نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

دوره دوم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶، صفحه ۲۵ تا ۳۸
Vol. 2, No. 4, Winter 2018, pp. 25-38

امکان‌سنجی انتقال باطله‌های معدن روباز انگوران از طریق حفریات موجود زیرزمینی

عباس تدین منصوری[۱]، رضا شکور شهابی[۲*]، فرهاد صمیمی نمین[۳]، محمد حسین خانی خرشکی[۴]، بهمن کارگر[۵]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
۲- استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
۳- استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان
۴- کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه
۵- مدیر بخش زیرزمینی مجتمع سرب و روی انگوران، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران

(دریافت ۱۳۹۶/۱۰/۲۹، پذیرش ۱۳۹۷/۰۲/۲۹)

چکیده

افزایش سالیانه عمق کاواک معدن روباز انگوران به همراه محدودیت‌های فنی، توپوگرافی و ژئومکانیکی گسترش کاواک، موجب کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه ترابری می‌شود. با توجه به وجود حفریات زیرزمینی در بخش گوگردی ذخیره معدنی، در این تحقیق تلاش شد تا راهکارهای فنی قابل اجرا برای کاهش هزینه‌های ترابری باطله معدن روباز با استفاده از فضاهای موجود زیرزمینی معدن شناسایی و تحلیل شود. بدین منظور ابتدا شبکه حفریات زیرزمینی موجود معدن با کمک نرم‌افزار مایکروماین مدلسازی شد، سپس تعیین محدوده نهایی معدن روباز برای مشخص‌شدن عمق نهایی و محدوده گسترش کاواک روباز انجام گرفت و با بررسی انطباق این مدل با شبکه زیرزمینی، طرح کلی حفریات زیرزمینی واسطه‌ای قابل اجرا برای تعیین مسیرهای مختلف خروج مواد استخراج شده کاواک نهایی در قالب هفت سناریوی مختلف انجام شد. در ادامه، احجام کاری حفریات واسطه‌ای برای هر سناریو تعیین گردید و با مقایسه سناریوها بر اساس مدت زمان اجرا، تناژ باطله‌برداری مورد نیاز و هزینه عملیاتی احداث حفریات، سناریوی ششم به عنوان سناریوی برتر انتقال مواد باطله بخش روباز معدن پیشنهاد شد. بر مبنای این سناریو، تخلیه باطله روباز از طریق سه تراز مختلف بسته به تراز کاری عملیات انجام می‌گیرد. بازکننده اصلی کانه‌ریز مایلی است که از انتهای تونل بالایی انشعاب می‌یابد تا باطله‌های استخراجی حمل‌شده از طریق سازه یاد شده تخلیه و به تونل باربری اصلی منتقل شوند. میانبری از این کانه‌ریز منشعب می‌شود و در تراز ۲۸۰۴ به کاواک نهایی می‌رسد و با احداث رمپ زیگزاگی منشعب از رمپ اصلی موجود بخش زیرزمینی معدن، اتصال به کاواک نهایی در تراز ۲۷۶۸ متری، فراهم می‌شود. پیاده‌سازی این سناریو همچنین موجب تامین مصالح مورد نیاز برای عملیات پرکردن بخش زیرزمینی می‌شود.

کلمات کلیدی

فضاهای زیرزمینی، بهبود ترابری معدن، انتقال زیرزمینی باطله، معدن سرب و روی انگوران.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: shahabi@eng.ikiu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

کاهش هزینه‌ها، از مهمترین اهداف طراحی و بهینه‌سازی در هر فعالیت تولیدی از جمله استخراج معادن است که باعث افزایش ارزش خالص فعلی طرح‌های بهره‌برداری می‌شود. هزینه حمل و نقل معادن سطحی با توجه به وضعیت قرارگیری ذخیره و موقعیت توپوگرافی سطح، بسیار متغیر است. معمولا هزینه ترابری بیش از ۴۵ درصد هزینه‌های عملیاتی در طول عمر یک معدن و حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌ای را شامل می‌شود[۱]؛ بنابراین بررسی راهکارهای فنی کاهش هزینه‌های ترابری و پیاده‌سازی آن‌ها، موجب افزایش کارایی و بهبود شرایط اقتصادی معدن خواهد شد.

معدن انگوران یکی از بزرگترین معادن سرب و روی خاورمیانه و در حدود ۱۲۰ کیلومتری شهر زنجان واقع شده است. ذخیره این معدن شامل دو بخش کربناته و گوگردی و به صورت گلابی شکل با گسترش عمقی بخش گوگردی است. بخش عمده ذخیره‌ی کربناته استخراج شده است و تناژ باقی‌مانده قابل بهره‌برداری اقتصادی اعم از ذخیره کربناته و گوگردی، در مجموع حدود ۱۲ میلیون تن است [۲]. استخراج سالیانه معدن در حال حاضر اعم از باطله و ماده معدنی حدود ۷۰۰٫۰۰۰ تن است. در سیستم ترابری فعلی روباز معدن، حمل مواد معدنی استخراج شده به انباشتگاه‌های پرعیار، متوسط‌عیار، کم‌عیار و باطله‌ها به تخلیه‌گاه‌های اطراف کاواک بوسیله کامیون‌ها از مسیر رمپ معدن روباز اجرا می‌شود. با توجه به عدم امکان گسترش جانبی کاواک به دلیل محدودیت‌های توپوگرافی به ویژه شیست‌های ریزشی در سمت غربی آن، پیشروی عمقی ترازها موجب محدود شدن فضاهای کاری ماشین‌آلات می‌شود. از طرفی شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران در سال‌های قبل، برای استخراج زون پرعیار گوگردی اقدام به حفر فضاهای زیرزمینی به منظور اجرای روش استخراج کندن و آکندن کرده است، بنابراین پیاده‌سازی طرح‌های فنی مناسب برای بهره‌گیری از فضاهای زیرزمینی حفر شده به‌منظور بهبود بهره‌وری عملیات ترابری معدن روباز باعث کاهش هزینه تمام شده حمل می‌شود. همچنین موجبات استفاده از فضاهای بلااستفاده زیرزمینی موجود معدن و حتی به کارگیری مواد حمل شده برای پرکردن فضاهای فعلی را در صورت فعال شدن بخش زیرزمینی فراهم می‌کند. به تازگی بهره‌برداری بخش زیرزمینی به پیمانکار جدیدی واگذار شده که مراحل آماده‌سازی آن در حال انجام است.

در این تحقیق، داده‌های رقومی مشخصات سازه‌های زیرزمینی اخذ و شبکه زیرزمینی موجود معدن با کمک نرم‌افزار اتوکد مدلسازی شد. پس از تشکیل مدل بلوکی عیاری و اقتصادی روباز و تعیین محدوده نهایی روباز و تطبیق آن با مدل شبکه زیرزمینی یاد شده، مشخص شد که این دو مدل با یکدیگر اتصال ندارند. بدین ترتیب با طراحی و پیاده‌سازی نرم‌افزاری حفریات زیرزمینی واسطه‌ای قابل اجرا، دو مدل یاد شده به یکدیگر متصل شدند. در ادامه، مسیرهای مختلف خروج مواد استخراج شده کاواک نهایی از طریق فضاهای زیرزمینی در قالب سناریوهای فنی مختلف شناسایی و تحلیل شد. در انتها با مقایسه فنی سناریوهای مختلف، سناریوی ارجح به عنوان جایگزین سیستم متداول ترابری روی رمپ کاواک نهایی روباز پیشنهاد شد.

۲- مبانی تحقیق و مطالعات قبلی

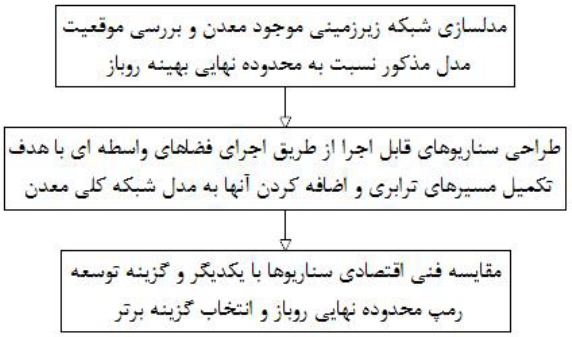
مسیرهای باربری به خارج از کاواک با بزرگتر و عمیق‌تر شدن معادن روباز به شکل رشدیابنده‌ای طولانی‌تر می‌شوند. عملیات مختلف معدنی تحت چنین شرایط تردیدآمیزی این واقعیت را تحقق می‌بخشند که باربری متداول با کامیون به عنوان مقرون‌به‌صرفه‌ترین انتخاب برای انتقال مواد به خارج از کاواک مدت زیادی دوام نمی‌آورد[۳]. برای کاهش هزینه‌ها سیستم‌های جدیدی به منظور انتقال ماده معدنی و باطله از پایین کاواک یا یک تراز میانی به ایستگاه لبه کاواک توسعه داده شده است [۴]. پس از تحویل سنگ‌های خردشده با سنگ‌شکن درون کاواک (IPCC[۱]) به نوارنقاله، امکان آن وجود دارد که مواد به‌وسیله نوارنقاله، از کاواک به جای تونل‌های اصلی خارج شوند. همچنین برای هدایت مواد به بیرون از کاواک به منظور عملیات کانه‌آرایی، نوارهای پرشیب (HAC[۲]) طراحی شده‌اند که گیره‌ها یا پله‌هایی وصل شده به رویه دارند و این امکان را فراهم می‌کنند که مواد تا زوایای نزدیک به قائم منتقل شوند و یا سیستم‌های دیگری نیز وجود دارند که قادرند مواد را از طریق قراردادن بین دو نوار حمل نمایند [۵]. فناوری دیگر، سیستم انتقال خودکار کامیون معدنی از داخل کاواک (TULIP[۳]) است که کامیون‌های معدنی از طریق ریل‌های خاص، به‌طور مستقیم روی شیب دیواره کاواک جابجا می‌شوند [۶]. از آنجایی‌که در معدن انگوران، شیب دیواره کاواک در جهت غربی (محدوده ریزشی) ۲۲ درجه است، می‌توان با کمترین مقدار باطله‌برداری، برای عبور نوارنقاله در این قسمت

