جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی

ضابطه شماره ۶۲۵

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

امور نظام فنی و اجرایی

nezamfanni.ir

وزارت صنعت، معدن و تجارت

معاونت امور معادن و صنایع معدنی

دفتر نظارت و بهره‌برداری

www.mimt.gov.ir

۱۳۹٤

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه‌تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:**	**۹۴/۱۲۳۴۰۹**
	تاریخ:	**۱۳۹۴/۰۶/۱۷**

موضوع: دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۶۲۵ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۴/۱۰/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- ***شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.***

۲- ***ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.***

۳- ***در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.***

۴- ***نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.***

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه : تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علیشاه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email:info@nezamfanni.ir **nezamfanni.ir**

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره۴۲۳۳۹/ ت ۳۳۴۹۷ ه مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) به کارگیری معیارهـا، اسـتانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکیـد جدی قرار داده است و این امور به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و نظـام فنـی و اجرایـی کشـور وظیفـه تهیـه و تـدوین ضـوابط و معیارهای فنی طرحهای توسعه‌ای کشور را به عهده دارد.

به طور کلی، عملیات استخراجی شامل باز کردن و آماده‌سازی کانسار، حفاری، آتشباری، بـارگیری و در نهایـت بـاربری و حمـل مـواد استخراجی است. این عملیات بسته به عواملی مانند زمین‌شناسـی و ویژگـی‌هـای هندسـی کانسـار نظیـر انـدازه، شـکل، شـیب و عمـق، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ماده معدنی و سنگ‌های درونگیر، وضعیت آب‌های زیرزمینی، عوامل اقتصـادی ماننـد هزینـه‌هـای نسـبی استخراج، هزینه‌های عملیاتی، آهنگ تنزیل، سرمایه اولیه مورد نیاز، میـزان تولیـد، ظرفیـت ماشـین‌آلات و بازیـابی، ملاحظـات زیسـت–محیطی، جلوگیری از آلوده شدن آب، خاک و هوا و جنبه‌های ایمنی دارد و به یکی از روش‌های سطحی، زیرزمینی و یـا ترکیبـی از آن‌هـا انجام می‌شود. استخراج روباز به عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌های استخراج، مزایای بیشتری به ویـژه از نقطـه نظـر بازیـابی، ظرفیـت تولید و مکانیزاسیون، کنترل عیار، ملاحظات اقتصادی، انعطاف‌پذیری و ایمنی نسبت به روش‌هـای زیرزمینـی دارد. اسـتخراج زیرزمینـی از جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی مطلوب‌تر است و اغلب محدوده کمتری از سطح زمین را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

کانسارهای زیادی از سطح زمین و یا نزدیکی آن شروع می‌شوند و تا عمق زیادی گسترش دارند. در ارتباط با این نوع از کانسارها اگـر چه شروع استخراج از سطح زمین با روش روباز است، اما در نهایت در اعماق زیاد باید در مورد ادامه اسـتخراج بـه روش روبـاز و یـا تغییـر روش به زیرزمینی تصمیم‌گیری کرد. اگر استخراج در این عمق به روش روباز ادامه پیدا کند، نسبت باطله‌برداری بـه میـزان قابـل تـوجهی افزایش خواهد یافت، اما در صورت استخراج مابقی کانسار با یکی از روش‌های زیرزمینی سود بیشتری عاید خواهد شد.

برخی از بزرگترین معادن جهان طی سال‌های آینده به انتهای محدوده نهایی روباز خواهند رسید، همچنین در برنامه‌ریزی بـرای سـایر معادن، تغییر از روش روباز به یکی از روش‌های زیرزمینی به دلیل افزایش عمق استخراج و ملاحظات زیسـت‌محیطـی در دسـت بررسـی است. از روش‌های متداول استخراج زیرزمینی تخریب بلوکی است که با توجه به آهنگ تولید بالا و هزینه‌های پایین آن، به عنـوان رقیـب اصلی روش روباز به شمار می‌رود.

در تدوین "**دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی**" سعی بر آن بوده که دستورالعمل تـدوین شده از جنبه‌های اجرایی با شرایط بومی معادن ایران سازگار باشد. در ارتباط با کانسارهای موجود در ایران و مساله استخراج ترکیبـی روبـاز و زیرزمینی و همچنین تعیین مرز تغییر روش می‌توان از این نشریه استفاده کرد.

با همه‌ی تلاش انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که إن‌شاءا... کاربرد عملـی و در سـطح وسـیع ایـن ضـابطه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود.

در پایان، از تلاش و جدیت جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان امور نظام فنی و اجرایی همچنین جنـاب آقـای دکتر جعفر سرقینی مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی بخش معـدن کشـور در وزارت صـنایع و معـادن، کارشناسـان دفتـر نظارت و بهره‌برداری معادن و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قـدردانی مـی‌نمایـد. امیـد اسـت شـاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

شهریور ۱۳۹٤

omoorepeyman.ir

مجری طرح

آقای جعفر سرقینی	معاون امور معادن و صنایع معدنی – وزارت صنایع و معادن

تهیه پیش‌نویس اصلی

آقای مهندس حسین‌علی طاهری

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

فرزانه آقا رمضانعلی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
سیف ا... امیری	وزارت صنعت، معدن و تجارت	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
بهروز برنا	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	کارشناس مهندسی معدن
محمد پریزادی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	کارشناس ارشد مهندسی معدن
عبدالعلی حقیقی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
جعفر سرقینی	وزارت صنعت، معدن و تجارت	دکتری مهندسی فرآوری مواد معدنی
علیرضا غیاثوند	وزارت صنعت، معدن و تجارت	کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی
حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد مهندسی معدن

اعضای کارگروه فرآوری به ترتیب حروف الفبا

مهدی عامری		کارشناس ارشد مهندسی معدن
مهدی صفری		کارشناس مهندسی معدن
حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد مهندسی معدن
هرمز ناصرنیا	سازمان نظام مهندسی معدن	کارشناس ارشد مهندسی معدن

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

آقای مهدی ایران‌نژاد	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی
بهرام رضایی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی
علیرضا غیاثوند	وزارت صنعت، معدن و تجارت	کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی
حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد مهندسی معدن
بهزاد مهرابی	دانشگاه خوارزمی	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

خانم فرزانه آقارمضانعلی	رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی
آقای علیرضا غیاثوند	رئیس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی
آقای اسحق صفرزاده	کارشناس معدن امور نظام فنی و اجرایی

پیش‌نویس این گزارش توسط **دکتر حمید میرعابدینی** تهیه و توسط کارگروه استخراج بررسی و تایید شده است.

omoorepeyman.ir

عنوان | فهرست مطالب | صفحه

فصل ۱- مبانی تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی ۱
۱-۱- آشنایی ۳
۱-۲- بهینه‌سازی استخراج ترکیبی و تعیین مرز تغییر روش ۵
۱-۳- بررسی روش‌های استخراج زیرزمینی مناسب برای تغییر روش استخراج ۵
۱-۳-۱- روش‌های زیرزمینی مناسب استخراج ترکیبی هم‌زمان ۶
۱-۳-۲- روش‌های زیرزمینی مناسب استخراج ترکیبی غیرهم‌زمان ۸
۱-۴- چالش‌های ژئوتکنیکی استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی ۸
۱-۵- مسایل بنیادی تغییر روش ۹
فصل ۲- روش‌های تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی ۱۱
۲-۱- آشنایی ۱۳
۲-۲- مراحل تعیین مرز بهینه تغییر روش روباز به زیرزمینی ۱۳
۲-۳- روش‌های تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی ۱۵
۲-۳-۱- روش‌های تجربی ۱۵
۲-۳-۲- روش‌های ابتکاری ۲۰
فصل ۳- دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج ۳۱
۳-۱- آشنایی ۳۳
۳-۲- مراحل تعیین مرز تغییر روش استخراج ۳۳
۳-۲-۱- مرحله اول ۳۳
۳-۲-۲- مرحله دوم ۳۴
۳-۲-۳- مرحله سوم ۳۵
۳-۲-۴- مرحله چهارم ۳۵
۳-۲-۵- مرحله پنجم ۳۶
۳-۲-۶- مرحله ششم ۳۶
۳-۲-۷- مرحله هفتم ۳۷

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۱

مبانی تغییر روش استخراج

از روباز به زیرزمینی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱-۱- آشنایی

به طور کلی کانسارها را از جنبه انتخاب روش استخراج روباز و یا زیرزمینی می‌توان به چهار گروه اصلی به شرح زیر تقسیم کرد:

- کانسارهایی که به دلیل نزدیکی به سطح زمین، تنها برای استخراج به روش روباز مناسب هستند.
- کانسارهایی که از سطح زمین و یا نزدیکی آن تا اعماق زیاد گسترش دارند. شروع استخراج این کانسارها با روش روباز است ولی باید با یکی از روش‌های استخراج زیرزمینی بهره‌برداری از آن‌ها ادامه یابد.
- کانسارهایی که در گذشته با روش‌های زیرزمینی استخراج می‌شدند، ولی با تغییرات قیمت و پیشرفت تکنولوژی، در حال حاضر روش روباز برای آن‌ها مناسب‌تر است.
- کانسارهایی که از عمق زیادی نسبت به سطح زمین شروع می‌شوند و استخراج آن‌ها تنها با روش‌های زیرزمینی امکان‌پذیر است.

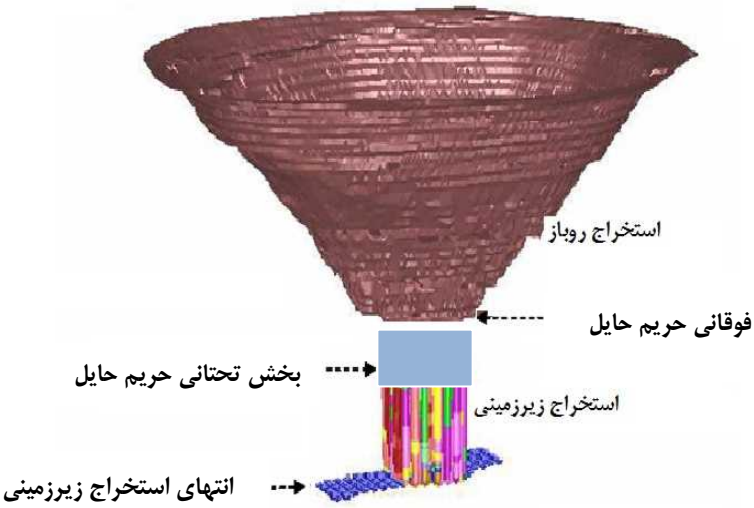
به منظور رده‌بندی هر کانسار در یکی از گروه‌های یاد شده باید مطالعات اقتصادی انجام گیرد و گزینه‌ها با هم مقایسه شود. برای انتخاب یکی از روش‌های استخراج سطحی یا زیرزمینی باید عوامل زیر در نظر گرفته شود:

- اندازه، شکل و عمق ذخیره معدنی
- شرایط سنگ درونگیر
- ظرفیت ماشین‌آلات استخراجی و بهره‌وری آن‌ها
- هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی
- درصد بازیابی ماده معدنی
- ایمنی
- ملاحظات زیست‌محیطی

در مرحله طراحی باید طی مطالعات وسیع بر روی هر کانسار و با توجه به عوامل یاد شده، روش یا روش‌های مرتبط با آن مشخص شود. در صورتی که کانسار مورد بررسی در گروه دوم از کانسارهای چهارگانه قرار گیرد، از جنبه اقتصادی با صرفه‌تر خواهد بود که از ترکیب روش‌های روباز و زیرزمینی برای استخراج آن استفاده شود. یعنی پس از شروع استخراج کانسار از سطح یا نزدیکی سطح زمین به روش روباز و ادامه آن، عمق یا مرزی وجود خواهد داشت که در صورت تغییر روش و ادامه روند استخراج با یکی از روش‌های زیرزمینی، سود کلی بیشتری حاصل خواهد شد. این تغییر روش ممکن است پیش از رسیدن به عمق نهایی بهینه روباز در حالت استخراج مجزا و یا در همان عمق انجام گیرد. مطابق شکل ۱-۱ به عمق یا مرزی که روش استخراج در آن تغییر می‌کند، مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی گفته می‌شود. در کل، دو رویکرد برای تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی به شرح زیر وجود دارد:

رویکرد اول: استخراج به روش روباز تا جایی است که از آن به بعد این روش استخراج دیگر اقتصادی نباشد. به عبارت دیگر در این رویکرد، مرز تغییر روش به عمقی گفته می‌شود که از آن به بعد به دلیل افزایش هزینه‌های استخراج در روش روباز دیگر این روش مناسب نخواهد بود و ادامه کار در صورت داشتن صرفه اقتصادی با روش‌های زیرزمینی انجام می‌شود. مرز تغییر روش مطابق این رویکرد، همان عمق نهایی روباز در حالت استخراج مجزا و بدون توجه به تاثیر استخراج زیرزمینی است.

omoorepeyman.ir



شکل ۱-۱- استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی و مرز تغییر روش استخراج

رویکرد دوم: به عمقی که در آن استخراج زیرزمینی سود بیشتری نسبت به روباز دارد مرز تغییر روش گفته می‌شود. در این رویکرد ممکن است حتی پس از مرز تغییر روش، استخراج روباز اقتصادی باشد ولی با توجه به آن که روش زیرزمینی دارای سود بیشتری است، استخراج زیرزمینی اولویت پیدا می‌کند.

