis in Mineral Exploitation

Long-term and short-term production planning
In Vertaveh Qamsar iron ore mine

By: Saeed Rezaee Kakhki

Supervisors:

Dr. Ramin Rafiei

Dr. Reza Khalukakaei

February 2021