www.SID.ir
Archive of SID

از دیواره کاواک برش ایجاد کرد. نمونه‌ای از ایجاد این برش، در دیواره کم‌شیب کاواک در معدن مس چوکیکاماتا[4]ی شیلی اجرا شده است. در این معدن مس بوسیله یک ماده بسیار سخت پوشیده شده است. پیش از نصب نوار این ماده باطله با یک عملیات بسیار پرهزینه در طول رمپ دایره‌ای ترابری می‌شد. در دهه‌های اخیر سیستم ترابری پیوسته سنگ‌شکنی داخل کاواک، هزینه‌های ترابری را به شدت کاهش داده است. معدن روباز ایسلند واقع در بندر هاردی کانادا[5] روزانه ۴۳۰۰۰ تن کانسنگ مس را با نسبت باطله‌برداری ۱:۲ تولید می‌کند که کل سیستم کامیونی خود را به سنگ‌شکنی داخل کاواک و نوار نقاله تبدیل کرده است. این سیستم جدید که در سال ۱۹۸۵ نصب شد، یک ایستگاه سنگ‌شکنی متحرک و نوار خارج از کاواک دارد که ماده معدنی را از طریق یک تونل مایل به تاسیسات سطحی منتقل می‌کند. باطله‌ها به وسیله کامیون‌ها حمل می‌شوند. معدن روباز بینگهام کانیون در یوتای ایالات متحده در جریان مکانیزه شدن برای دستیابی به تولید ۷۰۰٫۰۰۰ تن کانسنگ در روز با استفاده از سنگ‌شکن داخل کاواک و حمل با نوار نقاله است. این معدن از یک سنگ‌شکن نیمه متحرک ژیراتوری ۱٫۵ در ۲٫۷ متر و شش نوارنقاله با طول مجموعی در حدود ۸٫۵ کیلومتر استفاده می‌کند. طولانی‌ترین نوار که ۶ کیلومتر طول دارد از داخل یک تونل که در دیواره پیت تا سطح حفر شده است رد می‌شود [۷]. با توجه به استخراج زیرزمینی در معدن انگوران، در این معدن پتانسیل استفاده از فضاهای زیرزمینی برای حمل مواد آماده حمل بخش روباز وجود دارد. هدف از این تحقیق بررسی و امکان‌سنجی حمل مواد معدنی یا باطله بخش روباز از بخش زیرزمینی این معدن است که تاکنون انجام نشده است.

۳- داده‌ها و روش تحقیق

روش تحقیق حاضر به سه مرحله تقسیم می‌شود: در مرحله اول شبکه زیرزمینی موجود معدن مدلسازی و موقعیت مدل شبکه زیرزمینی نسبت به محدوده بهینه نهایی روباز بررسی می‌شود. در مرحله دوم حفریات واسطه‌ای قابل اجرا برای اتصال بخش نهایی روباز به شبکه زیرزمینی موجود، طراحی و به مدل ساخته شده در مرحله اول اضافه می‌شود. در این مرحله راه‌های مختلف انتقال مواد کاواک نهایی از مسیرهای زیرزمینی در قالب سناریوهای قابل اجرا مشخص می‌شوند. در مرحله سوم، مقایسه‌های فنی- اقتصادی سناریوها با یکدیگر و با شیوه متداول فعلی انتقال مواد کاواک نهایی از طریق رمپ معدن روباز از بعد هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌ای انجام می‌گیرد. در انتهای این مرحله، سناریوی برتر به عنوان جایگزین سیستم متداول ترابری در معدن مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود. در شکل ۱، خلاصه روش انجام پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۱: مراحل انجام تحقیق

شبکه زیرزمینی موجود معدن به کمک نرم‌افزار اتوکد مدلسازی شد. بدین‌منظور داده‌های ورودی مورد نیاز نرم‌افزارهای طراحی شامل مشخصات نقاط توپوگرافی و نقشه فضاهای زیرمینی موجود معدن جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفت. موقعیت فضاهای زیرزمینی نسبت به محدوده نهایی روباز، در محیط نرم‌افزار دیتاماین بررسی گردید. با توجه به قابلیت‌های گرافیکی بالای نرم‌افزار سورپک، برای نمایش بهتر اشکال، از خروجی نرم‌افزار یاد شده استفاده شده است.

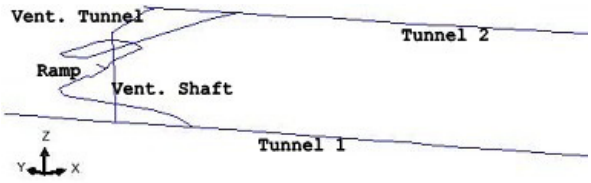
۳-۱- مدلسازی فضاهای زیرزمینی و سطحی

۳-۱-۱- مدلسازی شبکه زیرزمینی موجود معدن

برای مدلسازی شبکه حفریات زیرزمینی معدن، ابتدا داده‌های رقومی ایستگاه‌های نقشه‌برداری فضاهای زیرزمینی اخذ و به‌منظور یکسان‌سازی با مختصات توپوگرافی و کاواک معدن، از مختصات جهانی به محلی تبدیل و سپس مجموعه فضاها در نرم‌افزار اتوکد پیاده‌سازی شد. حفریات زیرزمینی موجود معدن شامل تونل شماره ۱ در تراز ۲۷۰۳ و تونل شماره ۲ در تراز ۲۷۷۶ متر است. تونل شماره ۱ با هدف باربری و تونل شماره ۲ با کاربری خروج هوای کثیف و انتقال مصالح مورد نیاز روش کندن و آکندن برای استخراج بخش زیرزمینی احداث شده است. همچنین یک تونل انشعابی با عنوان تونل تهویه و یک چاه احداث شده در انتهای آن برای اتصال به تونل شماره ۱

Archive of SID
www.SID.ir

ایجاد شده است. در شکل ۲ مجموعه فضاهای زیرزمینی موجود معدن قابل مشاهده است. طول‌ها و سطح‌های مقطع حفریات فعلی معدن در جدول ۱ آمده است.



شکل ۲: نمای سه بعدی فضاهای زیرزمینی کنونی معدن (محاسبات تحقیق)

جدول ۱: طول و سطح مقطع فضاهای زیرزمینی موجود معدن [۲]

رمپ	دویل تهویه	تونل تهویه (۲۷۸۲)	تونل حمل بتن (۲۷۷۶)	تونل باربری اصلی (۲۷۰۳)	واحد	پارامترهای حفریات
۸۰۴/۴	۹۳/۵	۱۳۷/۳	۱۱۶۷/۶	۱۱۶۵/۰	متر	طول
۱۰/۸	۲/۵	۷/۹	۸/۳	۸/۳	متر مربع	سطح مقطع

۳-۱-۲- مدلسازی و تعیین محدوده نهایی معدن

فرض اصلی تحقیق بر این مبنا استوار است که در صورت انتقال باطله‌های کاواک نهایی روباز از مسیرهای پیش‌بینی شده زیرزمینی و حمل مواد معدنی با کامیون‌ها به روال معمول از طریق رمپ‌های روباز، بهره‌وری سیستم ترابری افزایش می‌یابد. بدین منظور ابتدا تعیین محدوده نهایی معدن روباز و برآورد تناژ مورد نیاز برای انتقال انجام شد. محدوده نهایی معدن روباز نشان‌دهنده ابعاد و شکل معدن در پایان عمر آن است. این محدوده، محل انباشت باطله[۶]، موقعیت تاسیسات سطحی، میزان ذخیره قابل استخراج و مواد باطله را مشخص می‌کند [۸]. بدین‌منظور داده‌های ۸۲ گمانه اکتشافی و سطح توپوگرافی معدن مربوط به آخر فروردین ۹۵ با آخرین تراز فعال ۲۸۵۰ دریافت شد و پس از مدلسازی ذخیره و تشکیل مدل بلوکی عیاری در نرم‌افزار دیتاماین نسخه ۲۱.۳، با هدف بیشینه‌سازی ارزش فعلی کل سود حاصل از معدنکاری در بخش روباز، محدوده بهینه نهایی با رعایت ملاحظات خاص فنی و ژئومکانیکی در نرم‌افزار ان‌پی‌وی اسکجولر[۷] نسخه ۳، مدلسازی شد. بر این اساس، تراز ۲۷۴۲ به عنوان آخرین حد گسترش محدوده نهایی کاواک معدن روباز به دست آمد. بدیهی است در صورتی که به همراه سود بخش روباز، سود بخش زیرزمینی هم درنظر گرفته می‌شد، حد روباز- زیرزمینی بالاتر از این تراز قرار می‌گرفت. همچنین بر اساس نتایج مدلسازی و برنامه‌ریزی تولید معدن سطحی، با توجه به انتقال باطله‌های کاواک نهایی از مسیرهای پیش‌بینی شده زیرزمینی، مقادیر باطله‌هایی که باید به خارج از کاواک بهینه نهایی حمل شوند، به تفکیک پوش‌بک‌های مختلف، در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲: گزارش خروجی نرم‌افزار NPV مربوط به ذخایر پوش بک‌ها (محاسبات تحقیق)