امروزه رویکرد دوم در ارتباط با موضوع استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی و در نتیجه تعیین مرز تغییر روش بیشتر مورد توجه قرار گرفته و اکثر روش‌های موجود برای تعیین مرز تغییر روش بر اساس این رویکرد ارایه شده‌اند.

در تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی، فرض‌ها و محدودیت‌های مساله به شرح زیر در نظر گرفته شده است:

– تاکید اصلی بر ترکیب روش‌های روباز و زیرزمینی استخراج غیرهم‌زمان است، یعنی ابتدا بهره‌برداری از کانسار با روش روباز شروع می‌شود و با رسیدن به مرز تغییر روش استخراج، بهره‌برداری از کانسار با یکی از روش زیرزمینی ادامه می‌یابد.

– آماده‌سازی بخش استخراج زیرزمینی از سال‌های انتهایی عمر معدن روباز شروع می‌شود.

– تنها از یک روش زیرزمینی استفاده می‌شود که استخراج غیرهم‌زمان مناسب‌ترین گزینه است. در این مرحله بر روش‌های با تولید زیاد و هزینه کم نظیر تخریب بلوکی تاکید می‌شود.

– تمامی بخش‌های قابل استخراج به‌روش روباز پیوستگی دارد. این حالت در مورد بخش‌های قابل استخراج به روش زیرزمینی نیز در نظر گرفته می‌شود.

– بخشی از ماده معدنی ممکن است در دو حالت یکی، باقی گذاشتن حریم بین استخراج روباز و زیرزمینی و دیگری باقی گذاشتن حریم بین کارگاه‌های زیرزمینی استخراج نشود.

– نقش مسایل ژئوتکنیکی و روش استخراج

– محدودیت‌های طراحی محدوده معدن روباز و زیرزمینی

omoorepeyman.ir

۱-۲- بهینه‌سازی استخراج ترکیبی و تعیین مرز تغییر روش

بهینه‌سازی مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی مستلزم مشخص بودن بلوک‌های قابل استخراج و در نتیجه محدوده‌های استخراج روباز و زیرزمینی است. بنابراین، مرز بهینه تغییر روش تنها در صورت مشخص بودن محدوده بهینه استخراج روباز و زیرزمینی بر روی مدل بلوکی با دو ارزش روباز و زیرزمینی تعیین خواهد شد. مرز بهینه تغییر روش استخراج با توجه به ماهیت و نحوه عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی محدوده استخراج روباز و زیرزمینی تعیین می‌شود. بنابراین، در تعیین مرز بهینه تغییر روش استخراج توجه به موارد زیر ضروری است:

الف- استفاده از مدل بلوکی اقتصادی با ارزش اقتصادی بلوک‌ها

ب- از یک منطق جستجوی مشابه برای یافتن بلوک‌های قابل استخراج روباز و زیرزمینی و در نتیجه محدوده نهایی استخراج استفاده شود.

پ- از آنجا که ماهیت روش استخراج روباز با هر کدام از روش‌های زیرزمینی متفاوت است، لذا در استخراج ترکیبی تعیین مرز تغییر روش باید محدودیت‌های این روش‌ها به طور مجزا در نظر گرفته شوند.

ت- در الگوریتم‌های بهینه‌سازی محدوده استخراج به روش روباز با رویکرد کل‌گرا و زیرزمینی هر دو حالت کل‌گرا و جزگرا در نظر گرفته می‌شود. در الگوریتم‌های با عملکرد جزگرا برخلاف کل‌گرا در زمینه بهینه‌سازی محدوده استخراج تنها امکان بهینه‌سازی واقعی بخشی از محدوده استخراج نظیر یک طبقه یا پهنه وجود دارد. با تاکید بر این موارد و با هدف در نظر گرفتن وجه مشترک عملکرد الگوریتم‌های روباز و زیرزمینی، بهتر است برای بهینه‌سازی مرز تغییر روش از یک عملکرد کل‌گرایانه پیروی شود.

ث- در تعیین مرز تغییر روش باید از روندی استفاده شود که امکان در نظر گرفتن حریم بین استخراج روباز و زیرزمینی وجود داشته باشد.

ج- به دلیل تفاوت‌های زیاد بین روش‌های استخراج زیرزمینی به ویژه در ترتیب استخراج بلوک‌ها به صورت پایین‌رو یا بالارو، در استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی و تعیین مرز تغییر روش باید روش استخراج زیرزمینی مناسب از پیش مشخص باشد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده در ارتباط با معادنی که به صورت ترکیبی و غیرهم‌زمان در حال استخراج‌اند، مشخص است که به جز اندک مواردی که در بخش زیرزمینی از روش استخراج از طبقات فرعی استفاده شده است، در اکثر موارد تاکید بر به کارگیری روش‌های کارگاه‌های تخریبی نظیر تخریب از طبقات فرعی و تخریب بلوکی بوده است. در بین روش‌های کارگاهی تخریبی، روش تخریب بلوکی به دلیل ظرفیت تولید بالا با روش معادن روباز قابل مقایسه است.

۱-۳- بررسی روش‌های استخراج زیرزمینی مناسب برای تغییر روش استخراج

بر اساس ویژگی‌های هر ذخیره معدنی، طراح باید با در نظر گرفتن تمامی عوامل و شرایط مربوط به ذخیره بهترین تصمیم را برای انتخاب روش یا روش‌های استخراج مناسب اتخاذ کند. در معادن با پتانسیل استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

omoorepeyman.ir

– در پایان عمر معدن روباز و یا در سال‌های آخر آن ذخیره قابل ملاحظه‌ای در زیر محدوده معدن روباز باقی می‌ماند که باید به روش استخراج ترکیبی و انتخاب روش استخراج زیرزمینی مناسب مورد استخراج قرار گیرد.

– در معادن بزرگ امکان استخراج ترکیبی در مرحله طراحی و پیش از مرحله آماده‌سازی مورد بررسی و در صورت لزوم مرز تغییر روش استخراج تعیین شود. تخریب بلوکی به عنوان پرتولیدترین و کم هزینه‌ترین روش استخراج زیرزمینی متداول‌تر است.

– در تمامی معادن بزرگ ایران توصیه می‌شود استخراج ترکیبی به صورت هم‌زمان در دو بخش روباز و زیرزمینی مورد بررسی قرار گیرد.

استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی از جنبه زمان به کارگیری به دو حالت هم‌زمان و غیرهم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرد که روش غیرهم‌زمان متداول‌تر است. در اواخر عمر معدن روباز برای مدت زمان کوتاهی (حدود ۲ تا ۳ سال) استخراج روباز و زیرزمینی به طور هم‌زمان انجام گیرد. این حالت استخراج در نهایت منجر به سود بیشتری خواهد شد. در روش‌های کارگاهی تخریبی نظیر تخریب بلوکی اگر مسایل مربوط به کنترل نشست رعایت نشود، ممکن است منجر به نشست و ناپایداری در محدوده استخراج شود. در استخراج ترکیبی غیرهم‌زمان علاوه بر روش‌های تخریبی می‌توان از سایر روش‌های پرتولید نظیر استخراج از طبقات فرعی نیز استفاده کرد.

گرچه استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی به صورت هم‌زمان امکان‌پذیر است اما موارد استفاده آن محدود است و در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرد که با توجه به شرایط و با تاکید بر هدف‌های استخراجی استفاده از آن قابل توجیه باشد.

۱-۳-۱- روش‌های زیرزمینی مناسب استخراج ترکیبی هم‌زمان

در حالت ترکیبی، عملیات استخراج زیرزمینی دقیقا در زیر بخشی از محدوده استخراجی روباز واقع است. از این رو با توجه به نکات ذکر شده در صورت به کارگیری حالت ترکیبی استخراج به طور هم‌زمان، ممکن است بر اثر استخراج زیرزمینی کانسار، بخشی از معدن روباز دچار ناپایداری شود که در این شرایط ادامه فعالیت‌های استخراجی در بخش روباز غیرممکن خواهد بود. به منظور جلوگیری از این مشکلات در حالت استخراج هم‌زمان باید از روش‌های زیرزمینی استفاده شود که در آن‌ها سقف و کمرها به طور کامل با دقت بیشتری نگهداری شوند. در این رابطه باید به نکات زیر توجه شود:

– استفاده از روش‌های کوچک‌مقیاسی نظیر کندن و آکندن که از خود ماده معدنی برای نگهداری موقت کارگاه استفاده می‌شود، چون حتی میزان کم جابه‌جایی‌ها در بخش زیرزمینی در نهایت می‌تواند منجر به ناپایداری در بخش روباز شود.

– استفاده از روش استخراج از طبقات فرعی و استخراج انباره‌ای و در کل روش‌های تخریبی یا با فضای استخراج شده خالی مجاز نیست، چون در هنگام استخراج و خارج کردن کامل ماده معدنی مقداری همگرایی بین دیواره‌های کارگاه به وجود خواهد آمد که منجر به ایجاد یک سری درزه و شکاف در سنگ‌های پیرامون و همچنین بروز ناپایداری در معدن روباز می‌شود.

– بهترین گزینه زیرزمینی برای استخراج ترکیبی هم‌زمان با روباز تنها روش‌های مبتنی بر پر کردن کارگاه استخراج با مواد تراکم‌ناپذیر نظیر کندن و آکندن است. بسته به مشخصات کانسار و شرایط محیط می‌توان از یکی از روش‌های استخراج مانند روش کندن و آکندن و جبهه‌کار بلند استفاده کرد.

omoorepeyman.ir

– اگر کانسار ضخامت یا عرض قابل ملاحظه‌ای داشته باشد، استفاده از روش‌های پر کردن با احداث برش‌های افقی بالارو همراه با پر کردن نیز امکان ریزش سقف وجود دارد که باید مورد بررسی قرار گیرد.

بهترین گزینه در حالت ترکیبی هم‌زمان تنها روش‌های پر کردن با احداث برش‌های افقی و استخراج پایین‌رو با استفاده از مواد پرکننده سیمانی است.

به منظور دستیابی به اطلاعات کامل در ارتباط با روش‌های پر کردن، به گزارش "دستورالعمل پر کردن معادن" مراجعه شود.

استخراج پایین‌رو با پر کردن سیمانی به عنوان مطلوب‌ترین حالت از روش کندن و آکندن برای استخراج ترکیبی هم‌زمان با روباز را می‌توان در دو گروه کلی زیر بررسی کرد:

الف- کندن و آکندن با برش‌های افقی پایین‌رو در تمام عرض کانسار[1]

توجه به نکات زیر در روش‌های پر کردن با برش‌های افقی پایین‌رو در تمام عرض کانسار، ضروری است:

– برای کانسارهای عریض از روش آکندن هیدرولیکی یا پنوماتیکی با مواد سیمانی استفاده شود.

– در این روش در هر برش استخراجی با ترتیب خاصی، کل ماده معدنی استخراج و فضای استخراج شده با کمک سیستم‌های هیدرولیکی یا پنوماتیکی با سیمان پر می‌شود و سپس استخراج در برش بعدی آغاز و نظیر برش پیشین ادامه می‌یابد.

– در این روش، استخراج را می‌توان طی دو مرحله انجام داد. نخست، اتاق‌هایی با عرض مناسب و تقریبا به همان فاصله از یکدیگر در جهت عرضی کانسار استخراج می‌شوند. پس از استخراج هر اتاق تمام آن با موادی که حاوی مقدار مناسبی سیمان باشد پر می‌شود. در مرحله دوم، لنگه‌های باقیمانده بین اتاق‌های پر شده، استخراج می‌شود. درصد سیمان مورد استفاده در مرحله دوم می‌تواند کمتر باشد.

– در این روش، برش‌های سیمانی پر شده بالایی به دلیل اصطکاک با دیواره و مهم‌تر از آن به دلیل فشار وارده از کمرها به آن پایدار می‌مانند.

– برای کسب اطمینان بیشتر از پایداری سقف پرکننده سیمانی، می‌توان در هر برش جهت استخراج را عمود بر جهت استخراج برش قبلی انتخاب کرد.