نسبت باطله‌برداری	کل باطله (تن)	کل کانسنگ (تن)	عمر برآورد شده (سال)	پوش‌بک
۰/۰۲	۱۳۵۴۵	۶۷۸۵۱۰	۰/۳۴	۱
۰/۵۱	۳۹۴۷۴۷	۷۷۲۵۳۷	۰/۵۷	۲
۰/۵۲	۴۲۴۲۵۲	۸۰۵۴۰۲	۰/۶۰	۳
۰/۶۱	۶۲۴۸۵۵	۱۰۱۵۵۰۷	۰/۸۱	۴
۱/۸۵	۳۹۸۵۹۵۷	۲۱۴۴۴۱۵	۳/۰۱	۵
۲/۸۹	۷۷۳۵۶۶۵	۲۶۷۲۴۰۷	۵/۱۱	۶

۳-۱-۳- انطباق شبکه زیرزمینی با مدل محدوده نهایی معدن سطحی

برای بررسی امکان خروج مواد کاواک نهایی به ویژه باطله‌ها از مسیرهای زیرزمینی، محدوده نهایی روباز و شبکه زیرزمینی موجود معدن از طریق حفریات واسطه‌ای باید به یکدیگر متصل شوند. پس از مدلسازی حفریات فعلی زیرزمینی و انطباق این مدل با محدوده نهایی روباز، مشخص شد که دو مدل یکدیگر را قطع نمی‌کنند. فاصله بین کاواک نهایی و فضاهای زیرزمینی، در شکل ۳ نشان داده شده است. از طرفی طراحی کلی حفریات واسطه‌ای برای اتصال دو مدل به یکدیگر، در راستای هدف تحقیق لازم است.

۳-۲- طراحی و پیشنهاد سناریوهای انتقال مواد

۳-۲-۱- کلیات سناریوها، بازکننده‌ها و حفریات واسطه‌ای

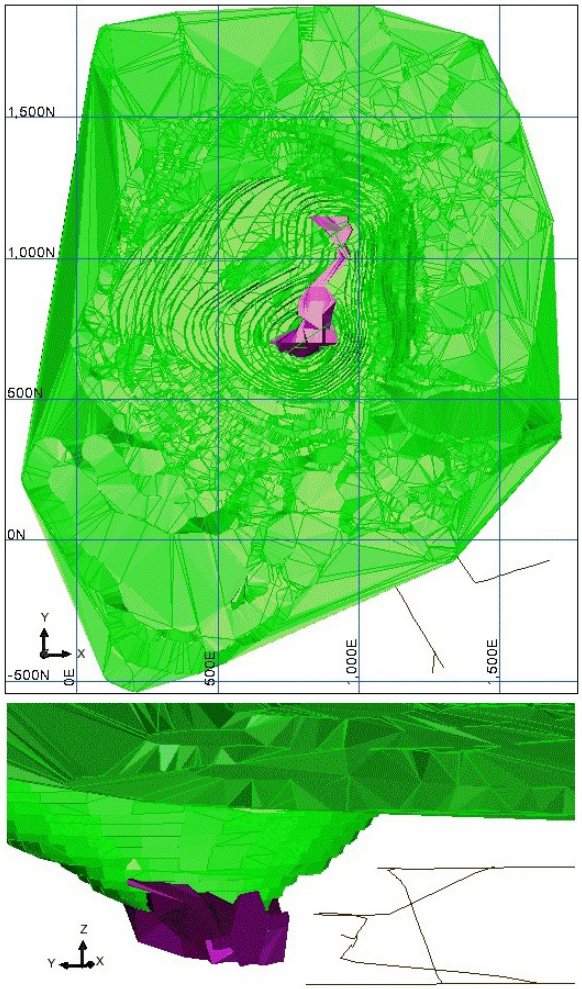
پس از مدلسازی فضاها و شبکه موجود، بازکننده‌ها و

www.SID.ir

فضاهای زیرزمینی واسطه‌ای با رعایت ملاحظات فنی طراحی و مدلسازی شد. با فرض تشکیل ۲ طبقه استخراجی در محدوده ترازهای ۲۷۷۰ تا ۲۸۴۰، بر اساس جدول ۳ طبقات یاد شده ۳۶ متری (فاصله طبقات معمول در معادن، در گستره ۳۰ تا ۱۰۰ متر است و بندرت از این محدوده تجاوز می‌کند [۹]) می‌شوند. بدین ترتیب با در نظرگرفتن حدود ۲ متر فاصله از کف پله‌های ۱۲ متری به عنوان تراز محور پرتال فضاهایی که قرار است احداث شود، بازکننده‌ها و حفریات واسطه‌ای در آزیموت‌های مختلف روی پله‌های ۲۲، ۲۵ و ۲۸ به ترتیب در سه تراز ۲۸۴۰، ۲۸۰۴ و ۲۷۶۸ به عنوان ترازهای اصلی با کاواک نهایی تلاقی می‌کنند. انتقال از طریق حفریات پیشنهادی فقط از این ترازها انجام می‌شود.

با بررسی انواع بازکننده‌ها، حفریات ارتباط‌دهنده باید از بین بازکننده‌های معادن زیرزمینی یعنی تونل بازکننده (ادیت[۸])، چاه قائم[۹] یا مایل و رمپ انتخاب شوند اما سناریوهای آتی بر مبنای حفر چاه و یا رمپ[۱۰] است. با بررسی فاصله و اختلاف ارتفاعی تونل شماره ۲ تا کاواک نهایی، امکان توسعه آن و یا حفر تونل جدید با توجه به مفروضات مساله از گزینه‌های انتقال حذف می‌شود. با توجه به ماهیت مساله و بسته به شرایط فنی، گزینه دویل[۱۱] برای اتصال قائم بین طبقات و نیز انتقال ثقلی با استفاده از کانه‌ریز[۱۲] یا شوت از قسمت روباز به زیرزمینی قابل بررسی است. کانه‌ریزها را می‌توان مجراهای زیرزمینی با شیب قائم تا ۵۵ درجه، سطوح مقطع حداکثر ۵/۶ متر مربع و طول ۱۸ تا بیش از ۱۸۰ متر برای انتقال ثقلی ماده معدنی و سنگ باطله خرد شده از یک طبقه معدن به طبقه‌ای پایین‌تر [۱۰] تعریف کرد. در کانه‌ریزها تاسیسات خاصی همچون (بالابر، وزنه‌های تعادل، قفس‌های باربری، اسکیپ [۱۱] در نظر گرفته نمی‌شود. بازکننده دیگر معادن زیرزمینی با توجه به شرایط معدن، احداث رمپ در دو نوع حلزونی[۱۳] و زیگزاگی[۱۴] است [۱۲] و با طراحی آن، امکان تعریف سناریوهای مجزا فراهم می‌شود.

در طراحی تفصیلی بازکننده‌ها و حفریات معادن زیرزمینی، طرح و برنامه‌ریزی کلی بهره‌برداری، روش استخراج، سازمان کاری، توان تولیدی معدن، سطح تکنولوژی موجود، اطلاعات دقیق و کامل از مسیرهای حفریات زیرزمینی، نوع و ابعاد ماشین‌آلات و تجهیزات، شبکه‌های برق‌رسانی و تهویه و آب‌رسانی، آتش‌نشانی، ژئوتکنیک، مواد و مصالح مورد نیاز نگهداری، ظرفیت باربری، وضعیت ذخایر و آب‌های زیرزمینی، عبور و مرور نفرات و فضاهای خدماتی در قالب گزارش‌های مختلف باید مد نظر قرار گیرد [۱۳].



شکل ۳: نمای افقی و سه بعدی بخش نهایی روباز و شبکه زیرزمینی فعلی معدن (محاسبات تحقیق)

جدول۳: ارتفاع پله‌های کاواک نهایی روباز واقع در محدوده تلاقی با بازکننده‌ها و حفریات واسطه‌ای (محاسبات تحقیق)

پله	ارتفاع	پله	ارتفاع
۲۱	۲۸۵۰	۲۶	۲۷۹۰
۲۲	۲۸۳۸	۲۷	۲۷۷۸
۲۳	۲۸۲۶	۲۸	۲۷۶۶
۲۴	۲۸۱۴	۲۹	۲۷۵۴
۲۵	۲۸۰۲	۳۰	۲۷۴۲