ب- کندن و آکندن با برش‌های عمود بر امتداد و استخراج پایین‌رو[2]

در روش کندن و آکندن با احداث برش‌های عمود بر امتداد و استخراج به صورت پایین‌رو، به منظور دستیابی به بالاترین حد استخراج انتخابی مواد معدنی، برش‌های عمود بر امتداد باید از نظر طولی عمود بر جهت عمومی بخش اصلی کانسار ایجاد شوند. این روش به دو شیوه کلی ایجاد برش‌های عمود بر امتداد متوالی و متناوب قابل اجرا است.

omoorepeyman.ir

1- Full width underhand cut & fill
2- Vertical slices underhand cut & fill

۱-۳-۲- روش‌های زیرزمینی مناسب استخراج ترکیبی غیرهم‌زمان

در اکثر کانسارهای دارای پتانسیل استخراج ترکیبی، حالت غیرهم‌زمان روباز و زیرزمینی یکی از متداول‌ترین گزینه‌ها است. برخلاف حالت ترکیبی هم‌زمان، استخراج غیرهم‌زمان روباز و زیرزمینی دارای مزایای زیر است:

- امکان استفاده از روش‌های با ظرفیت تولید بالا و کم هزینه نظیر تخریب بلوکی وجود دارد.
- از روش‌هایی که در آن‌ها نیازی به صرف هزینه‌های بالای پر کردن نیست (نظیر استخراج از طبقات فرعی) می‌توان استفاده کرد.
- بسته به شرایط و به ویژه با توجه به ابعاد هندسی کانسار می‌توان از انواع روش‌های استخراج زیرزمینی استفاده کرد.
- در این حالت امکان استفاده از روش تخریب بلوکی که تنها روش زیرزمینی با هزینه کم و آهنگ تولید بالا است وجود دارد.

حالت استخراج ترکیبی غیرهم‌زمان از جنبه زیست‌محیطی و نشست زمین، محدوده بیشتری را نسبت به حالت هم‌زمان تحت تاثیر قرار می‌دهد.

اگر چه به کارگیری ترکیب روباز با سایر روش‌های زیرزمینی و به ویژه روش‌های پرتولید، نظیر تخریب از طبقات فرعی و استخراج از طبقات فرعی امکان‌پذیر است، با این وجود با تاکید بر مطالب مذکور و همچنین با توجه به هدف اصلی این نشریه، از میان روش‌های زیرزمینی روش تخریب بلوکی مناسب‌ترین گزینه است.

در کل سه سیستم مختلف از روش تخریب کلی، نظیر تخریب بلوکی، تخریب پهنه‌ای، تخریب توده‌ای یا انبوه وجود دارد که می‌توان از این روش‌ها برای بیشتر کانسارهای دارای پتانسیل ترکیبی استخراج روباز و زیرزمینی استفاده کرد. در نشریه حاضر تاکید بر استفاده از روش تخریب کلی در بخش زیرزمینی است.

در تهیه این نشریه، بیشتر محدودیت‌های فنی روش تخریب کلی نظیر ترتیب و یا جهت استخراج و بهره‌برداری ماده معدنی و حداقل ارتفاع کارگاه با تاکید بر ابعاد و فاصله نقاط تخلیه و همچنین کنترل تخلیه بیان می‌شوند.

۱-٤- چالش‌های ژئوتکنیکی استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی

برخی از چالش‌ها و مخاطرات ژئوتکنیکی مهم در استخراج ترکیبی روباز و تخریب بلوکی و تاثیر آن‌ها به ویژه در طول مدت هم‌زمانی استخراج عبارتند از:

- لرزش‌های القایی[1] و ترکش‌های توده سنگ[2] ناشی از عملیات تخریب بلوکی
- شکست‌های بزرگ و انفجار هوا که اغلب به دلیل تاخیر در گسترش تخریب است.
- در صورت شکست ناگهانی حریم حایل عملیات استخراج روباز متوقف می‌شود و برنامه‌ریزی تولید را تغییر می‌دهد.
- نشست ناشی از گسترش تخریب در نهایت زیرساخت‌های واقع در این محدوده و راه‌های دسترسی به بخش زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

1- Induced seismicity
2- Subsequent rock bursts

omoorepeyman.ir

– اگر شکستی در حریم حایل اتفاق افتد تمامی جریان‌های مربوط به بارش‌های جوی و آب‌های سطحی که اغلب در کف معدن روباز جمع می‌شوند ممکن است به صورت آب‌های جاری و هجوم آب‌های گل‌آلود به بخش زیرزمینی جریان پیدا کند.

در تمامی حالاتی که از ترکیب روباز و زیرزمینی برای استخراج یک کانسار استفاده می‌شود و احتمال تاثیر متقابل فعالیت‌های استخراج روباز و زیرزمینی نظیر گسترش تخریب و رسیدن آن به بخش روباز، وجود دارد باید مطالعات گسترده‌ای به منظور تعیین حداقل ابعاد قابل قبول حریم‌های حایل انجام گیرد. در این مورد باید به نکات زیر توجه شود:

– حداقل ضخامت حریم حایل بیانگر حداقل ضخامت از کف معدن روباز تا بالاترین تراز از محدوده استخراج زیرزمینی است. به عنوان نمونه حداقل ضخامت حریم حایل در معدن مس چوکی‌کوماتای[1] شیلی ۲۰۰ متر طراحی شده است.

– طراحی حریم حایل با ضخامت قابل قبول حایلی در مقابل عملیات استخراج روباز به ویژه لرزش‌ها و اثرات مخرب ناشی از عملیات آتشباری بر بخش زیرزمینی است.

– در استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی به حریم حایل با حداقل ضخامت ممکن نیاز است که باید در مدت استخراج هم‌زمان روباز و زیرزمینی که اغلب ۲ تا ۳ سال به طول می‌انجامد، پایدار باشد.

– بیشترین تاثیر متقابل استخراج روباز و زیرزمینی در مدت کوتاه ۲ تا ۳ سال از استخراج هم‌زمان اتفاق می‌افتد و منجر به پیچیده‌تر شدن مساله استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی و احتمال تغییر مرز تغییر روش می‌شود.

– وجود یک معدن روباز عمیق بر میدان تنش‌ها در محدوده‌ای که بخش زیرزمینی توسعه داده می‌شود، تاثیر بسزایی دارد. به طور معکوس گسترش تخریب از بخش زیرزمینی بر ناپایداری حریم حایل بین روباز و زیرزمینی تاثیر می‌گذارد.

۱-۵- مسایل بنیادی تغییر روش

برخی از سوالاتی که در مورد تغییر روش مطرح می‌شود عبارتند از:

الف– از جنبه‌های اقتصادی، ژئوتکنیکی و عملیاتی ضخامت بهینه ماده معدنی چقدر است؟

ب– آیا تخریب از ابتدا تا انتهای ارتفاع بلوک ماده معدنی گسترش می‌یابد؟

پ– حداقل ضخامت حریم حایل پایدار برای استخراج هم‌زمان روباز و زیرزمینی چقدر است؟

ت– از زمان شروع تخریب در بخش زیرزمینی تا چه زمانی امکان استخراج در بخش روباز به طور ایمن وجود دارد؟

ث– مدت زمان استخراج روباز و زیرزمینی چقدر است؟

ج– آیا نشست ناشی از استخراج زیرزمینی بر زیرساخت‌های سطحی موجود در اطراف کاواک تا چه فاصله و از چه زمانی تاثیر می‌گذارد؟

چ– خطرات و ریسک‌های ژئوتکنیکی اصلی کدام هستند و تمهیدات لازم برای جلوگیری یا کاهش آن‌ها کدام است؟

پاسخ سوالات یاد شده در رابطه با هر مورد مطالعاتی متفاوت خواهد بود و به منظور پاسخگویی به این سوالات باید بررسی‌های فنی، اقتصادی و ژئومکانیکی انجام گیرد.

omoorepeyman.ir

1- Chuquicamata

با جایگذاری حریم حایل مناسب بین محدوده استخراجی روباز و زیرزمینی باید کارگاه زیرزمینی و روباز را در مقابل وقوع نشست حفظ کرد.

omoorepeyman.ir

فصل ۲

روش‌های تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۲-۱- آشنایی

انتخاب روش استخراج مناسب و تصمیم‌گیری برای تعیین روش روباز، زیرزمینی و یا ترکیبی از آن‌ها و در نتیجه تعیین مرز بهینه تغییر روش در حالت استخراج ترکیبی در مرحله طراحی و قبل از آماده‌سازی اهمیت زیادی دارد. برای انتخاب بهینه یکی از روش‌های استخراج مهم‌ترین عوامل عبارتند از:

- عوامل زمین‌شناسی و ویژگی‌های هندسی کانسار
- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کانسار و سنگ‌های کمربالا و پایین
- وضعیت آب‌های زیرسطحی
- عوامل اقتصادی مانند هزینه‌های نسبی استخراج و میزان تولید
- ملاحظات زیست‌محیطی، مسایل ایمنی و اجتماعی

روش استخراج مناسب برای یک کانسار را می‌توان با توجه به موارد زیر انتخاب کرد:

- کانسارهایی که در عمق زیاد (بیش از ۳۰۰ متر) قرار گرفته‌اند، با تخمین نسبت باطله‌برداری کلی، برای استخراج به روش روباز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.
- اگر نسبت باطله‌برداری محاسبه شده از مقدار مربوط به معادن روباز مشابه بیشتر باشد، استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی به جای روباز توصیه می‌شود.
- در هر دو روش استخراج روباز و زیرزمینی، میزان باطله‌برداری و اختلاط باطله با ماده معدنی، هزینه‌های عملیاتی، سرمایه‌ای و درآمدها، برآورد و نمودار جریان نقدینگی باید برای هر گزینه مشخص شود.

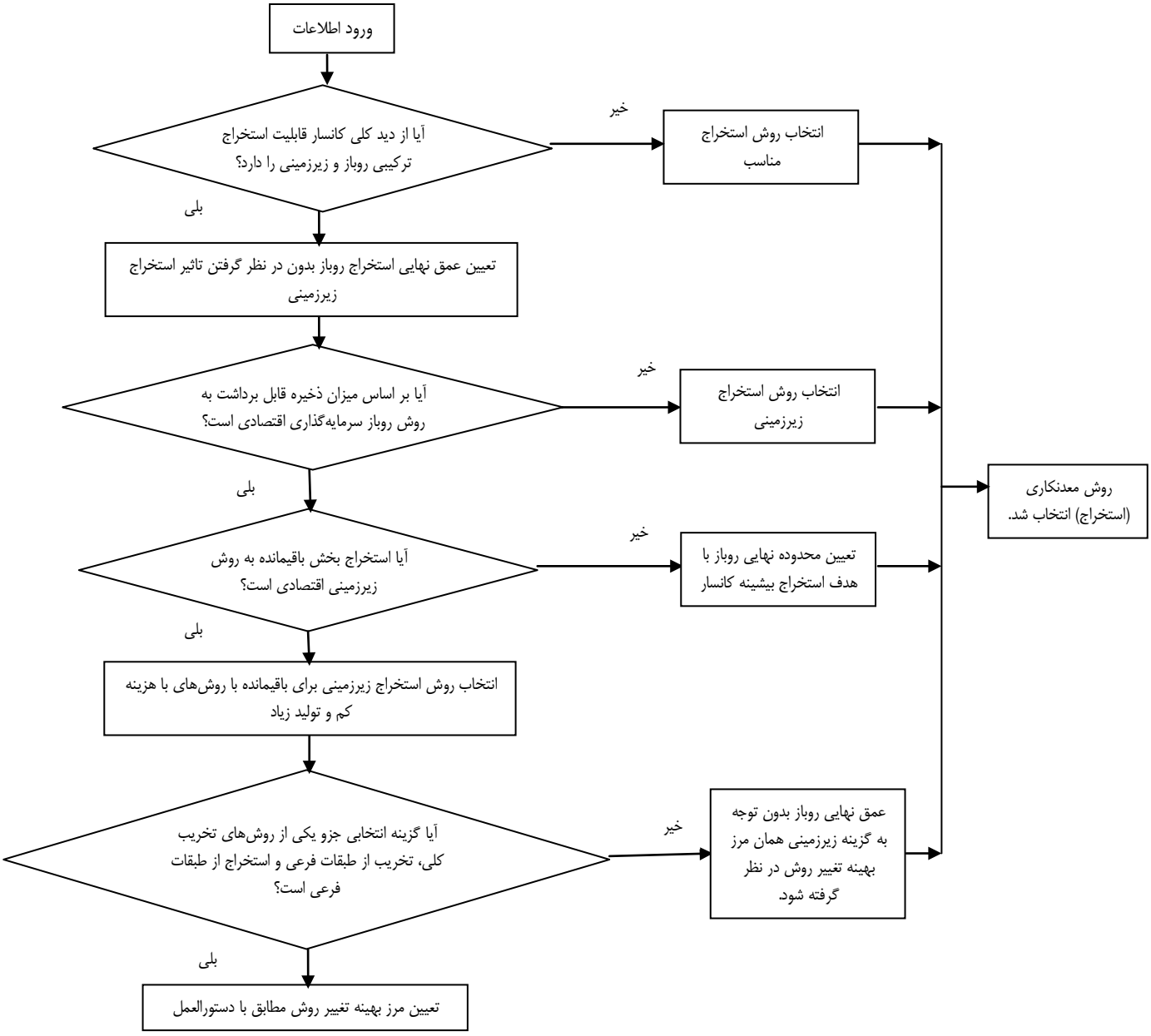
۲-۲- مراحل تعیین مرز بهینه تغییر روش روباز به زیرزمینی

مراحل تعیین مرز بهینه تغییر روش روباز به زیرزمینی به صورت روندنما در شکل ۲-۱ ارایه شده است. جزییات روندنمای ارایه شده در شکل ۲-۱ به شرح زیر است:

مرحله اول: امکان استخراج یک کانسار به صورت مجزا و یا ترکیبی از روش‌های روباز و زیرزمینی به صورت مفهومی بررسی شود. اگر کانسار مورد بررسی پتانسیل استخراج به حالت ترکیبی روباز و زیرزمینی را داشته باشد، باید محدوده بهینه نهایی روباز بدون در نظر گرفتن تاثیر استخراج زیرزمینی برای بخشی از کانسار تعیین شود و برای ادامه کار، از مرحله دوم پیروی می‌شود. در غیر این صورت، مشخص است که تنها امکان استخراج روباز و یا روش‌های زیرزمینی به صورت مجزا وجود دارد، باید با استفاده از روش‌های موجود نظیر نیکلاس و UBC و با بهره‌گیری از سیستم‌های مدیریتی تصمیم‌گیری چند معیاره، مناسب‌ترین روش استخراج تعیین شود.

مرحله دوم: پس از تعیین محدوده بهینه نهایی روباز باید بر روی ذخیره قابل استخراج واقع در محدوده روباز بررسی فنی و اقتصادی انجام گیرد. اگر استخراج ذخیره مورد نظر صرفه اقتصادی داشته باشد مرحله سوم بررسی شود. در غیر این صورت، کانسار مورد بررسی برای استخراج به یکی از روش‌های زیرزمینی صرفه اقتصادی بیشتری خواهد داشت، از این رو باید مناسب‌ترین روش استخراج زیرزمینی انتخاب شود.

omoorepeyman.ir



شکل ۲-۱- روندنمای انتخاب روش استخراج و تعیین مرز بهینه تغییر روش و اثرات متقابل این دو مساله

مرحله سوم: پس از این که امکان استخراج روباز برای محدوده تعیین شده از جنبه اقتصادی مقرون به صرفه تشخیص داده شد باید پتانسیل استخراج زیرزمینی برای باقیمانده کانسار که در زیر این محدوده قرار دارد از جنبه اقتصادی ارزیابی شود. اگر ذخیره واقع در بخش زیرزمینی از لحاظ اقتصادی برای استخراج زیرزمینی قابل ملاحظه و سودآور باشد مرحله چهارم مورد بررسی قرار گیرد. در غیر این صورت، تنها استخراج روباز به صورت مجزا مد نظر است که در این حالت باید محدوده نهایی بهینه روباز با تاکید بر بیشینه‌سازی ذخیره قابل استخراج به روش روباز تعیین شود.

omoorepeyman.ir

مرحله چهارم: روش زیرزمینی مناسب برای استخراج باقیمانده کانسار واقع در زیر محدوده نهایی بهینه روباز حاصل از مرحله اول با تاکید بر روش‌های پرتولید و کم هزینه نظیر روش‌های تخریبی کارگاهی انتخاب شود. اگر گزینه انتخاب شده یکی از روش‌های تخریب بلوکی، تخریب از طبقات فرعی و حتی استخراج از طبقات فرعی باشد امکان استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی به صورت غیرهمزمان وجود دارد و مرحله بعد بررسی می‌شود. در غیر این صورت، ترکیب استخراج روباز و زیرزمینی به صورت هم‌زمان مد نظر خواهد بود و مرز تغییر روش همان عمق بهینه نهایی روباز حاصل از مرحله اول در نظر گرفته می‌شود.

مرحله پنجم: مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی بر اساس دستورالعمل استانداردی است که در ادامه ارایه خواهد شد.

۲-۳- روش‌های تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی

با توجه به روش‌های ارایه شده برای تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی، راهنمای عملی تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی در دو دسته تجربی و ابتکاری به شرح مراحل زیر ارایه شده است.

۲-۳-۱- روش‌های تجربی

الف- روش نسبت باطله‌برداری تعادلی روباز و زیرزمینی

روش نسبت باطله‌برداری تعادلی روباز و زیرزمینی نخستین روش ارایه شده در تعیین مرز تغییر روش از روباز به زیرزمینی است و به ترتیب مراحل زیر باید انجام شود:

مرحله اول: نسبت باطله‌برداری کلی برای عمق‌های مختلف معدن روباز با استفاده از رابطه ۲-۱ تعیین شود.

$$R_o = \frac{V_w}{V_o} \qquad (۱-۲)$$

که در آن،

R_o نسبت باطله‌برداری کلی روباز

V_w حجم باطله قابل برداشت تا عمق مشخصی از معدن روباز

V_o حجم ماده معدنی قابل برداشت تا عمق مشخصی از معدن روباز

مرحله دوم: نسبت باطله‌برداری تعادلی روباز و زیرزمینی با استفاده از رابطه ۲-۲ تعیین شود.

$$R_m = \frac{(C_{ug} - C_{op})}{C_w} \qquad (۲-۲)$$

که در آن،

R_m نسبت باطله‌برداری تعادلی روباز و زیرزمینی

C_{ug} هزینه استخراج یک تن ماده معدنی به روش زیرزمینی

C_{op} هزینه استخراج یک تن ماده معدنی به روش روباز

C_w هزینه یک تن باطله‌برداری

omoorepeyman.ir

مرحله سوم: عمقی که در آن نسبت باطله‌برداری کلی روباز با نسبت باطله‌برداری تعادلی روباز و زیرزمینی برابر است به عنوان مرز تغییر روش از روباز به زیرزمینی در نظر گرفته شود.

به دلیل عدم توجه به ارزش زمانی پول در این روش، جوابی که برای مرز تغییر روش به دست می‌آید عمیق‌تر از سایر روش‌ها است.

ب- روش تحلیل اقتصادی و ریاضی

در این روش مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی با مساوی قرار دادن رابطه‌های نسبت باطله‌برداری کلی و تعادلی روباز و زیرزمینی تعیین می‌شود. به علاوه، حجم ماده معدنی و باطله به صورت تابعی از متغیر مستقل عمق به صورت ریاضی بیان می‌شود. مطابق با شکل ۲-۲ فرض بر پیوسته بودن کانسار است. با استفاده از این روش، مرز تغییر روش استخراج طی مراحل زیر تعیین می‌شود:

مرحله اول: حجم باطله و ماده معدنی واقع در محدوده معدن روباز به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۲-۳ و ۲-۴ تعیین شود.

$$V_W = \int_0^{ht} g(h).dh \qquad (۳-۲)$$

$$V_0 = \int_0^{ht} f(h).dh \qquad (۴-۲)$$

که در آن‌ها،

h عمق مناسب تغییر روش

V_w حجم مواد باطله واقع در محدوده معدن روباز

V_o حجم مواد معدنی واقع در محدوده معدن روباز

h_t مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی

$f(h)$ مقدار مواد معدنی به صورت تابعی از عمق

$g(h)$ مقدار مواد باطله به صورت تابعی از عمق

مرحله دوم: با جایگذاری مقادیر معلوم در رابطه ۲-۵، مرز تغییر روش تعیین شود.

$$(R_{ug}.C_{ug} + R_{op}.C_{OP}).\int_0^{ht} f(h).dh + C_w.\int_0^{ht} g(h).dh - R_{ug}.C_{ug}.\int_0^{h} f(h).dh = 0 \qquad (۵-۲)$$

که در آن،

R_{op} ضریب بازیابی روش روباز

C_{op} هزینه‌های استخراج یک تن ماده معدنی به روش روباز

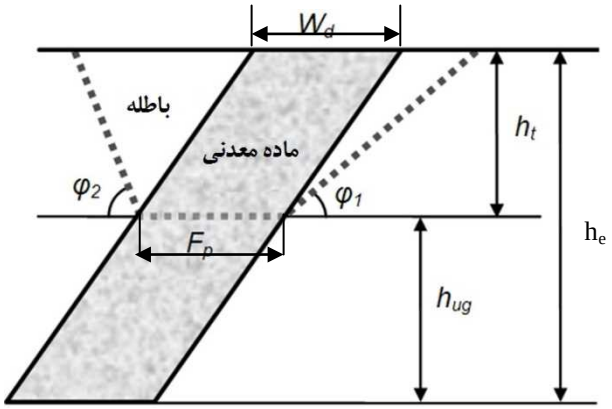
R_{ug} ضریب بازیابی روش زیرزمینی

C_{ug} هزینه استخراج یک تن ماده معدنی به روش زیرزمینی

omoorepeyman.ir

C_w هزینه یک تن باطله‌برداری

h_e عمق نهایی استخراج

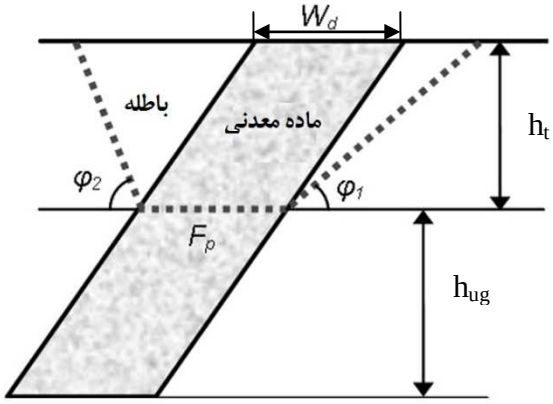


شکل ۲-۲- استخراج ترکیبی و محدوده استخراج روباز و زیرزمینی

پ- رابطه‌های چهارگانه بر مبنای اصول هندسی

در این روش بر اساس یک سری اصول هندسی بر روی مقاطع دوبعدی از کانسار، چهار رابطه به منظور محاسبه مرز تغییر روش در حالت‌های مختلف ارایه شده است.

حالت اول: اگر مطابق شکل ۲-۳ کانسار رخنمون داشته باشد و از کل عرض افقی ماده معدنی برای کف معدن روباز استفاده شود، مرز تغییر روش با استفاده از رابطه ۲-۶ محاسبه می‌شود.



شکل ۲-۳- حالت اول از وضعیت کانسار و مساله تغییر روش استخراج

$$h_t = \frac{w_d.(R_{ug}.C_{ug} - R_{op}.C_{OP})}{C_w.(\cot\varphi_1 + \cot\varphi_2)} \qquad (۲-۶)$$

که در آن،

h_t مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی (متر)

W_d عرض ظاهری افقی ماده معدنی (متر)

R_{ug} ضریب بازیابی طی استخراج زیرزمینی

C_{ug} هزینه استخراج یک تن ماده معدنی با روش زیرزمینی

omoorepeyman.ir

R_{op} ضریب بازیابی طی استخراج روباز

C_{op} هزینه استخراج یک تن ماده معدنی با روش روباز

C_w هزینه یک تن باطله‌برداری در روباز

φ_1 و φ_2 شیب نهایی دیواره‌های معدن روباز

در رابطه ۲-۶، W_d عرض ظاهری است که برای تبدیل به ضخامت واقعی از رابطه ۲-۷ استفاده می‌شود.

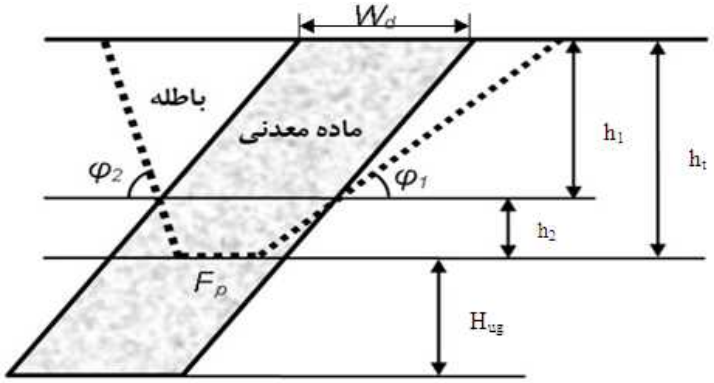
$$w = W_d \cdot \sin\beta \qquad (۷-۲)$$

که در آن،

w ضخامت واقعی ماده معدنی (متر)

β زاویه شیب ماده معدنی (درجه)

حالت دوم: اگر مطابق شکل ۲-۴ ماده معدنی رخنمون داشته باشد و کمترین عرض ممکن برای کف معدن روباز در نظر گرفته شود، مرز تغییر روش از رابطه ۲-۸ محاسبه می‌شود.