Archive of SID

www.SID.ir

حفریات زیرزمینی فعلی شامل دو تونل اصلی بالایی و پایینی برای دسترسی به ذخیره معدنی گوگردی و نیز یک تونل تهویه است که این تونل تهویه به کمک یک چاه تهویه، دو تونل اصلی را به‌هم مرتبط می‌کند؛ یعنی در مجموع ۳ تونل وجود دارد که حداقل ۳ کانه‌ریز برای بهره‌گیری از نیروی انتقال ثقلی هم از آن‌ها می‌تواند انشعاب پیدا کند. حفر و اتصال کانه‌ریز از تونل تهویه تا کاواک نهایی، به نسبت شروع کانه‌ریز از انتهای دو تونل ۱ و ۲، فاصله بیشتری دارد. بنابراین یک سناریو با کانه‌ریز مایل از تونل تهویه تا سطح روباز و دو سناریو با کانه‌ریز قائم از انتهای تونل‌های اصلی ۱ و ۲ تا سطح روباز برای تخلیه ثقلی مواد قابل تعریف است. رمپ اصلی معدن، از نوع حلزونی پادساعتگرد است که در صورت ادامه دادن آن در همان جهت، امکان رسیدن به ترازهای بالاتر و ارایه یک سناریوی مجزا فراهم می‌شود. در مورد رمپ زیگزاگی، نقطه شروع آن باید با فاصله کافی از کاواک نهایی و از حفریه دارای بالاترین تراز یعنی تونل شماره ۲ آغاز شود. همچنین امکان ارایه دو سناریوی مجزای دیگر نیز وجود دارد. این دو سناریو از ترکیب حفریات ۵ سناریوی معرفی شده تشکیل شده‌اند و حفریات جدیدی در آن‌ها طرح‌ریزی نشده است. سناریوی ۶ از مجموعه فضاهای سناریوهای ۱ در تراز ۲۸۴۰، ۱ در تراز ۲۸۰۴ و ۵ در تراز ۲۷۶۸ و سناریوی ۷ از مجموعه حفریات سناریوهای ۳ در تراز ۲۸۴۰، ۱ در تراز ۲۸۰۴ و ۵ در تراز ۲۷۶۸ ایجاد شده است. به عنوان فضای واسطه‌ای، از میانبر[15] نیز استفاده می‌شود؛ بنابراین در مجموع هفت سناریوی متمایز، قابلیت فنی اجرا دارند. با توجه به توضیحات ارایه شده، در جدول ۴، انواع فضاهای طراحی شده در هفت سناریوی قابل اجرا به همراه دلایل انتخاب حفریات، ارایه شده است. با توجه به جدول ۴، در سناریوهای ۱ تا ۳ کانه‌ریزها نقش مسیر اصلی ترابری را به عنوان بازکننده‌های بین کاواک نهایی و فضاهای زیرزمینی موجود دارند. میانبرهایی برای دسترسی به ترازهای ۲۸۰۴ و ۲۷۶۸ تعریف می‌شوند. در سناریوهای ۴ و ۵ با توجه به توپوگرافی و هندسه[16] کاواک، امکان به کارگیری میانبر وجود

جدول ۴: بازکننده ها و حفریات واسطه‌ای در سناریوهای قابل اجرا (محاسبات تحقیق)

سناریوها	نوع بازکننده پیشنهادی	حفریات واسطه‌ای پیشنهادی	علت انتخاب حفریات
سناریوی۱	کانه‌ریز قائم و رمپ	میانبر ۱ و ۲	برای انتقال مواد حمل شده به تونل باربری اصلی، کانه‌ریز قائمی که رمپ اصلی معدن را به انتهای تونل بالا متصل می‌نماید در نظر گرفته شده است.
سناریوی۲	رمپ اسپیرال و کانه‌ریز قائم	میانبر ۱ و ۲	دلیل انتخاب رمپ، کاهش طول کانه‌ریز بازکننده با درنظر گرفتن آغاز حفر این کانه-ریز از انتهای رمپ فرعی به جای انتخاب نقطه شروع از انتهای تونل شماره ۱ است.
سناریوی۳	کانه‌ریز مایل	میانبر ۱ و ۲	نقطه شروع حفاری کانه‌ریز مایل، از تونل تهویه اصلی معدن با هدف انتقال ثقلی مواد حمل شده به چاه تهویه و از آنجا به تونل باربری اصلی و آغاز میانبر دوم از چاه تهویه اصلی معدن به شرط تعریض و آماده‌سازی این چاه در آینده، انتخاب شده است.
سناریوی۴	رمپ اسپیرال پاد ساعتگرد	دو رمپ ساعتگرد	با توجه به فاصله کم رمپ بازکننده تا کاواک، تنها با انشعاب دو رمپ واسطه‌ای (نه میانبر)، دسترسی به ترازهای مورد نظر در کاواک نهایی امکان‌پذیر می‌شود.
سناریوی۵	رمپ زیگزاگ ۱ و ۲	رمپ زیگزاگ ۳	برای فراهم کردن شرایط مقایسه‌ای سناریوها، در این سناریو نقطه شروع رمپ ۳ (تراز ۲۷۶۸)، بر نقطه آغازین رمپ ساعتگرد ۲ در سناریوی چهارم منطبق است.
سناریوی۶	رمپ و کانه‌ریز قائم	میانبر و رمپ زیگزاگی	با توجه به اضافه شدن رمپ زیگزاگی برای بیرون‌کشی مواد از تراز سوم مفروض، ادامه کانه‌ریز قائم از نقطه اتصال به رمپ اصلی معدن (تراز ۲۷۳۷ متری) تا تراز انتهای تونل شماره ۲ (۲۷۸۳ متری)، حذف شده است.
سناریوی۷	کانه‌ریز مایل، رمپ و کانه‌ریز قائم	میانبر و رمپ زیگزاگی	با توجه به اضافه شدن کانه‌ریز مایل از تونل تهویه معدن برای دستیابی به تراز اول مفروض، بخشی از کانه‌ریز قائم بین ترازهای ۲۸۰۱ تا ۲۸۴۰ حذف شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

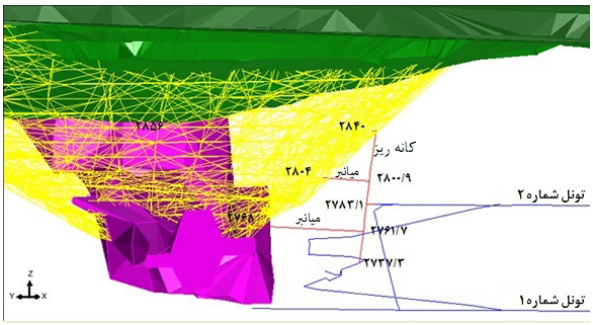
ندارد و تنها رمپ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سناریوهای ۶ و ۷ نیز مجموعه فضاهای سناریوهای ۱ و ۳ و ۵ به کار گرفته می‌شود.

۳-۲-۲- تشریح سناریوهای انتقال زیرزمینی مواد کاواک معدن روباز

بازکننده‌ها و حفریات واسطه‌ای در سناریوهای پیشنهادی، در محدوده جغرافیایی جنوب تا جنوب‌غربی با کاواک نهایی تلاقی دارند و محدودیتی از نظر پایداری فضاها در این نواحی وجود ندارد. طرح آن‌ها با رعایت ملاحظات فنی و مفروضات تحقیق، به کمک نرم‌افزار اتوکد انجام شد. در این شکل‌ها، خطوط قرمز رنگ، حفریات پیشنهادی‌اند که به فضاهای زیرزمینی موجود معدن (خطوط آبی رنگ) اضافه شده‌اند. همچنین باطله‌های کاواک نهایی هم با رنگ زرد مشخص شده‌اند.

- سناریوی ۱: حفر کانه‌ریز قائم از انتهای تونل شماره ۲

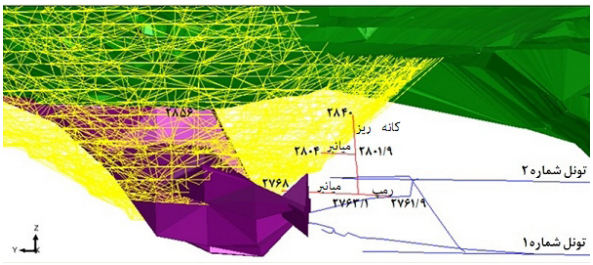
در سناریوی اول، بازکننده اصلی کانه‌ریز قائمی است که از تونل شماره ۲ حفر می‌شود و برای آماده‌سازی طبقه استخراجی اول نیز یک میانبر که از این کانه‌ریز انشعاب پیدا می‌کند، در تراز ۲۸۰۴ به کاواک بهینه می‌رسد. مطابق شکل ۴ برای رسیدن به تراز سوم مفروض، میانبر دوم باید از ترازی پایین‌تر از تراز تونل شماره ۲ آغاز شود و بالتبع حفاری کانه‌ریز هم تا آن تراز ادامه می‌یابد. برای تکمیل مسیرهای این سناریو، حفاری کانه‌ریز قائم ادامه می‌یابد تا به رمپ اصلی معدن متصل می‌گردد و در نتیجه انتقال مواد وارد شده به میانبر تراز ۲۷۶۸، با تخلیه ثقلی به کانه‌ریز یاد شده امکان‌پذیر می‌گردد.



شکل ۴: نمای سه بعدی سناریوی ۱ (محاسبات تحقیق)

- سناریوی ۲: حفر کانه‌ریز قائم از ۵۵ متر بالاتر از انتهای تونل شماره ۱

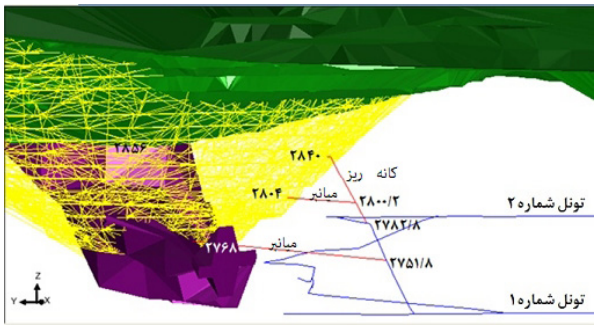
در سناریوی دوم مطابق شکل ۵، کانه‌ریز قائمی که از انتهای تونل شماره ۱ به طرف کاواک بهینه خارج می‌شود نقش بازکننده اصلی را دارد و با انشعاب دو میانبر از آن، طبقات مورد نظر احداث می‌شوند. در صورت برنامه‌ریزی برای استخراج مواد معدنی عمیق‌تر از تراز کف کاواک نهایی در آینده، گسترش حفریه یاد شده این امکان را از طریق انتقال ثقلی مواد استخراج شده به تونل باربری اصلی فراهم می‌کند؛ در حال حاضر به دلیل زیاد نشدن طول کانه‌ریز، از نقطه آغازین میانبر دوم (تراز ۲۷۶۳)، رمپ واسطه‌ای در نظر گرفته شده است که ابتدای کانه‌ریز قائم را به رمپ اصلی متصل می‌کند. بدین ترتیب مسیر انتقال مواد در این سناریو نیز تکمیل می‌شود.