شکل ۲-٤- حالت دوم از وضعیت کانسار و مساله تغییر روش استخراج

$$h_t = h_1 + h_{ov} \Rightarrow h_t = \frac{w_d.(R_{ug}.C_{ug} - R_{op}.C_{OP}) + (w_d - F_p).C_w}{C_w.(\cot\varphi_1 + \cot\varphi_2)} \qquad (۸-۲)$$

که در آن،

h_1 عمق معدن روباز در برگیرنده بیشترین عرض کف کاواک (متر)

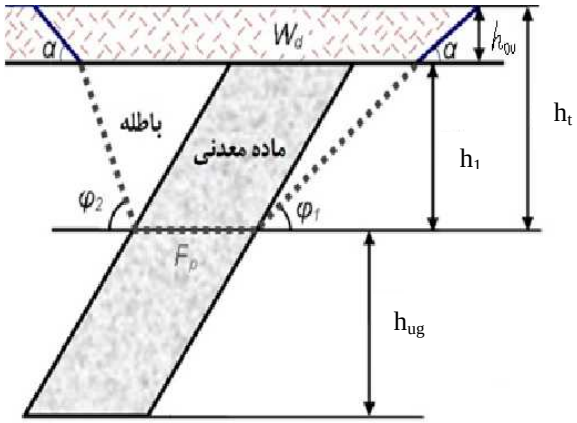
h_2 عمق مرتبط با عمیق‌تر شدن کاواک (از بیشترین عرض کف به کمترین عرض بر حسب متر)

F_p عرض کف معدن روباز (متر)

سایر پارامترها در رابطه‌های پیشین تعریف شده‌اند.

حالت سوم: اگر مطابق شکل ۲-۵، بر روی ماده معدنی روباره وجود داشته باشد و از کل عرض افقی ماده معدنی برای کف معدن روباز استفاده شود، مرز تغییر روش از رابطه ۲-۹ محاسبه می‌شود.

omoorepeyman.ir



شکل ۲-۵- حالت سوم از وضعیت کانسار و مساله تغییر روش استخراج

$$h_t = h_1 + h_{ov} \Rightarrow h_t = \frac{\{w_d.(R_{ug}.C_{ug} - R_{op}.C_{OP}).[2\cot\alpha + (\cot\varphi_1 + \cot\varphi_2)]\} + [C_w.(w_d - F_p).(\cot\varphi_1 + \cot\varphi_2)]}{2C_w.\cot\alpha(\cot\varphi_1 + \cot\varphi_2)} \qquad (۹-۲)$$

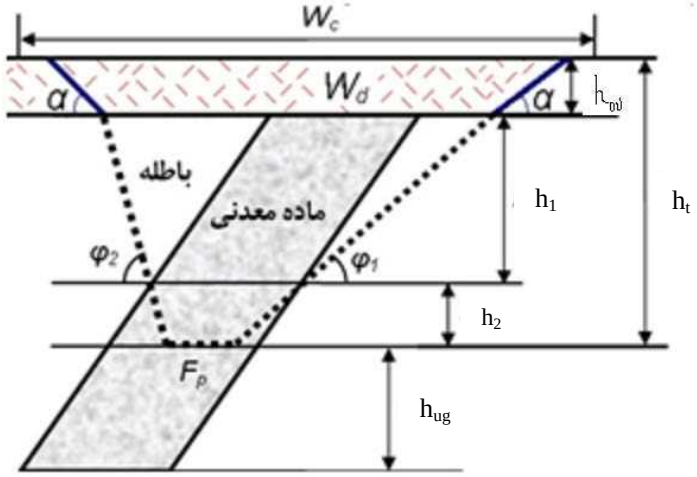
که در آن،

h_{ov} ضخامت روباره (متر)

α شیب دیواره‌های پایدار در روباره (درجه)

سایر پارامترها در رابطه‌های پیشین تعریف شده‌اند.

حالت چهارم: اگر مطابق شکل ۲-۶، بر روی ماده معدنی روباره وجود داشته باشد و کمترین عرض ممکن برای کف کاواک در نظر گرفته شود، مرز تغییر روش از رابطه ۲-۱۰ محاسبه می‌شود.



شکل ۲-۶- حالت چهارم از وضعیت کانسار و مساله تغییر روش استخراج

omoorepeyman.ir

$$h_t = h_1 + h_{ov} \Rightarrow h_t = \frac{\{w_d.(R_{ug}.C_{ug} - R_{op}.C_{OP}).[2\cot\alpha + (\cot\varphi_1 + \cot\varphi_2)]\} + [C_w.(w_c - w_d).(\cot\varphi_1 + \cot\varphi_2)]}{2C_w.\cot\alpha(\cot\varphi_1 + \cot\varphi_2)}$$

$$w_c = 2h_{ov}.\cot\alpha + \frac{w_d.(R_{ug}.C_{ug} - R_{op}.C_{OP})}{C_W}.W_d \qquad (۱۰-۲)$$

که در آن،

W_c طول قاعده بزرگ ذوزنقه در برگیرنده روباره (متر)

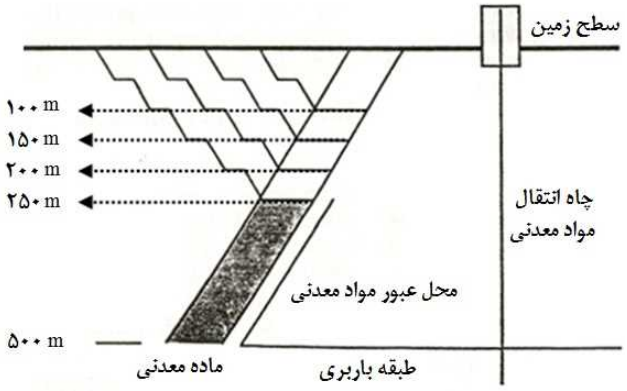
سایر پارامترها در رابطه‌های پیشین تعریف شده‌اند.

۲-۳-۲- روش‌های ابتکاری

الف- روش بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی

این روش بر پایه جریان نقدینگی و بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی ارایه شده است. به عنوان مثال در شکل ۲-۷ حداقل عمق قابل استخراج به روش روباز ۱۰۰ متر تعیین شده و ارزیابی اصلی برای تعیین مرز تغییر روش از تراز ۱۵۰ متری شروع شده است. به منظور تعیین مرز تغییر روش استخراج با استفاده از این روش به ترتیب مراحل زیر عمل شود:

مرحله اول: مطابق شکل ۲-۷ گزینه‌های مختلف عمق یا تراز بر روی مقطعی از کانسار مشخص شده و مطابق با هر کدام از این گزینه‌ها محدوده قابل استخراج به روش روباز و زیرزمینی تعیین می‌شود.



شکل ۲-۷- مقطع عرضی از یک کانسار پرشیب و گزینه‌های مختلف عمقی

مرحله دوم: عمر معدن روباز و زیرزمینی برای هر گزینه به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۲-۱۱ و ۲-۱۲ تعیین می‌شود. برای تعیین عمر معدن زیرزمینی نخست ذخیره ماده معدنی قابل استخراج به روش زیرزمینی در هر گزینه با به کارگیری رابطه ۲-۱۳ محاسبه می‌شود.

$$T_{op} = \frac{Q_{op}}{A_{op}} \qquad (۱۱-۲)$$

$$T_{ug} = \frac{Q_{ug} \cdot R_{ug}}{A_{ug}} \qquad (۱۲-۲)$$

$$Q_{ug} = Q_T - Q_{op} \qquad (۱۳-۲)$$

که در آن‌ها،

omoorepeyman.ir

T_{op} عمر معدن روباز (سال)

Q_{op} ذخیره ماده معدنی قابل استخراج به روش روباز برای هر گزینه (تن)

A_{op} ظرفیت سالانه استخراج روباز (تن در سال)

T_{ug} عمر معدن زیرزمینی (سال)

Q_{ug} ذخیره ماده معدنی قابل استخراج به روش زیرزمینی برای هر گزینه (تن)

R_{ug} ضریب بازیابی در استخراج زیرزمینی

A_{ug} ظرفیت سالانه استخراج زیرزمینی (تن در سال)

Q_T ذخیره کلی ماده معدنی (تن)

مرحله سوم: هزینه‌های سالیانه روباره‌برداری، باطله‌برداری، استخراج، فرآوری، ذوب و حمل و نقل در روش روباز برای هر گزینه با استفاده از رابطه‌های ۲-۱۴ تا ۲-۱۹ محاسبه می‌شود.

$$C_{Tov} = C_{ov} \cdot Q_{ov} \qquad (۲-۱۴)$$

$$C_{Tw} = C_w \cdot Q_w \qquad (۲-۱۵)$$

$$C_{Top} = C_{op} \cdot A_{op} \qquad (۲-۱۶)$$

$$C_{TPO} = C_P \cdot A_{op} \qquad (۲-۱۷)$$

$$C_{TRO} = C_R \cdot A_{RO} \qquad (۲-۱۸)$$

$$C_{TtO} = C_t \cdot A_{RO} \qquad (۲-۱۹)$$

که در آن‌ها،

C_{Tov} هزینه روباره‌برداری سالیانه هر گزینه (واحد پول)

C_{ov} هزینه هر تن روباره‌برداری (واحد پول)

Q_{ov} تناژ روباره‌برداری سالیانه در روش روباز (تن در سال)

C_{Tw} هزینه باطله‌برداری سالیانه هر گزینه (واحد پول)

C_w هزینه هر تن باطله‌برداری (واحد پول)

Q_w تناژ باطله‌برداری سالیانه در روش روباز (تن در سال)

C_{Top} هزینه استخراج سالیانه ماده معدنی به روش روباز (واحد پول)

C_{op} هزینه استخراج هرتن ماده معدنی به روش روباز (واحد پول)

A_{op} ظرفیت سالیانه استخراج ماده معدنی به روش روباز (تن بر سال)

C_{TPO} هزینه سالیانه فرآوری ماده معدنی در روش روباز برای هر گزینه (واحد پول)

C_P هزینه فرآوری هر تن ماده معدنی (واحد پول)

C_{TRO} هزینه سالیانه ذوب فلز برای روش روباز برای هر گزینه (واحد پول)

C_R هزینه ذوب هر تن فلز (واحد پول)

A_{RO} ظرفیت سالیانه تولید فلز از ماده معدنی قابل استخراج به روش روباز (تن در سال)

omoorepeyman.ir

C_{TtO} هزینه حمل و نقل سالیانه فلز تولیدی در روش روباز (واحد پول)

C_t هزینه حمل و نقل هر تن فلز (واحد پول)

مرحله چهارم: هزینه‌های سالیانه استخراج، فرآوری، ذوب و حمل و نقل در روش زیرزمینی برای هر گزینه با استفاده از رابطه‌های ۲-۲۰ تا ۲-۲۳ محاسبه شود.

$$C_{Tug} = C_{ug} \cdot A_{ug} \quad (۲۰-۲)$$

$$C_{TPU} = C_P \cdot A_{ug} \quad (۲۱-۲)$$

$$C_{TRU} = C_R \cdot A_{RU} \quad (۲۲-۲)$$

$$C_{TtU} = C_t \cdot A_{RU} \quad (۲۳-۲)$$

که در آن‌ها،

C_{Tug} هزینه استخراج سالیانه ماده معدنی به روش زیرزمینی (واحد پول)

C_{ug} هزینه استخراج هرتن ماده معدنی به روش زیرزمینی (واحد پول)

A_{ug} ظرفیت سالیانه استخراج ماده معدنی به روش زیرزمینی (تن در سال)

C_{TPU} هزینه سالیانه فرآوری ماده معدنی در روش زیرزمینی برای هر گزینه (واحد پول)

C_{TRU} هزینه سالیانه ذوب فلز برای روش زیرزمینی برای هر گزینه (واحد پول)

A_{RU} ظرفیت سالیانه تولید فلز از ماده معدنی قابل استخراج به روش زیرزمینی (تن در سال)

C_{TtU} هزینه حمل و نقل سالیانه فلز تولیدی در روش زیرزمینی (واحد پول)

مرحله پنجم: درآمد سالیانه حاصل از فروش فلز تولیدی در روش روباز و زیرزمینی با استفاده از رابطه‌های ۲-۲۴ و ۲-۲۵ تعیین شود.

$$I_{op} = S \cdot A_{RO} \quad (۲۴-۲)$$

$$I_{ug} = S \cdot A_{RU} \quad (۲۵-۲)$$

که در آن‌ها،

I_{op} درآمد سالیانه ناشی از فروش فلز استخراجی به روش روباز (واحد پول)

I_{ug} درآمد سالیانه ناشی از فروش فلز استخراجی به روش زیرزمینی (واحد پول)

S قیمت فروش هر تن فلز (واحد پول)

مرحله ششم: سود ناخالص، ارزش سرمایه‌ای و ارزش سرمایه‌ای خالص در روش روباز و زیرزمینی در رابطه با گزینه‌های مختلف با استفاده از رابطه‌های ۲-۲۶ تا ۲-۳۱ تعیین شود.

$$P_{op} = I_{op} - \left(C_{Tw} + C_{Top} + C_{TPO} + C_{TRO} + C_{TtO}\right) \quad (۲۶-۲)$$

$$P_{ug} = I_{ug} - \left(C_{Tug} + C_{TPU} + C_{TRU} + C_{TtU}\right) \quad (۲۷-۲)$$

$$V_{op} = P_{op} \cdot f_a \quad (۲۸-۲)$$

$$V_{ug} = P_{ug} \cdot f_a \quad (۲۹-۲)$$

$$NV_{op} = V_{op} - \left(CI_{op} + C_{Tov}\right) \quad (۳۰-۲)$$

omoorepeyman.ir

$$NV_{ug} = V_{ug} - CI_{ug} \qquad (۳۱-۲)$$

که در آن‌ها،

P_{op} سود ناخالص سالیانه ناشی از فروش فلز استخراجی به روش روباز (واحد پول)

P_{ug} سود ناخالص سالیانه ناشی از فروش فلز استخراجی به روش زیرزمینی (واحد پول)

V_{op} ارزش سرمایه‌ای سالیانه ناشی از فروش فلز استخراجی به روش روباز (واحد پول)

V_{ug} ارزش سرمایه‌ای سالیانه ناشی از فروش فلز استخراجی به روش زیرزمینی (واحد پول)

f_a فاکتور تسویه

NV_{op} ارزش سرمایه‌ای خالص سالیانه ناشی از فروش فلز استخراجی به روش روباز (واحد پول)

NV_{ug} ارزش سرمایه‌ای خالص سالیانه ناشی از فروش فلز استخراجی به روش زیرزمینی (واحد پول)

مرحله هفتم: ترازی که در برگیرنده بیشترین مجموع ارزش سرمایه‌ای خالص دو بخش روباز و زیرزمینی است به عنوان مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی انتخاب می‌شود.