شکل ۵: نمای سه بعدی سناریوی ۲ (محاسبات تحقیق)

- سناریوی ۳: حفر کانه‌ریز مایل در امتداد دویل تهویه معدن

در این سناریو مطابق شکل ۶ بازکننده اصلی کانه‌ریز مایلی است که از دویل تهویه معدن انشعاب می‌یابد تا مواد حمل شده بتوانند با روش ثقلی، به دویل یاد شده تخلیه و در ادامه به تونل باربری اصلی منتقل شوند. از این کانه‌ریز مایل تنها یک میانبر برای دسترسی به تراز مفروض ۲۸۰۴ خارج می‌شود. میانبر دوم از چاه تهویه منشعب می‌شود. برنامه‌ریزی برای تعریض دویل تهویه برای بالا بردن راندمان عملیات ترابری، ضروری است.



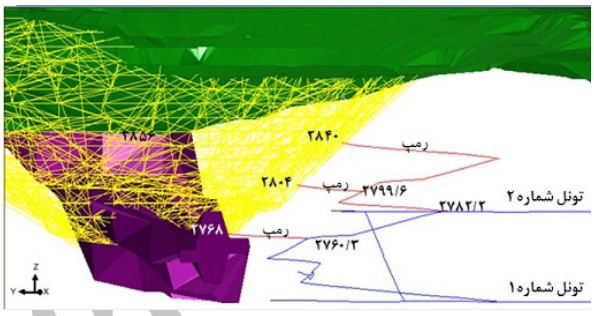
شکل ۶: نمای سه بعدی سناریوی ۳ (محاسبات تحقیق)

Archive of SID

www.SID.ir

- سناریوی ۴: ادامه رمپ اصلی معدن از محل تقاطع آن با تونل شماره ۲

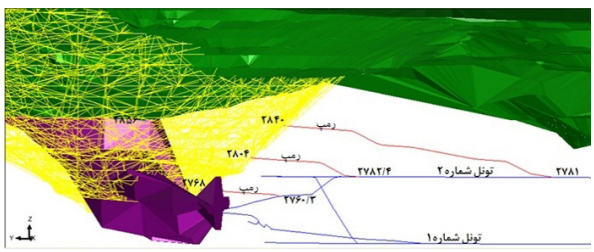
در سناریوی چهارم بازکننده اصلی، طبق شکل ۷ توسعه رمپ حلزونی اصلی موجود در بخش زیرزمینی معدن است که از نقطه تقاطع آن با تونل بالا در جهت چرخش پادساعتگرد ادامه می‌یابد تا در تراز هدف ۲۸۴۰ با کاواک نهایی تلاقی می‌کند. با انشعاب دو رمپ ساعتگرد به جای دو میانبر، اولی از رمپ پادساعتگرد و دومی از رمپ اصلی، دسترسی به ترازهای مفروض ۲۸۰۴ و ۲۷۶۸ در کاواک نهایی امکان‌پذیر می‌شود.



شکل ۷: نمای سه بعدی سناریوی ۴ (محاسبات تحقیق)

- سناریوی ۵: حفر رمپ‌های چندگانه زیگزاکی

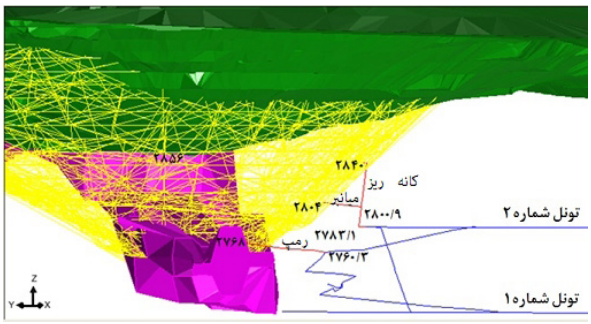
در این سناریو برای دسترسی به ترازهای ۲۸۴۰ و ۲۸۰۴، فضاها دو رمپ زیگزاگی‌اند که از تونل شماره ۲ منشعب می‌شوند (شکل ۸). حفاری رمپ دوم در این سناریو بر خلاف سناریوی چهارم، به صورت مستقل امکان‌پذیر است. رمپ زیگزاگی سوم از رمپ اصلی معدن و از همان نقطه آغازین رمپ حلزونی ۳ در سناریوی چهارم انشعاب می‌یابد و در تراز ۲۷۶۸ متری با فضای داخل کاواک نهایی مرتبط می‌شود.



شکل ۸: نمای سه بعدی سناریوی ۵ (محاسبات تحقیق)

- سناریوی ۶: حفر توام کانه‌ریز قائم و رمپ زیرزمینی

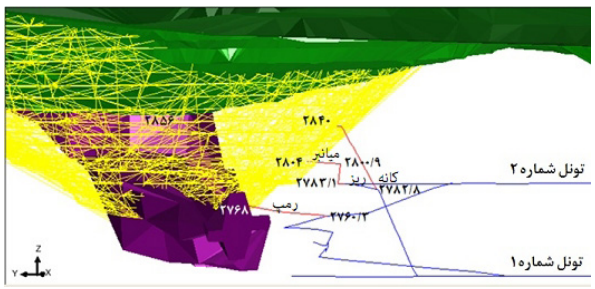
در این سناریو که به نوعی تلفیق بخش‌هایی از سناریوهای ۱ و ۵ است، با توجه به شکل ۹، بازکننده اصلی اول، کانه‌ریز قائمی است که از تونل شماره ۲ آغاز به حفر می‌شود و در تراز ۲۸۴۰ با احداث دهانه‌ای[17] برای آن در دیواره کاواک نهایی، به فضای آزاد داخل کاواک دسترسی حاصل می‌شود. برای آماده‌سازی طبقه استخراجی اول، میانبری از این کانه‌ریز منشعب می‌شود و در تراز ۲۸۰۴ به کاواک نهایی می‌رسد. بازکننده‌اصلی دوم، رمپ زیگزاگی است که از رمپ اصلی معدن منشعب شده و با اتصال به کاواک نهایی در تراز ۲۷۶۸ متری، طبقه استخراجی دوم قابل برداشت می‌شود.



شکل ۹: نمای سه بعدی سناریوی ۶ (محاسبات تحقیق)

- سناریوی ۷: حفاری در امتداد چاه تهویه و رمپ زیرزمینی

این سناریو با تعریف مجموعه حفریاتی از تلفیق بخش‌های سناریوهای ۳، ۱ و ۵ به دست آمده است. مطابق شکل ۱۰، بازکننده اصلی اول برای رسیدن به تراز ۲۸۴۰، کانه‌ریز مایلی است که از دویل تهویه معدن (نزدیک‌تر به دهانه[18] دویل تهویه) انشعاب می‌یابد. حفاری کانه‌ریز قائمی از انتهای تونل شماره۲ به طرف کاواک آغاز و در تراز تقریبی ۲۸۰۱ متوقف می‌شود و در ادامه، حفاری میانبری آغاز می‌شود تا با رسیدن آن به تراز ۲۸۰۴ در کاواک بهینه، آماده‌سازی طبقه اول استخراجی به اتمام برسد. طبقه استخراجی دوم مشابه سناریوی ۶ اجرا می‌شود.



شکل ۱۰: نمای سه بعدی سناریوی ۷ (محاسبات تحقیق)

Archive of SID

www.SID.ir

در سناریوی ۳ به کارگیری سیستم ترابری پیوسته (حمل به وسیله نوارنقاله و یا با کمک واگن‌ها روی ریل از طریق تونل شماره ۱) امکان‌پذیر است و در آن، رمپ به کار گرفته نمی‌شود، اما در سایر سناریوها امکان به کارگیری هر دو سیستم ترابری پیوسته و منقطع وجود دارد. در صورت اجرای ترابری پیوسته، کاهش ابعاد مواد ضروری و نیاز به سیستم سنگ‌شکنی درون معدن است [۱۴].

برای فراهم شدن امکان مقایسه سناریوها، لازم بود تا مدل‌سازی کاواک نهایی و رمپ‌ها برای مشخص شدن طول رمپ در گزینه روباز انجام شود. بنابراین با توجه به محدوده نهایی معدن، طراحی رمپ بر اساس شیب ۱۰ درصد انجام شد. در جدول ۵، طول رمپ مورد نیاز تا خروجی معدن به ازای هر یک از ترازهای پایه گسترش کاواک آورده شده است. همچنین در شکل ۱۱ نمای قائم رمپ‌های طراحی شده با شبکه زیرزمینی معدن به نمایش درآمده است.