در این محاسبات فرض بر این است که تمامی روباره در شروع اولین سال استخراج روباز برداشته شود. همچنین عیار کانسنگ در کلیه مقاطع یکسان در نظر گرفته شده و تاثیر تغییرات عیار پس از محاسبات مربوطه باید در نظر گرفته شود.

ب- روش کاموس[1]

در این روش از مدل بلوکی دوبعدی با ارزش عیاری استفاده می‌شود که در آن مرز تغییر روش استخراج با استفاده از رابطه "سود روباز هر بلوک منهای سود زیرزمینی همان بلوک" تعیین می‌شود. تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی با استفاده از روش کاموس شامل مراحل زیر است:

مرحله اول: ارزش بلوکی روباز و زیرزمینی هر بلوک با استفاده از رابطه‌های ۲-۳۲ و ۲-۳۳ محاسبه شده و به جای مقادیر عیاری مربوطه در مدل بلوکی روباز و زیرزمینی قرار داده شود.

$$B_{op} = (S - t - c).\overline{g}.r.T - m_1.T \qquad (۳۲-۲)$$

$$B_{ug} = (S - t - c).\overline{g}.r.T - m_2.T \qquad (۳۳-۲)$$

که در این روابط،

B_{op} درآمد هر بلوک در روش روباز (واحد پول)

S قیمت (واحد پول به ازای هر تن فلز)

t هزینه‌های تغلیظ (واحد پول به ازای هر تن فلز)

c سایر هزینه‌ها (واحد پول به ازای هر تن فلز)

$\overline{g}$ عیار میانگین (درصد فلز)

r بازیابی متالورژیکی (درصد)

1- Camus

omoorepeyman.ir

m_1 هزینه‌های استخراج روباز (واحد پول به ازای هر تن فلز)

T تناژ هر بلوک

B_{ug} درآمد هر بلوک با روش زیرزمینی (واحد پول)

m_2 هزینه‌های استخراج به روش زیرزمینی (واحد پول به ازای هر تن فلز)

مرحله دوم: ارزش ترکیبی روباز و زیرزمینی هر بلوک کوچک در مدل بلوکی ترکیبی از رابطه ۲-۳۴ تعیین شود.

$$B = B_{op} - B_{ug} \qquad (۳۴-۲)$$

که در آن،

B تفاوت درآمد روش استخراج روباز و زیرزمینی

مرحله سوم: با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، محدوده نهایی بهینه روباز بر روی مدل بلوکی با ارزش ترکیبی روباز و زیرزمینی حاصل از مرحله دوم تعیین شود. عمق نهایی بهینه استخراج روباز این مرحله به عنوان مرز تغییر روش در نظر گرفته می‌شود.

مرحله چهارم: بلوک‌های با ارزش زیرزمینی مثبت که در زیر محدوده استخراج روباز قرار دارند بر روی مدل بلوکی با ارزش ترکیبی روباز و زیرزمینی حاصل از مرحله دوم مشخص شود.

روش کاموس برای تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی در مدل‌های تعداد بلوک کم به کار می‌رود و در مدل‌های تعداد بلوک زیاد دارای محاسبات زمان‌بر خواهد بود.

پ- روش تالپ[1]

در این روش مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی با بررسی تفاوت بین سود حاصل از فروش یک بلوک استخراجی با روش‌های روباز و زیرزمینی تعیین می‌شود. برای به کارگیری این روش مراحل زیر باید به ترتیب انجام شود:

مرحله اول: مدل بلوکی با دو ارزش روباز و زیرزمینی تهیه شود. ارزش بلوکی روباز با تفریق درآمد حاصل از فروش فلز بازیابی شده منهای هزینه فرآوری و استخراج مربوط به روش روباز (رابطه ۲-۳۲) و ارزش بلوکی زیرزمینی با تفریق درآمد از هزینه فرآوری و استخراج در زیرزمینی (رابطه ۲-۳۳) تعیین شود.

مرحله دوم: همانند روش کاموس و با استفاده از رابطه ۲-۳۴ یک مدل بلوکی ترکیبی تهیه شود که ارزش بلوک‌های آن از تفاوت بین ارزش بلوکی روباز و زیرزمینی حاصل از مرحله اول به دست می‌آید.

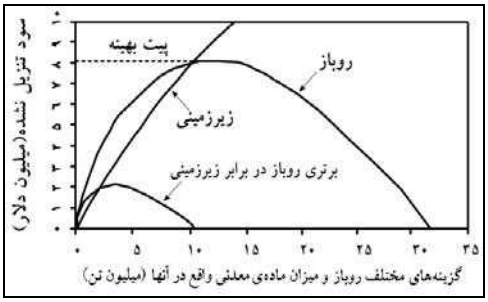
مرحله سوم: همان گونه که در شکل ۲-۸ به طور نمونه مشخص است گزینه‌های ترکیبی مختلفی از روباز و زیرزمینی با توجه به ترازهای مختلف و پوش‌بک‌های روباز بر روی مدل بلوکی حاصل از مرحله دوم در نظر گرفته شود. در این حالت بررسی اصلی بر روی منحنی "برتری روباز در برابر زیرزمینی" است.

مرحله چهارم: از میان گزینه‌ها، گزینه‌ای انتخاب شود که بالاترین نقطه منحنی "برتری روباز در برابر زیرزمینی" را نشان می‌دهد. در این حالت عمق نهایی روباز همان مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی است. به عنوان مثال مطابق با شکل ۲-۸ مناسب‌ترین حالت استخراج ترکیبی و مرز تغییر روش مربوط به گزینه‌ای از معدن روباز است که در برگیرنده حدود ۴ میلیون تن ماده معدنی است.

1- Tulp

omoorepeyman.ir

مرحله پنجم: موقعیت حریم حایل بین روباز و زیرزمینی به گونه‌ای در نظر گرفته شود که کمترین مقدار ماده معدنی یا ماده معدنی کم عیار در آن جای گیرد.



شکل ۲-۸- مقایسه گزینه‌های استخراج روباز و زیرزمینی نسبت به سود تنزیل نشده در یک مطالعه موردی با استفاده از روش تالپ

ت- روش ویزر و دینگ[1]

در این روش، برنامه‌ای نرم‌افزاری به منظور تعیین مرز تغییر روش از روباز به زیرزمینی ارایه شده است که در آن اساس کار بر استفاده از برنامه‌ریزی تولید روباز و زیرزمینی است که از نرم‌افزارهای ویژه طراحی معدن به مدل فراخوانده می‌شوند. در این راه حل نیز همچون روش بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی برای تعیین مرز تغییر روش از مقایسه اقتصادی گزینه‌های ترکیبی مختلف استفاده می‌شود. الگوریتم این روش به صورت شماتیک در شکل ۲-۹ ارایه شده است. برای تعیین مرز تغییر روش به ترتیب مراحل زیر عمل شود:

مرحله اول: مدل‌های بلوکی اقتصادی روباز و زیرزمینی تهیه شود.

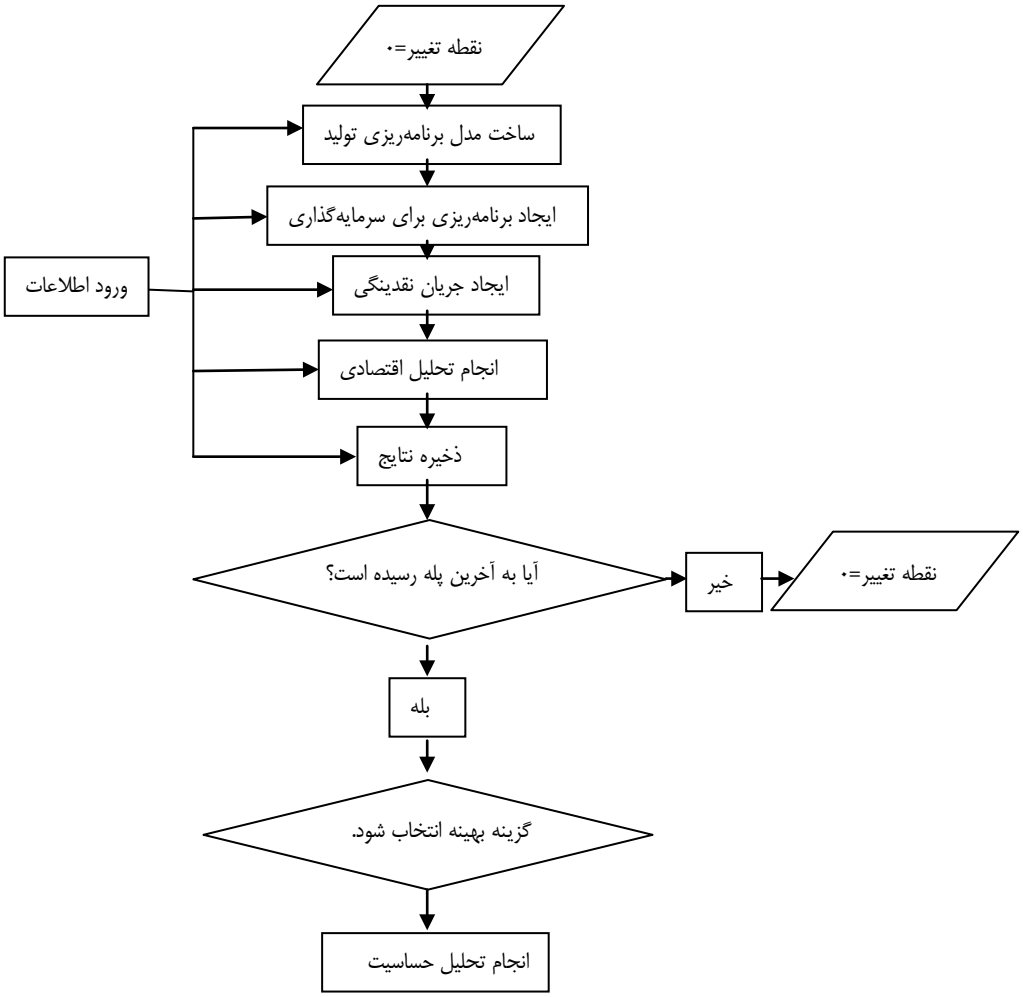
مرحله دوم: مدل‌های برنامه‌ریزی تولید روباز و زیرزمینی بر روی مدل‌های بلوکی و با استفاده از نرم‌افزارهای ویژه به ازای هر تراز یا پله تهیه شود.

مرحله سوم: ضخامت ثابتی به عنوان حریم حایل برای هر گزینه به ازای هر تراز در نظر گرفته شود.

مرحله چهارم: عمق نهایی روباز گزینه‌ای که منجر به ارزش خالص فعلی ترکیبی روباز و زیرزمینی بیشتری می‌شود به عنوان مرز تغییر روش در نظر گرفته شود.

omoorepeyman.ir

1- Visser and Ding



شکل ۲-۹- الگوریتم مربوط به روش ویزر و دینگ

ث- الگوریتم توسعه‌یافته مدل بلوکی روباز و زیرزمینی

اساس این روش استفاده از مدل‌های بلوکی اقتصادی روباز و زیرزمینی با ابعاد بلوک‌های ۵۰×۵۰ متری است که در آن مرز تغییر روش با تاکید بر بیشینه‌سازی سود حاصل از استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی تعیین می‌شود. الگوریتم ویژه این مدل به گونه‌ای طراحی شده است که برای تعیین مرز تغییر روش از روباز به زیرزمینی، ردیف چهارم تا ردیف m ارزیابی می‌شود. بدان معنا که m آخرین ردیف با پتانسیل استخراج به روش روباز یا همان عمق نهایی بهینه استخراج روباز در حالت بدون توجه به گزینه زیرزمینی است. به طور کلی در این مدل، فرضیات و محدودیت‌های زیر در نظر گرفته می‌شود:

- حداقل سه ردیف اولیه از مدل بلوکی یعنی تا عمق ۱۵۰ متری با روش روباز استخراج می‌شوند.
- هر ردیف حداکثر یک بار و تنها با یک روش قابل استخراج خواهد بود. در مورد روش زیرزمینی نیز تنها از یک روش زیرزمینی که مشخص است استفاده می‌شود.
- ترتیب استخراج بلوک‌ها در روش روباز با تاکید بر بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی در نظر گرفته می‌شود.
- بدون در نظر گرفتن استخراج هم‌زمان روباز و زیرزمینی ابتدا استخراج به روش روباز و پس از آن با در نظر گرفتن حریم حایل، استخراج به روش زیرزمینی ادامه می‌یابد.

omoorepeyman.ir

– حداکثر یک حریم حایل یکنواخت با توجه به روش استخراج زیرزمینی و ملاحظات ژئوتکنیکی بین دو روش در نظر گرفته می‌شود.

– عمق نهایی استخراج زیرزمینی باید مشخص باشد.

– تمامی ردیف‌های قابل استخراج به روش روباز باید پیوسته در نظر گرفته شود و این حالت در مورد روش زیرزمینی نیز صادق است.

همان گونه که در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است در این روش برای تعیین مرز تغییر روش به ترتیب مراحل زیر عمل شود:

مرحله اول: مدل بلوکی اقتصادی با ارزش‌های روباز و زیرزمینی بر اساس بلوک‌های ۵۰×۵۰ متر تهیه شود.

مرحله دوم: محدوده بهینه نهایی روباز و زیرزمینی با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مربوطه با توجه به ترتیب استخراج بلوک‌ها به ترتیب بر روی مدل‌های بلوکی روباز و زیرزمینی تعیین شود.

مرحله سوم: با توجه به محدوده‌های بهینه روباز و زیرزمینی حاصل از مرحله دوم، بلوک‌های قابل استخراج مرتبط با هر ردیف برای هر دو روش روباز و زیرزمینی مشخص شود.

مرحله چهارم: سه ردیف اول مدل بلوکی برای استخراج به روش روباز انتخاب شود و مقایسه اصلی بین روباز و زیرزمینی از ردیف چهارم تا آخرین ردیف قابل استخراج به روش روباز در حالت بدون توجه به گزینه زیرزمینی یعنی ردیف m انجام گیرد. بدین منظور از الگوریتم شکل ۲-۱۰ استفاده شود.

مرحله پنجم: پس از مشخص شدن روش استخراج مناسب برای ردیف‌ها و در نتیجه بلوک‌های اصلی ۵۰×۵۰ متر طی مرحله چهارم، به منظور بالا بردن دقت مدل و تعیین مرز تغییر روش، بلوک‌های اصلی قابل استخراج واقع در آخرین ردیف انتخاب شده برای استخراج روباز در حالت ترکیبی به بلوک‌های فرعی ۱۲٫۵×۱۲٫۵ متر تقسیم شود.

مرحله ششم: سه مرحله اول مدل برای ردیف‌های فرعی و بلوک‌های ۱۲٫۵×۱۲٫۵ متر تکرار شود.

در اجرای این روش، معمولا ارزش اقتصادی بلوک‌های قابل استخراج با روش روباز در ردیف i یعنی BEV_{opi} در طبقات (ردیف‌های) بالایی بیشتر از حالت زیرزمینی (BEV_{ui}) است. در این روش برای مقایسه سود حاصل از استخراج روباز و زیرزمینی هر ردیف از بلوک‌ها و سود کلی استخراج ترکیبی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$BEV_{(op\&u)i} = Max(BEV_{opi}, BEV_{ui}) \qquad (۳۵-۲)$$

$$BEV_{(op\&u)t} = \sum_{i=1}^{n} Max(BEV_{opi}, BEV_{ui}) = \sum_{i=1}^{n} BEV_{(op\&u)i} \qquad (۳۶-۲)$$

در این رابطه‌ها:

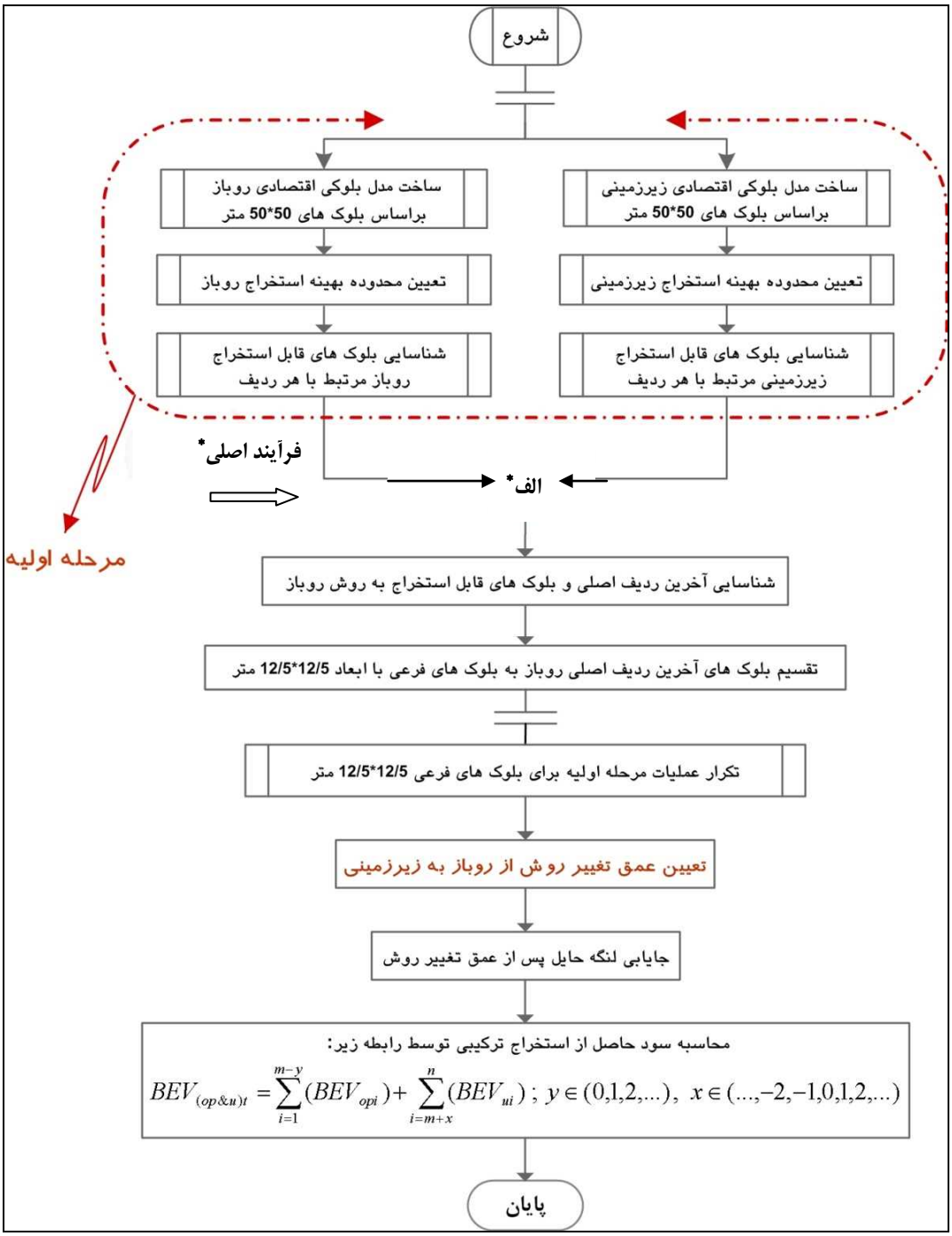
BEV_{opi}، ارزش اقتصادی بلوک‌های قابل استخراج با روباز در ردیف i

BEV_{ui}، ارزش اقتصادی بلوک‌های قابل استخراج با زیرزمینی در ردیف i

$BEV_{(op\&u)i}$، سود ناشی از استخراج ردیف i برای حالت ترکیبی

$BEV_{(op\&u)t}$، مجموع کل سود ناشی از استخراج ترکیبی

omoorepeyman.ir



*: این مرحله در شکل ۲-۱۱ به تفصیل ارایه شده است.

شکل ۲-۱۰- الگوریتم توسعه یافته مدل بلوکی روباز و زیرزمینی

مرحله هفتم: با استفاده از الگوریتم ویژه شکل ۲-۱۱ مرحله چهارم برای ردیف‌های فرعی تکرار شود. با این تفاوت که در مورد ردیف‌های فرعی تنها نخستین ردیف فرعی برای استخراج به روش روباز در نظر گرفته می‌شود و تصمیم‌گیری بین سه ردیف باقیمانده یعنی از (m-y, 2) تا (m-y, 4) انجام گیرد.

مرحله هشتم: عمق نهایی بخش روباز به عنوان مرز تغییر روش انتخاب شود.

مرحله نهم: یک یا چند ردیف اصلی (از m-y تا $m+x$ که x برابر است با ... ,۲ ,۱ ,۰) و فرعی بسته به نیاز به عنوان حریم حایل

omoorepeyman.ir

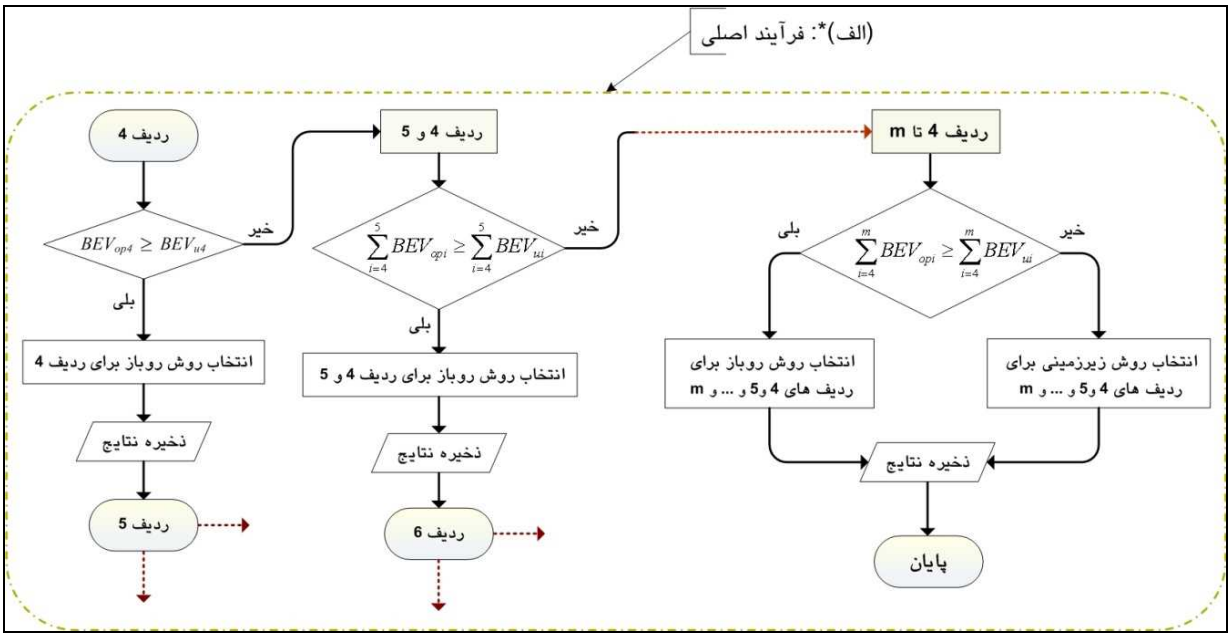
بعد از مرز تغییر روش استخراج در نظر گرفته شود.

مرحله دهم: ردیف‌های واقع در زیر حریم حایل برای استخراج به روش زیرزمینی در صورت داشتن صرفه اقتصادی انتخاب شود.

رابطه ۲-۳۷ که در آن:

$$BEV_{(op\&u)t} = \sum_{i=1}^{m-y}(BEV_{opi}) + \sum_{i=m+x}^{n}(BEV_{ui}); y \in (0,1,2,\ldots,m), \quad (۳۷-۲)$$

$$y \in (-m,\ldots,-2,-1,0,1,2,\ldots,m)$$



شکل ۲-۱۱- الگوریتم توسعه یافته مدل بلوکی با تاکید بر ردیف چهارم

در این رابطه:

$BEV_{(op\&u)t}$، کل ارزش یا سود حاصل از استخراج بلوک‌های مرتبط با ردیف ۱ تا n با روش روباز و زیرزمینی

BEV_{opi}، کل ارزش یا سود حاصل از استخراج بلوک‌های اصلی و فرعی مرتبط با ردیف ۱ تا m-y با روش روباز

BEV_{ui}، کل ارزش یا سود حاصل از استخراج بلوک‌های اصلی و فرعی مرتبط با ردیف $m+x$ تا n با روش زیرزمینی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۳

دستورالعمل تعیین مرز

تغییر روش استخراج

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۳-۱- آشنایی

بر اساس روش‌های ارایه شده برای تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز بـه زیرزمینـی و همچنـین بـا در نظـر گـرفتن مزایـا و معایب هر کدام از روش‌ها دستورالعمل تغییر روش استخراج با توجه به شرایط معادن ایران در این فصل ارایه شده است. نکات زیـر در این مورد باید مد نظر قرار گیرند:

الف- اساس روش‌های بررسی شده برای تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی، استفاده از مدل‌های بلوکی دوبعدی به جای سه‌بعدی است که در عمل نتایج آن قابل قبول است.