جدول ۵: مقایسه طول رمپ روباز به ازای ترازهای پایه گسترش کاواک نهایی (محاسبات تحقیق)

ترازهای مفروض	تراز ۲۸۴۰	تراز ۲۸۰۴	تراز ۲۷۶۸
واحد	متر		
طول رمپ کاواک	۳۰۶۱	۳۵۱۷	۳۹۷۶

۳-۲-۳- تحلیل سناریوهای پیشنهادی

با توجه به پیشنهاد سناریوهای مختلف قابل اجرا در بخش قبل، ضرورت داشت تا سناریوها با یکدیگر و نیز با حالت تداوم شرایط فعلی ترابری روباز از دیدگاه فنی و اقتصادی مقایسه شوند. ابتدا مقایسه کلی ترابری روباز با انتقال زیرزمینی با ملاحظات خاص معدن انجام شد که در این رابطه موارد زیر قابل ذکر است:

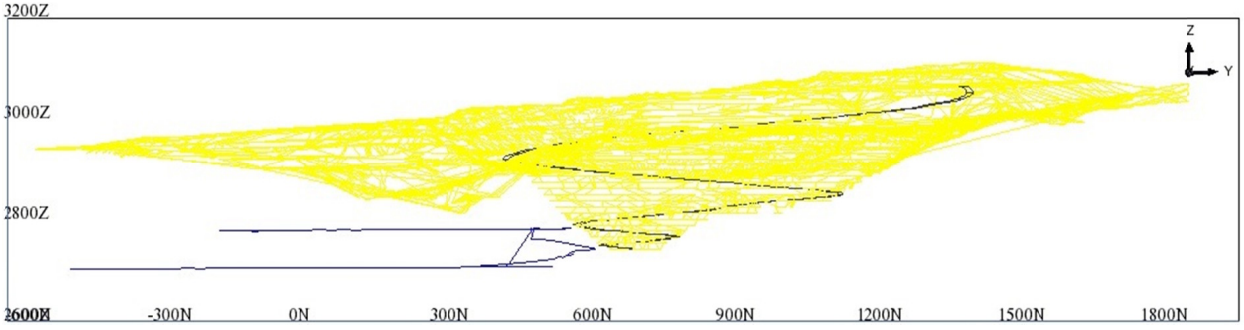
مهمترین مزیت انتقال روباز، عدم نیاز به احداث حفریات زیرزمینی شامل رمپ و شوت و نیز عدم نیاز به احداث سنگ‌شکن متحرک داخل کاواک و پذیرگاه زیرزمینی در انتهای شوت است.

کامیون‌ها از طریق رمپ روباز معدن با شیب سربالایی (۸ درصد تا ۱۲ درصد) [۱۵] مواد را به خارج از کاواک منتقل می‌کنند. انتقال زیرزمینی به فضای خارج از معدن صرفا از طریق نوارنقاله و یا حمل ریلی از طریق تونل اصلی ترابری ۱ یا احتمالا تونل ۲ در شیب روبه پایین ۰٫۳ درصد تا ۰٫۵ درصد انجام می‌گیرد.

-ترابری سطحی با تغییر شرایط آب و هوایی از قبیل بارندگی‌های زیاد، آب‌گرفتگی مسیرها، بادهای شدید و ایجاد گرد و غبار، مه‌گرفتگی و شرایط کامیون‌ها دچار مشکل می‌شود اما انتقال زیرزمینی، تاثیرپذیری جزیی از شرایط یاد شده دارد [۶۱].

-با توجه به طراحی روش استخراج کندن و آکندن در بخش زیرزمینی معدن انگوران و نیاز به پرکردن فضاهای استخراجی، لازم است تا بتن با عیار کم سیمان به عنوان پرکننده تامین شود، بنابراین بدون لحاظ کردن نوع سناریو، به جای انتقال مستقیم باطله استخراج شده به انباشتگاه‌های اطراف کاواک، می‌توان با اختلاط بخشی از آن با سیمان در تاسیسات بچینگ، برای پرکردن فضاهای خالی کارگاه‌های زیرزمینی استفاده کرد.

-حتی در صورت عدم به کارگیری مصالح در عملیات پرکردن فضاهای زیرزمینی، با توجه به اقتصادی‌تر بودن حمل نوارنقاله‌ای بر حمل کامیونی در مسافت باربری بالاتر از



شکل ۱۱: نمای قائم مسیر ترابری روباز و شبکه زیرزمینی (محاسبات تحقیق)

Archive of SID

www.SID.ir

۱ کیلومتر (۳۲۸۰ فوت) [۱۷]، مواد باطله می‌توانند ابتدا به پذیرگاه انتهای تونل ۱ منتقل و سپس از طریق نوارنقاله با طول حدود ۱۱۰۰ متر در تونل ۱ به تخلیه‌گاه‌های اطراف کاواک حمل شوند. ضمن اینکه به دلیل حمل از طریق نوارنقاله، نیازی به تعریض مقطع موجود تونل‌ها نیست.

-با افزایش عمق معدنکاری و افزایش طول رمپ، برای حفظ سطح تولید هدف‌گذاری شده، نیاز به تعداد بیشتری کامیون است. افزایش تعداد کامیون‌ها به همراه افزایش محدودیت فضای بارگیری آن‌ها، علاوه بر هزینه‌بر بودن، مشکلات بسیاری از جمله نحوه تخصیص نامناسب ناوگان، زمان‌بندی نامناسب و صف در پی خواهد داشت[۱۸].

-برای ارزیابی سناریوها، ابتدا احجام عملیاتی مورد نیاز برای اجرای هر سناریو مشخص می‌شود، بنابراین طول حفریات طراحی شده مدل به تفکیک رمپ، میانبر و کانه‌ریز یا شوت در مدل سه بعدی با استفاده از نرم‌افزار اتوکد تعیین شد که در جدول ۶ برای هر یک از هفت سناریوی پیشنهادی مشخص شده است.

جدول ۶: طول حفریات هرسناریو (محاسبات تحقیق)

طول هریک از انواع حفریات واسطه‌ای مورد نیاز(متر)			
	کانه‌ریز	میانبر	رمپ
سناریوی ۱	۱۰۳٫۳	۱۴۲٫۲	۵٫۸
سناریوی ۲	۷۷٫۳	۱۸۵٫۳	۶۳
سناریوی ۳	۶۳٫۱	۲۳۷٫۴	-
سناریوی ۴	-	-	۸۷۹٫۳
سناریوی ۵	-	-	۱۲۲۷٫۶
سناریوی ۶	۵۷٫۲	۴۱٫۸	۱۲۰٫۸
سناریوی ۷	۸۱	۴۱٫۸	۱۲۰٫۸

با توجه به میانگین استخراج و حمل سالیانه ۷۰۰٫۰۰۰ تن اعم از باطله و مواد معدنی، نسبت بالای باطله‌برداری عملیاتی معدن و در نظر گرفتن مدت زمان کاری سالیانه ۳۳۰ روز برای معدن روباز، سطح تولید مواد شامل خاک معدنی یا باطله، ۲٫۰۰۰ تن در روز تعیین شده است. متناسب با این سطح تولید، پارامترهای مورد نیاز برای تحلیل حفریات طراحی شده در جدول ۷ ارایه شده‌اند. مقادیر واقعی بسته به شرایط زمین و اعمال تعدادی از فاکتورهای دیگر، می‌توانند دارای تفاوت‌هایی با این ارقام باشند.

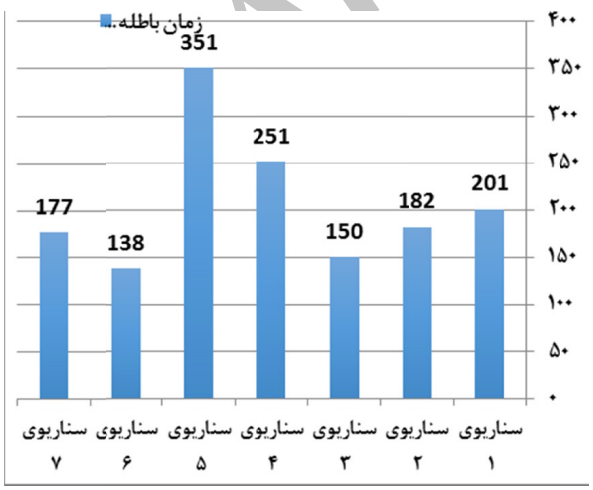
حال بر مبنای طول حفریات (جدول ۶) و مقادیر پارامترهای فنی و اقتصادی مندرج در جدول ۷، مقادیر تناژ کل برداشت باطله، مدت زمان اجرا و هزینه عملیاتی سناریوهای پیشنهادی در جدول ۸، شکل ۱۲، شکل ۱۳ و شکل ۱۴ با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۷: ابعاد و پارامترهای اقتصادی حفریات طراحی شده در امکان‌سنجی سناریوهای پیشنهادی [۱۹]

پارامترها	واحد	فضاهای طراحی شده		
		کانه‌ریز	میانبر	رمپ
سطح مقطع	متر مربع	۵٫۳	۱۳٫۹	۲۰
نرخ پیشروی	متر در روز	۰٫۶	۵٫۳	۳٫۵
هزینه عملیاتی	دلار بر متر پیشروی	۱۵۳۰	۱۰۷۰	۱۴۱۰

جدول ۸: پارامترهای فنی حفریات طراحی شده در امکان‌سنجی سناریوهای پیشنهادی (محاسبات تحقیق)

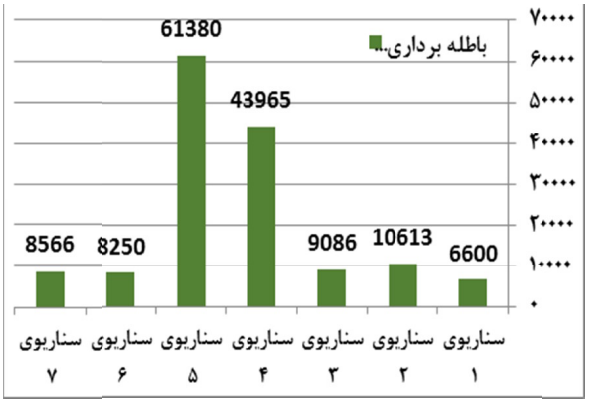
معیارهای	باطله‌برداری	مدت	هزینه عملیاتی
واحد سنجش	تن	روز کاری	دلار
سناریوی ۱	۶۶۰۰	۲۰۱	۳۱۸۳۸۱
سناریوی ۲	۱۰۶۱۳	۱۸۲	۴۰۵۳۷۰
سناریوی ۳	۹۰۸۶	۱۵۰	۳۵۰۵۶۱
سناریوی ۴	۴۳۹۶۵	۲۵۱	۱۲۳۹۸۱۳
سناریوی ۵	۶۱۳۸۰	۳۵۱	۱۷۳۰۹۱۶
سناریوی ۶	۸۲۵۰	۱۳۸	۳۰۲۵۷۰
سناریوی ۷	۸۵۶۶	۱۷۷	۳۳۸۹۸۴



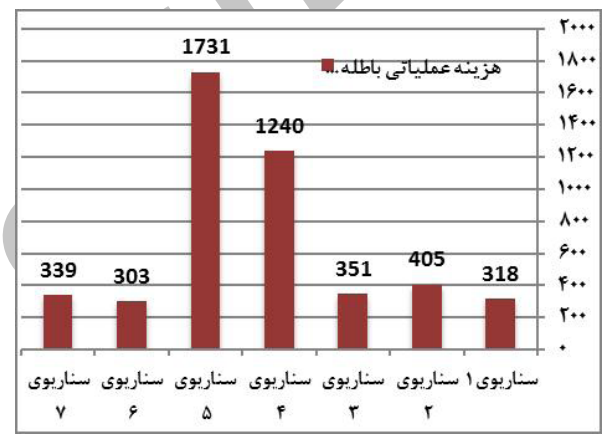
شکل ۱۲: مقایسه مدت اجرای هریک از سناریوهای پیشنهادی (محاسبات تحقیق)

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۳: مقایسه تناژ باطله‌برداری هریک از سناریوهای پیشنهادی (محاسبات تحقیق)



شکل ۱۴: مقایسه هزینه عملیاتی باطله‌برداری برای هر یک از سناریوهای پیشنهادی (محاسبات تحقیق)

با توجه به بررسی سناریوهای تحقیق، سناریوی ۶ دارای کم‌ترین طول حفریات طراحی شده، کم‌ترین هزینه عملیاتی و کوتاه‌ترین مدت اجرا است، بنابراین می‌توان آنرا به عنوان گزینه ارجح در نظر گرفت. در سناریوی۶ نیز بازکننده اصلی اول، کانه ریز قائمی است که از تونل شماره ۲ حفاری می‌شود و در تراز ۲۸۴۰ با احداث دهانه‌ای برای آن در دیواره کاواک نهایی، به فضای آزاد داخل کاواک دسترسی حاصل می‌شود. برای ترازهای پایین‌تر و آماده‌سازی طبقه استخراجی اول، میانبری از این کانه‌ریز منشعب می‌شود و در تراز ۲۸۰۴ به کاواک نهایی می‌رسد. بازکننده اصلی دوم نیز، رمپ زیگزاگی منشعب از رمپ اصلی معدن است که به کاواک نهایی در تراز ۲۷۶۸ متری، متصل می‌شود. در ابتدا فقط حالت کانه‌ریز قابل بهره‌برداری است، اما با عمیق شدن کاواک روباز، بهره‌برداری توام از هر سه بازکننده برای دسترسی فراهم می‌شود. ضمن اینکه کانه‌ریز قائم می‌تواند برای تامین خوراک بچینگ زیرزمینی استفاده شود. مزیت مهم سناریوی ۶ سرعت بالای تخلیه ثقلی مواد به دلیل به کارگیری کانه‌ریز قائم در عین فعال شدن فضاهای بلااستفاده زیرزمینی است، اما مشکلات فنی حفر کانه‌ریز نمی‌تواند در این مورد نادیده گرفته شود. در مورد سایر سناریوها، مهم‌ترین موارد تکمیلی به شرح زیر است:

۱. سناریوی ۱ کمترین میزان باطله‌برداری را دارد، اما به دلیل حفر کانه‌ریز با ارتفاع بالا، دارای سختی در اجرا است.
۲. موقعیت اجرای سناریوی ۲ نسبت به بقیه سناریوها، به محدوده ریزشی در غرب کاواک نزدیک‌تر است و طبیعتا با سختی‌های خاصی مواجه خواهد بود.
۳. به جز سناریوی ۳ که کوتاه‌ترین مسیر تا فضای خارج، از طریق تونل اصلی شماره ۱ است، در سایر سناریوها کوتاه‌ترین راه تا فضای خارج از مسیر تونل اصلی شماره ۲ است.
۴. به جز سناریوی ۳ که در آن فقط به کارگیری سیستم ترابری پیوسته امکانپذیر است، در سایر سناریوها، امکان به کارگیری هر دو سیستم ترابری پیوسته و ناپیوسته وجود دارد.
۵. در سناریوی ۴، به دلیل تلاقی رمپ ساعتگرد ۲ با ماده‌معدنی، مواد معدنی نیز علاوه بر باطله از تراز اصلی ۲۷۶۸ خارج می‌شود (مشابه سناریوی ۳).
۶. سناریوهای ۴ و ۵ از نظر سهولت اجرا بهترین گزینه‌اند، اما به دلیل اجرای رمپ طولانی و سطح مقطع بزرگتر، علیرغم سهولت فنی اجرا، طولانی‌ترین زمان، بالاترین تناژ باطله‌برداری و هزینه عملیاتی سنگین دارند. طولانی‌ترین حفریات طراحی شده، مربوط به سناریوی ۵ است. از طرفی با توجه به عدم بهره‌گیری از مزیت تخلیه ثقلی مواد در سناریوهای ۵ و ۴، سرعت انتقال مواد به فضای خارج نسبت به بقیه سناریوها پایین‌تر است. استهلاک لاستیک کامیون‌ها و احتمال تصادفات نیز در دو سناریوی یاد شده بیشتر است، بنابراین سناریوهای ۵ و ۴ بیشترین تناژ حفاری و مدت اجرا را دارند. با این‌حال سناریوی ۵، تنها سناریوی دارای قابلیت دسترسی مستقل به کاواک نهایی در هر سه تراز مفروض است.
۷. در تراز سوم اصلی، میانبر دوم سناریوی ۳ و رمپ ساعتگرد دوم سناریوی ۴، در دیواره کاواک نهایی مستقیما به ماده

Archive of SID

www.SID.ir

معدنی برخورد می‌کنند و بنابراین باطله کمتری در این سناریوها از تراز ۲۷۶۸ متری عبور می‌کند.

۸. در سناریوهای اصلی دارای بازکننده رمپ (سناریوهای ۴ و ۵)، امکان به کارگیری میانبر به عنوان حفریه واسطه‌ای وجود ندارد.

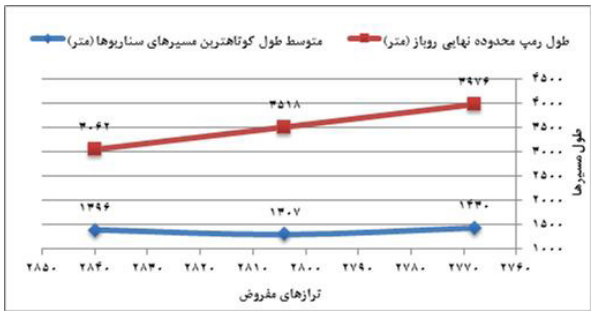
۹. به دلیل بالا رفتن طول حفریه واسطه‌ای، بکارگیری سناریوهای دارای حفریه میانبر در ترازهای پایینی توصیه نمی‌شود.

۱۰. به دلیل کوتاه‌تر شدن طول فضاهای افزوده شده برای حمل زیرزمینی با پیشروی عمقی کاواک، زمان و هزینه انتقال باطله‌ها از طریق سناریوی پیشنهادی در سال‌های انتهایی عمر معدن کاهش می‌یابد.

فارغ از نوع سناریوی انتخابی، پیش‌بینی محل مناسب برای احداث سنگ‌شکن درون کاواک در نزدیکی محل پرتال‌های ورودی حفریات ضروری است. برای مقایسه، گسترش سیستم فعلی ترابری معدن روباز از طریق احداث رمپ‌ها و ضمن پیشروی پله‌های استخراجی انجام می‌گیرد. بنابراین برآورد هزینه عملیاتی ترابری روباز برای ذخیره باقیمانده و طول متوسط کل رمپ محدوده نهایی روباز (۴۳۰۰ متر)، بر مبنای برآورد قیمت فعلی حمل توسط پیمانکار حمل، ضرایب افزایش طول رمپ و قیمت دلار معادل با ۱٫۱۶ دلار بر تن ماده حمل شده محاسبه شد. همچنین هزینه انتقال کل باطله قرار گرفته در محدوده نهایی روباز از طریق ترابری روباز معادل ۱۵٫۳۶۹ میلیون دلار برآورد شد. بنابراین هزینه عملیاتی ترابری روباز نسبت به هزینه عملیاتی حفریات انتقال زیرزمینی مواد بسیار بالاتر است، اما در صورت مشخص شدن برنامه بخش زیرزمینی و تعیین مقصد مواد، امکان برآورد دقیق هزینه عملیاتی انتقال زیرزمینی باطله فراهم می‌شود. همچنین میانگین کوتاه‌ترین مسافت بین ترازهای مفروض در پله‌های ۲۲، ۲۵ و ۲۸ کاواک نهایی تا پرتال خروجی تونل‌های اصلی ۱ و ۲ از مسیرهای حمل زیرزمینی سناریوها مطابق شکل ۱۵، از طول بین ترازهای یاد شده در پله‌های ثابت کاواک تا لبه آن از مسیر رمپ طراحی شده برای محدوده نهایی روباز، کوتاه‌تر است.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق تلاش شد تا با بهره‌گیری از مزایای انتقال ثقلی مواد، راهکارهای فنی قابل اجرای مبتنی بر استفاده از فضاهای زیرزمینی موجود معدن که قبلا حفر شده بود،