ب- تاکید بر نقاط قوت و ماهیت صحیح روش‌های ارایه شده در این زمینه و استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی محدوده استخراج روباز و زیرزمینی و همچنین نرم‌افزارهای متداول در معادن است.

پ- در حالت ایده‌آل مرز تغییر روش با مقایسه گزینه‌های مختلفی از ترکیب روباز و زیرزمینی با انتخاب گزینه‌ای تعیین می‌شود که در برگیرنده بیشترین مجموع سود حاصل از دو بخش روباز و زیرزمینی باشد، که عمق نهایی روباز در آن گزینه همان مرز تغییر روش استخراج است.

ت- بر اساس برخی از روش‌ها، مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی با مقایسه تفاوت بین ارزش خالص یا سود حاصل از فروش بلوک‌های استخراجی با روش‌های روباز و زیرزمینی تعیین می‌شود.

ث- تا جایی که ارزش یک بلوک به روش روباز بیشتر از حالت زیرزمینی آن باشد، استخراج به روش روباز ادامه می‌یابد و در زمانی که اختلاف بین دو ارزش صفر شود، تغییر روش روباز به زیرزمینی باید مورد بررسی قرار گیرد.

ج- در برخی دیگر از روش‌ها برای تعیین مرز تغییر روش، مقایسه اقتصادی بین گزینه‌های مختلفی از ترکیب استخراج روباز و زیرزمینی مطابق با پله‌های روباز انجام می‌شود.

۳-۲- مراحل تعیین مرز تغییر روش استخراج

تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی با استفاده از روش‌های تجربی و ابتکاری است، مراحل تعیین مرز تغییر روش مطابق با شرایط معادن ایران به‌شرح زیر است:

۳-۲-۱- مرحله اول

مدل بلوکی زمین‌شناسی بر اساس داده‌های اکتشافی و با استفاده از نرم‌افزارهای متداول در این زمینه تهیه شود.

بدین منظور نخست ابعاد بلوک‌ها متناسب با شرایط هر دو روش استخراج روباز و زیرزمینی به گونه‌ای تعیین شود که قابل کاربرد در هر دو روش استخراج باشد. در این مرحله موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

الف- ابعاد شبکه اکتشافی مربوط به کانسار مورد بررسی باید مد نظر قرار گیرد.

ب- ارتفاع بلوک‌ها مساوی ارتفاع پله متداول در روباز در نظر گرفته شود.

omoorepeyman.ir

پ- در صورت استفاده از یکی از روش‌های تخریب کلی، استخراج از طبقات فرعی و یا پسروی قیفی، باید در زیر هر ستون از بلوک‌ها یک قیف تخلیه با قطری مناسب ایجاد شود. به طور معمول در این موارد عرض بلوک را می‌توان مطابق با قطر قیف، ابعاد شبکه اکتشافی و یا عرض پله روباز در نظر گرفت.

ت- هر چه ابعاد بلوک‌ها کوچکتر باشد دقت و صحت کار افزایش می‌یابد. افزایش تعداد بلوک‌ها منجر به بالا رفتن میزان و زمان محاسبات می‌شود.

۳-۲-۲- مرحله دوم

مدل‌های بلوکی اقتصادی روباز و زیرزمینی بر اساس داده‌های اقتصادی با استفاده از نرم‌افزارهای متداول در این زمینه تهیه شود. برای تعیین ارزش اقتصادی بلوک‌ها و تهیه مدل‌های بلوکی به نکات زیر توجه شود:

الف- به منظور تعیین ارزش اقتصادی بلوک‌ها باید سود حاصل از فروش کنسانتره تولیدی به دست آمده از هر بلوک محاسبه شود. نخست درآمد و هزینه‌های مربوط به هر بلوک به طور جداگانه تعیین و سپس با کسر هزینه‌ها از درآمد برای هر بلوک، سود یا ارزش خالص هر بلوک محاسبه می‌شود.

ب- ارزش اقتصادی هر بلوک در استخراج زیرزمینی علاوه بر سنگ‌های تشکیل دهنده آن، متوسط عیار، وزن بلوک و موقعیت هندسی آن به روش استخراج بلوک نیز بستگی دارد و هزینه نسبی استخراج زیرزمینی بسته به نوع روش زیرزمینی تغییر می‌کند.

پ- در روش روباز، هزینه باطله‌برداری هر بلوک از حاصل‌ضرب هزینه برداشت هر تن باطله در تناژ باطله موجود در بلوک محاسبه می‌شود.

ت- در روش‌های زیرزمینی کارگاهی، عملیات باطله‌برداری همانند روش روباز به طور مجزا و به صورت گسترده نیست، بلکه تنها بلوک‌های باطله‌ای که در محدوده کارگاه و در بین بلوک‌های ماده معدنی قرار دارند، برداشت می‌شوند. اغلب برداشت این باطله‌ها نیز طی عملیات استخراج و در قالب استخراج ماده معدنی انجام می‌گیرد.

ث- در روش تخریب کلی به ناچار تمامی بلوک‌های باطله‌ای که در محدوده کارگاه استخراج قرار دارند همراه با بلوک‌های ماده‌معدنی برداشت می‌شوند. درنتیجه، هزینه‌ای که برای استخراج بلوک‌های ماده معدنی صرف می‌شود برای برداشت بلوک‌های باطله نیز همین هزینه در نظر گرفته می‌شود.

ج- برای تعیین ارزش خالص بلوک‌های ماده معدنی و باطله در روش روباز و زیرزمینی از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود:

$$B_{op} = I_{op} - C_{BO1} = \left\{ T_o \times R_{op} \times r \times \frac{(S - C_p)}{g_c} \right\} \times g - (T_o \times C_{op}) \qquad (۱-۳)$$

$$B_{ug} = I_{ug} - C_{BO2} = \left\{ T_o \times R_{ug} \times r \times \frac{(S - C_p)}{g_c} \right\} \times g - (T_o \times C_{ug}) \qquad (۲-۳)$$

$$B_{wop} = I_{op} - C_{BW1} = -(T_W \times C_W) \qquad (۳-۳)$$

$$B_{wug} = I_{ug} - C_{BW2} = -(T_W \times C_{ug}) \qquad (۴-۳)$$

که در آن‌ها،

omoorepeyman.ir

I_{op} درآمد مربوط به فروش ماده معدنی حاصل از هر بلوک به روش روباز

I_{ug} درآمد مربوط به فروش ماده معدنی حاصل از هر بلوک به روش زیرزمینی

T تناژ ماده معدنی موجود در هر بلوک (حاصل‌ضرب حجم بلوک در وزن مخصوص آن)

R_{op} درصد بازیابی در روش روباز

R_{ug} درصد بازیابی در روش زیرزمینی

r درصد بازیابی ماده معدنی طی فرآیند تغلیظ

g متوسط عیار ماده معدنی در هر بلوک

g_c متوسط عیار ماده معدنی در کنسانتره

S قیمت فروش هر تن کنسانتره

C_{BO1} هزینه‌های استخراج و تغلیظ هر بلوک در روش روباز

C_{BO2} هزینه‌های استخراج و تغلیظ هر بلوک در روش زیرزمینی

C_p هزینه تغلیظ هر تن کنسانتره

C_{op} هزینه استخراج یک تن کانسنگ به روش روباز

C_{ug} هزینه استخراج یک تن کانسنگ به روش زیرزمینی

C_{BW1} هزینه برداشت هر بلوک باطله در روش روباز

C_{BW2} هزینه برداشت هر بلوک باطله در روش زیرزمینی

C_w هزینه برداشت یک تن باطله در روش روباز

T_w تناژ باطله موجود در هر بلوک

چ- داده‌های ورودی به هر یک از این نرم‌افزارها شامل هزینه‌های استخراج و هزینه‌های فرآوری به ازای یک تن سنگ معدن، قیمت فروش، رقت، درصد بازیابی و افت تولید است.

۳-۲-۳- مرحله سوم

محدوده‌های بهینه مختلف روباز یا پوش‌بک‌ها بر اساس مدل بلوکی اقتصادی روباز و مطابق با ترازهای پله‌ای مختلف با استفاده از نرم‌افزارهای مورد نظر تعیین شود.

۳-۲-٤- مرحله چهارم

ضخامت مناسب حریم حایل بین روش‌های روباز و روش زیرزمینی برای هر کدام از محدوده‌های بهینه روباز حاصل از مرحله سوم با استفاده از روش‌هایی همچون تحلیل‌های عددی تعیین شود. برای تعیین ضخامت حریم حایل بین روباز و زیرزمینی به موارد زیر توجه شود:

الف- توجه به نتایج مطالعات ژئومکانیکی

omoorepeyman.ir

ب- حریم حایل بین روش‌های روباز و زیرزمینی اغلب با هدف جلوگیری از جریان و نفوذ آب از کف معدن روباز به درون کارگاه استخراج زیرزمینی، به حداقل رساندن شکست‌ها و تخریب در کف و دیواره‌های معدن روباز و همچنین اثرات متقابل استخراج روباز و زیرزمینی، باید در نظر گرفته شود.

پ- ضخامت مناسب حریم حایل بین استخراج روباز و زیرزمینی را می‌توان با تحلیل اندرکنش استخراج روباز و تخریب بلوکی با روش‌های عددی تعیین کرد.

ت- علاوه بر تحلیل‌های عددی، یک روش شبه‌تجربی با بهره‌گیری از منطق ترکیبی تحلیل ابعادی و تحلیل رگرسیون به منظور تعیین ضخامت حریم حایل بین استخراج روباز و تخریب بلوکی ارایه شده است. در این روش ضخامت حریم حایل با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$t = \frac{13.22 * C^{0.03} * S^{0.41} * h^{0.56}}{\gamma_r{}^{0.03} * RMR^{0.66}} \qquad (۵-۳)$$

که در آن،

t ضخامت پایدار حریم حایل (بر حسب متر)

S پهنا یا دهنه کارگاه استخراج زیرزمینی (بر حسب متر)

h ارتفاع کارگاه استخراج (بر حسب متر)

RMR امتیاز توده سنگ در رده‌بندی ژئومکانیکی

C مقاومت چسبندگی (بر حسب مگاپاسکال)

γ_r وزن مخصوص توده سنگ واقع در حریم حایل (بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب)

ث- پس از تعیین ضخامت حریم حایل باید آن را به صورت مضربی از ارتفاع پله یا بلوک‌های روباز در نظر گرفت.

۳-۲-۵- مرحله پنجم

مطابق با پوش‌بک‌های مختلف حاصل از مرحله سوم و پس از در نظر گرفتن چند ردیف پله یا چند طبقه به عنوان حریم حایل در زیر هر کدام از آن‌ها، محدوده‌های بهینه استخراج زیرزمینی در بخش زیرین محدوده‌های روباز و حریم حایل با استفاده از نرم‌افزارهای ویژه بر روی مدل بلوکی اقتصادی زیرزمینی تعیین شود.

۳-۲-۶- مرحله ششم

گزینه‌های مختلف ترکیبی از محدوده‌های بهینه روباز را مطابق با هر پله، حریم حایل و محدوده‌های بهینه استخراج زیرزمینی حاصل از مرحله پنجم مطابق با پله‌های مختلف و در زیر بخش روباز و حریم حایل با هم مقایسه شود.

omoorepeyman.ir

۳-۲-۷- مرحله هفتم

گزینه‌ای انتخاب شود که در برگیرنده بیشترین سود حاصل از استخراج ترکیبی است و از لحاظ عملی قابل اجرا باشد. این گزینه، گزینه‌ای بهینه از استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی است و عمق نهایی استخراج روباز در آن گزینه به عنوان مرز بهینه تغییر روش در نظر گرفته می‌شود.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد عنوان ضابطه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی، نشریه و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست ضوابط منتشر شده در پایگاه اطلاع‌رسانی**nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

امور نظام فنی و اجرایی

Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization

Instruction of Boundary Selection from Surface to Underground Mining

No. 625

Office of Deputy for Strategic Supervision
Department of Technical and Executive Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Industry, Mine and Trade
Deputy of Mine Affairs and Mineral Industries
Office for Mining Supervision and Exploitation
http://mimt.gov.ir

2015

omoorepeyman.ir

این نشریه

شـامل معیارهـا و مقـررات فنـی تعیـین مـرز تغییـر روش استخراج از روباز به زیرزمینی است. روش‌های استخراج مناسب برای تغییر روش از روباز بـه زیرزمینـی از دیگـر مسـایل مـورد بحث در این نشریه است.

omoorepeyman.ir