شکل ۱۵: مقایسه میانگین مسافت سناریوهای پیشنهادی با طول رمپ کاواک نهایی (محاسبات تحقیق)

پیشنهاد و تحلیل شود. بدین منظور، ابتدا شبکه زیرزمینی موجود معدن مدلسازی شد. همچنین با تعیین محدوده نهایی روباز و انطباق این مدل با شبکه زیرزمینی معدن، طرح و پیاده‌سازی نرم‌افزاری حفریات زیرزمینی واسطه‌ای قابل اجرا، انجام گرفت. در ادامه، بررسی مسیرهای مختلف خروج مواد استخراج شده کاواک نهایی به ویژه باطله‌ها از طریق فضاهای زیرزمینی در قالب هفت سناریوی مختلف انجام گرفت و با مقایسه فنی سناریوهای مختلف، سناریوی ششم به عنوان سناریوی ارجح زیرزمینی پیشنهاد شد. در سناریوی ۶ بازکننده اصلی اول، کانه ریز قائمی است که حفاری آن از تونل شماره ۲ آغاز می‌شود و در تراز ۲۸۴۰ با احداث دهانه‌ای برای آن در دیواره کاواک نهایی، به فضای آزاد داخل کاواک دسترسی حاصل می‌شود. همچنین برای آماده‌سازی طبقه استخراجی اول، میانبری از این کانه‌ریز منشعب می‌شود و در تراز ۲۸۰۴ به کاواک نهایی می‌رسد. بازکننده اصلی دوم، رمپ زیگزاگی بوده که از رمپ اصلی معدن منشعب شده و با اتصال به کاواک نهایی در تراز ۲۷۶۸ متری، طبقه استخراجی دوم قابل برداشت می‌شود. مزیت مهم سناریوی ۶ سرعت بالای تخلیه ثقلی مواد به دلیل به کارگیری کانه‌ریز قائم در عین فعال شدن فضاهای بلااستفاده زیرزمینی است. با توجه به قرارگیری ۸۹ درصد باطله‌های کاواک نهایی در دو پوشبک ۵ و ۶، حداکثر استفاده از ظرفیت سناریوی جایگزین تقریبا از سال ۲٫۳ عمر باقیمانده معدن روباز آغاز می‌شود. با توجه به سه معیار تحقیق، سناریوهای ۱ و ۳ نیز می‌توانند انتخاب بعدی باشند؛ اگر چه فرض اصلی در این تحقیق بر مبنای عدم استفاده از باطله، تخلیه از تونل‌های حفر شده قبلی و نیز عدم تلاقی با فعالیت‌های بخش زیرزمینی است، اما سناریوهای پیشنهادی تحقیق در هر دو حالت فعال بودن و تعطیلی

Archive of SID

www.SID.ir

فعالیت بخش زیرزمینی نیز می‌توانند کارآمد باشند. لازم به ذکر است که شرکت پیمانکار بخش زیرزمینی در حال طرح و احداث یک بچینگ زیرزمینی برای آماده‌سازی مصالح پرکننده در روش کند و آکند است. خوراک مورد نیاز این بچینگ از باطله‌های معدن روباز و احتمالا از طریق احداث یک کانه‌ریز و یا سایر حفریات تامین خواهد شد که دقیقا در قالب سناریوی ۳ تحقیق قابل بررسی است. یقینا قضاوت نهایی در این مورد نیاز به ارزیابی کامل اقتصادی برای مشخص شدن پلان نهایی فعالیت بخش زیرزمینی و مقدار نیاز به باطله برای پرکردن فضاهای آن دارد تا با برآورد تجهیزات مورد نیاز و معلوم شدن مبادی و مقاصد مواد، امکان مقایسه دقیق اقتصادی هزینه نهایی انتقال مواد با روش زیرزمینی نسبت به ترابری سطحی فراهم شود. طبیعتا در سیستم ترابری سطحی فعلی معدن نیز به کارگیری ابزارهای نوین می‌تواند در بهبود بهره‌وری سیستم ترابری معدن موثر باشد. بطور یقین سناریوهای پیشنهادی در مرحله اجرا، نیاز به طراحی تفصیلی و ارزیابی اقتصادی دقیق‌تر دارند و باید مواردی از قبیل ماشین‌آلات، تجهیزات و تاسیسات مورد نیاز، عملیات تهویه، خدمات فنی و نگهداری سازه‌ها و نیز هماهنگی اجرا با عملیات سطحی لحاظ شود.

۵- سپاس‌گزاری

مولفان این تحقیق قدردانی خویش را از همکاری جناب مهندس وجیه‌اله جعفری مدیرعامل محترم شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران (ایمپاسکو) و مهندس منصور شبانی مدیر محترم مجتمع سرب و روی انگوران اعلام می‌دارند.

۶- مراجع

[1] Tutton, D., and Streck, W. (2009). *"The Application of Mobile In-pit Crushing and Conveyin in Large, Hard Rock Open Pit Mines"*. Mining Magazine Congress, Canada.

[۲] کاوشگران، مهندسین مشاور؛ ۱۳۸۷؛ **"گزارش نهایی طرح بازگشایی و استخراج بخش سولفوره معدن سرب و روی انگوران"**. ص ۱۶-۲۲.

[3] Joy, G. (2017). *"Smart Material Handling, Product Overview"*. On the WWW, Aug., URL http:// www.mining.komatsu.

[4] Wolpers, F. (2013). *"Cost-efficient Transport for Open-pit Mines"*. Engineering And Mining Journal, May, p. 48.

[5] Yardley, E. D., and Stace, L. R. (2008). *"Belt conveying of minerals"*. Woodhead Publishing in Mechanical Engineering, 68-69.

[6] Bowler, M. (2017). *"Innovation"*. On the WWW, July., URL http://www.ghd.com.

[7] Tavakoli Mohammadi, M. R., Moosakazemi, S. F., and Hashemi, S. A. (2011). *"Review of the in-pit crushing and conveying (IPCC) system and its case study in copper mines"*. The First World Copper congress, Oct., 11-14.

[۸] عطایی، م.؛ حسینی، س. م. ع.؛ ۱۳۹۰؛ **"طراحی محدوده و برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز"**. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ص ۲۲۰-۱۶۹.

[9] Raj Tatiya, R. (2005). *"Surface and Underground Excavations - Methods, Techniques and Equipment"*. Bulkema Publishers, by Taylor & Francis Group, p. 312.

[10] Beus, M., Iverson, S., and Stewart, B. M. (2001). *"Design of Ore Passes in Underground Mining Methods"*. National Institute for Occupational Safety and Health. Spokane, Wash. University of Utah, Salt Lake City, Utah. Chap. 71, p. 627.

[11] Kilkenny, D. J., and Dennis, J. M. (2011). *"Mine Shafts- Planning, Optimising and Constructing"*. 11th Underground Operators Conference, 21-23 March, Canberra, Australia, 108-119.

[۱۲] عطایی، م.؛ ۱۳۸۶؛ **"معدنکاری زیرزمینی"**. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، دوره ۱، ص ۱۳۴.

[13] Iranian Mining Engineering Organization. (2012). *"Instruction for Geometrical Design of Underground Excavation and Openings"*. Presidency of Strategic Planning and Supervision, 579: 3, http://www.ime.org.ir.

[۱۴] علیزاده، س.؛ گنجی، س. م.؛ الماسی، س. ن.؛ ۱۳۸۸؛ **"بارگیری و باربری در معادن"**. انتشارات دانشگاه لرستان، ص ۲۱۷.

[۱۵] عطایی، م.؛ حسینی، س. م. ع.؛ ۱۳۹۰؛ **"عملیات و تحلیل‌های اقتصادی در معادن روباز"**. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ص ۲۳۴.

[۱۶] اورعی، س. ک.؛ تهامی کوهبنانی، م.؛ سام، ع.؛ ۱۳۸۷؛ **"انتخاب سیستم برتر: کامیون یا نوار نقاله در معدن سنگ آهن گهر زمین"**. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن، دوره ۳، شماره ۶، ص ۳۵.

[17] De la Vergne, J. (2008). *"Hard Rock Miners Handbook"*. Stantec Consulting, 5rd ed., 98-109.

Archive of SID

www.SID.ir

[18] Rahmanpour, M., Osanloo, M., Adibee, N., and Akbarpour Shirazi, M. (2014). *"An Approach to Locate an Inpit Crusher in Open pit Mines"*. International Journal of Engineering, 27(9): 1475-1484.

[19] Darling, P. (2011). *"SME Mining Engineering Handbook"*. Society for Mining ,Metallurgy and Exploration Inc., 3rd ed., 277- 279.

---

[۱] In-pit Crushing & Conveying

[۲] High Angle Conveyor

[۳] Truck Uplift in Pit System

[۴] Chuquicamata

[۵] Port Hardy, B.C. Canada

[۶] Dump

[۷] NPV Scheduler Software

[۸] Adit

[۹] Shaft

[۱۰] Ramp

[۱۱] Raise

[۱۲] Orepass

[۱۳] Spiral

[۱۴] Zigzag

[۱۵] Crosscut

[۱۶] Geometry

[۱۷] Portal

[۱۸] Collar

Archive of SID

www.SID.ir